

国和一号示范工程1、2号机组

环境影响报告书

(运行阶段)

公示版



国核示范电站有限责任公司

二〇二二年六月

打印编号：1653309516000

编制单位和编制人员情况表

| | | | |
|------------------|---|----------|-----|
| 项目编号 | 8ke011 | | |
| 建设项目名称 | 大型先进压水堆核电站重大专项CAP1400示范工程环境影响报告书 (运行阶段) | | |
| 建设项目类别 | 55--167核动力厂(核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等); 反应堆 (研究堆、实验堆、临界装置等); 核燃料生产、加工、贮存、后 处理设施; 放射性污染治理项目 | | |
| 环境影响评价文件类型 | 报告书 | | |
| 一、建设单位情况 | | | |
| 单位名称(盖章) | 国核示范电站有限责任公司 | | |
| 统一社会信用代码 | 913710006980957412 | | |
| 法定代表人(签章) | 汪映荣 | | |
| 主要负责人(签字) | 郭述志 | | |
| 直接负责的主管人员(签字) | 刘春光 | | |
| 二、编制单位情况 | | | |
| 单位名称(盖章) | 上海核工程研究设计院有限公司 | | |
| 统一社会信用代码 | 913101041132672722W | | |
| 三、编制人员情况 | | | |
| 1. 编制主持人 | | | |
| 姓名 | 职业资格证书管理号 | 信用编号 | 签字 |
| 邱志靓 | 2016035310352013310101000138 | BH021034 | 邱志靓 |
| 2. 主要编制人员 | | | |
| 姓名 | 主要编写内容 | 信用编号 | 签字 |
| 黄尚青 | 第四章 | BH053857 | 黄尚青 |
| 倪依雨 | 第四章 | BH037305 | 倪依雨 |
| 张怀远 | 第四章 | BH037313 | 张怀远 |
| 印舒蔚 | 第七章 | BH023751 | 印舒蔚 |

| | | | |
|-----|-------------|----------|-----|
| 傅小城 | 第六、八章 | BH021941 | 傅小城 |
| 陈建国 | 第一章 | BH017570 | 陈建国 |
| 赵文秀 | 第四章 | BH051344 | 赵文秀 |
| 王明 | 第四、五章 | BH053955 | 王明 |
| 汤建明 | 第四章 | BH037286 | 汤建明 |
| 林宇清 | 第四章 | BH021033 | 林宇清 |
| 毛兰方 | 第四章 | BH037258 | 毛兰方 |
| 杨靖 | 第二章 | BH032619 | 杨靖 |
| 张杰 | 第四章 | BH051460 | 张杰 |
| 赵路 | 第九章 | BH038488 | 赵路 |
| 蔡帅 | 第四、五章 | BH053829 | 蔡帅 |
| 李天吟 | 第八章 | BH053921 | 李天吟 |
| 韩鹏 | 第四章 | BH051345 | 韩鹏 |
| 张梦威 | 第四章 | BH053820 | 张梦威 |
| 徐一鸣 | 第二章 | BH030958 | 徐一鸣 |
| 邱志靓 | 第一、三、四、六、十章 | BH021034 | 邱志靓 |
| 裴娟 | 第二、五章 | BH010699 | 裴娟 |
| 姜昊宇 | 第五章 | BH051382 | 姜昊宇 |
| 浦祥 | 第二章 | BH021934 | 浦祥 |
| 王雪 | 第二、六章 | BH011677 | 王雪 |
| 韩丰泽 | 第七章 | BH037204 | 韩丰泽 |

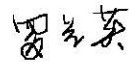
大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程 环境影响报告书（运行阶段）


上海核工程研究设计院有限公司编制


审核：

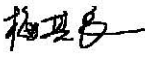
杜风雷  环境影响评价工程师信用编号 BH025127


黄程鹏 

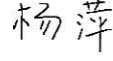
罗兰英 

罗海涛 

王煦嘉 

梅其良  核安全工程师注册证编号 ZSNDC56-2403

郑利民 

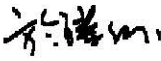
杨萍  核安全工程师注册证编号 ZSNDA348-2403


李雷 

刘刚 

宋春景  核安全工程师注册证编号 ZSNDC44-2212

徐进财 

於臻绯 


叶剑云 

付鹏 

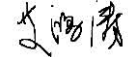
大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程 环境影响报告书（运行阶段）

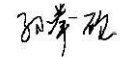
上海核工程研究设计院有限公司编制

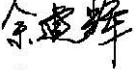
校核：

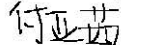
黄晓冬  核安全工程师注册证编号 ZSNDA242-2212


朱雪强  环境影响评价人员信用编号 BH037614

艾鸿涛 

孙拳砣 


余建辉 

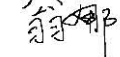
付亚茹  核安全工程师注册证编号 ZSNDC52-2403

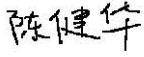
孙大威 

张 琨  核安全工程师注册证编号 ZSNDD74-2403

郑轶雄 

孙 贺  核安全工程师注册证编号 ZHZC202004120

翁 娜 

陈健华  核安全工程师注册证编号 ZSNDA240-2212

周 红  核安全工程师注册证编号 ZSNDC46-2306

张正楼  环境影响评价人员信用编号 BH038995

沈 翔 

秦利芸  环境影响评价人员信用编号 BH038997

目 录

第一章 概述

- 1.1 建设项目名称和建设性质
 - 1.1.1 核电厂名称及其建设单位
 - 1.1.2 建设性质
- 1.2 建设项目的规模和厂址总体规划
- 1.3 建设项目经费和环保设施投资
- 1.4 建设目的
 - 1.4.1 山东省、威海市及荣成市国民经济和社会发展状况
 - 1.4.2 电力需求预测
 - 1.4.3 能源结构分析
 - 1.4.4 建设的必要性
- 1.5 建设项目的进度
- 1.6 环境影响报告书编制依据及主要法规、标准和导则
 - 1.6.1 厂址所在区域规划
 - 1.6.2 遵守的主要法规、标准和导则以及专题报告
 - 1.6.3 许可文件和批准文件
 - 1.6.4 “三线一单”符合性
- 1.7 评价标准
 - 1.7.1 辐射环境影响评价标准
 - 1.7.2 非辐射环境影响评价标准
- 1.8 工程组成
- 1.9 环境保护措施
- 1.10 评价范围
- 1.11 环境影响报告书批复的落实情况
 - 1.11.1 选址阶段环境影响报告书批复的落实情况
 - 1.11.2 建造阶段环境影响报告书批复的落实情况

第二章 厂址与环境

- 2.1 厂址地理位置
 - 2.1.1 厂址位置
 - 2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区
 - 2.1.3 厂址附近居民点
- 2.2 人口分布与饮食习惯
 - 2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布
 - 2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布
 - 2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性
- 2.3 土地利用及资源概况
 - 2.3.1 土地和水体的利用
 - 2.3.2 陆生资源及生态概况
 - 2.3.3 水产资源及生态概况
 - 2.3.4 工业、交通及其他相关设施
- 2.4 气象
 - 2.4.1 区域气候
 - 2.4.2 设计基准气象参数
 - 2.4.3 当地气象条件
 - 2.4.4 大气稳定度
 - 2.4.5 联合频率
 - 2.4.6 混合层高度及扩散参数值
 - 2.4.7 运行前的厂址气象观测
- 2.5 水文
 - 2.5.1 地表水
 - 2.5.2 地下水
 - 2.5.3 洪水
- 2.6 地形地貌

第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
 - 3.1.1 辐射环境调查回顾

- 3.1.2 辐射环境现状调查
- 3.1.3 辐射环境质量评价
- 3.1 非辐射环境质量现状
 - 3.2.1 大气环境质量现状调查与评价
 - 3.2.2 声环境质量现状调查与评价
 - 3.2.3 水体环境质量现状调查与评价
 - 3.2.4 电磁环境现状调查与评价

第四章 核电厂

- 4.1 厂区规划及平面布置
 - 4.1.1 厂区规划
 - 4.1.2 厂区平面布置
 - 4.1.3 排放口布置
- 4.2 反应堆和蒸汽-电力系统
 - 4.2.1 概述
 - 4.2.2 核岛
 - 4.2.3 常规岛
 - 3.2.2 燃料元件性能的描述
 - 3.2.3 核蒸汽供应系统
 - 3.2.4 汽轮机和凝汽器的描述
- 4.3 核电厂用水和散热系统
 - 4.3.1 核电厂用水
 - 4.3.2 核电厂散热系统
- 4.4 输电及供热系统
 - 4.4.1 输电系统
 - 4.4.2 供热系统
- 4.5 专设安全设施
 - 4.5.1 概述
 - 4.5.2 非能动堆芯冷却系统
 - 4.5.3 非能动安全壳冷却系统

- 4.5.4 安全壳氢气控制系统
- 4.5.5 安全壳和安全壳隔离系统
- 4.5.6 主控室应急可居留系统
- 4.6 放射性废物系统和源项
 - 4.6.1 放射性源项
 - 4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项
 - 4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项
 - 4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量
 - 4.6.5 厂址废物处理设施
 - 4.6.6 废物最小化
 - 4.6.7 乏燃料贮存系统
- 4.7 非放射性废物处理系统
 - 4.7.1 化学污染物
 - 4.7.2 生活废物
 - 4.7.3 其它废物
- 4.8 放射性物质厂内运输
 - 4.8.1 新燃料运输
 - 4.8.2 乏燃料运输
 - 4.8.3 放射性固体废物运输

第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

- 5.1 土地利用
 - 5.1.1 工程用地概况
 - 5.1.2 施工活动对环境的影响
 - 5.1.3 施工期环境监测
 - 5.1.4 水土保持
- 5.2 水的利用
 - 5.2.1 施工用水对水体环境的影响
 - 5.2.2 施工排水对环境的影响
 - 5.2.3 取排水工程施工对水体环境的影响

- 5.2.4 海洋环境监测
- 5.3 施工影响的控制
 - 5.3.1 大气污染的控制
 - 5.3.2 水污染的控制
 - 5.3.3 生态污染的控制
 - 5.3.4 噪声污染的控制
 - 5.3.5 固体废弃物的控制
 - 5.3.6 辐射污染的控制

第六章 核电厂运行的环境影响

- 6.1 散热系统运行的影响
 - 6.1.1 散热系统方案
 - 6.1.2 散热系统对水体的物理影响
 - 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响
- 6.2 正常运行的辐射影响
 - 6.2.1 流出物排放源项
 - 6.2.2 照射途径
 - 6.2.3 计算模式与参数
 - 6.2.4 大气弥散和水体稀释
 - 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度
 - 6.2.6 公众的最大个人剂量
 - 6.2.7 非人类生物的辐射剂量
 - 6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径
 - 6.2.9 辐射影响评价
- 6.3 其它影响
 - 6.3.1 化学物质排放对海洋环境的影响
 - 6.3.2 噪声影响
 - 6.3.3 常规大气污染物排放
 - 6.3.4 废物处置
 - 6.3.5 电磁辐射影响

- 6.4 退役
 - 6.4.1 退役策略
 - 6.4.2 退役技术研究
 - 6.4.3 废物管理措施
 - 6.4.4 退役经费安排
 - 6.4.5 知识管理
 - 6.4.6 记录保存

第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

- 7.1 核电厂放射性事故和后果评价
 - 7.1.1 事故描述和事故源项
 - 7.1.2 事故后果计算
- 7.2 严重事故
 - 7.2.1 事故描述
 - 7.2.2 事故后果
 - 7.2.3 严重事故预防和缓解方案
- 7.3 场内运输事故
- 7.4 其它事故
 - 7.4.1 核电厂环境风险评价
 - 7.4.2 核电厂环境风险防范措施
- 7.5 事故应急
 - 7.5.1 应急计划区
 - 7.5.2 应急状态
 - 7.5.3 应急组织
 - 7.5.4 应急设施、设备
 - 7.5.5 核事故应急对策
 - 7.5.6 实施核应急预案的可行性

第八章 流出物监测和环境监测

- 8.1 辐射监测

- 8.1.1 流出物监测
- 8.1.2 辐射环境监测
- 8.1.3 应急监测
- 8.2 其他监测
 - 8.2.1 热影响监测
 - 8.2.2 化学污染物和生活污水监测
 - 8.2.3 气象观测
 - 8.2.4 水文观测
 - 8.2.5 生态监测
 - 8.2.6 噪声监测
 - 8.2.7 电磁环境监测
- 8.3 监测设施
 - 8.3.1 流出物实验室
 - 8.3.2 环境监测系统
- 8.4 质量保证
 - 8.4.1 质量控制
 - 8.4.2 质量管理

第九章 利益代价分析

- 9.1 利益分析
 - 9.1.1 运行带来的直接利益
 - 9.1.2 建设和运行带来的间接利益
- 9.2 代价分析
 - 9.2.1 直接代价
 - 9.2.2 间接代价

第十章 结论与承诺

- 10.1 核电厂建设项目
- 10.2 环境保护设施
- 10.3 放射性排放

- 10.4 辐射环境影响评价结论
 - 10.4.1 核电厂正常运行期间的辐射影响
 - 10.4.2 核电厂设计基准事故的潜在照射后果
 - 10.4.3 应急
- 10.5 非辐射环境影响评价结论
 - 10.5.1 施工期非辐射环境影响评价结论
 - 10.5.2 运行期非辐射环境影响评价结论
- 10.6 结论与承诺

第一章 概述

1.1 建设项目名称和建设性质

1.1.1 核电厂名称及其建设单位

核电厂名称为“大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程”（又名“国和一号示范工程”，本报告中简称为“国核压水堆示范工程”）。本工程是在山东石岛湾核电厂址已批准建设的 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组基础上，再建 2 台 CAP1400 压水堆核电机组。国家发展改革委 2013 年（发改办[2013]583 号）同意本工程开展前期工作，原环境保护部于 2014 年 6 月 17 日批复本工程选址阶段环境影响报告书，于 2019 年 3 月 21 日批复本工程建造阶段环境影响报告书。

本工程建设与运营由国核示范电站有限责任公司承担，该公司成立于 2009 年 12 月 17 日，由国家电力投资集团有限公司和中国华能集团公司按 75% 和 25% 比例出资组建。该公司全面负责本工程的生产、运行、维修、培训、技术支持等各种生产与管理。该公司实行董事会领导下的总经理负责制，董事会对股东会负责，并根据现代企业制度的要求，设置监事会。该公司设立 26 个职能部门。

根据国家电力投资集团有限公司和中国华能集团公司达成的战略合作协议，双方约定就厂址规划、共用设施建设及管理问题，建立高层协调机制和工程建设单位协商机制。双方同意就施工力能区、海工、码头、厂址废物处理设施等作为共用子项共同投资建设。

本工程以及位于山东石岛湾核电厂址的高温气冷堆示范工程的建设单位均为按照现代企业制度建立的独立法人单位，分别负责管理各自工程的投资、建设、安装、调试和运营，厂区单独围护，在运营管理方面，不存在任何相关制约关系。

1.1.2 建设性质

本工程是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020）》确定的 16 个重大科技专项之一，其主要任务和总体目标是：在国家已经确定的 AP1000 三代核电技术的基础上进行消化、吸收，全面掌握以非能动技术为标志的第三代核电技术，并进一步研究开发出具有我国自主知识产权的大型先进压水堆技术，建成大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程。

2008年2月15日国务院第209次常务会议审查并原则通过了《大型先进压水堆核电站重大专项总体实施方案》。CAP1400核发电机组是在引进、消化、吸收AP1000先进核电技术的基础上，通过自主研发和创新，形成具有我国自主知识产权的第三代非能动大型先进压水堆核发电机组，通过本工程的实施推进国家核电自主设计和自主建造水平，提高设备国产化率。

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

山东石岛湾核电厂址已核准1台200MWe高温气冷堆核发电机组，本项目拟再建设2台CAP1400压水堆核发电机组，同时山东石岛湾核电厂址还预留了后续核发电机组的扩建场地。其中，1台200MWe高温气冷堆核发电机组是由华能山东石岛湾核电有限公司投资建设，2021年8月21日装料，2021年9月12日达到临界状态，2021年12月14日并网。

本工程所在的山东石岛湾核电厂址将设置统一的液态流出物排放口。本工程将遵循《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）等相关国家标准规定，保证山东石岛湾核电厂址在环境辐射防护方面实施统一的流出物排放量申请、流出物和环境监测管理以及应急管理。

1) 统一废物管理

国核示范电站有限责任公司与华能石岛湾核电开发有限公司统一规划设计厂址废物处理设施（SRTF），SRTF设置在本工程厂区，由国核示范电站有限责任公司负责建造。

2) 统一环境监测

关于辐射环境现场监督性监测系统，根据《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（2012年2月）和《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设具体技术要求（试行）》（2014年4月）的规定，双方共用辐射环境现场监督性监测系统，该系统由国核示范电站有限责任公司与华能石岛湾核电开发有限公司共同建设。山东石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统建设及运行现状见本报告第八章，前沿站设置在距离厂址W方位14.3km的王店镇粮站，厂址陆域周围10个扇形区域设置11个监测子站。

关于环境辐射监测系统，考虑到核电厂环境监测涉及到应急监测和管理，国核示范电站有限责任公司与华能石岛湾核电开发有限公司将分别建设环境监测

楼及配套设施，同时在监测楼之间建立信息联络渠道。华能石岛湾核电开发有限公司环境监测楼设置在荣成市华能小区（距离厂址约 30km），国核示范电站有限责任公司环境监测楼设置在崮山基地（距离厂址 NW 方位约 9km）。

关于环境监测大纲编制，国核示范电站有限责任公司与华能石岛湾核电开发有限公司同意环境监测按照全厂址统一考虑，环境监测大纲分别编制。双方建立沟通协调机制，细化相关的管理程序，统一接受监督部门监督，相关监测数据比对核实后统一上报监管部门。现阶段已建立统一的环境监测工作体系，环境监测站、气象观测站已投入使用，并于 2021 年 6 月通过华能高温气冷堆示范工程反应堆首次装料前检查，目前正按照大纲统一开展环境监测工作。

3) 统一应急管理

《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程核电厂址区域核应急预案》于 2014 年完成编制工作并通过国家核事故应急办公室审查。考虑在国核示范电站有限责任公司与华能石岛湾核电开发有限公司作为单独法人各自承担核安全责任、兼顾运行维护管理等因素的基础上，双方将分别建设应急指挥中心，并建立应急协调机制，以满足双方应急统一协调管理的要求。

建设单位与华能山东石岛湾核电有限公司已经签署同一厂址应急协议，现阶段（华能高温气冷堆示范工程反应堆首次装料至本工程 CAP1400 压水堆核电机组 1 号反应堆装料前）由华能高温气冷堆示范工程统一指挥协调厂址核应急响应行动，建设单位负责本工程的核应急准备工作。目前建设单位已经组织制定核事故应急撤离专项预案，完成场内核应急集合点、应急广播等建设，相关应急预案和设施已在华能高温气冷堆示范工程反应堆首次装料前综合演习和联合演习中得到了检验；同时与华能山东石岛湾核电有限公司建立日常应急工作协调，按计划开展应急设施设备检查维护、应急人员的应急培训工作，组织联合核应急演练，开展应急通讯测试等工作。

1.3 建设项目经费和环保设施投资

本项目资本金由国家电力投资集团有限公司和中国华能集团公司根据出资比例筹集，资本金以外的资金通过银行融资解决。

本工程项目工程建成价总投资为 4758262 万元，核电厂主要环境保护设施及相关投资为 123951 万元，占总投资比例为 2.60%。

各项环境保护设施建设投资估算详见本报告第九章。

1.4 建设目的

1.4.1 山东省、威海市及荣成市国民经济和社会发展状况

山东省是我国重要的人口大省、资源大省和经济大省。全省土地总面积 15.58 万平方公里，截止 2020 年 11 月，全省总人口 10152.75 万人。“十三五”期间，山东省国内生产总值突破 7 万亿元大关，2020 年达到 73129 亿元，人均生产总值超过 1 万美元。三次产业结构优化调整为 7.3:39.1:53.6，粮食产量连续 7 年稳定在 1000 亿斤以上。威海市总面积 5799.84 万平方公里，根据 2020 年威海年鉴统计结果，全市常住人口 283.60 万人。地区生产总值达到 3017.8 亿元，“十三五”期间，年均增长 5.9%；其中，规模以上工业增加值年均增长 5.6%，服务业增加值年均增长 7.5%。三次产业结构持续优化，2020 年调整为 10.0: 38.5: 51.5。荣成市生产总值达到 943 亿元，“十三五”期间，年均增长 4.8%。其中，规模以上工业增加值年均增长 0.7%，规模以上工业企业利润年均增长 15.1%；服务业增加值年均增长 8.7%。

根据《山东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，地区生产总值增速 5.5%，生产生活方式绿色转型成效显著，能源资源利用效率大幅提高，主要污染物排放总量大幅减少，生态系统稳定性明显增强，生态环境持续改善。根据《威海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》，地区生产总值增速 5.5%，绿色生产生活方式加快普及，集约高效的生产空间、宜居适度的生活空间、山清水秀的生态空间基本形成，生态效益、经济效益、社会效益和谐统一，生态环境质量继续保持全省领先。根据《荣成市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》，地区生产总值增速 5.5%，推动产业生态化和生态产业化协调统一，强化污染防治，协同推进“减污降碳”，坚决克服“蓝天白云综合症”，推动空气、水、土壤等方面污染整治向纵深发展。主要污染物排放总量明显减少，天然林资源得到全面保护，生态环境指标保持全省前列，全面完成节能减排降碳约束性目标和环境质量改善目标。

1.4.2 电力需求预测

1.4.2.1 电力负荷预测

2020年，面对错综复杂的国际形势、艰巨繁重的改革发展稳定任务，特别是新冠肺炎疫情的严重冲击，山东省上下坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中全会精神，认真落实习近平总书记对山东工作的重要指示要求，坚持稳中求进工作总基调，坚持新发展理念，深化供给侧结构性改革，锚定“走在前列、全面开创”，创新实施八大发展战略，强力推进九大改革攻坚，统筹疫情防控和经济社会发展，扎实做好“六稳”工作、全面落实“六保”任务，全省经济社会经受住了空前考验，抗疫斗争取得决定性胜利，经济运行逆势上扬，高质量发展积厚成势，新旧动能转换初见成效，人民福祉水平持续提升，社会大局和谐稳定，“十三五”实现圆满收官，全面建成小康社会取得决定性进展和历史性成就。根据《2020年山东省国民经济和社会发展统计公报》，经济发展好于预期。初步核算，全省实现生产总值73129.0亿元，按可比价格计算，比上年增长3.6%。分产业看，第一产业增加值5363.8亿元，增长2.7%；第二产业增加值28612.2亿元，增长3.3%；第三产业增加值39153.1亿元，增长3.9%。三次产业结构由上年的7.3:39.9:52.8调整为7.3:39.1:53.6。新旧动能转换初见成效，“十强”现代优势产业集群日益壮大，产业结构持续优化。

山东省处于工业化进程的中后期，工业体系健全，省内市场空间大，受贸易争端和国际经济衰退影响相对较小，人均指标和消费水平低，具有后发优势。“十四五”期间，随着传统动能转型升级逐步完成、新动能逐步发力、电能替代水平与电气化率持续提升，山东省经济用电发展仍有较大空间。当前疫情尤其是境外疫情发展情况为经济发展带来了很大的不确定性，但综合考虑这种临时突发事件对经济的冲击是短期的，从中长期来看，疫情对整个十四五经济用电增长影响不大。

综合分析，预计“十四五”期间经济运行稳中向好，新旧动能转换成效逐步显现。预计“十四五”期间山东省GDP年均增长5.5%，略高于全国平均水平；预计2025年山东省全社会用电量达到8600亿kWh，全社会负荷达到145400MW，“十四五”年均增速分别为4.4%、4.9%；至2030年全省全社会用电量达到10000亿kWh、全社会最大负荷达到171800MW，“十五五”年均增速分别为2.7%、2.9%。

山东电网最终推荐的电力需求预测结果见表 1.4-1。

1.4.2.2 电源发展规划

截至 2020 年底，山东省电源总装机总容量 158963MW，其中燃煤火电装机 106411MW、水电装机 1083MW(含抽水蓄能电站 1000MW)、核电装机 2500MW、风电装机 17950MW、光伏发电装机 22725MW、生物质及垃圾发电装机 3655M、余热余能及其它装机 4640MW。“十三五”以来，全省能源结构调整成效显著，省内光伏、风电发展全国领先，提前一年完成“十三五”规划目标；煤电占比由“十二五”末的 85.3% 下降至 66.9%；风电、光伏、核电、生物质、水电等清洁能源装机 47912MW，占比由“十二五”末的 11.5% 提升至 30.1%。

1.4.2.3 山东电网电力平衡

1) 平衡计算原则

山东电网最大负荷呈现冬季、夏季双高峰，且最大负荷值相差不大，夏季略大。因此，山东省电力平衡按夏高峰进行计算，并采用全口径分析。平衡年份取 2022 年、2025 年、2028 年、2030 年、2032 年和 2035 年。

考虑计算原则如下：

(1) 山东省内装机根据其前期及建设工作实际进度参与平衡，区外送电规模根据山东省经济社会发展实际需求及相关特高压工程建设进度考虑。

(2) 当年投产机组均按容量的 1/2 计入平衡。

(3) 根据电力系统设计手册，负荷备用容量一般取最大负荷的 2%-5%，事故备用容量一般取最大负荷的 10% 左右。结合山东电网运行实际，负荷备用取最大负荷的 2%，事故备用容量取最大负荷的 10%，总备用容量取最大负荷的 12%。

(4) 考虑风电机组出力间歇性、逆调峰特性以及太阳能电站出力的间歇性特性，风电、光伏发电分别按照装机容量 5%、10% 参与电力平衡。

(5) 抽水蓄能机组按停一台机组后，其它全部参与电力平衡考虑。

(6) 余热余能按照装机容量的 80% 参与电力平衡

2) 平衡计算结果分析

通过电力平衡计算可知，在考虑省内规划电源建设、外电按规划进入山东电网的前提下，山东电网 2025 年、2028 年、2030 年、2035 年电力缺额分别为 5686MW、10723MW、10725MW、17530MW。

因此，山东省在加快国家发改委已同意开展前期工作的电源项目和其它已积

极开展前期工作电厂建设的同时，应结合电网规划，加快核电建设，并积极吸纳外电，满足山东省不断发展的用电需要。

1.4.2.4 威海电网电力平衡

烟威电网位于山东电网东部末端，随着烟台、威海网内电源装机的快速发展，烟威电网由原来的受电区已转变为电力富余区，富余电力需通过烟台电网与主网相连的 500kV 及以上线路送至山东主网消纳。

根据烟台、威海电网电力负荷预测结果、结合上述电源建设计划，2025 年~2035 年烟威电网电力平衡如下表所示。

通过电力平衡分析可知，在机组满发方式下，2025 年、2028 年、2030 年、2035 年，烟威电网电力盈余分别为 6368MW、6538MW、13798MW、21208MW；正常 13% 备用方式下，2025 年、2028 年、2030 年、2035 年电力盈余分别为 3729MW、3587MW、10666MW、15759MW。烟威电网电力盈余较多，盈余电力需送至山东主网统一消纳。

1.4.3 能源结构分析

1) 能源状况

(1) 水力资源

山东省全省属资源型缺水省份，多年平均水资源总量为 305 亿立方米，人均水资源占有量仅 344 立方米，全省多年平均淡水资源量仅占全国水资源总量的 1.09%。几乎没有可供发电的水力资源。

(2) 煤炭资源

山东省省外来煤占 50% 以上。省外煤源主要有三个方向：一是北部黑龙江省，约占 40% 左右；二是西部蒙东地区，约占 10% 左右；三是南部关内原煤，接近 50%。

山东省发电用煤占全省原煤消费量的 36% 以上。

(3) 油气资源

近几年山东省原油产量呈逐年下降的趋势，考虑石油是我国最稀缺的重要战略资源，其储量和产量均不能满足国民经济发展的需要，因此近期及今后均不能作为重要的发电能源使用。

(4) 新能源

根据《山东省新能源产业发展规划(2018-2028年)》(鲁政字[2018]204号),截止2018年,由于缺乏可供规模化开发的水电,核电项目也尚在建设,全省全口径新能源开发利用占能源消费总量比重仅为5.5%,低于全国8.7个百分点;新能源产业增加值仅占全省GDP的1.5%,远低于江苏、浙江等先进省份的发展水平。

2) 能源供需

山东省水力资源贫乏,全省70%以上电源为燃煤火电,省内用煤不能自平衡,目前发电用约80%的电煤来自山西等周边省份。山东省对省外电煤的依赖度越来越高,2020年燃煤机组容量为1亿千瓦,发电用原煤为2.4亿吨,而全省煤炭生产能力约1.5亿吨,还需调出3000万吨,2020年仅发电用煤全省煤炭缺口在1.2亿吨,再加上冶金、建材、化工等其他行业用煤,2020年煤炭缺口约3.3亿吨。

根据上述能源资源的状况,从长远看,山东省的能源是不能自平衡的,缺口在逐年增加。为了保持山东省电力的可持续发展,应高效安全开展核电的建设工作。

根据《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划(2016-2030年)》(鲁发改能源[2017]418号)提出的新能源发展规划,新能源和可再生能源发电在电力体系中上升为重要电源,2030年目标为:新能源和可再生能源发电装机容量比“十二五”末增长6倍,力争达到8155万千瓦,其中,风电2300万千瓦,太阳能发电2500万千瓦,生物质发电500万千瓦,水电790万千瓦,核电2065万千瓦;发电装机容量占省内电力装机容量的比重力争达到40%以上;年实现发电量2300亿千瓦时。

1.4.4 建设的必要性

1) 推动我国核电技术进步和自主创新

本工程属于新一代核能,是我国新能源产业的重要组成部分,其建设对推动我国核电技术进步和自主创新具有十分重要的意义。本工程列入《国家“十二五”科学与技术发展规划》,属于十六个国家科技重大专项之一。《国家“十二五”科学与技术发展规划》中明确了要加快实施国家科技重大专项,提出了大型先进压水堆及高温气冷堆核电站需“突破先进压水堆和高温气冷堆技术,完善标准体系,搭建技术平台,提升核电产业国际竞争力。依托装机容量为1000兆瓦的先

进非能动核电技术（AP1000）核电站建设项目，全面掌握 AP1000 核电关键设计技术和关键设备材料制造技术，自主完成内陆厂址标准设计。完成中国的装机容量为 1400 兆瓦的先进非能动核电技术（CAP1400）标准体系设计并建设示范电站，……加强压水堆及高温气冷堆安全技术支撑和核电站乏燃料后处理科研攻关，保障核电安全。”

实施大型先进压水堆核电站重大专项、建设 CAP1400 示范工程具有重要的现实意义和深远的战略意义。大型先进压水堆核电站重大专项的研发是我国自主创新战略的重要组成部分，CAP1400 示范工程建成并投入运行是全面实现第三代核电技术自主创新的成功标志。

通过实施大型先进压水堆核电站重大专项，建成具有自主知识产权的 CAP1400 示范电站，有利于我国加快掌握先进核电技术，推进核电建设，形成自主品牌；有利于改善能源结构、保障能源安全；有利于掌握自主知识产权，提高装备制造业水平，增强综合国力；有利于完善行业自主创新能力，提高行业技术水平。通过示范工程建设，推进我国形成大型先进压水堆核电站自主设计、自主制造、自主建设和自主运营能力，对我国核电产业的可持续发展具有重要意义。

2) 符合国家核电安全规划和发展规划

未来二十年，我国国民经济仍将保持快速稳步发展，与此同时，需要电力供应保持与国民经济协调发展。水电是我国优先开发的清洁能源，但我国的水电资源全部开发利用也只有 3 亿多千瓦。而大力发展火电将受到环境保护和煤炭运输条件的双重压力。特别是我国政府已发布《国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》（2021.09.22），未来几年我国二氧化碳的减排压力将日益突出，火电厂的发展将会受到一定的限制。

核电作为一种清洁、安全的能源，已被纳入到国家未来能源发展的战略中，2012 年 10 月 24 日，温家宝总理主持召开国务院常委会议，讨论并通过《核电安全规划（2011-2020）》和《核电中长期发展规划（2011-2020）》，会议对当前和今后一个时期的核电建设作出部署：（一）稳妥恢复正常建设。合理把握建设节奏，稳步有序推进。（二）科学布局项目。“十二五”时期只在沿海安排少数经过充分论证的核电项目厂址，不安排内陆核电项目。（三）提高准入门槛。按照全球最高安全要求新建核电项目。新建核电机组必须符合三代安全标准。

本工程规划建设容量为 2 台 CAP1400 核电机组，符合三代核电安全标准，

是我国自主创新战略的重要组成部分，CAP1400 示范工程建成并投入运行是全面实现第三代核电技术自主创新的成功标志，完全符合国家核安全规划以及中长期发展规划的要求。

3) 经济可持续发展的需要

随着国民经济的快速发展，我国的电力需求旺盛，电力供应日趋紧张。为保证我国能源的长期稳定供应，核能将成为必不可少的替代能源。通过高效安全的发展核电，实现能源供应多元化，减少对煤炭、进口石油等传统不可再生化石能源的依赖，提高能源的安全性，实现经济可持续发展。

山东省经济的持续快速发展，需要电力工业的稳步发展。根据《山东省能源发展“十四五”规划》，“十四五”期间山东省能源消费总量控制在 4.54 亿吨标准煤以内，煤炭消费量控制在 3.5 亿吨左右，能源综合生产能力达到 1.25 亿吨标准煤，电力装机总量达到 1.9 亿千瓦左右，力争达到 2.1 亿千瓦左右，全社会用电量达到 8600 亿千瓦时左右；煤电发电量、清洁能源发电量、省外电量占全社会用电量的比重由 68:15:17 优化到 60:20:20，煤炭消费比重下降到 60%以内，非化石能源消费比重提高到 13%左右，可再生能源电量占比提高到 19%左右。因此，为保证能源的长期稳定供应，核能将成为必不可少的替代能源。发展核电可改善山东省的能源供应结构，减少对煤炭的依赖，保障山东省能源安全 and 经济安全，是山东省经济可持续发展的需要。

4) 环境保护的需要

我国一次能源以煤炭为主，长期以来，煤电发电量占总发电量的 80%以上。大量发展燃煤电厂给煤炭生产、交通运输和环境保护带来巨大压力。随着经济发展对电力需求的不断增长，大量燃煤发电对环境的影响也越来越大，全国的大气状况不容乐观。电力工业减排污染物，改善环境质量的任务十分艰巨。

山东省水力资源贫乏，电源结构中水电的份额几乎为零，而大量燃煤机组的建设，不可避免地要大量增加二氧化硫、氮氧化物、烟尘灰渣等污染物的排放量。山东省空气污染较严重，二氧化硫和烟尘排放对新增装机有较大制约。全省 17 个地市基本都有大中型火电厂，各电厂锅炉排放的烟气是主要污染源之一。因此，新建电源点不但要达标排放，而且必须考虑山东省环境空气质量和区域污染物排放总量控制的实际情况，从而使得燃煤电厂选址越来越困难。而且对铁路运输的压力也愈来愈大。

在胶东半岛建设燃煤机组，必然对青岛、烟台、威海这些沿海开放城市的自然环境和海滨旅游风景构成威胁，该地区的环境将受到严重影响。

核电是一种技术成熟的清洁能源，温室气体接近零排放，不排放二氧化硫、烟尘、氮氧化物。以核电替代部分煤电，不但可以减少煤炭的开采、运输和燃烧总量，而且是电力工业减排污染物的有效途径，是减缓地球温室效应的重要措施，是优化能源结构的优先选择。正如《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划（2016-2030年）》（鲁发改能源[2017]418号）所言，核电既能满足能源需求，又是抑制日益增长的空气污染和温室气体排放的有效解决办法之一。

本工程2台CAP1400压水堆核电机组投产后（按年运行7000h计算），可减排SO₂11.43万吨/年、CO₂2106万吨/年。本工程的建设有利于山东省环境容量的改善及社会经济的可持续发展。

因此，发展核电对缓解日益加剧的环境污染和大气变暖具有积极意义。

5) 改善电源结构、合理电源布局，提高供电可靠性的需要

山东省电源结构单一，几乎没有可供发电的水力资源，若进一步发展火电又将受到煤炭供应、环境容量等条件的制约。另外，山东电源点主要集中在西南部和西部，对于经济发达、用电量增长较快、一次能源又严重短缺的胶东半岛，长距离输电不仅投资大，输送容量也受到限制。本工程所在山东石岛湾核电厂址是建设百万千瓦级核电站的优良厂址，在负荷中心建设核电机组，不仅使山东电源结构多样化，也使电网的电源布局更趋合理，可加强受端电网，使负荷中心得到有力支撑。同时，核电作为一种清洁、安全、经济可靠的能源，是对经济发达但常规资源相对缺乏的胶东半岛的很好的补充。根据《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划（2016-2030年）》（鲁发改能源[2017]418号），围绕打造国家东部沿海重要的核电基地，以高温气冷堆、AP1000压水堆、CAP1400大型先进压水堆示范和商业化应用为核心，安全稳妥推进核电建设。“十四五”~“十五五”期间，力争全面建成海阳、荣成核电基地，启动第三核电厂址建设，新增装机容量1795万千瓦。

综上所述，在胶东沿海地区建设核电站，符合我国在沿海缺少一次能源地区适当发展核电的方针政策，也符合全国核电发展的总体布局，同时也使山东省电源结构及电网布局更趋合理。因此，高效安全的发展核电已成为山东省必然的和最为现实的选择，也是改善电源结构、保持能源可持续发展的重要举措。

表 1.4-1 山东电力需求预测表

单位：亿 kWh、MW

| 项目 | 2020 年实际 | 2023 年 | 2025 年 |
|---------|----------|--------|--------|
| 全社会用电量 | 6940 | 7930 | 8600 |
| 全社会最大负荷 | 114400 | 133400 | 145400 |
| 项目 | 十四五递增 | 2028 年 | 2030 年 |
| 全社会用电量 | 4.4% | 9465 | 10000 |
| 全社会最大负荷 | 4.9% | 160709 | 171800 |
| 项目 | 十五五递增 | 2032 年 | 2035 年 |
| 全社会用电量 | 2.7% | 10425 | 11100 |
| 全社会最大负荷 | 2.9% | 179611 | 192005 |

表 1.4-2 山东电网电力平衡计算表

单位：MW

| 项目 | 2022 年 | 2025 年 | 2028 年 | 2030 年 | 2032 年 | 2035 年 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 一、山东省最大负荷 | 126996 | 145400 | 160709 | 171800 | 179611 | 192005 |
| 二、省内需要备用容量 | 15239 | 17448 | 19285 | 20616 | 21553 | 23041 |
| 三、需要装机容量 | 142235 | 162848 | 179994 | 192416 | 201164 | 215046 |
| 四、省内计划装机总容量 | 181278 | 214961 | 231111 | 252371 | 258372 | 268980 |
| 五、受阻容量 | 7400 | 7400 | 7400 | 7400 | 7400 | 7400 |
| 六、孤网不可用容量 | 5900 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 |
| 七、省内可用容量 | 111963 | 119662 | 128771 | 139691 | 147562 | 150516 |
| 八、省外来电 | 25500 | 37500 | 40500 | 42000 | 42000 | 47000 |
| 1、交流 | 7500 | 8000 | 8500 | 10000 | 10000 | 15000 |
| 2、宁东直流 | 4000 | 4000 | 4000 | 4000 | 4000 | 4000 |
| 3、昭沂直流 | 6500 | 9000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| 4、鲁固直流 | 7500 | 8500 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| 5、陇东直流 | | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 |
| 九、电力盈(+)/亏(-) | -4772 | -5686 | -10723 | -10725 | -11603 | -17530 |

表 1.4-3 烟威电网电力平衡计算表

单位：MW

| 项 目 | 2025 年 | 2028 年 | 2030 年 | 2032 年 | 2035 年 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 一、烟台网供最大负荷 | 10200 | 11950 | 13250 | 14130 | 15550 |
| 二、威海网供最大负荷 | 2930 | 3410 | 3770 | 4000 | 4360 |
| 三、与周边互供后网供最大负荷 | 13930 | 16160 | 17820 | 18930 | 20710 |
| 四、电网统调装机 | 20298 | 22698 | 31618 | 34018 | 42518 |
| 1、烟台电厂 | 590 | 590 | 1550 | 1550 | 1550 |
| 2、龙口电厂 | 1540 | 1540 | 2200 | 2200 | 2200 |
| 3、蓬莱国电 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 |
| 4、莱州电厂 | 4100 | 4100 | 4100 | 4100 | 4100 |
| 5、烟台八角电厂 | 1340 | 1340 | 1340 | 1340 | 1340 |
| 6、海阳核电 | 2500 | 2500 | 5000 | 5000 | 7500 |
| 7、中兴电力蓬莱电厂 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| 8、威海电厂 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| 10、石岛高温气冷堆 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 11、荣成燃机 | 468 | 468 | 468 | 468 | 1068 |
| 12、国核示范 | 3100 | 3100 | 3100 | 3100 | 3100 |
| 13、华能石岛湾压水堆 | 0 | 1200 | 4800 | 4800 | 4800 |
| 14、文登抽蓄 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 |
| 15、招远核电 | 0 | 1200 | 2400 | 4800 | 7200 |
| 16、红石顶核电 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2400 |
| 五、电力盈 (+) 亏 (-) | | | | | |
| 1、机组满发 | 6368 | 6538 | 13798 | 15088 | 21208 |
| 2、停一台最大机组 | 4818 | 4988 | 12248 | 13538 | 19658 |
| 3、正常 13% 备用 | 3729 | 3587 | 9688 | 10666 | 15759 |

1.5 建设项目的进度

本工程1号机组与2号机组开工时间间隔12个月。1号机组建设总工期从浇灌核岛第一罐混凝土至机组投入商业运行约56个月，2号机组建设总工期从浇灌核岛第一罐混凝土至机组投入商业运行约50个月。

1.6 环境影响报告书编制依据及主要法规、标准和导则

1.6.1 厂址所在区域规划

1) 国家、省、市级各项规划

- 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》
- 《核电安全规划（2011-2020）》
- 《核电中长期发展规划（2011-2020）》
- 《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及 2025 年远景目标》（国函[2017]29 号文批复）
- 《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020）》（中华人民共和国国务院）
- 《“十三五”国家科技创新规划》（国发[2016]43 号）
- 《“十三五”生态环境保护规划》（国发[2016]65 号）
- 《能源发展“十三五”规划》（发改能源[2016]2744 号）
- 《山东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》
- 《山东省“十四五”生态环境保护规划》（鲁政发[2021]12 号）
- 《山东省能源发展“十四五”规划》（鲁政字[2021]143 号）
- 《山东省新能源产业发展规划（2018-2028 年）》（鲁政字[2018]204 号）
- 《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划（2016-2030 年）》（鲁发改能源[2017]418 号）
- 《山东省主体功能区规划》（鲁政发[2013]3 号）
- 《山东省海洋主体功能区规划》（鲁政发[2017]22 号）
- 《山东省生态保护红线规划（2016-2020 年）》（鲁政字[2016]173 号文批复）

- 《威海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》（威政发[2021]1号）
 - 《威海市城市总体规划（2011-2020）》
 - 《威海市土地利用总体规划（2006-2020）》
 - 《荣成市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》
 - 《荣成市土地利用总体规划（2006-2020年）》
 - 《荣成市海域使用规划（2013-2020年）》
- 2) 国家、省、市级各项功能区划
- 《山东省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》（鲁政字[2020]269号）
 - 《山东省黄海海洋生态红线划定方案（2016-2020年）》（鲁政办字[2016]14号）
 - 《山东省海洋功能区划（2011-2020年）》（国函[2012]165号文批复）
 - 《山东省近岸海域环境功能区划（2016-2020）》（鲁政字[2016]109号文批复）
 - 《威海市人民政府关于印发威海市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（威政字[2021]24号）
 - 《威海市生态环境委员会办公室关于印发威海市生态环境准入清单的通知》（威环委办[2021]15号）
 - 《威海市海洋功能区划（2013-2020年）》（威政字[2015]28号）

1.6.2 遵循的主要法规、标准和导则以及专题报告

1) 主要法规、条例

- 《中华人民共和国环境保护法》（2015.01.01）
- 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018.12.29）
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003.10.01）
- 《中华人民共和国核安全法》（2018.01.01）
- 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018.10.26）
- 《中华人民共和国水污染防治法》（2018.01.01）

- 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2021.12.24 发布，2022.06.05 实施）
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020.09.01）
- 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2018.08.31）
- 《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017.11.05）
- 《中华人民共和国水土保持法》（2011.03.01）
- 《中华人民共和国土地管理法》（2019.08.26）
- 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017.10.01）
- 《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号，2010.01.01）
- 《放射性物品运输安全许可管理办法》（第二次修正版，2021.01.08）
- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021.01.01）
- 《近岸海域环境功能区管理办法》（国家环境保护总局令 第 8 号，1999）
- 《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002，2011.01.08）
- 《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101，1991）
- 《放射性废物安全监督规定》（HAF401，1997.11.05）
- 《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第 4 号，2019.01.01）
- 《山东省环境保护条例》（2018.11.30）
- 《山东省辐射污染防治条例》（2014.01.15）
- 《山东省核事故应急管理办法》（2012.10.01）
- 《山东省大气污染防治条例》（2018.11.30）
- 《山东省水污染防治条例》（2018.09.21）
- 《山东省环境噪声污染防治条例》（2018.01.23）
- 《山东省实施<中华人民共和国固体废物污染环境防治法>办法》（2018.01.23）
- 《山东省土壤污染防治条例》（2019.11.29）
- 《山东省海洋环境保护条例》（2018.11.30）
- 《山东省水土保持条例》（2014.05.30）
- 《山东省扬尘污染防治管理办法》（山东省人民政府令第 311 号，2018.01.24）

- 《威海市危险废物管理办法》(威海市人民代表大会常务委员会公告 第 61 号)
- 《威海市生活垃圾分类管理办法》(威政令 71 号)

2) 技术标准和导则

(1) 综合

- 《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ19-2022)

(2) 辐射

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)
- 《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》(GB11216-89)
- 《环境核辐射监测规定》(GB12379-90)
- 《核设施流出物监测的一般规定》(GB11217-89)
- 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)
- 《核电厂低、中水平放射性固体废物暂时贮存技术规定》(GB14589-93)
- 《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)
- 《核电厂应急计划与准备准则—应急计划区的划分》(GB/T17680.1-2008)
- 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》(HJ808-2016)
- 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》(HAD101/02, 1987.11.20)
- 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》(HAD101/03, 1987.11.20)
- 《核电厂厂址选择的外部人为事件》(HAD101/04, 1989.11.28)
- 《核电厂厂址选择的放射性物质水力弥散问题》(HAD101/05, 1991.04.26)
- 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》(HAD101/06, 1991.04.26)
- 《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》(HAD101/09, 1990.05.19)
- 《核电厂厂址选择的极端气象事件》(HAD101/10, 1991.04.26)

- 《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11，1991.04.26）
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01，2019）
- （3）大气
 - 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）
 - 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）
 - 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）
- （4）水
 - 《海水水质标准》（GB3097-1997）
 - 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）
 - 《海水冷却水排放要求》（GB/T39361-2020）
 - 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）及修改单（环发[1999]285 号）
 - 《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）
 - 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）及修改单（原国家环保总局公告 2006 年 第 21 号）
 - 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）
 - 《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）
 - 《近岸海域环境监测技术规范》系列（HJ442-2020）
- （5）噪声与振动
 - 《声环境质量标准》（GB3096-2008）
 - 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）
 - 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）
 - 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）
 - 《城市区域环境振动标准》（GB10070-1988）
 - 《城市区域环境振动测量方法》（GB10071-1988）
- （6）固废
 - 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）
 - 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001，环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单）
- （7）电磁

- 《高压交流架空线路无线电干扰限值》（GB15707-1995）
- 《辐射环境保护管理导则-电磁辐射环境影响评价方法与标准》（HJ/T10.3-1996）
- 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）
- 《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2020）

(8) 其它

- 《水土保持监测技术规程》（SL277-2002）
- 《建设项目海域使用动态及海洋环境影响跟踪监测技术规程》（DB37/T2335-2013）
- 《核电厂施工期环境监测技术规范》（DB37/T3547-2019）

3) 专题报告

- 中核第四研究设计工程有限公司编制的《国核压水堆示范工程环境资料调查专题报告》（2021.08）
- 中国辐射防护研究院编制的《华能山东石岛湾核电厂扩建工程陆生生态调查专题报告》（2021.10）
- 自然资源部第三海洋研究所编制的《华能山东石岛湾核电厂厂址邻近海域水生生态（含海洋环境放射性本底）调查总报告》（2021.11）
- 自然资源部第三海洋研究所编制的《华能石岛湾核电厂厂址邻近海域渔业资源调查专题成果报告》（2021.11）
- 北京大学科技开发部编制的《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程大气扩散试验研究报告》（2008.03）
- 中国辐射防护研究院编制的《国核压水堆示范工程大气扩散试验研究专题报告》（2012.06）
- 中国辐射防护研究院编制的《国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题报告（中间成果）》（2021.12）
- 国辐环保科技有限公司编制的《国核压水堆示范工程电磁环境本底调查专题报告》（2021.11）
- 山东省水利勘测设计院编制的《国核压水堆示范工程水土保持方案报告书》（2012）
- 中国水利水电科学研究院编制的《国核压水堆示范工程可行性研究石岛

湾核电厂址温排水及低放废水排放研究综合分析报告》（2011.07）

- 中国水利水电科学研究院编制的《华能石岛湾核电扩建工程温排水及液态流出物中间成果报告》（2021.12）
- 中国水利水电科学研究院编制的《华能山东石岛湾核电厂温排水模拟研究综合分析报告》（2022.05）
- 日照市环境保护科学研究所有限公司编制的《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程海域使用论证报告书》（2018.07）
- 国家海洋局第一海洋研究所编制的《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程海域使用论证报告》（2017.06）
- 中国科学院海洋研究所编制的《石岛湾核电厂址周边海岛调查及核电厂对海岛影响报告书》（2013.11）

4) 气象观测及环境监测报告

- 国核示范电站有限责任公司编制的《气象观测年报》（2019 年、2020 年）
- 山东石岛湾厂址环境辐射监测系统运行期间的辐射环境监测成果文件（2018 年-2021 年）
- 施工期陆域环境监测成果文件（2014 年-2021 年）
- 国家海洋局烟台海洋环境监测中心站编制的《大型先进水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程海洋环境本底监测评价报告》（2020 秋季、2021 年春、夏季）
- 《生产建设项目水土保持监测季度报告表》（2014 年-2021 年）

1.6.3 许可文件和批准文件

1) 许可文件

- 国家发展改革委办公厅《关于同意大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程开展前期工作的复函》（发改办能源[2013]583 号）
- 原国土资源部《关于大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程用地预审意见的复函》（国土资预审字[2014]14 号）
- 《自然资源部办公厅关于华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程项目用海的函》（自然资办函[2020]1087 号）

- 荣成市人民政府《荣成市人民政府关于同意在国核示范电站 CAP1400 示范工程场址周围设置非居住区的批复》（荣政字[2013]55 号）
- 山东省人民政府《山东省人民政府关于设置荣成石岛湾大型先进压水堆核电站规划限制区的批复》（鲁政字[2013]101 号）
- 原山东省环境保护厅《山东省环境保护厅关于同意调整大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程近岸海域环境功能区划的复函》（鲁环发[2014]70 号）
- 山东省生态环境厅《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》（鲁环函[2021]69 号）
- 水利部《水利部关于国核压水堆示范工程水土保持方案的批复》（水保函[2013]118 号）
- 电力规划设计总院《关于国核压水堆示范工程初步可行性研究报告的审查意见》（电规发电[2009]400 号）
- 电力规划设计总院《关于大型先进压水堆（CAP1400）示范工程可行性研究报告的审查意见》（电规发电[2014]952 号）
- 原山东省国土资源厅《关于荣成市石岛湾国核压水堆示范工程建设用地压覆矿产资源情况的函》（鲁国土资字[2010]1294 号）
- 山东省文物局《关于国核压水堆示范工程选址的意见》（鲁文物[2010]176 号）
- 威海市民用航空管理局《关于<关于请求确认石岛湾核电厂址周围无民航航线的函>的复函》（威民航函[2013]1 号）
- 威海国际机场集团有限公司《关于<华能山东石岛湾核电有限公司关于申请更改高温气冷堆核电示范工程厂址附近机场等待程序位置的函>的复函》
- 原荣成市环境保护局《关于国核示范电站有限责任公司大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响评价执行标准的函》

2) 批准文件

- 原环境保护部《关于大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（选址阶段）的批复》（环审[2014]146 号）
- 原环境保护部《关于大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工

程环境影响报告书（建造阶段）的批复》（环审[2019]48号）

- 山东省海洋与渔业厅《山东省海洋与渔业厅关于华能山东石岛湾核电厂大件设备运输码头工程海洋环境影响报告书的核准意见》（鲁海渔函[2013]75号）
- 原荣成市环境保护局石岛分局对华能山东石岛湾核电厂大件设备运输码头工程的环评文件批复文号：荣石审报告表[2015]005号；竣工环保验收批复文号：荣石环验[2016]004号
- 山东省生态环境厅《山东省生态环境厅关于国网山东省电力公司国核示范500千伏送出工程环境影响报告书的批复》（鲁环审[2021]2号）
- 原威海市环境保护局《大型先进压水堆核电站重大专项CAP1400示范工程220kV辅助电源线路工程项目环境影响报告审批意见》（威环辐表审[2016]2号）
- 威海市生态环境局对国核示范电站有限责任公司放射源库及电离辐射计量实验室的环评文件批复文号：威环辐表审[2021]1号

1.6.4 “三线一单”符合性

根据《关于印发<“十三五”环境影响评价改革实施方案>的通知》（环评[2016]95号）的要求，需要“在项目环评中建立‘三线一单’约束机制，强化准入管理”，其中“三线一单”是指生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单。对于生态保护红线，应按照中共中央办公厅及国务院办公厅印发的《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》执行。

1) 黄海海洋生态红线

根据《山东省黄海海洋生态红线划定方案(2016-2020年)》(鲁政办字[2016]14号)描述，山东石岛湾核电厂址周边海域共有5处海洋生态红线，分别为：

(1) 楮岛滨海旅游限制区（编号37-Xj11），类别为限制开发区，类型为重要滨海旅游区，地理位置四至：122°30'20.34"--122°34'58.05"E；36°59'46.63"--37°3'21.04"N，面积29.62km²，岸线长度28.13km。生态保护目标：海岛生态系统、威海桑沟湾魁蚶、荣成鼠尾藻、大叶藻种质资源。管控措施：禁止从事可能改变或影响滨海旅游的开发建设活动。严格控制岸线附近的景区建设工程；严格控制占用岸线、沙滩和沿海防护林。保持岸线形态、长度和邻近海域

底加强渔业资源养护，控制捕捞强度。保护生物多样性。环境保护要求：海水水质不劣于二类水质标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。

(2) 楮岛藻类渔业海域限制区(编号37-Xe07)，类别为限制开发区，类型为重要渔业海域，地理位置四至：122°33'15.01"--122°34'58.05"E；37°2'40.04"--37°3'49.36"N，面积5.45km²，不靠岸。生态保护目标：荣成鼠尾藻、大叶藻种质资源。管控措施：按照《水产种质资源保护区管理暂行办法》进行管理。禁止围填海、截断洄游通道、水下爆破和施工等开发活动，加强渔业资源养护，控制捕捞强度，保护生物多样性。环境保护要求：加强海域污染防治和监测，保护海洋自然环境。海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。

(3) 石岛南海村滨海旅游限制区(编号37-Xj12)，类别为限制开发区，类型为重要滨海旅游区，地理位置四至：122°28'41.22"--122°31'4.54"E；36°55'19.38"--36°56'45.72"N，面积2.32km²，岸线长度6.53km。生态保护目标：自然景观、海岸线。管控措施：禁止从事可能改变或影响滨海旅游的开发建设活动。严格控制岸线附近的景区建设工程；保障休闲娱乐、海上旅游等用海需求。不得破坏自然景观，严格控制占用岸线、沙滩和沿海防护林。环境保护要求：妥善处理生活垃圾。本海域海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。

(4) 黑石岛海岛限制区(编号37-Xf02)，类别为限制开发区，类型为特殊保护海岛，地理位置四至：122°33'40.52"--122°34'31.8"E；36°57'36.45"--36°58'16.29"N，面积1.46km²，不靠岸。生态保护目标：领海基点、海岛自然生态系统。管控措施：黑石岛岛体进行特殊保护，禁止在领海基点保护范围内从事建设活动以及其他可能改变该区域地形、地貌的活动。禁止炸礁、围填海、填海连岛、采挖海砂等可能造成海岛生态系统破坏及自然地形、地貌改变的活动。环境保护要求：保护区周边海域环境杜绝可能影响本海域的各种污染，保持海岛原生海洋生态系统。海水水质不劣于二类标准、海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。

(5) 镆鄞岛海岛限制区(编号37-Xf03)，类别为限制开发区，类型为特殊保护海岛，地理位置四至：122°28'58.04"--122°32'51.81"E；36°52'54.64"--36°56'49.17"N，面积17.87km²，不靠岸。生态保护目标：领海基点、

海岛自然生态系统。管控措施：镆铳岛领海基点附近区域和黑石岛岛体进行特殊保护，禁止在领海基点保护范围内从事建设活动以及其他可能改变该区域地形、地貌的活动。禁止炸礁、围填海、填海连岛、采挖海砂等可能造成海岛生态系统破坏及自然地形、地貌改变的活动。可适度进行岛陆交通基础设施建设。环境保护要求：保护区周边海域环境杜绝可能影响本海域的各种污染，保持海岛原生海洋生态系统。海水水质不劣于二类标准、海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。

2020年之后的山东省黄海海洋生态红线划定方案尚未正式发布。

2) 威海市“三线一单”生态环境分区

根据《威海市人民政府关于印发威海市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（威政字[2021]24号）描述，山东石岛湾核电厂址所在宁津街道位于陆域一般管控单元范围内。一般管控单元执行区域生态环境保护的基本要求，合理控制开发强度。

厂址半径 5km 范围内不涉及生态红线。厂址周边区域的生态红线主要有山东荣成大天鹅国家级自然保护区（八河片区）以及位于桃园街道、斥山街道、港湾街道等区域的生态红线（如赤山省级风景名胜区等）。

威海市大气环境质量底线为PM_{2.5}浓度达到0.015~0.025mg/m³；威海市近岸海域环境质量底线与《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》（鲁环函[2021]69号）要求一致，具体见1.7.2节描述。

根据环境现状监测结果（见第三章），本项目周边区域的环境质量基本满足各自的区划要求，本项目的建设运行特点及环境影响预测结果（参见第六章）也表明其不会对当地环境质量产生影响。

根据《产业结构调整指导目录》（2019年）中“六、核能”的“3 核电站建设”，本项目属于鼓励类项目。根据《威海市生态环境委员会办公室关于印发威海市生态环境准入清单的通知》（威环委办[2021]15号）描述，山东石岛湾核电厂址所在宁津街道（编码ZH37108230005）陆域一般管控单元的生态环境准入要求如下：

1) 空间布局约束要求：（1）生态保护红线内原则上按禁止开发区域的要求进行管理，严禁不符合主体功能定位的各类开发活动，严禁任意改变土地用途。

（2）一般生态空间内原则上按照限制开发区域管理。（3）新（改、扩）建涉气

工业项目，在满足产业准入、总量控制、排放标准等管理制度要求的前提下，应大力推进项目进园、集约高效发展。

2) 污染物排放管控要求：(1) 严格执行山东省《区域性大气污染物综合排放标准》排放要求，SO₂、NO_x、烟粉尘、VOCs排放量不得超过区域允许排放量。全面加强VOCs污染管控。加大秸秆禁烧管控力度。(2) 落实普适性水环境治理要求，加强污染预防，保证水环境质量不降低。

3) 环境风险防控要求：当预测到区域将出现重污染天气时，根据预警发布，按级别启动应急响应措施。

4) 资源利用效率要求如下：(1) 推进冬季清洁取暖，实现清洁能源逐步替代散煤。严防散煤复烧，对已整体完成清洁取暖改造并稳定运行的地区，依法划定为禁燃区。对暂未实施清洁取暖的地区，确保使用的散煤质量符合标准要求。

(2) 强化水资源消耗总量和强度双控行动，实行最严格的水资源管理制度。鼓励和支持使用雨水、再生水、海水等非常规水，并纳入水资源统一配置，优化用水结构。

本工程厂区以及进场道路、应急道路不涉及生态红线；本工程正常运行期间不涉及SO₂、NO_x、烟粉尘、VOCs排放；本项目的建设运行特点及环境影响预测结果(参见第六章)表明温排水环境影响符合威海市近岸海域环境质量底线要求；本工程属于清洁能源。本工程满足《威海市生态环境委员会办公室关于印发威海市生态环境准入清单的通知》(威环委办[2021]15号)提出的生态环境准入要求

综上所述，本工程符合威海市“三线一单”管理要求。

1.7 评价标准

1.7.1 辐射环境影响评价标准

本报告正常运行工况和事故条件下的剂量评价标准，遵循国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)有关规定。

本报告中在正常运行状态的剂量约束值以及放射性物质环境排放控制值这两部分内容的评价中将按照 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组和本项目 2 台 CAP1400 压水堆核电机组来考虑。

1) 运行状态下的剂量约束值

运行状态下的剂量约束值，遵循国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》

(GB6249-2011) 的规定:

— 任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量, 每年必须小于 0.25mSv 的剂量约束值。

山东石岛湾核电厂址除了本工程以外, 高温气冷堆已处于调试过程中, 整个厂址按照 0.25mSv 的剂量约束值来控制。

根据苏州热工研究院有限公司编制的《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程环境影响报告书(运行阶段)》, 200MWe 高温气冷堆核电机组已确定的正常运行期间的剂量约束值为: 对公众中任何个人造成的年有效剂量小于 0.01mSv。

因此, 考虑了高温堆剂量约束值, 并考虑为石岛湾厂址后续工程留有余量, 本工程 2 台 CAP1400 机组在运行状态下的剂量约束值为 0.08mSv。

2) 事故工况下的辐射防护要求

对于事故环境影响的评价标准, 《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011) 规定:

核动力厂事故工况的环境影响评价可采用设计基准事故, 在设计中应采取针对性措施, 使设计基准事故的潜在照射后果符合下列要求:

— 在发生一次稀有事故时, 非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下, 甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下。

— 在发生一次极限事故时, 非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下, 甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

3) 运行状态下的流出物浓度限值

《核动力厂环境辐射防护规定》(GB 6249-2011) 规定: 对于滨海厂址, 槽式排放出口处的流出物中除氚和碳 14 外其他放射性核素浓度不应超过 1000Bq/L。

4) 运行状态下的放射性物质排放控制值

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011) 明确给出了核电厂在正常运行工况下放射性物质排放控制值, 即同一厂址所有核电厂气载流出物和液态流出物的年排放量。根据本报告采用的 CAP1400 压水堆核电机组放射性源项, 有关正常运行工况下气载流出物和液态流出物的设计排放量见表 1.7-1。

由表 1.7-1 可见，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组流出物排放量满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）第 6.2~6.5 条款的规定。而山东石岛湾核电厂址按照已核准的 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组，再加上本项目 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，气载流出物和液态流出物的年排放量也满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）第 6.2~6.5 条款的规定。

因此，山东石岛湾核电厂址在目前已核准 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组的基础上，再建 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，该厂址的流出物排放基本符合国家标准的要求，同时也为后续核电机组的扩建留有一定的空间。

5) 流出物年排放申请值

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）6.5 条款规定，营运单位应针对核动力厂厂址的环境特征及放射性废物处理工艺技术水平，遵循可合理达到的尽量低的原则，向审管部门定期申请或复核（首次装料前提出申请，以后每隔 5 年复核一次）流出物排放量。申请的流出物排放量不得高于流出物排放量设计目标值，并经审管部门批准后实施。

由于本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组为世界首堆，目前尚无参考机组可供参照，其流出物排放量申请值暂按其排放量设计目标值执行。待本工程运行满 5 年后，根据 2 台 CAP1400 压水堆核电机组运行期间的排放量监测结果重新提交流出物排放量申请值。

6) 海水放射性核素浓度

《海水水质标准》（GB3097-1997）对海水放射性核素浓度的规定如下：

- ^{60}Co : 0.03Bq/L;
- ^{90}Sr : 4Bq/L;
- ^{106}Ru : 0.2Bq/L;
- ^{134}Cs : 0.6Bq/L;
- ^{137}Cs : 0.7Bq/L。

1.7.2 非辐射环境影响评价标准

1) 海洋功能区划、近岸海域环境功能区划与海水水质标准

(1) 海洋功能区划

根据《山东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（国函[2012]165 号文批复），

山东石岛湾核电厂址以东附近海域划定为荣成宁津工业与城镇建设用海区（面积 12.88km²，代码 A3-17）与荣成宁津保留区（面积 14.65km²，代码 A8-12）。荣成宁津工业与城镇建设用海区（代码 A3-17）的海域范围为 122°31'12.36"~122°31'30.49"、36°56'46.99"~36°59'46.76"，基本功能为工业和城镇用海，开发利用期内执行不低于三类海水水质标准，可以容纳人为温升不超过 4℃的废水。荣成宁津保留区（代码 A8-12）的海域范围为 122°33'30.44"~122°35'15.89"、36°56'42.75"~36°59'46.63"，基本功能需通过科学论证确定，未确定用途前保持现有海洋环境与水质标准。

荣成宁津工业与城镇建设用海区（代码 A3-17）与荣成宁津保留区（代码 A8-12）外侧为桑沟湾-镆铳岛近岸农渔业区（代号为 A1-21）。此外，南侧 A3-18 处对应的海洋功能区类型为工业与城镇用海区。

《威海市海洋功能区划（2013-2020 年）》和《荣成市海域使用规划（2013-2020）》与《山东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（国函[2012]165 号文批复）规定的厂址附近海域海洋功能区划要求一致。

山东省国土空间规划以及 2020 年之后的山东省海洋功能区划尚未正式发布。

（2）近岸海域环境功能区划

根据《山东省环境保护厅关于同意调整大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程近岸海域环境功能区划的复函》（鲁环发[2014]70 号），调整后的海洋功能区划及海水水质如下：

（i）本工程附近 A1-A4 坐标点连线之内、面积为 3.51km² 的海域调整为混合区，坐标点的经纬度分别是：

A1 点（E122°33'07.69"，N36°59'00.00"）；

A2 点（E122°34'00.00"，N36°59'00.00"）；

A3 点（E122°34'00.00"，N36°57'46.68"）；

A4 点（E122°33'07.69"，N36°57'46.68"）。

（ii）本工程附近混合区外、B1-B6 点与岸线围成的面积为 36.91km² 的海域调整为三类环境功能区，坐标点的经纬度分别是：

B1 点（E122°31'54.46"，N36°59'42.14"）；

B2 点（E122°33'10.96"，N37°00'40.59"）；

B3 点（E122°35'15.89"，N37°00'40.59"）；

B4 点 (E122 35'15.89", N36 56'42.75") ;

B5 点 (E122 33'25.29", N36 55'43.53") ;

B6 点 (E122 31'12.36", N36 57'04.72") 。

(iii) 其它为二类功能区不变,海水水质执行不低于二类的海水水质标准。

对于 A1-A4 围成的混合区,除温度指标外,其他项目的水质保护目标为三类海水水质标准;B1-B6 点与岸线围成的三类环境功能区相应的水质保护目标为三类海水水质标准;三类环境功能区以外海域为二类功能区,相应的水质保护目标为二类海水水质标准。

山东省生态环境厅于 2021 年 6 月 1 日以《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》(鲁环函[2021]69 号)回函,同意 A1 (E122 33'07.69", N36 59'00.00")、A2 (E122 34'00.00", N36 59'00.00")、A3 (E122 34'00.00", N36 57'46.68")、A4 (E122 33'07.69", N36 57'46.68") 四点连线围成的混合区不设置水质管控目标;B1 点 (E122 31'54.46", N36 59'42.14")、B2 点 (E122 33'10.96", N37 00'40.59")、B3 点 (E122 35'15.89", N37 00'40.59")、B4 点 (E122 35'15.89", N36 56'42.75")、B5 点 (E122 33'25.29", N36 55'43.53")、B6 点 (E122 31'12.36", N36 57'04.72") 六点连线围成的三类环境功能区执行三类海水水质标准。《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》(鲁环函[2021]69 号)提及的混合区和三类环境功能区范围与《山东省环境保护厅关于同意调整大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程近岸海域环境功能区划的复函》(鲁环发[2014]70 号)提及的混合区和三类环境功能区范围一致。

(3) 海水水质标准

《近岸海域环境功能区管理办法》(原国家环境保护总局令第 8 号, 1999) 第九条规定:对入海河流河口、陆源直排口和污水排海工程排放口附近的近岸海域,可确定为混合区。

《海水水质标准》(GB3097-1997)对海水温升的要求如下:

— 一类、二类海水水质:人为造成的海水温升夏季不超过当时当地 1℃,其他季节不超过 2℃;

— 三类、四类海水水质:人为造成的海水温升不超过当时当地 4℃。

(4) 地表水水质标准

地表水环境执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) IV 类标准。

2) 海水冷却水、生产废水和生活污水排放

本工程建造期间，生产废水和生活污水尽可能回用，无法回用时按照《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）一级标准处理达标后排放，主要项目的控制值为：

悬浮物：20mg/L； BOD₅ ： 10mg/L； COD_{Cr} ： 50mg/L；

氨氮 ： 5mg/L pH ： 6-9； 色度 ： 30 倍；

石油类： 3mg/L； 动植物油： 3mg/L； 阴离子表面活性剂(LAS)： 3mg/L；

总铜 ： 0.5mg/L； 总锌 ： 2.0mg/L。

2018 年前，生产废水和生活污水按照《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35 号）一级标准处理达标后排放，主要项目的控制值为：

悬浮物：20mg/L； BOD₅ ： 10mg/L； COD_{Cr} ： 50mg/L；

氨氮 ： 5mg/L pH ： 6-9； 色度 ： 30 倍；

石油类： 3mg/L； 动植物油： 3mg/L； 阴离子表面活性剂(LAS)： 3mg/L；

总铜 ： 0.5mg/L； 总锌 ： 2.0mg/L； 总锰 ： 2.0mg/L。

本工程运行期间，海水冷却水排放执行《海水冷却水排放要求》（GB/T39361-2020）标准，生活污水回用执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）标准，生产废水以及无法回用的生活污水按照《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）一级标准处理达标后排放。

3) 噪声环境

本工程建造期间，厂界环境噪声限值执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。

— 昼间： 70dB；

— 夜间： 55dB。

本工程运行期间，厂界环境噪声限值执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准。

— 昼间： 60dB；

— 夜间： 50dB。

厂址周边区域声环境功能区的环境噪声限值执行《声环境质量标准》

(GB3096-2008) 2 类标准。

- 昼间：60dB；
- 夜间：50dB。

4) 大气环境

本工程建设和运行期间，大气环境执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二级浓度限值。

- SO₂ : 0.06mg/m³（年平均）、0.15mg/m³（24h 平均）、0.50mg/m³（1h 平均）；
- NO₂ : 0.04mg/m³（年平均）、0.08mg/m³（24h 平均）、0.20mg/m³（1h 平均）；
- CO : 4mg/m³（24h 平均）、10mg/m³（1h 平均）；
- O₃ : 0.16mg/m³（日最大 8h 平均）、0.20mg/m³（1h 平均）；
- PM₁₀ : 0.07mg/m³（年平均）、0.15mg/m³（24h 平均）；
- PM_{2.5} : 0.035mg/m³（年平均）、0.075mg/m³（24h 平均）。

根据《威海市人民政府关于印发威海市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（威政字[2021]24 号），2025 年 PM_{2.5} 浓度限值执行威海市大气环境质量底线 0.025mg/m³。

本工程建设和运行期间，常规大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 无组织排放监控浓度限值。

- SO₂ : 0.4mg/m³；
- NO_x : 0.12mg/m³；
- PM₁₀ : 1.0mg/m³。

本工程运行期间无常规大气污染物排放。

5) 固体废物

本工程建设和运行期间，危险废物处置执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001, 环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单)，一般工业废物处置执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)。

6) 电磁辐射环境

本工程运行期间，电磁辐射环境执行《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 的相关限值：

- 工频电场强度限值：4kV/m；
- 工频磁感应强度限值：0.1mT。

表 1.7-1 山东石岛湾核电厂正常运行工况下的排放量

单位：Bq/a

| 项目 | 设计值 | 气载流出物 | | | | 液态流出物 | | |
|--|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 惰性气体 | 碘 | 粒子 (T _{1/2} ≥8d) | 碳 14 | 氚 | 氚 | 碳 14 |
| 单台 200MWe 高温气冷堆核电机组 ^[1] | 9.92E+12 | 2.65E+09 | 2.34E+06 | 2E+11 | 2E+12 | 5.6E+12 | - | 1.89E+08 |
| 单台 CAP1400 压水堆核电机组 | 1.30E+14 | 1.02E+10 | 1.65E+10 | 4.51E+11 | 5.25E+12 | 4.72E+13 | 5.01E+10 | 1.44E+10 |
| 合计： (1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组以及 本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组) | 2.70E+14 | 2.31E+10 | 3.30E+10 | 1.10E+12 | 1.25E+13 | 1.00E+14 | 1.00E+11 | 2.90E+10 |
| 国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》 (GB6249-2011) 规定 | 2.40E+15 | 8.00E+10 | 2.00E+11 | 2.80E+12 | 6.00E+13 | 3.00E+14 | 6.00E+11 | 2.00E+11 |
| 占国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》 (GB6249-2011) 规定的比例 (%) | 11.25 | 28.81 | 16.50 | 39.36 | 20.83 | 33.33 | 16.70 | 14.49 |

注：[1]依据《关于高温气冷堆核电站示范工程环境影响报告数（运行阶段）的批复》（环审[2021]68 号）。

1.8 工程组成

本报告针对本工程建设、运行期间对外部环境的影响以及受到外部环境的影响进行评价。

本工程由主厂房群和厂区内与环境相关的重要辅助设施组成。主厂房群由反应堆厂房、辅助厂房、汽机厂房、附属厂房、柴油发电机厂房和放射性废物厂房等组成。厂区内与环境相关的重要辅助设施包括厂址废物处理设施、循环水泵房、循环水处理室、水处理厂、除盐水车间、海水淡化厂房、动力辅助厂房、放射性废物区、生产废水处理厂房、生活污水处理站、应急指挥中心、环境监测站等构成。

本工程配套设施包括进场及应急道路、500kV 及 220kV 输变电工程、大件码头和力能区。其中输变电工程的核电厂开关站和出线走廊的第一跨为本报告评价范围。

进场及应急道路已在《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（建造阶段）》开展环评工作。

对于位于同一厂址的华能所属大件码头和力能区等，国核示范电站有限责任公司已与华能达成一致，共用大件码头和力能区。本报告中不包括上述内容的环境影响预测、分析和评估。

本工程配套设施的输变电工程（除核电厂开关站和出线走廊的第一跨）、大件码头环评批复情况如下：

大件码头：华能石岛湾核电开发有限公司委托编制的《华能山东石岛湾核电厂大件设备运输码头工程海洋环境影响报告书》已经山东省海洋与渔业厅核准，批文为《山东省海洋与渔业厅关于华能山东石岛湾核电厂大件设备运输码头工程海洋环境影响报告书的核准意见》（鲁海渔函[2013]75号）；委托荣成市环境保护科学研究所有限公司编制的《华能山东石岛湾核电厂大件设备运输码头工程建设项目环境影响报告表》已经原荣成市环境保护局石岛分局批复，环评批文编号为荣石审报告表[2015]005号，并经原荣成市环境保护局石岛分局出具竣工环保验收意见，竣工环保验收批文编号为荣石环验[2016]004号。

输变电工程：国网山东省电力公司委托国电环境保护研究院有限公司编制的《国核示范 500 千伏送出工程环境影响报告书》已经山东省生态环境厅批复，批文为《山东省生态环境厅关于国网山东省电力公司国核示范 500 千伏送出工程环

境影响报告书的批复》（鲁环审[2021]2号）。国网山东省电力公司威海供电公司委托国核电力规划设计研究院有限公司编制的《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程 220kV 辅助电源线路工程项目环境影响报告表》已经原威海市环境保护局批复，批文为《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程 220kV 辅助电源线路工程项目环境影响报告审批意见》（威环辐表审[2016]2号）。

放射源库及计量实验室：《国核示范电站有限责任公司放射源库及电离辐射计量实验室项目环境影响报告表》已经威海市生态环境局批复，批文编号为威环辐表审[2021]1号。

此外，本工程施工场地 35kV 施工变电站属于环评豁免范围；本工程施工场地通信基站设施由运营商完成环评工作，厂区不设置专设通讯设施。

1.9 环境保护措施

为了尽可能减少核电厂运行过程中对环境的影响，本工程采取一系列的环境保护措施。

对于放射性污染物，本工程配置有放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性气体废物处理系统（WGS）、放射性固体废物处理系统（WSS）、乏燃料贮存系统、厂址废物处理设施（SRTF）。放射性液体废物处理系统（WLS）用于控制、收集、处理、输送、贮存和处置本工程正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，并可控制地向环境排放，放射性废液经处理后其放射性浓度和年排放总量符合国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。放射性气体废物处理系统（WGS）的主要功能是接收本工程正常运行以及预期运行事件期间产生的含氢气体和放射性气体，并对其进行处理和排放，放射性废气经处理后其年排放总量低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。放射性固体废物处理系统（WSS）用于收集和暂存本工程正常运行以及预期运行事件产生的废树脂、深床过滤器过滤介质、活性炭、废（水）过滤器滤芯、放射性干废物和混合固体废物。这些废物先收集暂存在辅助厂房和放射性废物厂房内，后送往厂址废物处理设施（SRTF）进一步处理和中间贮存。乏燃料贮存系统贮存设施包括乏燃料贮存水池和乏燃料贮存格架，反应堆换料时从堆芯卸出的乏燃料组件贮存在核岛辅助厂房的乏燃料贮存水池的乏燃料贮存格

架内，采用水下密集型布置方式。厂址废物处理设施（SRTF）是一个集中式放射性废物处理设施，位于 BOP 区域。它作为核岛三废处理系统的补充，提供完整、适宜的手段来处理核岛产生但无法直接处理的放射性废液与放射性固体废物，放射性废液在厂址废物处理设施（SRTF）内处理达标后送至厂区排放总管进行排放。放射性固体废物经厂址废物处理设施（SRTF）处理后采用统一包装容器进行包装，并送往厂址废物处理设施（SRTF）内的废物暂存库进行暂存。

此外，本工程配备有流出物监测设施和环境监测设施，监测方式包括在线连续监测和取样监测。

对于非放污染物，本工程采取了如下环保措施：生产废水经处理后达标，并与循环冷却水参混排放；生活污水由生活污水处理设施处理达标后回用，无法完全回用时排放。生活垃圾收集暂存并送到指定的垃圾场处理，危险废物存放于危险废物贮存设施内并定期委托有危险废物处置资质的专业单位进行回收处置。

本工程通过建立完善的核安全体系和核应急体系来确保工程的环境友好。

采取上述环境保护措施后，本工程所产生的各类污染物均能得到有效的控制，满足环保要求。

1.10 评价范围

辐射环境影响评价范围为以本工程 CAP1400 核电机组 1 号反应堆为中心，半径 80km 范围内的区域，包括气态和液态流出物排放对 80km 范围内公众的辐射影响。

非辐射环境影响评价范围如下：

- 大气

环境空气评价范围包括本工程厂区边界和厂址周边环境敏感点，其中本工程建造期间主要关注施工期废气无组织排放对厂区边界的影响。

- 海水

海水评价范围为排水温升 1℃ 以上影响区域范围及液态流出物排放后经稀释水质达标范围。重点考虑取排水口附近海域及相关功能区的管理要求，以及环境敏感目标的环保要求。

- 噪声

噪声评价范围为本工程厂区边界向外 200m 范围以及厂址周边环境敏感点。

- 电磁

电磁环境评价范围为本工程 220kV 开关站界外 40m 范围和架空线路边导线地面投影外两侧各 40m 范围，以及 500kV 开关站界外 50m 范围和架空线路边导线地面投影外两侧各 50m 范围。

- 生态环境

生态环境评价范围主要为核电厂陆上永久占地和临时施工占地范围和周边间接受影响的陆域，以及取排水工程范围和周边间接受影响的海域。

1.11 环境影响报告书批复的落实情况

1.11.1 选址阶段环境影响报告书批复的落实情况

2013 年 6 月 14 日，原环境保护部在北京组织召开了 2013 年原环境保护部（国家核安全局）核安全与环境专家委员会第四次部分委员会议，原环境保护部就《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（选址阶段）》审评情况进行了汇报，核安全与环境专家委员会委员对报告的审评意见和结论进行了审议，认为报告的审评意见和总体审评结论是合适的。同时提出如下建议：

“1）取排水方案及其温升影响：应在后续阶段进一步优化取排水方案，进一步开展冷却方式的研究。

2）场区应急管理：场区应急管理工作应统筹协调。建议业主方与场区内其他项目业主加强沟通，建立场区统一的应急指挥中心及管理协调机制。

3）环境监测：场区内所有设施应实施统一环境监测。建议业主方与场区内其他项目业主开展统一的环境监测（包括应急监测），并开展提高监测技术水平的研究。”

对核安全与环境专家委员会的建议应对如下：

1）取排水方案及其温升影响：已针对取排水方案进行优化，具体描述见本报告第六章。

2）场区应急管理：建设单位与华能山东石岛湾核电有限公司已经签署同一厂址应急协议，现阶段（华能高温气冷堆示范工程反应堆首次装料至本工程 CAP1400 压水堆核电机组 1 号反应堆装料前）由华能高温气冷堆示范工程统一指挥协调厂址核应急响应行动，建设单位负责本工程的核应急准备工作。目前建

设单位已经组织制定核事故应急撤离专项预案，完成场内核应急集合点、应急广播等建设，相关应急预案和设施已在华能高温气冷堆示范工程反应堆首次装料前综合演习和联合演习中得到了检验；同时与华能山东石岛湾核电有限公司建立日常应急工作协调，按计划开展应急设施设备检查维护、应急人员的应急培训工作，组织联合核应急演习，开展应急通讯测试等工作。

3) 环境监测：现阶段已建立统一的环境监测工作体系，环境监测站、气象观测站已投入使用，并于 2021 年 6 月通过华能高温气冷堆示范工程反应堆首次装料前检查，目前正按照大纲统一开展环境监测工作。

原环境保护部于 2014 年 6 月 17 日批复《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（选址阶段）》。

《关于大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（选址阶段）的批复》（环审[2014]146 号）提出的在工程设计阶段及今后一个时期应重点做好的工作如下：

“（一）项目建设应严格执行配套建设的环境保护措施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时制度”，积极协调推进山东省内中低放射性废物处置场的选址建设。

（二）加强场区应急管理和环境监测的统筹协调工作，建立场区统一的应急指挥、管理及协调机制，并开展统一的环境监测（包括应急监测）。

（三）如果厂址条件（如人口分布，附近的工业、运输和军事设施等）有较大变化，应及时向我部报告，并论证其对核电厂安全的影响。”

对选址阶段环评文件的批复要求应对如下：

1) 环境保护“三同时制度”以及山东省中低放射性废物处置场选址：建设单位严格执行环境保护“三同时制度”。根据国家工信部、生态环境部、财政部三部委联合召开的低中放废物处置场专题会议，在核电建设相对集中的五省（包括山东省）建设区域处置场。中电投山东核环保有限公司负责山东省低水平放射性固体废物处置场（国内五座区域性处置场之一，简称“山东处置场”）项目推进工作，该项目列入国家和省级相关规划，2020 年启动核准工作。2021 年 4 月 26 日，国家国防科技工业局于在山东省海阳市召开项目推进协调会议，山东省人民政府及相关政府部门和企业参加会议，会议要求各相关部门和单位要进一步统一思想认识，把山东处置场作为国家重点项目，加强协调配合，抓紧推进相关

工作。2021 年 11 月，该项目核准申请报告通过中国国际工程咨询有限公司组织的评估，计划 2021 年年底获得核准。

2) 场区应急管理和环境监测：见前文部分。

3) 厂址条件变化：见本报告第二章描述。

1.11.2 建造阶段环境影响报告书批复的落实情况

2016 年 2 月 25 日，原环境保护部在北京组织召开了 2016 年原环境保护部（国家核安全局）核安全与环境专家委员会第三次部分委员会议，原环境保护部就《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（建造阶段）》审评情况进行了汇报，核安全与环境专家委员会委员对报告的审评意见和结论进行了审议，认为报告的审评意见和对 CAP1400 示范工程建造许可证申请的审评结论是合适的。同时提出 5 条建议，其中环评相关建议如下：

“五、建议营运单位进一步开展放射性废液处理系统去污因子的验证研究工作。

六、建议营运单位积极推进 CAP1400 示范工程低中放固体废物处置场的选址建造工作。”

对核安全与环境专家委员会的建议应对如下：

1) 放射性废液处理系统去污因子试验验证：本工程放射性液体废物处理系统（WLS）设有过滤、化学絮凝、离子交换处理核岛产生的放射性废液，当发生 0.25%燃料包壳破损时，放射性液体废物处理系统（WLS）可将正常运行离子交换的下游串联投入 2 台离子交换混床进行废液处理，放射性液体废物处理系统（WLS）设计能力满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）标准要求。设计方通过科研开展了化学絮凝、离子交换组合工艺的冷/热态试验验证工作，验证了工艺去污效果。结果表明，针对核电厂不同运行阶段（换料停堆、正常运行等）的典型放射性废液，通过化学絮凝、离子交换组合工艺后出水活度浓度（除氡和 ^{14}C 外）都能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）排放要求。

2) 山东省中低放射性废物处置场建造：见前文部分。

原环境保护部于 2019 年 3 月 21 日批复《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（建造阶段）》。

《关于大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（建造阶段）的批复》（环审[2019]48 号）提出的在工程建造阶段及今后一个时期应重点做好的工作如下：

“（一）严格执行施工期间的环境影响评价标准，落实噪声、施工废水、扬尘污染等防治措施和固体废物处理措施，加强施工场地环境管理，尽可能减小施工活动可能造成的环境影响。

（二）进一步开展放射性废液处理系统去污因子的相关试验验证工作，确保符合设计要求。

（三）采取积极有效的措施，切实推动本地区中低放固体废物处置场的建设工作，满足废物长期处置需求。”

对建造阶段环评文件的批复要求应对如下：

1) 施工期环境管理：建设单位自 2014 年本工程施工准备期开始启动施工期环境管理工作，包括开展施工期陆域、海域监测，危险废物管理等措施，以达到严格执行施工环保要求及防治、处理措施，尽可能减小施工环境影响的目的。具体见第五章描述。

2) 放射性废液处理系统去污因子试验验证：见前文部分。

3) 山东省中低放射性废物处置场建造：见前文部分。

第二章 厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

本工程位于山东省威海市所辖荣成市宁津街道东南。西北距烟台市约 120km，西北距威海市约 68km，西北距荣成市约 23km，西南距山东海阳核电厂址约 105km。

本工程是在已核准的 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组的基础上，再建 2 台 CAP1400 压水堆核电机组。高温气冷堆核电站示范工程位于本工程的东北侧约 1.3km 处，目前高温气冷堆已经装料。两个示范工程之间的预留地主要考虑用于后续核电机组的扩建。

本工程地理位置图见图 2.1-1。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

2.1.2.1 厂址边界

图 2.1-2 给出了本工程陆域征地边界示意图。

本工程厂区总占地面积 97.6720ha（陆域征地面积）。工程陆域征地范围内，所占用的土地类别主要是农用地、建设用地和未利用地。

2.1.2.2 非居住区

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求，拟建核电厂周围应设置非居住区。

本工程非居住区边界范围为距工程 1、2 号机组核岛 16 个方位均为 800m 所构成的边界线。图 2.1-2 给出了本工程非居住区边界示意图。荣成市人民政府出具《荣成市人民政府关于同意在国核示范电站 CAP1400 示范工程场址周围设置非居住区的批复》（荣政字[2013]55 号），同意设置半径 800m（以反应堆为中心）的非居住区，对于非居住区内超出本工程征地范围的区域，由国核示范电站有限责任公司按照相关规定做好安全管理工作。对于超出征地边界的非居住区的管辖，国核示范电站有限责任公司将根据国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的规定，对这一区域行使有效的控制。在非居住区内不允许有常住居民居住，在不产生影响核电厂正常运行和危及居民健康与安全的前提下，

可以适当开展一定与核电厂运行无关的生产活动；在事故情况下，可以做出适当和有效的安排，管制交通，以保证工作人员和居民的安全，以及人员在 0-2 小时内的顺利撤离，同时，在制订应急计划时充分考虑可能在非居住区范围内的活动的人员。本工程非居住区范围内目前无常住居民，即不涉及居民搬迁。

2.1.2.3 规划限制区

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求，拟建核电厂非居住区周围应设置规划限制区。

本工程厂址规划限制区半径为 5km。图 2.1-3 给出了本工程厂址规划限制区边界示意图。山东省政府出具《山东省人民政府关于设置荣成石岛湾大型先进压水堆核电站规划限制区的批复》（鲁政字[2013]101 号），同意设置半径 5km（以反应堆为中心）的规划限制区，要求严格控制规划限制区内人口的机械增长进行控制，规划限制区内的新建和扩建的项目加以引导或限制。

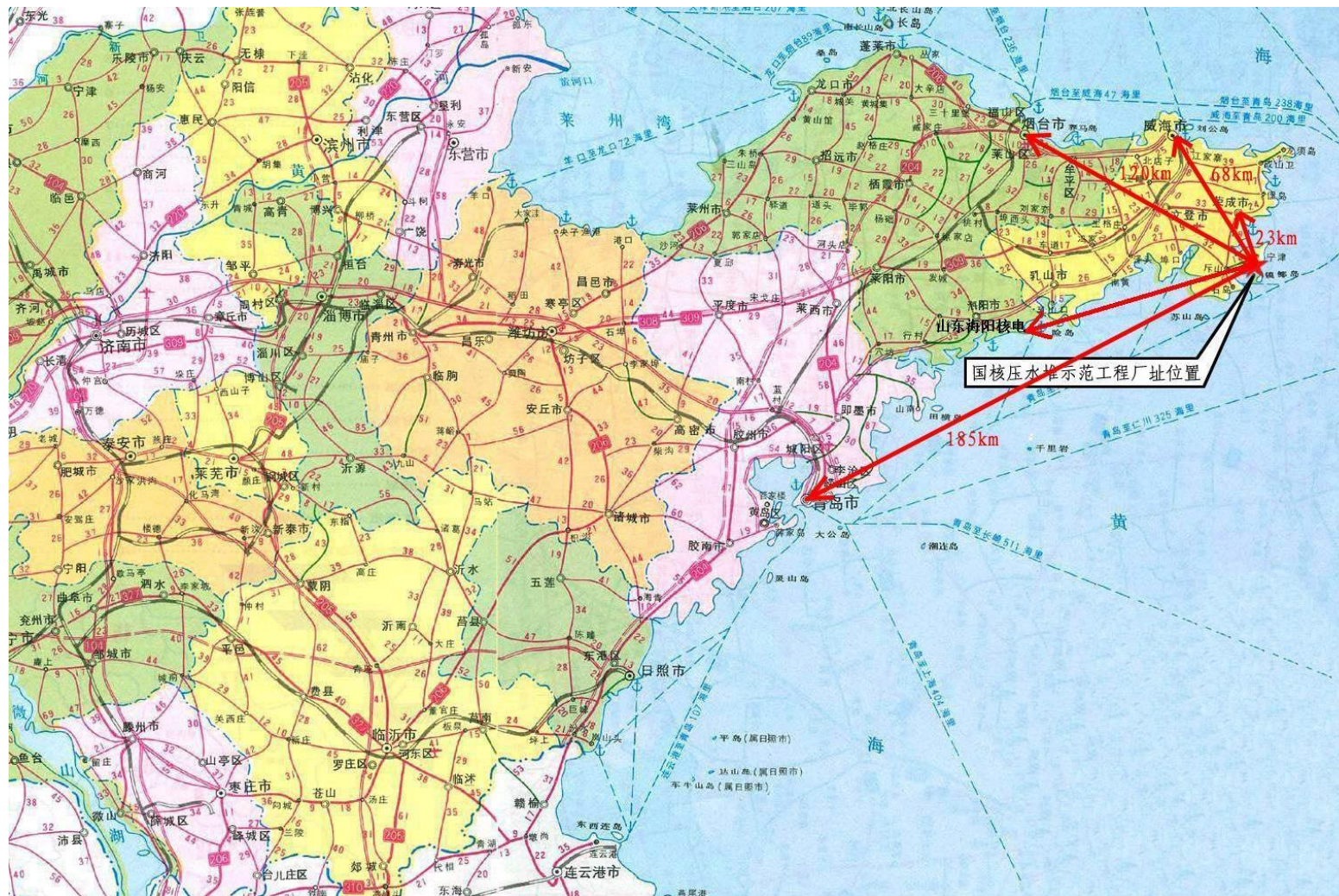
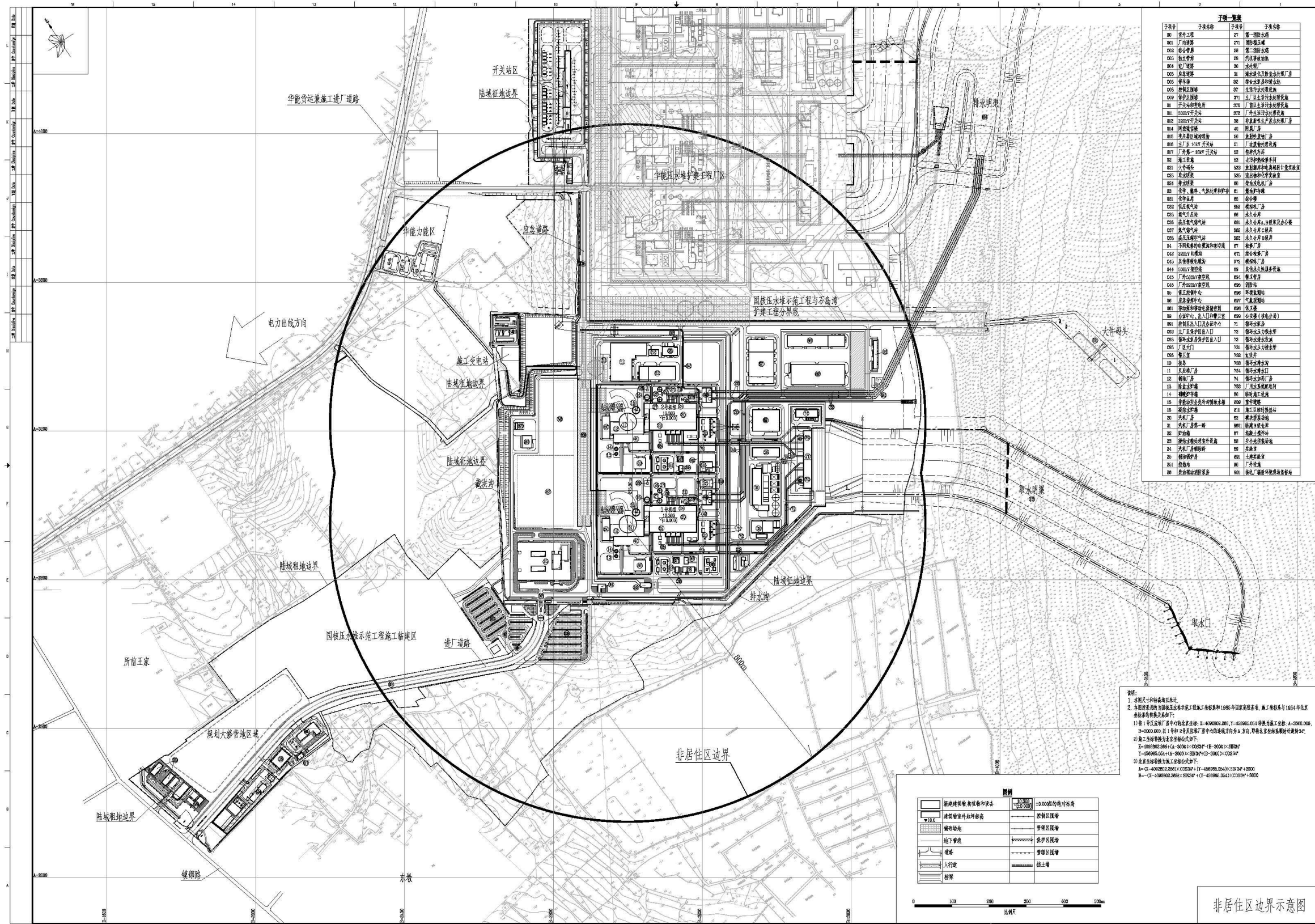
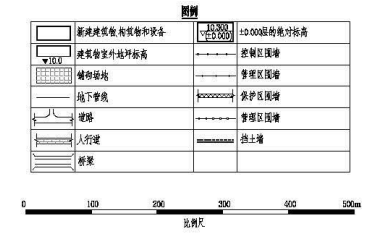


图 2.1-1 本工程厂址地理位置图



| 子项号 | 子项名称 | 子项号 | 子项名称 |
|-----|-------|-----|---------|
| 001 | 主体工程 | 27 | 第一类房屋 |
| 002 | 辅助工程 | 28 | 第二类房屋 |
| 003 | 公用工程 | 29 | 第三类房屋 |
| 004 | 环保工程 | 30 | 第四类房屋 |
| 005 | 储运工程 | 31 | 第五类房屋 |
| 006 | 给排水工程 | 32 | 第六类房屋 |
| 007 | 暖通工程 | 33 | 第七类房屋 |
| 008 | 电气工程 | 34 | 第八类房屋 |
| 009 | 弱电工程 | 35 | 第九类房屋 |
| 010 | 其他工程 | 36 | 第十类房屋 |
| 011 | 室外工程 | 37 | 第十一类房屋 |
| 012 | 构筑物 | 38 | 第十二类房屋 |
| 013 | 道路工程 | 39 | 第十三类房屋 |
| 014 | 桥梁工程 | 40 | 第十四类房屋 |
| 015 | 管架工程 | 41 | 第十五类房屋 |
| 016 | 其他构筑物 | 42 | 第十六类房屋 |
| 017 | 其他工程 | 43 | 第十七类房屋 |
| 018 | 其他工程 | 44 | 第十八类房屋 |
| 019 | 其他工程 | 45 | 第十九类房屋 |
| 020 | 其他工程 | 46 | 第二十类房屋 |
| 021 | 其他工程 | 47 | 第二十一类房屋 |
| 022 | 其他工程 | 48 | 第二十二类房屋 |
| 023 | 其他工程 | 49 | 第二十三类房屋 |
| 024 | 其他工程 | 50 | 第二十四类房屋 |
| 025 | 其他工程 | 51 | 第二十五类房屋 |
| 026 | 其他工程 | 52 | 第二十六类房屋 |
| 027 | 其他工程 | 53 | 第二十七类房屋 |
| 028 | 其他工程 | 54 | 第二十八类房屋 |
| 029 | 其他工程 | 55 | 第二十九类房屋 |
| 030 | 其他工程 | 56 | 第三十类房屋 |
| 031 | 其他工程 | 57 | 第三十一类房屋 |
| 032 | 其他工程 | 58 | 第三十二类房屋 |
| 033 | 其他工程 | 59 | 第三十三类房屋 |
| 034 | 其他工程 | 60 | 第三十四类房屋 |
| 035 | 其他工程 | 61 | 第三十五类房屋 |
| 036 | 其他工程 | 62 | 第三十六类房屋 |
| 037 | 其他工程 | 63 | 第三十七类房屋 |
| 038 | 其他工程 | 64 | 第三十八类房屋 |
| 039 | 其他工程 | 65 | 第三十九类房屋 |
| 040 | 其他工程 | 66 | 第四十类房屋 |
| 041 | 其他工程 | 67 | 第四十一类房屋 |
| 042 | 其他工程 | 68 | 第四十二类房屋 |
| 043 | 其他工程 | 69 | 第四十三类房屋 |
| 044 | 其他工程 | 70 | 第四十四类房屋 |
| 045 | 其他工程 | 71 | 第四十五类房屋 |
| 046 | 其他工程 | 72 | 第四十六类房屋 |
| 047 | 其他工程 | 73 | 第四十七类房屋 |
| 048 | 其他工程 | 74 | 第四十八类房屋 |
| 049 | 其他工程 | 75 | 第四十九类房屋 |
| 050 | 其他工程 | 76 | 第五十类房屋 |
| 051 | 其他工程 | 77 | 第五十一类房屋 |
| 052 | 其他工程 | 78 | 第五十二类房屋 |
| 053 | 其他工程 | 79 | 第五十三类房屋 |
| 054 | 其他工程 | 80 | 第五十四类房屋 |
| 055 | 其他工程 | 81 | 第五十五类房屋 |
| 056 | 其他工程 | 82 | 第五十六类房屋 |
| 057 | 其他工程 | 83 | 第五十七类房屋 |
| 058 | 其他工程 | 84 | 第五十八类房屋 |
| 059 | 其他工程 | 85 | 第五十九类房屋 |
| 060 | 其他工程 | 86 | 第六十类房屋 |
| 061 | 其他工程 | 87 | 第六十一类房屋 |
| 062 | 其他工程 | 88 | 第六十二类房屋 |
| 063 | 其他工程 | 89 | 第六十三类房屋 |
| 064 | 其他工程 | 90 | 第六十四类房屋 |
| 065 | 其他工程 | 91 | 第六十五类房屋 |
| 066 | 其他工程 | 92 | 第六十六类房屋 |
| 067 | 其他工程 | 93 | 第六十七类房屋 |
| 068 | 其他工程 | 94 | 第六十八类房屋 |
| 069 | 其他工程 | 95 | 第六十九类房屋 |
| 070 | 其他工程 | 96 | 第七十类房屋 |
| 071 | 其他工程 | 97 | 第七十一类房屋 |
| 072 | 其他工程 | 98 | 第七十二类房屋 |
| 073 | 其他工程 | 99 | 第七十三类房屋 |
| 074 | 其他工程 | 100 | 第七十四类房屋 |

说明:
 1. 本图尺寸和标高均以米计。
 2. 本图所标尺寸均指设计尺寸,施工过程中应按1:0.95比例进行放样,施工过程中应按1:0.94比例进行放样。
 3. 1号、2号、3号、4号、5号、6号、7号、8号、9号、10号、11号、12号、13号、14号、15号、16号、17号、18号、19号、20号、21号、22号、23号、24号、25号、26号、27号、28号、29号、30号、31号、32号、33号、34号、35号、36号、37号、38号、39号、40号、41号、42号、43号、44号、45号、46号、47号、48号、49号、50号、51号、52号、53号、54号、55号、56号、57号、58号、59号、60号、61号、62号、63号、64号、65号、66号、67号、68号、69号、70号、71号、72号、73号、74号、75号、76号、77号、78号、79号、80号、81号、82号、83号、84号、85号、86号、87号、88号、89号、90号、91号、92号、93号、94号、95号、96号、97号、98号、99号、100号。
 4. 本工程所有房屋均按《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001-2017)执行。
 5. 本工程所有房屋均按《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001-2017)执行。
 6. 本工程所有房屋均按《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001-2017)执行。
 7. 本工程所有房屋均按《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001-2017)执行。
 8. 本工程所有房屋均按《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001-2017)执行。
 9. 本工程所有房屋均按《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001-2017)执行。
 10. 本工程所有房屋均按《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001-2017)执行。



非居住区边界示意图

图 2.1-2 工程陆域征地边界及非居住区边界示意图

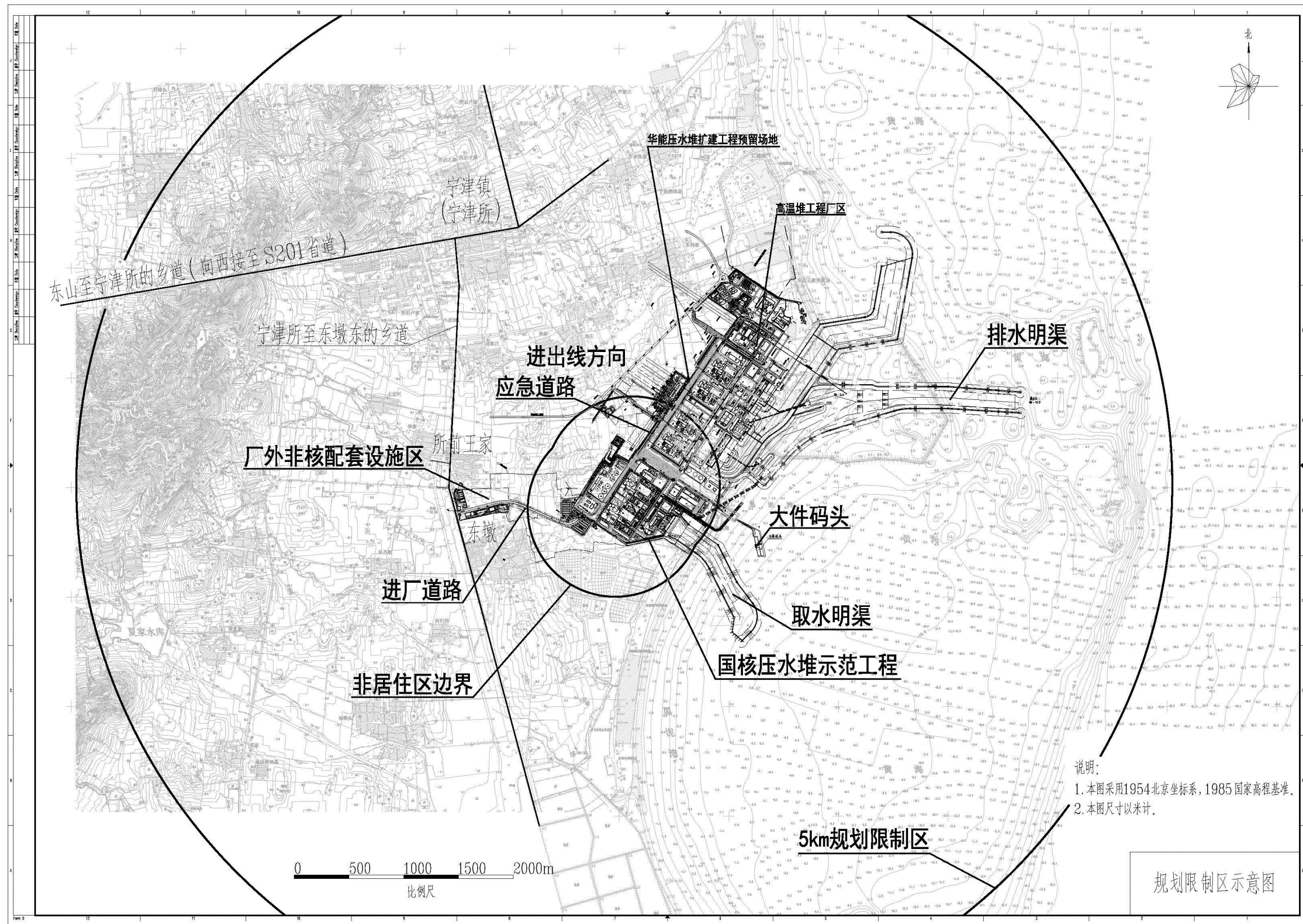


图 2.1-2 工程规划限制区边界示意图

2.2 人口分布与饮食习惯

本工程厂址半径 80km 范围内的人口分布与饮食习惯统计数据来源于 2021 年进行的厂址环境调查工作，统计数据截至年份为 2019 年，以本工程 1 号 CAP1400 压水堆核电机组为中心进行调查。

2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

2.2.2.1 厂址半径 5km 范围内的居民点分布

厂址半径 5km 范围内的居民点有 44 个，涉及宁津街道的 38 个自然村、东山街道 2 个自然村和桃园街道 4 个自然村。截止到 2019 年底，本工程厂址半径 5km 范围内的常住总人口数为 18067 人。厂址半径 5km 范围内人口主要分布在 SW~NNE 方位，其中 WSW 方位人口最多，共有 3315 人。厂址半径 5km 范围内平均陆域人口密度为 571 人/km²，低于山东省同期平均人口密度 636 人/km²。其村庄及人口情况详见表 2.2-1。厂址半径 5km 范围内有 4 个千人以上居民点，分别为位于厂址 WSW 方位 0.84km 的东墩村（常住人口 1508 人）、位于厂址 NNW 方位 2.36km 的宁津所村（常住人口 1181 人）、位于厂址 SW 方位 2.61km 的南港头村（常住人口 1314 人）和位于厂址 NW 方位 4.83km 的柳树集村（常住人口 1056 人）。

厂址半径 5km 范围内无万人以上城镇。

与 2012 年厂址半径 5km 范围内常住总人口数 19607 人相比，本工程厂址半径 5km 范围内人口减少了 1540 人。2012 年厂址半径 5km 范围内有 5 个千人以上居民点，2019 年为 4 个千人以上居民点。2012 年富甲山庄常住人口 1417 人，为 2012 年厂址半径 5km 范围内常住人口最多的居民点，2019 年下降至 519 人，常住人口最多的千人以上居民点变为东墩村。

2.2.2.2 厂址半径 15km 范围内的村镇分布

厂址半径 15km 范围涉及到宁津街道、东山街道、桃园街道、港湾街道、斥山街道、王连街道、崂山街道以及滕家镇的 166 个居民点或行政村。截止到 2019 年底，厂址半径 15km 范围涉及居民点共有 139710 人。厂址半径 15km 范围内千人以上村镇的方位、距离和常住人口见表 2.2-2。千人以上村镇共计 20 个，其中包含 2 个万人以上城镇。其中距离厂址最近的千人以上村镇为宁津街道的东墩村，位于厂址 WSW 方位 0.84km 处，有常住人口 1508 人。人口最多的城镇为位于厂

址 SW 方位 12.31km 的荣成市港湾街道办驻地，有常住人口 38826 人。

厂址半径 15km 范围内无十万人以上城市。

与 2012 年厂址半径 15km 范围内常住总人口数 147367 人相比，本工程厂址半径 15km 范围内人口减少了 7657 人。千人以上村镇由 2012 的 32 个减少到 2019 年的 20 个。2012 年厂址半径 15km 范围内仅有 1 个万人以上城镇——荣成市港湾街道办驻地，2019 年增加了 1 个万人以上城镇——荣成市斥山街道办驻地，主要由于近年来荣成市斥山街道办驻地所在区域的城镇规模发展较快，多个行政村连成一片，形成人口较多的城镇居住区所致。港湾街道办驻地常住人口增加 12540 人。

2.2.2.3 厂址半径 15km 范围内的流动人口

厂址半径 15km 范围内主要包括荣成市的八个街道，其中宁津街道的流入人口最多，共有 12531 人，在 5 月到 8 月较为集中，流入人口的主要原因是经商、打工、旅游或者求学，主要活动和居住地点位于街道办事处所在地和石岛湾核电区域，本工程厂区 2020 年流动人口 10312 人，荣成市公安局未统计流出人口数据。本工程厂址半径 15km 范围内 2019 年度流入人口分布情况列于表 2.2-3。

2012 年宁津街道的主要流入人口涉及经商、打工、旅游、求学，年流入人口约 4773 人。2019 年流入人口大幅增加的原因有：一是城市的发展速度加快，人力需求增加，就业岗位增加，使得地区的人口聚集能力增加。二是发展核电导致核电建设人员流入本地区。

2.2.2.4 厂址半径 10km 范围内的特殊人群

1) 监狱

厂址半径 10km 范围内无监狱分布。

2) 养老及疗养设施

厂址半径 10km 范围内有 4 所养老院（职工 114 人，入住老人 380 人，床位数 2028 张），其中 2 家养老院位于厂址半径 5km 范围内；厂址半径 10km 范围内无疗养院分布。厂址半径 10km 范围内养老院分布见表 2.2-4。

入住人员最多的养老院为荣成盛泉养老服务有限公司石岛分公司，位于厂址 WSW 方位 7.66km，职工 78 人，入住老人 222 人，床位数 1500 张；距离厂址最近的养老院为宁津敬老院（位于厂址 WSW 方位 1.47km，职工 14 人，入住老人 45，床位数 208 张）和荣成市官道老年公寓（位于厂址 WSW 方位 1.47km，职

工 12 人，入住老人 66 人，床位数 200 张）。

3) 教育设施

厂址半径 10km 范围内有 8 所学校(包括中学 3 所,小学 1 所,幼儿园 4 所,教职工 381 人,学生 5188 人,无住校生),其中 4 所学校(包括中学 1 所,小学 1 所,幼儿园 2 所)位于厂址半径 5km 范围内;厂址半径 10km 范围内无大学、职业学校分布。厂址半径 10km 范围内学校分布见表 2.2-5。

厂址半径 10km 范围内距离厂址最近的学校为荣成市宁津中心完小,位于厂址 NW 方位 2.39km,有小学生 718 人,教职工 46 人;厂址半径 10km 范围内学生人数最多的学校为荣成市石岛湾中学,位于厂址 WSW 方位 7.31km,有学生 1935 人,教职工 122 人。

4) 医疗设施

厂址半径 10km 范围内有 2 家卫生院,分别为宁津卫生院(职工 50 人,床位数 30 张)和东山卫生院(职工 50 人,床位数 30 张);厂址半径 10km 范围内没有二级以上医院。厂址半径 10km 范围内卫生院分布见表 2.2-6。

距离厂址最近的卫生院是宁津卫生院,位于厂址 NNW 方位 2.76km,医院等级为一级甲等,职工 50 人,床位数 30 张,万元以上医疗设备 26 台。

5) 企事业单位

厂址半径 5km 范围内有企事业单位 56 家,职工 399 人,涉及建筑、养殖、油气销售等,厂址半径 10km 范围内企事业单位统计结果见表 2.2-7。人员最多单位是荣成市亿利食品有限公司,有职工 40 人。

2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

本报告以本工程 1 号 CAP1400 压水堆核电机组为中心核电厂半径 80km 范围,并以反应堆为中心划分半径为 1、2、3、5、10、20、30、40、50、60、70、80km 的同心圆,轴向的罗盘方位为扇形区中心线,划分为 16 个方位,共 192 个子区。

2.2.1.1 厂址半径 80km 范围内的现有人口分布

本工程厂址半径 80km 范围内截止到 2019 年底的常住总人口数为 2193050 人。按评价区陆域面积计算,2019 年平均人口密度为 426 人/km²,低于山东省同期平均人口密度 636 人/km²。各子区的人口分布见表 2.2-8。与 2012 年厂址半

径 80km 范围内常住总人口数为 2169776 人相比，本工程厂址半径 80km 范围内人口增加 23274 人。厂址半径 20km 范围内涉及的荣成市近年人口呈负增长率、人口流出；厂址半径 20~80km 范围内涉及的威海市市区近年人口呈正增长率、人口机械增长。

从表 2.2-8 可看出：

— 厂址半径 80km 范围内：人口分布在 SW~NNW、S、N~NNE 方位，共有人口 2193050 人。其中 NNW 方位 80km 范围扇形区域人口最多，共有人口 604159 人；

— 厂址半径 20km 范围内：人口分布在 SW~NNW、S、N~NNE 方位，共有人口 197159 人。其中 SW 方位 20km 范围扇形区域人口最多，共有人口 57226 人；

— 厂址半径 5km 范围内：人口分布在 SW~NNW、S、N~NNE 方位，共有人口 18067 人。其中 WSW 方位 5km 范围扇形区域人口最多，有常住人口 3315 人。

2.2.1.2 厂址半径 80km 范围内的预期人口

本工程 1 号 CAP1400 压水堆核电机组计划于 2023 年建成发电，核电厂设计寿期为 60 年。由此推算核电厂运行第一年（2023 年）以及寿期内每隔 10 年即 2033 年、2043 年、2053 年、2063 年、2073 年和 2083 年厂址半径 80km 范围内各子区的人口分布。

厂址半径 80km 范围内全部为山东省范围，因此本报告对山东省预测人口增长率作为厂址人口预测参数。在预测时，主要参考了由国务院人口普查办公室 2014 年出版的《迈向小康社会的中国人口》（山东卷）、第六次人口普查成果《山东省 2010 年人口普查资料》、《山东省统计年鉴（2019 年）》等资料，用以提供基础人口数据。采用国家人口计生委编制的中国人口预测系统（CPPS，China Population Prediction System）预测人口增长率，CPPS 共设置分年龄分性别人口数、分年龄分性别死亡率、育龄妇女分年龄生育率、人口平均预期寿命、总和生育率和出生性别比等 6 个参数。该软件在第五次人口普查后被国内人口学专家、学者和各省人口计生系统广泛应用。据此得到的厂址评价区内 2005~2075 年的人口预期增长率见表 2.2-9。

按下列公式预测厂址半径 80km 范围内核电厂预期投产年（2023 年）及其以

后每间隔 10 年为一周期，至核电厂 60 年寿期末（2083 年）的预期人口分布。

$$N=N_0(1+\alpha)^T$$

式中：

N： 各子区域预测年的人口数（人）

N₀： 各子区域 2023 年度的人口数（人）

A： 预测采用的人口自然增长率（‰）

T： 预测年的时间间隔（年）

2023 年底本工程 1 号机组投产时，厂址半径 80km 范围内的总人口数为 2212156 人。2023 年各子区的人口分布情况详见表 2.1-3。

由表 2.2-9 可见，自 2026 年起，厂址评价区内的人口预期增长率为负数，即厂址评价区内总人口数在 2025 年达到峰值。因此，2026 年以后的总人口数保守取 2025 年的总人口数。2025 年各子区的人口分布情况详见表 2.2-10。

本工程 1 号机组寿期内每隔 10 年即 2033 年、2043 年、2053 年、2063 年、2073 年及 2083 年厂址半径 80km 范围内的人口数均为 2213703 人。

2033~2083 年间每隔十年本工程厂址半径 80km 范围内各子区的人口分布情况见表 2.2-11。

2.2.2.3 厂址半径 80km 范围内的城镇分布

截止到 2019 年底，厂址半径 80km 范围内人口万人以上城镇有 10 个，其中 5 个为十万人以上城市。其中，5 个人口万人以上城镇（包括 2 个十万人以上城市——荣成市市区、文登区市区）位于厂址半径 50km 范围内。表 2.2-12 给出了厂址半径 80km 范围内的万人以上城镇的位置及人口数。厂址半径 80km 范围内人口最多的城市为位于厂址 NW~NNW 方位 56.87km 的威海市环翠区市区（由温泉镇、嵩山街道、竹岛街道、环翠楼街道、鲸园街道、孙家疃街道组成），人口数 262920 人。距离厂址最近的城镇为位于厂址 WSW 方位 11.77km 的荣成市斥山街道办驻地，人口数 20967 人。距离厂址最近的十万人以上城市为位于厂址 NNW 方位 23.19km 的荣成市市区（由城西街道、崖头街道组成），人口数 104296 人。

厂址半径 80km 范围内无百万人以上大城市。

2012 年厂址半径 80km 范围内有 9 个人口万人以上城镇，2019 年增加到 10 个。十万人以上城市 2012 年为 4 个，2019 年为 5 个，新增的十万人以上城市一

—威海市经济技术开发区的人口 2012 年为 91943 人，2019 年为 113326 人，与 2012 年相比增加 21383 人。2012 年威海市环翠区市区人口 232024 人，为 2012 年厂址半径 80km 范围内人口最多的城市，2019 年为 262920 人，与 2012 年相比增加 30896 人，仍为人口最多的城市。

2.2.2.4 城镇发展规划

根据《荣成市城市总体规划（2018-2035）》，荣成市城市空间和功能布局结构方面规划形成“一城一带四组团”的布局结构。一城：即由老城片区、新城片区、凤凰湖东部片区组成的石岛城区；一带：即沿石岛湾的滨海空间景观带；四组团：指外围的四个功能组团，分别为海洋高新产业园、核电配套产业组团、王连组团、宁津组团。对于位于厂址半径 5km 范围内的宁津街道，《荣成市城市总体规划（2018-2035）》未提及宁津街道人口发展规模相关规划，由于宁津街道位于厂址规划限制区范围内，需对宁津街道人口机械增长加以控制。

对于位于厂址半径 30km 范围内的荣成市，根据《荣成市城市总体规划（2018-2035）》，荣成市规划 2035 年中心城区人口规模 83 万人，全市人口规模达 143 万人，其中城镇人口 120.1 万人，城镇化水平达到 84%。

厂址半径 50km 范围内无百万人以上大城市的发展规划。

2.2.2.5 厂址人口分布类别

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）第 5.7 条款规定：核动力厂应尽量建在人口密度相对较低、离大城市相对较远的地点。规划限制区范围内不应有 1 万人以上的乡镇，厂址半径 10km 范围内不应有 10 万人以上的城镇。

由表 2.2-1、表 2.2-2、表 2.2-12 可见：

1) 厂址半径 5km 范围内的居民点有 44 个。距离厂址最近的居民点为宁津街道的东墩，位于厂址 WSW 方位 0.84km 处，2019 年底有常住人口 1508 人，东墩也是距厂址最近的千人以上村镇。厂址半径 5km 范围内无万人以上城镇。

2) 厂址半径 15km 范围千人以上村镇共计 20 个，其中有 2 个万人以上城镇。人口最多的是位于厂址 SW 方位 12.31km 的荣成市港湾街道办驻地，有常住人口 38826 人。厂址半径 15km 范围内无十万人以上城市。

3) 厂址半径 80km 范围内无百万人以上的大城市。

因此，该厂址能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）第 5.7

条款的要求。

根据国家核安全导则《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》(HAD101/03)附录 I.2 表推荐的人口密度法,参照山东省 2019 年度平均人口密度为 636 人/km²,以此人口密度作为评价基准人口密度,对厂址进行人口分布分类,分类结果见表 2.2-13。

由表 2.2-13 可见,厂址半径 20km 范围内的人口分布基本上属于 I~II 类厂址。

综上所述,本工程厂址周围人口分布符合山东省 I~II 类厂址条件,厂址的人口分布现状能基本满足核电厂的厂址条件。

2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

2.2.4.1 居民的年龄构成

表 2.2-14 给出了本工程厂址半径 80km 范围内的≤1 岁、1~7 岁(含 7 岁)、8~17 岁(含 17 岁)和 18 岁以上四个年龄组别的人口比例。据此得到厂址 2019 年不同年龄组人口分布见表 2.2-15~表 2.2-18。

2.2.4.2 居民的饮食和生活习惯

1) 厂址半径 5km 范围内居民饮食和生活习惯调查

厂址半径 5km 范围内居民的主食以面为主,多为自家种植小麦获取,另外少量购买外地大米。春菜以菠菜、韭菜、小白菜、大葱为主;夏季以黄瓜、豆角、茄子、土豆等为主;秋、冬季以白菜、土豆、萝卜等为主。鲜蛋、水果、禽类、鱼等也基本是自产自销。牛奶基本是购买包装牛奶。

2021 年开展居民食谱调查工作,对厂址半径 5km 范围内的 8 个居民组(小河东、西钱家、东张家、周庄、南泊、东钱家、东墩、前王家)通过现场走访、发放调查表格的方式进行,根据居民组人口数量设定调查表数量,其中东墩村最多,达 315 份,小河东村最少,为 30 份,共收回 860 份有效调查问卷,涉及 180 户,860 人。被调查居民分为农民、渔民以及其他人员,年龄分为≤1 岁、1~7 岁(含 7 岁)、7~17 岁(含 17 岁)、>17 岁。

厂址附近区域的居民组不同职业、不同年龄组人群的年最大和年平均食物消费量见表 2.2-19。由表 2.2-19 可见,厂址附近区域的居民组食物消费水平总体相同,农民和渔民主要粮食和肉类的年平均消费量与其相差不大,基本处于同一水

平。

2021 年开展居民生活习惯调查工作，调查范围、形式与居民食谱调查工作相同，居民生活习惯调查统计结果见表 2.2-20。由表 2.2-20 可见，除渔民外，年龄大于 17 岁的居民岸边活动较多，人年均最大时间可达 497 小时，仅有 13 人会在海上划船，游泳时间较少，人年最大时间均在 100 小时以下，儿童和青少年的岸边活动时间较少，没有划船和游泳的现象。对于渔民来说，划船时间较多，最高每年可达 3000 小时。

2) 厂址半径 80km 范围内居民饮食习惯调查

厂址半径 80km 范围内居民食谱的调查方式为资料收集方式，由于厂址半径 80km 范围内主要涉及山东省威海市及烟台市，资料来源于《山东省统计年鉴（2020 年）》，此范围内的居民分为城镇居民和农村居民，年龄分组为 ≤ 1 岁、1~7 岁（含 7 岁）、7~17 岁（含 17 岁）、 > 17 岁。

厂址半径 80km 范围内城镇居民和农民的人均食物消费量调查结果见表 2.2-21。

表 2.2-1 厂址半径 5km 范围内居民点或自然村分布情况（2019 年）

居民点或自然村分布及人口情况

| 序号 | 居民点或自然村 | 行政归属 | 位置 | | 人口数（人） |
|----|-----------|------|-------|--------|--------|
| | | | 方位 | 距离（km） | |
| 1 | 东钱家 | 宁津街道 | N-NNE | 2.07 | 732 |
| 2 | 西钱家 | | N | 2.05 | 543 |
| 3 | 小河东 | | N | 1.68 | 140 |
| 4 | 于家 | | N-NNW | 1.73 | 244 |
| 5 | 周庄 | | NNW | 1.59 | 345 |
| 6 | 曲家（自然村） | | NNW | 1.53 | 234 |
| 7 | 所前杜家（自然村） | | NW | 1.69 | 118 |
| 8 | 项家庄（自然村） | | NW | 1.89 | 136 |
| 9 | 小岔河（自然村） | | NW | 2.12 | 214 |
| 10 | 大岔河 | | WNW | 2.17 | 283 |
| 11 | 所前王家 | | WNW | 1.27 | 351 |
| 12 | 季家 | | WNW | 1.71 | 407 |
| 13 | 东墩 | | WSW | 0.84 | 1508 |
| 14 | 南泊 | | SW | 1.79 | 215 |
| 15 | 宁津所 | | NNW | 2.36 | 1181 |
| 16 | 卢家庄 | | NW | 2.74 | 250 |
| 17 | 桥上 | | NW | 2.84 | 542 |
| 18 | 富甲社区* | | NW | 2.94 | 519 |
| 19 | 东苏家 | | WSW | 2.03 | 376 |
| 20 | 南港口 | | SW | 2.61 | 1314 |
| 21 | 所东王家 | | N | 3.18 | 343 |
| 22 | 所东张家 | | N | 3.03 | 286 |
| 23 | 止马滩 | | N | 3.87 | 215 |
| 24 | 尹家庄 | | N | 3.65 | 228 |
| 25 | 涝滩子 | | N | 4.07 | 104 |
| 26 | 后店子 | | N | 4.89 | 217 |
| 27 | 所后马家 | | NNW | 3.45 | 227 |
| 28 | 所后王家 | | NNW | 3.32 | 308 |
| 29 | 所后卢家 | | NNW | 3.72 | 262 |
| 30 | 洼里 | | NNW | 4.22 | 207 |
| 31 | 耩后杨家 | | NNW | 4.78 | 156 |
| 32 | 龙云 | | NNW | 4.87 | 205 |
| 33 | 鞠家 | | WNW | 3.38 | 378 |
| 34 | 北场 | | W | 3.19 | 274 |
| 35 | 渠隔 | | W | 3.11 | 553 |
| 36 | 留村 | | W | 4.33 | 747 |
| 37 | 口子 | | WSW | 4.83 | 452 |
| 38 | 后海崖 | S | 4.89 | 329 | |
| 39 | 吉屯 | 东山街道 | NW | 4.65 | 825 |
| 40 | 柳树集 | | NW | 4.83 | 1056 |
| 41 | 耩前殷家 | 桃园街道 | WSW | 3.39 | 116 |
| 42 | 南夏家 | | WSW | 3.68 | 422 |
| 43 | 苑家 | | WSW | 4.05 | 441 |
| 44 | 东南海 | | SW | 4.69 | 473 |

注：富甲社区的行政区域包括富甲社区以及 5 个自然村（包括厂址半径 5km 范围内的曲家、所前杜家、项家庄、小岔河以及厂址半径 5~7km 范围内的岛西耩，上述自然村均不在富甲社区周边），表中*处所列人口仅为富甲社区居民点人口。

表 2.2-1 续 厂址半径 5km 范围内居民点或自然村分布情况（2019 年）

各方位最近居民点或自然村情况

| 方位 | 最近居民点 | | |
|-----|-----------|---------|--------|
| | 行政村 | 距离 (km) | 人数 (人) |
| N | 小河东 | 1.68 | 140 |
| NNE | 东钱家 | 2.07 | 732 |
| NE | 无 | — | — |
| ENE | 无 | — | — |
| E | 无 | — | — |
| ESE | 无 | — | — |
| SE | 无 | — | — |
| SSE | 无 | — | — |
| S | 后海崖 | 4.89 | 329 |
| SSW | 无 | — | — |
| SW | 南泊 | 1.79 | 215 |
| WSW | 东墩 | 0.84 | 1508 |
| W | 北场 | 3.19 | 274 |
| WNW | 所前王家 | 1.27 | 351 |
| NW | 所前杜家（自然村） | 1.69 | 118 |
| NNW | 周庄 | 1.59 | 345 |

表 2.2-2 厂址半径 15km 范围内千人以上村镇（2019 年）

| 所属街道 | 序号 | 人口中心 | 位置 | | 人口数 (人) | 备注 |
|------|----|--------|-----|---------|------------|--|
| | | | 方位 | 距离 (km) | | |
| 宁津街道 | 1 | 马家寨村 | NNW | 6.00 | 1097 | 由马家寨村组成 |
| | 2 | 东墩村 | WSW | 0.84 | 1508 | 由东墩村组成 |
| | 3 | 宁津街道中心 | NW | 2.33 | 3201 | 由宁津所村、富甲社区和宁津其他城镇人口组成 |
| | 4 | 南岗头村 | SW | 2.61 | 1314 | 由南岗头村组成 |
| | 5 | 岛西庄村 | S | 6.79 | 1634 | 由岛西庄村和南洼村组成 |
| 东山街道 | 6 | 柳树集村 | NW | 4.83 | 1056 | 由柳树集村组成 |
| | 7 | 东山街道中心 | W | 6.30 | 1215 | 由东山村和周边城镇人口组成 |
| | 8 | 石头河村 | WNW | 7.30 | 1291 | 由石头河村组成 |
| 桃园街道 | 9 | 于家河村 | WSW | 6.79 | 2011 | 由于家河村、朋上村、河东村、河东原家村组成 |
| | 10 | 下谭家村 | WSW | 8.02 | 2705 | 由下谭家村和周边城镇人口组成 |
| | 11 | 桃园街道中心 | SW | 5.85 | 4965 | 由山前村、青木寨村、西南海村、西南海小区、东南海村和周边城镇人口组成 |
| 港湾街道 | 12 | 港湾街道中心 | SW | 11.06 | 38826 | 由北车脚河村、南车脚河村、西车脚河村、北沟村、西岚村、姜家疃村、石岛街、张家小区和港湾的其他城镇人口组成 |
| 斥山街道 | 13 | 斥山街道中心 | WSW | 11.04 | 20967 | 由斥山村、殷家村、西苏家村、盛家村、吴家村、郭家村、西寨村、东寨村、范家村和斥山其他城镇人口组成 |
| | 14 | 尹各庄村 | W | 11.19 | 2464 | 由尹各庄村组成 |
| 王连街道 | 15 | 沟曲家村 | W | 13.01 | 1253 | 由沟曲家村及北桥头 村组成 |
| | 16 | 南桥头村 | W | 12.79 | 1456 | 由南桥头村组成 |
| | 17 | 王连街道中心 | W | 12.97 | 1524 | 王家庄村、隋家庄村及王连其他城镇人口组成 |
| 崂山街道 | 18 | 崂山屯 | NNW | 14.48 | 1670 | 由崂山屯组成 |
| | 19 | 古塔村 | NW | 14.59 | 1134 | 由古塔村组成 |
| 滕家镇 | 20 | 小落村 | NW | 14.78 | 1501 | 由小洛村组成 |

表 2.2-3 厂址半径 15km 范围内的流动人口数量及分布（2019 年）

| 流动人口地名或地区名称 | 流入目的 | 年总人数（人） | 最高峰人数（人） | 最高峰人数出现时间 |
|-------------|-------------|---------|----------|-----------|
| 宁津 | 经商、打工、旅游、求学 | 12531 | 8300 | 5-8 月 |
| 东山 | 经商、打工、旅游、求学 | 8829 | 5800 | 5-8 月 |
| 桃园 | 经商、打工、旅游、求学 | 9896 | 6600 | 5-8 月 |
| 斥山 | 经商、打工、旅游、求学 | 6579 | 4400 | 5-8 月 |
| 王连 | 经商、打工、旅游、求学 | 1065 | 700 | 5-8 月 |
| 港湾 | 经商、打工、旅游、求学 | 6851 | 4500 | 5-8 月 |
| 崂山 | 经商、打工、旅游、求学 | 9553 | 6300 | 5-8 月 |
| 滕家 | 经商、打工、旅游、求学 | 388 | 250 | 5-8 月 |

表 2.2-4 厂址半径 10km 范围内养老院或疗养院分布 (2019 年)

| 序号 | 名称 | 所在地 | 方位 | 距离 (km) | 职工数 (人) | 入驻人数 (人) | 床位数 (床) |
|----|-------------------|-----------------|-----|---------|---------|----------|---------|
| 1 | 宁津敬老院 | 宁津街道东墩官道小区 | WSW | 1.47 | 14 | 45 | 208 |
| 2 | 荣成市官道老年公寓 | 宁津街道东墩官道小区 | WSW | 1.47 | 12 | 66 | 200 |
| 3 | 荣成市石岛朝阳老年公寓 | 桃园街道朝阳山 | WSW | 7.19 | 10 | 47 | 120 |
| 4 | 荣成盛泉养老服务有限公司石岛分公司 | 石岛管理区东山南路 295 号 | WSW | 7.66 | 78 | 222 | 1500 |

表 2.2-5 厂址半径 10km 范围内学校分布 (2019 年)

| 序号 | 名称 | 地址 | 方位 | 距离 (km) | 学生数 (人) | 职工数 (人) | 住校人数 (人) |
|----|--------------|----------------|-----|---------|---------|---------|----------|
| 1 | 荣成市第九中学 | 宁津街道驻地 | NW | 2.57 | 609 | 63 | 0 |
| 2 | 荣成市宁津中心完小 | 驻地 | NW | 2.39 | 718 | 46 | 0 |
| 3 | 荣成市宁津街道中心幼儿园 | 富甲二号 | NW | 2.48 | 261 | 21 | 0 |
| 4 | 荣成市宁津街道明珠幼儿园 | 明珠花园小区 72 号 | NW | 3.25 | 297 | 19 | 0 |
| 5 | 荣成市石岛湾中学 | 桃园街道 | WSW | 7.31 | 1935 | 122 | 0 |
| 6 | 荣成市桃园街道中心幼儿园 | 石岛湾中学 | WSW | 6.10 | 563 | 31 | 0 |
| 7 | 荣成市第三十七中学 | 东山街道东山北路 561 号 | WNW | 7.52 | 612 | 65 | 0 |
| 8 | 荣成市东山街道中心幼儿园 | 东山北路 561 号 | WNW | 7.63 | 193 | 14 | 0 |

表 2.2-6 厂址半径 10km 范围内医院或卫生院分布 (2019 年)

| 序号 | 名称 | 地址 | 等级 | 方位 | 距离 (km) | 职工数 (人) | 床位 (床) | 万元以上设备数 (台) | 10-49 万元设备数 (台) |
|----|-------|----------|------|-----|---------|---------|--------|-------------|-----------------|
| 1 | 宁津卫生院 | 宁津街道宁津所村 | 一级甲等 | NNW | 2.76 | 50 | 30 | 26 | 12 |
| 2 | 东山卫生院 | 东山街道 | 一级甲等 | WNW | 7.06 | 50 | 30 | 33 | 10 |

表 2.2-7 厂址半径 5km 范围内企事业单位列表（2019 年）

| 序号 | 单位详细名称 | 地址 | 人数（人） | 经营范围 |
|----|-------------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------------|
| 1 | 荣成市鑫宁建筑工程有限公司 | 宁津街道宁津所村 | 25 | 房屋建筑、线路管道安装、建筑门窗加工安装。 |
| 2 | 荣成市鑫周基础工程有限公司 | 宁津街道宁津所村 | 5 | 土石方挖掘、管道安装，建筑用石加工销售 |
| 3 | 荣成市华仁轮胎修理有限公司 | 宁津街道宁津所村 | 2 | 轮胎修理 |
| 4 | 荣成市宁津华鑫养殖有限公司 | 宁津街道宁津所村 | 2 | 海水养殖 |
| 5 | 荣成市宁津鑫洲水产品加工厂 | 宁津街道宁津所村 | 3 | 冷冻水产品储存、销售 |
| 6 | 荣成宁津钱海电商孵化器有限公司 | 宁津街道宁津所村 | 3 | 电子商务企业项目孵化,房屋租赁,零售(含网上销售)食品、水果 |
| 7 | 荣成市宁津德兴加油站 | 宁津街道宁津所村 | 7 | 零售汽油、柴油 |
| 8 | 荣成宏邦金属废旧回收有限公司 | 宁津街道卢家庄村 | 2 | 生产性废旧金属回收 |
| 9 | 荣成市鑫昌盛汽车服务有限公司 | 宁津街道卢家庄村 | 2 | 汽车、建筑工程机械设备租赁,汽车维修,货物运输代理,汽车装潢 |
| 10 | 荣成市宁津蓝宇通讯器材有限公司 | 宁津街道卢家庄村 | 2 | 零售通讯器材及配件,电脑零售维修,代办电信授权的通讯业务 |
| 11 | 荣成市越洋汽车维修有限公司 | 宁津街道桥上村 | 2 | 汽车维修、汽车养护服务,汽车租赁,零售轮胎、汽车配件,基础工程施工 |
| 12 | 荣成市开源新能源有限公司 | 宁津街道桥上村 | 1 | 太阳能发电;电力工程设计、施工、安装;电力电器设备 |
| 13 | 中国石化销售有限公司山东威海石岛第八加油站 | 宁津街道桥上村路北侧 | 3 | 汽油、柴油、煤油、天然气销售 |
| 14 | 荣成边海一族食品有限公司 | 宁津街道林家流村 | 2 | 水产品、海藻、肉类、蔬菜、瓜果、花生初加工销售 |
| 15 | 威海渔夫兄弟海洋科技有限公司 | 宁津街道林家流村 | 2 | 水产品加工技术的研究、开发,批发零售预包装食品兼散装食品 |
| 16 | 荣成市忠远海藻加工厂 | 宁津街道林家流村 | 8 | 海藻加工、销售 |
| 17 | 荣成市硕强海带养殖有限公司 | 宁津街道林家流村 | 3 | 海带养殖、加工、销售。 |
| 18 | 荣成市宁津顺意液化气有限公司 | 宁津街道小岔河村 | 6 | 零售液化气 |
| 19 | 荣成铭源生态农业有限公司 | 宁津街道杜家村 | 2 | 鸡鸭养殖及蛋品加工及销售,苗木种植与销售 |
| 20 | 荣成市海嘉水产食品有限公司 | 宁津街道小岔河村 | 25 | 水产品冷冻、加工、储存 |
| 21 | 中国石油天然气股份有限公司山东威海销售分公司荣成宁津加油站 | 宁津街道项家庄村西宁津至 镆铳公路东 | 4 | 成品油、润滑油销售 |
| 22 | 荣成市宁津恒信防水保温工程有限公司 | 宁津街道富甲山庄明珠花园 61-15 号门市 | 2 | 防水保温、防腐工程施工,批发零售防水保温材料、水性油漆,房屋修缮 |
| 23 | 荣成市诚福装饰有限公司 | 宁津街道周庄村 | 2 | 批发零售装饰材料 |

| 序号 | 单位详细名称 | 地址 | 人数(人) | 经营范围 |
|----|----------------------|---------------------|-------|--|
| 24 | 山东好当家海洋发展股份有限公司鲍鱼养殖场 | 宁津街道富甲路 511 号 | 20 | 海水养殖、销售 |
| 25 | 荣成市荣宁基础工程有限公司 | 宁津街道富甲路 1007 号 | 3 | 基础工程、市政工程施工,土石方挖掘。 |
| 26 | 荣成顺意仓储物流有限公司 | 宁津街道富甲路 1009 号 | 6 | 主要从事生活日用品、干鲜海产品、电子类产品的进出口及批发业务;从事普通货物仓储及装卸服务 |
| 27 | 荣成市宁安物业服务有限公司 | 宁津街道富甲路 1 号 | 4 | 物业服务;环境卫生清扫、清运;自来水管道路维修,职业介绍 |
| 28 | 荣成市宁津新视野电脑有限公司 | 宁津街道富甲山庄金桂小区 14 号门市 | 4 | 批发零售电脑、电子监控设备,维修电脑,代办电信授权的通讯业务 |
| 29 | 荣成市汇荣水产捕捞有限公司 | 宁津街道富甲路 805 号 | 2 | 海水捕捞 |
| 30 | 荣成市泓鑫养殖场 | 宁津街道东墩村 | 2 | 海水养殖、育苗 |
| 31 | 荣成市正扬机械厂 | 宁津街道东墩村 | 2 | 农业机械及配件加工销售 |
| 32 | 荣成市硕丰建筑材料销售有限公司 | 宁津街道东墩村 | 2 | 批发零售建筑材料、装饰材料、五金交电、电动工具、电线、电缆、消防用品 |
| 33 | 荣成市军扬养殖场 | 宁津街道东墩村 | 2 | 海水养殖 |
| 34 | 荣成市宁津东兴酿造厂 | 宁津街道东墩村 | 2 | 酱腌菜加工销售 |
| 35 | 荣成市海旺达海水养殖场 | 宁津街道东墩村 | 2 | 海水养殖 |
| 36 | 荣成市宁津海草居电子商务有限公司 | 宁津街道东墩村 | 4 | 销售海产品、食品、工艺品等 |
| 37 | 荣成市铁林渔具有限公司 | 宁津街道南泊村 | 2 | 铸件制造、销售 |
| 38 | 荣成市鹏翔基础工程有限公司 | 宁津街道南港头村 | 5 | 基础工程、市政工程、园林绿化工程、防水保温工程施工,线路管道安装 |
| 39 | 荣成市宁津俊英印刷厂 | 宁津街道南港头村 | 2 | 纸张印刷、商标印制 |
| 40 | 荣成市崇泉基础工程有限公司 | 宁津街道季家村 | 2 | 基础工程施工,土石方挖掘,建筑工程机械设备租赁,道路普通货物运输 |
| 41 | 荣成恒盛基础工程有限公司 | 宁津街道季家村 | 3 | 基础工程、园林绿化工程施工,建筑工程机械及设备租赁,批发建筑材料 |
| 42 | 荣成市崇泉基础工程有限公司阳耀分公司 | 宁津街道季家村 | 2 | 建筑材料加工销售;道路货物运输 |
| 43 | 青岛水之源园林装潢工程有限公司荣成分公司 | 宁津街道季家村 | 2 | 市政景观工程、园林绿化工程、塑石假山工程、装修雕塑工程、土石方工程设计施工 |
| 44 | 荣成市宁津金晓冷藏厂 | 宁津街道季家村 | 6 | 水产品冷冻、储存,海水捕捞 |

| 序号 | 单位详细名称 | 地址 | 人数(人) | 经营范围 |
|----|----------------|-----------|-------|---|
| 45 | 荣成市前王家基础工程有限公司 | 宁津街道所前王家村 | 8 | 房屋建筑,线路管道安装,大型物件装卸,装饰装修,防水、保温工程施工 |
| 46 | 荣成市顺意水产食品有限公司 | 宁津街道所前王家村 | 2 | 水产品冷冻、储存,房屋租赁 |
| 47 | 荣成市启天餐饮服务有限公司 | 宁津街道所前王家村 | 10 | 中餐类制售;不含凉菜、裱花蛋糕、生食海产品 |
| 48 | 荣成市亿利食品有限公司 | 宁津街道所东张家村 | 40 | 经营备案范围内的货物及技术的进出口业务,干制水产品加工销售,畜、禽、水产罐头加工销售,批发零售食品 |
| 49 | 荣成市兴利捕捞有限公司 | 宁津街道西钱家村 | 5 | 海水捕捞及加工销售 |
| 50 | 荣成市东钱海带加工厂 | 宁津街道东钱家村 | 38 | 海水养殖、盐渍海带加工、销售 |
| 51 | 荣成市成益水产有限公司 | 宁津街道马栏耩村 | 23 | 水产养殖、育苗及销售;苗木、茶种植及销售;经营备案范围内的货物和技术的进出口业务 |
| 52 | 荣成市嘉乐家食品有限公司 | 宁津街道马栏耩村 | 35 | 水产品冷冻加工销售,经营进出口业务(|
| 53 | 荣成市日进海藻有限公司 | 宁津街道洼里村 | 20 | 海带加工销售,海水养殖 |
| 54 | 荣成市宁津镇龙泉海水养殖场 | 宁津街道龙泉村 | 14 | 海水养殖、育苗,海藻烘干加工,经营备案范围内货物和技术的进出口业务 |
| 55 | 荣成市宁津建志化肥经销处 | 宁津街道所后马家村 | 2 | 零售生物农药、化肥、不再分装的种子、农膜 |
| 56 | 荣成市宁津汇泉冷藏厂 | 宁津街道所后卢家村 | 8 | 水产品冷冻、储存,干制水产品加工销售 |

表 2.2-8 厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2019 年）

单位：人

| 距离 (km) 方位 | 0~1 | 1~2 | 2~3 | 3~5 | 5~10 | 10~20 | 20~30 | 30~40 | 40~50 | 50~60 | 60~70 | 70~80 | 合计 |
|---------------|-----|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| N | 0 | 262 | 847 | 1393 | 859 | 0 | 37671 | 20980 | 38742 | 0 | 0 | 0 | 100754 |
| NNE | 0 | 0 | 428 | 0 | 963 | 0 | 4854 | 0 | 3657 | 0 | 0 | 0 | 9902 |
| NE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ENE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ESE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SSE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 0 | 0 | 0 | 329 | 3887 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4216 |
| SSW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SW | 0 | 215 | 1314 | 473 | 1208 | 54016 | 7686 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64912 |
| WSW | 280 | 1228 | 376 | 1431 | 8482 | 32556 | 50121 | 11563 | 0 | 0 | 0 | 12368 | 118405 |
| W | 0 | 0 | 0 | 1574 | 7776 | 16070 | 33356 | 21793 | 27100 | 54284 | 54982 | 71032 | 287967 |
| WNW | 0 | 758 | 283 | 378 | 5283 | 16921 | 21617 | 47964 | 181782 | 102050 | 69936 | 37701 | 484673 |
| NW | 0 | 254 | 1006 | 1991 | 4893 | 16813 | 22961 | 32318 | 34224 | 108953 | 84150 | 210499 | 518062 |
| NNW | 0 | 701 | 1181 | 1365 | 1306 | 8059 | 145894 | 25906 | 68819 | 70870 | 223759 | 56299 | 604159 |
| 合计 | 280 | 3418 | 5435 | 8934 | 34657 | 144435 | 324160 | 160524 | 354324 | 336157 | 432827 | 387899 | 2193050 |
| 累计 | 280 | 3698 | 9133 | 18067 | 52724 | 197159 | 521319 | 681843 | 1036167 | 1372324 | 1805151 | 2193050 | |

表 2.2-9 厂址半径 80km 范围内年均预期人口增长率（2020~2089 年）

单位：%

| 年份 (年) | 自然增长率 (%) | 年份 (年) | 自然增长率 (%) | 年份 (年) | 自然增长率 (%) |
|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| 2020 | 0.32 | - | - | - | - |
| 2021 | 0.25 | 2046 | -0.40 | 2071 | -0.31 |
| 2022 | 0.18 | 2047 | -0.42 | 2072 | -0.29 |
| 2023 | 0.12 | 2048 | -0.44 | 2073 | -0.27 |
| 2024 | 0.06 | 2049 | -0.46 | 2074 | -0.26 |
| 2025 | 0.01 | 2050 | -0.48 | 2075 | -0.25 |
| 2026 | -0.04 | 2051 | -0.51 | 2076 | -0.23 |
| 2027 | -0.09 | 2052 | -0.52 | 2077 | -0.22 |
| 2028 | -0.13 | 2053 | -0.54 | 2078 | -0.21 |
| 2029 | -0.16 | 2054 | -0.55 | 2079 | -0.20 |
| 2030 | -0.20 | 2055 | -0.56 | 2080 | -0.19 |
| 2031 | -0.24 | 2056 | -0.56 | 2081 | -0.19 |
| 2032 | -0.26 | 2057 | -0.55 | 2082 | -0.18 |
| 2033 | -0.28 | 2058 | -0.55 | 2083 | -0.18 |
| 2034 | -0.28 | 2059 | -0.54 | 2084 | -0.18 |
| 2035 | -0.29 | 2060 | -0.52 | 2085 | -0.17 |
| 2036 | -0.31 | 2061 | -0.52 | 2086 | -0.18 |
| 2037 | -0.32 | 2062 | -0.49 | 2087 | -0.18 |
| 2038 | -0.32 | 2063 | -0.48 | 2088 | -0.19 |
| 2039 | -0.32 | 2064 | -0.46 | 2089 | -0.14 |
| 2040 | -0.32 | 2065 | -0.43 | - | - |
| 2041 | -0.34 | 2066 | -0.41 | - | - |
| 2042 | -0.34 | 2067 | -0.39 | - | - |
| 2043 | -0.35 | 2068 | -0.37 | - | - |
| 2044 | -0.37 | 2069 | -0.35 | - | - |
| 2045 | -0.37 | 2070 | -0.34 | - | - |

表 2.2-10 厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2023 年）

单位：人

| 距离 (km) 方位 | 0~1 | 1~2 | 2~3 | 3~5 | 5~10 | 10~20 | 20~30 | 30~40 | 40~50 | 50~60 | 60~70 | 70~80 | 合计 |
|---------------|-----|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| N | 0 | 264 | 854 | 1405 | 866 | 0 | 37999 | 21163 | 39080 | 0 | 0 | 0 | 101631 |
| NNE | 0 | 0 | 431 | 0 | 971 | 0 | 4896 | 0 | 3688 | 0 | 0 | 0 | 9986 |
| NE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ENE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ESE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SSE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 0 | 0 | 0 | 331 | 3920 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4251 |
| SSW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SW | 0 | 216 | 1325 | 477 | 1218 | 54487 | 7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65476 |
| WSW | 282 | 1238 | 379 | 1443 | 8556 | 32840 | 50558 | 11663 | 0 | 0 | 0 | 12475 | 119434 |
| W | 0 | 0 | 0 | 1587 | 7843 | 16210 | 33647 | 21983 | 27336 | 54757 | 55461 | 71651 | 290475 |
| WNW | 0 | 764 | 285 | 381 | 5329 | 17068 | 21805 | 48382 | 183368 | 102940 | 70546 | 38030 | 488898 |
| NW | 0 | 256 | 1014 | 2008 | 4935 | 16959 | 23161 | 32600 | 34522 | 109903 | 84884 | 212336 | 522578 |
| NNW | 0 | 707 | 1191 | 1376 | 1317 | 8129 | 147167 | 26132 | 69419 | 71488 | 225711 | 56790 | 609427 |
| 合计 | 282 | 3445 | 5479 | 9008 | 34955 | 145693 | 326986 | 161923 | 357413 | 339088 | 436602 | 391282 | 2212156 |
| 累计 | 282 | 3727 | 9206 | 18214 | 53169 | 198862 | 525848 | 687771 | 1045184 | 1384272 | 1820874 | 2212156 | |

表 2.2-11 厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2033~2083 年）

单位：人

| 距离 (km) 方位 | 0~1 | 1~2 | 2~3 | 3~5 | 5~10 | 10~20 | 20~30 | 30~40 | 40~50 | 50~60 | 60~70 | 70~80 | 合计 |
|---------------|-----|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| N | 0 | 264 | 854 | 1406 | 867 | 0 | 38026 | 21177 | 39107 | 0 | 0 | 0 | 101701 |
| NNE | 0 | 0 | 432 | 0 | 972 | 0 | 4899 | 0 | 3691 | 0 | 0 | 0 | 9994 |
| NE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ENE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ESE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SSE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 0 | 0 | 0 | 332 | 3923 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4255 |
| SSW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SW | 0 | 217 | 1326 | 477 | 1219 | 54525 | 7758 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65522 |
| WSW | 282 | 1239 | 379 | 1444 | 8562 | 32863 | 50593 | 11672 | 0 | 0 | 0 | 12484 | 119518 |
| W | 0 | 0 | 0 | 1588 | 7849 | 16221 | 33670 | 21998 | 27355 | 54796 | 55500 | 71702 | 290679 |
| WNW | 0 | 765 | 285 | 381 | 5332 | 17080 | 21820 | 48416 | 183496 | 103012 | 70595 | 38056 | 489238 |
| NW | 0 | 256 | 1015 | 2009 | 4939 | 16971 | 23177 | 32622 | 34546 | 109980 | 84943 | 212484 | 522942 |
| NNW | 0 | 707 | 1192 | 1377 | 1318 | 8135 | 147270 | 26150 | 69468 | 71538 | 225869 | 56830 | 609854 |
| 合计 | 282 | 3448 | 5483 | 9014 | 34981 | 145795 | 327213 | 162035 | 357663 | 339326 | 436907 | 391556 | 2213703 |
| 累计 | 282 | 3730 | 9213 | 18227 | 53208 | 199003 | 526216 | 688251 | 1045914 | 1385240 | 1822147 | 2213703 | |

表 2.2-12 厂址半径 80km 范围内万人以上城镇分布情况（2019 年）

| 所属市 | 编号 | 城、镇 | 位置 | | 人口数 (人) | 备注 |
|---------------|----|---------------|--------|-----------|------------|--|
| | | | 方位 | 距离 (km) | | |
| 威海市荣成市 | 1 | 荣成市市区 | NNW | 23.2 | 104296 | 由城西街道、崖头街道组成 |
| | 2 | 港湾街道 街道办驻地 | SW | 12.3 | 38826 | 由北车脚河村、南车脚河村、西车脚河村、北沟村、西岚村、姜家疃村、石岛街、张家小区和港湾的其他城镇人口组成 |
| | 3 | 俚岛镇 | N | 29.5 | 13700 | 镇政府驻地主要包括峨石山、东烟墩、俚岛、后疃、大庄许家等相对集中点 |
| | 4 | 斥山街道 街道办驻地 | WSW | 11.8 | 20967 | 由斥山村、殷家村、西苏家村、盛家村、吴家村、郭家村、西寨村、东寨村、范家村和斥山其他城镇人口组成 |
| 威海市文登区 | 5 | 文登区市区 | WNW | 48.6 | 195388 | 由天福街道、龙山街道和环山街道组成 |
| 威海市火炬高技术产业开发区 | 6 | 高区市区 | NW | 70.8-76.1 | 179752 | 由田和街道、怡园街道组成 |
| 威海市经济技术开发区 | 7 | 经区市区 | NNW | 56.7-62.8 | 113326 | 由皇冠街道、凤林街道和西苑街道组成 |
| 威海市临港经济技术开发区 | 8 | 临港区市区 | NW | 52.4 | 14500 | 由草庙子镇组成 |
| 威海市环翠区 | 9 | 环翠区市区 | NW~NNW | 62.8-75.7 | 262920 | 由温泉镇、嵩山街道、竹岛街道、环翠楼街道、鲸园街道、孙家疃街道组成 |
| | 10 | 张村镇 | NW | 72.9 | 17500 | 由镇政府驻地组成 |

表 2.2-13 厂址半径 20km 范围内人口分布分类比较（2019 年）

| 评价方法 | 评价范围 | | 人口数（人） | 平均人口密度（人/km ² ） | 厂址类别 |
|--------|----------|------|--------|----------------------------|------|
| | 距离半径（km） | 方位 | | | |
| 环形地带评价 | 0~2 | ---- | 3698 | 294 | II |
| | 2~5 | ---- | 14369 | 218 | II |
| | 5~10 | ---- | 34657 | 147 | I |
| | 10~20 | ---- | 144435 | 153 | I |
| 扇形地带评价 | 2~5 | NW | 2997 | 727 | II |
| | | NNW | 2546 | 617 | II |
| | 5~20 | SW | 55224 | 750 | II |
| | | WSW | 41038 | 557 | I |

表 2.2-14 厂址半径 80km 范围内的年龄构成（2019 年）

单位：%

| 市/区 | 总人口数 | 年龄≤1 岁 | | 1 岁<年龄≤7 岁 | | 7 岁<年龄≤17 岁 | | 年龄>17 岁 | | |
|-----|------|--------|-------|------------|-------|-------------|-------|---------|--------|-------|
| | | 人数 | 所占比例 | 人数 | 所占比例 | 人数 | 所占比例 | 人数 | 所占比例 | |
| 威海市 | 荣成市 | 656402 | 6673 | 1.02 | 23083 | 3.51 | 52497 | 8.00 | 574150 | 87.47 |
| | 文登区 | 572660 | 6607 | 1.15 | 19090 | 3.33 | 41386 | 7.23 | 505578 | 88.29 |
| | 乳山市 | 112284 | 1130 | 1.01 | 3415 | 3.04 | 7824 | 6.97 | 99914 | 88.98 |
| | 环翠区 | 798070 | 12047 | 1.51 | 37937 | 4.75 | 66367 | 8.32 | 681719 | 85.42 |
| 烟台市 | 牟平区 | 53634 | 610 | 1.14 | 1886 | 3.52 | 3945 | 7.35 | 47194 | 87.99 |

表 2.2-15 厂址半径 80km 范围人口分布 (年龄≤1 岁) (2019 年)

单位: 人

| 方位 \ 距离 (km) | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 合计 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N | 0 | 2 | 8 | 14 | 8 | 0 | 384 | 213 | 395 | 0 | 0 | 0 | 1024 |
| NNE | 0 | 0 | 4 | 0 | 9 | 0 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62 |
| NE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ENE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ESE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SSE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 0 | 0 | 0 | 3 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 |
| SSW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SW | 0 | 2 | 13 | 4 | 12 | 550 | 78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 659 |
| WSW | 2 | 12 | 3 | 14 | 86 | 332 | 511 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 960 |
| W | 0 | 0 | 0 | 16 | 79 | 163 | 340 | 250 | 311 | 624 | 632 | 717 | 3132 |
| WNW | 0 | 7 | 2 | 3 | 53 | 172 | 220 | 551 | 2090 | 1173 | 804 | 429 | 5504 |
| NW | 0 | 2 | 10 | 20 | 49 | 171 | 234 | 371 | 393 | 1645 | 1270 | 2399 | 6564 |
| NNW | 0 | 7 | 12 | 13 | 13 | 82 | 1488 | 264 | 1039 | 1070 | 3378 | 850 | 8216 |
| 各环形段人口合计 | 2 | 32 | 52 | 87 | 348 | 1470 | 3304 | 1649 | 4228 | 4512 | 6084 | 4395 | 26163 |
| 半径区内人口累计 | 2 | 34 | 86 | 173 | 521 | 1991 | 5295 | 6944 | 11172 | 15684 | 21768 | 26163 | |

表 2.2-16 厂址半径 80km 范围人口分布 (1 岁<年龄≤7 岁) (2019 年)

单位: 人

| 方位 \ 距离 (km) | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 合计 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N | 0 | 9 | 29 | 48 | 30 | 0 | 1322 | 736 | 1359 | 0 | 0 | 0 | 3533 |
| NNE | 0 | 0 | 15 | 0 | 33 | 0 | 170 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 218 |
| NE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ENE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ESE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SSE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 0 | 0 | 0 | 11 | 136 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 147 |
| SSW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SW | 0 | 7 | 46 | 16 | 42 | 1895 | 269 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2275 |
| WSW | 9 | 43 | 13 | 50 | 297 | 1142 | 1759 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3313 |
| W | 0 | 0 | 0 | 55 | 272 | 564 | 1170 | 725 | 902 | 1807 | 1830 | 2159 | 9484 |
| WNW | 0 | 26 | 9 | 13 | 185 | 593 | 758 | 1597 | 6053 | 3398 | 2328 | 1327 | 16287 |
| NW | 0 | 8 | 35 | 69 | 171 | 590 | 805 | 1076 | 1139 | 5175 | 3997 | 7409 | 20474 |
| NNW | 0 | 24 | 41 | 47 | 45 | 282 | 5120 | 909 | 3268 | 3366 | 10628 | 2674 | 26404 |
| 各环形段人口合计 | 9 | 117 | 188 | 309 | 1211 | 5066 | 11373 | 5043 | 12721 | 13746 | 18783 | 13569 | 82135 |
| 半径区内人口累计 | 9 | 126 | 314 | 623 | 1834 | 6900 | 18273 | 23316 | 36037 | 49783 | 68566 | 82135 | |

表 2.2-17 厂址半径 80km 范围人口分布（7 岁<年龄≤17 岁）（2019 年）

单位：人

| 方位 \ 距离 (km) | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 合计 |
|--------------|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| N | 0 | 20 | 67 | 111 | 68 | 0 | 3013 | 1678 | 3099 | 0 | 0 | 0 | 8056 |
| NNE | 0 | 0 | 34 | 0 | 77 | 0 | 388 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 499 |
| NE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ENE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ESE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SSE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 0 | 0 | 0 | 26 | 310 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 336 |
| SSW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SW | 0 | 17 | 105 | 37 | 96 | 4321 | 614 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5190 |
| WSW | 22 | 98 | 30 | 114 | 678 | 2604 | 4009 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7555 |
| W | 0 | 0 | 0 | 125 | 622 | 1285 | 2668 | 1575 | 1959 | 3924 | 3975 | 4950 | 21083 |
| WNW | 0 | 60 | 22 | 30 | 422 | 1353 | 1729 | 3467 | 13142 | 7378 | 5056 | 2771 | 35430 |
| NW | 0 | 20 | 80 | 159 | 391 | 1345 | 1836 | 2336 | 2474 | 9064 | 7001 | 15471 | 40177 |
| NNW | 0 | 56 | 94 | 109 | 104 | 644 | 11671 | 2072 | 5725 | 5896 | 18616 | 4684 | 49671 |
| 各环形段人口合计 | 22 | 271 | 432 | 711 | 2768 | 11552 | 25928 | 11128 | 26399 | 26262 | 34648 | 27876 | 167997 |
| 半径区内人口累计 | 22 | 293 | 725 | 1436 | 4204 | 15756 | 41684 | 52812 | 79211 | 105473 | 140121 | 167997 | |

表 2.2-18 厂址半径 80km 范围人口分布（年龄>17 岁）（2019 年）

单位：人

| 方位 \ 距离 (km) | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 合计 |
|--------------|-----|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| N | 0 | 231 | 743 | 1220 | 753 | 0 | 32952 | 18353 | 33889 | 0 | 0 | 0 | 88141 |
| NNE | 0 | 0 | 375 | 0 | 844 | 0 | 4247 | 0 | 3657 | 0 | 0 | 0 | 9123 |
| NE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ENE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ESE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SSE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 0 | 0 | 0 | 289 | 3402 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3691 |
| SSW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SW | 0 | 189 | 1150 | 416 | 1058 | 47250 | 6725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56788 |
| WSW | 247 | 1075 | 330 | 1253 | 7421 | 28478 | 43842 | 11563 | 0 | 0 | 0 | 12368 | 106577 |
| W | 0 | 0 | 0 | 1378 | 6803 | 14058 | 29178 | 19243 | 23928 | 47929 | 48545 | 63206 | 254268 |
| WNW | 0 | 665 | 250 | 332 | 4623 | 14803 | 18910 | 42349 | 160497 | 90101 | 61748 | 33174 | 427452 |
| NW | 0 | 224 | 881 | 1743 | 4282 | 14707 | 20086 | 28535 | 30218 | 93069 | 71882 | 185220 | 450847 |
| NNW | 0 | 614 | 1034 | 1196 | 1144 | 7051 | 127615 | 22661 | 58787 | 60538 | 191137 | 48091 | 519868 |
| 各环形段人口合计 | 247 | 2998 | 4763 | 7827 | 30330 | 126347 | 283555 | 142704 | 310976 | 291637 | 373312 | 342059 | 1916755 |
| 半径区内人口累计 | 247 | 3245 | 8008 | 15835 | 46165 | 172512 | 456067 | 598771 | 909747 | 1201384 | 1574696 | 1916755 | |

表 2.2-19 居民组不同职业人群食物消费量调查结果

单位: kg/ (人 年)

小河东

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | |
|------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|---------|-----|----|---|--------|----|----|----|------|----|-----|---|----|---|----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 |
| 调查人数 | | 11 | | 3 | | 2 | | | 8 | | 0 | | | 2 | | 2 | | | 2 | | 0 | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | | |
| 粮食 | 米 | 20 | 28 | 18 | 25 | 22 | 26 | 0 | 15 | 25 | 0 | 0 | 0 | 6 | 15 | 15 | 20 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| | 面 | 135 | 150 | 145 | 160 | 125 | 140 | 90 | 70 | 100 | 0 | 0 | 90 | 30 | 50 | 20 | 40 | 90 | 2 | 2 | 0 | 0 | 90 |
| | 玉米 | 18 | 25 | 15 | 26 | 18 | 24 | 90 | 4 | 9 | 0 | 0 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 7 | 10 | 7 | 8 | 7 | 7 | 90 | 4 | 6 | 0 | 0 | 90 | 1 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蔬菜 | 叶类 | 70 | 85 | 65 | 75 | 75 | 80 | 75 | 35 | 58 | 0 | 0 | 75 | 20 | 50 | 30 | 60 | 75 | 1.5 | 2 | 0 | 0 | 75 |
| | 根茎类 | 25 | 30 | 28 | 35 | 25 | 30 | 75 | 15 | 20 | 0 | 0 | 75 | 8 | 9 | 7 | 8 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 果实类 | 26 | 32 | 24 | 33 | 22 | 25 | 75 | 18 | 25 | 0 | 0 | 75 | 8 | 10 | 6 | 8 | 75 | 1 | 1 | 0 | 0 | 75 |
| | 其他 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 3 | 75 | 2 | 3 | 0 | 0 | 75 | 1 | 2 | 1 | 2 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 肉类 | 猪肉 | 12 | 15 | 11 | 14 | 14 | 15 | 70 | 9 | 11 | 0 | 0 | 70 | 5 | 15 | 6 | 12 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 |
| | 牛肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 2 | 0 | 0 | 70 | 2 | 3 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 羊肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 禽类 | 鸡肉 | 3 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 70 | 2 | 5 | 0 | 0 | 70 | 3 | 5 | 3 | 3 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蛋类 | 鸡蛋 | 12 | 20 | 15 | 20 | 15 | 15 | 80 | 15 | 21 | 0 | 0 | 80 | 18 | 26 | 25 | 32 | 80 | 5 | 6 | 0 | 0 | 80 |
| | 鸭蛋 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 | 0 | 0 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅蛋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | | |
|------|-------|--------|----|----|----|----|----|---------|----|----|---|--------|-----|----|----|------|----|-----|-----|-----|---|---|----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | | | |
| 调查人数 | | 11 | | 3 | | 2 | | 8 | | 0 | | 2 | | 2 | | 2 | | 0 | | | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | | | | |
| 奶类 | 牛奶及制品 | 12 | 18 | 16 | 22 | 18 | 20 | 20 | 35 | 50 | 0 | 0 | 20 | 50 | 76 | 72 | 98 | 20 | 140 | 150 | 0 | 0 | 10 |
| | 羊奶及制品 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 豆制品 | | 5 | 7 | 5 | 6 | 7 | 7 | 80 | 3 | 7 | 0 | 0 | 80 | 4 | 7 | 3 | 3 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 |
| 水果 | | 27 | 35 | 28 | 33 | 50 | 55 | 60 | 30 | 38 | 0 | 0 | 60 | 26 | 37 | 30 | 40 | 60 | 4 | 5 | 0 | 0 | 60 |
| 海产品 | 鱼类 | 16 | 20 | 28 | 35 | 30 | 35 | 90 | 15 | 20 | 0 | 0 | 90 | 10 | 14 | 10 | 12 | 90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90 |
| | 甲壳类 | 3 | 5 | 8 | 10 | 4 | 4 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 100 | 1 | 2 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 软体类 | 6 | 8 | 15 | 20 | 7 | 8 | 100 | 5 | 9 | 0 | 0 | 100 | 2 | 4 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 藻类 | 2 | 3 | 4 | 6 | 2 | 2 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

注：数据来源于调查问卷；A 指年平均消费量（kg/人*a）；M 指年最大消费量（kg/人*a）；份额指来自评价区份额。下同。

表 2.2-19 续 居民组不同职业人群食物消费量调查结果

单位: kg/(人年)

西钱家

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | |
|------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|----|----|-----|--------|----|----|----|------|-----|----|-----|-----|----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | |
| 调查人数 | | 48 | | 8 | | 6 | | | 26 | | 2 | | | 13 | | 1 | | 7 | | 1 | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 粮食 | 米 | 20 | 26 | 19 | 25 | 22 | 26 | 0 | 15 | 25 | 15 | 20 | 0 | 8 | 15 | 13 | 13 | 0 | 2 | 4 | 2.5 | 2.5 | 0 |
| | 面 | 135 | 150 | 145 | 175 | 125 | 145 | 90 | 70 | 102 | 70 | 90 | 90 | 20 | 60 | 18 | 18 | 90 | 1 | 2 | 1 | 1 | 90 |
| | 玉米 | 18 | 24 | 15 | 24 | 15 | 24 | 90 | 4 | 9 | 3 | 8 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 7 | 10 | 7 | 10 | 7 | 7 | 90 | 4 | 6 | 3 | 7 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蔬菜 | 叶类 | 70 | 80 | 68 | 75 | 75 | 80 | 80 | 35 | 58 | 39 | 45 | 80 | 20 | 50 | 25 | 25 | 80 | 1.5 | 2 | 1 | 1 | 80 |
| | 根茎类 | 28 | 30 | 28 | 35 | 25 | 30 | 80 | 15 | 20 | 12 | 18 | 80 | 8 | 9 | 7 | 7 | 80 | 0 | 0 | 1 | 1 | 80 |
| | 果实类 | 26 | 32 | 24 | 33 | 22 | 25 | 80 | 18 | 25 | 17 | 22 | 80 | 8 | 10 | 6 | 6 | 80 | 1 | 1 | 1 | 1 | 80 |
| | 其他 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 80 | 2 | 3 | 2 | 3 | 80 | 1 | 2 | 1 | 1 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 肉类 | 猪肉 | 12 | 15 | 11 | 14 | 14 | 18 | 80 | 9 | 11 | 10 | 16 | 80 | 5 | 15 | 6 | 6 | 80 | 1 | 1 | 1 | 1 | 80 |
| | 牛肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 2 | 2 | 3 | 70 | 2 | 2 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 羊肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 禽类 | 鸡肉 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 70 | 2 | 5 | 2 | 3 | 70 | 3 | 5 | 2 | 2 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.5 | 2 | 70 | 0 | 0 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蛋类 | 鸡蛋 | 13 | 25 | 14 | 18 | 15 | 20 | 85 | 15 | 22 | 17 | 20 | 85 | 18 | 25 | 25 | 25 | 85 | 4 | 5 | 5 | 5 | 85 |
| | 鸭蛋 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅蛋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | |
|------|-------|--------|----|----|----|----|----|-----|---------|----|----|----|--------|----|----|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | | |
| 调查人数 | | 48 | | 8 | | 6 | | | 26 | | 2 | | 13 | | 1 | | 7 | | 1 | | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 奶类 | 牛奶及制品 | 12 | 20 | 16 | 20 | 18 | 22 | 20 | 35 | 50 | 40 | 50 | 20 | 50 | 77 | 72 | 72 | 20 | 140 | 150 | 160 | 160 | 10 |
| | 羊奶及制品 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 4 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 豆制品 | | 5 | 7 | 5 | 6 | 6 | 7 | 70 | 3 | 6 | 2 | 4 | 70 | 4 | 7 | 0 | 0 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 |
| 水果 | | 27 | 35 | 28 | 33 | 50 | 58 | 70 | 30 | 35 | 36 | 42 | 70 | 26 | 35 | 32 | 32 | 70 | 4 | 5 | 2 | 2 | 70 |
| 海产品 | 鱼类 | 16 | 22 | 20 | 35 | 30 | 45 | 100 | 15 | 20 | 20 | 25 | 100 | 10 | 14 | 10 | 10 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100 |
| | 甲壳类 | 3 | 6 | 8 | 10 | 4 | 5 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 1 | 2 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 软体类 | 6 | 10 | 15 | 22 | 7 | 14 | 100 | 6 | 10 | 5 | 6 | 100 | 2 | 3 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 藻类 | 2 | 4 | 5 | 6 | 2 | 4 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

表 2.2-19 续 居民组不同职业人群食物消费量调查结果

单位: kg/ (人年)

东张家

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | |
|------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|---------|-----|----|---|--------|----|----|----|------|----|-----|---|----|---|----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 |
| 调查人数 | | 24 | | 5 | | 2 | | | 14 | | 0 | | | 7 | | 2 | | | 6 | | 0 | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | | A | M | A | M | | A | M | A | M | | A | M | A | M | |
| 粮食 | 米 | 20 | 25 | 20 | 25 | 22 | 26 | 0 | 15 | 25 | 0 | 0 | 0 | 8 | 15 | 13 | 18 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| | 面 | 137 | 152 | 145 | 175 | 125 | 140 | 90 | 70 | 100 | 0 | 0 | 90 | 20 | 65 | 18 | 30 | 90 | 1 | 2 | 0 | 0 | 90 |
| | 玉米 | 18 | 24 | 15 | 24 | 15 | 22 | 90 | 4 | 9 | 0 | 0 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 7 | 10 | 7 | 10 | 7 | 7 | 90 | 4 | 6 | 0 | 0 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蔬菜 | 叶类 | 70 | 80 | 68 | 75 | 75 | 80 | 80 | 35 | 55 | 0 | 0 | 80 | 20 | 50 | 25 | 50 | 80 | 1.5 | 2 | 0 | 0 | 80 |
| | 根茎类 | 28 | 32 | 28 | 33 | 25 | 30 | 80 | 15 | 20 | 0 | 0 | 80 | 8 | 9 | 7 | 8 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 果实类 | 26 | 32 | 24 | 33 | 22 | 28 | 80 | 18 | 25 | 0 | 0 | 80 | 8 | 10 | 6 | 8 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 |
| | 其他 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 75 | 2 | 3 | 0 | 0 | 75 | 1 | 2 | 1 | 1 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 肉类 | 猪肉 | 12 | 15 | 11 | 14 | 12 | 14 | 75 | 9 | 12 | 0 | 0 | 75 | 5 | 15 | 6 | 12 | 75 | 1 | 1 | 0 | 0 | 75 |
| | 牛肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 80 | 1 | 2 | 0 | 0 | 80 | 2 | 3 | 1 | 2 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 羊肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 | 1 | 1 | 1 | 2 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 禽类 | 鸡肉 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 90 | 2 | 5 | 0 | 0 | 90 | 3 | 5 | 2 | 3 | 90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90 |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蛋类 | 鸡蛋 | 12 | 20 | 14 | 20 | 15 | 22 | 80 | 15 | 22 | 0 | 0 | 80 | 18 | 26 | 25 | 32 | 80 | 4 | 7 | 0 | 0 | 80 |
| | 鸭蛋 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 | 0 | 0 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅蛋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | |
|------|-------|--------|----|----|----|----|----|-----|---------|----|----|---|--------|----|----|----|------|-----|-----|-----|---|---|-----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | | |
| 调查人数 | | 24 | | 5 | | 2 | | | 14 | | 0 | | 7 | | 2 | | 6 | | 0 | | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 奶类 | 牛奶及制品 | 12 | 20 | 16 | 20 | 18 | 20 | 30 | 35 | 45 | 0 | 0 | 30 | 50 | 76 | 72 | 80 | 30 | 140 | 150 | 0 | 0 | 10 |
| | 羊奶及制品 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 豆制品 | | 5 | 7 | 5 | 6 | 6 | 7 | 80 | 3 | 5 | 0 | 0 | 80 | 4 | 7 | 2 | 3 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 |
| 水果 | | 28 | 36 | 28 | 33 | 45 | 55 | 60 | 30 | 38 | 0 | 0 | 60 | 26 | 37 | 32 | 42 | 60 | 4 | 5 | 0 | 0 | 60 |
| 海产品 | 鱼类 | 16 | 20 | 26 | 35 | 30 | 45 | 100 | 15 | 20 | 0 | 0 | 100 | 9 | 14 | 10 | 12 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 100 |
| | 甲壳类 | 3 | 5 | 8 | 10 | 4 | 6 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 100 | 1 | 2 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 软体类 | 6 | 10 | 15 | 21 | 8 | 12 | 100 | 5 | 9 | 0 | 0 | 100 | 2 | 4 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 藻类 | 2 | 3 | 5 | 7 | 2 | 2 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

表 2.2-19 续 居民组不同职业人群食物消费量调查结果

单位: kg/(人年)

周庄

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | | |
|------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|---------|----|----|----|----|--------|----|----|----|------|-----|----|----|---|----|---|--|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 份额 | 农民 | | 其它 | | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | |
| 调查人数 | | 32 | | 4 | | 4 | | | | 16 | | 2 | | | | 8 | | 2 | | | 7 | | 0 | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | A | | M | A | M | A | M | | A | M | A | M | | A | M | A | M | |
| 粮食 | 米 | 20 | 26 | 20 | 28 | 22 | 26 | 0 | 15 | 25 | 15 | 22 | 0 | 8 | 15 | 13 | 16 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 面 | 137 | 150 | 145 | 175 | 125 | 145 | 90 | 70 | 98 | 65 | 80 | 90 | 20 | 65 | 18 | 30 | 90 | 1 | 2 | 0 | 0 | 90 | | |
| | 玉米 | 18 | 24 | 15 | 24 | 15 | 23 | 90 | 4 | 9 | 3 | 5 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| | 其他 | 7 | 10 | 7 | 10 | 7 | 7 | 90 | 4 | 6 | 3 | 1 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| 蔬菜 | 叶类 | 70 | 80 | 70 | 75 | 75 | 80 | 70 | 35 | 48 | 39 | 45 | 70 | 20 | 50 | 25 | 56 | 70 | 1.5 | 2 | 0 | 0 | 70 | | |
| | 根茎类 | 28 | 32 | 28 | 33 | 25 | 30 | 70 | 15 | 20 | 12 | 18 | 70 | 8 | 9 | 7 | 8 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| | 果实类 | 26 | 32 | 24 | 33 | 22 | 25 | 70 | 18 | 25 | 17 | 22 | 70 | 8 | 10 | 6 | 8 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 | | |
| | 其他 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 70 | 2 | 3 | 2 | 3 | 70 | 1 | 2 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| 肉类 | 猪肉 | 12 | 15 | 11 | 14 | 15 | 18 | 80 | 9 | 11 | 10 | 13 | 80 | 5 | 15 | 6 | 12 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 | | |
| | 牛肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 80 | 1 | 2 | 2 | 3 | 80 | 2 | 3 | 1 | 2 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| | 羊肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| 禽类 | 鸡肉 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 80 | 2 | 5 | 2 | 3 | 80 | 3 | 5 | 2 | 3 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 | | |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| 蛋类 | 鸡蛋 | 13 | 20 | 14 | 20 | 15 | 19 | 70 | 15 | 21 | 17 | 23 | 70 | 18 | 26 | 25 | 28 | 70 | 6 | 7 | 0 | 0 | 70 | | |
| | 鸭蛋 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 80 | 1 | 1 | 1 | 2 | 80 | 0 | 0 | 1 | 2 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| | 鹅蛋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | | |

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | | |
|------|-------|--------|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|--------|-----|----|----|------|----|-----|-----|-----|---|---|-----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | | | |
| 调查人数 | | 32 | | 4 | | 4 | | 16 | | 2 | | 8 | | 2 | | 7 | | 0 | | 份额 | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | 份额 | | | |
| 奶类 | 牛奶及制品 | 12 | 20 | 16 | 20 | 18 | 25 | 20 | 35 | 45 | 36 | 55 | 20 | 50 | 76 | 72 | 85 | 20 | 140 | 150 | 0 | 0 | 10 |
| | 羊奶及制品 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 4 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 豆制品 | | 5 | 7 | 5 | 6 | 6 | 7 | 70 | 3 | 7 | 2 | 4 | 70 | 4 | 7 | 2 | 3 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 |
| 水果 | | 27 | 35 | 28 | 33 | 50 | 60 | 60 | 30 | 35 | 36 | 40 | 60 | 26 | 37 | 32 | 42 | 60 | 4 | 5 | 0 | 0 | 60 |
| 海产品 | 鱼类 | 16 | 18 | 28 | 35 | 30 | 45 | 100 | 15 | 20 | 22 | 28 | 100 | 9 | 12 | 10 | 12 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 100 |
| | 甲壳类 | 3 | 5 | 8 | 10 | 4 | 6 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 1 | 2 | 1 | 2 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 软体类 | 6 | 8 | 15 | 22 | 8 | 14 | 100 | 5 | 8 | 4 | 7 | 100 | 2 | 4 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 藻类 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 2 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

表 2.2-19 续 居民组不同职业人群食物消费量调查结果

单位: kg/ (人年)

南泊

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | |
|------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|---------|-----|----|----|----|--------|----|----|---|------|---|----|---|---|----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | |
| 调查人数 | | 19 | | 3 | | 2 | | | 8 | | 2 | | | 5 | | 0 | | 3 | | 0 | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 粮食 | 米 | 20 | 25 | 20 | 25 | 22 | 30 | 0 | 15 | 25 | 16 | 22 | 0 | 8 | 15 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| | 面 | 136 | 150 | 145 | 180 | 125 | 145 | 90 | 80 | 100 | 68 | 80 | 90 | 20 | 62 | 0 | 0 | 90 | 1 | 2 | 0 | 0 | 90 |
| | 玉米 | 18 | 24 | 15 | 24 | 15 | 23 | 90 | 4 | 10 | 3 | 6 | 90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 7 | 10 | 7 | 10 | 7 | 7 | 90 | 4 | 6 | 3 | 6 | 90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蔬菜 | 叶类 | 70 | 80 | 65 | 75 | 72 | 76 | 75 | 35 | 56 | 35 | 42 | 75 | 20 | 45 | 0 | 0 | 75 | 1 | 2 | 0 | 0 | 75 |
| | 根茎类 | 28 | 30 | 28 | 32 | 25 | 28 | 75 | 15 | 20 | 13 | 18 | 75 | 8 | 9 | 0 | 0 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 果实类 | 26 | 32 | 22 | 33 | 22 | 26 | 75 | 18 | 26 | 17 | 26 | 75 | 8 | 10 | 0 | 0 | 75 | 1 | 1 | 0 | 0 | 75 |
| | 其他 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 75 | 2 | 3 | 2 | 3 | 75 | 1 | 2 | 0 | 0 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 肉类 | 猪肉 | 12 | 15 | 11 | 14 | 14 | 18 | 80 | 9 | 12 | 10 | 16 | 80 | 5 | 10 | 0 | 0 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 |
| | 牛肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 80 | 1 | 1 | 2 | 3 | 80 | 2 | 3 | 0 | 0 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 羊肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 80 | 1 | 1 | 1 | 2 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 禽类 | 鸡肉 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 90 | 2 | 5 | 2 | 2 | 90 | 3 | 4 | 0 | 0 | 90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90 |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蛋类 | 鸡蛋 | 13 | 16 | 16 | 18 | 15 | 20 | 70 | 15 | 22 | 18 | 20 | 70 | 18 | 38 | 0 | 0 | 70 | 6 | 7 | 0 | 0 | 70 |
| | 鸭蛋 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅蛋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | | |
|------|-------|--------|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|--------|-----|----|----|------|---|-----|-----|-----|---|---|-----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | | | |
| 调查人数 | | 19 | | 3 | | 2 | | 8 | | 2 | | 5 | | 0 | | 3 | | 0 | | 份额 | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | A | M | 份额 | | | |
| 奶类 | 牛奶及制品 | 12 | 20 | 16 | 18 | 18 | 22 | 20 | 35 | 42 | 40 | 20 | 10 | 50 | 66 | 0 | 0 | 20 | 140 | 150 | 0 | 0 | 10 |
| | 羊奶及制品 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 4 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 豆制品 | | 5 | 7 | 5 | 6 | 5 | 7 | 70 | 3 | 7 | 2 | 4 | 70 | 4 | 7 | 0 | 0 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 |
| 水果 | | 26 | 35 | 26 | 30 | 50 | 55 | 60 | 30 | 36 | 36 | 40 | 60 | 26 | 35 | 0 | 0 | 60 | 4 | 5 | 0 | 0 | 60 |
| 海产品 | 鱼类 | 16 | 20 | 28 | 35 | 30 | 36 | 100 | 15 | 20 | 22 | 25 | 100 | 9 | 12 | 0 | 0 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 100 |
| | 甲壳类 | 4 | 5 | 8 | 9 | 4 | 6 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 1 | 2 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 软体类 | 6 | 8 | 15 | 22 | 7 | 12 | 100 | 5 | 6 | 4 | 6 | 100 | 2 | 4 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 藻类 | 3 | 3 | 4 | 7 | 2 | 2 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

表 2.2-19 续 居民组不同职业人群食物消费量调查结果

单位: kg/ (人年)

东墩

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | |
|------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|---------|----|-----|----|-----|----|--------|----|----|----|------|----|---|----|---|----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 |
| 调查人数 | | 132 | | 16 | | 24 | | | 75 | | 3 | | | 38 | | 2 | | | 21 | | 4 | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | | A | M | A | M | | A | M | A | M | | A | M | A | M | |
| 粮食 | 米 | 20 | 30 | 22 | 26 | 20 | 25 | 0 | 15 | 25 | 15 | 23 | 0 | 8 | 15 | 13 | 16 | 0 | 2 | 4 | 2 | 3 | 0 |
| | 面 | 130 | 148 | 140 | 175 | 125 | 149 | 90 | 70 | 102 | 68 | 100 | 90 | 20 | 65 | 18 | 35 | 90 | 1 | 2 | 1 | 2 | 90 |
| | 玉米 | 14 | 25 | 16 | 24 | 15 | 23 | 90 | 4 | 9 | 3 | 8 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 7 | 8 | 6 | 12 | 7 | 7 | 90 | 4 | 6 | 3 | 7 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蔬菜 | 叶类 | 70 | 80 | 65 | 78 | 72 | 80 | 80 | 35 | 58 | 39 | 60 | 80 | 20 | 50 | 26 | 46 | 80 | 1 | 2 | 1 | 1 | 80 |
| | 根茎类 | 28 | 32 | 28 | 33 | 25 | 30 | 80 | 15 | 20 | 12 | 18 | 80 | 8 | 9 | 7 | 8 | 80 | 0 | 0 | 1 | 1 | 80 |
| | 果实类 | 26 | 33 | 24 | 29 | 22 | 26 | 80 | 18 | 25 | 17 | 23 | 80 | 8 | 10 | 6 | 7 | 80 | 1 | 1 | 1 | 1 | 80 |
| | 其他 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 80 | 2 | 3 | 2 | 3 | 80 | 1 | 2 | 1 | 1 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 肉类 | 猪肉 | 12 | 15 | 11 | 14 | 14 | 16 | 70 | 9 | 11 | 10 | 19 | 70 | 5 | 15 | 6 | 13 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 |
| | 牛肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 2 | 2 | 3 | 70 | 2 | 3 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 羊肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 禽类 | 鸡肉 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 5 | 70 | 2 | 5 | 2 | 3 | 70 | 2 | 4 | 2 | 3 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.5 | 2 | 70 | 0 | 0 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蛋类 | 鸡蛋 | 13 | 20 | 14 | 16 | 15 | 20 | 80 | 15 | 21 | 17 | 23 | 80 | 17 | 30 | 28 | 32 | 80 | 6 | 7 | 5 | 5 | 80 |
| | 鸭蛋 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅蛋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | | 1<年龄≤7 | | | | | 年龄≤1 | | | | |
|------|-------|--------|----|----|----|----|----|-----|---------|----|----|----|-----|--------|----|----|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | |
| 调查人数 | | 132 | | 16 | | 24 | | | 75 | | 3 | | | 38 | | 2 | | | 21 | | 4 | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 奶类 | 牛奶及制品 | 13 | 21 | 16 | 20 | 16 | 22 | 30 | 35 | 50 | 40 | 65 | 30 | 50 | 75 | 75 | 82 | 30 | 140 | 150 | 160 | 180 | 10 |
| | 羊奶及制品 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 4 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 豆制品 | | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 8 | 80 | 3 | 7 | 2 | 4 | 80 | 4 | 7 | 2 | 3 | 80 | 1 | 1 | 1 | 1 | 80 |
| 水果 | | 27 | 35 | 28 | 33 | 50 | 55 | 70 | 30 | 38 | 36 | 70 | 45 | 26 | 37 | 32 | 42 | 70 | 4 | 5 | 2 | 4 | 70 |
| 海产品 | 鱼类 | 16 | 20 | 28 | 35 | 30 | 45 | 100 | 15 | 20 | 22 | 26 | 100 | 10 | 15 | 10 | 12 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100 |
| | 甲壳类 | 3 | 5 | 8 | 10 | 4 | 6 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 1 | 2 | 1 | 2 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 软体类 | 6 | 10 | 15 | 21 | 7 | 14 | 100 | 5 | 9 | 4 | 10 | 100 | 2 | 4 | 1 | 2 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 藻类 | 3 | 4 | 5 | 6 | 2 | 2 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

表 2.2-19 续 居民组不同职业人群食物消费量调查结果

单位: kg/ (人年)

东钱家

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | |
|------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|---------|-----|----|----|----|--------|----|----|----|------|-----|----|----|---|----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 份额 | 农民 | | 其它 | | | 份额 | 农民 | | 其它 | | 份额 | | | |
| 调查人数 | | 62 | | 12 | | 10 | | | | 34 | | 2 | | | | 19 | | 0 | | | 10 | | 1 |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 粮食 | 米 | 19 | 25 | 20 | 26 | 21 | 25 | | 0 | 15 | 25 | 15 | | 22 | 0 | 8 | 15 | | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| | 面 | 135 | 150 | 140 | 180 | 120 | 145 | 90 | 70 | 102 | 68 | 78 | 90 | 20 | 65 | 0 | 0 | 90 | 1 | 2 | 1 | 1 | 90 |
| | 玉米 | 18 | 24 | 15 | 24 | 15 | 25 | 90 | 4 | 9 | 3 | 8 | 90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 7 | 10 | 7 | 10 | 7 | 7 | 90 | 4 | 6 | 3 | 7 | 90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蔬菜 | 叶类 | 70 | 80 | 70 | 75 | 75 | 80 | 75 | 35 | 58 | 39 | 45 | 75 | 20 | 50 | 0 | 0 | 75 | 1.5 | 2 | 1 | 1 | 75 |
| | 根茎类 | 28 | 32 | 24 | 33 | 25 | 28 | 75 | 15 | 20 | 12 | 16 | 75 | 8 | 9 | 0 | 0 | 75 | 0 | 0 | 1 | 1 | 75 |
| | 果实类 | 26 | 30 | 24 | 35 | 22 | 25 | 70 | 18 | 25 | 17 | 22 | 70 | 8 | 10 | 0 | 0 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 |
| | 其他 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 70 | 2 | 3 | 2 | 3 | 70 | 1 | 2 | 0 | 0 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 肉类 | 猪肉 | 12 | 14 | 11 | 14 | 14 | 16 | 80 | 9 | 11 | 10 | 16 | 80 | 5 | 15 | 0 | 0 | 80 | 1 | 1 | 1 | 1 | 80 |
| | 牛肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 2 | 2 | 3 | 70 | 2 | 3 | 0 | 0 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 羊肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 1 | 0 | 0 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 禽类 | 鸡肉 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 80 | 2 | 5 | 2 | 3 | 80 | 3 | 5 | 0 | 0 | 80 | 1 | 1 | 1 | 1 | 80 |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 70 | 0 | 0 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蛋类 | 鸡蛋 | 13 | 20 | 15 | 18 | 15 | 20 | 80 | 15 | 21 | 17 | 20 | 80 | 18 | 26 | 0 | 0 | 80 | 6 | 7 | 5 | 5 | 80 |
| | 鸭蛋 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅蛋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | |
|------|-------|--------|----|----|----|----|----|-----|---------|----|----|----|-----|--------|----|----|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | |
| 调查人数 | | 62 | | 12 | | 10 | | | 34 | | 2 | | | 19 | | 0 | | 10 | | 1 | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 奶类 | 牛奶及制品 | 12 | 19 | 16 | 20 | 18 | 20 | 20 | 35 | 50 | 40 | 50 | 20 | 50 | 76 | 0 | 0 | 20 | 140 | 150 | 160 | 160 | 10 |
| | 羊奶及制品 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 4 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 豆制品 | | 5 | 7 | 5 | 6 | 5 | 6 | 90 | 3 | 7 | 2 | 4 | 90 | 4 | 7 | 3 | 3 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 |
| 水果 | | 26 | 35 | 28 | 35 | 50 | 55 | 60 | 30 | 38 | 36 | 40 | 60 | 26 | 37 | 0 | 0 | 60 | 4 | 5 | 2 | 2 | 60 |
| 海产品 | 鱼类 | 16 | 22 | 28 | 35 | 30 | 45 | 100 | 15 | 20 | 22 | 25 | 100 | 9 | 14 | 0 | 0 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100 |
| | 甲壳类 | 3 | 5 | 8 | 10 | 4 | 6 | 100 | 1 | 1 | 1 | 2 | 100 | 1 | 2 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 软体类 | 6 | 8 | 15 | 22 | 7 | 14 | 100 | 5 | 9 | 4 | 6 | 100 | 2 | 4 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 藻类 | 3 | 4 | 4 | 6 | 2 | 2 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

表 2.2-19 续 居民组不同职业人群食物消费量调查结果

单位: kg/ (人年)

前王家

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | |
|------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|---------|-----|----|----|----|--------|----|----|----|------|-----|----|---|---|----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | |
| 调查人数 | | 32 | | 3 | | 6 | | | 17 | | 1 | | | 9 | | 1 | | 7 | | 0 | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 粮食 | 米 | 25 | 30 | 20 | 26 | 26 | 35 | 0 | 15 | 25 | 15 | 15 | 0 | 8 | 15 | 13 | 13 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| | 面 | 140 | 150 | 140 | 170 | 124 | 140 | 90 | 70 | 102 | 68 | 68 | 90 | 20 | 65 | 18 | 18 | 90 | 1 | 2 | 0 | 0 | 90 |
| | 玉米 | 18 | 24 | 15 | 24 | 15 | 23 | 90 | 4 | 9 | 3 | 3 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 7 | 10 | 7 | 10 | 7 | 7 | 90 | 4 | 6 | 3 | 3 | 90 | 1 | 1 | 1 | 1 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蔬菜 | 叶类 | 70 | 80 | 65 | 75 | 75 | 80 | 75 | 35 | 58 | 39 | 39 | 75 | 20 | 45 | 25 | 25 | 75 | 1.5 | 2 | 0 | 0 | 75 |
| | 根茎类 | 28 | 32 | 28 | 33 | 25 | 30 | 75 | 15 | 20 | 12 | 12 | 75 | 8 | 9 | 7 | 7 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 果实类 | 26 | 32 | 24 | 33 | 22 | 25 | 75 | 18 | 25 | 16 | 16 | 75 | 8 | 10 | 6 | 6 | 75 | 1 | 1 | 0 | 0 | 75 |
| | 其他 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 70 | 2 | 3 | 2 | 2 | 70 | 1 | 2 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70 |
| 肉类 | 猪肉 | 12 | 16 | 10 | 14 | 15 | 20 | 80 | 9 | 11 | 10 | 10 | 80 | 5 | 12 | 6 | 6 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 |
| | 牛肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 2 | 2 | 2 | 70 | 2 | 3 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 羊肉 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 禽类 | 鸡肉 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 90 | 2 | 5 | 2 | 2 | 90 | 3 | 5 | 2 | 2 | 90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90 |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 蛋类 | 鸡蛋 | 14 | 20 | 15 | 20 | 15 | 20 | 90 | 15 | 21 | 17 | 17 | 90 | 20 | 26 | 25 | 25 | 90 | 6 | 7 | 0 | 0 | 90 |
| | 鸭蛋 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 70 | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 1 | 1 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 鹅蛋 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

| 年龄组 | | 年龄>17岁 | | | | | | | 7<年龄≤17 | | | | 1<年龄≤7 | | | | 年龄≤1 | | | | | | |
|------|-------|--------|----|----|----|----|----|-----|---------|----|----|----|--------|----|----|----|------|-----|-----|-----|---|---|-----|
| 职业 | | 农民 | | 渔民 | | 其它 | | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | 农民 | | 其它 | | | | |
| 调查人数 | | 32 | | 3 | | 6 | | | 17 | | 1 | | 9 | | 1 | | 7 | | 0 | | | | |
| 食物种类 | | A | M | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 | A | M | A | M | 份额 |
| 奶类 | 牛奶及制品 | 12 | 20 | 16 | 22 | 18 | 25 | 30 | 35 | 50 | 40 | 40 | 30 | 50 | 76 | 70 | 70 | 30 | 140 | 150 | 0 | 0 | 10 |
| | 羊奶及制品 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| 豆制品 | | 5 | 7 | 5 | 6 | 6 | 7 | 80 | 3 | 7 | 2 | 2 | 80 | 4 | 7 | 3 | 4 | 80 | 1 | 1 | 0 | 0 | 80 |
| 水果 | | 28 | 35 | 30 | 35 | 50 | 60 | 70 | 30 | 40 | 36 | 36 | 70 | 26 | 36 | 30 | 30 | 70 | 4 | 5 | 0 | 0 | 70 |
| 海产品 | 鱼类 | 16 | 20 | 28 | 36 | 30 | 45 | 100 | 16 | 20 | 22 | 22 | 100 | 9 | 14 | 10 | 10 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 100 |
| | 甲壳类 | 3 | 5 | 8 | 10 | 4 | 6 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100 | 1 | 2 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 软体类 | 6 | 10 | 15 | 21 | 7 | 14 | 100 | 5 | 8 | 4 | 4 | 100 | 2 | 4 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |
| | 藻类 | 2 | 4 | 4 | 5 | 2 | 2 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | — |

表 2.2-20 厂址附近居民在厂址排放水域活动情况

单位：小时

(农民，年龄>17岁)

| 居民组 | 调查人数 | 岸边活动 | | | 划船 | | | 游泳 | | |
|-----|------|------|--------|--------|----|--------|--------|----|--------|--------|
| | | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 |
| 小河东 | 13 | 10 | 550 | 600 | 1 | 150 | 150 | 5 | 25 | 30 |
| 西钱家 | 54 | 38 | 460 | 745 | 0 | 0 | 0 | 6 | 45 | 50 |
| 东张家 | 26 | 24 | 850 | 880 | 3 | 170 | 200 | 2 | 50 | 55 |
| 周庄 | 36 | 30 | 650 | 850 | 0 | 0 | 0 | 1 | 25 | 25 |
| 南泊 | 21 | 15 | 480 | 590 | 1 | 180 | 180 | 2 | 45 | 50 |
| 东墩 | 156 | 120 | 730 | 1200 | 8 | 120 | 190 | 15 | 50 | 60 |
| 东钱家 | 72 | 63 | 560 | 600 | 0 | 0 | 0 | 5 | 35 | 40 |
| 前王家 | 38 | 20 | 690 | 890 | 0 | 0 | 0 | 3 | 75 | 100 |
| 合计 | 416 | 320 | 497.0 | 1200 | 13 | 4.2 | 210 | 39 | 4.1 | 100 |

(农民，7岁<年龄≤17岁)

| 居民组 | 调查人数 | 岸边活动 | | | 划船 | | | 游泳 | | |
|-----|------|------|--------|--------|----|--------|--------|----|--------|--------|
| | | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 |
| 小河东 | 8 | 2 | 160 | 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 西钱家 | 28 | 3 | 200 | 230 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东张家 | 14 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 周庄 | 18 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 南泊 | 10 | 1 | 170 | 170 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东墩 | 78 | 10 | 150 | 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东钱家 | 36 | 2 | 120 | 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 前王家 | 18 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合计 | 210 | 25 | 13.5 | 230 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表 2.2-20 续 厂址附近居民在厂址排放水域活动情况

单位：小时

(农民, 1岁<年龄≤7岁)

| 居民组 | 调查人数 | 岸边活动 | | | 划船 | | | 游泳 | | |
|-----|------|------|--------|--------|----|--------|--------|----|--------|--------|
| | | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 |
| 小河东 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 西钱家 | 14 | 2 | 20 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东张家 | 9 | 1 | 40 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 周庄 | 10 | 1 | 25 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 南泊 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东墩 | 40 | 3 | 35 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东钱家 | 19 | 1 | 30 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 前王家 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合计 | 111 | 8 | 2.2 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(农民, 年龄≤1岁)

| 居民组 | 调查人数 | 岸边活动 | | | 划船 | | | 游泳 | | |
|-----|------|------|--------|--------|----|--------|--------|----|--------|--------|
| | | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 |
| 小河东 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 西钱家 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东张家 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 周庄 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 南泊 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东墩 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 东钱家 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 前王家 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合计 | 69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表 2.2-20 续 厂址附近居民在厂址排放水域活动情况

单位：小时

(渔民, ≥18 岁)

| 居民组 | 调查人数 | 岸边活动 | | | 划船 | | | 游泳 | | |
|-----|------|------|--------|--------|----|--------|--------|----|--------|--------|
| | | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 | 人数 | 人年平均时间 | 人年最大时间 |
| 小河东 | 3 | 2 | 560 | 600 | 3 | 1800 | 2000 | 1 | 35 | 35 |
| 西钱家 | 8 | 6 | 620 | 720 | 8 | 2200 | 2500 | 2 | 30 | 35 |
| 东张家 | 5 | 3 | 570 | 650 | 5 | 1900 | 2200 | 1 | 45 | 45 |
| 周庄 | 4 | 1 | 600 | 600 | 4 | 2300 | 2600 | 2 | 40 | 45 |
| 南泊 | 3 | 1 | 720 | 720 | 3 | 2600 | 3000 | 1 | 50 | 50 |
| 东墩 | 16 | 8 | 750 | 820 | 16 | 2400 | 2800 | 5 | 36 | 40 |
| 东钱家 | 12 | 6 | 630 | 700 | 12 | 1700 | 2200 | 3 | 42 | 50 |
| 前王家 | 3 | 1 | 700 | 700 | 3 | 1600 | 1800 | 0 | 0 | 0 |
| 合计 | 54 | 28 | 326.9 | 820 | 54 | 2005.5 | 3000 | 15 | 10.7 | 50 |

表 2.2-21 厂址半径 80km 范围内城镇居民和农民食物消费量

单位: kg/ (人 年)

| 食物种类 | | 全体居民 | | 城镇居民 | | 农村居民 | |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 年平均消费量 | 年最大消费量 | 年平均消费量 | 年最大消费量 | 年平均消费量 | 年最大消费量 |
| 粮食 | 米 | 11.8 | 24 | 12.8 | 18 | 10.6 | 24 |
| | 面 | 85.3 | 110 | 72.3 | 92 | 102.0 | 110 |
| | 玉米 | 3.7 | 9 | 2.6 | 5 | 5.0 | 9 |
| | 其他 | 5.7 | 10.5 | 5.6 | 10.5 | 5.8 | 10 |
| 蔬菜 | 叶类 | 90.5 | 112 | 99.0 | 112 | 79.6 | 103 |
| | 根茎类 | 2.0 | 2.2 | 2.0 | 2.1 | 2.0 | 2.2 |
| | 其他 | 3.7 | 7 | 4.3 | 7 | 2.9 | 4.2 |
| 肉类 | 猪肉 | 14.6 | 23 | 15.3 | 23 | 13.8 | 20 |
| | 牛肉 | 1.1 | 3 | 1.6 | 3 | 1.5 | 2 |
| | 羊肉 | 1.0 | 1.6 | 1.2 | 1.6 | 0.7 | 1 |
| | 其他 | 4.9 | 8 | 5.5 | 8 | 4.1 | 5 |
| 禽类 | 鸡肉 | 4.0 | 5 | 4.0 | 4.9 | 4.1 | 5 |
| | 鸭肉 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 其他 | 2.4 | 3 | 2.6 | 3 | 2.0 | 2.2 |
| 海产品 | 鱼类 | 7.0 | 9 | 8.5 | 9 | 5.1 | 5.5 |
| | 甲壳软体类 | 4.9 | 8 | 7.0 | 8.0 | 2.1 | 2.5 |
| | 藻类 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 0.3 |
| | 其他 | 1.7 | 2.8 | 2.4 | 2.8 | 0.7 | 1.0 |
| 蛋类 | | 17.5 | 21 | 18.0 | 21 | 16.8 | 18 |
| 奶类 | | 16.9 | 26 | 21.8 | 26 | 10.7 | 15 |
| 水果 | | 71.4 | 88 | 80.3 | 88 | 60.0 | 68 |

注: 数据来源于《山东省统计年鉴(2020年)》。

表 2.2-21 续 厂址半径 80km 范围内城镇居民和农民食物消费量

单位: kg/(人·年)

| 年龄组 | | 年龄≤1 | | 1<年龄≤7 | | 7<年龄≤17 | | 年龄>17岁 | |
|------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 食物种类 | | 年平均消费量 | 年最大消费量 | 年平均消费量 | 年最大消费量 | 年平均消费量 | 年最大消费量 | 年平均消费量 | 年最大消费量 |
| 粮食 | 米 | 2 | 4 | 12 | 20 | 19 | 28 | 21 | 30 |
| | 面 | 2 | 2.5 | 25 | 50 | 88 | 110 | 130 | 170 |
| | 玉米 | 0 | 0 | 2 | 3 | 6 | 10 | 18 | 30 |
| | 其他 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 8 | 8 | 15 |
| 蔬菜 | 叶类 | 2 | 3 | 32 | 75 | 48 | 65 | 75 | 90 |
| | 根茎类 | 1 | 2 | 9 | 11 | 21 | 29 | 30 | 40 |
| | 果实类 | 1 | 1 | 7 | 12 | 20 | 28 | 25 | 38 |
| | 其他 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 6 | 4 | 6 |
| 肉类 | 猪肉 | 0.5 | 1 | 7 | 20 | 12 | 24 | 15 | 24 |
| | 牛肉 | 0 | 0 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1.5 | 3 |
| | 羊肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 禽类 | 鸡肉 | 1 | 1 | 3 | 6 | 3 | 6 | 4 | 6 |
| | 鸭肉 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| | 鹅肉 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 其他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 海产品 | 鱼类 | 1 | 1.5 | 10 | 16 | 25 | 32 | 25 | 36 |
| | 甲壳类 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 4 | 5 | 7 |
| | 软体类 | 0 | 0 | 1 | 4 | 4 | 15 | 8 | 18 |
| | 藻类 | 0 | 0 | 0.5 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 蛋类 | | 5 | 7 | 20 | 35 | 18 | 25 | 18 | 30 |
| 奶类 | | 150 | 160 | 56 | 100 | 45 | 70 | 18 | 30 |
| 水果 | | 4 | 4.5 | 36 | 60 | 35 | 50 | 45 | 76 |

2.3 土地利用及资源概况

本工程厂址半径 80km 范围内的土地利用及资源概况统计数据来源于 2021 年进行的厂址环境调查工作，统计数据截至年份为 2019 年，以本工程 1 号 CAP1400 压水堆核电机组为中心进行调查。

2.3.1 土地和水体的利用

2.3.1.1 土地利用

1) 土地利用现状

本工程位于山东省威海市所辖荣成市宁津街道，荣成市土地面积为 1527km²，其中陆地 1329km²，占 87%；水域面积 198km²，占 13%；农用地 1146km²，建设用地 2426.3km²。宁津街道辖区总面积 6717hm²，其中陆地面积约为 4550hm²，占总面积的 67.7%；海域面积 2167hm²，占总面积的 32.3%。

厂址半径 10km 范围包括宁津街道、东山街道、桃园街道的全部居民点，还包括斥山街道的东泊子、西泊子。

厂址半径 10km 范围内涉及到宁津街道 47 处基本农田（共计 1619.78hm²）、东山街道 28 处基本农田（共计 1493.94hm²）和桃园街道 8 处基本农田（共计 148.3hm²），斥山街道无基本农田分布。

2) 土地利用规划

厂址所在地的土地利用规划为城乡建设用地中的允许建设区。

厂址半径 10km 范围内大部分土地规划为基本农田和城乡建设用地以及小部分坑塘水面，城乡建设规划用地主要集中在 W~SW 方位，W~WSW 有部分林地规划用地。

3) 陆域功能区划及环境保护要求

根据《山东省主体功能区规划》（山东省人民政府，鲁政发[2013]3 号），厂址所在荣成市属于山东半岛国家级优化开发区域中的威海市东南部。区域功能定位：黄河中下游地区对外开放的重要门户和陆海交通走廊，国际竞争力较强的先进制造、高新技术和海洋经济等高端产业聚集区，全国重要的特色产业基地和高效生态经济示范区，具有国际先进水平的海洋经济发展示范区和我国东部沿海地区重要经济增长极，东北亚地区国际航运中心。区域环境保护要求为：在严重地下水漏斗区和海水入侵区划定地下水禁采区和限采区并严格保护，加快发展海

水淡化产业,提高水资源供应保障能力,推进低山丘陵区封山育林和小流域治理,实施农田林网、路域林网、水系林网“三网合一”绿化工程,构建以胶东半岛中部生态脊为中心,向南北两翼延展的片状生态网络格局。

根据《威海市环境总体规划(2014-2030年)》(威政字[2016]58号),厂址位于生态环境一般管控区。生态环境一般管控区包括除生态环境一级、二级管控区外的区域,即不涉及土壤保持、水源涵养、生物多样性中度重要区,水土流失、河库滨岸中度敏感区以及海陆交错带中的极脆弱区(自然保护区、森林公园、风景名胜区、地质公园、生态湿地(公园)、饮用水水源保护区(一级、二级)、沿海防护林等)和中度脆弱区、海洋特别保护区、自然保护区、国家级海洋公园、特殊保护类海岛、重要渔业海域、重要河口生态系统、重要滨海旅游区、特殊保护海域。

2.3.1.2 水体利用

1) 地表水利用

(1) 河流

荣成市境内河流皆源于山丘区,属沿海边缘水系,不发达,多为季节性间歇河流,河流水系分散,流域面积小,共有独立入海的流域面积 1km^2 以上的河流102条,其中流域面积 20km^2 以上的有10条,其中1条位于厂址半径 15km 范围内,为王连河。王连河起于虎山镇龙庙山南,流经虎山镇桥头庄、黄山王家、台上三个行政村;王连街道马岭滑家、马岭许家、北桥头、河西乔家、王家庄、隋家庄、沟曲家、常家庄八个行政村,汇入八河水库。全长 10.32km ,流域面积 42.20km^2 。河流基本情况见表2.3-1。

厂址半径 15km 范围内有7条小型河流,河流基本情况见表2.3-2。

(2) 湖泊

厂址半径 15km 范围内有1个湖泊——凤凰湖,位于厂址WSW方向 9.1km 处,为国家3A级旅游景区,原是一个与海相通的咸水湖,后经抽泥扩湖,填地造岛,形成 200hm^2 水面, 800hm^2 土地的旅游景区,不作为水源地及灌溉用途。

(3) 水库

厂址半径 15km 范围内共有20个水库,见表2.3-3。其中仅八河水库(最近处位于厂址NW方向 8.5km 处)为大型水库,其取水见表2.3-4。八河水库不在《山东省水利厅关于公布<全省重要饮用水水源地名录>的通知》(鲁水资字

[2015]25 号)和《水利部关于印发全国重要饮用水水源地名录(2016 年)的通知》(水资源函[2016]383 号)所列名录中。厂址半径 15km 范围内其余 19 个水库为防洪灌溉用的中小型水库(荣成市粮食生产供水水源主要是指分散的小水库、塘坝、河道拦蓄、地下水及部分大中型水库等,厂址半径 15km 范围内涉及的 20 个水库除大型水库八河水库外,均用作灌溉用途)。厂址半径 15km 范围内的林家流水库及其西侧的龙门港水库与海水相连,用于养殖等活动,位于厂址 N 方位 4.3km 处,不属于荣成市水利局管辖水库。

(4) 地表水环境保护要求

根据《威海市环境总体规划(2014-2030 年)》(威政字[2016]58 号),厂址位于水环境一般管控区。生态环境一般管控区包括除水环境一级、二级管控区外的其他区域,即不涉及在用、备用、拟建的城市集中式饮用水水源地一级、二级保护区、准保护区、河流源头水所在控制单元、重要湿地、珍稀水生生物保护区的水源涵养区。

2) 地下水利用

荣成市地下水类型主要为基岩裂隙水和第四系孔隙水。荣成市山丘区多年平均地下水资源量为 0.90 亿 m^3 。平原区多年平均地下水资源量为 0.43 亿 m^3 ,重复计算量为 0.02 亿 m^3 ,全市多年平均地下水资源量为 1.31 亿 m^3 ,地下水资源可开采量为 0.67 亿 m^3 。

厂址半径 15km 范围内不存在较大规模开采地下水的情况。厂址半径 15km 范围内的地下水取水情况为:共有 133 口水井,供水量每村每人约 40~60L/d,取水用途基本为生活饮用。

3) 海水利用

海水利用见 2.3.3 节描述。

根据《山东省海洋主体功能区规划》(山东省人民政府,鲁政发[2017]22 号),厂址所在荣成市海域属于限制开发区域中的重要地理生境型重点海洋生态功能区。

根据《山东省海洋功能区划(2011-2020 年)》(国函[2012]165 号文批复)、《威海市海洋功能区划(2013-2020 年)》和《荣成市海域使用规划(2013-2020)》,厂址附近海洋功能区划主要为荣成宁津工业与城镇用海区和荣成宁津保留区,具体见 1.7.2 节描述。本工程厂址用海调整需求拟纳入正在编制的山东省国土空间

规划。

根据《荣成市海域使用规划（2013-2020）》，厂址东侧岸线规划为东钱家东南（东墩村东北）—镆铳岛东侧岸线，该岸线为砂砾质活动岸线，长 11.3km，规划重点建设石岛湾核电站，打造配套完整的核电产业及研发基地；周边以生态防护为主，严禁其他建设活动。

2020 年后，山东省人民政府尚未针对《山东省近岸海域环境功能区划（2016-2020 年）》发布更新后的区划方案。根据《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》（鲁环函[2021]69 号），厂址附近近岸海域环境功能区划为：本工程附近面积为 3.51km² 的海域调整为混合区，混合区外面积为 36.91km² 的海域调整为三类环境功能区，具体见 1.7.2 节描述。

2.3.1.3 生态环境敏感区

1) 名胜古迹

厂址半径 15km 范围内存在 21 处文物古迹，其中，1 处国家级保护文物，为宁津街道的留村墓群；3 处省级保护文物，分别为宁津街道的东楮岛海草房、港湾街道的天后宫和东墩村的东墩海草房，其中留村石墓群位于厂址半径 5km 范围内。厂址半径 15km 范围内名胜古迹情况见表 2.3-5。

（1）留村墓群

国家级保护文物，位于厂址 W 方位 4.62km。留村墓群始建于元代元统三年（即公元 1335 年），现存墓群南北长 35m，东西宽 23m，共有十座石墓，其中七座保存较完好。1996 年 6 月被荣成市人民政府公布为荣成市级文物保护单位，2004 年 12 月被威海市人民政府公布为威海市级文物保护单位。2013 年 5 月，被国务院公布为第七批全国重点文物保护单位。

（2）楮岛海草房

省级保护文物，位于厂址 NNE 方位 4.62km。楮岛海草房位于山东省荣成市宁津街道东楮岛村，2013 年 10 月 10 日被山东省人民政府公布为山东省第四批省级文物保护单位。

（3）东墩海草房

省级保护文物，位于厂址 SW 方位 0.94km。东墩海草房位于山东省荣成市宁津街道。2015 年 6 月 23 日被山东省人民政府公布为山东省第五批省级文物保护单位。东墩村现有保存比较完好的、有 200 年以上历史的海草房 30 多幢。

(4) 天后宫

省级保护文物，位于厂址 SW 方位 12.46km。天后宫位于石岛城区中心，始建于清代乾隆十六年（公元 1752 年），座北朝南，三进庙堂式建筑，布局严谨别致，造型古朴壮观。占地 1600m²。殿内供奉天后、龙王等塑像。

与 2012 年相比，厂址半径 15km 范围内新增东墩海草房等 1 个省级保护文物。

2) 风景旅游区

荣成市旅游风景区主要有成山头国家 AAAA 级风景名胜区、石岛赤山国家 AAAA 级旅游景区、荣成市那香海 AAAA 级景区、圣水观景区、槎山风景区、荣成市博物馆、荣成金石湾艺术园区、成山森林公园景区、樱花湖体育公园、花斑彩石景区、历史文化名村东楮岛、甲子山庄等。厂址半径 15km 范围内有历史文化名村东楮岛、甲子山庄、石岛赤山国家 AAAA 级旅游景区，见表 2.3-6。

(1) 石岛赤山国家 AAAA 级旅游景区

4A 级景区，位于荣成市石岛管理区，距离厂址 WSW 方位 12.87km，方圆 12.8km²，山因石红而得名。景区拥有赤山法华院、吉祥平安谷、赤山大明神、张保皋传记馆、荣成民俗馆、世廉雅石馆、天门潭、国际海水浴场、凤凰湖旅游度假区等十大景观区。景区年接待一百多万人次，日高峰人数出现在十一期间，达 2.8 万余人次。

(2) 历史文化名村东楮岛

3A 级景区，位于荣成市石岛管理区最东端，距离厂址 NNE 方位 10.31km，海岸线长 10km，村东、南、北三面环海，西与陆地相连，为一长条型岛屿。景区分为海草房观赏园、乡村记忆街馆、赶海钓鱼体验区、浪漫沙滩休闲区、海钓采摘体验区、荣成渔家乐特色餐宿区、荣成旅游住宿体验等几大特色体验项目和人文历史资源。景区年接待三十万人次，日高峰人数出现在十一期间，达 1 万余人次。

(3) 甲子山庄

3A 级景区，位于荣成市石岛管理区，距离厂址 WNW 方位 4.65km。甲子山庄按照荣成市甲子山露营休闲基地规划，规划总占地面积 0.87km²，由荣成市甲子山生态休闲农庄股份有限公司独立投资建成，建设以茶叶、水果、粮食、蔬菜有机栽植及采摘园休闲观光、餐饮服务娱乐服务等于一体的综合性经营实体。景

区年接待十万人次，日高峰人数达 1 万余人次。

与 2012 年相比，厂址半径 15km 范围内新增历史文化名村东楮岛、甲子山庄等 2 个景区。

根据《荣成市城市总体规划（2018-2035）》，荣成市规划形成“一心两翼两廊发展”的旅游空间布局。本工程所在厂址位于“两翼”的南翼范围，南翼为南部石岛管理区，深挖“港城渔都”文化资源，强化石岛湾滨海度假品牌，启动国家级海洋公园建设，创建国家知名渔文化乡村记忆旅游区。图中南翼范围内的石岛湾旅游度假区、东楮岛国家级历史文化名村、石岛山市级森林公园、赤山省级风景名胜区均位于厂址半径 5km 范围外。石岛湾旅游度假区区域发展方向需持续关注。

3) 自然保护区

本工程厂址半径 15km 范围内无省级以上自然保护区分布，距厂址最近的国家级自然保护区为位于厂址 N 方位约 35.2km 处的荣成大天鹅自然保护区。

荣成大天鹅自然保护为距厂址最近的国家级自然保护区，该自然保护区位于厂址 N 方位约 35.2km（保护区边界距离厂址最近距离）。该保护区是中国最大的天鹅栖息地，主要由马山港、养鱼池、临洛湾组成。保护区总面积 1675 公顷，其中核心区 668 公顷，缓冲区 628 公顷，实验区 379 公顷。荣成大天鹅自然保护区是一处融丘陵、滩涂、泻湖、浅水海域为一体的自然生态系统，具有典型性、稀有性、脆弱性、多样性等特点，以保护大天鹅等濒危鸟类和湿地生态系统为主体，是鸟类南迁北移的重要中转站和越冬栖息地。

4) 森林公园

本工程厂址半径 15km 范围内无省级以上森林公园分布，距厂址最近的国家森林公园为位于厂址 SW 方位约 21km 处的槎山国家森林公园。

槎山国家森林公园位于山东省威海市荣成市最南端，东面、南面以环海公路为界，西面、北面以槎山山脊线为界，经营面积为 106.67 公顷（林地面积 99.51 公顷，苗圃地 3.40 公顷，林业辅助生产用地 3.76 公顷），全部为林业用地，林业用地权属归槎山国有林场所有。

5) 地质公园

本工程厂址半径 15km 范围内无省级以上地质公园分布，距厂址最近的省级地质公园为位于厂址 WSW~SW 方位约 18km 处的槎山省级地质公园。

山东荣成槎山省级地质公园地处山东半岛最东端，荣成市最南部，其东部及南部濒临黄海，西至南道村、赵家庄村，北至西里山村、蟠龙石村、北石硼村、邢家嘴村，面积约 24.1km²。地质公园地貌成因类型为低山丘陵区，主峰清凉顶，海拔 539.8m。公园内包括地质构造、地质体、地貌景观、水体景观和环境地质遗迹景观五大类地质遗迹类型。包括岩浆岩体、构造形迹、岩石地貌、构造地貌、流水地貌、海蚀海积景观、泉水景观、湖沼景观、瀑布景观、灾变地质环境遗迹等 10 种亚类。

6) 湿地公园

本工程厂址半径 10km 范围内有 1 处省级以上湿地公园，为荣成八河港省级湿地公园，位于厂址 NW~WNW 方位约 8.73km 处。

荣成八河港省级湿地公园于 2012 年 12 月 31 日批准设立，批复面积 2474hm²，其中湿地面积 1638hm²。湿地公园由整个八河水库库区及周边部分林地湿地构成，南至店子村，北到小落村，东到水库大坝，西至王连庄村，南北最长 8km，东西最长 7km。湿地公园划分为五个功能区，即湿地保育区、恢复重建区、宣教展示区、合理利用区、服务管理区。湿地公园主要包括河流湿地、沼泽湿地、人工湿地三大湿地类，下分为库塘、草本沼泽 2 个湿地亚类。湿地公园维管植物中，有 2 种属于国家 I 级重点保护植物，分别是银杏、水杉；有 3 种属于国家 II 级重点保护植物，分别是野大豆、水蕨、中华结缕草。湿地公园动物资源中有国家一级保护鸟类 4 种，即东方白鹳、黑鹳、白头鹤和中华秋沙鸭；国家二级保护鸟类 16 种，主要为隼形目和鸮形目的猛禽类，留鸟、候鸟和旅鸟均有分布；山东省重点保护鸟类 16 种。野生兽类中，黄鼬属于山东省重点保护兽类。

2.3.2 陆生资源及生态概况

2.3.3.1 农、牧、林业概况

1) 农业

(1) 厂址半径 5km 范围行政村农业情况

厂址半径 5km 范围涉及宁津街道的 38 个居民点或行政村、东山街道 1 个行政村，桃园街道 4 个行政村的农田，共计 13.23km²，主要种植农产品有粮食作物小麦、玉米；油料作物大豆、花生以及一些蔬菜作物。

厂址半径 5km 范围内粮食作物的种植面积和产量分别为 9.57km² 和 6171.35

吨；油料作物的种植面积和产量达到了 2.90km² 和 1159.2 吨；蔬菜作物的种植面积和产量分别为 0.10km² 和 369.25 吨；水果种植面积和产量分别为 0.085km² 和 207 吨；除此之外厂址半径 5km 范围内还种植了其他作物，包括地瓜、土豆和芸豆，种植面积和产量分别为 0.11km² 和 137 吨。本范围内的农作物基本无外销情况。

与 2012 年厂址半径 5km 范围内农作物种植情况相比，粮食、油料、蔬菜种植面积均大幅降低，整体上农业种植面积大幅下降。

(2) 厂址半径 10km 范围街道和镇农业情况

厂址半径 10km 范围的陆域面积包括荣成市石岛管理区宁津街道、东山街道全部区域以及桃园、斥山街道部分区域，其中斥山街道的部分区域不涉及农业种植。主要种植农产品有粮食作物小麦、玉米；油料作物大豆、花生以及一些蔬菜作物。

厂址半径 10km 范围内粮食作物的种植面积和产量分别为 13.72km² 和 10450.4 吨；油料作物的种植面积和产量达到了 4.63km² 和 2673.14 吨；蔬菜作物的种植面积和产量分别为 0.14km² 和 404 吨；水果种植面积和产量分别为 0.085km² 和 207 吨；除此之外厂址半径 10km 范围内还种植了其他作物，包括地瓜、土豆和芸豆，种植面积和产量分别为 0.11km² 和 155 吨。本范围内的农作物基本为省内销售。

(3) 厂址半径 80km 范围区市农业情况

厂址半径 80km 范围内主要涉及涉及荣成市、文登区、环翠区、经济技术开发区、临港经济技术开发区、火炬高技术产业开发区、南海新区、乳山市以及烟台的牟平区。威海市农作物总播种面积为 2001km²，粮食播种面积 1212km²，总产量 579709 吨；其中荣成市粮食播种面积达 361km²，占 18.04%；荣成市粮食产量 171360 吨，占 29.56%；荣成市蔬菜播种面积为 49km²，蔬菜总产量 220836 吨；果园的总面积为 73.0km²；水果总产量为 246716 吨。

对比 2012 年的调查结果，荣成市除水果产量增加外，粮食、蔬菜播种面积及产量，以及水果种植面积均有下降。

2) 牧业

(1) 厂址半径 5km 范围行政村家畜和家禽情况

厂址半径 5km 范围涉及宁津街道的 38 个居民点或行政村、东山街道 2 个行

政村，桃园街道 1 个行政村，按照养殖场的标准不同，可分为规模养殖户、专业养殖户以及散户。

厂址半径 5km 范围内共有 9 家规模养殖户和 105 家专业养殖户，还有部分养殖散户。饲养家禽家畜的品种主要包括猪、鸡、鸭和鹅，还有少量牛和羊。厂址半径 5km 范围内 2019 年猪的总存栏量 20765 头，出栏量 21616 头；牛的总存栏量 25 头，出栏量 15 头；羊的总存栏量 70 头，出栏量 25 头；鸡的总存栏量 433416 只，年出栏量 356400 只；鸭的出栏量 7000 只，年出栏量 5000 只。荣成市猪的存栏期一般为 6 个月，牛的存栏期为 500 天，鸡和鸭的存栏期为 40-60 天，羊的出生期为春季，屠宰期为秋季。

(2) 厂址半径 10km 范围街道和镇家畜和家禽情况

厂址半径 10km 范围的陆域面积包括荣成市石岛管理区宁津街道、东山街道全部区域以及桃园、斥山街道部分区域，其中斥山街道的部分区域不涉及养殖。

(3) 厂址半径 80km 范围区市家畜和家禽情况

厂址半径 80km 范围内涉及荣成市、文登区、环翠区、经济技术开发区、临港经济技术开发区、火炬高技术产业开发区、南海新区、乳山市以及烟台的牟平区。

与 2012 年的统计结果相比，荣成市家禽、猪、牛、羊的年末存栏量均有下降。

厂址半径 80km 范围内各区域的家畜、家禽饲料喂养情况基本相同。猪饲料主要由玉米、小麦、高粱等组成，来源为从本地饲料厂家购买，每头猪平均每天饲料用量 2.5kg 左右；牛饲料主要由干草、秸秆等组成，来源为从饲料厂家购买，每头牛每年约消耗 10 吨饲料；鸡饲料主要由玉米、米糠等粮食组成，来源为从饲料厂家购买，一只 20 周龄的鸡累计消耗 8kg 左右，一只成鸭每月消耗 7 斤左右饲料。

3) 林业

厂址半径 10km 范围内主要涉及三种林地类型，分别为国家级公益林、重点商品林以及一般商品林，其中国家级公益林在林地中所占比例最高，为 45.83%，省级公益林在林地中所占比例最低，为 5.83%。

厂址半径 5km 范围内林业分布以重点商品林为主，市级公益林主要集中分布在 W~WNW 方位，国家级公益林零星分布为 SSE~NW 方位，均位于厂址半径

1km 范围外。

2.3.3.2 陆生生态调查

本工程厂址周边的陆生生态调查统计数据来源于 2021 年进行的陆生生态调查工作。

根据《荣成市志》、《威海市环境总体规划（2014-2030 年）》，本工程所在荣成市地处胶东低山丘陵区的最东端，三面环海，海岸线总长 491.9km，土地总面积 1392km²，海拔不高，地形复杂，群山连绵、丘陵起伏、沟壑纵横。有山地、丘陵和平原 3 种地貌类型，其中山地面积 466.32km²，占全市总面积的 33.5%；丘陵 701.568km²，占 50.4%；平原 224.112km²，占 16.1%。山脉大都呈东西走向。北部的伟德山和南端的槎山，基岩主要有花岗岩类组成，构成了主要的山区；丘陵广布，经长期剥蚀形成平岗浅谷，海拔多在 200m 左右；平原主要分布在河流沿岸和沿海地区，多呈狭窄带状；海岸多为沿岸，曲折多弯，路上山丘直插入海，形成陡峭的海岬或海蚀阶地；山谷则形成港湾，湾内冲击物大量堆积，沙坝绵亘。境内地势南北高，中间低，呈马鞍形，平均海拔 25m。较大河流的发源地以伟德山为主，在市境北部成为分水岭。

本工程所在荣成市境内土壤多为酸性岩及其风化物发育而成，质地较粗，砾石和砂粒含量较高，1mm-3mm 的砾石含量平均为 14.5%，呈微酸性，pH 值在 5.6-8.1 之间，平均为 6.4。受地形条件影响，pH 值变化具有一定的地域性。沿海一带盐化潮土 pH 值在 7.3-8.1 之间；内地山间泊地、河滩地 pH 值在 6.0-7.8 之间；山丘坡地受成土母质影响，pH 值在 5.6-7.5 之间；唯有荒坡酸性较重，pH 值多在 4.5-6.0 之间。由于土壤质地较粗，砂粒含量较高，表层土壤容重较高，平均 1.44g/cm³，变幅在 1.2-1.78g/cm³；心土层平均容重 1.51g/cm³，变幅在 1.27g/cm³-1.87g/cm³，而且土壤孔隙度状况较差，土壤总孔隙度 45.7%，毛管孔隙度 28.7%，空气孔隙度 17%，大小孔隙度为 1:1.7。因此，田间持水量较低，保供水性能差，平均田间持水量为 20.3%，供氮强度平均为 10.5%，耕作土壤全氮平均 0.037%。土壤有机质平均含量 0.81ppm，耕地养分平均有机质 0.797ppm，全氮 0.051ppm，速效磷 6.73ppm，速效钾 50.73ppm。土壤分 4 个土类，9 个亚类，18 个土属，120 个土种。棕壤土类分布最广，面积最大，占荣成市总面积的 82.25%，广泛分布于荣成市各镇低山丘陵及山前倾斜平面上，包括棕壤性土、棕壤亚类、潮棕壤亚类和白浆化棕壤亚类；潮土土类也是具有较大面积分布的土壤之一，占

总面积的 13.84%，主要分在河谷两岸和沿海地带，包括潮土和盐化潮土两个亚类；风沙土土类由风积母质发育而成，按剖面性态分为流动风沙土和半固定风沙土两个亚类，面积较小，主要分布于成山卫、龙须岛、港西等镇滨海沙丘地带，目前大部分已栽植用材林或植果桑等经济林；盐土土类只有滨海潮盐土一个亚类，主要分布于沿海荒盐地和废弃盐田。

陆生生态调查方式为：资料收集与现场调查相结合。

陆生生态调查范围为：资料收集的调查范围为厂址半径 80km 的陆域，现场调查的调查范围为厂址半径 10km 的陆域。厂址周边自然保护区、重要野生植物生长区域、重要野生动物生存活动区域、生态红线区域等环境敏感区域开展重点调查。

陆生生态现场调查时间为：2020 年 7 月 12 日~17 日进行植物调查和夏季动物调查，2020 年 10 月 22 日~24 日进行秋季动物调查，2021 年 1 月 19 日~21 日进行冬季动物调查，2021 年 3 月 21~24 日进行春季动物调查。

陆生生态调查情况如下：

1) 陆生植物调查

陆生植物调查期间，在厂址半径 0-5km 范围布设 12 个调查样线，在厂址半径 5km-10km 范围，布置 4 条样线。在每个样线内选择典型的群落，每种群落设置 3~5 个样方，共设样方 116 个（乔木样方 13 个，灌木样方 6 个，草本样方 95 个，藤本样方 2 个）。调查采用样方法。

调查区域范围内的植物调查有维管束植物 49 科 123 属 156 种（含变种及种下等级），其中未见蕨类植物，裸子植物 2 科 2 属 2 种，被子植物 47 科 121 属 154 种。厂调查区域范围内的植物物种多样性较为丰富，被子植物在植物区系占主要地位。该区系 123 属中，热带、亚热带分布类型共有 37 属，温带分布类型共有 55 属，中国特有分布 1 属（银杏属），具有温带性质的植物在植物区系组成中起着主导作用，与所处地区的地理位置及自然地理环境一致。调查区域范围内的植物区系的基本特征包括：古老植物成分丰富，滨海植物与盐生植物区系发达，岩面、岩缝中生长的岩生植物丰富。

根据样方调查分析，调查区域范围内的主要群落类型有：落叶阔叶林、暖性针叶林、落叶阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛和草本沼泽等。调查区分布的乔木层主要以黑松、槐、杨树等为主，灌木层种类较为复杂，且多为多优势种的群落，包

括胡枝子、兴安胡枝子、紫穗槐等植物。其中胡枝子是调查区分布最广的群系类型，大都生长在低丘地段和一些坡度较缓、土层较厚的沟谷，体现为胡枝子-长冬草群系。灌草丛主要为原生植被受到破坏或干扰逆向演替形成，广泛分布于林缘、缓坡地带。草本层以艾等植物为主要优势种，植株高度在 15cm-45cm 之间，以翅果菊、柯孟披碱草等为亚优势种，植株高度在 35cm-60cm 之间，其他还包括小蓬草、碱蓬、月见草、猪毛蒿、砂引草等植物，植株高度在 20cm-60cm 之间。层间植物包括圆叶牵牛、鹅绒藤、荻等植物。

调查区域范围内分布的各种野生资源植物资源量均较小，呈零散分布，开发的经济价值不大，对植物资源的开发利用也尚处在初级阶段。该地区主要资源植物有木材与纤维资源、果蔬资源、粮食及淀粉植物资源、药用植物资源、花卉及绿化植物资源等 6 大类。

对调查区域范围内的踏察及植被群落的样方调查，调查区域范围内的森林植被，面种最大，生物量最高的植物群落主要是人工种植的杨树，其建群种只有一个，为单优势种或单优势种群落，林下的灌木层、草本层的优势种常为单优势种或多优势种。灌木层优势种的种类有紫穗槐、兴安胡枝子、单叶蔓荆、圆叶鼠李，草本层的优势种有艾、芦苇、柯孟披碱草、翅果菊、小蓬草、猪毛蒿，藤本植物有鹅绒藤、圆叶牵牛、荻、茅莓，生长于濒海山坡及海岛的落叶阔叶灌丛，是以月见草组成多优势种群落。调查区内的特有种为银杏，属国家 I 级重点保护野生植物，位于厂址半径 3km 外。

调查区域范围内发现的重点保护植物包括：

(1) 《国家重点保护野生植物名录》国家 II 级重点保护野生植物 1 种，为野大豆 (*Glycine soja*)，位于山东石岛湾核电厂址后续机组预留区域、甲子山、朝阳洞山、东崩石、崮山、长青园和红石崩。

(2) 古树名木 3 种 6 株。距离厂址最近的古树名木为位于东苏家村西头的朴树，位于厂址 WSW 方位 3.7km，树龄 1100 多年。

2) 陆生动物调查

陆生动物调查，在厂址半径 0-10km 范围布设 9 个调查样线。样线涵盖了调查区域内的典型生境，包括林地、灌丛、草地、农田、居民区、海岸湿地、河流、水库、养殖塘等生态景观。

(1) 调查区域范围内的现场调查情况如下：

调查区域范围内共记录两栖动物 1 目 4 科 4 属 4 种，包括东方铃蟾、中华蟾蜍、黑斑侧褶蛙、北方狭口蛙。其中夏季记录两栖动物 1 目 3 科 3 属 3 种，秋季记录 1 目 1 科 1 属 1 种，冬季调查时两栖动物处于休眠期，春季调查时两栖动物尚未出眠，未记录到两栖动物。文献检索未查到调查区域范围内有关两栖动物的详细记录。4 种两栖动物中，东方铃蟾和黑斑侧褶蛙为山东省重点保护动物，未记录到国家重点保护两栖动物，记录过程中黑斑侧褶蛙种群数量最多。

调查区域范围内仅夏季在常青园——西寺样线的西寺附近山坡路边发现 1 条丽斑麻蜥（有鳞目蜥蜴科），在一墓地稀疏草丛中发现 1 条虎斑颈槽蛇（游蛇科），冬季和春季现场调查未记录到爬行动物。文献检索未查到调查区域范围内有关爬行动物的详细记录。上述爬行动物不属于国家级和省级重点保护动物。

调查区域范围内夏季共记录鸟类 46 种，分隶于 13 目 30 科 41 属，以当地的留鸟和夏候鸟为主，优势种为麻雀、家燕、黑尾鸥，国家 II 级保护动物只有红隼。目级别统计，雀形目种类最多有 14 科 17 种，其次是鸽形目有 4 科 6 种；科级别统计，鹭科种数最多有 8 种，其次是鸦科有 3 种；区系统计，古北种 16 种，广布种 27 种，东洋种 3 种。

调查区域范围内秋季共记录鸟类 59 种，分隶于 13 目 26 科 43 属，以当地的留鸟和旅鸟为主，优势种为麻雀、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、红嘴鸥、喜鹊、白头鹎，国家 II 级保护动物有大天鹅、红隼、游隼、黑鸢、黑翅鸢、大鵟、普通鵟、长耳鸮、云雀。目级别统计，雀形目种类最多有 12 科 26 种，其次是鸽形目有 3 科 5 种；科级别统计，鸊科种数最多有 6 种，其次是鸭科和鹭科各有 5 种；区系统计，古北种 29 种，广布种 27 种，东洋种 3 种。

调查区域范围内冬季共记录鸟类 56 种，分隶于 11 目 24 科 43 属，以当地的留鸟和冬候鸟为主，优势种为翘鼻麻鸭、绿头鸭、斑嘴鸭、白骨顶、西伯利亚银鸥、赤膀鸭、黑尾鸥、麻雀，国家 II 级保护动物有小白额雁、疣鼻天鹅、大天鹅、白腰杓鹬、红隼、云雀。目级别统计，雀形目种类最多有 13 科 21 种，其次是雁形目有 1 科 16 种；科级别统计，鸭科种数最多有 16 种，其次是鸥科和燕雀科各有 4 种；区系统计，古北种 41 种，广布种 12 种，东洋种 3 种。

调查区域范围内春季共记录鸟类 74 种，分隶于 12 目 31 科 47 属，以当地的留鸟和旅鸟为主，优势种为红头潜鸭、麻雀、白骨顶、赤膀鸭、黑尾鸥、红嘴鸥，国家 I 级保护动物有黑嘴鸥，国家 II 级保护动物有斑头秋沙鸭、雀鹰、白尾鹞、

普通鳊、红隼、云雀。目级别统计，雀形目种类最多有 17 科 32 种，其次是雁形目有 1 科 15 种；科级别统计，鸭科种数最多有 15 种，其次是鸱科有 7 种；区系统计，古北种 52 种，广布种 19 种，东洋种 3 种。

调查区域范围内四季共记录鸟类 14 目 39 科 124 种，包括留鸟 38 种，旅鸟 35 种，冬候鸟 28 种，夏候鸟 23 种，优势种为翘鼻麻鸭、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、麻雀、骨顶鸡、绿头鸭，国家 I 级保护鸟类有黑嘴鸥 1 种，国家 II 级保护鸟类有小白额雁、大天鹅、疣鼻天鹅、斑头秋沙鸭、白腰杓鹬、红隼、游隼、黑鸢、黑翅鸢、雀鹰、白尾鹞、普通鳊、大鳊、长耳鸮、云雀共 15 种。目级别统计，雀形目种类最多有 21 科 51 种，其次是雁形目有 1 科 19 种；科级别统计，鸭科种数最多有 19 种，其次是鹭科和鸱科各有 8 种；区系统计，古北种 80 种，广布种 39 种，东洋种 5 种。

现场调查期间，在厂址半径 1km 范围内观测到国家 II 级保护鸟类大天鹅、云雀、红隼、白腰杓鹬、山东省重点保护鸟类环颈雉、普通鸬鹚、苍鹭、白鹭。

调查区域范围内共记录哺乳动物 3 目 4 科 4 属 4 种，包括远东刺猬、麝鼯（现场调查到残骸 1 具）、草兔、褐家鼠。文献检索未查到调查区域范围内有关哺乳动物的详细记录。4 种哺乳动物中，麝鼯为山东省重点保护动物 1 种，未记录到国家级重点保护哺乳动物，为记录到中国特有种，记录过程中草兔种群数量最多。

对厂址后续机组预留区域附近的样线调查情况如下：共记录陆生脊椎动物 63 种，分隶于 3 纲 13 目 30 科 48 属。其中两栖纲无尾目 3 科 3 种 3 属，鸟纲 11 目 26 科 44 属 59 种，哺乳纲兔形目兔科 1 种，未发现中国特有动物物种。63 种脊椎动物中，国家 II 级保护动物有大天鹅、白腰杓鹬、红隼和云雀 4 种，其中大天鹅和白腰杓鹬分布于厂址取排水工程施工区域的海岸潮间带，云雀主要分布于南部荒草地，红隼活动范围较大，可游荡于厂区内。山东省重点保护动物有黑斑侧褶蛙、环颈雉、赤膀鸭、普通秋沙鸭、凤头鸬鹚、灰斑鸠、普通鸬鹚、苍鹭、白鹭和黄雀等 10 种，其中黑斑侧褶蛙、环颈雉、灰斑鸠、苍鹭、白鹭和黄雀主要分布于厂址东北部海岸附近的淡水沟渠及乔、灌木林地，赤膀鸭、普通秋沙鸭、凤头鸬鹚、普通鸬鹚主要分布于厂址取排水工程施工区域的海岸潮间带。调查中未发现保护鸟类的繁殖地。

(2) 厂址半径 80km 陆域范围内的综合文献资料和现场调查情况如下：

厂址半径 80km 陆域范围共记录两栖动物 8 种，分隶于 1 目 4 科 4 属，均为

无尾目两栖类，未发现尾目和无足目种类；共记录爬行动物 12 种，分隶于 2 目 6 科 10 属，其中有鳞目 4 科 10 种，龟鳖目 2 科 2 种，龟鳖目 2 科 2 种。优势种有无蹼壁虎、红点锦蛇和虎斑颈槽蛇。

厂址半径 80km 陆域范围共记录鸟类 203 种，隶属于 20 目 57 科 125 属，记录到科最多的是雀形目 27 科，其次是鸽形目记录 7 科。雀形目是鸟种数最多的目有 62 种，其次为鸽形目记录到 43 种。记录到冬候鸟 31 种，留鸟 42 种，旅鸟 74 种，夏候鸟 53 种，迷鸟 3 种。203 种鸟类中，古北界鸟种 128 种占优势，东洋界鸟种 15 种，广布种 60 种。鸟类群落类型包括潮间带滩涂鸟类群落、养殖塘鸟类群落、河流鸟类群落、水库湖泊鸟类群落、林灌鸟类群落、农田荒滩鸟类群落、居民村落鸟类群落。

厂址半径 80km 陆域范围统计到哺乳动物 15 种，隶属于 5 目 11 科 14 属，以中、小型兽类为主，其中食虫目有 3 科 3 种，分布广泛（优势种：远东刺猬）；食肉目 3 科 4 种，兔形目 1 科 1 种（优势种：草兔），啮齿目 3 科 6 种。15 种哺乳动物中，古北界种类 5 种，东洋界种类 1 种，广布种 9 种。

3) 陆生生态系统简述

调查区域范围位于暖温带落叶阔叶林区，为滨海低山丘陵地带，由于历史性的长期农耕和渔猎、养殖等活动对自然环境持续高强度的干扰，自然生态系统被取代，由于长期演替的结果，使各类生态系统处于动态平衡。生态系统中作为生产者的植物群落物种越丰富，生产力越高，作为消费者的动物群落才能获得足够的营养而丰富。调查区域为低山丘陵，土地贫瘠，植被生产力较低，作为消费者的动物物种多样性不丰富，尤其是两栖爬行类和哺乳类种类较少，鸟类相对丰富，大多都是广泛分布的常见种类，国家重点保护的珍稀濒危动、植物相对较少。

4) 生态环境现状综合分析评价

根据调查结果，采用《环境影响评价技术规范》（HJ192-2015）对调查区域范围内的生态环境现状进行了综合评价。根据生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地胁迫指数、污染负荷指数和环境限制指数的评价指标的计算结果，得到调查区域范围内的生态环境状况指数为 $EI=50.03$ ，生态环境状况分级为一般，植被覆盖度中等。

2.3.3.3 距离最近的菜田、农田、家禽、家畜养殖场等

厂址半径 10km 范围内距离最近的菜田、农田、家禽、家畜养殖场如下：

— 离厂址最近的菜田：在厂址SSW方位1.70km处，蔬菜种植面积0.67ha，品种为大白菜、土豆、萝卜、芸豆、茄子，年产量105t；

— 离厂址最近的农田：在厂址N方位1.14km处，作物种植面积5.4ha，主要作物为玉米、花生、小麦，年产量29.4t；

— 离厂址最近的家禽养殖场：在厂址WSW方位2.03km处，饲养品种为鸡，年存栏量为10000只，年上市量为0只；

— 离厂址最近的家畜养殖场：在厂址WSW方位0.84km处，饲养品种为猪、牛，猪年存栏量为1392头，年上市量为947头；牛年存栏量为25头，年上市量为15头。

2.3.3 水产资源及生态概况

2.3.3.1 渔业生产及水产养殖概况

1) 渔业生产

厂址以东海域属石岛渔场区域，石岛渔场位于山东石岛东南的黄海中部海域，区域范围为东经 122~124°，北纬 E36~38°N，面积 8002 平方海里（2.7 万 km²）。渔场的常年海水温度 5~28℃，年平均表层为 13.3~15.2℃，盐度年平均表层为 31.3~32.1，水深 1~78m，平均水深 40m。渔场的主要渔期自 10 月至次年 6 月，主要捕捞对象包括黄海鲱鱼（青鱼）、对虾、枪乌贼、鲜鲈、鲑鱼、蓝点马鲛、鳎、小黄鱼、黄姑鱼、鳕和带鱼等。

由于渔业资源密度分布的季节差异特点，厂址所处近岸海域形成了明显的季节性渔汛，即春汛和秋汛，3~6 月为春汛期，9~11 月为秋汛期，春汛资源分布属向岸移动型，秋汛资源分布属向外移动型。一般秋汛大于春汛。

厂址附近海域已实施海洋伏季休渔制度，2021 年根据《农业农村部关于调整海洋伏季休渔制度的通告》（农业农村部通告[2021]1 号）规定，2021 年 5 月 1 日 12 时至 9 月 1 日 12 时，北纬 35° 以北的渤海和黄海海域进入伏季休渔期，同时山东省按《山东省规范海洋渔业船舶捕捞规定》执行。

厂址半径 15km 范围内海产品主要包括大黄鱼、小黄鱼、刀鱼、鳀鱼、鲳鱼、鲅鱼、青鱼等鱼类，还包括对虾、青蟹、梭子蟹等甲壳类，乌贼、鱿鱼、章鱼等头足类以及海参、海蜇等。石岛管理区鱼类水产品捕捞量最大，但逐年呈下降趋势。

2) 水产养殖

厂址半径 15km 范围内养殖的海产品包括鱼类、甲壳类、贝类、藻类以及海参，其中鱼类年养殖产量为 22 万吨，甲壳类 2450 吨，贝类 14910 吨，藻类 730 吨，海参 1481 吨。厂址半径 15km 范围内的海产品基本为省内销售，外销数量较少。海产养殖面积超过 100ha 的主要企业有荣成市滨海城建开发有限公司、荣成汇英食品有限公司、荣成市鑫海投资有限公司、荣成泰明食品有限公司、山东好当家海洋发展股份有限公司、荣成市宁津安泰水产养殖场、荣成市宁津镇龙泉海水养殖场荣成林家流水产有限公司、荣成市宁津华洋水产养殖场等，其中养殖面积最大为荣成林家流水产有限公司的养殖场，最近处位于厂址 N 方向 4.3km 处。

根据《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程海域使用论证报告书》（2018 年 7 月）描述，2018 年本工程再次开展海域使用论证工作，根据荣成市海洋与渔业局发布的养殖清海公告及本工程周边海域拟清理养殖区分布范围，清理海域面积约 20.55km²。本工程建设单位与华能山东石岛湾核电有限公司签订了用海协议，厂址周边海域养殖清理补偿由华能山东石岛湾核电有限公司负责，华能山东石岛湾核电有限公司委托荣成市宁津街道办事处与清海范围内养殖业户进行了协调，并已与全部养殖单位（户），共 78 户，签订了补偿协议。其中拟征用筏式养殖水域 1491.42ha，共涉及到 62 个养殖单位（户），主要养殖品种为海带和栉孔扇贝；滩涂养殖面积 68.06ha，共涉及到 5 个养殖单位（户），主要养殖品种为刺参、海胆、盘鲍和蛤仔。池塘养殖面积约 147.24ha，共涉及到 13 个养殖单位（户），主要养殖品种为刺参。2016 年为保护清海范围，避免其他用海活动对核电用海的影响，华能山东石岛湾核电有限公司在清海范围的北、南和东侧边界均申请了用海，现清海范围内除华能山东石岛湾核电有限公司项目用海外，无其他确权用海项目。此外已与当地政府签订补偿框架协议，对处于温排水影响范围内但位于清海范围以外（位于清海范围南、北侧）的确权养殖用海进行补偿。

2.3.3.2 海洋生态概况

中国科学院海洋研究所先后在厂址周围海域开展了四次海洋生态专题调查（第一次为 2006 年 12 月至 2007 年 1 月、2007 年 4 月、2007 年 7 月和 2007 年 10 月的冬、春、夏、秋季四航次的调查，第二次为 2008 年 8 月、2008 年 11 月、

2009年2月和2009年5月的夏、秋、冬、春季四航次的补充调查,第三次为2009年11月、2010年2月、2010年5月和2010年8月的秋、冬、春、夏季四航次的补充调查,第四次为2012年11月、2013年5月秋、春两航次的补充调查)。

为持续了解本工程所在厂址附近海域海洋生态现状,2019年本工程开始建设后,自然资源部第三海洋研究所分别在2020年11月15日~2020年11月18日、2021年01月11日~2021年01月14日、2021年04月14日~2021年04月18日、2021年07月09日~2021年07月12日开展了秋、冬、春、夏季四航次的调查工作。依据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T19485-2014)要求,以本工程所在厂址排水口为中心、扇形半径50km布设调查站位,共布设水质大面调查站位48站(含生态站位29个,海水放射性站位25个,沉积物质量站位24个),海洋生物质量调查站位29站(与渔业资源调查站位一致),海水水质及放射性水平见第三章描述。在取排水口共布设连续调查站3个,取排水口周边共布设潮间带断面6条。

根据调查结果,本工程厂址附近海域海洋生态概况如下:

1) 生物要素

(1) 叶绿素 *a* 和初级生产力

秋季表层叶绿素 *a* 浓度介于 0.48~1.89mg/m³, 平均为 0.73mg/m³; 底层叶绿素 *a* 浓度介于 0.50~0.92mg/m³, 平均为 0.66mg/m³。冬季表层叶绿素 *a* 浓度介于 0.42~1.09mg/m³, 平均为 0.56mg/m³; 底层叶绿素 *a* 浓度介于 0.54~1.83mg/m³, 平均为 0.59mg/m³。春季表层叶绿素 *a* 浓度介于 0.34~1.38mg/m³, 平均为 0.92mg/m³; 底层叶绿素 *a* 浓度介于 0.49~2.05mg/m³, 平均为 0.91mg/m³。夏季表层叶绿素 *a* 浓度介于 0.19~1.51mg/m³, 平均为 0.66mg/m³; 底层叶绿素 *a* 浓度介于 0.54~1.43mg/m³, 平均为 0.84mg/m³。

秋季初级生产力介于 4.24~59.64mg·C/(m²·h), 平均为 24.08mg·C/(m²·h)。冬季初级生产力介于 3.94~37.07mg·C/(m²·h), 平均为 11.66mg·C/(m²·h)。春季初级生产力介于 5.24~34.18mg·C/(m²·h), 平均为 16.03mg·C/(m²·h)。夏季初级生产力介于 14.02~138.48 mg·C/(m²·h), 平均为 59.88mg·C/(m²·h)。各季节初级生产力的垂直分布均呈现为单峰型结构。

调查海域表层叶绿素 *a* 浓度呈现出春季>秋季>夏季>冬季的规律,底层则为春季>夏季>秋季>冬季,初级生产力呈现出夏季>秋季>春季>冬季的规律,

出现这样的原因可能是夏季调查站位的透明度远远高于其他三个季节,而光照是影响浮游植物进行光合作用的重要因素之一。

调查海域各季节叶绿素 a 浓度的日变化趋势与潮位变化趋势基本相反,表现出涨潮时浓度下降,退潮时浓度上升的变化规律;各季节各连续观测站的初级生产力均表现出白天与潮位变化趋势相反的变化规律。

(2) 浮游植物

秋季水采样品中表、底层浮游植物平均丰度分别为 $22.45 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 和 $18.25 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$, 丰富度 (d) 分别为 0.72 和 0.7, 均匀度 (J') 分别为 0.77 和 0.82, 多样性指数 (H') 分别为 2.03 和 2.18, 主要优势种为具槽帕拉藻, 表、底层平均丰度分别为 $8.93 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 和 $8.83 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 。冬季水采样品中表、底层浮游植物平均丰度分别为 $34.69 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 和 $40.0 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$, 丰富度 (d) 分别为 0.86 和 0.80, 均匀度 (J') 分别为 0.66 和 0.66, 多样性指数 (H') 分别为 1.92 和 1.90, 主要优势种为具槽帕拉藻和念珠直链藻, 其中具槽帕拉藻表、底层平均丰度分别为 $23.66 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 和 $29.75 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 。春季水采样品中表、底层浮游植物平均丰度分别为 $108.76 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 和 $101.37 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$, 丰富度 (d) 分别为 0.94 和 0.98, 均匀度 (J') 分别为 0.39 和 0.35, 多样性指数 (H') 分别为 1.28 和 1.15, 主要优势种为具槽帕拉藻, 表、底层平均丰度分别为 $88.79 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 和 $84.52 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 。夏季水采样品中表、底层浮游植物平均丰度分别为 $35.31 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 和 $38.08 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$, 丰富度 (d) 分别为 2.06 和 2.07, 均匀度 (J') 分别为 0.60 和 0.60, 多样性指数 (H') 分别为 1.81 和 1.81, 主要优势种为具槽帕拉藻, 表、底层平均丰度分别为 $22.66 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 和 $25.15 \times 10^2 \text{cell/dm}^3$ 。

秋季网采样品中浮游植物平均丰度为 $4.54 \times 10^5 \text{cell/m}^3$, 丰富度 (d) 范围 1.50-2.52, 均匀度 (J') 范围 0.72-0.88, 多样性指数 (H') 范围 3.38-4.41, 主要优势种包括奇异棍形藻、具槽直链藻、尖刺拟菱形藻、虹彩圆筛藻、布氏双尾藻、夜光藻和中国盒形藻。冬季网采样品中浮游植物平均丰度为 $3.26 \times 10^5 \text{cell/m}^3$, 丰富度 (d) 范围 1.91-2.20, 均匀度 (J') 范围 0.70-0.86, 多样性指数 (H') 范围 3.26-3.98, 主要优势种包括具槽直链藻、虹彩圆筛藻、掌状冠盖藻、辐射圆筛藻、尖刺拟菱形藻、威利圆筛藻和格氏圆筛藻。春季网采样品中浮游植物平均丰度为 $91.67 \times 10^4 \text{cell/m}^3$, 丰富度 (d) 范围 1.37-1.78, 均匀度 (J') 范围 0.37-0.57, 多

多样性指数 (H') 范围 1.66-2.49, 主要优势种包括具槽直链藻、骨条藻、星脐圆筛藻、布氏双尾藻和辐射圆筛藻。夏季网采样品中浮游植物平均丰度为 $19.36 \times 10^4 \text{cell/m}^3$, 丰富度 (d) 范围 1.19-1.64, 均匀度 (J') 范围 0.35-0.87, 多样性指数 (H') 范围 1.45-3.57, 主要优势种包括旋链角毛藻、具槽直链藻、夜光藻、骨条藻和尖刺拟菱形藻。

(3) 赤潮生物

赤潮生物根据厂址附近海域网采浮游植物统计得到, 包括硅藻、甲藻、蓝藻、金藻, 其中硅藻种类占绝对优势。秋季赤潮生物总丰度均值为 $4.54 \times 10^5 \text{cell/m}^3$, 丰度占比最高的为奇异棍形藻 (中国沿海引起赤潮最普遍的原因种)。秋季赤潮生物总丰度均值为 $2.41 \times 10^5 \text{cell/m}^3$, 丰度占比最高的为具槽直链藻。秋季赤潮生物总丰度均值为 $34.44 \times 10^4 \text{cell/m}^3$, 丰度占比最高的为具槽直链藻。秋季赤潮生物总丰度均值为 $7.52 \times 10^4 \text{cell/m}^3$, 丰度占比最高的为旋链角毛藻 (中国胶州湾、长江口、大亚湾等海域常见的赤潮生物种类)。

根据山东省海洋生态环境状况公报 (2018、2019 年), 2009~2018 年山东海域发现赤潮 25 次, 其中夜光藻作为第一优势种引发的赤潮次数最多。1999 年至今, 威海、烟台海域赤潮发生主要集中在以长岛近岸、烟台四十里湾、威海乳山近岸, 烟台四十里湾和长岛近岸以海洋卡盾藻等鞭毛藻赤潮和红色裸甲藻等甲藻赤潮为主, 威海乳山近岸以夜光藻赤潮为主。厂址附近海域与上述赤潮发生海域距离 30km 以上。

(4) 浮游动物

秋季浮游动物湿重生物量均值为 195.14mg/m^3 (范围值 $33.06 \sim 440.65 \text{mg/m}^3$), 总个体数 (不含夜光虫) 均值为 62.09ind./m^3 (范围值 $18.08 \sim 385.02 \text{ind./m}^3$), 夜光虫均值为 197.32ind./m^3 (范围值 $22.22 \sim 916.67 \text{ind./m}^3$), 丰富度 (d) 范围 1.75~6.08, 均匀度 (J') 范围 0.56~0.95, 多样性指数 (H') 范围 1.87~3.64, 最优势种类为强壮箭虫。

冬季浮游动物湿重生物量均值为 123.40mg/m^3 (范围值 $50.71 \sim 352.50 \text{mg/m}^3$), 总个体数 (不含夜光虫) 均值为 78.64ind./m^3 (范围值 $27.06 \sim 389.16 \text{ind./m}^3$), 夜光虫均值为 14.35ind./m^3 (范围值 $5.52 \sim 59.72 \text{ind./m}^3$), 丰富度 (d) 范围 1.36~2.97, 均匀度 (J') 范围 0.53~0.73, 多样性指数 (H') 范围 1.63~2.93, 最优势种类为中华哲水蚤。

春季浮游动物湿重生物量均值为 $162.85\text{mg}/\text{m}^3$ (范围值 $46.30\sim 398.33\text{mg}/\text{m}^3$)，总个体数 (不含夜光虫) 均值为 $144.74\text{ind.}/\text{m}^3$ (范围值 $14.38\sim 673.73\text{ind.}/\text{m}^3$)，夜光虫均值为 $16.38\text{ind.}/\text{m}^3$ (范围值 $0.32\sim 81.67\text{ind.}/\text{m}^3$)，丰富度 (d) 范围 $0.50\sim 3.41$ ，均匀度 (J') 范围 $0.31\sim 0.88$ ，多样性指数 (H') 范围 $0.89\sim 3.03$ ，最优势种类为腹针胸刺水蚤。

夏季浮游动物湿重生物量均值为 $177.89\text{mg}/\text{m}^3$ (范围值 $41.55\sim 425.15\text{mg}/\text{m}^3$)，总个体数 (不含夜光虫) 均值为 $168.55\text{ind.}/\text{m}^3$ (范围值 $17.83\sim 552.06\text{ind.}/\text{m}^3$)，夜光虫均值为 $349.85\text{ind.}/\text{m}^3$ (范围值 $1.25\sim 1444.44\text{ind.}/\text{m}^3$)，丰富度 (d) 范围 $2.35\sim 5.89$ ，均匀度 (J') 范围 $0.15\sim 0.91$ ，多样性指数 (H') 范围 $0.61\sim 4.33$ ，最优势种类为中华哲水蚤。

(5) 底栖生物

秋季大型底栖生物平均密度 $226\text{ind.}/\text{m}^2$ (范围值 $15\sim 1465\text{ind.}/\text{m}^2$ ，环节动物密度最高)，平均总生物量为 $50.8\text{g}/\text{m}^2$ (范围值 $33.06\sim 440.65\text{g}/\text{m}^2$ ，软体动物平均生物量最大)，丰富度 (d) 均值 2.35 ，均匀度 (J') 均值 0.83 ，多样性指数 (H') 均值 2.88 ，优势种有菲律宾蛤仔、索沙蚕、轮双眼钩虾、竹节虫、拟特须虫、尖锥虫、独毛虫和齿吻沙蚕等。

冬季大型底栖生物平均密度 $432\text{ind.}/\text{m}^2$ (范围值 $60\sim 1440\text{ind.}/\text{m}^2$ ，环节动物密度最高)，平均总生物量为 $12.1\text{g}/\text{m}^2$ (范围值 $0.3\sim 141.1\text{g}/\text{m}^2$ ，脊索动物平均生物量最大)，丰富度 (d) 均值 3.24 ，均匀度 (J') 均值 0.81 ，多样性指数 (H') 均值 3.47 ，优势种有独毛虫、寡节甘吻沙蚕、轮双眼钩虾、梳鳃虫、拟特须虫、异蚓虫、索沙蚕、日本怪鳞虫和江户明樱蛤等。

春季大型底栖生物平均密度 $89\text{ind.}/\text{m}^2$ (范围值 $10\sim 365\text{ind.}/\text{m}^2$ ，环节动物密度最高)，平均总生物量为 $7.3\text{g}/\text{m}^2$ (范围值 $0.2\sim 71.8\text{g}/\text{m}^2$ ，棘皮动物平均生物量最大)，丰富度 (d) 均值 1.63 ，均匀度 (J') 均值 0.90 ，多样性指数 (H') 均值 2.44 ，优势种有轮双眼钩虾、日本倍棘蛇尾、多齿全刺沙蚕、棘刺锚参、寡节甘吻沙蚕、内肋蛤和长吻吻沙蚕等。

夏季大型底栖生物平均密度 $416\text{ind.}/\text{m}^2$ (范围值 $40\sim 1465\text{ind.}/\text{m}^2$ ，节肢动物密度最高)，平均总生物量为 $9.1\text{g}/\text{m}^2$ (范围值 $1.3\sim 52.9\text{g}/\text{m}^2$ ，环节动物平均生物量最大)，丰富度 (d) 均值 3.57 ，均匀度 (J') 均值 0.83 ，多样性指数 (H') 均值 3.56 ，优势种有轮双眼钩虾、三叶针尾涟虫、短小拟钩虾、日本沙钩虾、持真

节虫、拟特须虫、沟栉虫、寡节甘吻沙蚕和日本倍棘蛇尾等。

(6) 潮间带生物

秋季岩相潮间带生物平均栖息密度 1439ind./m^2 (节肢动物密度最高), 平均生物量为 2843.79g/m^2 (软体动物平均生物量最大), 丰富度 (d) 均值 6.051, 均匀度 (J') 均值 0.450, 多样性指数 (H') 均值 2.469, 优势度 (D) 均值 0.324; 软相潮间带生物平均栖息密度 645ind./m^2 (软体动物密度最高), 平均生物量为 142.64g/m^2 (软体动物平均生物量最大), 丰富度 (d) 均值 3.370, 均匀度 (J') 均值 0.431, 多样性指数 (H') 均值 1.703, 优势度 (D) 均值 0.523。

冬季岩相潮间带生物平均栖息密度 1989ind./m^2 (节肢动物密度最高), 平均生物量为 2169.20g/m^2 (软体动物平均生物量最大), 丰富度 (d) 均值 3.555, 均匀度 (J') 均值 0.192, 多样性指数 (H') 均值 0.924, 优势度 (D) 均值 0.324; 软相潮间带生物平均栖息密度 546ind./m^2 (软体动物密度最高), 平均生物量为 220.54g/m^2 (软体动物平均生物量最大), 丰富度 (d) 均值 2.355, 均匀度 (J') 均值 0.556, 多样性指数 (H') 均值 1.690, 优势度 (D) 均值 0.466。

春季岩相潮间带生物平均栖息密度 1086ind./m^2 (节肢动物密度最高), 平均生物量为 1578.25g/m^2 (软体动物平均生物量最大), 丰富度 (d) 均值 4.149, 均匀度 (J') 均值 0.343, 多样性指数 (H') 均值 1.685, 优势度 (D) 均值 0.544; 软相潮间带生物平均栖息密度 224.20ind./m^2 (软体动物密度最高), 平均生物量为 142.64g/m^2 (软体动物平均生物量最大), 丰富度 (d) 均值 2.693, 均匀度 (J') 均值 0.503, 多样性指数 (H') 均值 1.847, 优势度 (D) 均值 0.479。

夏季岩相潮间带生物平均栖息密度 1424ind./m^2 (节肢动物密度最高), 平均生物量为 1645.32g/m^2 (软体动物平均生物量最大), 丰富度 (d) 均值 4.407, 均匀度 (J') 均值 0.436, 多样性指数 (H') 均值 2.199, 优势度 (D) 均值 0.385; 软相潮间带生物平均栖息密度 840ind./m^2 (节肢动物密度最高), 平均生物量为 178.70g/m^2 (软体动物平均生物量最大), 丰富度 (d) 均值 3.795, 均匀度 (J') 均值 0.520, 多样性指数 (H') 均值 2.216, 优势度 (D) 均值 0.371。

(7) 鱼类浮游生物 (鱼卵和仔稚鱼)

秋季垂直拖网调查未采到鱼卵和仔稚鱼, 水平拖网鱼卵总个体数平均为 0.2ind./100m^3 (仅出现在离岸较远海域), 仔稚鱼总个体数平均为 3.0ind./100m^3 (日本鳀为主, 主要出现在厂址以北 10km 外海域)。

冬季垂直拖网调查未采到鱼卵，仔稚鱼总个体数平均为 81.1ind./100m³（玉筋鱼为主，厂址近岸海域未见分布），水平拖网未采到鱼卵，仔稚鱼总个体数平均为 294.1ind./100m³（方氏云鳎为主）。

春季垂直拖网调查未采到鱼卵，仔稚鱼总个体数平均为 8.5ind./100m³（方氏云鳎、云鳎为主，厂址近岸海域未见分布），水平拖网未采到鱼卵，仔稚鱼总个体数平均为 45.1ind./100m³（玉筋鱼为主）。

夏季垂直拖网调查鱼卵总个体数平均为 123.0ind./100m³（日本鳀），仔稚鱼总个体数平均为 73.3ind./100m³（日本鳀为主，主要出现在厂址东部远岸和北部远岸海域），水平拖网鱼卵总个体数平均为 12.3ind./100m³（日本鳀为主），仔稚鱼总个体数平均为 10.9ind./100m³（日本鳀为主）。

（8）微生物

水体（表层和底层）中的微生物丰度与分布：

- 粪大肠菌群：秋季表、底层海水平均丰度分别为 56.9 个/L 和 10.3 个/L，冬季表、底层海水平均丰度分别为 156.9 个/L 和 263.8 个/L，春季表、底层海水平均丰度分别为 29 个/L 和 38 个/L，夏季表、底层海水平均丰度分别为 90 个/L 和 29 个/L。
- 细菌总数：秋季表、底层海水平均丰度分别为 255000cfu/L 和 436420.5cfu/L，冬季表、底层海水平均丰度分别为 338103cfu/L 和 389583cfu/L，春季表、底层海水平均丰度分别为 616465.5cfu/L 和 351724cfu/L，夏季表、底层海水平均丰度分别为 540172cfu/L 和 459655cfu/L。
- 弧菌：秋季表、底层海水平均丰度分别为 1001.1cfu/L 和 293.7cfu/L，冬季表、底层海水平均丰度分别为 59.5cfu/L 和 155.8cfu/L，春季表、底层海水平均丰度分别为 205.9cfu/L 和 215.4cfu/L，夏季表、底层海水平均丰度分别为 722.3cfu/L 和 820.6cfu/L。

（9）污损生物

厂址北取水口附近海域开展了污损生物周年挂板试验，试验旨在了解该海域污损生物的群落及多样性组成、附着期、附着量等生态特征。采用 15cm×15cm×2cm 的水泥试板挂放，月板、季板、半年板和年板的收放周期分别按逐月、逐季、每半年和周年收取。每组试板分表、底两层挂放，试板面与海面

垂直，表层试板上沿与水面齐平，底层试板置于水深约 4m 处。

观测结果如下：（1）表层月板主要以藻类和端足类为优势种，附着厚度介于 1~6mm 之间，覆盖面积率介于 2~75% 之间。底层月板主要以端足类和水螅虫 1~14mm 之间，覆盖面积率介于 2~50% 之间。（2）表层季板主要以端足类和藻类为附着优势种，附着厚度介于 16~25mm 之间，覆盖面积率介于 50~65% 之间。底层季板主要以端足类和水螅虫为附着优势种，附着厚度介于 1~14mm 之间，覆盖面积率介于 3~50% 之间。冬季底层板附着量较小。（3）12 月~5 月半年板表层主要以海带等藻类为附着优势种，覆盖面积率 100%。底层以水螅虫和端足类为优势种，覆盖面积率为 85%。表层附着量高于底层。

2) 厂址周围海域海洋生态现状评价

厂址附近海域海洋生态生物多样性指数评价结果：

厂址附近海域表层水采浮游植物在秋、冬、春、夏四季的生物多样性指数均值分别为 2.03、1.92、1.28 和 1.81（在 1~3 之间），底层水采浮游植物在秋、冬、春、夏四季的生物多样性指数均值分别为 2.18、1.90、1.15 和 1.81（在 1~3 之间），网采浮游植物在秋、冬、春、夏四季的生物多样性指数范围分别为 3.38-4.41、3.26-3.98、1.66-2.49 和 1.45-3.57（在 1~5 之间），反映了厂址邻近海域浮游植物的物种丰富度较低，个体分布比较匀。

厂址附近海域浮游动物在秋、冬、春、夏四季的生物多样性指数范围分别为 1.87~3.64、1.63~2.93、0.89~3.03 和 0.61~4.33（在 0~5 之间），反映了厂址临近海域浮游动物的物种丰富度较低，个体分布比较匀。

厂址附近海域大型底栖生物秋、冬、春、夏四季的生物多样性指数均值分别为 2.88、3.47、2.44 和 3.56（在 2~4 之间），反映了厂址邻近海域大型底栖生物的物种丰富度较高，个体分布比较均匀。

厂址附近海域岩相潮间带生物在秋、冬、春、夏四季的生物多样性指数均值分别为 2.469、0.924、1.685 和 2.199（在 0~3 之间），厂址附近海域软相潮间带生物在秋、冬、春、夏四季的生物多样性指数均值分别为 1.703、1.690、1.847 和 2.216（在 1~3 之间），反映了厂址临近海域潮间带生物的物种丰富度较低，个体分布比较匀。

总体而言，厂址附近海域的海洋生物中，底栖生物生境质量较好，物种丰富度较高；浮游植物、浮游动物和潮间带生物的生境质量一般，物种丰富度较低。

2020~2021 年海洋生物调查结果与既往调查结果的比较可见，本工程开始建设后，厂址附近海域的各类海洋生态数据与本工程未开展建设前相比，处于同一水平，变化较小。

3) 海洋生物质量及沉积物质量

生物质量调查站及潮间带海洋生物质量调查结果为：鱼类、甲壳类、软体类中铜、铅、锌、镉、汞和石油烃均未超过《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规范》和《第二次全国海洋污染基线调查规程》中重金属和石油烃含量限值。秋季贝类（双壳类）中铜、汞、666、DDT 符合海洋生物质量第一类标准，铅、锌、镉、铬、砷和石油烃符合海洋生物质量第二、三类标准。冬季贝类（双壳类）中镉、汞、石油烃、666、DDT 含量符合海洋生物质量第一类标准，铜、铅、锌、铬和砷符合海洋生物质量第二、三类标准。春季贝类（双壳类）中镉、汞、石油烃、666、DDT 含量符合海洋生物质量第一类标准，铜、铅、锌、镉、铬、砷、石油烃符合海洋生物质量第二、三类标准。夏季贝类（双壳类）中镉、汞、石油烃含量均符合海洋生物质量第一类标准，铜、铅、锌、镉、铬、砷符合海洋生物质量第二、三类标准。

大面站沉积物质量调查结果为：有机碳、硫化物、锌、镉、铬、汞、砷、石油类含量符合海洋沉积物质量第一类标准，其中硫化物、锌、镉、铬、汞、砷、石油类、有机碳同时符合《山东省海洋功能区划》（2011~2020 年）规定的沉积物质量执行标准，铜、铅各有 1 个站位超标，各占总站位数的 4.17%。

2.3.3.3 渔业资源概况

中国水产科学研究院黄海水产研究所于 2013 年 5 月 16~18 日和 2012 年 9 月 14~16 日对本工程评价区开展了现场调查，并于 2011 年 8 月 15~20 日对山东沿海渔业资源开展了监测工作。

为持续了解本工程所在厂址附近海域渔业资源现状，2019 年本工程开始建设后，自然资源部第三海洋研究所分别在 2020 年 11 月 14 日~2020 年 11 月 17 日、2021 年 01 月 10 日~2021 年 01 月 13 日、2021 年 04 月 14 日~2021 年 04 月 17 日、2021 年 07 月 10 日~2021 年 07 月 12 日开展了秋、冬、春、夏季四航次的调查工作。调查共布设渔业资源调查站位 29 站（与海洋生物质量调查站位一致）。

根据调查结果，本工程厂址附近海域渔业资源概况（鱼类浮游生物，即鱼卵

和仔稚鱼见 2.3.4.2 节) 如下:

1) 渔业资源

(1) 游泳动物

秋季拖网调查鉴定游泳动物 58 种, 隶属于 15 目 33 科 48 属, 其中鱼类 37 种, 虾类 7 种, 蟹类 8 种, 虾蛄类 1 种, 头足类 5 种; 渔业资源平均重量和尾数密度分别为 $115.05\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $8.21 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ (距离厂址排水口最近的 11 号站位的渔业资源平均重量和尾数密度分别为 $89.44\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $7.71 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$, 均低于平均值); 鱼类优势种为绿鳍鱼, 虾类优势种为鹰爪虾, 蟹类优势种为三疣梭子蟹, 虾蛄类优势种为口虾蛄, 头足类优势种为火枪乌贼; 重量多样性指数 (H') 均值为 2.12 (范围 1.48~2.68), 丰富度指数 (D) 均值为 2 (范围 1.21~2.77), 均匀度指数 (J) 均值为 0.73 (范围 0.47~0.86); 尾数多样性指数 (H') 均值为 2.18 (范围 1.68~2.49), 丰富度指数 (D) 均值为 2.88 (范围 1.86~3.96), 均匀度指数 (J) 均值为 0.76 (范围 0.61~0.88)。

冬季拖网调查鉴定游泳动物 26 种, 隶属于 8 目 16 科 21 属, 其中鱼类 11 种, 虾类 6 种, 蟹类 6 种, 虾蛄类 1 种, 头足类 2 种; 渔业资源平均重量和尾数密度分别为 $122.05\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $89.31 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ (距离厂址排水口最近的 11 号站位的渔业资源平均重量和尾数密度分别为 $34.49\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $0.65 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$, 均低于平均值); 虾类优势种为日本鼓虾 (绝对优势种类); 重量多样性指数 (H') 均值为 0.96 (范围 0~1.60), 丰富度指数 (D) 均值为 0.69 (范围 0~1.25), 均匀度指数 (J) 均值为 0.50 (范围 0~0.96); 尾数多样性指数 (H') 均值为 0.84 (范围 0~1.81), 丰富度指数 (D) 均值为 0.85 (范围 0~1.66), 均匀度指数 (J) 均值为 0.46 (范围 0~0.92)。

春季拖网调查鉴定游泳动物 48 种, 隶属于 15 目 29 科 39 属, 其中鱼类 27 种, 虾类 9 种, 蟹类 6 种, 虾蛄类 1 种, 头足类 5 种; 渔业资源平均重量和尾数密度分别为 $114.76\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $26.71 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ (距离厂址排水口最近的 11 号站位的渔业资源平均重量和尾数密度分别为 $114.89\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $25.92 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$, 与平均值相近); 鱼类优势种为六丝钝尾虾虎鱼, 虾类优势种为日本鼓虾 (绝对优势种类), 虾蛄类优势种为口虾蛄; 重量多样性指数 (H') 均值为 1.66 (范围 0.25~2.24), 丰富度指数 (D) 均值为 1.32 (范围 0.11~2.29), 均匀度指数 (J) 为 0.68 (范围 0.18~0.92); 尾数多样性指数 (H') 均值为 1.65 (范围 0.55~2.63),

丰富度指数 (D) 均值为 1.71 (范围 0.12~3.98), 均匀度指数 (J) 为 0.68 (范围 0.43~0.95)。

夏季拖网调查鉴定游泳动物 41 种, 隶属于 15 目 29 科 39 属, 其中鱼类 26 种, 虾类 7 种, 蟹类 4 种, 虾蛄类 1 种, 头足类 3 种; 渔业资源平均重量和尾数密度分别为 $791.75\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $82.81 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$ (距离厂址排水口最近的 11 号站位的渔业资源平均重量和尾数密度分别为 $942.42\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $68.68 \times 10^3 \text{ind.}/\text{km}^2$, 前者高于平均值, 后者低于平均值); 鱼类优势种为竹荚鱼 (绝对优势种类)、细纹狮子鱼和细条天竺鲷, 虾蛄类优势种为口虾蛄 (绝对优势种类), 头足类优势种为火枪乌贼; 重量多样性指数 (H') 均值为 1.98 (范围 1.14~2.62), 丰富度指数 (D) 均值为 1.35 (范围 0.88~1.96), 均匀度指数 (J) 为 0.74 (范围 0.50~0.86); 尾数多样性指数 (H') 均值为 1.99 (范围 1.20~2.51), 丰富度指数 (D) 均值为 1.73 (范围 1.13~2.63), 均匀度指数 (J) 为 0.74 (范围 0.52~0.86)。

(2) 固着性藻类

厂区附近的大型固着藻类主要有石花菜、鸡毛菜、小珊瑚藻、江蓠、裙带菜幅叶藻、网地藻、裂片石莼、孔石莼、浒苔、松藻和羽藻。平均生物量最大的分别是小珊瑚藻 ($1122.64\text{g}/\text{m}^2$)、孔石莼 ($701.24\text{g}/\text{m}^2$)、石花菜 ($302.24\text{g}/\text{m}^2$)、鸡毛菜 ($314.48\text{g}/\text{m}^2$) 和裙带菜 ($228.98\text{g}/\text{m}^2$)。

(3) 大型底栖无脊椎动物

秋季共捕获大型底栖无脊椎动物 9 种 94 个 (旗短口螺和砂海星最多, 均为 34 个), 其中软体动物 3 种, 节肢动物 2 种, 棘皮动物 3 种, 腔肠动物 1 种, 平均密度为 35.3 个/(网*小时)。冬季共捕获到大型底栖无脊椎动物 13 种 260 个 (砂海星最多, 为 99 个), 其中软体动物 3 种, 节肢动物 5 种, 棘皮动物 4 种, 腔肠动物 1 种, 平均密度为 97.5 个/(网*小时)。春季共捕获到大型底栖无脊椎动物 21 种 211 个 (蛋白乳玉螺最多, 为 122 个), 其中软体动物 10 种, 节肢动物 9 种, 棘皮动物 2 种, 平均密度为 79.1 个/(网*小时)。夏季共捕获到大型底栖无脊椎动物 10 种 56 个 (蛋白乳玉螺最多, 为 29 个), 其中软体动物 3 种, 节肢动物 4 种, 棘皮动物 3 种。平均密度为 21.0 个/(网*小时)。

(4) 经济浮游动物

秋季仅 2 个站位监测到中国毛虾, 平均总个体数为 $0.47 \text{ind.}/\text{m}^3$; 仅 1 个站位监测到糠虾; 29 个站位均监测到小型水母, 以大西洋五角水母 (平均总个体数

38.90ind./m³)和拟细浅室水母(平均总个体数 30.32ind./m³)为主。冬季仅 1 个站位监测到中国毛虾,总个体数为 0.21ind./m³; 7 个站位监测到糠虾,总个体数为 2.17ind./m³; 21 个站位监测到小型水母,以大西洋五角水母和拟细浅室水母为主,总个体数不高。春季仅在连续点获得少量毛虾和糠虾,3 个站位监测到小型水母,总个体数为 1.31ind./m³。夏季仅 2 个站位监测到毛虾,总个体数为 1.09ind./m³; 13 个站位监测到糠虾,总个体数为 23.20ind./m³; 24 个站位监测到小型水母,总个体数为 52.50ind./m³。

(5) 海洋生物遗传多样性分析

从海洋生物中选取白姑鱼等 8 种主要经济种类开展海洋生物遗传多样性分析。分析结果表明,上述主要经济种类的遗传多样性处于较高或中等的水平,各物种个体间遗传距离较小,均低于种间的遗传距离,属于种内差异。8 种经济种类遗传多样性与邻近海域对应物种的遗传多样性水平基本持平,属于正常的群体间差异,说明本次调查海域范围内的海洋生物未受到物理、化学或生物因素致突变的影响。

2) 厂址周围海域渔业资源变化分析

2020~2021 年渔业资源调查结果与既往调查结果的比较可见,本工程开始建设后,厂址附近海域的各类渔业资源数据与本工程未开展建设前相比,基本处于同一水平。

2.3.3.4 主要经济鱼类和保护性海洋生物概况

1) 珍稀或保护性海洋生物

厂址邻近海域无珍稀或保护性海洋生物分布,厂址半径 30km 范围内的海域及潮间带没有发现有野生动植物保护区,也未发现有明确标注的国家保护动物洄游路线。在调查中没有遇到国家保护动物。

2) 经济型水生生物

厂址临近海域主要经济型水生生物有海参、牙鲆、大菱鲆、海胆等,主要分布在黑泥湾—石岛湾一带,厂址近岸海域水质总体状况良好,主要以清洁海域和较清洁海域为主,水生生物生存环境良好。主要经济型水生生物生活习性如下:

(1) 海参

海参在中国多个海域有分布,常见于热带、亚热带海洋,在印度—西太平洋区的珊瑚礁内栖息的种类特别多。海参有的裸露,有的隐藏,有的钻在沙内,有

的种仅见于珊瑚礁内。摄食常有节律性。生活在 2~40m 深的海底；适应水温为 0℃~28℃，盐度为 28‰~31‰；水温高于 20℃时夏眠；饵料以泥砂中的动植物碎屑和底栖硅藻为主；繁殖期在 6~7 月；具有很强的再生能力。

(2) 牙鲆

牙鲆在我国称之为比目鱼，为冷温性底栖鱼类，是名贵的海产鱼类，又是重要的海水增养殖鱼类之一。牙鲆具有潜沙习性，幼鱼多生活在水深 10m 以上，有机物少，易形成涡流的河口地带，夏季在此肥育，当秋季水温下降时逐步向较深的海域移动，一般 9、10 月份移向 50m 以下外海，11 月份至 12 月份向南移至水深 90m 或者更深的海底越冬，春季游回近岸水深约 30-70m 的浅水海域进行产卵繁殖。

牙鲆可在低至 1℃，高达 33℃的水温条件下短暂存活。2 龄以上的牙鲆适应高温的能力明显下降，反之 1 龄个体对低温的耐受能力也较差。据报道，牙鲆仔鱼培育的最适温度为 17~20℃，成鱼生长的适温为 14~23℃，最适温度为 21℃。牙鲆在 13℃以下，23℃以上摄食减少，25℃以上停止生长，长期处于 27℃的环境下易引起大量死亡。牙鲆为广盐性鱼类，能在盐度低于 8 的河口地带生活。

(3) 大菱鲆

大菱鲆属于鲽形目鲆科，英文名 Turbot，俗称欧洲比目鱼，在中国称“多宝鱼”。原产于欧洲大西洋海域，是世界公认的优质比目鱼之一。为硬骨鱼纲鲽形目鲆科菱鲆属海洋底栖鱼类。1992 年引进中国，在山东沿海水温较低的地区开始养殖。为陆域海产养殖品种之一。

大菱鲆属于北欧冷水鱼类，该鱼对温度等海水指标要求较严。大菱鲆最高致死温度为 28~30℃，最低致死温度为 1~2℃；最高生长温度为 21~27℃；最低生长温度为 7~8℃；最适生长温度为 14~17℃。在自然环境状态摄食习性为肉食性，幼鱼期摄食甲壳类；成鱼则捕食小鱼、虾等。在人工养殖条件下，经驯化主要投喂高能颗粒配合饲料。

大菱鲆雄性一年达到性成熟，雌鱼二年达到性成熟，自然成熟期在每年 5~8 月份。人工培养的亲鱼，在控温控光的条件下，全年都可获得成熟的卵子，目前进行人工繁殖的采用人工授精方法。大菱鲆受精卵孵化水温为 12℃~15℃。初孵仔鱼培育期间水温逐渐提高，最后提高到 20℃。

(4) 海胆

海胆，体形呈圆球状，生活在浅海区或礁石之上，多栖息于从潮间带至 180m 水深处。海胆是雌雄异体，雌体可终年怀卵，一年排卵数次。

3) 水产种质资源保护区

厂址半径 50km 范围海域分布有荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区、桑沟湾国家级水产种质资源保护区、荣成湾国家级水产种质资源保护区、月湖长蛸国家级水产种质资源保护区和靖海湾松江鲈鱼国家级水产种质资源保护区等 5 个国家级水产种质资源保护区。其中月湖长蛸国家级水产种质资源保护区和靖海湾松江鲈鱼国家级水产种质资源保护区距离厂址 30km 及以上，荣成湾国家级水产种质资源保护区位于厂址 NNE 方位约 26km 处，桑沟湾国家级水产种质资源保护区位于厂址 NNW 方位约 10km 处，荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区位于厂址 NNE 方位约 7km 处（距本工程排放口最近距离约 7km）。

荣成湾国家级水产种质资源保护区位于山东省威海市荣成市俚岛镇东部海域，保护区总面积 2134 公顷，其中核心区面积 974 公顷，实验区面积 1160 公顷。特别保护期为每年的 6 月 15 日-10 月 15 日。是由以下 7 个拐点顺次连线所围成的海域，拐点坐标分别为：122°36'19.68"E，37°13'08.65"N；122°35'50.19"E，37°15'03.46"N；122°38'34.55"E，37°15'02.28"N；122°38'31.40"E，37°10'53.79"N；122°37'05.49"E，37°10'54.41"N；122°37'29.60"E，37°11'43.13"N；122°37'28.31"E，37°12'11.59"N。核心区是由 6 个拐点顺次连线所围成的海域，各拐点坐标分别为：122°38'7.8"E，37°14'40.2"N；122°38'7.8"E，37°11'25.8"N；122°37'21"E，37°11'25.8"N；122°37'21"E，37°13'13.8"N；122°36'37.8"E，37°13'13.8"N；122°36'37.8"E，37°14'40.2"N。实验区为保护区内除核心区以外的区域。主要保护对象为栉孔扇贝和紫海胆。

桑沟湾国家级水产种质资源保护区位于山东省威海市东南海域桑沟湾内，向岸一侧南起鸢岛西北，北至八亩地，向东延伸 3.9 公里，然后拐向南延伸 2.7 公里。总面积 1072.9 公顷，其中核心区面积 474.0 公顷，实验区面积 598.9 公顷。特别保护期为全年。保护区各拐点坐标分别为：122°27'56.45"E，37°04'42.40"N；122°30'32.80"E，37°04'43.00"N；122°30'32.80"E，37°03'13.80"N；122°27'55.15"E，37°03'13.80"N。核心区各拐点坐标分别为：122°28'22.51"E，37°4'26.77"N；122°28'21.74"E，37°3'28.59"N；122°30'09.00"E，37°3'28.46"N；122°30'08.86"E，37°4'26.96"N。保护区除核心区外其他区域为实验区。主要保护对象为魁蚶，其

他保护对象包括扇贝、海带、裙带菜、海胆、石花菜等。

荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区位于山东省威海市东南海域桑沟湾南部楮岛周边海域。保护区总面积 471.66 公顷，特别保护期为每年 5-8 月。拐点坐标分别为：37°02'02.94"N，122°32'34.56"E；7°02'52.08"N，122°32'20.88"E；37°02'54.66"N，122°32'36.48"E；37°03'19.74"N，122°33'13.92"E；37°02'55.20"N，122°34'36.30"E；37°01'54.22"N，122°34'30.00"E；37°01'54.22"N，122°34'02.60"E；37°02'15.05"N，122°34'01.88"E。依保护区性质和作用，区内又划分为核心区和实验区两个功能区，其中核心区面积为 205.44 公顷，实验区面积为 266.22 公顷。核心区拐点坐标分别为：37°02'27.86"N，122°33'21.42"E；37°02'37.34"N，122°33'05.49"E；37°03'05.14"N，122°33'34.80"E；37°02'45.41"N，122°34'35.21"E；37°01'54.22"N，122°34'30.00"E；37°01'54.22"N，122°34'02.60"E；37°02'15.05"N，122°34'01.88"E。主要保护对象为大叶藻、石花菜、马尾藻。

4) 海洋经济生物“三场一通”

(1) 产卵场

根据《山东近海产卵场索饵场综合评价报告》的研究结果，整个山东近海是一个多种鱼类的产卵场。山东近海多数渔业资源种类的产卵场位于近海浅水区，且产卵时间主要为春季和夏季。根据产卵种类数量、产卵持续时间以及卵的密度可分为主要产卵场和重要产卵场。重要产卵场是指一些具有重要经济价值生物集中产卵的海域，主要表现为鱼卵、仔稚鱼密度分布特别高、种类多，持续时间长，一般分布河口、浅滩等营养盐、饵料生物特别丰富的海域，如蓝点马鲛、小黄鱼、带鱼、中国对虾、镰鲳、三疣梭子蟹、鲐、日本鳀、玉筋鱼、口虾蛄和太平洋褶柔鱼等。主要产卵场不仅具有上述重要经济价值生物产卵的种类，而且一些次要经济价值生物种类集中产卵的海域，如斑鲈、日本鳀、黑鳃梅童鱼、虾虎鱼、黄鲫、短吻红舌鳎和黄鲛鳎等。本工程所在厂址排水口与山东近海主要产卵场和重要产卵场的距离大于 30km。

本工程所在厂址排水口与长、短距离洄游种类主要产卵场的距离大于 30km。

(2) 索饵场

整个山东近海海域周年都有渔业资源索饵育肥，不同时期、不同区域索饵育肥的种类、密度存在着明显的时空分布上的差异。短距离洄游种类在产卵后即在生产产卵场周边分散索饵，其产卵场也是该种类刚产出幼鱼的索饵场，索饵期直到越

冬洄游。长距离洄游种类的索饵场，春、夏季在近岸浅水区，秋、冬季在深水区，主要位于距离本工程所在厂址排水口 60km 以上的约 30m 等深线以外区域。

(3) 越冬场

黄渤海多种经济鱼类的越冬场位于黄海西南部，水温 9~11℃，水深在 60~100m 以上的深水区。其中长距离洄游种类的越冬场一般位于黄海西南部至东海北部一带海域，甚至在东海西南部和南海北部。短距离洄游种类越冬场一般在黄海西南部至东海北部水深 40~100m，底层水温 10~13℃，盐度 32.5~34.5 的海区范围内，越冬期一般在 12 月至翌年 3 月。其中太平洋鲱、大头鳕、褐牙鲆等为冷温性种类，越冬场靠北，在黄海冷水团内。

山东近海鱼类分为底层鱼类和中上层鱼类，中上层鱼类依其洄游距离的长短，可划分为沿岸型、近海型和外海型三大类。沿岸型鱼类仅在其生活的海域从浅水到深水之间进行往返移动，越冬场位于黄海较深水域，近海型鱼类终生栖息于黄渤海和东海北部海区，越冬场在黄海西南部至东海 33°00'N 以北，33°~36°N，123°~126°E，水深 60~100m 范围。

近海型和外海型中上层鱼类越冬场距厂址距离大于 150km，底层鱼类越冬场距离本工程所在厂址排水口约 60km。此外，近海型和外海型中上层鱼类及底层鱼类的产卵场、索饵场距离本工程所在厂址排水口 30km 以上。

(4) 洄游通道

山东近海的长距离洄游种类多属暖温性中上层鱼类，如鲈鱼、马鲛、银鲳等和带鱼、红娘鱼、绿鳍鱼、马面鲀等暖温性鱼类的东黄海群系，春夏在黄渤海沿岸产卵、索饵，秋后返回东海越冬。春、夏季鱼群主要分三路北上进行产卵、索饵洄游。一路向西偏北经长江口、吕泗外海进入海州湾产卵场产卵，秋季在海州湾、乳山渔场索饵，入冬后返回越冬场越冬；另一路向西北到达乳山近海产卵场产卵，产卵后分布在就近海域索饵育肥，直至进行越冬洄游；第三路鱼群的洄游路线较长，由越冬场直接北上到达成山头外海，绕过成山头，向西经烟威近海进入莱州湾及渤海湾南部产卵场产卵，其中有些种类的部分鱼群停留在烟威近海产卵场产卵。入秋后，又分别由各湾游出渤海，汇同黄海各产卵场的群体，一同南下进行越冬洄游，于冬季返回越冬场越冬。

短距离洄游种类主要为黄、渤海地方性种群的冷温性、暖温性或冷水性生物资源，整个生命周期的各个阶段均在黄渤海中度过，洄游分布于黄渤海中，黄、

渤海的大多数渔业生物资源属于这种类型。该类种群洄游距离短，随着季节变化进行深水—浅水—深水的越冬、生殖和索饵洄游。产卵期随种类不同有所差异，主要在冬末初春和春季。产卵结束后即分布在产卵场附近海域索饵，夏、秋季逐渐向深水作索饵、越冬洄游。该资源种类包括鱼类、虾类和头足类，主要有青鳞小沙丁鱼、斑鲹、太平洋鲱、长颌棱鲷、赤鼻棱鲷、中颌棱鲷、黄鲫、凤鲚、长蛇鲻、星康吉鳗、日本下鱈鱼、大头鳕、尖海龙、油鲳、细条天竺鲷、多鳞鱈、布氏银汉鱼、棘头梅童鱼、皮氏叫姑鱼、小带鱼、方氏云鲷、绵鲷、玉筋鱼、绯鲷、绿鳍鱼、短鳍红娘鱼、鲷、褐牙鲷、细纹狮子鱼、高眼鲈、角木叶鲈、石鲈、钝吻黄盖鲈、短吻红舌鲈、东方鲀、中国对虾、鹰爪虾、周氏新对虾、日本褐虾、鲜明鼓虾、日本鼓虾、脊尾白虾、日本枪乌贼、长蛸和短蛸等。太平洋鲱、褐牙鲷、大头鳕等每年在冬末开始由越冬场向石岛、烟威沿岸行生殖洄游。其他种类分别于3月中下旬由越冬场向北、西北靠岸进行生殖洄游。一路向山东南部近岸洄游，于4月上旬前后到达海州湾水深5~20m产卵场，部分鱼群4月中旬前后又到达石岛至青岛近岸水深10~20m的产卵场。另一路直接北上，于4月下旬至5月上旬，绕过成山头，进入烟威产卵场（另一支北上到海洋岛）。除青鳞小沙丁鱼、日本下鱈鱼等个别种类的部分个体在山东半岛北部海域产卵外，主要群体向西洄游，进入渤海各湾产卵。5~7月产卵后的亲体向较深水域索饵（中国对虾产卵后死亡），当年幼体则在5~10m浅水区索饵。8~9月后，幼体主群开始逐渐向深水区移动，与成体混群栖息。10月中下旬，随着水温下降，鱼群陆续游出渤海，12月上旬前后绕过成山头，12月下旬至1月上旬返回各自越冬场。

(i) 鱼类

本工程所在厂址排水口与近、外海型中上层鱼类生殖洄游路线的距离大于5km。

(ii) 甲壳类

厂址所在区域的近海甲壳类生物包括中国对虾和鹰爪虾等。近海甲壳类生物冬季在黄海中南部越冬，春季分别洄游到山东半岛南岸各产卵场和通过渤海海峡进入渤海各产卵场，其主要产卵场和索饵场有渤海湾、莱州湾、乳山沿岸、胶州湾及海州湾一带。

中国对虾为一年生、生长快和生殖能力很强的大型虾类。每年3月上、中旬，越冬的对虾开始集结，游离越冬场进行生殖洄游，其主群随黄海中部6℃等温线

的推移而集群北上，途中分出一支游向海州湾、胶州湾和乳山沿岸产卵场。厂址外海海域有索饵场分布，与厂址的大致距离约 20km 左右。

鹰爪虾是多年生虾类，其群体由多世代组成，可分为生殖和越冬两大虾群。每年 3 月下旬开始进行生殖洄游。春、夏季为生殖群体；秋冬季为越冬群体。厂址外海海域有其越冬场分布，与厂址的大致距离约 40km 左右，产卵场也在厂址半径 15km 范围外。

2020~2021 年厂址渔业资源调查结果表明：调查中捕获过对虾和鹰爪虾，但距厂址最近的 11 号站点处捕获的虾类尾数相对资源密度最大为 $0.14 \times 10^{-3} \sim 14.25 \times 10^{-3} \text{ind./m}^2$ ，可见厂址附近海域的对虾和鹰爪虾数量较少。

(iii) 头足类

厂址所在区域的外海海域以火枪乌贼和日本枪乌贼的洄游通道为主。火枪乌贼属沿岸型种类，多栖息在内湾和近岸的浅海水域。个体较小、游泳速度较慢，仅作短距离移动；日本枪乌贼属近海型种类，栖息于沿岸水和外海水交汇区的近海水域，个体较大，游泳速度较快，洄游距离较长。火枪乌贼和日本枪乌贼的洄游通道均离厂址所在区域较远，产卵场也在厂址半径 15km 范围外。

2020~2021 年厂址渔业资源调查结果表明：调查中捕获过火枪乌贼，但距厂址最近的 11 号站点处捕获的头足类尾数相对资源密度最大为 $0.07 \times 10^{-3} \sim 9.07 \times 10^{-3} \text{ind./m}^2$ ，可见厂址附近海域的日本枪乌贼数量较少。

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

2.3.4.1 工业

1) 工矿企业现状

(1) 矿业企业

厂址半径 15km 范围涉及 7 处矿山（宁津街道 1 处、东山街道 6 处），均为采石场，均距离厂址 3km 外。

根据山东省第四地质矿产勘查院于 2010 年 10 月完成的《本工程压覆矿产资料调查报告》以及原山东省国土资源厅《关于荣成市石岛湾本工程建设用地压覆矿产资料情况的函》（鲁国土资字[2010]1294号），厂址区没有压覆矿产资源。

(2) 工业企业

本工程厂址半径 15km 范围内分布有 31 家年产值亿元以上的企业，主要从事

水产品冷冻加工、罐头食品加工、船舶制造及修理等。厂址半径5km范围内分布有2家企业，为荣成创味食品有限公司和荣成鑫邦船业有限公司。

距厂址最近的企业为位于厂址NW方位约2.36km处的荣成创味食品有限公司，2019年度年产值为3396万元，职工人数85人。厂址半径15km范围内职工人数最多的企业为位于厂址SW方位11.56km处的黄海造船有限公司，2019年度年产值为258924万元，职工人数2026人。厂址半径15km范围内年产值最大的企业为位于厂址W方位10.09km处的赤山集团有限公司，2019年度年产值为286138万元，职工人数571人。

本工程厂址半径15km范围内年产值亿元以上的企业由2012年的96家减少至2019年的31家，厂址半径5km范围内的企业由2012年的6家减少至2019年的2家。

2) 工业企业规划

根据《荣成市城市总体规划（2018-2035）》，石岛管理区规划范围包括了桃园街道、东山街道、斥山街道、王连街道、宁津街道、港湾街道。在空间层次上石岛管理区北至林家路，西至赤山，东至二登山—朝阳洞山，南至滨海岸线，包括核电产业园和海洋高新技术产业园，面积为77km²。石岛管理区规划中心城区主要为现状东山街道、斥山街道、桃园街道、港湾街道城镇区域，主要位于厂址SW方位5-7km、10-15km区域，以及W-WSW方位7-15km区域。规划2035年；石岛管理区建设用地面积为41.9km²，用地类型包括居住用地、公共管理与公共服务设施用地、商业服务业设施用地、工业用地等，其中规划工业用地873.8hm²，集中分布于凤凰湖东部产业组团、海洋高新产业组团和核电配套产业组团。核电配套产业组团位于石岛管理区东侧，靠近石岛湾核电站西南区域，发展核电关联产业，打造一个集制造、配套服务为主的核电配套产业基地。

本工程规划限制区半径5km范围内，仅在距离厂址方位SW方位约5km处涉及一小部分石岛管理区规划区域，石岛管理区规划区域用地类型为居住用地、公共管理与公共服务设施用地、商业服务业设施用地、工业用地等，规划工业用地包括凤凰湖东部产业组团、海洋高新产业组团和核电配套产业组团，与本工程规划限制区关于新、扩建项目引导或限制要求相符。

根据《山东省人民政府关于设置荣成石岛湾大型先进压水堆核电站规划限制区的批复》（鲁政字[2013]101号）要求，要求对规划限制区内的新建和扩建的项目加以引导或限制。由于一小部分石岛管理区规划区域位于规划限制区内，根

据核电建设需要，该区域可适当设置一些核电建设配套企业，如相关的安装、施工、设备组装企业，其他工业企业将在规划限制区外适当设置。

2.3.4.2 危险品设施

1) 固定危险源

(1) 危险品生产、贮存、销售企业

根据核安全导则《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04），固定爆炸源初步评价可取5~10km作为筛选距离值，如果油、气、危险品仓储设施或使用、装卸、加工或贮存危险物质的活动或操作点到核电厂的距离大于筛选距离值，则不必做进一步考虑。

厂址半径15km范围危险品生产、贮存、销售企业主要是加油站和燃气公司，共有28家。其中共有12个加油站（其中5家位于半径5km范围内）、2个石油有限公司处于核安全导则《核电厂厂址选择的人为外部事件》（HAD101/04）推荐的10km筛选距离值范围内。

厂址半径15km范围危险品生产、贮存、销售企业由2012年的51家减少至2019年的28家，厂址半径10km范围危险品生产、贮存、销售企业由2012年的20家减少至2019年的14家，2012年厂址半径10km范围有3个液化气站，2019年无液化气站分布。

距离厂址最近的加油站为项家庄村西宁津至镆铳公路东的中国石油天然气股份有限公司山东威海销售分公司荣成宁津加油站，该加油站位于厂址NW方位约1.94km处，贮存柴油和汽油，加油站最大贮存量为120m³，最大单罐贮量为30m³。

厂址半径15km范围内唯一的一家石油有限公司——东南海村南码头的荣成市海成石油有限公司位于厂址SW方位约4.86km处，贮存柴油和汽油，该石油有限公司最大贮存量为140000m³，其最大单罐贮量为2000m³。

按核安全导则《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）附录II中对于7kPa（0.07bar）压力值（正的入射峰值压力）的建议关系式，计算潜在爆炸源和核电厂安全有关物项之间的允许距离：

$$R_{ip} = 18 W^{1/3} \quad (2.3-1)$$

式中：

R_{ip} 为核电厂至爆炸处的最小允许距离（m）；

W为TNT的物质当量或炸药质量的TNT当量 (kg)。

爆炸源质量的TNT当量W的计算公式:

$$W_{TNT} = \frac{1.8aW_f Q_f}{Q_{TNT}} \quad (2.3-2)$$

式中:

W—爆炸源质量的TNT当量, kg;

a—爆炸源当量系数, 取值范围为0.02%~14.9%, 这个范围的中值是3%~4%, 取4%;

W_f —爆炸源质量, kg;

Q_f —燃料的燃烧热, MJ/kg; 汽油的燃烧热取47.3MJ/kg; 柴油的燃烧热取44.8MJ/kg; 保守可取汽油燃烧热计算。

Q_{TNT} —TNT的爆炸热, MJ/kg, 一般介于4.12~4.69MJ/kg之间, 取平均值4.5MJ/kg。

1.8—对于爆炸源质量的TNT当量, 考虑地面爆炸, 由于地面反向作用使爆炸威力几乎加倍, 当量值一般还需乘以地面爆炸系数。

中国石油天然气股份有限公司山东威海销售分公司荣成宁津加油站(最大单罐贮量为30m³)的汽、柴油爆炸造成7kPa(0.07bar)正入射峰压力的距离为510m, 小于该加油站至核电厂的实际距离(1.94km)。

荣成市海成石油有限公司(最大单罐贮量为2000m³)的汽、柴油爆炸造成7kPa(0.07bar)正入射峰压力的距离为2.07km, 小于该石油有限公司至核电厂的实际距离(4.81km)。

可见, 上述危险品生产、贮存、销售企业的存在或运行不会影响本工程的建设 and 安全运行。

(2) 天然气管线

厂址半径15km范围内分布有北燃山东天然气荣成有限公司和荣成港华燃气有限公司的天然气管线。

北燃山东天然气荣成有限公司于2006年5月成立, 2008年3月重组, 2017年中国燃气收购完成北燃山东公司股本转让, 11月15日, 正式纳入中国燃气集团管理体系。经营区域覆盖石岛管理区下辖港湾、桃园、王连、宁津、东山、斥山6个街道和荣成虎山、上庄、人和3个镇。目前在石岛管理区敷设中压天然气管网

430余公里。

荣成港华燃气有限公司于2011年9月成立，经营区域覆盖其它街道和镇。厂址半径15km范围内主要覆盖NW和NNW方位的该公司所经营的崂山街道部分区域，其等级为中压管线，管径为DN160，设计压力0.8MPa。

管道输用气量每天零时至凌晨4时为低谷，每天上午10时~晚19时为用气高峰，最大瞬时流量3000m³/h，最小瞬时流量20~100m³/h。每年5、6、7月用气最少，日均用气量1.1~1.3万m³，1、11、12月用气量最大，日均用气量4~7万m³。

厂址半径15km范围内天然气管线距离厂址最近距离是1.1km，位于W-WSW方位。管线的规格参数：中压管线，管径为DN160，设计压力0.4MPa。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018），管线气体泄漏的气体流动类型按如下判定：

临界流：

$$\frac{P_0}{P} \leq \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (2.3-3)$$

次临界流：

$$\frac{P_0}{P} > \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (2.3-4)$$

式中：

P_0 ——环境压力，Pa；取0.1MPa。

P ——容器压力，Pa；取0.4MPa。

γ ——气体的绝热指数(比热容比，即定压比热容 C_p 与定容比热容 C_v 之比)，这里取1.30。

根据计算结果，判定管线气体泄漏流动类型为临界流。

假定气体特性为理想气体，其泄漏速率 Q_G 按下式计算：

$$Q_G = Y C_d A P \sqrt{\frac{M \gamma}{R T_g} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}} \quad (2.3-5)$$

式中：

Q_G ——气体泄漏速率，kg/s；

P ——容器压力，Pa；取0.4MPa。

C_d ——气体泄漏系数，当裂口形状为圆形时取1.00，三角形时取0.95，长方形时取0.90；保守取1.00。

M ——物质的摩尔质量，kg/mol；按甲烷的摩尔质量取值为0.016kg/mol。

R ——气体常数，J/(mol K)；取8.314J/(mol K)。

T_g ——气体温度，K；保守取273.15K。

A ——裂口面积，m²；保守取全管径泄漏，0.02m²。

Y ——流出系数，对于临界流 $Y=1.0$ ；对于次临界流按下式计算：

$$Y = \left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \times \left\{ 1 - \left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}^{\frac{1}{2}} \times \left\{ \left[\frac{2}{\gamma-1} \right] \times \left[\frac{\gamma+1}{2} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.3-6)$$

根据上述公式，可以计算得到气体泄漏速率为0.01t/s。

按核安全导则《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）附录III中对于易燃气体连续释放，能达到点燃浓度限值的距离 X （km），可由下式计算：

$$X = 2R^{0.8} \quad (2.3-7)$$

式中 R 是释放率（t/s）。

经计算 X 值约为0.06km，小于天然气管线距厂址的最短距离（1.1km），因此该天然气管线不会影响本工程的建设和安全运行。

2) 移动危险源

荣成市危险品运输企业管理要求运输车辆尽量避开人群密集的地区。目前4家危险品运输公司可能经过厂址半径15km范围内的道路，其中荣成市弘康运输有限公司为汽油、柴油和石油的专业运输公司，主要负责向各个加油站和码头运送成品油，该公司可能会经过宁镇路；荣成市呈祥气体有限公司、荣成市荣鑫气体公司及荣成市方正爆破公司若有业务需要，也会通过宁镇路。

距厂址最近的公路危险品运输路线为距厂址距离约1.37km处的公路上的运输汽油和柴油及液化气的汽车槽（罐）车，最大装载量为25t；以及运输雷管炸药的汽车罐车，最大装载量为3t。

距厂址最近的公路危险品运输路线为距厂址距离约1.37km处的公路上的运输汽油和柴油及液化气的汽车槽（罐）车，最大装载量为25t；以及运输雷管炸药的汽车罐车，最大装载量为3t。

根据核安全导则《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）推荐的

方法进行计算可知，汽车运送汽、柴油发生爆炸时造成7kPa（0.07bar）正入射峰压力的距离约为480m，汽车运送雷管炸药发生爆炸时造成7kPa（0.07bar）正入射峰压力的距离约为260m，小于厂址至运输道路的实际距离（1.37km）。

按核安全导则《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）附录III中对于过冷液化气罐破裂后，单一喷放浓度高于点燃极限值距离的计算公式，计算了潜在燃烧源和核电厂安全有关物项之间的允许距离：液化气为比水轻的压缩液体，故密度保守考虑为1g/cm³，假设在最初的气态喷放中释放了总量的10%，则液化气在风速约为1m/s情况下，浓度仍高于点燃极限值的距离X可由下式确定：

$$X=0.22t^{0.45} \quad (2.3-8)$$

式中：

X为核电厂至燃烧处的最小允许距离（km）；

t为总释放量（t）。

汽车运送液化气发生泄漏时浓度高于点燃极限值的距离为0.94km，小于厂址至运输道路的实际距离（1.37km）。

考虑距离及厂址周围的地形特征情况，可以确认通过公路运输的移动危险源不会对本工程的建设及安全带来影响。

厂址附近危险品运输码头均已迁往荣喜作业区等港口码头，目前厂址半径15km范围内无危险品运输码头，不存在危险品装卸货情况。目前厂址半径15km范围内无固定危险品运输路线，于石岛新港避风锚地可能停留油品货轮，厂址东部和南部海域可能有货轮经过，最近距厂址约10km。近年厂址附近海域未发生危险品运输事故。海上运输对核电厂的潜在危险来自于船只运输危险品的爆炸等。厂址附近的海上航线距离厂址的最近距离为10.6km，处于10km筛选距离外。因此可见通过海路的移动危险源不会对厂址安全带来影响。

2.3.4.3 交通

1) 陆上交通

(1) 公路交通

本工程厂址半径15km范围内主要由以南北向的国道G228、省道S203、S304和东西向的省道S201构成的交通运输网络，除省道S304为二级公路外，其余均为一级公路。

厂址半径5km范围内有2条县道，分别为县道X042（距厂址最近距离为

2.70km，二级公路)和县道 X034 (距厂址最近距离为 1.37km，二、三级公路)。厂址半径 5km 范围内有 2 条乡道和 30 条村道，交通便利。其中东村道 C107 距离厂址最近距离为 1.27km。

山东石岛湾核电厂址内的高温气冷堆示范工程主要进厂道路由马沙线 (X031) 引接，引接段长约 1.8km，路面宽度 18m，施工兼货运进厂道路 (应急道路) 由宁镆线 (X034) 引接，引接段长约 3.3km，路面宽度 18m。本工程主要进厂道路位于本工程西侧，由宁镆线 (X034) 引接，引接段长约 1244m，路面宽度 18m，按照二级公路标准设计；应急道路位于本工程北侧，由山东石岛湾核电厂址后续工程应急道路引接，引接段长约 344m，路面宽度 9m，采用城市型道路设计。

综上所述，厂址附近区域的公路交通条件良好。

根据《荣成市城市总体规划 (2018-2035)》，荣成市规划“三纵八横”干线公路网。其中“三纵”为 G228 丹东线 (成山镇至石岛)、S203 蒲石线 (市域边界至石岛)、S201 威东线；“八横”为 G228 丹东线 (北环海)、S302 成威线、S301 成初线、S303 俚李线、北外环路、G206 威汕线—成山大道、S305 石泽线、石虎路—峨石山路。规划期末所有干线公路应达到一级以上公路标准，其中 G206 威汕线至威海国际机场段按高速公路标准控制。

石岛管理区规划城市主干路网“七横、九纵”。七横：X031、峨石山路、双山路—乐府路—南夏路、斥山西路—凤凰湖路、寨北路、朝阳路、S201—牧云东路；九纵：赤山西路、S305、S301—黄海中路、夏艳路、竹韵路、龙跃路、东山北路—东山南路、南夏东路、宁镆路。

根据威海市公路“十四五”发展规划，威海市规划养护、建设四条普通国道和四条普通省道，均不在厂址半径 15km 范围内。

(2) 铁路交通

本工程厂址半径 15km 范围内无铁路分布。距离厂址最近的铁路位于 NNW 方位 21.7km 处，为青荣城际铁路 (荣成高铁站)。

根据《荣成市城市总体规划 (2018-2035)》，厂址半径 15km 范围内未规划建设铁路。

2) 海上交通

(1) 港口与码头

厂址半径 15km 范围内港口主要有石岛港区，渔港主要有石岛渔港（SW 方位，12.06km）等 14 个渔港。

厂址半径 5km 范围内无渔港分布，厂址半径 10km 范围内无港区分布。

石岛港区描述如下：

石岛港区 2001 年 8 月获批为国家一类对外开放口岸。装卸设施有集装箱装卸桥 4 台、轮胎式集装箱场桥 2 台、集装箱正面吊运机 4 台、斯太尔集装箱拖车 150 辆、门座式起重机 10 台、集装箱堆高机 2 台、拖轮 3 艘、320t 浮吊 1 艘。现已开通国际客滚班轮航线 2 条、国际集装箱班轮航线 4 条。2019 年完成货物吞吐量 321 万 t、集装箱吞吐量 17 万 TEU（标准箱）、客运量 55 万人次。

石岛港区由石岛东、西作业区，荣喜作业区，凤凰尾作业区和好当家作业区组成。其中，石岛东、西作业区作为重点发展的作业区，西作业区分为客滚区和通用区，东作业区分为集装箱区、散杂货区和液体散货区。西作业区已经基本建设完成，东作业区由于受核电站核心区安全距离要求的影响，处于待开发的状态。其它作业区将随着荣成市的社会经济发展，逐步开发完善已有功能，形成服务于地方经济的重要补充。

石岛西作业区包括石岛新港和石岛港，位于厂址 SSW~SW 方位，距厂址最近距离为 10.8km。石岛西作业区主要以服务荣成市域的集装箱、对韩客货滚装和通用散杂货运输为主；是集客货、集装箱、散杂货冻品和船舶修理等功能于一体的现代化港口。

荣成市石岛港务股份有限公司按照修订规划后使用泊位 8 个通用散杂货，荣成市石岛新港港务股份有限公司按照修订规划后使用泊位 10 个。

港区规划沿现有石岛港区货运场站南侧的岸线向东南方向延伸布置防波堤和码头岸线 1050m，陆域纵深 175m，再向北转角 90°，继续布置防波堤 1350m 及码头岸线 1045m，形成 2#突堤，陆域纵深 110m。同时在原有 1#、2#、3#泊位东南侧布置 900m 码头岸线，与原码头共同形成 1#突堤，陆域纵深 230m，1#和 2#突堤形成一个“U”形港池，港池东西宽度为 710m。泊位等级按 1 万 t 级到 5 万 t 级控制，共布置 12 个泊位。其中 2#、12#、13#、14#泊位为多用途区，1#、3#、15#、泊位作为客滚区，剩余 7 个泊位作为通用区。

（2）航道与锚地

厂址半径 15km 范围航道主要有石岛港区外主航道（SSW 方位，10.6km）

和石岛港区内航道（SSW-SW 方位，10.8km），锚地主要有避风锚地（SSW 方位，12.2km）和检疫锚地（SSW 方位，14.4km）。

厂址半径 10km 范围内无航道、锚地分布。

3) 机场及航空线

厂址半径 16km 范围内无大型机场。距离厂址最近的机场为威海大水泊国际机场，位于文登区大水泊镇，位于厂址 NW 方位 35.3km，方位为 NW。2019 年，威海大水泊国际机场起降架次累计为 25694 架次。

根据威海市民用航空管理局《<关于请求确认石岛湾核电厂址周围无民航航线函>的复函》（威民航函[2013]1 号），本工程厂址坐标点 8km 范围内，无民航航线通过。

距离厂址最近的民航航线为 DS-IKEKA，航线代号为 W4，距厂址最近距离为 6.92km，位于 NNE 方位。DS-IKEKA 航线北侧有威海机场进场程序的 WH113 等待程序通过，等待程序宽度约 10km。WH113 等待程序每年架次约 2300 架次（日均 6-7 架次）。根据威海国际机场集团有限公司《关于<华能山东石岛湾核电有限公司关于申请更改高温气冷堆核电示范工程厂址附近机场等待程序位置的函>的复函》，威海机场进场程序的 WH113 等待程序 W4 航线南侧等待调整到北侧等待后，厂址半径 4 公里范围内无民航航线通过，且无进离场和等待程序通过。

由此可见，厂址半径 4km 范围内没有航线或起落通道，厂址半径 16km 范围内没有机场分布。

表 2.3-1 厂址半径 15km 范围主要河流情况表

| 序号 | 河流名称 | 方位 | 距离 (km) | 水体功能 | 流域面积 (km ²) | 干流长度(km) | 水质目标 | 发源地 | 流经地 |
|----|------|----|---------|------|-------------------------|----------|------|------|----------------|
| 1 | 王连河 | W | 12.3 | 工业用水 | 42.2 | 10.32 | III类 | 龙庙山南 | 桥头庄村、黄山王家村、台上村 |

表 2.3-2 厂址半径 15km 范围小型河流详细情况表

| 序号 | 河流名称 | 方位 | 距离 (km) | 宽度 (m) | 长度 (km) | 主要流经地 |
|----|--------|---------|---------|--------|---------|---------------------------|
| 1 | 未命名河 1 | WNW~NNE | 1.4 | 3~4 | 5.37 | 所前杜家村、曲家村、周庄村、小河东、东钱家村、小南 |
| 2 | 未命名河 2 | WNW~NNW | 5.5 | 4~5 | 3.22 | 河北村、西夏家村、后港头村、万马邢家村 |
| 3 | 未命名河 3 | WSW~S | 1.9 | 5~6 | 3.43 | 东苏家村、南泊村 |
| 4 | 未命名河 4 | WSW~SSW | 2.4 | 6~10 | 2.3 | 苑家村、南港头村 |
| 5 | 未命名河 5 | W~WNW | 7.6 | 1~2 | 3.12 | 谭村林家、谭村曲家 |
| 6 | 未命名河 6 | WSW | 10.5 | 10~20 | 3.16 | 斥山街道东火塘寨社区 |
| 7 | 未命名河 7 | W | 12.7 | 4~6 | 3.70 | 乔子头村、月亮村、沟曲家村、南桥头村 |

表 2.3-3 厂址半径 15km 范围水库情况表

| 序号 | 水库名称 | 街道/镇名称 | 距离 | 方位 | 水体功能 | 流域面积 (km ²) | 总库容 (万—m ³) | 兴利库容 (万—m ³) | 设计洪水标准 | 校核洪水标准 |
|----|--------|--------|------|--------|---------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|---------|
| 1 | 八河水库 | 崂山街道 | 8.5 | NW | 工业用水、防洪 | 256 | 10438 | 7105 | 50 年一遇 | 300 年一遇 |
| 2 | 车脚河水库 | 斥山街道 | 12.2 | WSW~SW | 防洪、灌溉 | 2.13 | 21.7 | 14.7 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 3 | 盛家后屯水库 | 斥山街道 | 12.5 | WSW | 防洪、灌溉 | 0.63 | 12.08 | 5.32 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 4 | 赵家水库 | 王连街道 | 14.1 | WNW | 防洪、灌溉 | 0.3 | 13.34 | 9.9 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 5 | 东岛刘家水库 | 王连街道 | 11.9 | WNW | 防洪、灌溉 | 0.4 | 15.7 | 9.2 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 6 | 西慕家水库 | 王连街道 | 12.4 | WNW | 防洪、灌溉 | 0.63 | 12.3 | 7.3 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 7 | 常家庄水库 | 王连街道 | 12.5 | WNW | 防洪、灌溉 | 0.75 | 36.85 | 22.4 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 8 | 沟曲家水库 | 王连街道 | 12.5 | W | 防洪、灌溉 | 0.68 | 19.59 | 10.3 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 9 | 邵家水库 | 桃园街道 | 6.8 | W~WSW | 防洪、灌溉 | 1.4 | 66.1 | 40.5 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 10 | 干占水库 | 东山街道 | 6.4 | W | 防洪、灌溉 | 0.5 | 19.07 | 15.1 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 11 | 石头河水库 | 东山街道 | 7.1 | WNW | 防洪、灌溉 | 0.4 | 10 | 6.1 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 12 | 土山水库 | 东山街道 | 9.2 | WNW | 防洪、灌溉 | 0.93 | 10.78 | 7.4 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 13 | 八里王家水库 | 东山街道 | 8.3 | WNW | 防洪、灌溉 | 0.38 | 10.2 | 7.1 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 14 | 甲子山水库 | 东山街道 | 5.4 | WNW | 防洪、灌溉 | 1 | 17.5 | 14 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 15 | 小落东河水库 | 滕家镇 | 14.8 | NW | 防洪、灌溉 | 0.53 | 15.3 | 9.1 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 16 | 古塔水库 | 崂山街道 | 14.4 | NW | 防洪、灌溉 | 1 | 43.1 | 24.4 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 17 | 鲁家水库 | 崂山街道 | 13.4 | NW | 防洪、灌溉 | 1 | 41 | 22.8 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 18 | 马山水库 | 崂山街道 | 12.6 | NW | 防洪、灌溉 | 1.5 | 68.1 | 37.6 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 19 | 南夏家水库 | 宁津街道 | 4.3 | WSW | 防洪、灌溉 | 3.8 | 114.46 | 70.2 | 30 年一遇 | 500 年一遇 |
| 20 | 郭家水库 | 斥山街道 | 13.8 | WSW | 防洪、灌溉 | 6.0 | 159.0 | 82.0 | 30 年一遇 | 500 年一遇 |

表 2.3-4 八河水库取水口信息

| 序号 | 名称 | 位置 | | 总装机功率 (kW) | 取水功能 | 许可取水 总量 (万 m ³) |
|----|-------------------------|------------|-----|---------------|-------------|-----------------------------------|
| | | 距离 (km) | 方位 | | | |
| 1 | 华能山东石岛湾 核电有限公司 | 8.93 | WNW | 224 | 工业、 生活用水 | 100 |
| 2 | 荣成市水务集团有限公司 石岛自来水分公司 | 14.70 | WNW | 260 | 生活用水 | 2032 |
| 3 | 赤山集团有限公司 | 9.30 | WNW | 55 | 工业、 生活用水 | 78 |

表 2.3-5 厂址半径 15km 范围内名胜古迹情况

| 序号 | 名称 | 所在街道/镇 | 位置 | | 地址 | 保护级别 |
|----|----------|--------|-----|---------|--------|------|
| | | | 方位 | 距离 (km) | | |
| 1 | 东墩烟墩 | 宁津 | WSW | 1.23 | 东墩村 | 未定级 |
| 2 | 镆铳岛灯塔 | 宁津 | S | 7.05 | 南洼村 | 未定级 |
| 3 | 宁津所城 | 宁津 | NW | 2.80 | 宁津镇驻地 | 未定级 |
| 4 | 马栏耩烟墩 | 宁津 | NNE | 5.62 | 马栏耩村 | 未定级 |
| 5 | 苑家村烟墩 | 宁津 | WSW | 4.37 | 苑家村 | 未定级 |
| 6 | 于家烟墩 | 宁津 | NNW | 1.15 | 姜家庄村 | 未定级 |
| 7 | 留村墓群 | 宁津 | W | 4.62 | 留村 | 国保单位 |
| 8 | 宁津烈士陵园 | 宁津 | NNW | 2.97 | 驻地 | 县市级 |
| 9 | 楮岛海草房 | 宁津 | NNE | 9.09 | 楮岛村 | 省保单位 |
| 10 | 东墩海草房 | 宁津 | SW | 0.94 | 东墩村 | 省级 |
| 11 | 石岛卫生院石头楼 | 港湾 | SW | 12.60 | 姜家疃村 | 未定级 |
| 12 | 天后宫 | 港湾 | SW | 12.46 | 姜家疃村 | 省级 |
| 13 | 法华院遗址 | 港湾 | WSW | 12.78 | 赤山法华院 | 市级 |
| 14 | 船检局石头楼 | 港湾 | SW | 13.10 | 姜家疃村 | 未定级 |
| 15 | 穆柯寨旧址 | 王连 | WNW | 12.05 | 东岛刘家村 | 县市级 |
| 16 | 河西乔家遗址 | 王连 | W | 14.21 | 河西乔家村 | 未定级 |
| 17 | 朝阳寺遗址 | 桃园 | WSW | 8.12 | 下谭家村东北 | 未定级 |
| 18 | 魏来国故居 | 东山 | W | 6.61 | 干占村 | 县市级 |
| 19 | 柳家庄烟墩 | 崂山 | NW | 13.29 | 柳家庄村 | 未定级 |
| 20 | 大鱼岛石头楼 | 港湾 | SW | 14.01 | 大鱼岛村 | 未定级 |
| 21 | 石岛烈士陵园 | 港湾 | SW | 13.44 | 土步山 | 县市级 |

表 2.3-6 厂址半径 15km 范围内旅游风景区情况

| 序号 | 单位名称 | 所在街道/镇 | 位置 | | 称号 | 批准时间 | 旅游年接待人数 | 日高峰人数 (出现时间) | 公布文号 |
|----|---------------------------|--------|-----|---------|--------|--------|---------|--------------------|-----------------------------------|
| | | | 方位 | 距离 (km) | | | | | |
| 1 | 石岛赤山 国家 AAAA 级 旅游景区 | 斥山 | WSW | 12.87 | AAAA 级 | 2005 年 | 一百多万人次 | 2.8 万余人次 (十一期间) | 旅办发 2005[129]号 |
| 2 | 历史文化名村 东楮岛 | 宁津 | NNE | 10.31 | AAA 级 | 2016 年 | 三十余万人次 | 1 万余人次 (十一期间) | 威海市旅游景区质量等级评定委员会 (2016 年第 2 号) |
| 3 | 甲子山庄 | 宁津 | WNW | 4.65 | AAA 级 | 2020 年 | 十万余人次 | 1 万余人次 | 威海市旅游景区质量等级评定委员会 (2020 年第 3 号) |

2.4 气象

本工程位于山东半岛南岸,属暖温带大陆性季风气候,年温适中,四季分明,光照充足,雨热同季,在我国同纬度带中属于气候条件良好的地区。

— 冬季

冬季影响厂址区域的地面天气系统主要是冷锋,它是极地大陆气团和变性极地大陆气团之间的界面。较强冷锋过境后,常常出现偏北大风并引起强烈的降温,当南方暖湿空气较强时也会造成雨雪天气,有时还有雨淞。当青藏高原上有较深的低槽移出,西南气流较强时,南方气旋也会北上影响厂址区域,造成大风和雨雪天气。

冬季,强大干冷的蒙古高压控制我国,它主宰着冷空气的活动。厂址区域位于蒙古冷高压的东南部,盛行偏北风,气候寒冷而干燥。

— 春季

春季是大气环流型由冬到夏的转换季节,低层环流形势表现为冬、夏季的主要大气活动中心并存。春季 500hPa (5500m) 以上的环流基本上仍是冬季形势,南支西风位置变化不大,北支西风稍有北退;但低层 850hPa (1500m) 以下则开始出现夏季环流形势。入春以后,随着太阳辐射日益增强,地面和空气的温度不断增高,蒙古高压强度减弱,并向西、向北收缩;蒙古气旋频繁出现,发展强烈,形成南高北低的气压场,所以春季是厂址区域偏南大风出现最多的季节。同时,南方气旋活跃,活动路径比冬季偏北气旋出海后常常发展,造成厂址区域大风天气。春季虽然冷空气势力减弱,但出现次数仍频繁,若有较强的冷空气南下,会造成较强的降温,也会造成冰雹等强对流天气。此时,西太平洋副热带高压(以下简称“副高”)、大陆热低压势力逐渐增强,西南暖湿气流较冬季活跃,降水比冬季明显增多。由于春季回暖快,风力大,蒸发强,所以常出现春旱。

— 夏季

夏季主要受西太平洋副高和大陆热低压控制,经常受热带海洋气团影响。在单一热带海洋气团控制之下,常是天气晴朗、高温而潮湿。此时来自高纬度的冷空气仍经常南下,在变性极地气团与热带海洋气团之间形成冷锋。虽然影响厂址区域的冷锋次数及强度远不及春季,但由于南方暖湿气流强盛,经冷空气抬升常造成大量降水,有时达到暴雨强度,甚至出现冰雹等强对流天气,此时会出现短时间大风。6、7 月份南方气旋经常影响厂址区域,造成大范围的降水,有时出

现暴雨。盛夏台风活动频繁，平均每年有 2.9 次影响厂址区域，带来大风和降水天气。

随着大陆特别是青藏高原的增温，高原南侧温度梯度减弱。到 5 月底或 6 月初，高原南侧南支西风急流消失，青藏高压建立，西南季风爆发，我国大陆上主要雨带随之北移。6 月中旬到 7 月上旬，西太平洋副高第一次北跳后，脊线位于 20~25°N 之间，厂址区域进入雨季。7 月中旬，副高压第二次北跳，脊线到达 30°N 附近。8 月下旬，副高压开始南撤，雨带也开始南退，8 月底或 9 月初厂址区域雨季结束。

— 秋季

秋季是大气环流型自夏到冬季的转换季节。9 月蒙古高压建立后，厂址区域基本上处在极地大陆气团的影响下。10 月，蒙古高压再度加强，地面上已是稳定的冬季环流形势。9 月上旬 500hPa 副高脊线已南撤到 25°N 以南，雨带也随之南撤，降水显著减少，秋季对流层上部的青藏高压消失，西风带南移，高原南侧的南支西风重新建立。10 月份，高空也基本上为冬季的环流形势。

秋季，随着蒙古高压的建立和加强，厂址区域又转受极地大陆气团控制，气温明显下降，降水骤减，多秋高气爽天气。

2.4.1 区域气候

2.4.1.1 一般气候

厂址属于山东半岛丘陵气候区，具有“夏热多雨，冬冷干燥”的特点；在这个区域，中纬度天气系统活动频繁，大风、暴雨较多；另外，由于海洋性气候影响明显，还具有大陆性气候向海洋性气候过渡型气候特征。

2.4.1.2 区域气象的平均值与极端值

厂址周边有石岛、荣成、文登、成山头、威海、乳山、牟平、烟台、海阳、福山和栖霞 11 个气象站。

石岛气象站与厂址站距离较近，只有 8km，石岛站观测期大多数气象要素及天气现象能代表累年平均情况，因此选择石岛气象站作为代表站统计厂址的气象要素。

根据石岛气象站建站~2019 年的气象资料统计，气象特征为：

1) 气温

| | |
|----------|-----------|
| 最冷月月平均温度 | -0.8℃ |
| 最热月月平均温度 | 24.6℃ |
| 年平均温度 | 12.1℃ |
| 极端最高温度 | 36.8℃ |
| 极端最低温度 | -14.6℃ |
| 2) 降水量 | |
| 年平均降水量 | 787.8mm |
| 一日最大降水量 | 254.1mm |
| 3) 湿度 | |
| 年平均相对湿度 | 72% |
| 4) 气压 | |
| 年平均气压 | 1014.5hPa |
| 5) 风向、风速 | |
| 年主导风向 | N |
| 年主导风向频率 | 13.0% |
| 最大风速 | 28.3m/s |
| 年平均风速 | 4.1m/s |
| 6) 雷暴 | |
| 平均雷暴出现日数 | 15.5d |
| 7) 蒸发量 | |
| 年平均蒸发量 | 1444.4mm |
| 8) 日照 | |
| 平均日照时数 | 2490.5h |

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.2.1 热带气旋

热带气旋是主要的灾害性天气系统。发生在西北太平洋的热带气旋能否北上，并进入所研究的海域（以厂址为中心半径 400km 的圆域）是与热带、副热带和西风带的环流特征紧密相关。一般在盛夏，当副热带高压脊位置越过 25°N 并稳定在日本附近（或称为日本副高）；在日本副高的北侧，与亚洲东海岸的西风带

高压经向叠加,形成所谓东亚高脊;东亚高脊的明显加强,有利于热带气旋北上,并可能袭击研究海域。

使用中国气象局出版的 1949~2019 年的《台风年鉴》资料,以厂址为中心半径为 400km 作一圆域,统计经过此区域内的热带气旋活动随时间的分布。

1949~2019 年共有 89 个热带气旋中心经过此圆域,平均每年约 1.25 次。其中有 86 个,即 96.6%发生在 7 至 9 月。8 月份为热带气旋频数最多的月份,为 43 个,占总数的 48.3%。

影响本海区的热带气旋路径有三类:

第一类,热带气旋从厦门至温州之间登陆,然后北上,在长江口至山东半岛一带入海,进入研究海区。登陆后,热带气旋强度减弱,入海后又再度加强。

第二类,热带气旋从台湾省到冲绳岛之间北上,直接进入该海区。在副热带高压势力比较强并位于日本列岛附近时常出现此类路径。此时,我国东部沿海通常有一长波槽发展,该槽与东部的高压脊之间形成的强南风带,牵引着热带气旋向偏北方向移动。当这类热带气旋进入该海区后大多向东北方向移去并在朝鲜半岛登陆,仅有小部分向西北方向移动并可能在厂址附近登陆,这类路径的热带气旋直接从海上登陆,对厂址影响最大,强度也最强。

第三类是从冲绳岛到日本西部西进,进入该海区。

由第一类路径进入研究海域的热带气旋为最多为 37 次,第二类路径为 35 次,第三类路径最少为 17 次。

可能最大热带气旋是指一种假想的平稳状态下的热带气旋,它是根据特定海岸地区发生的最大持续风速所选择的气象参数值的组合,该可能最大热带气旋可用作设计基准热带气旋。计算得到可能最大热带气旋的各气象参数如下:

| | |
|------------|---------|
| 中心气压 P_0 | 928hPa |
| 边缘气压 P_w | 1010hPa |
| 台风移速 V_c | 27km/h |
| 最大风速半径 R | 25km |

2.4.2.2 龙卷风

资料收集的时限:有文献记录以来到2006年,由于1950年以前记载的龙卷风历史资料相对较简单,难以进行定量统计,在此进行定量统计和分析的资料年限以1951~2019年为主。

资料收集的空间范围:根据核安全导则的要求,调查石岛湾核电厂址为中心,经度宽3度、纬度宽3度区域内的所有气象站和区域。因特殊地理特点,该范围较小,覆盖的台站数少,所以以石岛湾核电厂址为中心,半径约300km区域内的所有气象站和区域具体为:烟台、福山、牟平、莱阳、栖霞、莱州、龙口、招远、蓬莱、海阳、威海、荣成、成山头、石岛、文登、乳山、平度、莱西、胶州、即墨、青岛、崂山、胶南、高密、潍坊、诸城、昌邑、安丘等28个县市。调查单位是各市、县的气象局、三防办、编志办、民政局、档案馆、新闻机构等部门收集有关龙卷风资料。

石岛湾核电厂厂址区域内,1950~2019年共发生龙卷风128个,平均每年出现约1.83个,出现次数最多的年份1966年、1971年,达7次,在70年中有17年未出现龙卷风。龙卷风有明显的季节变化,夏季发生次数占全年发生次数的68.8%,其中6月、8月次数最多,11~3月从未发生。对厂址区域有发生时刻记录的39次龙卷风进行统计,13~17时共发生23次,占59%,其它时间发生16次,占41%。龙卷风是一种小尺度天气现象,受下垫面影响非常明显,午后对流发展强盛,龙卷风容易发生。

设计基准概率值定为每年 10^{-7} ,采用区域内总样本做出各强度级别龙卷风的累积频数曲线和拟合函数,经龙卷风流场模型计算得到:设计基准龙卷风为 F3级,设计基准龙卷风风速为 75m/s。

设计基准龙卷风的参数为:

| | |
|--------|------------|
| 最大风速 | 75m/s |
| 平移风速 | 14.6m/s |
| 最大旋转风速 | 60.4m/s |
| 旋转半径 | 50m |
| 总压力降 | 40.13hPa |
| 最大压降速率 | 11.72hPa/s |

2.4.2.3 极端风

根据核安全导则《核电厂厂址选择的极端气象事件》(HAD101/10),对威海、成山头、石岛气象站截至2019年的年最大风速值概率计算采用耿贝尔分布进行拟合。威海、成山头、石岛气象站100年一遇最大风速分别为33.8m/s、35.9m/s、36.0m/s,取36.0m/s为厂址100年一遇最大风速。

根据各站最大风速与极大风速相关关系延长各站极大风速序列并采用耿贝尔极值I型概率分布进行拟合，综合考虑推荐厂址100年一遇极大风速49.8m/s。

2.4.2.4 极端降水

对威海、成山头、石岛气象站各时段年最大降水量资料进行了收集整理，分别采用耿贝尔分布、皮尔逊III型分布对各站各时段年最大降雨量进行拟合统计，取偏保守计算值为设计基准，结果如下：

厂址百年一遇 10min、30min、1h、6h、12h、24h 降水值分别为 42.7mm、73.3mm、122.3mm、211.5mm、236.2mm 和 467.4mm；厂址千年一遇 10min、30min、1h、6h、12h、24h 降水值分别为 59.6mm、100.9mm、180.3mm、293.7mm、323.7mm 和 731.9mm。

根据 2007 年完成的《山东石岛湾核电工程可行性研究可能最大暴雨(PMP)分析研究专题报告》以及 2021 年完成的《国核压水堆示范工程可能最大降雨复核报告》，厂址 10 分钟 PMP 为 81mm，1hPMP 为 350mm，24hPMP 为 1100mm。

2.4.2.5 极端积雪

经过对威海、成山头、石岛气象站积雪资料的分析、复核，根据耿贝尔分布计算，发现以威海的极端积雪深度最大。从区域代表性考虑，取其为厂址区域的极端积雪参数计算参证站，最大积雪深度 100 年一遇为 52.3cm，雪压为 0.666kN/m²。

冬季 48 小时最大降水量 100 年一遇为 54.8mm。

考虑冬季48小时最大降水，厂址极端积雪雪压百年一遇值为1.20kN/m²。

2.4.2.6 极端温度

石岛出现的极端最高气温为34.0℃，发生在2002年，其次是发生在2005年的最高温度33.7℃；石岛出现的极端最低气温为-13.3℃，发生在2003年，其次是发生在1981年的最低温度-12.9℃。

经过对威海、成山头、石岛气象站气温资料的分析、复核，根据耿贝尔分布计算极端温度值，取拟合结果中偏保守者为厂址区域的极端气温参数。确定厂址区域50年一遇极端最高气温为38.6℃，100年一遇极端最高气温为39.5℃；50年一遇极端最低气温为-18.0℃，100年一遇极端最低气温为-19.2℃。

2.4.2.7 雷暴

山东半岛的东部沿海地区为雷暴较少出现的区域，根据1971~2000年统计年

雷暴日数一般在20天以下，最少的是石岛。1959年~2014年，威海气象站累计发生雷暴次数1055次；1953年~2014年，石岛气象站累计发生雷暴次数960次；1952年~2014年，成山头气象站累计发生雷暴次数1020次。雷暴灾害主要发生在夏季，春秋季也有发生，冬季很少出现雷暴灾害。

2.4.2.8 飏

飏即为突然发作的强风，持续时间短促。出现时瞬时风速突增，风向突变，同时气温剧降，气压骤升，气象要素随之亦剧烈变化，常伴随雷暴阵性降水、冰雹等现象出现。飏形成于不稳定气团中，多发生在冷锋前的暖气团中。最大风速可达 20m/s，有时甚至达 50m/s。飏常排列成线状，故称为飏线，也称不稳定线或气压涌升线。

飏线由许多雷暴单体排列成带状的狭窄云带，宽约 20~50km，长约几十公里。飏线移向大多是自西北向东南移动，飏线常可造成灾害。石岛飏线 20 次，风速约在 6~8 级（10~20m/s），最大可达 10 级（28m/s）左右。

1959 年~2014 年，威海气象站累计发生飏线日数 44 天；1953 年~2014 年，石岛气象站累计发生飏线日数 28 天；1952 年~2014 年，成山头气象站累计发生飏线日数 86 天。

2.4.2.9 冰雹

冰雹是大气中固体降水，主要是冷空气活动造成的，冰雹一般持续时间不长，但来势凶、强度大，往往伴有雷雨、突发性大风和龙卷风。冰雹是山东频繁发生且危害较严重的一种气象灾害。山东的冰雹山区多于平原，鲁中、鲁北地区多于鲁西南地区，尤以鲁中山区出现的几率最大。山东多冰雹区也有较明显的变化。4 月多雹区出现在西南部；6 月多雹区出现在鲁北、鲁中山区东部及山东半岛西北部；7 月多雹区出现在鲁中山区的西北部；秋季多雹区出现在山东半岛和鲁北一带。

1959 年~2019 年，威海气象站累计发生冰雹日数 40 天；1953 年~2019 年，石岛气象站累计发生冰雹日数 24 天；1952 年~2014 年，成山头气象站累计发生冰雹日数 44 天。

2.4.2.10 气象资料的复核

1) 2011 年气象资料的复核

“3.11”日本福岛核事故后，为配合我国相关部门对石岛湾核电厂进行综合

安全检查，华能山东石岛湾核电有限公司委托中国气象科学研究院补充 2006 年~2010 年的气象资料，对《华能石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程厂址区域气象调查专题技术报告》进行复核，对 2007 年完成的《华能石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程厂址区域气象调查专题》技术报告中极端风、极端积雪、极端气温、设计基准龙卷风等参数进行复核。

(1) 基础资料收集

在 2007 年完成报告的基础上，本次补充收集的资料如下：

- 2006 年至 2010 年威海、成山头气象站的年最大风速和极大风速，2006 年至 2008 年石岛气象站的年最大风速和极大风速，资料序列为 1971~2010 年。
- 2006 年至 2010 年威海、成山头气象站、2006 年至 2008 年石岛气象站的积雪，资料序列为 1954~2010 年。
- 2006 年至 2010 年威海、成山头气象站、2006 年至 2008 年石岛气象站的冬季 48 小时最大降水，资料序列为 1961~2010 年。
- 2006 年至 2010 年威海、成山头气象站、2006 年至 2008 年石岛气象站极端最高温度和极端最低温度，以及石岛气象站近 5 年的最热三月 7、8、9 月和最冷三月 1、2、12 月的日平均气温，资料序列为 1961~2010 年。
- 2007~2010 年研究范围出现的龙卷风，资料序列为 1951~2010 年。
- 2007~2010 年研究范围出现的热带气旋，资料序列为 1949~2010 年。

(2) 主要参数复核结果

复核工程以所有收集到的资料为基础，对极端最大风速、极大风速、极端积雪、极端冬季 48 小时降水、极端最高气温、极端最低气温、龙卷风等参数的 50 年一遇、100 年一遇、1000 年一遇的参数进行了复核。主要计算结果如下：

- 极端风、极端积雪、极端温度

通过与原计算成果对比，此次复核计算推荐的设计基准值更加保守，因此厂址极端风、极端积雪、极端温度的设计基准采用复核成果。

厂址百年一遇最大风速为 35.6m/s，最极大风速为 49.8m/s；厂址千年一遇极大最大风速为 43.7m/s，极大风速为 61.2m/s；千年一遇极端积雪（包括冬季 48 小时最大降水）雪压为 1.53kN/m²；百年一遇极端最高温度为 39.5℃，极端最低温度为-16.9℃。

根据 2010 年后的厂址气象观测资料（风、温、降水等）分析：

（a）厂址处 10m 高度出现的最大风速未超过 18m/s，而确定的厂址 100 年一遇最大风速为 35.5m/s，因此，2010 年后厂址出现的风不会对设计基准风速产生影响；

（b）厂址处出现的最高气温为 33.2℃，最低气温为-5.9℃；而确定的厂址 100 年一遇极端最高气温为 39.4℃，100 年一遇极端最低气温为-19.2℃，因此，2010 年后厂址出现的极端气温不会对设计基准气温产生影响；

（c）厂址区域出现的年降水量为 394.9mm，而确定的厂址 24h 千年一遇降水量为 731.9mm，24h 可能最大降水量（PMP）为 1100mm，因此，2010 年后厂址出现的降水不会对设计基准降水产生影响。

● 龙卷风

研究区域里2007~2010年里增加了10个龙卷风的统计样本，其中2个F0级，7个F1级，1个F2.0级，通过计算设计基准龙卷风参数与原报告一致，维持原成果不变。

2010年以来厂址区域出现一例龙卷风样本。2012年7月12日下午，潍坊地区出现龙卷风、冰雹等强对流天气，龙卷风最大风速20m/s，为F0级，不会影响厂址设计基准龙卷风的参数。

● 热带气旋

根据国家海洋局发布的中国海洋灾害公报以及中国气象局公共气象服务中心的台风路径资料统计，2010年以后进入厂址附近400km范围内的热带气旋数量较少，主要有：2011年1105号“米雷”台风、1109号“梅花”台风、2012年1215号“布拉万”台风。

其中热带风暴“米雷”于2011年6月22日下午在菲律宾以东洋面上生成。14时，其中心位于菲律宾马尼拉东偏南方约1100公里的西北太平洋洋面上（北纬13.2度、东经113.2度），中心附近最大风力有8级（18米/秒），中心最低气压为998百帕。24日傍晚加强为强热带风暴，并沿我国东部沿海北移。26日下午在山东半岛以东近海减弱为热带风暴，26日21时10分在山东省荣成市成山镇沿海登陆。27日05时在黄海北部海面减弱为热带低压，27日07时10分在朝鲜南浦市和黄海南道交界处沿海再次登陆。

根据收集到的资料对比，初步确定厂址产生影响的台风主要为“米雷”和“梅

花”台风,其中“米雷”台风在厂址附近登陆,中心气压值982hPa,最大风速23m/s;“梅花”台风路径最近距离厂址90km,中心气压值980hPa,最大风速28m/s。

2011年6月26日21时,“米雷”在山东省荣成市成山头附近登陆,距离厂址约30km,登陆时中心气压值982hPa,最大风速23m/s,是目前为止对厂址影响最为严重的热带风暴。根据厂址附近海洋水文站的观察资料,台风期间成山头站最大增水0.77m,石岛站增水0.49m。

厂址设计基准热带气旋的中心气压值为929hPa,可能最大增水值为207cm,近中心最大风速为51m/s。热带风暴“米雷”在厂址附近出现的最小中心气压、最大增水、最大风速等均远小于厂址的设计基准热带气旋参数,说明厂址设计基准热带气旋的选取具有良好的保守性,成果合理。

2) 2021年气象资料的复核

根据2020年完成的《华能山东石岛湾核电厂扩建工程可行性研究常规气象、极端气象和工程气象复核专题报告》和2021年完成的《国核压水堆示范工程设计基准洪水位复核报告》对极端气象事件和参数进行复核工作。

(1) 热带气旋

按照核安全导则《核电厂设计基准热带气旋》(HAD101/11, 1991.04.26)的要求,以进入厂址400km为半径范围内的台风中心气压的年极值作为统计样本。根据国家气象局出版的1949~2020年的台风年鉴台风资料统计,每年选择一个年台风中心最低气压,如果某年没有台风进入该区域,该年最低气压就取台风中心气压年极值样本中的最高值(1004hPa)作为统计样本。其中,2007年以来的统计结果为:998hPa(2007年)、998hPa(2008年)、998hPa(2009年)、965hPa(2010年)、975hPa(2011年)、960hPa(2012年)、988hPa(2014年)、985hPa(2015年)、1004hPa(2016年)、990hPa(2018年)、965hPa(2019年)、955hPa(2020年),2013年及2017年调查区域内无热带气旋。

采用P-III分布进行拟合求得千年一遇的热带气旋中心气压为928hPa,该结果与原设计基准热带气旋中心气压929hPa基本一致。因2020年进入评价区域内的台风巴威(编号2008)强度较强,中心气压最低达955hPa,导致拟合中心气压值略有降低。基于偏保守考虑,推荐厂址设计基准热带气旋中心气压 P_0 为928hPa。设计基准热带气旋其它参数经复核维持不变,即:台风边缘气压 P_w 为1010hPa、台风移速 V_c 为27km/h、最大风速半径 R 为25km。

(2) 龙卷风

根据《核电厂工程气象技术规范》(GB/T50674-2013)的要求,对以厂址为中心,经度 3° 、纬度 3° 范围内的1950年~2019年龙卷风事件进行了收集分析。其中,2010年以来调查到出现龙卷风的年份分别为:2012年(5次)、2013年(1次)、2014年(2次)、2015年(1次)、2016年(1次)、2019年(1次),其中F0出现6次、F1出现5次。

收集到的2010年以来龙卷风事件均未超过F2级,对设计基准计算结果的影响较小。因此推荐维持原设计基准,即设计基准龙卷风为F3,具体参数为:

| | |
|----------|------------|
| 最大风速 | 75m/s |
| 最大旋转风速 | 60.4m/s |
| 最大平移风速 | 14.6m/s |
| 最大旋转风速半径 | 50m |
| 总压力降 | 40.13hPa |
| 压降速率 | 11.72hPa/s |

(3) 极端气温

将极端温度所用资料延长至2019年,综合推荐历次复核结果中偏保守值为设计基准,厂址100年一遇最高气温 39.5°C ,100年一遇最低气温 -19.2°C 。

(4) 极端风

将极端风所用资料延长至2019年,综合推荐历次复核结果中偏保守值为设计基准,厂址100年一遇最大风速 36.0m/s ,100年一遇极大风速 49.8m/s 。

(5) 极端积雪

将极端积雪所用资料延长至2019年,综合推荐历次复核结果中偏保守值为设计基准,厂址100年一遇最大雪深 52.3cm ,冬季48小时最大降水 54.8mm ,因此,厂址100年一遇最大雪压(叠加冬季48小时最大降水)为 1.20kN/m^2 。

(6) 极端降水

将极端降水所用资料延长至2019年,综合推荐历次复核结果中偏保守值为设计基准,厂址100年一遇5min、10min、30min、1h、24h降雨分别为 24.8mm 、 42.7mm 、 73.3mm 、 122.3mm 、 467.4mm ;1000年一遇5min、10min、30min、1h、24h降雨分别为 35.5mm 、 59.6mm 、 100.9mm 、 180.3mm 、 731.9mm 。厂址10min、30min、1h、24h可能最大降雨(PMP)分别为 81mm 、 199mm 、 350mm 、 668mm 、 1100mm 。

2.4.3 当地气象条件

山东石岛湾核电厂址气象观测系统由气象铁塔风温梯度测量系统、地面气象8要素自动观测系统、监控系统平台三部分构成。其中气象塔梯度观测在102m铁塔的10m、30m、60m、80m和100m五个高度上安装风向、风速和温度传感器，实现对应高度风向、风速和温度要素的观测；地面气象要素自动观测系统以国家基准站最高水平的自动气象站设备为主体，基本构成包括10m风杆、风向、风速、温度、湿度、雨量、总辐射、净辐射、气压传感器、数据采集器等。

2.4.3.1 气温

2019年地面站1.5m、铁塔10m、30m、60m、80m、100m高度年平均气温分别为13.30℃、13.71℃、13.67℃、13.59℃、13.50℃、13.46℃。各月平均温度分析表明：最冷月为1~2月，各层平均气温-7.80℃~-6.96℃，最热月为8月，各层平均气温24.83℃~25.27℃。

2019年地面站1.5m、铁塔10m、30m、60m、80m、100m高度极端最高气温分别32.68℃、31.34℃、30.67℃、30.30℃、30.04℃、30.48℃；1.5m、铁塔10m、30m、60m、80m、100m高度极端最低气温分别为-7.03℃、-6.96℃、-7.14℃、-7.42℃、-7.62℃、-7.80℃。

2020年地面站1.5m、铁塔10m、30m、60m、80m、100m高度年平均气温分别为12.58℃、12.85℃、12.86℃、12.72℃、12.62℃、12.58℃。各月平均温度分析表明：最冷月为12月，各层平均气温1.08℃~1.95℃，最热月为7月，各层平均气温28.55℃~29.81℃。气温总体变化为随高度增加而减小，30m高度气温略高于10m高度气温，说明厂址所在区域易出现贴地逆温。

2020年地面站1.5m、铁塔10m、30m、60m、80m、100m高度极端最高气温分别29.81℃、29.38℃、29.09℃、28.79℃、28.55℃、28.32℃；1.5m、铁塔10m、30m、60m、80m、100m高度极端最低气温分别为-9.81℃、-9.66℃、-9.91℃、-10.16℃、-10.38℃、-10.52℃。

2.4.3.2 气压

2019年平均气压1014.57hPa，最高月平均大气压1024.72hPa，为12月；最低月平均大气压1002.88hPa，为7月；极端最高气压1040.21hPa，出现在5月12日；极端最低气压987.18hPa，出现在8月12日。

2020 年平均气压 1020.53hPa，最高月平均大气压 1034.62hPa，为 3 月；最低月平均大气压 1004.38hPa，为 8 月；极端最高气压 1187.10hPa，出现在 5 月 29 日；极端最低气压 988.60hPa，出现在 8 月 27 日。

2.4.3.3 相对湿度

2019 年平均相对湿度 71.95%，最高月平均相对湿度 87.94%，为 8 月；最低月平均相对湿度为 58.25%，为 1 月；最小相对湿度为 14.32%，出现在 5 月 6 日。

2020 年平均相对湿度 72.91%，最高月平均相对湿度 92.13%，为 8 月；最低月平均相对湿度为 56.17%，为 12 月；最小相对湿度为 13.17%，出现在 4 月 1 日。

2.4.3.4 降水

2019 年降水总量 395.00mm，全年降水天数 84 天。月最高降水量 104.90mm，为 8 月，该月降水天数为 11 天；月最低降水量 0.10mm，为 1 月，该月降水天数为 1 天。

2020 年降水总量 547.40mm，全年降水天数 123 天。月最高降水量 100.10mm，为 9 月，该月降水天数为 15 天；月最低降水量 1.40mm，为 10 月，该月降水天数为 3 天。

2.4.3.5 风

2019 年地面站 10m 风杆、铁塔 10m、30m、60m、80m、100m 高度年平均风速分别为 3.04m/s、2.91m/s、4.13m/s、5.01m/s、5.49m/s、5.88m/s。最大月平均风速分别为 3.49m/s、3.39m/s、4.71m/s、5.74m/s、6.34m/s、6.80m/s，出现在 5 月；极大风速分别为 19.46m/s、18.66m/s、21.85m/s、22.65m/s、25.05m/s、25.85m/s，对应风向分别为 N、NW、NNW、NNW、E、NNW；年最多风向及频率分别为 NNW（10.74%）、NW（10.97%）、SSW（11.19%）、SSW（11.34%）、SSW（12.08%）、SSW（11.13%）；年次多风向及频率分别为 SW（9.79%）、SSW（10.97%）、NW（10.75%）、N（10.46%）、NNW（10.99%）、SW（10.53%）；年静风频率分别为 0.68%、0.65%、0.18%、0.13%、0.10%、0.13%。

2020 年地面站 10m 风杆、铁塔 10m、30m、60m、80m、100m 高度年平均风速分别为 3.01m/s、2.83m/s、4.08m/s、5.02m/s、5.59m/s、5.82m/s。最大月平均风速分别为 3.86m/s、3.71m/s、4.97m/s、5.95m/s、6.52m/s、6.72m/s，出现在 3、4 月；极大风速分别为 21.85m/s、22.65m/s、24.53m/s、27.21m/s、28.77m/s、

30.64m/s，对应风向分别为 WNW、NW、WNW、NW、WNW、NW；年最多风向及频率分别为 NNW(12.44%)、NW(10.05%)、NW(12.72%)、SSW(11.93%)、SSW(11.78%)、SSW(11.15%)；年次多风向及频率分别为 NW(10.62%)、NNW(9.03%)、SSW(11.86%)、NNW(10.80%)、NW(11.56%)、NNW(10.70%)；年静风频率分别为 1.14%、1.09%、0.73%、0.34%、0.25%、1.98%。

2.4.4 大气稳定度

根据 2019 年 1 月~2020 年 12 月（两整年）的厂址气象观测设施逐时观测数据（数据联合获取率 98.4%），采用核安全导则《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）所推荐温度梯度-风速法对厂址地区全年各类稳定度所占比率进行了统计，统计得到当地出现频率最高的大气稳定度类型为中性天气类(D)，出现频率为 39.86%，稳定天气类(E、F)出现频率为 27.54%，不稳定天气类(A、B、C)出现频率为 32.58%。

2.4.5 联合频率

根据 2019 年 1 月~2020 年 12 月（两整年）的厂址气象观测设施风杆 10m 高度观测资料，主导风向为 NNW，出现频率为 12.139%，静风频率为 2.035%（按风速小于 0.5m/s 考虑），平均风速为 2.82m/s。

2.4.6 混合层高度及扩散参数值

2.4.5.1 混合层高度

1) 大气边界层观测

近地面释放的污染物在大气中的扩散和输送主要受边界层和温度层结等气象条件影响，其中风、温廓线又在很大程度上影响边界层和湍流状态。为研究厂址地区大气边界层风温特征，北京大学科技开发部于 2007 年 08 月 21 日~2007 年 09 月 11 日，2007 年 12 月 11 日~2007 年 12 月 28 日分别开展了夏、冬 2 季的低空探空探测。其中夏季观测点位置在气象铁塔点、东山镇点和王连镇点；冬季观测点位置在气象铁塔点。大气测试实验每天进行 8 次，分别是 02h, 05h, 08h, 11h, 14h, 17h, 20h, 23h。

通过该试验得到了厂址区域以下气象特征：

(1) 厂址区域夏季主导风向为 NNE、NE，冬季主导风向为 NNW、WNW。夏季各高度层集中在偏东风 (NE, ENE)，但在 1100m 以上有少数西北风 (NW) 情况，冬季各高度层集中在 NNW、WNW 风向。

(2) 夏季风速最大值集中出现在中午 (11 时、14 时)，最小值集中出现在夜间至凌晨。冬季近地面风速最大值多出现在上午，高空最大值则多出现在夜间，最小值近地面多出现在凌晨，高空多出现在夜间。

(3) 夏、冬两季风速主要集中于 5.0~6.9m/s 风速段，其次集中在 3.0~4.9m/s 风速段中，整个高度层内小风出现的频率较低。

2) 边界层逆温

由观测结果可知，厂址区域夏季夜间表现为逆温状态，逆温高度均在 300m 以下，昼间各层高度的最高温度出现在地面，且随高度递减；冬季夜间各层高度的最高温度出现在近地面层，昼间各层高度的最高温度出现在地面，且随高度递减。

大气边界层逆温特征为：

- 观测时段内各测点逆温多为多层逆温并存，一般为 6 层逆温。其中，接地逆温出现频率最大；
- 冬季逆温层厚度和最大厚度均大于夏季，其强度和最大强度也均强于夏季；
- 夏季逆温层多出现于凌晨，而冬季逆温层则多出现于夜间；
- 冬季接地逆温层的持续时间长于夏季。

3) 热内边界层

形成热内边界层的必要条件是向岸流和一定的海陆温差。厂址位于胶东半岛东部尖端，为渤海和黄海所环绕，由于厂址三面环海，热内边界层发展受到距离上的限制。根据夏季观测结果，在偏南风条件（除大风天气未观测）下，各观测点的温度廓线有较明显的逆温跳跃，但逆温跳跃幅度不强。可见厂址区域存在热内边界层，但热内边界层特征呈现较弱趋势。

根据大气边界层实验结果，同时结合我国北方沿海气象特点，并综合考虑厂址的热内边界层高度随路径距离的变化关系，厂址区域热内边界层高度随路径距离的变化推荐为： $h=5.1X^{0.5}$ 。

4) 混合层高度

根据夏、冬两季观测结果，混合层高度变化情况如下：

- 从日变化特征来看，早晨多由近地面层逆温控制，大气处于稳定状态，混合层高度较低；日出后多为不稳定层结，气温随高度递减，混合层增大，午间混合层达到最高；此后，混合层高度又逐渐减小，傍晚会出现近地层逆温。
- 从空间变化特征来看，混合层高度由海边向陆地为减小趋势。

根据测试期间的探空资料，利用干绝热曲线法统计项目区的混合层高度数值。夏季的各稳定度条件下的混合层高度值为：A-B类 1103m，C类 638m，D类 204m；冬季的各稳定度条件下的混合层高度值为：A-B类 900m，C类 350m，D类 200m。从夏季和冬季各稳定度下的混合层高度来看，冬季的混合层高度值要明显小于夏季，从偏保守的角度考虑，推荐采用冬季获得的混合层高度值，因此综合夏、冬两季的厂址各稳定度条件下的混合层高度值，得出厂址区域各类稳定度条件下混合层高度推荐值为：A-B类 900m，C类 350m，D类 200m。

2.4.5.2 扩散参数值

1) 已开展的大气扩散实验

中国辐射防护研究院早于 2007 年 08 月 22 日~08 月 31 日在厂址进行了 15 次六氟化硫（SF₆）野外示踪实验，最远采样 8.5km，释放高度为 65m。15 次实验中，D 类稳定度占 7 次，C 类稳定度占 6 次，B 类稳定度占 2 次。由于野外示踪实验样本较少，实验中 B 类稳定度仅出现 2 次，强不稳定天气（A 类稳定度）和强稳定天气（E、F 类稳定度）均未出现，该示踪实验无法提供完整的可用于环境影响评价的大气扩散参数。

为进一步确定厂址地区大气扩散参数，北京大学科技开发部于 2007 年 12 月~2008 年 01 月和 2007 年 08 月~09 月间分别于厂址气象铁塔 30m、100m 高度处进行了厂址湍流观测实验，共获得 1794 组数据，覆盖了厂址地区各类稳定度情况，但该实验统计结果较为离散，其推荐扩散参数并未考虑向岸流入陆后和离岸流入海后的变性问题。同时，本项工作在小尺度风场与输送轨迹分析的基础上，采用随机游动粒子烟团模式对厂址下风距离 20km 范围的扩散规律进行了系统的模拟。数值模拟采用北京大学自主开发的随机游走粒子-烟团模式（称 RPPM 模式），共进行冬、夏两季的扩散分析。冬季进行了 12 次模拟，其中中性的 2 次，不稳定的 5 次，稳定的 5 次。夏季总共也进行了 12 次模拟，包括稳定条件的 4

次，中性 1 次，不稳定的 6 次。

根据示踪实验、数值模拟与湍流观测结果比较，三种不同研究方法所获水平扩散参数有较大差异，但各自的偏差与方法的特点以及当地实际情况有明显的关系。根据结果分析，扩散参数在不稳定一侧分布较密，取值总体与 Pasquill-Gifford 曲线接近或略高。对中性及稳定情况，扩散参数取值约比 Pasquill-Gifford 曲线高半个稳定度级别。这主要是参考示踪实验偏高扩散参数的观测事实，另外数值模拟的结果在考虑了方法本身对地形扰动反映不足的因素之后，也对取较高的扩散参数提供部分支持。在不稳定一侧有较密的分布则是示踪实验和湍流观测结果共同特征。不过，考虑到示踪实验结果出自时间很集中的几天之内，代表性有限。

与水平扩散参数的情况类似，示踪实验获得的垂直扩散参数值最大，湍流观测的结果较小。数值模拟的结果较离散，但不稳定条件下与湍流观测的结果相近，部分中性的则偏小。与 Pasquill-Gifford 的垂直扩散曲线相比，示踪实验的结果系统偏大，尤其是近处偏大明显。湍流观测的结果则是，不稳定条件的偏小，中性的与 Pasquill-Gifford 的结果接近或偏大。在综合三种方法的结果时，与处理水平扩散参数的情况有所不同，以湍流观测的结果为基本依据。这里主要考虑的是，示踪实验和数值模拟的结果皆依据地面浓度的观测或模拟值间接获得，而垂直湍流观测对当地有较好的代表性，据此导出的垂直扩散参数有较好的物理基础。另外，数值模拟的结果也与湍流观测的较为接近。示踪实验获得的偏高的垂直扩散参数，尤其是 D 类稳定度的结果仍明显高于 Pasquill-Gifford 的 C 类稳定度结果，其代表性值得怀疑。当然，考虑到与水平扩散参数类似的地形扰动等因素的作用，垂直扩散参数的部分增高也具有一定的合理性。

由于示踪实验只获得 B 类、C 类和 D 类的数据，根据平均值与最大值获得结果，进行偏保守的选择，对于 B 类天气，采用 SF₆ 实验 B 类实测平均值的综合结果；对于 C 类天气，采用 SF₆ 实验 C 类实测最大值结果；对于 D 类天气，采用 SF₆ 实验 D 类实测最大值结果，并且利用 SF₆ 实验结果对数值模拟进行了校对，结果表明数值模拟的结果和 SF₆ 实验的结果吻合较好，因此最终的扩散参数采用 SF₆ 实验和湍流观测的结果，并对 A、E、F 类稳定度条件进行外推。推荐结果总体上与 Pasquill-Gifford 的结果相近，但不稳定类别的数值偏小，不同稳定度间的差值也略小，这与当地易受海上来流影响的情况相适应。

2) 风洞模拟

为了研究核电厂厂址构筑物及周边高大建筑物对厂址近场流场、放射性核素迁移扩散的影响，获得厂址近场大气扩散特征，中国辐射防护研究院于 2012 年 4 月开展了本工程风洞流场测量及示踪实验。

根据石岛湾核电厂厂址气象铁塔高层 65m 高处的年（季）平均风向频率分布，并结合厂址建筑物布局情况，以二号机组烟囱作为模拟烟囱，开展 NNE~SSW 风向、NW~SE 风向和 WSW~ENE 风向 6 个实验风向的流场、示踪和流动显示实验，模型缩比为 1:1500。

3) CFD 数值模拟研究

为了获得其它风向和稳定度条件下的大气扩散参数，中国辐射防护研究院在其《石岛湾核电厂址大气扩散模式研究》总结报告(2013 年 3 月)中采用 STAR-CD (3.26 版本) 流体计算软件进行了三维计算分析。

STAR-CD 由英国帝国理工大学计算流体力学领域的专家开发的，是全球第一个基于有限体积算法的非结构化网格计算程序。STAR-CD 使用非结构化网格和有限体积法来求解 N-S 方程组，由于采用非结构化网格，STAR-CD 使得单元形状表现得非常丰富，单元可以进行任意的变形，并且允许采用滑动内部边界条件，允许单元的任意插入和删除。而且局部网格优化技术可以用来提高解的精度。空间采用二阶差分格式，时间差分采用一阶完全隐式格式。模拟湍流流动使用的湍流模型有大涡模式 (LES) 和标准 k- ϵ 模型等。

在 STAR-CD 中，三维建模的区域为 30km \times 30km 尺度范围，模型垂直方向自地面至 4000m，以下密上疏形式垂向不等距分为 30 层。对应模拟区域地形网格采用近密远疏的原则，地面最大网格水平尺寸为 100m \times 100m。厂区构筑物按 1:1 建模，建筑物最小分辨精度 0.1m，模拟区域内网格总数约 600 万。

STAR-CD 中共进行了 40 组数值模拟，获得了 6 类稳定度条件下大气扩散水平及垂直扩散参数。

4) 最终推荐的扩散参数

本工程厂址最终推荐的扩散参数综合了上述三种方法：

水平扩散参数：风洞与 CFD 方法计算的水平扩散参数差异不大，前期大气扩散实验研究得到的水平扩散参数略高。

垂直扩散参数： σ_z 风洞试验结果大于 CFD 结果，两者分别在下风距离 10km、

2~3km 处与 P-G 曲线 D 类相交；前期大气扩散实验研究 σ_z 结果与 P-G 曲线 D 类接近，近距离 σ_z 小于风洞与 CFD 结果，这可能是由于前期试验中并未考虑厂址建筑物群的影响造成的。

由于前期大气扩散实验研究推荐扩散参数时未考虑厂区建筑物对扩散的影响，而风洞实验研究又受到模拟区域大小的限制，结合厂址实际扩散情况，扩散参数分段考虑，近距离（半径 3km 内）结合 CFD 模型的计算结果，其中 D 类稳定度采用风洞实验结果，远场（半径 3km 外）采用前期大气扩散实验研究结果。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

山东石岛湾核电厂址气象观测开展于 2006 年 5 月 31 日，根据《华能石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程可行性研究阶段气象铁塔和地面气象站常规气象观测和统计分析项目任务书》，作为项目承担单位的中国辐射防护研究院开展了厂址气象观测设施的建设与观测工作，2007 年 5 月 31 日完成了一整年厂址气象观测工作，后因厂址气象观测设施的位置与华能高温气冷堆示范工程的进厂道路有冲突，气象观测延续至 2007 年 12 月底结束。

2008 年 7 月 17 日，华能山东石岛湾核电有限公司在山东荣城召开了山东石岛湾核电厂址气象观测设施站址方案专家咨询会。华能山东石岛湾核电有限公司根据与会专家意见，将新建厂址气象观测设施站址选在力能区南侧 800 米处。2009 年 4 月，由中核能源科技有限公司正式委托中国辐射防护研究院作为厂址气象观测设施重建项目的承担单位，完成了厂址气象观测设施重建工作，2009 年 8 月中国辐射防护研究院通过《山东华能石岛湾核电厂气象观测站系统建设与预观测验收报告》评审，并于 2009 年 9 月将新建厂址气象观测设施交付使用。

2010 年后，由于厂址气象观测设施位置与本工程厂区有冲突，国核示范电站有限责任公司与华能石岛湾核电开发有限公司协调后，在厂区外另选一个适当位置作为厂址气象观测设施站址。2010 年 1 月 7 日，国核示范电站有限责任公司在北京主持召开了厂址气象观测设施选址和搬迁方案咨询会，确定在本工程厂区外西北侧新建厂址气象观测设施（包括气象铁塔和地面气象观测站）。2013 年 4 月，国核示范电站有限责任公司委托中国辐射防护研究院开展本工程气象观测系统及数据统计分析工作，2013 年 5 月底完成厂址气象观测系统的建设，气象观测工作一直延续至今。

厂址气象观测设施情况如下：

气象塔梯度观测与自动地面观测站包括观测场和气象仪器。仪器布置一般按照北高南低的原则，相互间东西间隔不小于 4m，南北间隔不小于 3m，仪器距观测场边缘护栏不小于 3m，辐射仪器一般安装在观测场的南面。

自动地面观测站测量的气象要素主要有风向、风速、温度、湿度、气压、雨量、总辐射、净辐射。自动地面观测站观测场为有均匀草坪平整场地，场内铺设 0.5m 宽的人行小路，观测场四周设有 1.2 米高塑封围栏。在自动地面观测站观测场内布置有气象仪器，为了观测场内气象仪器的布置互不影响，便于观测，从北向南依次布置有气象仪器：风向风速传感器、气压传感器、温湿度传感器、雨量传感器、太阳辐射传感器、净辐射传感器。风向风速传感器安装在牢固的高杆上，并距地面 10m。温湿度传感器用支架安装在百叶箱内，感应元件的中心部分离地面高度 1.5m。雨雪量传感器高度 0.8m。降水观测包括降水量和降水强度，包括每分钟、时、日降水量和 5 分钟、10 分钟和 1 小时内的最大降水量，安装位置放置在十米风杆东南方向 5 米距离。蒸发传感器安装距地面水平高度 20cm，记录每小时蒸发水位，单位为 mm。太阳总辐射传感器和净辐射传感器各用一个安装支架，传感器安装高度 1.5m。为考虑设备的长久性使用，数据采集器及其附属供电单元均放置在室内，配电房的东侧墙壁上悬挂处理。供电采用交流与太阳能供电两种方式。

气象铁塔为百米高的拉线铁塔。铁塔主体为三角形钢结构，高度为 102m。设计参数如下：

(1) 塔身高度：102m。

(2) 最大抗风强度 40m/s；抗震烈度为 8 度；裹冰 20mm；塔体垂直度小于 1/1500 的塔身高度，相邻两段垂直度小于 1/750。

(3) 塔体采用外径 102mm，壁厚 12mm 无缝钢管式，螺栓采用 GB5780-86-5-8 级，焊条采用 E43 型，焊缝高不得低于被焊构件厚度。具有塔体抗低温与大风情景下的扭曲变形的能力。

(4) 塔体不设外平台，在 10m、30m、60m、80m、100m 高度处安装活动支臂，臂长 3m，臂为活动式伸缩转动支臂，便于仪器的安装与维修。

(5) 塔体设计防雷接地同防雷中心大地网连接，塔顶安装快速提前放电避雷针，以塔体自身作为引下线。地网设计采用方形阵列式接地地网，且呈方形分

布，整个地网与铁塔基础做到等电位连接，作为塔体的自身防雷接地。

(6) 构件成型后，塔体及螺栓全部采用热镀锌防腐处理，镀锌厚度大于 90 微米。拉线表面有机油涂抹，外侧采用直径 28mm 拉线，内侧采用 26mm 拉线。铁塔安装时，不允许使用有中间截断的拉线与因生产运输过程导致的塔体横材与斜材焊接处断裂的塔体，避免日后安全引患。

(7) 三个方向的拉线角度保持 120° ，偏差导致塔体扭转度小于 1° ，地锚与铁塔体拉线两点直线与地面夹角不超过 $\pm 2^\circ$ 偏差范围。

(8) 塔身水平剖面为边长为 1 米的等边三角形结构，安装水平横臂的方向同主导、次主导风向保持较大的夹角。

(9) 塔顶安装航空指示灯，应考虑供电线路及光敏设备的使用寿命不小于 2 年。

在 102 米铁塔上设置具有五个气象观测高度（10m、30m、60m、80m、100m）的风向风速仪、温度传感器，均安装在可伸缩的横臂上，风传感器安装位置距塔体不小于 2 米，温度传感器不小于 1.5 米。

本气象站和铁塔观测系统将在运行后继续保持观测，具体观测内容根据运行和应急计划的要求作适当调整。其中，数据获取率须满足《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）中“数据测量和处理系统（包括其探测元件）的可靠性，应能使同时观测的数据达到全年的 90%”的要求。

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.1.1 陆域水文

山东荣成位于山东半岛山东的最东端，东、南、北三面濒临黄海，属暖温带东亚季风区大陆性气候，冬冷夏热，四季分明。雨季一般从七月下旬开始，九月上旬结束，雨量集中，强度较大，常易造成洪涝灾害。洪水主要由黄淮气旋和热带气旋暴雨形成，前者主要发生在 6~7 月，以 7 月份为主，后者主要发生在 7~8 月，并以 8 月份为主。荣成市形成暴雨的天气系统主要为台风、南北切变及气旋。短历时暴雨多因台风、气旋引起，长历时降水则多受切变线影响。冬季受西伯利亚冷空气控制，而夏季多由海洋暖湿气团影响，由此而造成该区降水在时空分布上极不均匀，且复杂多变。受不同天气系统影响，降雨具有明显的季节性，大暴雨

多发生于盛夏及秋末。

1) 河流水系

荣成市河流均属于山东沿海诸河直流入海水系，多为季节性间歇河流，地形地貌的影响，决定了该市河流的特点，源短流急、涨落急剧，冲刷力强，属季风雨源型河流，径流量受季节影响差异甚大，汛期径流量占全年径流量的 80% 以上，枯水季节河床暴露，往往干涸。流域面积大于 1km^2 的单独入海河流有 102 条，其中流域面积大于 20km^2 的有沽河、小落河、车道河等 10 条。以沽河为最大，流域面积 208.8km^2 ，干流长度 30.7km 。

厂址位于黑泥湾西北滨海区域，由海向陆约 $100\sim 200\text{m}$ 即为自然形成的土坎，向里为缓坡，地势渐高，地面高程约在 $4\sim 25\text{m}$ 。厂址区域的荣成市河流属于沿海边缘水系，很不发达，多为季节性间歇河流，源短流急，流域面积较小。

2) 水利工程

厂址位于荣成市石岛管理区宁津街道办事处东墩村东北部，附近区域无大的河道，厂址西北约 8.5km 建有八河水库（大型）。

龙门港水库（总库容 465万m^3 ，距离厂址约 5km ）、林家流水库（总库容 620万m^3 ，距离厂址约 4km ）与海水相连，用于养殖等活动，位于厂址 N 方位 4.3km 处，不属于荣成市水利局管辖水库。

八河水库建于 1978 年，原设计总库容 4570万m^3 ，兴利库容 890万m^3 ，死库容 140万m^3 。主要建筑物包括主坝和南、北溢洪闸。为了缓解当地水资源短缺问题，促进当地经济的发展，提高人民生活环境质量，2001 年 11 月动工对该水库进行扩建，设计总库容为 10438万m^3 ，兴利库容 7105万m^3 ，死库容 1145万m^3 。工程设计标准为五十年一遇洪水设计，三百年一遇洪水校核。

八河水库上游流域内建有部分拦蓄工程，其中湾头水库是一座中型水库，其他皆为一些小型水利工程，多为塘坝。湾头水库控制流域面积 28.0km^2 ，该库设计标准为百年一遇洪水设计，五千年一遇洪水校核，设计总库容 1735.0万m^3 ，防洪库容 725.0万m^3 ，调节库容 930.0万m^3 ，死库容 80.0万m^3 。

厂址半径 15km 范围水库情况见表 2.5-1。

3) 淡水水源

2010 年 8 月，业主委托中国水利水电科学研究院启动编制《国核压水堆示范工程水资源论证报告书》，经论证，本项目施工期淡水取用八河水库，运行期

淡水考虑海水淡化设施供给。2012年8月，山东省水利厅审查批准了“高落山水厂扩建及配套管网改造工程水资源论证报告书”，该项目取用八河水库水源，日取水量3.96万m³。由于该项目用水影响到示范工程施工期间的用水，中国水利水电科学研究院根据最新的资料对八河水库供水能力进行分析，认为目前八河水库的水资源无法完全保证示范工程施工期间的淡水供应，因此，考虑厂址附近的小水库群联合供应核电厂施工期间的淡水。

本工程施工期间的淡水水源为小水库群（珠玑、黄山、东庄三水库），施工高峰期间最大取水量为236.3m³/h，年平均用水量约为100.5万m³，供水保证率为90%；运行期间采用海水淡化设备供应核电厂所需淡水。

根据中国水利水电科学研究院编制的《国核压水堆示范工程水资源论证报告》的成果，珠玑、黄山、东庄三水库调节计算采用的入库径流量系列为1960年至2009年，共计50个水文年，系列长，代表性好，满足规范要求，入库径流系列长度较为可靠。各个水平年调节计算结果表明，三个小水库能够满足本项目施工期年用水100.5万m³，保证率90%的要求，珠玑、黄山、东庄三水库取水量分别为42.5万m³、26万m³、32万m³。目前，本项目水资源论证报告书已经得到水利部的批复。

本项目施工期淡水以珠玑、黄山、东庄三个小水库为水源，最大年取水量为100.2万m³，荣成市保证率90%的地表可供水量为6467万m³，核电厂取水仅占荣成市可供水量的1.5%，且取水时间较短，本项目取水对荣成市区域水资源影响不明显；如遇连续枯水年，将对小水库群农灌、奶牛场用水户产生轻微的影响。本项目运行期间考虑海水淡化设施提供淡水，不会对其它取水用水户产生影响。

珠玑、黄山、东庄三水库现状水质为III类，水质较好，满足核电建设期间用水水质的要求。

2.5.1.2 海洋水文

厂址位于荣成市石岛区东南的滨海（黄海），海域条件较好。厂址海域北面有老炕石、井口石、老铁石和黑石岛等岛屿从西北向东南方向断续排列，长约3km，构成深度浅于5m的浅滩，成为天然的东北风浪的屏障。厂址海域深水区离岸近，5m等深线距岸约700m。

厂址附近共有成山头、石岛、乳山口、千里岩等长期海洋观测站，上述测站均属国家海洋局管辖。其中石岛海洋站距厂址13km，1954年开始观测；成山头

海洋站距离厂址52km，1981年观测至今。

2006年3月~2007年9月，厂址水文站开展了为期一年半的海洋水文观测工作，2007年9月以后未开展延续观测。

1) 潮汐

根据厂址水文站一年半的逐时观测资料进行潮汐调和与分析计算，厂址潮汐性质为0.66，属不正规半日潮。每个潮汐日（大约24.8h）有两次高潮和两次低潮；两次高潮或两次低潮的高度相差较大，日不等现象显著。理论深度基准面根据《海道测量规范》（GB12327-90）的规定计算，厂址理论深度基准面为-1.51m（1985国家高程系统，下同）。

2) 潮位

年平均潮位-0.036m，年最高潮位1.20m，年最低潮位-1.67m，年平均潮位0.70m，年平均低潮位-0.59m，年平均涨潮历时6小时20分，年平均落潮历时6小时03分，年平均潮差1.28m，最大潮差2.33m，最小潮差0.22m。

依据厂址水文站一整年潮位观测资料调和与分析得到调和常数，推算2000~2037年（两个连续19年）逐时天文潮位，其中最高天文潮位1.17m，最低天文潮位-1.49m。从2000~2037年共两个连续19年天文潮预报值中，逐月挑选天文最高潮和天文最低潮，然后分别计算累积频率，10%超越频率天文高潮位1.08m，10%超越频率天文低潮位-1.36m。

3) 潮流

根据厂址附近海洋站的资料分析，工程海域潮流基本上是往复流，流速最大值在成山头一带。2006年7月15日~2006年7月28日期间和2006年12月12日~12月21日期间，在厂址附近海域的12个点位，进行了冬、夏季的大、中、小潮各三次全同步日连续综合水文测验。夏季现场小潮观测为7月19日8时~20日9时，此段时间高潮高度低，低潮高度高，为半月潮周期中潮差最小；现场大潮观测为7月25日14时~26日15时，此段时间高潮高度高，低潮高度低，为半月潮周期中潮差最大。冬季现场小潮观测为12月12日12时~13日13时，此段时间高潮高度低，低潮高度高，为半月潮周期中潮差最小；现场大潮观测为12月20日14时~21日15时，此段时间高潮高度高，低潮高度低，为半月潮周期中潮差最大。

（1）观测期间的天气情况和养殖情况

D05 站进行了风速、风向、海况观测。根据同步水文测验过程中的天气、海况记录可知：

- 夏季同步水文观测过程

大潮期间，风速较小，海况较好，最大风速为 2.3m/s，风向 30°，观测期间天气状况较好，自 26 日午夜开始大雾，天亮后雾有所减轻。

中潮期间，风速较小，海况较好，最大风速为 3.2m/s，风向 30°。观测期间，天气状况较好，夜晚有星。

小潮期间，风速较小，海况较好，最大风速为 2.6m/s，风向 30°，观测期间天气状况较好，20 日 6 时左右开始下雨。

- 冬季同步水文观测过程

大潮期间，风速较小，海况较好，最大风速为 5.7m/s，风向 300°，观测期间天气状况较好，自 20 日 21 时左右下小雨，至午夜雨停。

中潮期间，风速较小，海况较好，最大风速为 5.7m/s，风向 270°，观测期间，天气状况较好，19 日 1 时小雨，3 时转小雪，夜晚有星。

小潮期间，风速较小，海况较好，最大风速为 5.6m/s，风向 270°，观测期间天气状况较好，20 日 6 时左右开始下雨。

- 养殖情况

根据工程附近海域养殖区域示意图可见，养殖区主要位于厂址南北两侧楮岛至镆铳岛间，位于养殖区的测点主要是近岸测点，包括 D04、D07 等。

(2) 实测海流成果

工程海域潮流的运动形式均为往复流，涨落潮流的最大值均发生在低平潮至高平潮及高平潮至低平潮的中间时刻，涨落潮流的最小值均发生在高平潮及低平潮时刻，说明工程海域的潮波均是驻波形成。

各站实测海流均表现为较强的往复性流动，海流主流向为偏 S-N 向，基本与岸线平行。其中偏 S 向为涨潮流向，偏 N 向为落潮流向。冬、夏季各水文测站涨落潮平均流速见表 2.5-2。

在冬夏两季各潮期的观测中，靠近岸边的 D04、D07、D10、D11 等站的垂线平均涨潮平均流速小于垂线平均落潮流速，相对离岸较远的其余各站则是垂线平均涨潮平均流速大于落潮平均流速。冬季各站垂线平均涨落潮平均流速大部分

站小于夏季各站垂线平均涨落潮平均流速。如 D09 站，夏季各潮期（大、中、小潮）垂线平均涨落平均流速分别为 62、54、48cm/s，而冬季各潮期（大、中、小潮）垂线平均涨潮平均流分别为 56、50、41cm/s，夏、冬季各潮期（大、中、小潮）垂线平均落潮平均流速分别为 51、43、41cm/s 和 49、43、37、60cm/s。但 D06 站冬季大、中潮期垂线平均涨落潮平均流速大于夏季大、中潮垂线平均涨落潮平均流速，另外，冬季 D11 站大、中、小潮期垂线平均落潮流平均流速大于夏季大、中、小潮期落潮流平均流速。D03 站冬季小潮期涨落潮平均流速及中潮期涨潮平均流速也大于夏季的同潮期的涨落流平均流速。

夏、冬季各潮期垂线平均的涨潮流最大流速的方向均为偏 S 向，垂线平均的落潮流最大流向的方向为偏 NE 向。冬、夏季各潮期垂线平均涨落潮流最大流速的分布及变化趋势与垂线平均涨落潮流平均流速相似，夏季大部分站，潮期的垂线平均涨落潮流最大流速大于冬季垂线平均涨落潮流最大流速，但冬季 D01 站中潮垂线平均涨潮流最大流速，D02 站中潮涨落潮流最大流速，D03 站中潮涨潮流最大流速，D06 站大、中潮涨落潮流最大流速及小潮期落潮流最大流速，D08 站大潮期落潮流最大流速，D10 站中、小潮期涨潮流，D12 站中潮期落潮流最大流速及小潮期涨潮流最大流速等，均大于夏季相对应潮期及涨落潮流最大流速。

大、中、小潮期三次观测中，海流流速大部分站的最大值出现在表层或 0.2H 层，流速基本上均自表至底逐渐减小，流向在垂直线上的分布比较一致。

（3）潮流状况

● 潮流性质

冬、夏季分析结果其潮流类型判数 $(W_{01}+W_{k1})/W_{M2}$ 均小于 0.5，为规则半日潮流类型。

● 潮流的运动形式

由冬、夏季潮流椭圆要素分析结果可知，除夏季 D07 站的 $|k|$ 值（椭圆率）在 0.14~0.22 之间外，其余各站冬、夏季的 $|k|$ 值均在 0.00~0.15 之间，其潮流的运动形式为典型的往复流。

冬、夏季各站各层的潮流旋转方向有所不同。冬季，D01、D03、D06、D11 站各层均为逆时针方向旋转，D02、D04、D05、D07、D10 站各层均为顺时针方向旋转，其余各站各层旋转方向不一致。夏季，D01、D11 站各层为逆时针方向旋转，D02、D03、D05、D07 站各层均为顺时针方向旋转，其余各站各层旋转

方向不一致。

- 潮流最大可能流速及潮流水质点最大可能运移距离

冬、夏季各站各层的潮流最大可能流速略有不同，冬季各站各层潮流最大可能流速在 17.3~173.4cm/s 之间，而夏季各站层潮流最大可能流速则在 23.0~200.4cm/s 之间。虽然夏季的最大可能流速大于冬季的最大可能流速。冬、夏季潮流最大可能流速的方向均为偏 N 向。

冬、夏季各站各层潮流水质点最大可能运移距离的分布趋势与最大可能流速的分布相似。冬季，各站各层水质点最大可能运移距离在 2567.4~24028.4m 之间；夏季，各站各层最大运移距离在 2911.9~28553.6m 之间；夏季的水质点最大可能运移距离大于冬季的水质点最大可能运移距离。

(4) 余流

- 余流流速

冬、夏季各潮期的余流流速不大，冬季各站各层余流流速在 0.3~14.3cm/s 之间，夏季各站各层余流流速在 0.3~18.5cm/s 之间，夏季的余流流速略大于冬季余流流速。

冬、夏季余流流速均为大潮余流流速大、小潮次之，中潮最小。冬季，大潮各站各层余流流速在 1.2~14.2cm/s 之间，小潮在 0.3~14.3cm/s 之间。中潮在 0.4~6.6cm/s 之间；夏季，大潮余流流速在 1.4~18.5cm/s 之间；小潮在 0.3~17.2cm/s 之间；中潮在 0.2~1.21cm/s 之间。

- 余流流向

冬、夏季的余流流向大部分站为偏N或偏S向。小潮期，冬季各站各层余流流向除D04、D05、D07、D10站为偏N向外，其余各站均为偏S向。夏季除D04、D07、D10站为偏N向外，其余各站均为偏S向；中潮期，冬季大部分站为偏S向，但D08站为偏W向，夏季余流流向较紊乱；大潮期，冬季各站各层余流流向除D10站为偏SE向外，其余各站为偏S~SW向。

2013年10月，厂址海域共进行了9站大、小潮全潮同步海流观测，1站临时水位观测，1站测流期间风速、风向观测。通过对重叠站位海流数据对比分析，发现两期海流特征一致，表明自2006年至今本海域潮流未发生显著变化，2006年夏季海流数据具有代表性。

2020年12月起，厂址海域开展四季9站大、中、小潮全潮同步海流观测，2

站临时水位观测，1站测流期间风速、风向观测。根据已完成的冬季同步水文测验成果，重叠站位海流特征仍一致，表明工程海域潮流未发生显著变化，2006年夏季海流数据具有代表性。

4) 增减水

从历史资料记载及历史记录资料的统计分析可知，厂址及其附近区域发生水灾的月份，多在7~9月间。而影响该区的台风多发生在7、8、9月份，此间正值一年中的天文大潮期，加上台风的影响，即使台风风暴潮的增水值不是历史最大，但叠加在天文大潮上，极易造成严重的灾害。近年来发生的几次台风风暴潮，均造成不同程度的灾害。

从成山角站近26年的历史水位记录可知，风暴潮最大增水值为0.86m，发生在2001年11月9日。年极值减水全部由温带气旋引起。

(1) 厂址设计频率的风暴潮增、减水

通过成山头海洋站厂址站同步实测资料进行相关分析，得到相关关系，然后根据此关系由成山头站的增减水资料推求出厂址站长系列增减水资料序列。

厂址与成山头增水年极值相关： $r = 0.9754y = 0.904163x + 2.89970$

厂址与成山头减水年极值相关： $r = 0.9703y = 0.889528x - 2.25329$

r 为相关系数， x 代表每对关系中后一位置处的极值， y 代表该关系中前一位置处的极值。查对相关系数检验表，置信度为99%的最起码相关系数为 $r=0.449$ ，上述样本所得相关系数远高于此值。从以上相关系数可以看出，成山头与厂址间的相关性很好，接近于1。

通过P-III型概率曲线推求，万年一遇增水值1.80m，万年一遇减水值-2.44m。

(2) 可能最大风暴潮增、减水计算

厂址位于山东半岛南岸沿海地区，是北方风暴潮灾较为严重地区。影响该区的风暴潮一是由热带气旋，一是由温带气旋引起。因此，可能最大风暴潮增、减水计算时分别考虑由热带气旋和温带气旋引起的增、减水。

通过厂址万年一遇风暴潮增减水、可能最大热带气旋增减水和可能最大温带气旋增减水的比较，确定可能最大增水值为2.07m，可能最大减水值为-2.64m。

5) 温盐

(1) 海水温度

根据海洋专用观测站2006年4月1日~2007年3月31日表层水温观测资料，观测

期间的年平均水温 12.84°C ；温度最高月9月，平均水温 22.61°C ；温度最低月2月，平均水温 4.05°C 。

根据同步水文测验成果，夏季，各潮期各时刻的水温在 $15^{\circ}\text{C}\sim 17^{\circ}\text{C}$ 之间，其分布趋势大部分潮期的各个时刻都是近岸水温高、远岸水温低，等温线似乎与岸线平行。冬季，各潮期各时刻的水温在 $6.69^{\circ}\text{C}\sim 10.67^{\circ}\text{C}$ 之间，其分布趋势则是近岸水温低、远岸水温高，恰恰与夏季分布趋势相反。工程海域冬季夏季水温自表层至底层变化不大。夏季，D01、D04、D07、D10、D11站各潮期温度的垂直变化很小，其余各站温度的变化是随水深增加而温度降低，自表层至底层，温度变化的幅度均在 2°C 以下。但在D02站表层至0.2H层之间出现温跃层现象。经分析，夏季观测期间天气良好，风速小，D02站水温高值主要集中在表层和0.2H层，出现在15:00左右，主要是受太阳辐射的影响。厂址北部的桑沟湾水深较浅，受太阳辐射影响明显，也受到湾内海水涨落潮的影响，从而使D02站出现短时的表层至0.2H层的温度降低幅度较大的短时现象。冬季，各潮期各时刻的垂直温度变化很小，无温跃层现象出现。

根据石岛海洋站1960~2020年水温资料分析，多年平均表层水温值为 12.2°C 。其中，9月份平均水温全年最高为 22.6°C ，2月份平均水温全年最低为 2.0°C 。多年最高表层水温值为 28.4°C ，发生于1962年9月8日；多年最低表层水温值为 -2.1°C ，出现时间为1970年1月5日。厂址处连续5年（2003~2007年）最热三个月（7-9月）累积频率为10%的日平均水温为 23.66°C ；累积频率为1%的日平均水温为 24.72°C 。

（2）盐度

夏季，各潮期各时刻盐度变化范围在 $30.90\sim 32.23$ 之间，大潮期一般都是近岸盐度高、远岸盐度低的分布趋势，有些时刻分布较紊乱；中潮期同样有盐度近岸高、远岸低的趋势，但也有时刻近岸低，远岸高，或南部海域高，北部海域低的趋势；小潮期，各时刻的盐度分布为近岸低、远岸高。

冬季各站各潮期各时刻的平均盐度在 $31.62\sim 31.94$ 之间，变幅为 0.32 ，各潮期各时刻盐度后平面变化较小，各潮期各时刻盐度分布的趋势总的是海域南部盐度稍低，海域中部盐度稍高，但变化的幅度不大。

夏季盐度平面分布变化范围（ $30.90\sim 32.23$ ）大于冬季盐度平面分布的变化范围（ $31.62\sim 31.94$ ），夏季各潮期各时刻盐度变化趋势大部分是近岸盐度高，远岸

低；工程海域南部盐度高，北部低。冬季各潮期各时刻的变化趋势则是南部低，中部高，但总的变化幅度都不大。

工程海域海水盐度自表至底变化很小，几乎相等。这由于海浪、海流、潮流及风的共同作用，使海水垂直交换强烈，并受太阳辐射的影响较小，故自表至底海水盐度分布较均匀，变化很小。

石岛海洋站1960~2020年多年平均表层盐度值为31.2‰。其中，6月份平均盐度全年最高为31.5‰，9月份平均盐度全年最低为30.7‰。多年最高表层盐度值为34.4‰，发生于2013年10月8日；多年最低表层盐度值为14.7‰，出现时间为2001年8月1日。

6) 泥沙

工程海区的泥沙主要来自邻近岸滩及海底细粒物质在流、浪作用下的再悬浮和再搬运所致。厂址附近海区无中、大型河流注入，八河水库的物质输出后影响范围主要是褚岛以北的海区，其物质难以到达厂址区前沿。厂址区位于老炕石岬角附近，其两侧存在沿岸流物质运输，对厂址区海滩的影响主要为弱侵蚀。

海底外围表层广泛分布有厚度约2cm的浮泥（主要存在于-5m等深线以外），泥沙呈悬浮形式搬运，而在近岸沙滩附近沿岸输沙活动较强。由于物质供应与水动力条件的原因，厂址前沿海区为低强度输沙。

厂址工程海区，在通常情况下悬沙浓度较低（10~30mg/L），不存在高浓度含沙水体，大风天气下该值可增加一个数量级。

结论如下：

(1) 排水明渠建设后，受堤身挑流效应和排水影响，堤头外出现局部冲刷，堤外冲刷范围东西向约2.0km，南北向约6.0km，局部最大冲深在0.9m~1.0m以内；

(2) 大件码头处在排水明渠与南取水明渠间的环流区内，将产生淤积，回淤厚度大致在0.5m~1.0m间；

(3) 取水明渠与岸线间的三角区内出现淤积，平衡时平均淤厚在0.5m~0.6m间；

(4) 取水明渠正常天气条件下年平均淤强0.16m/a，年淤积量1.6万m³。大浪天气情况下，南取水明渠的骤淤平均淤积为0.06m~0.07m。NE浪向南取水明渠淤积量为0.6万m³~0.7万m³；ESE浪向南取水明渠淤积量为0.7万m³。

7) 波浪作用

厂址位于褚岛至镆铳岛海岸段，西为陆地，东临黄海，是敞开海域，偏西向（NW—W—SW）的波浪受到陆地的影响，而偏东向海浪可以充分成长，直接传播至工程海域。因此，厂址海域主要受来自于偏东向（N—NE—E—SE—S）波浪的影响。

涌浪是厂址海区主要存在的波浪类型，约占实测数据的 31.38%，其次为风浪与涌浪相当的混合浪，约占 28.99%，再次为涌浪为主的混合浪，约为 16.88%，然后是风涌浪，约为 15.41%，海区风浪比例最小，仅为 7.34%。这是由于厂址区近岸大规模的海带养殖架群的消波作用导致的。

工程海域常浪向为 NE 向，出现频率达到 17.7%，次常浪向是 ENE 向，出现频率达到 16.6%。从波高出现的频率上看，波高 $H_{1/10} \geq 1.5\text{m}$ 的波浪占 1%，波高 $1.5 > H_{1/10} \geq 1.0$ 的波浪占 14%，而 $H_{1/10} < 1.0\text{m}$ 波浪占 85%。由各月的统计结果看，无论是从波高还是从波向看都有明显的季节变化。 $H_{1/10} > 2.5\text{m}$ 的波浪，分别出现在 2006 年 11 月、2007 年 3 月和 8 月，其他各月没有出现，前两次的大浪都是由寒潮产生，观测期间没有出现近海台风的波浪。2006 年 11 月 $H_{1/10}$ 最大波高 2.63m，2007 年 3 月 $H_{1/10}$ 最大波高 2.59m，2007 年 8 月 $H_{1/10}$ 最大波高为 3.67m。在观测的 19 个月中，2006 年 3 月波浪最小，最大 $H_{1/10}$ 波高为 0.92m。由各季度的统计结果看，NE 方向的波浪出现率最高。

根据最大台风浪计算成果，水深 5m 处可能最大台风浪有效波高的最大值为 4.25m，对应百分之一大波平均波高 $H_{1/100}$ 为 5.95m。

8) 假潮

从厂址附近的海域地形可以看到厂址位于凸出海岸，处于开敞海域，不具备发生假潮的条件，潮汐观测数据中也没有分离出类似与假潮的震动。

9) 海啸

根据调查研究，黄海历史上从没有过海啸记录，附近青岛港近百年验潮记录中，也从未发现过海啸记录。由于缺乏黄海海底地震的详细记录，所以在估计可能最大海啸影响时，选取 1967 年 7 月 18 日在龙口引起的海面波动为参考，这次地震为 7.4 级。在这样的条件下算出的可能最大地震海啸波的振幅约为 23cm。

10) 海平面变化

根据《中国海平面公报》（2006）中给出的结论，每年的变化幅度为 2.5mm/年。根据厂址海平面变化率，推算得到厂址在 60 年寿期内，相对海平面变化幅

度为 15cm。

11) 岸滩稳定性

本区海岸属受构造线走向控制的岬湾海岸，古海岸线的显著标志有泻湖、沙坝以及海蚀阶地等。这些地貌单元都是在海平面相对稳定时期海水长期作用的结果。由于受到地壳新构造运动、气候变化等因素的影响，本区海岸线曾发生多次变化。为推算古海岸线演变的时间序列和速率，在结合现有研究资料分析的基础上，分别在厂址区南侧与北侧的岸堤上取贝壳及其碎片，进行 ^{14}C 测年。厂址区 ^{14}C 测年数据汇总如下：

| 序号 | 取样地点 | 沉积物及沉积环境 | 高程 | ^{14}C 年龄 |
|----|--------|---------------------|-------|--------------------|
| 1 | 厂址区北面 | 埋深约4.5m的海相地层中的贝壳及碎片 | 3± | 4260±50 |
| 2 | 厂址区南面 | 埋深约5m的贝壳砂层中的贝壳及碎片 | 2± | 5100±40 |
| 3 | 荣成小海* | 埋深4.85m泻湖淤泥 | -4.37 | 4790±90 |
| 4 | 荣成龙须岛* | 泻湖泥炭 | 4± | 5000±0 |
| 5 | 荣成宁津所* | 近地表海相地层中的贝壳 | | 4905±90 |

备注：*为搜集的厂址区测年数据（李道高，1996）

根据以上在古岸滩、古沙堤、古泻湖的位置和测年数据，得出本区的古岸线演化特征如下：

(1) 约距今 7000 年以前荣成湾地区尚未被海水淹没，有风沙和河流沉积；约距今 7000 年，海水入侵形成若干岬湾相间的海湾。形成于全新世中期距今 6000 年左右高海面时期、海拔高 3~5m 的古海岸线在厂址区也存在，其岸线展布到现今 5m 高程处的东墩、所前王家附近，距现代岸线的最大距离约为 3km。

(2) 厂址区于距今 4000~5000 年前后发生海侵事件，这一时期古岸线的延展范围为陆域的 3m 等高线处，扩展到了所东张家、小南沟一带，距现今海岸线约 1~1.5km。

(3) 形成于距今 1300 年左右的海岸线，主要以沙堤、海蚀台地的形式存在，部分特征残存物仍在地表可见，一般分布在距现代岸线 300m 的范围内。

以上各阶段的古海岸线离岸较远，除非特大风暴潮，现代海水难以到达。

采用2005年和2006年两个年份的IRS-P6影像所提取的岸线进行对比分析，并与初可的两个年份的地形图（1953年和1975年）和三个年份的Landsat TM/ETM+（1990年、1996年和2002年）影像提取的岸线进行叠加分析。

厂址附近海岸主要由南北两个岛屿及其连岛沙坝、两个小海湾及其之间的基岩岬角组成。岛屿主要由基岩海岸组成，属缓慢蚀退型海岸；连岛沙坝主要是砂

坝泻湖海岸,属本调查区海岸变化较剧烈的岸段,在镆铳岛附近由于人类活动的干预,海岸的自然发育进程受到了影响,沙坝泻湖海岸被人工岸线所取代,加快了本段的海岸向海外推速度。北部褚岛连岛沙坝受人类活动影响较小,海岸线变化不大。两个海湾出现岸线明显变化的地段位于黑泥湾的北岸和马兰构湾的南岸,即老炕石岬角附近的南、北两侧,受南向沿岸流和岬角阻挡挑流等自然因素的影响,岬角北侧处于淤积状态,岬角南部处于冲刷状态。由于该处海岸是基岩基底,沉积物厚度薄,使得冲刷和淤积作用受到了限制。

根据2006年和2010年厂址取排水工程海域1:1000实测水下地形图,对比工程海域2006~2010年等深线,可以看出:工程海域水深变化小,海底地形稳定,两期各等深线基本吻合,岸线情况基本没发生变化。

补充搜集2013年和2014年的岸线遥感影像图,对比分析2006年、2010年、2013~2014年岸线遥感影像图,可以看出,自2006年来,工程海域岸线变化几乎保持不变。

补充搜集2014最新版工程海域海图资料(编号12110),可以发现,虽然12110海图改版时间为2014年2月,但在工程海域位置并无数据更新,也就是说2014版海图在石岛湾内仍然是1980年的地形资料。

总体来说,自1980年后,工程海域无有效的更新海图地形资料,最新的地形资料为2011年工程海域1:1000的水下地形实测资料,天津水运工程科学研究所已在石岛湾核电厂岸线及海床冲淤演变规律研究过程中应用,根据1934年、1980年本工程区海图以及2006年和2011年工程及附近水域水深测图比较分析,得出以下结论:

- (1) 工程海域岸线长期以来保持稳定。
- (2) 工程海域海床长期以来有冲有淤且总体呈微淤状态,平均淤积速率在6mm/a,这与该水域²¹⁰Pb沉积年代分析得出的平均沉积速率为3.72mm/a量级基本一致。
- (3) 近年来除养参池南、北两侧2m等深线附近向岸侧略有淤积外,工程海域深水区呈现略有冲刷趋势,平均冲刷2.6cm/a。
- (4) 本工程海区岸线及海床长期以来虽略有冲淤变化,但长期以来处于基本稳定的状态。

从岸线对比、海岸地貌特征及其发育、悬浮体分布及其大风暴天气状况下底

沙起动、海滩测量、海底底质类型分布特征和地形剖面对比等方面综合分析表明，厂址区岸滩基本处于稳定状态；预计在未来 60 年内，如果没有大规模的人为活动影响，海岸线及水下岸坡将不会发生明显的变化。因此，也不会对厂址产生大的影响。

根据本厂址 2021 年起开展的岸滩稳定性复核及泥沙冲淤变化数值模拟研究工作，补充收集 2014 年以来卫星遥感影像以及 2021 年工程海域水深测图。

从工程海域岸线变化对比分析，工程海域岸线变动较大。其中，2016 年本项目大件码头检查、2020 年底在养参池围垦取内开始修建北取水明渠和东排水明渠、至 2021 年 3 月将东排水明渠出口处围堤打通为口门。即 2014 年以来工程海域所有岸线变化均为本厂址海工施工导致。

从工程海域水下地形变化分析，2006 年~2021 年，工程海域大部分处于淤积状态，平均淤积厚度为 0.17m，年均淤积厚度 1.1cm/a。近年来核电厂址养参池围垦区域东侧海由略有冲刷变为淤积、北侧海域由略有冲刷变为有所淤积且区主要集中在-9~-11m 等深线之间、南侧海域冲刷强度减半且冲刷区域主要集中在-9~-11m 等深线之间，这种变化与目前核电厂取排水工程施工有关，施工扰动影响周边海域淤积一定程度加重或冲刷一定程度降低。

总的来看，工程海域属岬湾沙质岸，岸外有岛礁掩护，自然状态下岸滩长期保持基本稳定格局；2011 年之后，工程海域附近除工程区的北侧区域受施工影响而出现局部淤积外，海床地形仍总体保持稳定状态。

12) 海冰

根据《海湾志》(第三册)，厂址南侧的石岛湾通常不结冰。个别异常寒冷的冬季，湾内会出现少量薄冰甚至短时间出现封冻现象。相对于石岛湾，厂址海域为开敞式海域，不利于海冰的形成，受海冰影响较小。

根据厂址水文专用站实测资料，工程海域最低水温为 2.14℃，出现在 2 月，观测期间未出现海冰。

2.5.2 地下水

2.5.2.1 地下水性质

根据收集的地质资料、地形图及现场调查，厂址附近范围分为三个水文地质单元，水文地质单元的界限以分水岭为界，三个水文地质单元地下水的流向基本

与地形的起伏相近，由地势高处向地势低处流动。第Ⅰ水文地质单元的地下水流向基本是向北或北东向，最终排泄到龙门水库或大海；第Ⅱ水文地质单元的地下水流向基本向东或北东向，最终排泄到林家流水库或大海，第Ⅲ水文地质单元的地下水流向为南或南东向，最后排泄入大海。

根据工程地质测绘和水文地质调查结果，厂区内地势自西北向东南倾斜，地表呈缓坡状，东南侧为海域。厂区位于倾向海域的缓坡地带，地下水自西北向东南沿缓坡向流入大海，水文地质条件相对简单。厂址区全部位于厂址附近范围水文地质调查成果中的第Ⅲ水文地质单元内。第Ⅲ水文地质单元地下水类型主要是第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水，地下水流向为南或东南，最终排泄入大海，水文地质条件相对简单，可不进行进一步的细分。

根据场地的地形地貌、含水介质（岩组）、地下水成因及赋存条件，结合区域和厂址附近范围水文地质调查资料，场地地下水可分为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两大类。第四系松散岩类孔隙水主要赋存于第四系海积层、坡残积层、冲洪积层等土层的孔隙中，属孔隙潜水，基岩裂隙水主要赋存于浅部岩体风化裂隙及构造裂隙中。

厂址区第四系松散岩类孔隙潜水依据含水岩组的不同，分为以下两类：

- 第四系全新统海积层（ Q_4^{ml} ）孔隙水，海积层孔隙水主要分布于拟建场地东部沿海地段，含水岩组主要以中细砂为主，其次为粗砂，含水层一般厚度 1.0m，但分布有限，故赋水性较弱；
- 第四系全新统坡残积层（ Q_4^{dl+cl} ）孔隙水，该层位于基岩面的顶部，岩性以灰黄色~褐黄色的粉质粘土为主，局部夹碎石、角砾，透水性差，富水性贫乏，主要分布于拟建场地中部及西部地表地段，含水层厚度一般为 1.0~2.0m，局部大于 5.0m。第四系松散岩类主要包括海积及坡残积成因的中细砂、粉质粘土等，对中细砂等土层，其结构疏松、孔隙率大，透水性良好，地下水赋存条件较好，水量中等~丰富；对粉质粘土、含砾粉质粘土等土层，透水性微弱，根据抽水试验结果，其渗透系数一般为 0.010~0.239m/d，为弱~中等透水层。

基岩裂隙水：厂区基岩主要为花岗片麻岩，在花岗片麻岩岩体中分布有呈岩脉状的斜云煌斑岩、二长闪长岩、正长斑岩等脉岩，地下水赋存于基岩裂隙中，依据厂址区的钻探成果，在浅部的全风化~中风化岩体中裂隙较发育，裂隙水主

要以网状、支脉状赋存于全风化~中等风化岩体中，在微风化-未风化岩体中，节理裂隙闭合，接受补给量甚少，水量贫乏或无水。厂区基岩多为块状岩石，地下水以网脉状、支脉状赋存于风化裂隙、构造节理中，富水性极不均一。风化裂隙一般在地表浅层强风化岩体内发育强烈，呈网状、脉状微张状态，为基岩裂隙水的主要储水空间；构造节理主要发育在中等~微风化岩体中，中等~微风化岩体中节理一般无充填，呈闭合或微张状态，储水空间有限。总之，本类岩石储水空间有限，地下水贫乏。根据厂址区抽水和压水试验成果，强风化花岗片麻岩渗透系数为 0.21~0.352m/d，中风化花岗片麻岩渗透系数为 0.017~0.072m/d，微风化花岗片麻岩渗透系数为 0.007~0.019m/d。

根据厂址区可行性研究阶段勘察钻孔地下水位测量获得的等水位线图估算，地下水（第四系松散岩类孔隙潜水和全~强风化基岩裂隙潜水）水力坡度约为 0.02~0.04，再根据 Darcy 定律（地下水渗透流速=渗透系数×水力梯度）估算得到地下水渗透流速约为 0.0002~0.0141m/d。

2.5.2.2 地下水的补给、径流、排泄条件

第四系松散岩类孔隙水直接接受大气降水补给，接受补给后，潜水含水层沿地势向低凹处渗流或向下渗透，补给河流、海积层孔隙水或向下渗透补给基岩裂隙水，部分靠蒸发排泄。海积层孔隙水主要接受海水补给，其次是侧向的第四系冲积层孔隙水补给。一般涨潮时接受海水补给，退潮时侧向排泄于大海。坡残积层孔隙水主要受大气降水补给，靠蒸发排泄和向下渗透补基岩裂隙水。

基岩裂隙水：补给来源以大气降水为主，辅以松散岩类孔隙水（主要是第四系全新统坡残积层中地下水）补给，含水层接受补给后，沿裂隙顺岩层倾斜方向流动，直至裂隙发育段之下界在地势低洼处或冲沟处分散溢出地表；地下水径流途径、速度受地形条件控制；地下水排泄有蒸发、人工开采以及向冲沟、海洋分散排泄等方式，地下水最终排入大海。

地下水的总体流向：根据厂址附近范围水文地质调查及厂址区的工程地质测绘和钻探结果可知，地下水流向沿地势从西北向东南流动，最终排泄入大海。

2.5.2.3 地下水影响评价

根据水文地质调查结果可知，厂址附近范围内除海水外未发现大的地表水体、河流，仅零星分布一些小型池塘，一般情况下，地表水高于地下潜水位，因此，主要是地表水以微渗透的形式补给地下水，但水力联系程度微弱。根据对厂区内

钻孔地下水位观测结果，地下水水位高于海水水位。

根据调查，厂址附近范围地下水不具备大量开采利用条件。厂址附近范围没有大的供水水源地，不存在对供水水源的影响问题。厂址附近范围淡水贫乏，居民及农业用水的水井主要将基岩与第四系接触带的强风化层作为取水层，该层厚度较小，起伏较大，含水量较少，将来不会有大规模开采地下水的计划。现有的地下水利用情况主要是，村民在自己院落内或自家农田内打简易水井，水壁一般采用石块砌，水井深度较小，水井单位涌水量一般小于 $100\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 。厂址附近范围的水井情况见表 2.5-3。图表中各水井主要是居民家庭或农业自用水井。

场地平整基坑负挖后，由于地表强风化层和部分中~微风化基岩被挖除，含水介质的渗透性会有所降低，含水层厚度将减小；对于填方区，由于填方碎石的松散孔隙性质，含水层厚度将增大，含水介质渗透性会增强。场地平整和基坑负挖不会影响地下水的总体流向。厂区地下水径流方向基本受原地形控制，总体上自高处向低处流动，地下水自西北向东南方向流动，最终排入大海。因此，工程建设不会对外围居民的生活用水产生不利影响。

为查明海水对场地地下水的影响，进而确定海水对岸边建筑物基坑开挖的影响，沿 DK26-DK29-DK30-DK31-DK48 剖面孔取水样五组，根据水质分析成果，地下水的矿化度自 DK26 孔（距离海岸线约 920m）的 301.58mg/L 渐变为 DK48 孔（距离海岸线约 210m）的 1334.42mg/L ，说明海水和厂区地下水存在一定联系，联系自近海向内陆逐渐减弱，但根据高温气冷堆详勘海水水质分析结果，海水的矿化度可达 32770.71mg/L ，为 DK48 孔矿化度的 24.5 倍，因此可以断定，场地地下水与海水联系微弱。

2.5.2.4 地下水质量现状

厂址附近范围共采取了 12 件水样进行简分析，3 件水样进行了饮用水全分析。

水质简分析的成果见表 2.5-4。

3 件饮用水全分析样品共分析 31 项内容，根据《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）进行评价，取自荣成市创味食品公司机井（J17 井）编号 SY15 样品所检项目合格；取自鞠家南侧水库编号 SY9 样品所检项目合格 29 项，不合格 2 项（耗氧量超标 0.59 倍、氨氮超标 0.61 倍）；取自所前王家东南侧水库编号 SY10 样品所检项目合格 29 项，不合格 2 项（耗氧量超标 0.43 倍、硝酸盐氮超

标 0.77 倍)。

2.5.2.5 地下水的腐蚀性

按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009 年版),根据水质简分析结果,地下水对混凝土结构具有微腐蚀性,地下水对混凝土中钢筋在长期浸水条件下具有微腐蚀性,地下水对混凝土中钢筋在干湿交替条件下具有微~中等腐蚀性;林家流水库水对混凝土结构具有弱腐蚀性,对混凝土中钢筋在长期浸水条件下具有弱腐蚀性,对混凝土中钢筋在干湿交替条件下具有强腐蚀性。

2.5.3 洪水

厂址位于凸出海岸,处于开敞海域,不具备发生假潮的条件;潮汐观测数据中也没有分离出类似与假潮的震动。因此在洪水位组合中不考虑假潮。

黄海中历史上从没有过海啸记录,青岛港近百年验潮记录中,也从未发现过海啸记录。故厂址可不考虑地震海啸影响。

通过对厂址海域地震海啸和假潮资料统计分析可知,在确定 DBF 时只需考虑风暴潮增水产生的洪水。另外,根据《中国海平面公报》(2006)中给出的结论,厂址海域的海平面年变化率为 2.5mm/年,推算得到厂址在 60 年寿期内,相对海平面变化幅度为 15cm。

综上所述,在影响本工程设计基准洪水位的众多因素中,采用下列几种因素的组合是合适的。

- 最高天文潮位
- 可能最大风暴潮增水
- 海平面上升
- 风浪活动的影响

根据对洪水组合事件的分析,排除陆域洪水、海啸和假潮等因素,设计基准洪水位组合考虑 10%超越概率天文高潮位、可能最大风暴潮增水、海平面上升和波浪影响。

设计基准洪水位=10%超越概率天文高潮位+可能最大风暴潮增水+海平面上升+5m 水深可能最大台风浪波高($H_{1/100}$) $\times 0.6=1.08+2.07+0.15+5.95 \times 0.6=6.87\text{m}$ 。

厂坪标高为 10.0m,高于设计基准洪水位,可保证核电厂不受洪水影响。

2011 年 8 月,为配合我国相关部门对石岛湾核电厂进行综合安全检查,华

能山东石岛湾核电有限公司委托中国海洋大学补充收集 2007 年~2010 年相关资料，完成对《华能石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程可行性研究设计基准洪水位（DBF）和设计基准低水位（DBL）分析专题研究报告》的复核工作。复核的结论认为原报告成果结论合理、可信并足够保守。

2021 年，本工程对厂址设计基准洪（低）水位开展复核工作，完成《国核压水堆示范工程设计基准洪水位复核报告》。设计基准洪水位组合事件复核结果表明，可能最大风暴潮增水、海平面上升和波浪影响较原设计基准略有变化，其中复核后的可能最大风暴潮增水为 2.09m、复核后海平面上升高度为 0.17m、复核后 5m 等深线处可能最大台风浪波高（ $H_{1/100}$ ）为 5.78m，因此，2021 年复核设计基准洪水位（考虑台风浪）=10%超越概率天文高潮位+可能最大风暴潮增水+海平面异常+5m 水深可能最大台风浪波高($H_{1/100}$) $\times 0.6=1.08+2.09+0.17+5.78\times 0.6=6.86\text{m}$ ，与原设计基准基本一致，偏保守考虑，推荐本工程厂址设计基准洪水位（考虑台风浪）为 6.87m。本工程厂坪标高 10.0m，高于设计基准洪水位，可保证本工程不受洪水影响。

2.5.4 沉积物吸附特性研究

本工程正常运行期间产生的液态流出物排入本工程所在厂址附近海域后，海底泥沙会对放射性核素有吸附作用，形成放射性核素累积，而当海水中核素浓度减小时，吸附在泥沙上的核素又可以解吸至海水中。为了解放射性核素在海洋沉积物中的沉积和累积等效应以更好地开展液态流出物辐射环境影响评价，委托中国辐射防护研究院开展放射性核素在邻近海域沉积物中吸附特性研究。

通过实验的方法研究和分析本工程所在厂址邻近海域泥沙对本工程运行期间排放的液态流出物中的代表性放射性核素的吸附和沉积规律。通过研究和分析，推荐出适用于本工程的部分放射性核素在水和泥沙、沉积物中的分配系数。据液态流出物排放源项，结合厂址邻近海域沉积物的理化参数及吸附特性，并综合考虑核素的半衰期、毒性等，确定代表性元素（Cs、Co、Ru、Mn、Ag、Sr），根据本工程运行期间排放的液态流出物中的放射性核素的裂变、活化产物类型、辐射影响大小等因素，确定实验选用的示踪同位素为 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{106}Ru 、 ^{54}Mn 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{90}Sr 。

2.5.4.1 实验过程

(1) 现场采样

采样点位布置综合考虑本工程附近海域的沉积物类型、厂址排放口位置、厂址附近易沉积区域等具有代表性区域分别进行取样，共进行 15 个点位的样品采集，采样点位（N1~N13、排放口内、排放口外）见表 2.5-5。

2021 年 5 月 25~27 日在采样点收集海水样、底部沉积物，底部沉积物使用采泥器采集。

(2) 样品分析

海水样现场测定 pH 值、Eh 值。用塑料桶盛装并密封，运输回实验室，在 4℃ 下进行冷藏保存，再对其化学成分及微量元素进行测定。

沉积物样采用筛分法和激光粒度仪分析法测量粒径分布，在对其矿物成分及化学成分进行测定。

(3) 核素吸附特性模拟实验

依据沉积物类型、颗粒粒径分布、矿物与化学成分，考虑排放口附近的海域地形条件与大陆岸边重要区域，选择 5 个点位（排放口、N1、N2、N3、N10）的沉积物样品进行实验。

核素吸附特性模拟实验采用静态批式法，操作过程是先将样品进行预处理和分选，再将其与含有某种核素的水溶液（已知浓度）在振荡下长时间混合，直到水溶液中核素浓度稳定为止，然后进行离心使固液相分离，最后分别测定固相和液相中的核素浓度。通过计算固、液相中的核素浓度之比即可得出分配系数 K_d 。

吸附试验：称取 1g 经过预处理的沉积物样品，放入 15ml 的聚丙烯离心管中，固液比采用 1:10，加入 10.00ml 核素与海水样的混合溶液；振荡、放置一周后加入实验用示踪同位素，使固液充分接触，放置时间内每天放入恒温振荡器振荡上午下午各 1h（共 2h），放置实验吸附平衡时间为 45 天，投入的示踪同位素在水相和固相中达到平衡后，用离心机使固液分离，分别取出海水样和沉积物测量其中放射性核素的比活度，计算分配系数 K_d 值。每组实验包括 3 个平行样，每个点位的沉积物设置一组空白对照组。

解吸实验：在吸附实验完成后进行，步骤与吸附实验相同。

2.5.4.2 实验结果

^{60}Co 吸附分配系数 K_d 推荐值为 $1.76\text{E}+02$ (mL/g)，解吸分配系数 K_d 推荐值为 $2.75\text{E}+02$ (mL/g)； ^{137}Cs 吸附分配系数 K_d 推荐值为 $3.01\text{E}+02$ (mL/g)，

解吸分配系数 K_d 推荐值为 $3.16E+02$ (mL/g) ; ^{54}Mn 吸附分配系数 K_d 推荐值为 $1.91E+01$ (mL/g) , 解吸分配系数 K_d 推荐值为 $3.77E+01$ (mL/g) ; $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 吸附分配系数 K_d 推荐值为 $1.24E+03$ (mL/g) , 解吸分配系数 K_d 推荐值为 $5.66E+02$ (mL/g) ; ^{106}Ru 吸附分配系数 K_d 推荐值为 $4.05E+02$ (mL/g) , 解吸分配系数 K_d 推荐值为 $9.07E+02$ (mL/g); ^{90}Sr 吸附分配系数 K_d 推荐值为 $3.42E+00$ (mL/g), 解吸分配系数 K_d 推荐值为 $6.36E+00$ (mL/g) 。

表 2.5-1 小水库群情况表

| 水库名称 | 水体功能 | 流域面积 (km ²) | 总库容 (万 m ³) | 兴利库容 (万 m ³) | 设计洪水标准 | 校核洪水标准 |
|--------|---------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|---------|
| 八河水库 | 工业用水、防洪 | 256 | 10438 | 7105 | 50 年一遇 | 300 年一遇 |
| 车脚河水库 | 防洪、灌溉 | 2.13 | 21.7 | 14.7 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 盛家后屯水库 | 防洪、灌溉 | 0.63 | 12.08 | 5.32 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 赵家水库 | 防洪、灌溉 | 0.3 | 13.34 | 9.9 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 东岛刘家水库 | 防洪、灌溉 | 0.4 | 15.7 | 9.2 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 西慕家水库 | 防洪、灌溉 | 0.63 | 12.3 | 7.3 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 常家庄水库 | 防洪、灌溉 | 0.75 | 36.85 | 22.4 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 沟曲家水库 | 防洪、灌溉 | 0.68 | 19.59 | 10.3 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 邵家水库 | 防洪、灌溉 | 1.4 | 66.1 | 40.5 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 干占水库 | 防洪、灌溉 | 0.5 | 19.07 | 15.1 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 石头河水库 | 防洪、灌溉 | 0.4 | 10 | 6.1 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 土山水库 | 防洪、灌溉 | 0.93 | 10.78 | 7.4 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 八里王家水库 | 防洪、灌溉 | 0.38 | 10.2 | 7.1 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 甲子山水库 | 防洪、灌溉 | 1 | 17.5 | 14 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 小落东河水库 | 防洪、灌溉 | 0.53 | 15.3 | 9.1 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 古塔水库 | 防洪、灌溉 | 1 | 43.1 | 24.4 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 鲁家水库 | 防洪、灌溉 | 1 | 41 | 22.8 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 马山水库 | 防洪、灌溉 | 1.5 | 68.1 | 37.6 | 20 年一遇 | 200 年一遇 |
| 南夏家水库 | 防洪、灌溉 | 3.8 | 114.46 | 70.2 | 30 年一遇 | 500 年一遇 |
| 郭家水库 | 防洪、灌溉 | 6.0 | 159.0 | 82.0 | 30 年一遇 | 500 年一遇 |

表 2.5-2 各站实测涨、落潮流平均流速

夏季

单位：cm/s

| 项目 站位 | 大潮期 | | 中潮期 | | 小潮期 | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 涨潮流 | 落潮流 | 涨潮流 | 落潮流 | 涨潮流 | 落潮流 |
| D01 | 65 | 57 | 52 | 50 | 60 | 46 |
| D02 | 72 | 57 | 55 | 53 | 61 | 45 |
| D03 | 24 | 23 | 23 | 26 | 16 | 18 |
| D04 | 18 | 13 | 9 | 9 | 7 | 9 |
| D05 | 36 | 30 | 29 | 30 | 33 | 29 |
| D06 | 53 | 34 | 43 | 30 | 44 | 21 |
| D07 | 11 | 20 | 10 | 16 | 14 | 14 |
| D08 | 63 | 43 | 59 | 43 | 57 | 35 |
| D09 | 62 | 51 | 54 | 43 | 48 | 41 |
| D10 | 24 | 29 | 21 | 31 | 22 | 30 |
| D11 | 25 | 44 | 25 | 34 | 27 | 38 |
| D12 | 79 | 55 | 62 | 48 | 59 | 47 |

冬季

单位：cm/s

| 项目 站位 | 大潮期 | | 中潮期 | | 小潮期 | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 涨潮流 | 落潮流 | 涨潮流 | 落潮流 | 涨潮流 | 落潮流 |
| D01 | 47 | 48 | 51 | 45 | 43 | 47 |
| D02 | 67 | 58 | 62 | 44 | 45 | 45 |
| D03 | 33 | 25 | 28 | 21 | 26 | 24 |
| D04 | 8 | 10 | 6 | 9 | 7 | 7 |
| D05 | 24 | 23 | 25 | 23 | 19 | 16 |
| D06 | 56 | 57 | 46 | 38 | 37 | 36 |
| D07 | 9 | 13 | 7 | 14 | 7 | 11 |
| D08 | 59 | 40 | 44 | 34 | 39 | 35 |
| D09 | 56 | 49 | 50 | 43 | 41 | 37 |
| D10 | 19 | 22 | 22 | 20 | 20 | 17 |
| D11 | 21 | 50 | 24 | 43 | 23 | 37 |
| D12 | 49 | 44 | 50 | 51 | 46 | 47 |

表 2.5-3 厂址附近范围的水井情况统计表

| 序号 | 水井编号 | 水井相对位置 | 地面标高 | 坐标 (m) | | 地下水位 | | 距离 1 号核岛 中心距离 (m) | 距离 2 号核岛 中心距离 (m) |
|----|------|----------|-------|------------|-----------|--------|--------|----------------------|----------------------|
| | | | (m) | X | Y | 埋深 (m) | 高程 (m) | | |
| 1 | J01 | 所前王家东北 | 18.00 | 4093439.40 | 456480.94 | 1.30 | 16.70 | 800.19 | 757.83 |
| 2 | J02 | 核电厂址外西北侧 | 24.50 | 4093169.40 | 456893.90 | 2.40 | 22.10 | 373.97 | 264.49 |
| 3 | J03 | 西钱家村东南 | 4.50 | 4094997.78 | 457573.62 | 1.57 | 2.93 | 2278.30 | 2019.41 |
| 4 | J04 | 止马滩东南 | 5.00 | 4096556.18 | 457812.33 | 4.20 | 0.80 | 3848.34 | 3593.48 |
| 5 | J05 | 场地内西南 | 3.90 | 4092570.59 | 457164.72 | 2.50 | 1.40 | 305.84 | 461.95 |
| 6 | J06 | 场地内中部 | 8.50 | 4093415.71 | 457693.37 | 1.15 | 7.35 | 952.24 | 691.86 |
| 7 | J07 | 场地内西北 | 9.20 | 4092658.54 | 457023.16 | 1.40 | 7.80 | 155.03 | 383.83 |
| 8 | J08 | 场地内西南 | 3.00 | 4092333.38 | 457500.46 | 2.70 | 0.30 | 711.70 | 794.52 |
| 9 | J09 | 东张家村北 | 14.00 | 4096328.18 | 457416.56 | 3.00 | 11.00 | 3554.70 | 3311.34 |
| 10 | J10 | 东张家村北 | 16.00 | 4096203.55 | 457310.59 | 1.64 | 14.36 | 3418.79 | 3179.09 |
| 11 | J11 | 西钱家村东南 | 4.00 | 4095023.59 | 457653.13 | 1.60 | 2.40 | 2325.45 | 2063.70 |
| 12 | J12 | 场地内西南 | 5.20 | 4093001.40 | 457752.41 | 2.10 | 3.10 | 812.15 | 634.23 |
| 13 | J13 | 场地内西北 | 15.60 | 4092947.14 | 456952.63 | 3.12 | 12.48 | 145.41 | 185.82 |
| 14 | J14 | 场地内西北 | 15.10 | 4092820.35 | 456970.30 | 3.34 | 11.76 | 18.83 | 257.14 |
| 15 | J15 | 场地内西北 | 2.80 | 4092432.72 | 457547.96 | 1.50 | 1.30 | 690.18 | 735.66 |
| 16 | J16 | 场地内西南 | 2.50 | 4092388.73 | 457036.64 | 1.00 | 1.50 | 419.69 | 646.76 |
| 17 | J17 | 项家庄村西南 | 31.00 | 4094043.12 | 455447.22 | 2.50 | 28.50 | 1960.49 | 1954.53 |
| 18 | J18 | 龙泉村西 | 19.90 | 4097772.48 | 454429.27 | 2.00 | 17.90 | 5579.72 | 5451.83 |
| 19 | J19 | 吉屯狼虎山北 | 28.00 | 4097191.79 | 454407.28 | 3.00 | 25.00 | 5080.37 | 4966.98 |

表 2.5-3 续 厂址附近范围的水井情况统计表

| 序号 | 水井编号 | 水井相对位置 | 地面标高 | 坐标 (m) | | 地下水位 | | 距离 1 号核岛 中心距离 (m) | 距离 2 号核岛 中心距离 (m) |
|----|------|---------|--------|------------|-----------|--------|--------|----------------------|----------------------|
| | | | (m) | X | Y | 埋深 (m) | 高程 (m) | | |
| 20 | J20 | 后杨家村西 | 15.00 | 4097463.39 | 455650.32 | 2.00 | 13.00 | 4843.00 | 4670.04 |
| 21 | J21 | 后杨家村南 | 6.50 | 4097360.68 | 456071.33 | 1.50 | 5.00 | 4645.20 | 4455.32 |
| 22 | J22 | 万马邢家村东 | 6.00 | 4096888.43 | 452652.43 | 2.00 | 4.00 | 5941.00 | 5902.06 |
| 23 | J23 | 后港头村西南 | 15.00 | 4096590.08 | 453026.39 | 3.50 | 11.50 | 5464.49 | 5424.06 |
| 24 | J24 | 吉屯村东 | 33.00 | 4096189.52 | 453997.96 | 1.00 | 32.00 | 4503.01 | 4440.81 |
| 25 | J25 | 涝滩子村西南 | 20.00 | 4096750.52 | 456149.16 | 1.00 | 19.00 | 4031.67 | 3844.56 |
| 26 | J26 | 涝滩子村东南 | 4.50 | 4096847.44 | 456666.07 | 1.50 | 3.00 | 4056.21 | 3843.95 |
| 27 | J27 | 尹家庄村南 | 17.90 | 4096237.86 | 456939.09 | 2.30 | 15.60 | 3435.69 | 3212.64 |
| 28 | J28 | 汽修厂北 | 75.50 | 4095391.18 | 454339.03 | 7.00 | 68.50 | 3687.61 | 3647.09 |
| 29 | J29 | 汽修厂西 | 50.00 | 4095057.09 | 454018.69 | 2.50 | 47.50 | 3710.16 | 3703.91 |
| 30 | J30 | 汽修厂南 | 40.00 | 4094967.86 | 454361.34 | 1.00 | 39.00 | 3386.61 | 3370.18 |
| 31 | J31 | 甲子山北坡 | 140.50 | 4094139.77 | 452673.73 | 2.50 | 138.00 | 4494.93 | 4581.48 |
| 32 | J32 | 鞠家西北 | 70.90 | 4094426.53 | 453458.38 | 0.90 | 70.00 | 3864.58 | 3917.72 |
| 33 | J33 | 所后卢家南 | 27.00 | 4094582.72 | 454856.15 | 1.00 | 26.00 | 2759.98 | 2744.06 |
| 34 | J34 | 宁津养鸡场南 | 12.00 | 4095660.50 | 457379.10 | 2.00 | 10.00 | 2888.07 | 2643.09 |
| 35 | J35 | 西钱家村西 | 15.50 | 4094934.63 | 456885.30 | 1.50 | 14.00 | 2133.85 | 1918.64 |
| 36 | J36 | 西钱家村东南 | 5.20 | 4094960.02 | 457459.37 | 2.00 | 3.20 | 2213.65 | 1959.59 |
| 37 | J37 | 光辉养殖场西北 | 3.00 | 4095396.48 | 458131.73 | 1.50 | 1.50 | 2844.48 | 2573.91 |
| 38 | J38 | 柳村西北 | 10.00 | 4096297.11 | 452183.41 | 1.50 | 8.50 | 5922.67 | 5918.68 |

表 2.5-3 续 厂址附近范围的水井情况统计表

| 序号 | 水井编号 | 水井相对位置 | 地面标高 | 坐标 (m) | | 地下水位 | | 距离 1 号核岛 中心距离 (m) | 距离 2 号核岛 中心距离 (m) |
|----|------|---------|-------|------------|-----------|--------|--------|----------------------|----------------------|
| | | | (m) | X | Y | 埋深 (m) | 高程 (m) | | |
| 39 | J39 | 核电厂址外北侧 | 26.30 | 4093964.68 | 457403.54 | 2.50 | 23.80 | 1242.37 | 976.84 |
| 40 | J40 | 万马邢家村西 | 15.00 | 4096918.88 | 452134.49 | 1.50 | 13.50 | 6346.72 | 6321.80 |
| 41 | J41 | 场地内中部 | 10.20 | 4093453.92 | 457616.26 | 2.00 | 8.20 | 921.26 | 653.40 |
| 42 | J42 | 大岔河村西南 | 38.00 | 4093487.49 | 454274.86 | 2.00 | 36.00 | 2776.09 | 2880.49 |
| 43 | J43 | 北场村东 | 42.00 | 4092946.55 | 453746.59 | 3.00 | 39.00 | 3221.70 | 3373.28 |
| 44 | J44 | 所前王家村西 | 37.00 | 4093031.62 | 454315.53 | 3.00 | 34.00 | 2659.43 | 2803.30 |
| 45 | J45 | 所前王家村北 | 22.00 | 4093324.26 | 455526.96 | 2.00 | 20.00 | 1529.90 | 1618.80 |
| 46 | J46 | 场地内西南 | 4.50 | 4092587.48 | 457677.77 | 1.50 | 3.00 | 744.38 | 713.06 |
| 47 | J47 | 留村村西 | 47.10 | 4092367.64 | 452341.67 | 3.10 | 44.00 | 4643.77 | 4822.90 |
| 48 | J48 | 留村村西南 | 42.00 | 4091523.75 | 451965.82 | 3.00 | 39.00 | 5160.13 | 5368.71 |
| 49 | J49 | 东苏家村西南 | 32.50 | 4091729.02 | 454414.10 | 2.50 | 30.00 | 2767.53 | 3001.46 |
| 50 | J50 | 夏家村南 | 20.00 | 4091159.45 | 453415.62 | 2.00 | 18.00 | 3911.18 | 4148.94 |
| 51 | J51 | 南港头村西北 | 14.00 | 4091053.90 | 454696.73 | 2.50 | 11.50 | 2863.93 | 3126.11 |
| 52 | J52 | 苏家村东北 | 3.80 | 4090883.06 | 453713.32 | 0.30 | 3.50 | 3775.86 | 4025.91 |
| 53 | J53 | 山前村北 | 50.50 | 4090530.69 | 452144.85 | 1.50 | 49.00 | 5328.64 | 5566.71 |
| 54 | J54 | 南港头村西南 | 20.00 | 4090269.52 | 454405.11 | 2.00 | 18.00 | 3601.13 | 3871.17 |
| 55 | J55 | 南港头村东南 | 6.00 | 4090374.34 | 455079.66 | 3.00 | 3.00 | 3074.01 | 3348.45 |
| 56 | J56 | 西南海村东 | 12.00 | 4089704.16 | 453574.25 | 2.00 | 10.00 | 4593.02 | 4860.76 |
| 57 | J57 | 西南海村西南 | 18.00 | 4089428.74 | 452502.19 | 1.50 | 16.50 | 5594.45 | 5855.28 |

表 2.5-4 水质简分析成果汇总表

| 序号 | 取样位置 | 水类型 | Cl ⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) | HCO ₃ ⁻ (mg/L) | Ca ²⁺ (mg/L) | Mg ²⁺ (mg/L) | pH 值 | 总硬度 |
|----|---------|-----|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------|---------|
| 1 | SW2 号钻孔 | 地下水 | 85.00 | 44.19 | 107.57 | 44.25 | 17.89 | 6.70 | 184.17 |
| 2 | J9 号水井 | | 600.00 | 88.38 | 243.49 | 230.45 | 64.29 | 7.20 | 840.26 |
| 3 | J10 号水井 | | 186.00 | 77.33 | 120.17 | 103.24 | 23.48 | 7.00 | 354.52 |
| 4 | SW1 号钻孔 | | 150.00 | 39.77 | 125.94 | 82.96 | 21.24 | 7.30 | 294.66 |
| 5 | SW3 号钻孔 | | 240.00 | 72.91 | 414.56 | 77.43 | 43.60 | 7.20 | 372.94 |
| 6 | J3 号水井 | | 277.20 | 59.65 | 388.32 | 116.15 | 38.01 | 7.00 | 446.60 |
| 7 | J4 号水井 | | 50.00 | 77.33 | 120.69 | 50.70 | 21.80 | 6.50 | 216.39 |
| 8 | J1 号水井 | | 38.00 | 53.03 | 52.48 | 31.34 | 16.77 | 6.60 | 147.33 |
| 9 | J2 号水井 | | 136.00 | 77.33 | 220.40 | 72.82 | 29.63 | 7.30 | 303.87 |
| 10 | J14 号水井 | | 68.00 | 72.91 | 76.09 | 53.46 | 25.16 | 6.80 | 237.11 |
| 11 | J5 号水井 | | 32.00 | 81.75 | 139.06 | 37.79 | 10.06 | 7.60 | 135.82 |
| 12 | 林家流水库 | 水库水 | 11650.00 | 541.30 | 225.64 | 267.32 | 690.38 | 8.00 | 3510.66 |

表 2.5-5 沉积物吸附特性研究采样点位坐标位置及类型

| 采样点位 | 东经 | 北纬 | 水深 | 实际沉积物类型 | 报告中沉积物类型 |
|------|---------------|--------------|-----|---------|----------|
| 排放口内 | 122°33'25.83" | 36°58'28.97" | 6m | 中细砂 | 中细砂-细砂 |
| N1 | 122°32'45.51" | 36°59'32.89" | 8m | 细砂 | 中细砂-细砂 |
| N2 | 122°31'43.03" | 36°57'21.38" | 6m | 粗中砂 | 中细砂-细砂 |
| N3 | 122°34'20.52" | 36°56'05.86" | 10m | 粗砂 | 砂质粉砂-粉砂 |
| N4 | 122°32'13.24" | 36°54'20.59" | 15m | 砾石 | 砾石 |
| N5 | 122°29'51.16" | 36°55'00.83" | 5m | 砂质粉砂 | 砂质粉砂-粉砂 |
| N6 | 122°28'10.65" | 36°53'20.80" | 10m | 粗砂 | 粉砂 |
| N7 | 122°27'25.14" | 36°54'57.82" | 5m | 砂质粉砂 | 粉砂 |
| N8 | 122°33'09.87" | 36°55'13.62" | 17m | 砾石 | 砾石 |
| N9 | 122°34'58.95" | 36°55'13.62" | 25m | 粗砂 | 粗中砂 |
| N10 | 122°36'31.98" | 37°00'11.09" | 25m | 中细砂 | 砾-粗砂 |
| N11 | 122°32'41.36" | 37°00'56.96" | 10m | 中细砂 | 中细砂-细砂 |
| N12 | 122°34'50.44" | 37°01'47.84" | 10m | 粗砂 | 中细砂-细砂 |
| N13 | 122°35'06.12" | 37°03'15.17" | 15m | 细砂 | 砾-粗砂-粗中砂 |
| 排放口外 | 122°32'50.31" | 36°58'29.07" | 5m | 砂质粉砂 | 砂质粉砂-粉砂 |

2.6 地形地貌

厂址附近范围隶属山东东部沿海丘陵区，地势西高东低。地貌按其成因可分为海岸地貌、重力地貌、剥蚀地貌、流水地貌等，见图 2.6-1。

厂址区地形总体呈西北高东南低之势，向大海缓倾，陆域地面高程一般为 2.00~28.00m。场地地貌分为剥蚀残丘地貌和海积平原地貌，另外还发育一些微地貌。剥蚀残丘地貌表现为低丘缓坡，为场地陆域部分的主要地貌形态，地形起伏较小，地面标高一般为 2.00~28.00m，自西北向东南地形逐渐降低，地形坡度小于 5°，表层多被第四系坡残积土层覆盖，下伏基岩主要为花岗片麻岩变质岩体及少量侵入岩岩脉，现地表多为耕地。海积平原地貌分布于场地东南部靠近海岸一带，呈近北东向带状展布，地面标高一般小于 2.5m，地势平坦，向海面微倾，表层多为粉质粘土、粉砂、砾砂，含较多贝壳，底部见坡残积层及全风化—强风化基岩，现为海岸滩地。厂址区地貌详见图 2.6-2。

目前，场地平整与基坑负挖工作已完成，正在进行上部结构施工工作。

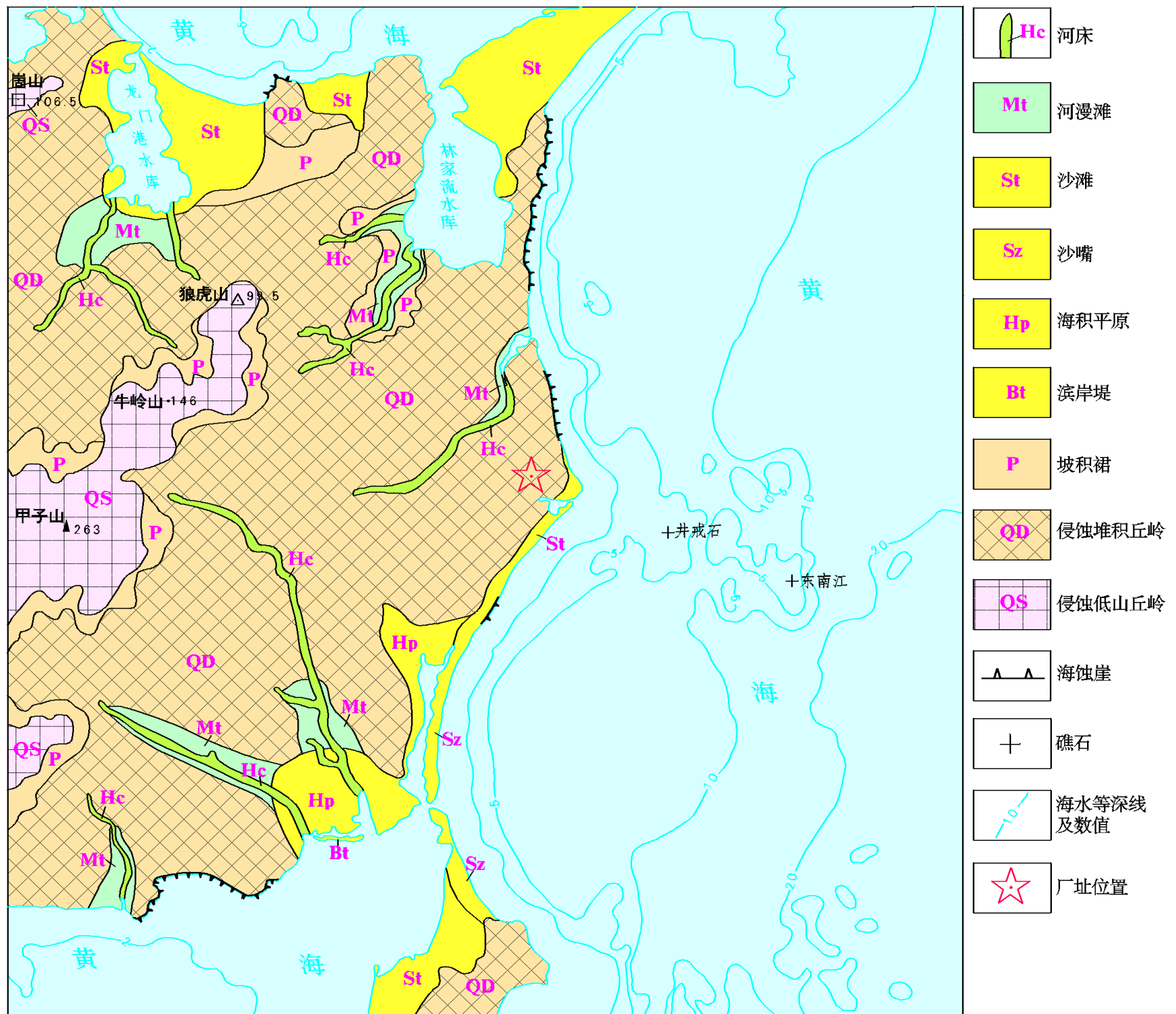


图 2.6-1 厂址附近范围地貌分区图



图 2.6-2 厂址区地貌图

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境调查回顾

中国辐射防护研究院 2014 年 4 月至 2016 年 6 月开展了山东石岛湾厂址连续两年环境辐射本底调查工作。

3.1.1.1 调查结果

1) 地表 γ 辐射剂量率和累积剂量

(1) 地表 γ 辐射剂量率（瞬时测量）

瞬时测量共 60 个点位，两年均值为 $92 \pm 24 \text{ nGy/h}$ ，平均最低值在成山镇（ $46.9 \pm 3.8 \text{ nGy/h}$ ，土地地表）；最高值在所东张家村（ $155 \pm 4 \text{ nGy/h}$ ，田地地表）；60 个点位结果各季度平均为 $89.5 \sim 94.6 \text{ nGy/h}$ ，各季度无明显差别。

30 个道路测量点位中，两年结果平均最低值在虎山镇（ $64.2 \pm 3.1 \text{ nGy/h}$ ）；最高值在崖西镇（ $128 \pm 4 \text{ nGy/h}$ ）；30 个点位结果均值为 $102 \pm 16 \text{ nGy/h}$ ，各季度平均为 $99.0 \sim 104 \text{ nGy/h}$ 。

30 个原野测量点位中，两年结果平均最低值在成山镇（ $46.9 \pm 3.8 \text{ nGy/h}$ ）；最高值在所东张家村（ $155 \pm 4 \text{ nGy/h}$ ）；30 个点位结果均值为 $82 \pm 28 \text{ nGy/h}$ ，各季度平均为 $79.0 \sim 84.8 \text{ nGy/h}$ 。

(2) 累积测量

累积剂量共布设了 20 个点位，平均回收率为 91.9%。累积剂量的布设点位与该点位的剂量率测量点位重合。从累积剂量换算出的剂量率结果可以看出：所有测点累积剂量平均获得的剂量率范围为 $71.3 \sim 127 \text{ nGy/h}$ ，平均值为 $97 \pm 16 \text{ nGy/h}$ ；各测量点位均值最低值在崂山街道（ $71 \pm 12 \text{ nGy/h}$ ），最高值在所东张家村（ $127 \pm 13 \text{ nGy/h}$ ）。两年内各季度间无明显差别。

(3) 宇宙射线测量

瞬时测量用监测设备于 2015 年 4 月和 2015 年 10 月在八河水库进行了宇宙射线响应测量，测量点处水深大于 3m，距岸边距离大于 300m，测量使用的船只为玻璃钢材质的快艇。宇宙射线测量结果分别为 $36.5 \pm 1.5 \text{ nGy/h}$ 和 $37.8 \pm 3.8 \text{ nGy/h}$ ，均值为 $37.2 \pm 0.9 \text{ nGy/h}$ 。八河水库位于厂址西北约 10km，为大(二)型水库。

2) 空气介质中放射性水平

(1) 气溶胶

气溶胶样品的分析项目包括每个季度一次的总 α 、总 β 、 ^7Be 、 ^{54}Mn 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 分析。 γ 谱分析测量结果中,除 ^7Be 外,其余核素 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 、 ^{131}I 结果基本均低于探测限(仅荣成市测点 2015 年 10 月 ^{137}Cs 给出探测限附近的结果)。其中, ^7Be 的活度浓度范围为 $3.94\sim 10.4\text{mBq/m}^3$,均值为 $6.89\pm 1.76\text{mBq/m}^3$ 。总 α 的活度浓度范围为 $0.20\sim 1.33\text{mBq/m}^3$,均值为 $0.64\pm 0.27\text{mBq/m}^3$;总 β 的活度浓度范围为 $1.27\sim 3.96\text{mBq/m}^3$,均值为 $2.15\pm 0.57\text{mBq/m}^3$; ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.26\sim 5.67\mu\text{Bq/m}^3$,均值为 $2.07\pm 1.14\mu\text{Bq/m}^3$ 。

(2) 沉降灰

沉降灰样品的分析项目包括每个季度一次的总 β 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 分析。 γ 谱分析测量结果中, ^{134}Cs 结果均低于探测限, ^{137}Cs 结果大部分低于探测限,范围为 $<2.7\sim 6.3\text{mBq}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。总 β 的活度浓度范围为 $0.17\sim 1.76\text{Bq}/(\text{m}^2 \text{d})$,均值为 $0.69\pm 0.36\text{Bq}/(\text{m}^2 \text{d})$; ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $1.00\sim 16.3\text{mBq}/(\text{m}^2 \text{d})$,均值为 $4.6\pm 2.9\text{mBq}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。

(3) 空气中 ^3H 、 ^{14}C

空气中 ^3H 、 ^{14}C 共设置 5 个采样点。监测频次为 1 次/季。 ^3H 的活度浓度范围为 $1.10\sim 16.7\text{mBq/m}^3$ ($0.45\sim 1.26\text{B/L}$ (水)),均值为 $7.3\pm 4.2\text{mBq/m}^3$ ($0.81\pm 0.24\text{Bq/L}$ (水)); ^{14}C 的活度浓度范围为 $20.2\sim 30.4\text{mBq/m}^3$ ($0.15\sim 0.19\text{Bq/gC}$),均值为 $26.1\pm 2.4\text{mBq/m}^3$ ($0.17\pm 0.01\text{Bq/gC}$)。

3) 陆地水中放射性水平

(1) 地表水

地表水监测项目为总 β 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 核素 (^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs),共 4 个监测点位。其中, γ 谱测量结果 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{131}I 测量结果均低于探测限。总 β 测量结果活度浓度范围 $0.14\sim 9.53\text{Bq/L}$,两年均值为 $1.1\pm 2.3\text{Bq/L}$,林家流水库监测结果最高值出现在 2015 年 10 月的林家流水库,监测结果普遍比其他点位结果要高,最大达到 9.53Bq/L ,与林家流水库可能发生的海水入侵有关; ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 $3.33\sim 16.8\text{mBq/L}$,均值为 $9.1\pm 3.0\text{mBq/L}$; ^3H 测量结果活度浓度范围 $0.30\sim 1.15\text{Bq/L}$,均值为 $0.70\pm 0.24\text{Bq/L}$; ^{14}C 测量结果活度浓度范围 $2.49\sim 6.46\text{mBq/L}$

(0.15~0.25Bq/gC), 均值为 $4.7 \pm 1.0 \text{mBq/L}$ ($0.20 \pm 0.02 \text{Bq/gC}$)。

(2) 地下水

地下水监测项目为总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为 1 次/半年。其中, γ 谱测量结果 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 测量结果均低于探测限; 总 α 测量结果活度浓度范围 $< \text{LLD} \sim 0.30 \text{Bq/L}$, 两年均值为 $0.093 \pm 0.086 \text{Bq/L}$; 总 β 测量结果活度浓度范围 $0.052 \sim 6.50 \text{Bq/L}$, 平均值为 $0.9 \pm 1.7 \text{Bq/L}$, 最低值出现在 2015 年 4 月的石岛街道, 最高值出现在 2015 年 10 月的厂址附近, 在该点处两年均值为 $0.9 \pm 1.7 \text{Bq/L}$, 最大值达到 $6.5 \pm 0.08 \text{Bq/L}$, 可能与点位附近海水入侵有关; ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 $6.26 \sim 12.1 \text{mBq/L}$, 均值为 $8.4 \pm 1.5 \text{mBq/L}$; ^3H 测量结果活度浓度范围 $0.20 \sim 0.91 \text{Bq/L}$, 均值为 $0.45 \pm 0.17 \text{Bq/L}$ 。

(3) 饮用水

饮用水监测项目为总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为 1 次/季。其中, γ 谱测量结果 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 测量结果均低于探测限; 总 α 测量结果活度浓度范围 $< \text{LLD} \sim 0.13 \text{Bq/L}$, 均值为 $0.055 \pm 0.032 \text{Bq/L}$; 总 β 测量结果活度浓度范围 $0.065 \sim 0.34 \text{Bq/L}$, 均值为 $0.158 \pm 0.071 \text{Bq/L}$; ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 $1.92 \sim 14.7 \text{mBq/L}$, 均值为 $7.1 \pm 2.9 \text{mBq/L}$; ^3H 测量结果活度浓度范围 $0.32 \sim 0.84 \text{Bq/L}$, 均值为 $0.55 \pm 0.14 \text{Bq/L}$ 。

(4) 降水

降水监测项目为 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为 1 次/季。其中, γ 谱测量结果 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 测量结果均低于探测限。 ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 $2.69 \sim 23.2 \text{mBq/L}$, 均值为 $10.1 \pm 4.3 \text{mBq/L}$; ^3H 测量结果活度浓度范围 $0.38 \sim 0.85 \text{Bq/L}$, 均值为 $0.61 \pm 0.12 \text{Bq/L}$ 。

4) 土壤与沉积物中放射性水平

(1) 地表水底泥

底泥样品的分析项目包括测量 ^{40}K 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U 。监测频次为 1 次/年。 γ 谱分析测量结果中, 天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 均给出了测量结果, 人工核素 ^{137}Cs 在部分样品中高于探测限, 其余核素 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 测量结果均低于探测限, 其中: ^{238}U 测量结果活度浓度范围为 $8.87 \sim 93.6 \text{Bq/kg}$, 均值为 $33 \pm 34 \text{Bq/kg}$; ^{226}Ra 测量结果活度浓度范围为 $6.70 \sim 77.1 \text{Bq/kg}$, 均值为 $27 \pm 28 \text{Bq/kg}$; ^{232}Th 测量结果活度浓度

范围为 11.6~184Bq/kg, 均值为 63 ± 70 Bq/kg; ^{40}K 测量结果活度浓度范围为 653~ 2.14×10^3 Bq/kg, 均值为 $(1.00 \pm 0.58) \times 10^3$ Bq/kg; ^{137}Cs 测量结果活度浓度范围为 $<0.33 \sim 4.03$ Bq/kg; ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围为 1.28~4.00Bq/kg, 均值为 2.24 ± 0.97 Bq/kg。

(2) 土壤

土壤样品的分析项目包括 ^{40}K 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U , 其中选取所东张家村、东墩村采样点进行 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析, 监测频次为 1 次/年。 γ 谱分析测量结果中, ^{238}U 的活度浓度范围为 $<\text{LLD} \sim 76.8$ Bq/kg, 均值为 31 ± 16 Bq/kg; ^{226}Ra 的活度浓度范围为 6.75~76.7Bq/kg, 均值为 28 ± 14 Bq/kg; ^{232}Th 的活度浓度范围为 10.2~173Bq/kg, 均值为 48 ± 33 Bq/kg; ^{40}K 的活度浓度范围为 509~ 1.49×10^3 Bq/kg, 均值为 $(9.2 \pm 2.7) \times 10^2$ Bq/kg; ^{137}Cs 的活度浓度范围为 $<\text{LLD} \sim 3.06$ Bq/kg, 均值为 1.60 ± 0.79 Bq/kg。 ^{90}Sr 的活度浓度范围为 0.65~3.50Bq/kg, 均值为 1.74 ± 0.81 Bq/kg; $^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围为 0.058~0.13Bq/kg, 均值为 0.094 ± 0.031 Bq/kg。

5) 陆生生物中放射性水平

陆地生物样品共 5 类 9 种 54 个样品, 包括粮食类(小麦、玉米)、蔬菜类(豆角、白菜)、水果类(苹果)、奶类(牛奶)、肉类(鸡肉和猪肉)和松针。陆生生物(除牛奶外)的监测项目为自由水氚、有机氚、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。牛奶的监测项目为 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{131}I 。所有给出结果均为可食鲜重(干重)的结果。

(1) 小麦(2 个样品)

γ 核素: 只有一个样品检出 ^{137}Cs , 结果为 0.058 ± 0.007 Bq/kg 干, 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 0.2~0.42Bq/kg 干; 氚: 其中 TFWT 未测, OBT 范围为 0.67~0.74Bq/kg 干(1.43~1.54Bq/L(水)); ^{14}C : 范围为 71.2~95.2Bq/kg 干(0.17~0.28Bq/gC)。

(2) 玉米(8 个样品)

γ 核素: ^{137}Cs 结果范围为 0.018~0.099Bq/kg 干, 其他所有人工 γ 核素结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 0.026~0.51Bq/kg 干; 氚: 其中 TFWT 未测, OBT 范围为 0.74~1.14Bq/kg 干(1.64~2.19Bq/L(水)); ^{14}C : 范围为 68~80Bq/kg 干(0.15~0.24Bq/gC)。

(3) 豆角 (2 个样品)

γ 核素: 所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 0.10~0.24Bq/kg 鲜; 氡: 其中 TFWT 范围为 0.71~0.83Bq/kg 鲜 (0.83~0.88Bq/L(水)), OBT 均为 0.23Bq/kg 鲜(2.52~3.95Bq/L(水)); ^{14}C : 范围为 5.8~8.4Bq/kg 鲜(0.16~0.18Bq/gC)。

(4) 白菜 (6 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为<0.012~0.030Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 0.076~0.25Bq/kg 鲜; 氡: 其中 TFWT 范围为 0.44~0.88Bq/kg 鲜 (0.48~0.96Bq/L(水)), OBT 范围为 0.05~0.08Bq/kg 鲜 (1.64~3.29Bq/L(水)); ^{14}C : 范围为 3.39~5.66Bq/kg 鲜 (0.17~0.26Bq/gC)。

(5) 苹果 (6 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 有一个样品检出外(结果为 0.0058Bq/kg 鲜, 在探测限附近), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 0.01~0.08Bq/kg 鲜; 氡: 其中 TFWT 范围为 0.31~0.61Bq/kg 鲜 (0.37~0.73Bq/L(水)), OBT 范围为 0.29~0.44Bq/kg 鲜 (3.29~4.82Bq/L(水)); ^{14}C : 范围为 8.37~12.0Bq/kg 鲜 (0.14~0.20Bq/gC)。

(6) 牛奶 (10 个样品)

γ 核素: ^{137}Cs 监测结果范围为 0.0105~0.019Bq/kg 鲜 (其中有三个样品结果低于探测下限); ^{90}Sr : 范围为 0.04~0.27Bq/kg 鲜; ^{14}C : 范围为 8.55~13.2Bq/kg 鲜 (0.16~0.25Bq/gC)。

(7) 猪肉 (6 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 0.06~0.084Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 0.017~0.22Bq/kg 鲜; 氡: 其中 TFWT 范围为 0.23~0.56Bq/kg 鲜 (0.35~0.79Bq/L(水)), OBT 范围为 0.28~0.59Bq/kg 鲜 (1.97~3.95Bq/L(水)); ^{14}C : 范围为 16.4~32.2Bq/kg 鲜 (0.15~0.25Bq/gC)。

(8) 鸡肉 (4 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为<0.0091~0.032Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 0.038~0.46Bq/kg 鲜; 氡: 其中 TFWT 范围为 0.37~0.52Bq/kg 鲜 (0.55~0.75Bq/L(水)), OBT 范围为 0.41~0.71Bq/kg 鲜 (2.08~3.51Bq/L(水)); ^{14}C : 范围为 20.3~26.3Bq/kg 鲜 (0.15~0.21Bq/gC)。

(9) 松针 (10 个样品)

γ 核素：除 ^{137}Cs 外（范围为 0.023~0.44Bq/kg 鲜），其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限； ^{90}Sr ：范围为 0.11~6.52Bq/kg 鲜；氚：其中 TFWT 未测，OBT 范围为 0.65~1.99Bq/kg 鲜（1.54~3.95Bq/L(水)）； ^{14}C ：范围为 69.2~94.0Bq/kg 鲜（0.16~0.23Bq/gC）。

6) 陆域水生生物中放射性水平

水生生物采集了淡水鱼类，分别采集了鲤鱼样品和鲢鱼样品，每年各采集了 1 个样品，监测项目为 TFWT、OBT、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。采样频次为 1 次/年。 γ 谱分析结果中，鲢鱼中 ^{137}Cs 的一个测量结果高于探测限(0.015Bq/kg 鲜)， ^{134}Cs 测量结果均低于探测限。 ^{90}Sr ：范围 0.053~0.093Bq/kg 鲜，均值为 $0.076\pm 0.018\text{Bq/kg}$ 鲜；TFWT：范围 0.67~0.81Bq/kg 鲜（0.92~1.03Bq/L(水)），均值为 $0.74\pm 0.06\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.98\pm 0.06\text{Bq/L(水)}$ ）；OBT：范围 0.23~0.45Bq/kg 鲜（0.23~0.45Bq/L(水)），均值为 $0.36\pm 0.09\text{Bq/kg}$ 鲜（1.64~3.84Bq/L(水)）； ^{14}C 的活度浓度范围 14.1~21.6Bq/kg 鲜（0.16~0.18Bq/gC），均值为 $17.0\pm 3.2\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.17\pm 0.01\text{Bq/gC}$ ）。

7) 海水中放射性水平

海水共布设 13 个采样点，测量项目包括 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为 1 次/半年。共采集了 60 个样品，其中包括在取水口和排水口每次各采集了一个平行样品。 γ 谱分析结果中，所有样品都给出了 ^{137}Cs 的测量结果，其它核素（包括 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）测量结果均低于探测限。 ^{137}Cs 测量结果活度浓度范围 1.18~2.86mBq/L，均值为 $1.67\pm 0.34\text{mBq/L}$ 。 ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 1.10~2.80mBq/L，均值为 $1.98\pm 0.39\text{mBq/L}$ ； ^3H 测量结果活度浓度范围 0.19~1.05Bq/L，均值为 $0.44\pm 0.21\text{Bq/L}$ ； ^{14}C 测量结果活度浓度范围 3.47~6.47mBq/L（0.15~0.25Bq/gC），均值为 $5.07\pm 0.76\text{mBq/L}$ （ $0.21\pm 0.03\text{Bq/gC}$ ）。

8) 海洋沉积物中放射性水平

海洋沉积物与海水采样点重合，测量项目包括 ^{40}K 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U ，其中选取海水 5# 采样点进行 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析。 γ 谱分析结果中，天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 都给出了测量结果；人工核素 ^{137}Cs 大部分测量结果高于探测限，其它核素（包括 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）测量结果均低于探测限。其中： ^{238}U ：范围为 11.1~32.6Bq/kg，

均值为 $20.5 \pm 6.0 \text{Bq/kg}$; ^{226}Ra : 范围为 $10.4 \sim 24.3 \text{Bq/kg}$, 均值为 $18.0 \pm 3.9 \text{Bq/kg}$; ^{232}Th : 范围为 $15.7 \sim 37.1 \text{Bq/kg}$, 均值为 $27.9 \pm 5.5 \text{Bq/kg}$; ^{40}K : 范围为 $447 \sim 772 \text{Bq/kg}$, 均值为 $651 \pm 80 \text{Bq/kg}$; ^{137}Cs : 范围为: $<0.34 \sim 1.75 \text{Bq/kg}$, 均值为 $0.82 \pm 0.41 \text{Bq/kg}$ 。 ^{90}Sr : 范围为 $0.85 \sim 2.83 \text{Bq/kg}$, 均值为 $1.53 \pm 0.59 \text{Bq/kg}$; $^{239+240}\text{Pu}$: 在沉积物 5# 采样点测量结果活度浓度范围 $0.072 \sim 0.081 \text{Bq/kg}$, 均值为 $0.077 \pm 0.006 \text{Bq/kg}$ 。

9) 海洋生物中放射性水平

海洋生物样品共 5 类 9 种 60 个样品, 包括海洋鱼类 (马鲛鱼和梭鱼)、贝类 (紫贻贝、花蛤、牡蛎)、甲壳类 (白对虾、螃蟹)、软体类 (海参) 和藻类 (海洋)。

(1) 马鲛鱼 (12 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 $0.063 \sim 0.12 \text{Bq/kg}$ 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 $0.058 \sim 0.64 \text{Bq/kg}$ 鲜; 氡: TFWT 范围为 $0.20 \sim 0.90 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.33 \sim 0.88 \text{Bq/L}$), OBT 范围为 $0.34 \sim 0.74 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($1.75 \sim 3.29 \text{Bq/L(水)}$); ^{14}C : 范围为 $20.9 \sim 38.8 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.16 \sim 0.23 \text{Bq/gC}$)。

(2) 梭鱼 (4 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 $0.030 \sim 0.147 \text{Bq/kg}$ 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 $0.020 \sim 0.18 \text{Bq/kg}$ 鲜; 氡: 其中 TFWT 范围为 $0.29 \sim 0.53 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.55 \sim 0.66 \text{Bq/L(水)}$), OBT 范围为 $0.26 \sim 0.58 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($1.64 \sim 3.62 \text{Bq/L(水)}$); ^{14}C : 范围为 $14.7 \sim 26.1 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.17 \sim 0.21 \text{Bq/gC}$)。

(3) 紫贻贝 (8 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 $< \text{LLD} \sim 0.051 \text{Bq/kg}$ 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 $0.19 \sim 1.12 \text{Bq/kg}$ 鲜; 氡: 其中 TFWT 范围为 $0.18 \sim 0.75 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.26 \sim 0.94 \text{Bq/L(水)}$), OBT 范围为 $0.11 \sim 0.24 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($1.54 \sim 2.41 \text{Bq/L(水)}$); ^{14}C : 范围为 $6.02 \sim 20.6 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.15 \sim 0.22 \text{Bq/gC}$)。

(4) 花蛤 (4 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 $0.0083 \sim 0.046 \text{Bq/kg}$ 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限; ^{90}Sr : 范围为 $0.15 \sim 1.07 \text{Bq/kg}$ 鲜; 氡: 其中 TFWT 范围为 $0.41 \sim 0.74 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.44 \sim 0.77 \text{Bq/L(水)}$), OBT 范围为 $0.15 \sim 0.43 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($1.97 \sim 2.52 \text{Bq/L(水)}$); ^{14}C : 范围为 $8.93 \sim 19.2 \text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.16 \sim 0.22 \text{Bq/gC}$)。

(5) 牡蛎 (4 个样品)

γ 核素：除 ^{137}Cs 外（范围为 $<\text{LLD}\sim 0.017\text{Bq/kg}$ 鲜），其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限； ^{90}Sr ：范围为 $0.20\sim 0.42\text{Bq/kg}$ 鲜；氡：其中 TFWT 范围为 $0.17\sim 0.81\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.40\sim 0.94\text{Bq/L}$ (水)），OBT 范围为 $0.12\sim 0.27\text{Bq/kg}$ 鲜（ $1.54\sim 2.74\text{Bq/L}$ (水)）； ^{14}C ：范围为 $12.1\sim 15.6\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.15\sim 0.23\text{Bq/gC}$ ）。

(6) 对虾（12 个样品）

γ 核素：除 ^{137}Cs 外（范围为 $<\text{LLD}\sim 0.037\text{Bq/kg}$ 鲜），其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限； ^{90}Sr ：范围为 $0.051\sim 0.30\text{Bq/kg}$ 鲜；氡：其中 TFWT 范围为 $0.29\sim 0.83\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.39\sim 0.99\text{Bq/L}$ (水)），OBT 范围为 $0.18\sim 0.53\text{Bq/kg}$ 鲜（ $1.54\sim 2.52\text{Bq/L}$ (水)）； ^{14}C ：范围为 $12.0\sim 25.8\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.14\sim 0.21\text{Bq/gC}$ ）。

(7) 螃蟹（8 个样品）

γ 核素：除 ^{137}Cs 外（范围为 $<\text{LLD}\sim 0.032\text{Bq/kg}$ 鲜），其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限； ^{90}Sr ：范围为 $0.045\sim 1.07\text{Bq/kg}$ 鲜；氡：其中 TFWT 范围为 $0.29\sim 0.46\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.37\sim 0.58\text{Bq/L}$ (水)），OBT 范围为 $0.13\sim 0.43\text{Bq/kg}$ 鲜（ $1.54\sim 2.41\text{Bq/L}$ (水)）； ^{14}C ：范围为 $12.0\sim 19.2\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.15\sim 0.22\text{Bq/gC}$ ）。

(9) 海参（2 个样品）

γ 核素：所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限； ^{90}Sr ：范围为 $0.10\sim 1.07\text{Bq/kg}$ 干；氡：其中 TFWT 范围为 $0.15\sim 0.59\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.20\sim 0.77\text{Bq/L}$ (水)），OBT 范围为 $0.12\sim 0.43\text{Bq/kg}$ 鲜（ $2.19\sim 2.52\text{Bq/L}$ (水)）； ^{14}C ：范围为 $5.94\sim 19.\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.18\sim 0.22\text{Bq/gC}$ ）。

(10) 海带（6 个样品）

γ 核素：所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限； ^{90}Sr ：范围为 $1.58\sim 2.93\text{Bq/kg}$ ；氡：其中 TFWT 范围为 $1.05\sim 1.16\text{Bq/kg}$ 鲜（ $1.02\sim 1.32\text{Bq/L}$ (水)），OBT 范围为 $0.07\sim 0.10\text{Bq/kg}$ 干（ $2.74\sim 3.51\text{Bq/L}$ (水)）； ^{14}C ：范围为 $3.12\sim 7.28\text{Bq/kg}$ 鲜（ $0.16\sim 0.24\text{Bq/gC}$ ）。

3.1.1.2 调查评价

1) 环境 γ 辐射水平评价

2014~2016 年调查获得的原野辐射剂量率（扣除宇宙射线响应）范围为 $79.0\sim 84.8\text{nGy/h}$ ，平均值为 $82\pm 28\text{nGy/h}$ ；道路辐射剂量率范围为 $99.0\sim 104\text{nGy/h}$ ，平均值为 $102\pm 16\text{nGy/h}$ ；根据上世纪 80 年代“全国环境天然放射性水平调查研究”，山东省的辐射剂量率范围（扣除宇宙射线）原野辐射剂量率为

16.9~162.6nGy/h, 道路辐射剂量率为 10.3~204.1nGy/h。项目所在烟台市(1987年以前属烟台市)的辐射剂量率范围(扣除宇宙射线)原野是 21.4~120.5nGy/h, 道路是 19.1~201.1nGy/h, 2014~2016 年调查结果在其范围内,但整体上比烟台市、山东省平均水平要高。

2) 环境土壤中天然放射性核素水平评价

2014~2016 年调查对土壤中的天然放射性核素活度浓度水平进行了调查,各天然放射性核素活度浓度范围分别为: ^{238}U , <9.9~76.8Bq/kg; ^{226}Ra , 6.75~76.7Bq/kg; ^{232}Th , 10.2~173Bq/kg; ^{40}K , 509~ 1.49×10^3 Bq/kg。根据上世纪 80 年代“全国环境天然放射性水平调查研究”,山东省的土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的范围分别为 15.7~90.1Bq/kg、9.8~50.0Bq/kg、20.7~202Bq/kg、391.7~1870Bq/kg。项目所在烟台市(1987 年以前属烟台市)的土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的范围分别为 17.2~61.6Bq/kg、16.2~46.1Bq/kg、20.8~70.4Bq/kg、118.4~1870Bq/kg,整体上 2014~2016 年调查结果与烟台市、山东省平均水平相当。

3) 各类环境介质中 ^3H 与 ^{14}C 的评价

2014~2016 年调查中对各类环境介质进行了 ^3H 的监测,包括大气、降水、地表水、饮用水、地下水、海水及各类生物中的自由水氚和有机氚。尽管每类样品中各个监测数据统计范围较大,例如对海水样品,最大达 1.05Bq/L,最小仅 0.19Bq/L,但其平均值仍显示一定的统计规律,即陆地水中氚浓度大于海洋水中氚(大气水(汽)>地表水>降水>饮用水>地下水>海水)、OBT 浓度水平为 TFWT 浓度水平的 2~4 倍,其中陆地生物中 OBT 为 TFWT 的 4.02 倍,淡水鱼中 OBT 为 TFWT 的 2.65 倍,海洋生物中的 OBT 为 TFWT 的 3.4 倍。各类水中氚监测结果统计涨落较大,可能与分析方法、环境中的涨落等因素有关。

2014~2016 年调查得到了大气、地表水、海水、陆地生、淡水鱼和海洋生物中 ^{14}C (OBC)的活度浓度水平,整体上,各类介质中的 ^{14}C 活度浓度范围为 0.17~0.21Bq/gC,与全球大气平衡的 ^{14}C 活度浓度水平相当。对每一类生物样品, ^{14}C 的活度浓度涨落较大,可能与监测方法和环境中的活度的涨落有关。

2014~2016 年调查中各类环境介质中的 ^3H 与 ^{14}C 总体上处于正常水平,且主要来自自然界的本底及核燃料循环、早期核试验释放后在大气中的累积。

4) 各类环境介质中 ^{137}Cs 与 ^{90}Sr 的评价

^{137}Cs 和 ^{90}Sr 是调查中关注的人工放射性核素，处于痕量水平。 ^{90}Sr 在 2014~2016 年调查的所有样品中均检出，包括各类海洋生物和陆生生物， ^{137}Cs 仅在大部分土壤、沉积物、海水中检出。 ^{90}Sr 在各类环境介质中的浓度水平整体上要高于 ^{137}Cs 。不考虑统计平均均低于探测限的情况，在各类环境介质中 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 的比值范围处于 1.02~10.02 之间。

5) 土壤和海洋沉积物中 $^{239+240}\text{Pu}$ 的评价

2014~2016 年调查对土壤和海洋沉积物中的 $^{239+240}\text{Pu}$ 进行了分析。其中土壤范围为 0.058~0.13Bq/kg，平均值为 $0.094\pm 0.031\text{Bq/kg}$ ；海洋沉积物范围为 0.072~0.081Bq/kg，平均值为 $0.077\pm 0.006\text{Bq/kg}$ 。此结果处于沙连茂等人报道的我国几个地区环境土壤中 $^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围内 (0.04~0.23Bq/kg)；与卜文庭和郭秋菊报道的我国环境土壤和地表水沉积物监测结果处于相近水平 (北京 $0.363\pm 0.152\text{Bq/kg}$ 、集宁 $0.237\pm 0.014\text{Bq/kg}$ 、青州 $0.013\pm 0.001\text{Bq/kg}$ 、兰州 $0.023\pm 0.003\text{Bq/kg}$ 、襄樊 $0.358\pm 0.021\text{Bq/kg}$ 、 $0.380\pm 0.016\text{Bq/kg}$ 及华北地区 0.4Bq/kg)。

3.1.1.3 结论

2014~2016 年调查数据分析表明，山东石岛湾厂址周围的 γ 辐射剂量率本底处于正常水平，未见厂址周围存在可能的高本底地区；调查的各类环境介质包括空气、土壤与沉积物、各类水、生物等，其放射性水平均处于正常范围，检测到放射性核素主要以天然放射性核素及少数人工放射性核素；其中人工放射性核素主要包括 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs ， ^3H 与 ^{14}C 主要由自然界产生，同时由早期核试验及全球核燃料循环产生并随着时间而衰减；而 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 主要由早期大气核试验通过大气沉降产生，目前处于痕量水平。部分土壤和海洋沉积物的 $^{239+240}\text{Pu}$ 活度浓度处于正常水平。

3.1.2 辐射环境现状调查

中国辐射防护研究院于 2021 年 4 月起对本项目所在厂址及周边区域的辐射环境水平开展调查与监测工作。

3.1.2.1 辐射环境现状调查方案

本工程运行前辐射环境现状调查方案见表 3.1-1。

1) 调查内容、范围及布点原则

调查内容及布点原则依据《核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范》(HJ969-2018)制定。

(1) 地表 γ 辐射剂量率、 γ 辐射累积剂量

地表 γ 辐射剂量率按以本工程反应堆为中心,半径2km、5km、10km、20km、30km、50km与16个方位角形成的扇形区域内布点。 γ 辐射累积剂量按以本工程反应堆为中心,半径2km、5km、10km、20km、30km、50km与16个方位角形成的扇形区域内布点。在人口稀少的山区适当减少测量点,在人口稠密的居民区和最大风频下风向适当增加测量点。在烟羽地面最大浓度处特别设置测量点(设置在海工楼)。共布设地表 γ 辐射剂量率测量点位80个(半径2km范围内4个测量点位,半径2~5km范围内21个测量点位,半径5~10km范围内11个测量点位,半径10~20km范围内8个测量点位,半径20~30km范围内13个测量点位,半径30~50km范围内10个测量点位), γ 辐射累积剂量测量点位50个(半径2km范围内2个测量点位,半径2~5km范围内5个测量点位,半径5~10km范围内5个测量点位,半径10~20km范围内3个测量点位,半径20~30km范围内5个测量点位,均与地表 γ 辐射剂量率测量点位重合),地表 γ 辐射剂量率和 γ 辐射累积剂量的监测频次为1次/季,监测周期为2年。

地表 γ 辐射剂量率和累积剂量测量点位见表3.1-2。

γ 辐射剂量率连续监测点选取在厂区的海工楼楼顶以及关键居民组东钱家村的居民楼顶,楼顶表面为混凝土。监测频率为连续监测,监测时间为2年。

(2) 空气

厂址半径10km范围内布设5个采样点,在关键居民组设置1个采样点(东钱家村),厂区设置1个采样点(海工楼),人员密集处设置1个采样点(宁津街道),最大风频下风向的居民区设置1个采样点(镆铳岛),成山镇设置1个对照点。监测频次为1次/季,监测周期为2年。气溶胶、沉降物监测项目为 γ 谱核素分析、 ^{90}Sr ;降水监测项目为 γ 谱核素分析、 ^3H 、 ^{90}Sr ;气体监测项目为 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 。

空气采样点位见表3.1-3。

(3) 非受纳水体、沉积物及水生生物

地表水(包括底泥):涉及厂址半径10km范围内主要地表水体、流域覆盖厂址半径20km范围面积较大的水体及流域覆盖主导风下风向面积较大的水体,

布设 4 个采样点,为厂址附近的南夏家水库、八河水库、郭家水库和后龙河水库。后龙河水库作为对照点。八河水库采集平行样品。监测频次为 1 次/半年,监测周期为 2 年。地表水监测项目为 γ 谱核素分析、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C (只对八河水库和后龙河水库采样点位开展 ^{14}C 分析);地表水沉积物(底泥)监测项目为 γ 谱核素分析、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{90}Sr (只对八河水库和南夏家水库采样点位开展 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析)。

地下水、饮用水:厂址半径 10km 范围内布设 4 个采样点,为厂址附近的东钱家村、宁津街道、东墩村和后海崖村。监测频次为 1 次/半年,监测周期为 2 年。饮用水监测项目为 γ 谱核素分析、总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C (只对东钱家村、宁津街道和饮用水源地湾头水库采样点位开展 ^{90}Sr 、 ^{14}C 分析),地下水监测项目为 γ 谱核素分析、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C (只对东钱家村和宁津街道采样点位开展 ^{14}C 分析)。

非受纳水体水生生物:由于厂址周围水库中都没有水生植物生长,选择在离厂址较远的后龙河水库采集水草样品,同时在八河水库采集鲢鱼样品。监测频次为 1 次/年,监测周期为 2 年。监测项目为 γ 谱核素分析、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 。

地表水(包括底泥)、地下水、饮用水、非受纳水体水生生物采样点位见表 3.1-4。

(4) 土壤

厂址半径 2km、5km、10km、20km 与 8 个方位角形成的扇形区域内布设 25 个采样点,与累积剂量测量点、地表 γ 辐射剂量率测量点重合,兼顾农田、山区、丘陵等不同类型的土壤。成山镇作为对照点。监测频次为 1 次/年,监测周期为 2 年。监测项目为 γ 谱核素分析、 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ (只对各方位最近采样点位开展 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析,共涉及 12 个样品,其中包括 1 个平行样品)。

土壤采样点位见表 3.1-2。

(5) 陆生生物

粮食作物:选取小麦和玉米,监测频次为 1 次/年,监测周期为 2 年。小麦设置 2 个采样点,分别位于东墩村和龙山前村;玉米设置 2 个采样点,分别位于于家村和东钱家村。

蔬菜:选取白菜、豆角和葱,监测频次为 1 次/年,监测周期为 2 年。白菜设置 1 个采样点,位于卢家庄村;豆角设置 1 个采样点,位于于家村;葱设置 1 个采样点,位于东钱家村。

水果：选取苹果，监测频次为 1 次/年，监测周期为 2 年。苹果设置 2 个采样点，分别为宁津街道和宁家村。

奶：选取牛奶，监测频次为 1 次/半年，监测周期为 2 年。厂址周边的奶牛场都向牛奶厂家直接供奶，不向个人出售，采样时选择在超市购买当地嘉盛乳业生产的袋装牛奶，该企业奶源来自威海市及其周边奶牛场。

肉类：选取猪肉和鸡肉，监测频次为 1 次/年，监测周期为 2 年。猪肉设置 1 个采样点，位于南港头村；鸡肉设置 1 个采样点，位于宁津街道于家村。

松针：监测频次为 1 次/半年，监测周期为 2 年。设置 1 个采样点，位于大岔河村村口。

花生：监测频次为 1 次/年，监测周期为 2 年。设置 1 个采样点，位于南泊村。

牛奶监测项目为 ^{131}I ，其余陆生生物监测项目为 γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氙+自由水氙。

陆生生物采样点位见表 3.1-5。

(6) 海水、海洋沉积物、海洋生物

海水：以厂址排水口为中心半径 5km、10km 与 N、NE、ENE、SE、SSW 等近似 5 条辐射线形成的扇形海域内布设 15 个采样点。其中排水口附近有一个废弃的养参池，现在已被大坝围在内部，在该处布设 1 个采样点。监测项目为 γ 谱核素分析、总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I （只对各方位最近采样点位和取水口、排水口开展 ^{14}C 、 ^{90}Sr 分析）。

海洋沉积物：与海水采样点重合，并在排水口南北两侧渔民活动区各 1 个采样点，共 17 个采样点。监测项目为 γ 谱核素分析、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{90}Sr （只对距排水口较近的采样点位开展 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析）。

海水、海洋沉积物采样点位见表 3.1-6。

海洋生物：采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集鱼类、贝类、甲壳类、软体类和藻类，优先采集近海养殖的海洋生物。监测项目为 γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氙+自由水氙。

鱼类：采集马鲛鱼（当地称“鲅鱼”）、梭鱼和白姑鱼。马鲛鱼在东楮岛渔港附近海域采集，白姑鱼在弘运码头附近海域采集；梭鱼在排水口东侧海域采集。

贝类：采集扇贝和牡蛎（当地称“海蛎子”）。扇贝在林家流村附近海域养殖场采集，牡蛎在弘运码头附近海域的养殖场采集；

甲壳类：采集白对虾。白对虾在止马滩村附近养殖场采集；

软体类：采集海参。海参在宁津街道岛西庄村海参养殖场采集。

藻类：采集海带。海带分别在排水口东侧海域和宁津养殖二场附近海域养殖场采集。

海洋生物采样点位见表 3.1-7。

(7) 放射性环境资料收集

调查和收集本工程所在厂址及周边区域的放射性环境水平历史资料，以及厂址周边核与辐射设施情况，包括：厂址半径 30km 范围内核设施以及铀、钍矿设施概况；厂址半径 15km 范围内“人为活动引起天然辐射照射增加”有关设施以及同位素生产、非密封放射性同位素应用概况；厂址半径 5km 范围内 I、II 类放射源应用概况。

2) 调查方案实施情况

已完成 2021 年 4 月、7 月两次现场现场测量、样品采集和预处理工作。

3.1.2.2 辐射环境现场测量、样品采集和预处理

1) γ 辐射剂量率、 γ 辐射累积剂量

(1) γ 辐射剂量率监测

共布设 80 个点位，其中 32 个测量点位是道路，包括 16 个水泥地面、8 个沥青地面、7 个地砖地面和 1 个碎石地面；48 个测量点位是原野，包括 27 个土地、19 个草地和 2 个田地。测量点距附近高大建筑物的距离大于 30m，使用高压电离室测量，测量时仪器的有效中心离地面 1 米高。

2021 年 7 月在八河水库进行了宇宙射线测量。

(2) γ 辐射累积剂量监测

共布设 50 个点位。热释光剂量计的现场放置地点尽量选择能代表总的被测环境，除海工楼布设在铁栅栏上以外，其余点位的样品均布设在树上，同一地点与地表 γ 辐射剂量率点位重合。布设时间在每季度第一个月，在同一点位布设下一季度的样品时，回收上个季度的样品。

放置期间由于各种原因有少量样品丢失。热释光剂量计现场布设情况见表 3.1-8。

2) 空气

(1) 气溶胶

空气中气溶胶样品的采集采用青岛崂应公司生产的 2031 型大流量采样器，滤膜采用 PP 滤膜，其规格为 20cm×25cm，采样前先检查有无漏光现象。每个采样点每季采样时间为 7~8 天，瞬时流量设为 1.05m³/min 左右，采样结束后填写采样记录表，将采集完成的滤膜对折后装入封口袋内，并在袋上注明样品编号和采样体积等信息，以便样品交接。

气溶胶样品的采样频度为 1 次/季，所有样品的采样体积均大于 9000m³，大部分样品每月采样体积大于 10000m³。2021 年 4 月海工楼采样时因厂内停电检修线路，采样器少采 2 天，导致采样体积较少。

气溶胶采样情况见表 3.1-9。

(2) 沉降灰

沉降灰采样接收装置系由不锈钢板制成的正方形采样槽，接收面积为 0.25m²，槽壁高 30cm，采样槽放置在楼顶或固定于使灰槽上边缘距地 1.5m 的支架上。在收集槽内加注一定量的蒸馏水，采用湿法采样。在沉降灰收集期间，对每个采样点要定期观察一次沉降灰的收集情况。每个采样点采样时间为 1 个季度的累积混合样。采样结束后，将收集槽内水与沉降灰的混合物小心转入干净的塑料桶内，用蒸馏水冲洗槽壁三次，冲洗液合并到塑料桶内。如果收集物的体积太大，吸去上清液至体积小于 2L，盛于 2.5L 的塑料桶内，加盖拧紧，运回实验室供分析使用。

沉降灰采样情况见表 3.1-10。

(3) 降水

降水采样接收装置系由不锈钢板制成的正方形采样槽，接收面积为 0.25m²，槽壁高 30cm，采样槽固定在角钢制成的框架上，采样槽上边缘距地 1.5m。采样槽底部留有出水口，保证降水及时自动流入 100L 塑料桶中。

因华能高温气冷堆示范工程 2021 年 9 月 12 日达到临界状态，7 月布设的累积样品在 9 月份提前收集，避免可能的放射性释放对监测数据造成影响。

降水采样情况见表 3.1-10。

(4) 空气中 ³H、¹⁴C 和 ¹³¹I

空气中 ³H：用空气采样泵，经粒子过滤器、2 个串联的硅胶吸附瓶，每个串联的硅胶吸附瓶装约 500g 硅胶，以 5L/min~10L/min 的流量抽取 24h 空气样品，使被抽取的空气样品中所含水份被吸附瓶内的干燥剂完全捕集，取样气体流量由

转子流量计指示与调节, 累积流量由累积流量计给出指示。取样完成后, 将已吸附水份的硅胶吸附瓶取下, 拿回实验室进行高温真空解吸, 然后对冷凝水称重、蒸馏、制样, 液闪测量。每个样品的采样体积一般在 10m^3 左右。

空气中 ^{14}C : 用抽气泵抽取一定体积的空气, 使空气中的 CO_2 完全被碱液吸收捕集。使溶液中的 CO_2 转化为 CaCO_3 沉淀, 用乳化闪烁液的固体悬浮物测量技术直接测定 CaCO_3 粉末中 ^{14}C 的活度浓度, 从而估算出空气中 ^{14}C 的活度浓度。该取样系统由下列部件构成: 转子流量计与调节器, 分别装有 0.5MNaOH 溶液的多孔鼓泡器吸收瓶, 空气采样泵及其连接件。采样在建筑物外距离地面 1m 以上的高度进行, 使总的累积取样空气体积 $3\sim 4\text{m}^3$ 。采样空气体积由连接在气路中的累积流量计直接读出。

空气中 ^{131}I : 使用崂应公司生产的 2030 型中流量空气采样器配定制的采样头采集, 采样时空气先通过气溶胶滤膜, 再通过装有活性炭的碘盒, 从而将空气中的碘全部捕集。采样头在建筑物外距离地面 1.5m 以上的高度进行, 取样流量为 $100\text{L}/\text{min}$, 累积取样体积大于 100m^3 。

空气中 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I 采样情况见表 3.1-11。

3) 非受纳水体、沉积物及水生生物

(1) 地表水 4 个采样点均为水库水, 地下水采集均为井水 (除东钱家村外其余采样点均由村里统一安装的机井送至各家水龙头), 饮用水采集均为自来水。

地表水用塑料桶直接采集表层水; 地下水和饮用水从出水口直接接取至塑料桶中。对于 γ 谱测量和放化分析, 每个每次样品采集 50L 左右, 在现场进行酸化处理后, 运回实验室。对于分析 ^3H 的样品采集 2.5L , 对于分析 ^{14}C 的样品采集约 50L , 在现场不做任何处理 (不加酸), 采集好样品后用汽车直接运回实验室。

在实验室内对于分析 ^3H 的样品采用电解浓集的方法进行处理, 用液闪测量。

对于供 γ 谱分析用的水, 采用加热蒸发浓缩的方法, 将样品浓集到 200mL 后, 用 HpGe γ 谱仪测量。 γ 谱测量完成后, 将浓集后的水样采用如下方法处理后供 ^{90}Sr 分析用: 在浓集后的水样中加入 1.00ml 浓度为 $50\text{mg}/\text{ml}$ 的锶载体溶液和 2.00mL 浓度为 $20\text{mg}/\text{ml}$ 的钇载体溶液。充分搅拌后, 用氨水调节溶液的 pH 至 $8\sim 9$, 加入适量氯化氨, 搅拌到固体溶解后, 再加入碳酸铵, 使钙完全沉淀, 搅拌 1 小时。如沉淀量太少, 可适当加入 Ca 载体 $100\sim 300\text{mg}$, 静置 2 天。用虹吸法吸去上清液, 过滤残渣, 将碳酸铵溶解后, 用氨水调节 pH 值至 1.0 , 通过

色层柱，使钇与锶、铯等低价离子分离。再以 1.5mol/L 硝酸淋洗色层柱，清除钇以外的其它被吸附的离子，并以 6mol/L 硝酸解析钇，实现钇的快速测定，水样中 ^{90}Sr 的浓度根据其子体钇-90 的 β 活度来确定。

(2) 底泥样品用长柄铁锹伸入水库底部挖取，将采集到的底泥剔除明显的石子、草根等杂物后装入聚乙烯塑料袋内，再装入布袋内，写明样品名称、编号和采样时间等信息。运回实验室后进行如下处理：剔除草根等杂物，样品量取 2~3kg；将样品倒在托盘中晾干；在干燥箱中经 105°C 烘干；用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60~80 目），充分混合均匀后装入 $\Phi 75\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的聚乙烯塑料盒中，称重；用胶带密封样品，放置 2~3 周后进行 γ 谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放化分析。

(3) 淡水鱼样品直接到采样水库养殖场捕捞购买，水草在水库沿岸直接摘取。采集到的样品直接冷冻装入泡沫箱内，运回实验室处理。样品运回实验室后，水草洗净后晒干，鱼类首先去除非可食部分，在烘箱中烤熟后去骨（刺）只取鱼肉，之后将可食部份进行炭化、灰化处理。

生物样品的炭化、灰化处理：将样品放入锅内，加热使之充分炭化，炭化过程中防止出现明火，然后将炭化完成的样品转移至马弗炉内，在 450°C 条件下灰化，直至灰化完全，呈现灰白疏松状，无炭粒。冷却后称重。

用于水氟、有机氟分析的样品，直接在冻干机-55°C 冷冻脱水，将水分取出，蒸馏纯化后供液闪分析水氟使用；被冻干的样品，氧化燃烧，使样品中有机氟转化为水，收集的水蒸馏纯化后，供液闪分析有机氟使用。

用于 ^{14}C 分析的样品，运回实验室后处理方法为：称取一定量鲜样，放入冻干机中，在-55°C 冷冻脱水。将脱水后的干样碾碎，封存。放入氧弹燃烧装置的样品杯中引爆，收集二氧化碳，供液闪分析有机氟使用。

4) 土壤

采集的土壤主要为田埂地头不被耕种的表层土壤、草地和树林等受人类活动影响较小的区域的土壤和不发生水土流失的田间土壤等，每个样品的采样量一般大于 2kg。

土壤的采样工具为表层土壤采样器，采样前用自来水冲洗干净，采样容器为自封袋，再装入布袋内，采样点位与对应的辐射场测量点位重合。在比较开阔的未耕区，面积在 1m×1m 范围内，去除采样点表层土后，按五点法（四角和中心）

在土壤表层下 1cm~5cm 处采集样品，混合成原始样品。土壤样品进实验室后，进行如下预处理：剔除杂草、碎石等异物，样品量取 2~3kg；将样品倒在托盘中晾干；在干燥箱中经 105°C 烘干；用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60~80 目），充分混合均匀后装入 $\Phi 75\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的聚乙烯塑料盒中，称重；用胶带密封样品，放置 2~3 周后进行 γ 谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放化分析。

5) 陆生生物

粮食作物：小麦和玉米样品均是到当地农民田间或家中购买，并用 GPS 记录种植样品的田地位置。小麦在现场脱壳后运回实验室处理。

蔬菜作物：采集当地种植面积较大的白菜、豆角以及食用量较大的葱，白菜和豆角均为到当地农户的田地中直接采集、购买。葱因为当地食用量较大，单一的菜地采样量无法满足要求，在村子里的多片菜地上同时进行采集，混合为 1 个样品后进行处理。采集到的蔬菜在现场晒干后运回实验室处理。

水果：采集当地种植较多的苹果，在苹果园直接采集、购买，并在果园进行了 GPS 定位记录。采集到的样品直接运回实验室处理。

奶类：采集当地的主要饮用的牛奶，牛奶样品在超市购买嘉盛乳业生产的样品，采集后的样品经冷冻后，运回实验室处理。

肉类：采集当地食用量较多的猪肉和鸡肉，猪肉是在农户家中购买当地饲养的猪肉，鸡肉是收购附近居民喂养的鸡，现场宰杀后冷冻，运回实验室，采集到的鸡肉是去毛和内脏，带有骨头的鸡肉。

松针：松针直接在松树上采集，采集到的样品直接运回实验室处理。

花生：花生直接在花生地中采集，现场洗净，脱壳称重后运回实验室处理。

样品运回实验室后，用于 γ 谱和放化分析的样品，首先去除非可食部分（松针除外），猪肉、鸡肉在烘箱中烤熟后去骨，蔬菜、松针洗净后晒干，水果直接取可食部分；之后将可食部份进行炭化、灰化处理。

生物样品的炭化、灰化及用于水氚、有机氚和 ^{14}C 分析样品的处理方法同前文的水生生物。

供 ^{131}I 分析使用牛奶样品在加入适量的氢氧化钠溶液后缓慢加热烘干，称干重，移入马福炉内，于 450°C 灰化，直至灰化完全，冷却称灰重，计算灰鲜（干）比，装入磨口瓶中保存。

6) 海水、海洋沉积物、海洋生物

(1) 海水通过租用当地渔民的渔船采集，直接用水泵采集表层 0.5m 处的海水，采集到的海水清澈透明无杂质。用于 γ 谱分析和放化分析的海水采集完成现场酸化后，运回实验室进一步处理。用于 ^3H 和 ^{14}C 分析的样品，不酸化直接运回实验室处理。

(2) 海洋沉积物租用当地渔民的渔船采集，用斗式采泥器抓取，采集到的沉积物混有少量的碎裂贝壳，剔除明显的杂质后，装入自封袋内，再装入布袋内，运回实验室后进行如下处理：剔除贝壳等杂物，样品量取 2~3kg；将样品倒在托盘中晾干；在干燥箱中经 105℃ 烘干；用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60~80 目），充分混合均匀后装入 $\Phi 75\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的聚乙烯塑料盒中，称重；用胶带密封样品，放置 2~3 周后进行 γ 谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放化分析。

(3) 海洋生物采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集鱼类、贝类、甲壳类、软体类和藻类（包括远海捕捞海洋生物和人工养殖海洋生物），优先采集近海养殖的海洋生物。样品进入实验室后，用于 γ 谱和放化分析的样品，鱼类样品去鳞、鳍后在烘箱中烤熟后去骨（刺）只取鱼肉，贝类样品、甲壳类样品蒸熟后，去壳取可食部分，软体类样品去除内脏取可食部分，藻类样品清洗干净后晾干。之后将可食部份进行炭化、灰化处理。生物样品的炭化、灰化及用于水氘、有机氘和 ^{14}C 分析样品的处理方法同水生生物。

3.1.2.3 监测仪器及分析方法

监测、分析仪器设备及测量方法见表 3.1-12，测量方法探测下限见表 3.1-13。

3.1.2.4 辐射环境现状调查结果

1) 放射性环境资料收集

(1) 厂址所在地区历史环境辐射水平

厂址所在地区历史环境辐射水平（包括环境 γ 辐射水平、土壤中天然放射性核素活度浓度水平等）见 3.1.1.2 节描述。

(2) 厂址周边核与辐射设施情况

截止 2021 年 9 月 26 日，厂址半径 30km 范围内除位于同一核电厂址的高温气冷堆示范工程外无其它核设施。厂址半径 30km 范围内无铀、钍矿设施。厂址半径 15km 范围内无人为活动引起天然辐射照射增加的设施（NORM 设施）、同

位素生产单位和非密封放射性同位素应用单位，厂址半径 5km 范围内无 I 类和 II 类放射源应用单位，中国核工业二三建设有限公司国和一号示范工程项目部使用的 II 类放射源主要用于本工程施工期无损检测探伤工作。

厂址所在荣成市有 1 家非密封放射性同位素应用单位，为荣成市人民医院，距厂址约 22km。荣成市共有 7 家放射源使用单位，使用 II 类源、IV 类和 V 类源。荣成市共有 45 家射线装置应用单位，主要集中在医院、卫生院等用于医疗诊断，使用 II 类和 III 类射线装置。荣成市放射源和射线装置情况见表 3.1-14。

2) γ 辐射剂量率、 γ 辐射累积剂量测量结果

(1) 测量仪器的宇宙射线响应

宇宙射线于 2021 年 7 月在八河水库进行了测量，测量结果为 $32.3 \pm 0.9 \text{ nGy/h}$ 。八河水库面积约 1.7 万 m^2 ，测量点接近水库中心，测量点距岸边 $>800\text{m}$ ，水深 4.2m，测量船只为水库管理所所属的玻璃钢快艇，四周有金属围挡，船尾有发动机。测量时电离室放置在船舱中靠船头远离发动机的位置，不使用三脚架。

(2) γ 辐射剂量率测量结果

γ 辐射剂量率的测量结果见表 3.1-15。

2021 年 4 月、7 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）：对于扣除宇宙射线响应值后的结果，80 个测量点位均值为 $89.6 \pm 18.3 \text{ nGy/h}$ 。32 个道路测量点位均值为 $91.0 \pm 14.4 \text{ nGy/h}$ ，最低值是文登市，为 58.0 nGy/h ；最高值是周庄村和东山街道，为 111 nGy/h 。48 个原野测量点位均值为 $88.7 \pm 18.9 \text{ nGy/h}$ ，最低值是崮山镇，为 51.2 nGy/h ；最高值是后港头村，为 128 nGy/h 。

(3) γ 辐射累积剂量测量结果

γ 辐射累积剂量测量结果见表 3.1-16。

2021 年 4~9 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）：对于未扣除宇宙射线响应的结果，各测量点位按小时平均值为 $150.0 \pm 21.2 \text{ nGy/h}$ ，最低值是宁津养殖二厂，为 110.8 nGy/h ，最高值是朱口村，为 196.4 nGy/h 。

(4) 连续 γ 辐射剂量率测量结果

连续 γ 辐射剂量率测量结果见表 3.1-17。

2021 年 4~9 月（华能高温气冷堆示范工程达到临界状态前）：对于未扣除宇宙射线响应的结果，东钱家 γ 辐射剂量率月均值在 $(92.18 \sim 106.9) \text{ nGy/h}$ 范围内，海工楼 γ 辐射剂量率月均值在 $(110.2 \sim 106.9) \text{ nGy/h}$ 范围内。

3) 空气测量结果

(1) 气溶胶测量结果见表 3.1-18。

2021 年 4 月、7 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）： γ 谱核素分析（ ^7Be 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ）测量结果中， ^7Be 活度浓度范围为 2.95~10.4mBq/m³，最低值出现在 2021 年 7 月的成山镇，最高值出现在 2021 年 4 月的镆铳岛，2021 年 4 月均值为 9.57±0.73mBq/m³，2021 年 7 月均值为 3.47±0.42mBq/m³，其余核素测量结果均低于探测限。放化分析项目 ^{90}Sr 活度浓度范围为 0.62~1.92μBq/m³，最低值出现在 2021 年 7 月的镆铳岛，最高值出现在 2021 年 7 月的东钱家村，2021 年 4 月均值为 1.61±0.14μBq/m³，2021 年 7 月均值为 1.37±0.63μBq/m³。

(2) 沉降灰测量结果见表 3.1-19。

2021 年 4~9 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）： γ 谱核素分析（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ）测量结果中， ^{137}Cs 测量结果测量结果范围为 <4.4~24.8mBq/m²·d，其余核素测量结果均低于探测限。最高点出现在 2021 年 4~7 月的宁津街道，最低点出现在成山镇。2021 年 4~7 月测量均值为 13.9±8.5mBq/m²·d，2021 年 7~9 月测量均值为 6.40±1.91mBq/m²·d。2021 年 4~7 月海工楼沉降灰量明显高于其它点位，可能由于核电场地施工造成沙土大面积飞扬，导致沉降灰中掺杂有大量沙土。2021 年 7~9 月由于采样时间较短，产生的沉降灰量较少。

放化分析的分析项目为 ^{90}Sr ，测量结果范围为 1.96~10.1mBq/m²·d，最高点出现在 2021 年 4~7 月的宁津街道，最低点出现在 2021 年 4~7 月的镆铳岛。2021 年 4~7 月测量均值为 5.84±3.21mBq/m²·d，2021 年 7~9 月测量均值为 3.93±1.91mBq/m²·d。

(3) 降水测量结果见表 3.1-20。

2021 年 4~9 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）： γ 谱核素分析（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ）测量结果均低于探测限。放化分析项目 ^{90}Sr 活度浓度范围 2.70~28.1mBq/L，最低值出现在 2021 年 4~7 月的镆铳岛，最高值出现在 2021 年 7~9 月的成山镇，2021 年 4~7 月均值为 13.4±7.2mBq/L，2021 年 7~9 月均值为 14.5±11.0mBq/L； ^3H 活度浓度范围为 0.32~0.65Bq/L，最低值出现在 2021 年 7~9 月的海工楼，最高值出现在 2021 年 4~7 月的成山镇，2021

年 4~7 月均值为 $0.55 \pm 0.07 \text{Bq/L}$ ，2021 年 7~9 月均值为 $0.45 \pm 0.09 \text{Bq/L}$ 。

(4) 空气 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 测量结果见表 3.1-21。

2021 年 4 月、7 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）： ^3H 活度浓度范围为 $2.64 \sim 15.1 \text{mBq/m}^3$ ($0.14 \sim 0.65 \text{Bq/L}$ 水)，最低值出现在 2021 年 7 月的成山镇，最高值出现在 2021 年 4 月的东钱家村，2021 年 4 月均值为 $7.77 \pm 4.53 \text{mBq/m}^3$ ($0.51 \pm 0.13 \text{Bq/L}$ 水)，2021 年 7 月均值为 $6.41 \pm 3.41 \text{mBq/m}^3$ ($0.29 \pm 0.14 \text{Bq/L}$ 水)。 ^{14}C 活度浓度范围为 $34.4 \sim 69.2 \text{mBq/m}^3$ ($0.20 \sim 0.38 \text{Bq/gC}$)，最低值出现在 2021 年 7 月的东钱家村，最高值出现在 2021 年 7 月的镆镲岛，2021 年 4 月均值为 $53.2 \pm 5.0 \text{mBq/m}^3$ ($0.29 \pm 0.03 \text{Bq/gC}$)，2021 年 7 月均值为 $58.3 \pm 14.3 \text{mBq/m}^3$ ($0.32 \pm 0.07 \text{Bq/gC}$)。 ^{131}I 活度浓度均低于探测限。

4) 非受纳水体、沉积物及水生生物测量结果

(1) 地表水测量结果见表 3.1-22。

2021 年 4 月、7 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）： γ 谱核素分析 (^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs) 测量结果均低于探测限。放化分析项目 ^{90}Sr 活度浓度范围为 $4.58 \sim 9.80 \text{mBq/L}$ ，最低值出现在 2021 年 7 月的南夏家水库，最高值出现在 2021 年 10 月的八河水库平行样品第二个结果，均值为 $6.97 \pm 1.90 \text{mBq/L}$ ； ^3H 活度浓度范围为 $0.40 \sim 0.63 \text{Bq/L}$ ，最低值出现在 2021 年 4 月的郭家水库，最高值出现在 2021 年 4 月的八河水库平行样品第二个结果和 2021 年 7 月的后龙河水库，均值为 $0.55 \pm 0.06 \text{Bq/L}$ ； ^{14}C 主要对八河水库和对照点后龙河水库开展测量，测量结果范围在 $3.04 \sim 5.12 \text{mBq/L}$ ($0.19 \sim 0.21 \text{Bq/gC}$)，最低值出现在 2021 年 7 月的八河水库，最高值出现在 2021 年 4 月的八河水库平行样品第二个结果，均值为 $4.52 \pm 0.86 \text{Bq/L}$ ($0.20 \pm 0.01 \text{Bq/gC}$)。

(2) 底泥测量结果见表 3.1-23。

2021 年 4 月、7 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前，其中 2021 年 4 月八河水库水位太高无法采集到样品，在 2021 年 7 月进行八河水库底泥采样）： γ 谱核素分析 (^{40}K 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U) 测量结果中， ^{238}U 活度浓度范围为 $21.5 \sim 37.5 \text{Bq/kg}$ ，最低值出现在八河水库平行样品第二个结果，最高值出现在后龙河水库，均值为 $29.6 \pm 7.3 \text{Bq/kg}$ ； ^{226}Ra 活度浓度范围为 $15.0 \sim 29.3 \text{Bq/kg}$ ，最低值出现在八河水库平行样品第一个结果，最高值出现在郭家水库，均值为 $22.8 \pm 6.6 \text{Bq/kg}$ ； ^{232}Th 活度浓度范围为

24.6~56.5Bq/kg, 最低值出现在八河水库平行样品第一个结果, 最高值出现在后龙河水库, 均值为 42.2 ± 16.0 Bq/kg; ^{40}K 活度浓度范围为 839~196Bq/kg, 最低值出现在八河水库平行样品第二个结果, 最高值出现在后龙河水库, 均值为 839 ± 196 Bq/kg; ^{137}Cs 仅在八河水库给出了测量结果, 均值为 0.64 ± 0.04 Bq/kg, 其它点位测量结果均低于探测限。放化分析项目 ^{90}Sr 活度浓度范围为 0.48~0.76Bq/kg, 最低值出现在南夏家水库, 最高值出现在八河水库平行样品第二个结果, 均值为 0.60 ± 0.11 Bq/kg。 $^{239+240}\text{Pu}$ 活度浓度范围为 0.035~0.065Bq/kg, 最低值出现在南夏家水库, 最高值出现在八河水库平行样品第二个结果, 均值为 0.053 ± 0.016 Bq/kg。

(3) 地下水测量结果表 3.1-24。

2021 年 4 月 (华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前): γ 谱核素分析 (^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs) 测量结果均低于探测限。放化分析项目 ^{90}Sr 活度浓度范围为 3.30~10.3mBq/L, 最低值出现在东钱家村, 最高值出现在宁津街道, 均值为 5.93 ± 3.21 mBq/L。 ^3H 活度浓度范围为 0.22~0.47Bq/L, 最低值出现在后海崖村, 最高值出现在东钱家村, 2021 年 4 月均值为 0.37 ± 0.11 Bq/L。

(4) 饮用水测量结果见表 3.1-25。

2021 年 4 月 (华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前): γ 谱核素分析 (^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs) 测量结果均低于探测限。放化分析项目总 α 东钱家村和东墩村分别为 0.043 ± 0.011 Bq/L 和 0.12 ± 0.02 Bq/L, 其余点位测量结果均低于探测限; 总 β 活度浓度范围为 0.14~0.30Bq/L, 最低值出现在东钱家村, 最高值出现在宁津街道, 均值为 0.20 ± 0.07 Bq/L; ^{90}Sr 活度浓度范围为 3.97~7.15mBq/L, 最低值出现在东钱家村, 最高值出现在湾头水库, 均值为 6.09 ± 1.83 mBq/L; ^3H 活度浓度范围为 0.29~0.73Bq/L, 最低值出现在东钱家村, 最高值出现在湾头水库, 均值为 0.53 ± 0.17 Bq/L; ^{14}C 活度浓度范围为 4.76~7.51mBq/L ($0.18 \sim 0.21$ Bq/gC), 最低值出现在宁津街道, 最高值出现在东钱家村, 均值为 6.37 ± 1.43 mBq/L (0.20 ± 0.02 Bq/gC)。

(5) 水生生物测量结果见表 3.1-26。

2021 年 4 月、7 月 (华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前): γ 谱核素分析 (^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs) 测量结果中, 2021 年 7 月水生植物 ^{137}Cs 测量结果为 0.14 ± 0.04 Bq/kg 鲜, 2021 年 4 月水生动物 ^{137}Cs 测量结果为

0.023±0.007Bq/kg 鲜,其余核素测量结果均低于探测限。2021 年 7 月水生植物 ^{90}Sr 测量结果为 0.59±0.01Bq/kg 鲜, 2021 年 4 月水生动物 ^{90}Sr 测量结果为 0.039±0.001Bq/kg 鲜。2021 年 7 月水生植物 ^{14}C 测量结果为 53.15±1.83Bq/kg 鲜 (0.20±0.01Bq/gC), 2021 年 4 月水生动物 ^{14}C 测量结果为 6.76±0.23Bq/kg 鲜 (0.20±0.01Bq/gC)。

5) 土壤测量结果

土壤测量结果见表 3.1-27。

2021 年 4 月(华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前): γ 谱核素分析 (^{40}K 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U) 测量结果中, ^{238}U 活度浓度范围为 12.7~99.1Bq/kg, 最低值出现在成山镇, 最高值出现在港湾街道, 2021 年 4 月均值为 41.5±20.1Bq/kg; ^{226}Ra 活度浓度范围为 9.28~97.9Bq/kg, 最低值出现在宁津养殖二厂, 最高值出现在港湾街道, 2021 年 4 月均值为 37.0±18.1Bq/kg; ^{232}Th 活度浓度范围为 14.5~223Bq/kg, 最低值出现在宁津养殖二厂, 最高值出现在港湾街道, 2021 年 4 月均值为 69.2±41.2Bq/kg; ^{40}K 活度浓度范围为 632~1530Bq/kg, 最低值出现在崂山街道, 最高值出现在鞠家村, 2021 年 4 月均值为 1085±217Bq/kg; ^{137}Cs 活度浓度范围为<LLD~2.31Bq/kg, 最高值出现在小河东村, 2021 年 4 月均值为 1.76±0.69Bq/kg, 其余核素测量结果均低于探测限。放化分析项目 ^{90}Sr 活度浓度范围为 0.42~1.86Bq/kg, 最低值出现在宁津街道平行样品的第一个结果, 最高值出现在鞠家村, 2021 年 4 月均值为 0.91±0.32Bq/kg; $^{239+240}\text{Pu}$ 活度浓度范围为 0.020~0.11Bq/kg, 最低值出现在宁津养殖二厂, 最高值出现在小河东村, 2021 年 4 月均值为 0.055±0.024Bq/kg。

6) 陆生生物测量结果

陆生生物测量结果见表 3.1-28。

2021 年 4 月、7 月(华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前): γ 谱核素分析 (^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs) 测量结果中, ^{137}Cs 大部分样品的测量结果高于探测限, 其余核素测量结果均低于探测限。松针的测量结果最高, 小麦、鸡肉等测量结果低于探测限。放化分析项目有机氚活度浓度范围为<LLD~0.92Bq/kg (鲜重), 玉米中最高, 肉类样品均低于探测限; ^{14}C 活度浓度范围为 6.76~82.21Bq/kg (鲜重), 粮食作物的测量结果相对较高, 葱和豆角的测量结果较低; 自由水氚因为小麦、玉米、松针含水量过低无法给出测量结果。

7) 海水、海洋沉积物、海洋生物测量结果

(1) 海水测量结果见表 3.1-29。

2021 年 4 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）： γ 谱核素分析（ ^{40}K 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra ）测量结果中， ^{40}K 测量结果活度浓度范围为 9.58~12.7Bq/L，最低值出现在 2021 年 4 月的海水 11# 采样点，最高值出现在 2021 年 4 月的海水 3# 采样点，2021 年 4 月均值为 $11.0\pm 1.0\text{Bq/L}$ ， ^{137}Cs 测量结果活度浓度范围 1.01~1.61mBq/L，最低值出现在海水 7# 点和养参池，最高值出现在海水 14# 点，2021 年 4 月均值为 $1.23\pm 0.18\text{mBq/L}$ ； ^{226}Ra 测量结果活度浓度范围 2.38~7.70mBq/L，最低值出现在海水 10# 点，最高值出现在海水 14# 点，2021 年 4 月均值为 $4.72\pm 1.69\text{mBq/L}$ ，其它核素测量结果均低于探测限。放化分析项目（总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C ）测量结果中，总 β 测量结果活度浓度范围 8.12~14.7Bq/L，最低值出现在海水 13# 点，最高值出现在排水口第二个平行样品，2021 年 4 月均值为 $11.6\pm 1.9\text{Bq/L}$ ； ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.67~2.92mBq/L，最低值出现在海水 9# 点，最高值出现在取水口，2021 年 4 月均值为 $0.96\pm 0.63\text{mBq/L}$ ； ^3H 活度浓度范围为 0.25~0.48Bq/L，最低值出现在 2021 年 4 月的海水 13# 采样点，最高值出现在 2021 年 4 月的取水口采样点，2021 年 4 月均值为 $0.36\pm 0.06\text{Bq/L}$ ； ^{14}C 活度浓度范围为 2.84~5.63mBq/L，最低值出现在 2021 年 4 月的海水 9# 采样点，最高值出现在 2021 年 4 月的海水 13# 采样点，2021 年 4 月均值为 $5.03\pm 0.74\text{mBq/L}$ ；总 α 测量结果均低于探测限。

(2) 海洋沉积物测量结果见表 3.1-30。

2021 年 4 月采样时由于厂址附近海域进行过清淤，包括排水口在内的 7 个点位无法采集到沉积物样品，9 月份第二次采样时全部采集。

2021 年 4、9 月（华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前）： γ 谱核素分析（ ^{40}K 、 ^{54}Mn 、 ^{65}Zn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U ）测量结果中， ^{238}U 的活度浓度范围为 19.4~33.4Bq/kg，最低值出现在 9# 点，最高值出现 4# 点，第一年度均值为 $27.6\pm 4.2\text{Bq/kg}$ ； ^{226}Ra 的活度浓度范围为 16.6~29.7Bq/kg，最低值出现在 9# 点，最高值出现在排水口北侧潮间带，第一年度均值为 $22.4\pm 3.5\text{Bq/kg}$ ； ^{232}Th 的活度浓度范围为 23.1~51.0Bq/kg，最低值出现在 9# 点，最高值出现在排水口北侧潮间带，第一年度均值为 $34.3\pm 6.5\text{Bq/kg}$ ； ^{40}K 的活度浓度范围为 498~1030Bq/kg，最低值出现在 9# 点，最高值出现在排水

口北侧潮间带，第一年度均值为 $700 \pm 114 \text{Bq/kg}$ ； ^{137}Cs 的活度浓度范围为 $< \text{LLD} \sim 2.85 \text{Bq/kg}$ ，7#点和排水口北侧潮间带测量结果低于探测限，最高值出现在排水口南侧潮间带，第一年度均值为 $2.85 \pm 0.56 \text{Bq/kg}$ ；其它核素测量结果均低于探测限。放化分析项目（ ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ ）测量结果中， ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.34 \sim 3.59 \text{Bq/kg}$ ，最低值出现在 7#点，最高值出现在 9#点，第一年度均值为 $1.45 \pm 0.83 \text{Bq/kg}$ ； $^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围为 $0.033 \sim 0.13 \text{Bq/kg}$ ，最低值出现在北侧潮间带，最高值出现在 3#点，第一年度均值为 $0.076 \pm 0.027 \text{Bq/kg}$ 。

(3) 海洋生物测量结果见表 3.1-31。

2021 年 4 月、7 月 γ 谱核素分析（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ）测量结果中， ^{137}Cs 大部分样品的测量结果高于探测限，鱼类相对较高，甲壳类（白对虾）较低，其余核素测量结果均低于探测限。放化分析项目（ ^{90}Sr 、自由水氡、有机氡、 ^{14}C ）测量结果中， ^{90}Sr 、自由水氡、有机氡（大部分样品）、 ^{14}C 测量结果高于探测限； ^{90}Sr 海带测量结果较高，对虾、牡蛎和梭鱼结果较低；自由水氡的测量结果较为平均，扇贝、海参相对较高，鱼类相对较低；有机氡鱼类测量结果相对较高，其它品种较低，其中牡蛎、扇贝测量结果低于探测限； ^{14}C 的测量结果较为平均，鱼类相对较高，海参和扇贝较低。

3.1.2.5 辐射环境现状调查质量保证

1) 样品采集、预处理及运输过程的质量控制

放射性环境现状调查涉及到的样品采集和预处理按照中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心的有关作业指导书进行，按照相关操作规范采集完成并做好标识的样品按照样品的特性进行适当的包装，在运输前认真填写样品清单，清点样品，并且检查包装是否符合要求，然后用厢式货车公路运输样品到实验室，样品送达实验室后，接样人员和送样人员清点样品，并在样品清单上签字，将样品有条理的放置在样品室的未检区，分析人员按规定领取样品，及时分析测量。

2) 仪器设备的控制

(1) 现场采样设备的控制

- 用于采样和分析的仪器设备，按照国家计量法的要求进行检定/校准后在有效期内使用。
- 对多台同样的设备按仪器编号标识，防止混用。

- 仪器经长途运输到达现场后，工作人员首先查看仪器外形是否有损伤、变形，异常部位着重检查，以消除隐患。经外观确认正常后，通电检查，按照说明书上的技术要求操作，查看仪器是否工作正常。
- 现场仪器经运输后，使用前经检验，确认其性能良好后使用，并做好记录。
- 仪器、采样器和样品容器经常维护，保持清洁，防止交叉污染。
- 仪器维修后重新检定合格后使用。

(2) 测量装置的检定

所有对分析测试结果的准确性和有效性有影响的计量器具或检测设备，均由计量部门或其授权单位进行校准或检定，以保证检测测量值具有溯源性。表 3.1-32 列出放射性环境现状调查使用的主要仪器和设备的检定情况。

(3) 放射性测量装置的刻度和性能检验

- γ 谱仪：在每次开机后、关机前或仪器连续运行一个月以上时测量 γ 谱仪的本底、效率和稳定性（峰位）并绘制质控图。
- α/β 测量仪：采用中国计量科学研究院提供的 ^{241}Am 粉末标准物质制成与待测样品相同形式的标准源标定仪器的总 α 探测效率；采用中国计量科学研究院提供的 ^{40}K 粉末标准物质制成与待测样品相同形式的标准源标定仪器的总 β 探测效率。 α/β 测量仪连续运行一段时间后，测量本底，并绘制质控图。
- α 谱仪：在每次开机后、关机前或仪器连续运行一个月以上时测量 α 谱仪的本底、效率和能量（峰位）并绘制质控图。
- 液闪谱仪：液闪谱仪在测量样品前或仪器运行一段时间后，测量本底和效率，并绘制质控图。

3) 测量分析实施过程控制

(1) 实验室分析测量的控制

实验室在 2021 年参加了国际原子能机构组织的国际比对 IAEA-TEL-2021-04，通过比对对实验室的测量分析进行了质量控制。

(2) 平行样品的测量

放射性环境现状调查实施过程中，分别对地表水、底泥、土壤、陆生生物、海水、海洋沉积物、海洋生物等种类的样品采集了平行样，平行样品从样品的采

集、预处理到分析测量与其余样品完全相同，平行样品的相对偏差符合表 3.1-33 的要求。

3.1.3 辐射环境质量评价

3.1.3.1 厂址周边核与辐射设施情况

截止 2021 年 9 月 26 日，厂址半径 30km 范围内除位于同一核电厂址的高温气冷堆示范工程外无其它核设施。厂址半径 30km 范围内无铀、钍矿设施。厂址半径 15km 范围内无人为活动引起天然辐射照射增加的设施（NORM 设施）、同位素生产单位和非密封放射性同位素应用单位，厂址半径 5km 范围内无 I 类和 II 类放射源应用单位，中国核工业二三建设有限公司国和一号示范工程项目部使用的 II 类放射源主要用于本工程施工期无损检测探伤工作。

3.1.3.2 厂址辐射环境现状调查情况

2021 年 4 月~9 月的放射性环境现状调查工作完成 γ 辐射剂量率、 γ 辐射累积剂量测量工作以及空气（气溶胶、沉降灰、降水）、非受纳水体（地表水、底泥、地下水、饮用水、水生生物）、土壤、陆生生物以及海水、沉积物和海洋生物的采样分析工作。

1) γ 辐射剂量率、 γ 辐射累积剂量

根据 20 世纪 80 年代“全国环境天然放射性水平调查研究”，山东省的辐射剂量率范围（扣除宇宙射线）原野是 16.9~162.6nGy/h，道路是 10.3~204.1nGy/h。调查结果与其基本相符。与 2010 年放射性环境本底调查和 2014~2016 年放射性环境本底调查相比， γ 辐射剂量率测量结果基本吻合，累积剂量结果较 2014~2016 年放射性环境本底调查有所升高。

2) 空气

与 2010 年放射性环境本底调查和 2014~2016 年放射性环境本底调查相比，气溶胶中的 ^7Be 和 ^{90}Sr 测量结果基本吻合。

与 2014~2016 年放射性环境本底调查相比，沉降灰中的 ^{90}Sr 测量结果基本吻合。 ^{137}Cs 测量结果高于探测限。

与 2010 年放射性环境本底调查和 2014~2016 年放射性环境本底调查相比，空气中的 ^3H 和 ^{14}C 测量结果以及降水中的 ^3H 和 ^{90}Sr 测量结果基本吻合，测量结果略微偏差属环境正常本底涨落。

3) 非受纳水体、沉积物及水生生物

与 2014~2016 年放射性环境本底调查相比,地表水中的 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{90}Sr 测量结果、地下水中的 ^{90}Sr 测量结果、饮用水中的总 α 、总 β 、 ^3H 和 ^{90}Sr 测量结果符合性较好,未发现异常数据。

与 2014~2016 年放射性环境本底调查相比,底泥中的 γ 谱测量结果符合性较好, ^{90}Sr 略有偏差但也在正常的本底涨落范围内。

水生生物中的 ^{137}Cs 测量结果高于探测限,其余核素测量结果均低于探测限。

4) 土壤

根据 20 世纪 80 年代“全国环境天然放射性水平调查研究”,山东省土壤中天然放射性核素测量结果: ^{238}U 为 15.7~90.1Bq/kg, ^{226}Ra 为 9.8~50.0Bq/kg, ^{232}Th 为 20.8~202.0Bq/kg, ^{40}K 为 391.7~1870Bq/kg, 调查结果与其基本相符。与 2014~2016 年放射性环境本底调查相比,土壤中的 γ 谱分析、 ^{90}Sr 和 $^{239+240}\text{Pu}$ 测量结果符合性较好。

5) 陆生生物

海洋生物中的 ^{14}C 、有机氚(大部分样品)、 ^{37}Cs (大部分样品)测量结果高于探测限,其余核素测量结果均低于探测限,自由水氚因为小麦、玉米、松针含水量过低无法给出测量结果。

6) 海水、海洋沉积物、海洋生物

与 2014~2016 年放射性环境本底调查相比,海水中的 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^3H 和 ^{14}C 测量结果、海洋沉积物中的 γ 谱分析、 ^{90}Sr 和 $^{239+240}\text{Pu}$ 测量结果符合性较好,未发现异常数据。

海洋生物中的 ^{137}Cs (大部分样品)、 ^{90}Sr 、自由水氚、有机氚(大部分样品)、 ^{14}C 测量结果高于探测限,其余核素测量结果均低于探测限。

3.1.3.3 厂址辐射环境现状调查结论

2021 年 4 月~9 月的放射性环境现状调查工作完成 γ 辐射剂量率、 γ 辐射累积剂量测量工作以及空气(气溶胶、沉降灰、降水)、非受纳水体(地表水、底泥、地下水、饮用水、水生生物)、土壤、陆生生物以及海水、沉积物和海洋生物的采样分析工作,除沉降灰外, γ 辐射剂量率及环境介质放射性水平处于放射性环境本底水平,沉降灰中 ^{137}Cs 测量结果高于探测限。

表 3.1-1 运行前辐射环境现状调查方案

| 序号 | 调查对象 | | 监测项目 | 监测频度 | 调查范围 | 采样点数 | 样品个数 | 平行样品数 | 总个数 |
|----|--------|---------|--|---------|------|------|------|-------|-----|
| 1 | 环境贯穿辐射 | 地表 | γ 辐射剂量率 | 1 次/季 | 50km | 81 | 640 | 0 | 640 |
| | | | 累积剂量 | 1 次/季 | 50km | 50 | 400 | 0 | 400 |
| | | | 连续剂量率 | 连续 | 10km | 2 | 2 | 0 | 2 |
| 2 | 土壤 | 表层土 | γ 谱、 ^{90}Sr | 1 次/年 | 20km | 25 | 50 | 6 | 56 |
| | | | $^{239+240}\text{Pu}$ | 1 次/年 | 20km | 11 | 22 | 2 | 26 |
| 3 | 空气 | 气溶胶 | γ 谱、 ^{90}Sr | 1 次/季 | 10km | 5 | 40 | 0 | 40 |
| | | 沉降物 | γ 谱、 ^{90}Sr | 1 次/季 | 10km | 5 | 40 | 0 | 40 |
| | | 降水 | γ 谱、 ^3H 、 ^{90}Sr | 1 次/季 | 10km | 5 | 40 | 2 | 42 |
| | | 气体 | ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I | 1 次/季 | 10km | 5 | 40 | 0 | 40 |
| 4 | 陆地水体 | 饮用水+水源水 | γ 谱、总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C | 2 次/年 | 5km | 4 | 16 | 0 | 16 |
| | | 地下水 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C | 2 次/年 | 5km | 4 | 16 | 0 | 16 |
| | | 地表水 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C | 2 次/年 | 10km | 4 | 16 | 4 | 20 |
| | | 地表水沉积物 | γ 谱、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{90}Sr | 2 次/年 | 10km | 4 | 16 | 4 | 20 |
| | | 水生植物 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C | 1 次/收获期 | 10km | 2 | 4 | 1 | 5 |
| | | 水生动物 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C | 1 次/年 | 10km | 2 | 4 | 0 | 4 |
| 5 | 陆生生物 | 粮食类 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氚+自由水氚 | 1 次/收获期 | 20km | 4 | 8 | 1 | 9 |
| | | 蔬菜类 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氚+自由水氚 | 1 次/收获期 | 20km | 4 | 8 | 1 | 9 |
| | | 水果类 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氚+自由水氚 | 1 次/收获期 | 20km | 2 | 4 | 1 | 5 |
| | | 松针 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氚+自由水氚 | 1 次/收获期 | 20km | 1 | 1 | 1 | 2 |
| | | 花生 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氚+自由水氚 | 1 次/收获期 | 20km | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | | 鸡肉 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氚+自由水氚 | 1 次/年 | 20km | 1 | 1 | 1 | 2 |
| | | 猪肉 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氚+自由水氚 | 1 次/年 | 20km | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | | 牛奶 | ^{131}I | 1 次/半年 | 10km | 1 | 4 | 0 | 4 |

| | | | | | | | | | |
|---|------|-----|--|---------|------|-----|------|----|------|
| 6 | 受纳水体 | 海水 | 总 α 、总 β 、 γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I | 1 次/半年 | 10km | 15 | 60 | 4 | 64 |
| | | 沉积物 | γ 谱、 ^{90}Sr | 1 次/年 | 10km | 17 | 34 | 2 | 36 |
| | | | $^{239+240}\text{Pu}$ | 1 次/年 | 10km | 17 | 34 | 2 | 36 |
| | | 海带 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氙+自由水氙 | 1 次/收获期 | 10km | 2 | 4 | 1 | 5 |
| | | 鱼类 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氙+自由水氙 | 1 次/年 | 10km | 3 | 16 | 2 | 18 |
| | | 海参 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氙+自由水氙 | 1 次/年 | 10km | 1 | 2 | 0 | 2 |
| | | 贝类 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氙+自由水氙 | 1 次/年 | 10km | 2 | 2 | 2 | 4 |
| | | 甲壳类 | γ 谱、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、有机氙+自由水氙 | 1 次/年 | 10km | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | 合计 | / | / | / | / | 262 | 1498 | 36 | 1535 |

表 3.1-2 地表 γ 辐射剂量率、累积剂量测量点位

| 序号 | 点位名称 | 方位 | 距离 (km) | 海拔 (m) | 测量项目 | 地表描述 |
|----|----------|-----|---------|--------|---------------|------|
| 1 | 海工楼 | E | 0.918 | 20 | 连续剂量率和累积剂量、土壤 | 碎石 |
| 2 | 国核厂区大门 | W | 1.44 | 14 | 剂量率和累积剂量 | 草地 |
| 3 | 华能施工生活区 | WNW | 1.16 | 23 | 剂量率和累积剂量 | 草地 |
| 4 | 华能核电厂区大门 | NNE | 2.29 | 13 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 草地 |
| 5 | 东钱家村 | NNE | 2.28 | -3 | 连续剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 6 | 小河东村 | N | 1.77 | 4 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 水泥 |
| 7 | 西钱家村 | N | 2.15 | -4 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 水泥 |
| 8 | 周庄村 | NNW | 1.64 | 5 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 水泥 |
| 9 | 所前杜家村 | NW | 1.95 | 20 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 草地 |
| 10 | 所前王家村 | WNW | 1.59 | 16 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 11 | 季家村 | E | 2.03 | 31 | 剂量率 | 土地 |
| 12 | 东墩村 | WSW | 1.48 | 17 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 草地 |
| 13 | 南泊村 | SW | 1.86 | 4 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 水泥 |
| 14 | 宁津养殖二厂 | S | 4.19 | 0 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 15 | 好当家渔场 | SSW | 1.75 | 11 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 16 | 所东王家村 | N | 3.45 | 13 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 17 | 止马滩村 | N | 3.73 | 8 | 剂量率 | 沥青 |
| 18 | 所后王家村 | NNW | 3.31 | 16 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 19 | 所后卢家村 | NNW | 3.70 | 15 | 剂量率 | 草地 |
| 20 | 华东乐园 | SSW | 4.37 | 0 | 剂量率 | 草地 |
| 21 | 小岔河村 | NW | 2.35 | 26 | 剂量率 | 土地 |
| 22 | 宁津街道 | NNW | 2.87 | 39 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 23 | 吉屯村 | NW | 4.67 | 15 | 剂量率和累积剂量 | 田地 |

| 序号 | 点位名称 | 方位 | 距离 (km) | 海拔 (m) | 测量项目 | 地表描述 |
|----|-------|-----|---------|--------|-------------|------|
| 24 | 大岔河村 | WNW | 2.00 | 23 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 25 | 鞠家村 | WNW | 3.63 | 41 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 田地 |
| 26 | 北场村 | W | 3.15 | 47 | 剂量率 | 草地 |
| 27 | 东苏家村 | WSW | 2.25 | 57 | 剂量率 | 草地 |
| 28 | 南夏家村 | WSW | 3.74 | 36 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 29 | 苑家村 | WSW | 4.21 | 25 | 剂量率 | 草地 |
| 30 | 南港头村 | SW | 2.66 | 23 | 剂量率和累积剂量 | 水泥 |
| 31 | 东南海村 | SW | 4.69 | 10 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 32 | 后海崖村 | S | 5.13 | 6 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 沥青 |
| 33 | 马栏耩村 | NNE | 5.12 | 6 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 34 | 黄山养殖场 | NNE | 7.48 | 0 | 剂量率 | 水泥 |
| 35 | 东楮岛村 | NNE | 9.06 | 3 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 36 | 林家流村 | N | 6.26 | -2 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 37 | 马家寨村 | NNW | 6.45 | 8 | 剂量率和累积剂量 | 草地 |
| 38 | 后港头村 | NW | 5.50 | 10 | 剂量率 | 土地 |
| 39 | 八河姚家村 | NW | 8.64 | -5 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 草地 |
| 40 | 八里王家村 | WNW | 7.98 | -3 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 41 | 甲子山村 | WNW | 5.42 | 36 | 剂量率 | 草地 |
| 42 | 东山街道 | W | 6.61 | -8 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 地砖 |
| 43 | 沟王家村 | W | 8.16 | 22 | 剂量率 | 土地 |
| 44 | 桃园街道 | WSW | 7.78 | 12 | 剂量率和累积剂量 | 水泥 |
| 45 | 嘉和社区 | WSW | 7.23 | 28 | 剂量率 | 水泥 |
| 46 | 凤凰湖 | WSW | 9.97 | -11 | 剂量率和累积剂量 | 草地 |
| 47 | 岛西庄村 | S | 6.47 | 9 | 剂量率和累积剂量 | 水泥 |

| 序号 | 点位名称 | 方位 | 距离 (km) | 海拔 (m) | 测量项目 | 地表描述 |
|----|------|-----|---------|--------|-------------|------|
| 48 | 吕家庄村 | S | 6.84 | 18 | 剂量率 | 土地 |
| 49 | 崂山街道 | NNW | 16.5 | 12 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 草地 |
| 50 | 罗家庄村 | NW | 13.7 | 27 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 51 | 桑梓村 | NW | 18.8 | 47 | 剂量率 | 水泥 |
| 52 | 西慕家村 | WNW | 12.3 | 36 | 剂量率 | 草地 |
| 53 | 滕家镇 | WNW | 17.9 | 5 | 剂量率和累积剂量 | 水泥 |
| 54 | 王连街道 | W | 13.6 | 6 | 剂量率和累积剂量 | 地砖 |
| 55 | 桥头庄村 | W | 18.5 | 36 | 剂量率 | 土地 |
| 56 | 斥山街道 | WSW | 11.7 | -11 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 57 | 古楼村 | WSW | 17.8 | 33 | 剂量率 | 水泥 |
| 58 | 港湾街道 | SW | 13.5 | 23 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 水泥 |
| 59 | 玄镇村 | SW | 17.7 | 1 | 剂量率 | 水泥 |
| 60 | 碌对岛 | NNW | 18.1 | 21 | 剂量率 | 草地 |
| 61 | 寻山街道 | N | 23.2 | 7 | 剂量率和累积剂量 | 草地 |
| 62 | 俚岛镇 | N | 31.4 | 14 | 剂量率 | 地砖 |
| 63 | 成山镇 | N | 46.5 | 7 | 剂量率和累积剂量、土壤 | 土地 |
| 64 | 荣成市 | NNW | 26.1 | 63 | 剂量率和累积剂量 | 地砖 |
| 65 | 埠柳镇 | NNW | 42.4 | 26 | 剂量率 | 沥青 |
| 66 | 崖西镇 | NNW | 34.1 | 93 | 剂量率 | 沥青 |
| 67 | 大疃镇 | NW | 24.5 | 64 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 68 | 荫子镇 | NNW | 30.8 | 104 | 剂量率 | 水泥 |
| 69 | 大水泊镇 | NW | 35.5 | 49 | 剂量率 | 沥青 |
| 70 | 高村镇 | WNW | 31.4 | 13 | 剂量率 | 土地 |
| 71 | 张家产镇 | WNW | 40.6 | 44 | 剂量率和累积剂量 | 草地 |

| 序号 | 点位名称 | 方位 | 距离 (km) | 海拔 (m) | 测量项目 | 地表描述 |
|----|-----------|-----|---------|--------|----------|------|
| 72 | 文登市 | WNW | 44.6 | 56 | 剂量率 | 地砖 |
| 73 | 上庄镇 | W | 21.2 | 16 | 剂量率和累积剂量 | 沥青 |
| 74 | 虎山镇 | W | 25.1 | 39 | 剂量率 | 地砖 |
| 75 | 侯家镇 | W | 38.5 | 20 | 剂量率 | 沥青 |
| 76 | 人和镇 | WSW | 21.6 | 1 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 77 | 沙窝岛村 | WSW | 31.2 | 1 | 剂量率 | 水泥 |
| 78 | 朱口村 | SW | 20.9 | 3 | 剂量率和累积剂量 | 地砖 |
| 79 | 龙须岛村 | NNE | 49.6 | -5 | 剂量率和累积剂量 | 沥青 |
| 80 | 崮山镇 (对照点) | NNW | 55.3 | 21 | 剂量率和累积剂量 | 土地 |
| 81 | 八河水库 | NW | 10.7 | -16 | 宇宙射线测量 | 淡水水面 |

表 3.1-3 空气采样点位

| 序号 | 采样点 | 方位 | 距离 (km) | 备注 |
|----|------|-----|---------|--------|
| 1 | 海工楼 | E | 0.824 | 厂区 |
| 2 | 东钱家村 | NNE | 2.45 | 关键居民组 |
| 3 | 宁津街道 | NW | 2.72 | 人员密集处 |
| 4 | 镆铳岛 | S | 5.65 | 主导风下风向 |
| 5 | 成山镇 | N | 46.5 | 对照点 |

表 3.1-4 非受纳水体、沉积物及水生生物采样点位

| 监测项目 | 采样点 | 方位 | 距离 (km) |
|----------|------------|-----|---------|
| 地表水 (底泥) | 八河水库 | NW | 11.7 |
| | 南夏家水库 | NW | 4.16 |
| | 郭家水库 | WSW | 13.7 |
| | 后龙河水库 | NNW | 29.5 |
| 地下水 | 东钱家村 | NNE | 2.23 |
| | 宁津街道 | NW | 2.72 |
| | 东墩村 | WSW | 1.27 |
| | 后海崖村 | S | 5.05 |
| 饮用水 | 东钱家村 | NNE | 2.28 |
| | 宁津街道 | NW | 3.16 |
| | 东墩村 | WSW | 1.48 |
| | 后海崖村 | S | 5.82 |
| | 湾头水库 (水源地) | NW | 23.2 |
| 白鲢鱼 | 八河水库 | NW | 11.7 |
| 水草 | 后龙河水库 | NNW | 29.5 |

表 3.1-5 陆生生物采样点位

| 名称 | 采样点位 | 方位 | 距离 (km) |
|----|-------------|-----|---------|
| 小麦 | 宁津街道东墩村 | WSW | 1.27 |
| 小麦 | 东山街道龙山前村 | WNW | 9.55 |
| 玉米 | 宁津街道于家村 | NNW | 1.97 |
| 玉米 | 宁津街道东钱家村 | NNE | 2.23 |
| 白菜 | 宁津街道卢家庄村 | NW | 2.72 |
| 豆角 | 宁津街道于家村 | NNW | 1.97 |
| 葱 | 宁津街道东钱家村 | NNE | 2.23 |
| 苹果 | 宁津街道富甲山庄 | NW | 3.53 |
| 苹果 | 崂山街道宁家村 | NW | 15.8 |
| 牛奶 | 超市 (嘉盛乳业生产) | / | / |
| 猪肉 | 宁津街道南港头村 | SW | 2.78 |
| 鸡肉 | 宁津街道于家村 | NNW | 1.97 |
| 松针 | 宁津街道大岔河村村口 | NW | 1.88 |
| 花生 | 宁津街道南泊村 | SW | 1.83 |

表 3.1-6 海水、海洋沉积物采样点位

| 序号 | 方位 | 距离 |
|-------|-----|------|
| 取水口 | NNW | 1.76 |
| 排水口 | / | / |
| 3#点 | NE | 1.84 |
| 4#点 | N | 4.73 |
| 5#点 | NNW | 8.91 |
| 6#点 | NNE | 7.03 |
| 7#点 | NNE | 2.89 |
| 8#点 | SSE | 2.17 |
| 9#点 | SSW | 4.12 |
| 10#点 | S | 6.44 |
| 11#点 | SE | 3.67 |
| 12#点 | ESE | 7.77 |
| 13#点 | E | 3.07 |
| 14#点 | ENE | 4.27 |
| 养参池 | WSW | 1.65 |
| 北侧潮间带 | NW | 2.56 |
| 南侧潮间带 | SSW | 5.72 |

注：方位距离为相对于排水口的方位距离。

表 3.1-7 海洋生物采样点位

| 样品名称 | 当地名称 | 采样地点 | 方位 | 距离 (km) |
|------|------|---------|-----|---------|
| 马鲛鱼 | 鲅鱼 | 东楮岛渔港 | N | 7.96 |
| 梭鱼 | 梭鱼 | 排水口东侧海域 | ESE | 10.6 |
| 扇贝 | 扇贝 | 林家流村 | NNW | 6.00 |
| 牡蛎 | 海蛎子 | 弘运码头 | SW | 9.50 |
| 白对虾 | 白对虾 | 止马滩村 | NW | 8.90 |
| 海参 | 海参 | 岛西庄村 | SSW | 7.91 |
| 海带 | 海带 | 排水口东侧海域 | ENE | 3.00 |
| 海带 | 海带 | 宁津养殖二场 | SW | 3.27 |
| 白姑鱼 | 白姑鱼 | 弘运码头 | SW | 9.50 |

注：方位距离为相对于排水口的方位距离。

表 3.1-8 热释光剂量计现场布设情况

| 序号 | 点位名称 | 布设时间 (h) | |
|----|----------|--------------|--------------|
| | | 2021 年 4~7 月 | 2021 年 7~9 月 |
| 1 | 海工楼 | 丢失 | 1493.78 |
| 2 | 国核厂区大门 | 2129.35 | 1414.68 |
| 3 | 华能施工生活区 | 2143.55 | 1529.65 |
| 4 | 华能核电厂区边界 | 2207.10 | 1529.88 |
| 5 | 东钱家村 | 2143.05 | 1554.88 |
| 6 | 小河东村 | 2181.67 | 1554.65 |
| 7 | 西钱家村 | 2116.72 | 1554.95 |
| 8 | 周庄村 | 丢失 | 1626.47 |
| 9 | 所前杜家村 | 2110.17 | 1553.42 |
| 10 | 所前王家村 | 2181.75 | 1439.52 |
| 11 | 东墩村 | 2182.17 | 1518.60 |
| 12 | 南泊村 | 2231.68 | 1440.13 |
| 13 | 宁津养殖二厂 | 2118.67 | 1509.20 |
| 14 | 好当家渔场 | 2118.38 | 1416.13 |
| 15 | 所东王家村 | 2143.62 | 1483.72 |
| 16 | 所后王家村 | 2139.50 | 1503.33 |
| 17 | 宁津街道 | 2209.67 | 1503.25 |
| 18 | 吉屯村 | 2305.50 | 1488.45 |
| 19 | 大岔河村 | 2225.83 | 1553.60 |
| 20 | 鞠家村 | 丢失 | 1527.90 |
| 21 | 南夏家村 | 2191.58 | 1518.75 |
| 22 | 南港头村 | 2231.73 | 1518.62 |
| 23 | 东南海村 | 2231.82 | 1518.27 |
| 24 | 后海崖村 | 2232.25 | 1509.22 |
| 25 | 马栏耩村 | 2118.30 | 1483.67 |
| 26 | 东楮岛村 | 2326.00 | 1416.80 |
| 27 | 林家流村 | 2393.60 | 1487.05 |
| 28 | 马家寨村 | 2323.92 | 1487.83 |
| 29 | 八河姚家村 | 丢失 | 1487.60 |
| 30 | 八里王家村 | 2323.88 | 丢失 |
| 31 | 东山街道 | 2327.93 | 1455.87 |
| 32 | 桃园街道 | 2216.78 | 1479.48 |
| 33 | 凤凰湖 | 2311.12 | 1480.17 |
| 34 | 岛西庄村 | 2306.67 | 1440.32 |
| 35 | 崂山街道 | 2118.93 | 1411.82 |
| 36 | 罗家庄村 | 2162.83 | 1360.68 |
| 37 | 滕家镇 | 2213.90 | 1439.30 |
| 38 | 王连街道 | 2186.28 | 1439.12 |
| 39 | 斥山街道 | 2186.63 | 1392.02 |

| 序号 | 点位名称 | 布设时间 (h) | |
|------|-----------|-----------|-----------|
| | | 2021年4~7月 | 2021年7~9月 |
| 40 | 港湾街道 | 2304.63 | 1392.08 |
| 41 | 寻山街道 | 丢失 | 1411.45 |
| 42 | 成山镇 | 2308.75 | 1412.67 |
| 43 | 荣成市 | 2308.50 | 1413.80 |
| 44 | 大疃镇 | 2307.10 | 1392.27 |
| 45 | 张家产镇 | 2233.15 | 1392.38 |
| 46 | 上庄镇 | 2305.10 | 1392.25 |
| 47 | 人和镇 | 2305.20 | 1392.13 |
| 48 | 朱口村 | 2304.53 | 1392.42 |
| 49 | 龙须岛村 | 丢失 | 1411.62 |
| 50 | 崮山镇 (对照点) | 2308.20 | 丢失 |
| 丢失个数 | | 6 | 2 |
| 回收率 | | 88% | 96% |

表 3.1-9 气溶胶采样情况

| 采样时间 | 采样地点 | 采样开始时间 | 采样结束时间 | 采样标况体积 (m ³) |
|------------|------|------------------|------------------|-----------------------------|
| 2021 年 4 月 | 海工楼 | 2021.04.19 15:30 | 2021.04.29 16:54 | 6286.74 |
| | 东钱家村 | 2021.04.20 09:35 | 2021.04.28 15:28 | 9832.75 |
| | 宁津街道 | 2021.04.20 18:17 | 2021.04.28 14:15 | 10741.84 |
| | 镬钵岛 | 2021.04.20 10:14 | 2021.04.28 16:40 | 9807.05 |
| | 成山镇 | 2021.04.19 16:20 | 2021.04.28 18:45 | 10958.24 |
| 2021 年 7 月 | 海工楼 | 2021.07.21 10:10 | 2021.07.29 15:22 | 9452.95 |
| | 东钱家村 | 2021.07.22 16:00 | 2021.07.31 14:40 | 11333.96 |
| | 宁津街道 | 2021.07.21 11:40 | 2021.07.29 18:06 | 10559.30 |
| | 镬钵岛 | 2021.07.23 10:30 | 2021.07.31 14:10 | 9916.94 |
| | 成山镇 | 2021.07.21 16:30 | 2021.07.31 10:30 | 12435.07 |

表 3.1-10 沉降灰、降水采样情况

| 采样时间 | 采样地点 | 采样开始日期 | 采样结束日期 | 采样天数 |
|--------------|------|------------|------------|------|
| 2021 年 4~7 月 | 海工楼 | 2021.04.19 | 2021.07.23 | 95 |
| | 东钱家村 | 2021.04.20 | 2021.07.22 | 93 |
| | 宁津街道 | 2021.04.20 | 2021.07.21 | 92 |
| | 镬钵岛 | 2021.04.20 | 2021.07.22 | 93 |
| | 成山镇 | 2021.04.19 | 2021.07.21 | 93 |
| 2021 年 7~9 月 | 海工楼 | 2021.07.23 | 2021.09.28 | 67 |
| | 东钱家村 | 2021.07.22 | 2021.09.26 | 66 |
| | 宁津街道 | 2021.07.21 | 2021.09.25 | 66 |
| | 镬钵岛 | 2021.07.22 | 2021.09.25 | 65 |
| | 成山镇 | 2021.07.21 | 2021.09.26 | 67 |

表 3.1-11 空气 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I 采样情况 ^3H

| 采样时间 | 采样地点 | 采样开始时间 | 采样结束时间 | 采样体积 (m^3) |
|------------|------|------------------|------------------|-----------------------|
| 2021 年 4 月 | 海工楼 | 2021.04.25 11:10 | 2021.04.26 15:57 | 10.640 |
| | 东钱家村 | 2021.04.26 17:10 | 2021.04.27 13:47 | 7.525 |
| | 宁津街道 | 2021.04.20 08:27 | 2021.04.21 08:28 | 10.210 |
| | 镬钵岛 | 2021.04.24 09:00 | 2021.04.25 09:30 | 9.958 |
| | 成山镇 | 2021.04.27 15:36 | 2021.04.28 18:45 | 8.359 |
| 2021 年 7 月 | 海工楼 | 2021.07.26 09:40 | 2021.07.27 09:53 | 7.852 |
| | 东钱家村 | 2021.07.22 16:30 | 2021.07.23 16:38 | 8.172 |
| | 宁津街道 | 2021.07.24 18:49 | 2021.07.25 18:45 | 8.302 |
| | 镬钵岛 | 2021.07.23 18:20 | 2021.07.24 18:10 | 8.138 |
| | 成山镇 | 2021.07.27 16:18 | 2021.07.28 16:10 | 5.499 |

表 3.1-11 续 空气 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I 采样情况

^{14}C

| 采样时间 | 采样地点 | 采样开始时间 | 采样结束时间 | 采样体积 (m ³) |
|------------|------|------------------|------------------|------------------------|
| 2021 年 4 月 | 海工楼 | 2021.04.25 11:24 | 2021.04.26 15:58 | 4.034 |
| | 东钱家村 | 2021.04.26 17:10 | 2021.04.27 13:47 | 2.934 |
| | 宁津街道 | 2021.04.20 08:27 | 2021.04.21 08:28 | 3.335 |
| | 镆铳岛 | 2021.04.24 09:00 | 2021.04.25 09:20 | 3.543 |
| | 成山镇 | 2021.04.27 15:38 | 2021.04.28 18:45 | 3.466 |
| 2021 年 7 月 | 海工楼 | 2021.07.26 09:40 | 2021.07.27 09:53 | 2.998 |
| | 东钱家村 | 2021.07.22 16:00 | 2021.07.23 16:36 | 5.853 |
| | 宁津街道 | 2021.07.24 18:49 | 2021.07.25 18:41 | 3.194 |
| | 镆铳岛 | 2021.07.23 18:20 | 2021.07.24 18:10 | 3.022 |
| | 成山镇 | 2021.07.27 16:18 | 2021.07.28 16:10 | 3.232 |

表 3.1-11 续 空气 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I 采样情况

^{131}I

| 采样时间 | 采样地点 | 采样开始时间 | 采样结束时间 | 采样体积 (m ³) |
|------------|------|------------------|------------------|------------------------|
| 2021 年 4 月 | 海工楼 | 2021.04.25 11:27 | 2021.04.26 15:59 | 131.3748 |
| | 东钱家村 | 2021.04.26 17:04 | 2021.04.27 12:05 | 123.2085 |
| | 宁津街道 | 2021.04.19 18:17 | 2021.04.20 17:28 | 105.5046 |
| | 镞铳岛 | 2021.04.24 09:00 | 2021.04.25 09:35 | 113.4536 |
| | 成山镇 | 2021.04.27 15:38 | 2021.04.28 18:45 | 123.4031 |
| 2021 年 7 月 | 海工楼 | 2021.07.26 09:40 | 2021.07.27 09:54 | 104.2794 |
| | 东钱家村 | 2021.07.22 16:12 | 2021.07.23 16:45 | 101.8001 |
| | 宁津街道 | 2021.07.24 18:49 | 2021.07.25 18:39 | 102.9778 |
| | 镞铳岛 | 2021.07.23 18:20 | 2021.07.24 18:06 | 102.6997 |
| | 成山镇 | 2021.07.27 16:16 | 2021.07.28 16:10 | 102.8329 |

表 3.1-12 监测、分析仪器设备及测量方法

| 序号 | 监测项目 | 仪器设备 | 测量方法依据 |
|----|-------------------------------|------------------------------|---|
| 1 | 环境地表 γ 辐射剂量率 | NPIC-8000 型高气压电离室 | 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） |
| 2 | 累积剂量 | RGD-3 型热释光剂量仪 | 《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》（GB/T10264-2014） |
| 3 | 总 α | LB770 低本底 α/β 测量仪 | 《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》（EJ/T1075-1998） |
| 4 | 总 β | LB770 低本底 α/β 测量仪 | 《水中总 β 放射性测定 蒸发法》（EJ/T900-1994） |
| 5 | ^3H | Quantulus 1220 低水平液闪 | 《水中氚的分析方法》（HJ1126-2020） 《食品中放射性物质检验 氢-3 的测定》（GB21883.2-2016） |
| 6 | 空气 ^{14}C | Quantulus 1220 低水平液闪 | 《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》（EJ/T1008-1996） |
| 7 | 水 ^{14}C | Quantulus 1220 低水平液闪 | 《水质-碳-14 活度浓度的液体闪烁计数测定法》（ISO13162-2011） |
| 8 | 生物 ^{14}C | Quantulus 1220 低水平液闪 | 《生物样品中 ^{14}C 的分析方法 氧弹燃烧法》（GB/T37865-2019） |
| 9 | 水、生物灰 ^{90}Sr | LB770 低本底 α/β 测量仪 | 《水和生物样品灰中锶-90 放射化学分析方法》（HJ815-2016） |
| 10 | 土壤、沉积物 ^{90}Sr | LB770 低本底 α/β 测量仪 | 《土壤中锶-90 的分析方法》（EJ/T1035-1996） |
| 11 | 空气 ^{131}I | HPGe γ 谱仪 | 《空气中碘-131 的取样与测定》（GB/T14584-1993） |
| 12 | 水中 γ 核素 | HPGe γ 谱仪 | 《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T16140-2018） |
| 13 | 土壤、沉积物 γ 核素 | HPGe γ 谱仪 | 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T11743-2013） |
| 14 | 气溶胶 γ 核素 | HPGe γ 谱仪 | 《环境空气气溶胶中 γ 放射性核素的测定 滤膜压片/ γ 能谱法》（HJ1149-2020） |
| 15 | 沉降灰 γ 核素 | HPGe γ 谱仪 | 《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》（GB/T11713-2015） |
| 16 | 生物灰 γ 核素 | HPGe γ 谱仪 | 《生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T16145-2020） |
| 17 | 土壤、沉积物中 $^{239+240}\text{Pu}$ | 低本底 α 能谱测量仪 | 《水和土壤样品中钚的放射化学分析方法》（HJ814-2016） |

表 3.1-13 测量方法探测下限

| 序号 | 调查对象 | 样品用量 | 分析核素 | 测量时间 | 探测限 |
|----|--------------------|-------------------------------|-------------------|---------|---|
| 1 | 气溶胶 | 10000m ³ | ⁹⁰ Sr | 500min | 4.0×10 ⁻⁶ Bq/m ³ |
| | | 10000m ³ | γ 谱分析 | 80000s | ¹³⁴ Cs: 5.8×10 ⁻⁶ Bq/m ³ ¹³⁷ Cs: 5.0×10 ⁻⁶ Bq/m ³ ⁶⁰ Co: 9.0×10 ⁻⁶ Bq/m ³ ⁵⁸ Co: 5.8×10 ⁻⁶ Bq/m ³ ⁵⁴ Mn: 5.8×10 ⁻⁶ Bq/m ³ ⁷ Be: 6.5×10 ⁻⁵ Bq/m ³ ¹³¹ I: 5.0×10 ⁻⁶ Bq/m ³ |
| 2 | 沉降物 | 5g | ⁹⁰ Sr | 500min | 1.0×10 ⁻³ Bq/m ² D |
| | | 0.25m ² 灰 ×90 天 | γ 谱分析 | 80000s | ¹³⁴ Cs: 2.8×10 ⁻³ Bq/m ² D ¹³⁷ Cs: 2.0×10 ⁻³ Bq/m ² D ⁶⁰ Co: 3.3×10 ⁻³ Bq/m ² D ⁵⁸ Co: 3.0×10 ⁻³ Bq/m ² D ⁵⁴ Mn: 2.2×10 ⁻³ Bq/m ² D |
| 3 | 空气 | 10m ³ | HTO | 1000min | 8.0×10 ⁻³ Bq/m ³ |
| | | 3m ³ | ¹⁴ C | 1000min | 0.1Bq/g 碳 |
| | | 100m ³ | ¹³¹ I | 80000s | 1.0×10 ⁻³ Bq/m ³ |
| 4 | 土壤、底泥、 海洋沉积物 | 50g | ⁹⁰ Sr | 900min | 0.15 Bq/kg |
| | | 30g | ²³⁹ Pu | 24h | 1.5×10 ⁻² Bq/kg |
| | | 300g | γ 谱分析 | 80000s | ¹³⁷ Cs: 0.26Bq/kg ¹³⁴ Cs: 0.24Bq/kg ⁵⁸ Co: 0.22Bq/kg ⁶⁰ Co: 0.24Bq/kg ^{110m} Ag: 0.40Bq/kg ⁵⁴ Mn: 0.26Bq/kg ²³⁸ U: 10Bq/kg ²³² Th: 1.1Bq/kg ²²⁶ Ra: 0.69Bq/kg ⁴⁰ K: 4.5Bq/kg |
| 5 | 地表水、地下水、 饮用水、降水 | 3L | 总 α | 600min | 2.0×10 ⁻³ Bq/L |
| | | 3L | 总 β | 600min | 5.0×10 ⁻³ Bq/L |
| | | 250mL | ³ H | 1000min | 0.18Bq/L |
| | | 50L | ¹⁴ C | 1000min | 2.0×10 ⁻⁴ Bq/L |
| | | 50L | ⁹⁰ Sr | 500min | 1.5×10 ⁻⁴ Bq/L |
| | | 50L | γ 谱分析 | 80000s | ¹³⁷ Cs: 1.6×10 ⁻³ Bq/L ¹³⁴ Cs: 1.4×10 ⁻³ Bq/L ⁵⁴ Mn: 1.5×10 ⁻³ Bq/L ⁵⁸ Co: 1.3×10 ⁻³ Bq/L ⁶⁰ Co: 1.7×10 ⁻³ Bq/L |
| 6 | 海水 | 250mL | ³ H | 1000min | 0.18Bq/L |
| | | 50L | ¹⁴ C | 1000min | 2.0×10 ⁻⁴ Bq/L |

| 序号 | 调查对象 | 样品用量 | 分析核素 | 测量时间 | 探测限 |
|----|------|--------|------------------|---------|--|
| | | 50L | ⁹⁰ Sr | 500min | 1.5×10^{-4} Bq/L |
| | | 50L | γ 谱分析 | 80000s | ¹³⁷ Cs: 3.5×10^{-3} Bq/L ¹³⁴ Cs: 1.0×10^{-3} Bq/L ⁵⁸ Co: 9.0×10^{-4} Bq/L ⁶⁰ Co: 1.1×10^{-3} Bq/L ^{110m} Ag: 1.3×10^{-3} Bq/L ⁵⁴ Mn: 1.0×10^{-3} Bq/L ¹⁰⁶ Ru: 8.5×10^{-3} Bq/L |
| 7 | 生物灰 | 20g | ⁹⁰ Sr | 600min | 1.0×10^{-4} Bq/g 灰 |
| | | 280g 鲜 | 有机氚 | 1000min | 6.8×10^{-2} Bq/kg 鲜 |
| | | 280g 鲜 | 水氚 | 1000min | 6.8×10^{-2} Bq/kg 鲜 |
| | | 4g 干 | ¹⁴ C | 1000min | 5.0 Bq/kg 干 |
| | | 60g | γ 谱分析 | 80000s | ¹³⁷ Cs: 1.4×10^{-3} Bq/g 灰 ¹³⁴ Cs: 1.1×10^{-3} Bq/g 灰 ⁵⁸ Co: 1.2×10^{-3} Bq/g 灰 ⁶⁰ Co: 1.8×10^{-3} Bq/g 灰 ^{110m} Ag: 1.6×10^{-3} Bq/g 灰 ⁵⁴ Mn: 1.2×10^{-3} Bq/g 灰 ¹⁰⁶ Ru: 2.0×10^{-2} Bq/g 灰 |
| 8 | 牛奶 | 20L | γ 谱分析 | 80000s | ¹³¹ I: 0.01 Bq/kg 鲜 |

表 3.1-14 厂址所在地（荣成市）放射源、射线装置使用情况

| 序号 | 使用单位 | 所在地 | 射线装置名称 | 类别 | 相对厂址位置 | |
|----|------------------------------|------------------|-----------|-------------|--------|---------|
| | | | | | 方位 | 距离 (km) |
| 1 | 荣成市人民医院 | 荣成市成山大道中段 298 号 | / | 非密封丙类放射源 | NNW | 22 |
| | | | CT 机、X 光机 | II、III类射线装置 | | |
| 2 | 中国核工业二三建设有限公司 国和一号示范工程项目部 | 国核核电厂区 | / | II类放射源 | / | / |
| | | | 探伤机 | II类射线装置 | / | / |
| 3 | 国核示范电站有限责任公司 | 国核核电厂区 | / | IV、V类放射源 | / | / |
| 4 | 华能山东石岛湾核电有限公司 | 荣成市石核路 9 号 | / | IV、V类放射源 | NNE | 2 |
| 5 | 威海石岛重工有限公司 | 石岛国际工业园龙云路 500 号 | / | II类放射源 | W | 8 |
| | | | 探伤机 | II类射线装置 | | |
| 6 | 浦林成山（山东）轮胎有限公司 | 荣成市南山北路 98 号 | / | V类放射源 | NNW | 23 |
| | | | 探伤机 | II类射线装置 | | |
| 7 | 荣成海盛纸业有限公司 | 虎山镇沙嘴子村 | | V类放射源 | W | 23 |
| 8 | 山东凯丽特种纸股份有限公司 | 荣成市河阳东路 198 号 | / | V类放射源 | NNW | 21 |
| 9 | 荣成市盛豪船舶设备有限公司 | 上庄镇滕墩线北（工业园） | 探伤机 | II类射线装置 | W | 21 |
| 10 | 中华人民共和国荣成海关 | 荣成市观海东路 158 号 | X 射线检查仪 | II、III类射线装置 | NNW | 21 |
| 11 | 荣成市益发安建有限公司 | 荣成市成山大道 169 号 | 探伤机 | II类射线装置 | NNW | 23 |
| 12 | 黄海造船有限公司 | 石岛管理区黄海中路 18 号 | 探伤机 | II类射线装置 | SW | 6 |
| 13 | 荣成造船工业有限公司 | 石岛管理区黄海路 92 号 | 探伤机 | II类射线装置 | SW | 11 |
| 14 | 荣成市盛威压力容器有限公司 | 东山街道东山村 | 探伤机 | II类射线装置 | W | 8 |
| 15 | 荣成市中医院 | 荣成市成山大道东段 101 号 | CT 机、X 光机 | II、III类射线装置 | NNW | 21 |
| 16 | 荣成海维科技有限公司 | 石岛管理区东湖路 296 号 | 探伤机 | II类射线装置 | WSW | 11 |
| 17 | 荣成市石岛人民医院 | 石岛新城区双榜东路 199 号 | CT 机、X 光机 | II、III类射线装置 | W | 12 |
| 18 | 荣成御苑卓雅口腔门诊部有限公司 | 崖头街道耇上宋家村南 | CT 机 | III类射线装置 | NNW | 23 |

| 序号 | 使用单位 | 所在地 | 射线装置名称 | 类别 | 相对厂址位置 | |
|----|------------------|-------------------------|-----------|----------|--------|---------|
| | | | | | 方位 | 距离 (km) |
| 19 | 荣成卓雅口腔门诊部有限公司 | 荣成市新庄北区 91 号楼门市 10-13 号 | CT 机 | III类射线装置 | NNW | 23 |
| 20 | 荣成西霞口医院 | 成山镇西霞口村 | CT 机、X 光机 | III类射线装置 | N | 50 |
| 21 | 荣成市康宁医院 | 荣成市城西街道平顺街 68 号 | X 光机 | III类射线装置 | NW | 26 |
| 22 | 荣成市妇幼保健院 | 荣成市青山东路 698 号 | CT 机、X 光机 | III类射线装置 | NNW | 24 |
| 23 | 荣成市建新口腔医院有限公司 | 荣成市成山大道东段 119 号 | CT 机 | III类射线装置 | NNW | 21 |
| 24 | 荣成建新口腔诊所 | 荣成市成山大道东段 78 号楼商业 14 号 | CT 机 | III类射线装置 | NNW | 21 |
| 25 | 威海牙医世家建新口腔医院有限公司 | 崖头镇福地小区 1 号楼门市 1 号 | CT 机 | III类射线装置 | NW | 25 |
| 26 | 荣成欣美口腔门诊部有限公司 | 石岛管理区黄海中路 96-8 号 | CT 机 | III类射线装置 | SW | 12 |
| 27 | 荣成市第三人民医院 | 成山镇荣山路 9 号 | X 光机 | III类射线装置 | N | 45 |
| 28 | 荣成市宁津街道卫生院 | 宁津街道 | X 光机 | III类射线装置 | NNW | 3 |
| 29 | 威海安云医院有限公司 | 港西镇那香海文旅度假小镇 805 号 | CT 机、X 光机 | III类射线装置 | NNW | 50 |
| 30 | 荣成市东山街道中心卫生院 | 东山街道 | X 光机 | III类射线装置 | W | 7 |
| 31 | 荣成市虎山镇卫生院 | 虎山镇 | X 光机 | III类射线装置 | W | 28 |
| 32 | 荣成市崂山街道卫生院 | 崂山街道 | X 光机 | III类射线装置 | NNW | 18 |
| 33 | 荣成市崖西中心卫生院 | 崖西镇 | X 光机 | III类射线装置 | NNW | 35 |
| 34 | 荣成石岛整骨医院 | 石岛管理区 | X 光机 | III类射线装置 | NNW | 35 |
| 35 | 荣成市虎山镇黄山卫生院 | 虎山镇 | X 光机 | III类射线装置 | W | 23 |
| 36 | 荣成市成山镇龙须岛卫生院 | 成山镇龙须岛 | X 光机 | III类射线装置 | NNE | 50 |
| 37 | 荣成市俚岛中心卫生院 | 俚岛镇 | X 光机 | III类射线装置 | NNE | 30 |
| 38 | 荣成市埠柳中心卫生院 | 埠柳镇 | X 光机 | III类射线装置 | NNW | 42 |
| 39 | 荣成市寻山街道卫生院 | 寻山街道 | X 光机 | III类射线装置 | N | 23 |
| 40 | 荣成市大疃镇卫生院 | 大疃镇 | X 光机 | III类射线装置 | NW | 25 |
| 41 | 荣成市斥山街道卫生院 | 斥山街道盛家村 | X 光机 | III类射线装置 | WSW | 13 |

| 序号 | 使用单位 | 所在地 | 射线装置名称 | 类别 | 相对厂址位置 | |
|----|---------------|--------------|-----------|----------|--------|---------|
| | | | | | 方位 | 距离 (km) |
| 42 | 荣成市夏庄镇卫生院 | 夏庄镇 | X 光机 | III类射线装置 | NNW | 30 |
| 43 | 荣成市港西镇卫生院 | 港西镇 | X 光机 | III类射线装置 | N | 47 |
| 44 | 荣成市滕家中心卫生院 | 滕家镇滕家路 6 号 | X 光机 | III类射线装置 | WNW | 18 |
| 45 | 荣成市上庄中心卫生院 | 上庄镇康庄路 4 号 | X 光机 | III类射线装置 | WNW | 22 |
| 46 | 荣成市石岛社区卫生服务中心 | 港湾街道青龙路 16 号 | X 光机 | III类射线装置 | SW | 13 |
| 47 | 荣成市王连街道卫生院 | 王连街道 | X 光机 | III类射线装置 | W | 14 |
| 48 | 荣成市人和中心卫生院 | 人和镇 | CT 机、X 光机 | III类射线装置 | WSW | 22 |

表 3.1-15 γ 辐射剂量率测量结果

单位: nGy/h

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前
(未扣除宇宙射线)

| 序号 | 点位名称 | 2021年4月 | 2021年7月 | 均值 |
|----|----------|----------------|----------------|-------|
| 1 | 海工楼 | 148 \pm 4 | 135 \pm 2 | 141.5 |
| 2 | 国核厂区大门 | 126 \pm 1 | 129 \pm 2 | 127.5 |
| 3 | 华能施工生活区 | 118 \pm 2 | 124 \pm 2 | 121 |
| 4 | 华能核电厂区大门 | 110 \pm 5 | 127 \pm 1 | 118.5 |
| 5 | 东钱家村 | 112 \pm 3 | 126 \pm 1 | 119 |
| 6 | 小河东村 | 133 \pm 2 | 138 \pm 1 | 135.5 |
| 7 | 西钱家村 | 143 \pm 2 | 122 \pm 1 | 132.5 |
| 8 | 周庄村 | 138 \pm 4 | 148 \pm 1 | 143 |
| 9 | 所前杜家村 | 131 \pm 1 | 125 \pm 1 | 128 |
| 10 | 所前王家村 | 141 \pm 3 | 134 \pm 1 | 137.5 |
| 11 | 季家村 | 116 \pm 2 | 124 \pm 1 | 120 |
| 12 | 东墩村 | 111 \pm 2 | 116 \pm 1 | 113.5 |
| 13 | 南泊村 | 109 \pm 3 | 115 \pm 1 | 112 |
| 14 | 宁津养殖二厂 | 98.8 \pm 1.8 | 107 \pm 1 | 103 |
| 15 | 好当家渔场 | 105 \pm 3 | 112 \pm 1 | 109 |
| 16 | 所东王家村 | 152 \pm 3 | 145 \pm 2 | 149 |
| 17 | 止马滩村 | 133 \pm 2 | 123 \pm 1 | 128 |
| 18 | 所后王家村 | 139 \pm 1 | 141 \pm 1 | 140 |
| 19 | 所后卢家村 | 138 \pm 2 | 123 \pm 1 | 131 |
| 20 | 华东乐园 | 133 \pm 3 | 127 \pm 1 | 130 |
| 21 | 小岔河村 | 129 \pm 4 | 137 \pm 1 | 133 |
| 22 | 宁津街道 | 155 \pm 5 | 144 \pm 2 | 150 |
| 23 | 吉屯村 | 140 \pm 3 | 147 \pm 2 | 144 |
| 24 | 大岔河村 | 135 \pm 1 | 129 \pm 1 | 132 |
| 25 | 鞠家村 | 155 \pm 2 | 160 \pm 1 | 158 |
| 26 | 北场村 | 112 \pm 4 | 118 \pm 1 | 115 |
| 27 | 东苏家村 | 108 \pm 4 | 121 \pm 1 | 115 |
| 28 | 南夏家村 | 160 \pm 2 | 143 \pm 3 | 152 |
| 29 | 苑家村 | 131 \pm 1 | 135 \pm 1 | 133 |
| 30 | 南港头村 | 113 \pm 3 | 113 \pm 1 | 113 |
| 31 | 东南海村 | 106 \pm 2 | 121 \pm 1 | 114 |
| 32 | 后海崖村 | 105 \pm 3 | 117 \pm 1 | 111 |
| 33 | 马栏耩村 | 106 \pm 3 | 133 \pm 2 | 120 |
| 34 | 黄山养殖场 | 124 \pm 1 | 133 \pm 2 | 129 |
| 35 | 东楮岛村 | 80.8 \pm 1.1 | 90.4 \pm 1.5 | 85.6 |

| 序号 | 点位名称 | 2021年4月 | 2021年7月 | 均值 |
|----|-------|----------|----------|------|
| 36 | 林家流村 | 135±2 | 130±3 | 133 |
| 37 | 马家寨村 | 135±2 | 137±1 | 136 |
| 38 | 后港头村 | 153±4 | 167±1 | 160 |
| 39 | 八河姚家村 | 122±2 | 131±1 | 127 |
| 40 | 八里王家村 | 118±6 | 136±1 | 127 |
| 41 | 甲子山村 | 151±2 | 146±1 | 149 |
| 42 | 东山街道 | 148±5 | 139±1 | 144 |
| 43 | 沟王家村 | 119±2 | 124±1 | 122 |
| 44 | 桃园街道 | 125±1 | 123±1 | 124 |
| 45 | 嘉和社区 | 128±3 | 118±1 | 123 |
| 46 | 凤凰湖 | 120±2 | 125±1 | 123 |
| 47 | 岛西庄村 | 101±5 | 119±1 | 110 |
| 48 | 吕家庄村 | 116±2 | 122±1 | 119 |
| 49 | 崂山街道 | 85.6±2.8 | 93.3±0.9 | 89.5 |
| 50 | 罗家庄村 | 110±2 | 104±1 | 107 |
| 51 | 桑梓村 | 88.6±3.2 | 96.4±1 | 92.5 |
| 52 | 西慕家村 | 96.2±1.2 | 92.3±0.8 | 94.3 |
| 53 | 滕家镇 | 108±1 | 104±1 | 106 |
| 54 | 王连街道 | 116±3 | 130±2 | 123 |
| 55 | 桥头庄村 | 117±2 | 124±1 | 121 |
| 56 | 斥山街道 | 114±4 | 129±1 | 122 |
| 57 | 古楼村 | 122±1 | 125±1 | 124 |
| 58 | 港湾街道 | 135±2 | 144±1 | 140 |
| 59 | 玄镇村 | 120±1 | 124±1 | 122 |
| 60 | 碌对岛 | 96.7±2.2 | 94.0±0.8 | 95.4 |
| 61 | 寻山街道 | 114±1 | 107±2 | 111 |
| 62 | 俚岛镇 | 134±3 | 147±1 | 141 |
| 63 | 成山镇 | 83.6±0.9 | 88.8±0.7 | 86.2 |
| 64 | 荣成市 | 121±5 | 121±1 | 121 |
| 65 | 埠柳镇 | 122±2 | 104±1 | 113 |
| 66 | 崖西镇 | 149±1 | 132±2 | 141 |
| 67 | 大疃镇 | 87.3±2.1 | 95.1±0.7 | 91.2 |
| 68 | 荫子镇 | 147±3 | 135±1 | 141 |
| 69 | 大水泊镇 | 103±1 | 126±2 | 115 |
| 70 | 高村镇 | 87.9±0.7 | 91.4±1.0 | 89.7 |
| 71 | 张家产镇 | 107±3 | 120±1 | 114 |
| 72 | 文登市 | 89.3±1.2 | 91.3±1.1 | 90.3 |
| 73 | 上庄镇 | 104±2 | 129±2 | 117 |
| 74 | 虎山镇 | 102±2 | 108±1 | 105 |
| 75 | 侯家镇 | 111±2 | 115±1 | 113 |
| 76 | 人和镇 | 107±3 | 123±1 | 115 |

| 序号 | 点位名称 | 2021年4月 | 2021年7月 | 均值 |
|-----|------------|----------|----------|----------|
| 77 | 沙窝岛村 | 123±3 | 133±1 | 128 |
| 78 | 朱口村 | 123±2 | 145±1 | 134 |
| 79 | 龙须岛村 | 141±3 | 139±1 | 140 |
| 80 | 崮山镇（对照点） | 82.9±2.9 | 84.0±0.5 | 83.5 |
| 81 | 八河水库（宇宙射线） | / | 32.3±0.9 | / |
| 范围值 | | 80.8~160 | 84.0~167 | 83.5~160 |
| 均值 | | 120±20 | 124±17 | 122±18 |

*：表中数据未扣除宇宙射线成分，平均值未统计宇宙射线测量结果

表 3.1-15 续 γ 辐射剂量率测量结果

单位: nGy/h

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前
(已扣除宇宙射线)

| 序号 | 点位名称 | 2021年4月 | 2021年7月 | 均值 | 2014~2016年 厂址放射性本底调查 | |
|----|----------|---------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 范围 | 均值 |
| 1 | 海工楼 | 116 | 103 | 105 | / | / |
| 2 | 国核厂区大门 | 93.7 | 96.7 | 87.7 | / | / |
| 3 | 华能施工生活区 | 85.7 | 91.7 | 81.2 | 81.6~91.4 | 86.0 |
| 4 | 华能核电厂区大门 | 77.7 | 94.7 | 79.7 | 68.6~76.8 | 73.7 |
| 5 | 东钱家村 | 79.7 | 93.7 | 70.6 | 78.5~93.5 | 87.4 |
| 6 | 小河东村 | 101 | 106 | 76.2 | / | / |
| 7 | 西钱家村 | 111 | 89.7 | 116 | 116~130 | 121 |
| 8 | 周庄村 | 106 | 116 | 95.7 | 107~113 | 111 |
| 9 | 所前杜家村 | 98.7 | 92.7 | 108 | / | / |
| 10 | 所前王家村 | 109 | 102 | 98.2 | 107~119 | 116 |
| 11 | 季家村 | 83.7 | 91.7 | 97.7 | / | / |
| 12 | 东墩村 | 78.7 | 83.7 | 101 | 91.7~99.9 | 95.8 |
| 13 | 南泊村 | 76.7 | 82.7 | 117 | / | / |
| 14 | 宁津养殖二厂 | 66.5 | 74.7 | 111 | 55.3~81.7 | 64.4 |
| 15 | 好当家渔场 | 72.7 | 79.7 | 99.7 | / | / |
| 16 | 所东王家村 | 120 | 113 | 125 | / | / |
| 17 | 止马滩村 | 101 | 90.7 | 82.7 | 113~120 | 116 |
| 18 | 所后王家村 | 107 | 109 | 82.2 | / | / |
| 19 | 所后卢家村 | 106 | 90.7 | 119 | 101~113 | 107 |
| 20 | 华东乐园 | 101 | 94.7 | 101 | / | / |
| 21 | 小岔河村 | 96.7 | 105 | 80.7 | 96.1~114 | 107 |
| 22 | 宁津街道 | 123 | 112 | 81.2 | 106~115 | 112 |
| 23 | 吉屯村 | 108 | 115 | 78.7 | / | / |
| 24 | 大岔河村 | 103 | 96.7 | 87.2 | / | / |
| 25 | 鞠家村 | 123 | 128 | 96.2 | 122~132 | 127 |
| 26 | 北场村 | 79.7 | 85.7 | 53.3 | / | / |
| 27 | 东苏家村 | 75.7 | 88.7 | 100 | / | / |
| 28 | 南夏家村 | 128 | 111 | 104 | / | / |
| 29 | 苑家村 | 98.7 | 103 | 128 | / | / |
| 30 | 南港头村 | 80.7 | 80.7 | 94.2 | 87.8~98.5 | 92.4 |
| 31 | 东南海村 | 73.7 | 88.7 | 94.7 | 63.5~70.2 | 67.7 |
| 32 | 后海崖村 | 72.7 | 84.7 | 116 | 55.3~61.0 | 58.7 |
| 33 | 马栏耩村 | 73.7 | 101 | 111 | 57.2~63.5 | 59.8 |
| 34 | 黄山养殖场 | 91.7 | 101 | 89.2 | 76.5~89.7 | 85.6 |

| 序号 | 点位名称 | 2021年4月 | 2021年7月 | 均值 | 2014~2016年 厂址放射性本底调查 | |
|----|-------|---------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 范围 | 均值 |
| 35 | 东楮岛村 | 48.5 | 58.1 | 91.7 | 58.2~62.9 | 60.7 |
| 36 | 林家流村 | 103 | 97.7 | 90.7 | 113~123 | 118 |
| 37 | 马家寨村 | 103 | 105 | 90.2 | / | / |
| 38 | 后港头村 | 121 | 135 | 77.7 | / | / |
| 39 | 八河姚家村 | 89.7 | 98.7 | 86.7 | 108~117 | 113 |
| 40 | 八里王家村 | 85.7 | 104 | 57.2 | 89.6~103 | 96.2 |
| 41 | 甲子山村 | 119 | 114 | 74.7 | / | / |
| 42 | 东山街道 | 116 | 107 | 60.2 | 103~154 | 116 |
| 43 | 沟王家村 | 86.7 | 91.7 | 62.0 | / | / |
| 44 | 桃园街道 | 92.7 | 90.7 | 73.7 | 120~129 | 124 |
| 45 | 嘉和社区 | 95.7 | 85.7 | 90.7 | / | / |
| 46 | 凤凰湖 | 87.7 | 92.7 | 88.2 | / | / |
| 47 | 岛西庄村 | 68.7 | 86.7 | 89.2 | 51.2~61.1 | 56.4 |
| 48 | 吕家庄村 | 83.7 | 89.7 | 91.2 | 58.2~66.6 | 61.5 |
| 49 | 崂山街道 | 53.3 | 61 | 107 | 46.5~65.3 | 56.4 |
| 50 | 罗家庄村 | 77.7 | 71.7 | 89.7 | 79.5~90.4 | 85.3 |
| 51 | 桑梓村 | 56.3 | 64.1 | 63.1 | / | / |
| 52 | 西慕家村 | 63.9 | 60 | 78.2 | / | / |
| 53 | 滕家镇 | 75.7 | 71.7 | 108 | 83.1~96.5 | 88.9 |
| 54 | 王连街道 | 83.7 | 97.7 | 53.9 | 56.8~66.2 | 62.5 |
| 55 | 桥头庄村 | 84.7 | 91.7 | 88.7 | / | / |
| 56 | 斥山街道 | 81.7 | 96.7 | 80.7 | 87.6~102 | 95.2 |
| 57 | 古楼村 | 89.7 | 92.7 | 108 | / | / |
| 58 | 港湾街道 | 103 | 112 | 58.9 | 98.4~108 | 103 |
| 59 | 玄镇村 | 87.7 | 91.7 | 109 | 102~112 | 106 |
| 60 | 碌对岛 | 64.4 | 61.7 | 82.2 | / | / |
| 61 | 寻山街道 | 81.7 | 74.7 | 57.4 | 56.2~65.8 | 59.5 |
| 62 | 俚岛镇 | 102 | 115 | 81.2 | 106~119 | 111 |
| 63 | 成山镇 | 51.3 | 56.5 | 58.0 | 43.1~54.7 | 46.9 |
| 64 | 荣成市 | 88.7 | 88.7 | 84.2 | 97.2~107 | 102 |
| 65 | 埠柳镇 | 89.7 | 71.7 | 72.7 | 94.9~105 | 98.0 |
| 66 | 崖西镇 | 117 | 99.7 | 80.7 | 121~132 | 128 |
| 67 | 大疃镇 | 55 | 62.8 | 82.7 | 49.6~59.1 | 55.4 |
| 68 | 荫子镇 | 115 | 103 | 95.7 | 107~120 | 113 |
| 69 | 大水泊镇 | 70.7 | 93.7 | 102 | 93.2~106 | 100 |
| 70 | 高村镇 | 55.6 | 59.1 | 108 | / | / |
| 71 | 张家产镇 | 74.7 | 87.7 | 51.2 | 70.3~80.4 | 73.9 |
| 72 | 文登市 | 57 | 59 | 105 | 57.2~64.1 | 60.0 |
| 73 | 上庄镇 | 71.7 | 96.7 | 87.7 | 46.5~55.2 | 51.2 |
| 74 | 虎山镇 | 69.7 | 75.7 | 81.2 | 58.3~68.3 | 64.2 |

| 序号 | 点位名称 | 2021年4月 | 2021年7月 | 均值 | 2014~2016年 厂址放射性本底调查 | |
|----|----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|------|
| | | | | | 范围 | 均值 |
| 75 | 侯家镇 | 78.7 | 82.7 | 79.7 | 76.2~86.2 | 80.8 |
| 76 | 人和镇 | 74.7 | 90.7 | 70.6 | 89.2~101 | 95.6 |
| 77 | 沙窝岛村 | 90.7 | 101 | 76.2 | 109~117 | 112 |
| 78 | 朱口村 | 90.7 | 113 | 116 | 96.2~108 | 102 |
| 79 | 龙须岛村 | 109 | 107 | 95.7 | 107~117 | 112 |
| 80 | 崮山镇（对照点） | 50.6 | 51.7 | 108 | / | / |
| | 范围值 | 48.5~128 | 51.7~135 | 51.2~128 | / | / |
| | 均值 | 87.9±19.4 | 91.4±17.1 | 89.6±18.3 | / | / |

*：表中数据已扣除宇宙射线成分

**：2010年放射性本底调查范围 54.4~144nGy/h，均值 74.7±30.9nGy/h

表 3.1-16 γ 辐射累积剂量测量结果
 华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 序号 | 点位名称 | TLD 累积剂量 (10^{-4}Gy) * | | | TLD 计算出的剂量率值 (nGy/h) * | | | 2014~2016 年厂址放射性本底调查 TLD | |
|----|----------|-----------------------------------|-----------------|------|-----------------------------------|-----------------|-------|------------------------------|-------------------------------|
| | | 2021 年 4~7 月 | 2021 年 7~9 月 | 均值 | 2021 年 4~7 月 | 2021 年 7~9 月 | 均值 | 小时均值范围 (nGy/h) | 小时均值平均值 (nGy/h) |
| 1 | 海工楼 | 丢失 | 0.23 | / | 丢失 | 155.8 | / | / | / |
| 2 | 国核厂区大门 | 0.33 | 0.22 | 0.28 | 153.4 | 154.2 | 153.8 | / | / |
| 3 | 华能施工生活区 | 0.32 | 0.21 | 0.27 | 147.1 | 136.9 | 142.0 | 85.3~111 | 97.8 \pm 9.8 |
| 4 | 华能核电厂区边界 | 0.32 | 0.22 | 0.27 | 145.2 | 145.5 | 145.4 | 71.7~106 | 90 \pm 11 |
| 5 | 东钱家村 | 0.32 | 0.21 | 0.27 | 149.9 | 135.7 | 142.8 | 98.1~134 | 114 \pm 13 |
| 6 | 小河东村 | 0.37 | 0.26 | 0.32 | 168.1 | 166.6 | 167.4 | / | / |
| 7 | 西钱家村 | 0.29 | 0.23 | 0.26 | 137.7 | 145.7 | 141.7 | / | / |
| 8 | 周庄村 | 丢失 | 0.24 | / | 丢失 | 146.7 | / | / | / |
| 9 | 所前杜家村 | 0.37 | 0.25 | 0.31 | 173.5 | 163.8 | 168.7 | / | / |
| 10 | 所前王家村 | 0.34 | 0.22 | 0.28 | 155.4 | 154.5 | 155.0 | / | / |
| 11 | 东墩村 | 0.33 | 0.21 | 0.27 | 149.7 | 140.9 | 145.3 | 88.1~122 | 101 \pm 12 |
| 12 | 南泊村 | 0.33 | 0.23 | 0.28 | 149.8 | 161.7 | 155.8 | / | / |
| 13 | 宁津养殖二厂 | 0.24 | 0.16 | 0.20 | 113.6 | 108.0 | 110.8 | / | / |
| 14 | 好当家渔场 | 0.30 | 0.21 | 0.26 | 140.5 | 147.4 | 144.0 | / | / |
| 15 | 所东王家村 | 0.38 | 0.26 | 0.32 | 179.2 | 174.0 | 176.6 | / | / |
| 16 | 所后王家村 | 0.36 | 0.25 | 0.31 | 166.5 | 164.0 | 165.3 | / | / |
| 17 | 宁津街道 | 0.35 | 0.25 | 0.30 | 160.2 | 168.7 | 164.5 | 94.9~142 | 117 \pm 16 |
| 18 | 吉屯村 | 0.41 | 0.28 | 0.35 | 178.9 | 188.8 | 183.9 | / | / |
| 19 | 大岔河村 | 0.39 | 0.29 | 0.34 | 177.2 | 187.5 | 182.4 | / | / |
| 20 | 鞠家村 | 丢失 | 0.26 | / | 丢失 | 168.0 | / | / | / |

| 序号 | 点位名称 | TLD 累积剂量 (10^{-4}Gy) * | | | TLD 计算出的剂量率值 (nGy/h) * | | | 2014~2016 年厂址放射性本底调查 TLD | |
|----|-------|-----------------------------------|-----------------|------|-----------------------------------|-----------------|-------|------------------------------|-------------------------------|
| | | 2021 年 4~7 月 | 2021 年 7~9 月 | 均值 | 2021 年 4~7 月 | 2021 年 7~9 月 | 均值 | 小时均值范围 (nGy/h) | 小时均值平均值 (nGy/h) |
| 21 | 南夏家村 | 0.41 | 0.29 | 0.35 | 187.0 | 192.5 | 189.8 | / | / |
| 22 | 南港头村 | 0.33 | 0.22 | 0.28 | 148.4 | 143.0 | 145.7 | / | / |
| 23 | 东南海村 | 0.31 | 0.22 | 0.27 | 140.8 | 143.4 | 142.1 | 66.5~99.3 | 86.3±11 |
| 24 | 后海崖村 | 0.29 | 0.20 | 0.25 | 130.7 | 132.6 | 131.7 | 62.6~96.3 | 81±11 |
| 25 | 马栏耩村 | 0.28 | 0.22 | 0.25 | 131.9 | 149.6 | 140.8 | 76.4~114 | 94±15 |
| 26 | 东楮岛村 | 0.25 | 0.18 | 0.22 | 109.3 | 125.8 | 117.6 | 57.3~86.9 | 75±12 |
| 27 | 林家流村 | 0.34 | 0.23 | 0.29 | 142.0 | 154.2 | 148.1 | / | / |
| 28 | 马家寨村 | 0.32 | 0.20 | 0.26 | 138.5 | 132.6 | 135.6 | / | / |
| 29 | 八河姚家村 | 丢失 | 0.22 | / | 丢失 | 148.3 | / | 78.6~121 | 105±13 |
| 30 | 八里王家村 | 0.32 | 丢失 | / | 137.2 | 丢失 | / | / | / |
| 31 | 东山街道 | 0.35 | 0.24 | 0.30 | 151.3 | 165.4 | 158.4 | 108~140 | 122±10 |
| 32 | 桃园街道 | 0.38 | 0.26 | 0.32 | 170.7 | 173.3 | 172.0 | / | / |
| 33 | 凤凰湖 | 0.40 | 0.24 | 0.32 | 172.2 | 164.5 | 168.4 | / | / |
| 34 | 岛西庄村 | 0.32 | 0.21 | 0.27 | 137.1 | 147.4 | 142.3 | / | / |
| 35 | 崂山街道 | 0.29 | 0.17 | 0.23 | 136.8 | 123.5 | 130.2 | 54.6~87.1 | 71±12 |
| 36 | 罗家庄村 | 0.28 | 0.19 | 0.24 | 130.8 | 142.6 | 136.7 | / | / |
| 37 | 滕家镇 | 0.30 | 0.20 | 0.25 | 137.3 | 137.7 | 137.5 | / | / |
| 38 | 王连街道 | 0.28 | 0.18 | 0.23 | 129.5 | 123.0 | 126.3 | 72.6~104 | 86±14 |
| 39 | 斥山街道 | 0.35 | 0.23 | 0.29 | 158.8 | 162.1 | 160.5 | 99.2~122 | 111±8 |
| 40 | 港湾街道 | 0.41 | 0.26 | 0.34 | 179.8 | 186.6 | 183.2 | / | / |
| 41 | 寻山街道 | 丢失 | 0.21 | / | 丢失 | 148.6 | / | 85.6~126 | 104±14 |
| 42 | 成山镇 | 0.25 | 0.17 | 0.21 | 109.7 | 121.6 | 115.7 | / | / |

| 序号 | 点位名称 | TLD 累积剂量 (10^{-4}Gy) * | | | TLD 计算出的剂量率值 (nGy/h) * | | | 2014~2016 年厂址放射性本底调查 TLD | |
|----|-----------|-----------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------------------|-----------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|
| | | 2021 年 4~7 月 | 2021 年 7~9 月 | 均值 | 2021 年 4~7 月 | 2021 年 7~9 月 | 均值 | 小时均值范围 (nGy/h) | 小时均值平均值 (nGy/h) |
| 43 | 荣成市 | 0.29 | 0.20 | 0.25 | 127.0 | 142.9 | 135.0 | / | / |
| 44 | 大疃镇 | 0.26 | 0.17 | 0.22 | 112.8 | 119.9 | 116.4 | 61.6~95.6 | 77±12 |
| 45 | 张家产镇 | 0.31 | 0.20 | 0.26 | 137.9 | 145.8 | 141.9 | / | / |
| 46 | 上庄镇 | 0.28 | 0.19 | 0.24 | 119.6 | 133.3 | 126.5 | / | / |
| 47 | 人和镇 | 0.37 | 0.23 | 0.30 | 162.1 | 163.4 | 162.8 | 76.4~115 | 98.7±13 |
| 48 | 朱口村 | 0.43 | 0.29 | 0.36 | 188.1 | 204.7 | 196.4 | / | / |
| 49 | 龙须岛村 | 丢失 | 0.25 | / | 丢失 | 174.8 | / | / | / |
| 50 | 崮山镇 (对照点) | 0.26 | 丢失 | / | 111.8 | 丢失 | / | / | / |
| | 范围值 | 0.24~0.43 | 0.16~0.29 | 0.16~0.43 | 109.3~188.1 | 108.0~204.7 | 108.0~204.7 | / | / |
| | 均值 | 0.33±0.05 | 0.22±0.03 | 0.27±0.07 | 147.4±21.6 | 152.5±20.7 | 150.0±21.2 | / | / |

*: 表中数据未扣除宇宙射线成分

表 3.1-17 剂量率连续测量结果

单位：nGy/h

华能高温气冷堆示范工程达到临界状态前

| 月份 | 剂量率 | | 降雨量 (mm) |
|------------|-------|-------|-------------|
| | 海工楼 | 东钱家 | |
| 2021 年 4 月 | 110.2 | 92.18 | 206.1 |
| 2021 年 5 月 | 117.5 | 99.03 | 88.9 |
| 2021 年 6 月 | 126.8 | 104.6 | 82.6 |
| 2021 年 7 月 | 125.5 | 106.9 | 197.6 |
| 2021 年 8 月 | 118.8 | 97.42 | 165.4 |
| 2021 年 9 月 | 118.1 | 99.40 | 44.5 |

*：表中数据未扣除宇宙射线

表 3.1-18 气溶胶放射性水平测量结果

⁷Be 单位: mBq/m³, 其余放射性核素单位: μBq/m³

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样日期 | 样品编号 | 点位名称 | ⁷ Be | | ⁹⁰ Sr | ¹³⁷ Cs |
|--------------------------|-------------|------|-----------------|----------------|------------------|-------------------|
| | | | 测量值 | 修正日期 (采样中点) | | |
| 2021 年 4 月 | RCLRJ210401 | 海工楼 | 8.66±0.06 | 2021.04.24 | 1.57±0.46 | <5.8 |
| | RCLRJ210402 | 东钱家村 | 10.2±0.5 | 2021.04.24 | 1.57±0.27 | <4.1 |
| | RCLRJ210403 | 宁津街道 | 9.11±0.05 | 2021.04.24 | 1.44±0.26 | <3.6 |
| | RCLRJ210404 | 镞岛 | 10.4±0.6 | 2021.04.24 | 1.63±0.24 | <3.8 |
| | RCLRJ210405 | 成山镇 | 9.50±0.05 | 2021.04.24 | 1.83±0.29 | <3.5 |
| | 范围值 | | 8.66~10.4 | / | 1.44~1.83 | / |
| | 均值 | | 9.57±0.73 | / | 1.61±0.14 | / |
| 2021 年 7 月 | RCLRJ210701 | 海工楼 | 3.32±0.04 | 2021.07.25 | 1.88±0.35 | <8.4 |
| | RCLRJ210702 | 东钱家村 | 4.05±0.04 | 2021.07.26 | 1.92±0.41 | <7.0 |
| | RCLRJ210703 | 宁津街道 | 3.66±0.04 | 2021.07.25 | 0.77±0.22 | <8.2 |
| | RCLRJ210704 | 镞岛 | 3.36±0.04 | 2021.07.27 | 0.62±0.24 | <8.6 |
| | RCLRJ210705 | 成山镇 | 2.95±0.03 | 2021.07.26 | 1.65±0.23 | <6.9 |
| | 范围值 | | 2.95~4.05 | / | 0.62~1.92 | / |
| | 均值 | | 3.47±0.42 | / | 1.37±0.63 | / |
| 2014~2016 年 放射性本底调查均值 | | 宁津街道 | 7.18±2.19 | / | 2.52±1.29 | / |
| | | 镞岛 | 7.17±2.11 | / | 1.65±0.87 | / |
| | | 成山镇 | 6.88±1.85 | / | 1.95±0.82 | / |
| 2010 年放射性本底调查均值 | | | / | / | 27.9±33.8 | / |

| 采样日期 | 样品编号 | 点位名称 | ¹³⁴ Cs | ¹³⁷ Cs | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁵⁴ Mn | ¹³¹ I |
|------------|-------------|------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2021 年 4 月 | RCLRJ210401 | 海工楼 | <6.5 | <5.8 | <4.5 | <7.1 | <5.7 | <5.9 |
| | RCLRJ210402 | 东钱家村 | <3.9 | <4.1 | <3.2 | <4.7 | <3.5 | <4.0 |
| | RCLRJ210403 | 宁津街道 | <3.6 | <3.6 | <2.9 | <4.4 | <3.2 | <3.6 |
| | RCLRJ210404 | 镞岛 | <4.0 | <3.8 | <3.2 | <4.8 | <3.3 | <4.0 |
| | RCLRJ210405 | 成山镇 | <3.6 | <3.5 | <2.8 | <4.2 | <3.1 | <3.5 |
| 2021 年 7 月 | RCLRJ210701 | 海工楼 | <9.0 | <8.4 | <8.1 | <9.6 | <8.7 | <8.1 |
| | RCLRJ210702 | 东钱家村 | <7.1 | <7.0 | <7.0 | <8.2 | <7.2 | <6.8 |
| | RCLRJ210703 | 宁津街道 | <7.9 | <8.2 | <7.7 | <8.3 | <7.7 | <7.4 |
| | RCLRJ210704 | 镞岛 | <8.3 | <8.6 | <7.9 | <9.6 | <8.1 | <7.6 |
| | RCLRJ210705 | 成山镇 | <6.5 | <6.9 | <6.5 | <7.9 | <6.4 | <6.2 |

表 3.1-19 沉降灰放射性水平测量结果

单位: mBq/m²·d

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ⁹⁰ Sr | ¹³⁴ Cs | ¹³⁷ Cs | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁵⁴ Mn | 沉降灰量 (g) |
|--------------------------|-------------|------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|----------|
| 2021 年 4~7 月 | RCLCJ210701 | 海工楼 | 6.29±0.29 | <3.2 | 19.6±1.7 | <2.9 | <3.6 | <4.1 | 64.4648 |
| | RCLCJ210702 | 东钱家村 | 3.50±0.24 | <1.7 | 13.7±1.2 | <1.5 | <1.9 | <2.0 | 12.2083 |
| | RCLCJ210703 | 宁津街道 | 10.1±0.4 | <1.9 | 24.8±1.1 | <1.4 | <1.8 | <2.0 | 15.1440 |
| | RCLCJ210704 | 镆铳岛 | 1.96±0.21 | <1.6 | 6.90±0.89 | <1.5 | <1.7 | <2.0 | 20.7014 |
| | RCLCJ210705 | 成山镇 | 7.37±0.30 | <1.8 | 4.41±0.74 | <1.7 | <2.0 | <2.4 | 26.0260 |
| 范围 | | | 1.96~10.1 | / | 4.41~24.8 | / | / | / | / |
| 均值 | | | 5.84±3.21 | / | 13.9±8.5 | / | / | / | / |
| 2021 年 7~9 月 | RCLCJ210901 | 海工楼 | 6.57±0.21 | <4.4 | 7.75±1.21 | <5.0 | <6.2 | <5.0 | 14.3527 |
| | RCLCJ210902 | 东钱家村 | 2.58±0.17 | <4.4 | <5.4 | <4.9 | <4.9 | <5.0 | 7.0188 |
| | RCLCJ210903 | 宁津街道 | 3.35±0.16 | <4.6 | 5.05±1.23 | <5.3 | <5.8 | <4.9 | 10.2463 |
| | RCLCJ210904 | 镆铳岛 | 1.97±0.16 | <4.7 | <4.4 | <4.8 | <5.6 | <5.0 | 8.7642 |
| | RCLCJ210905 | 成山镇 | 5.19±0.30 | <4.9 | <4.4 | <5.3 | <6.3 | <5.4 | 10.6095 |
| 范围 | | | 1.97~6.57 | / | <LLD~7.75 | / | / | / | / |
| 均值 | | | 3.93±1.91 | / | 6.40±1.91 | / | / | / | / |
| 2014~2016 年 放射性本底调查均值 | 宁津街道 | | 4.0±2.3 | / | / | / | / | / | / |
| | 镆铳岛 | | 6.3±3.9 | / | / | / | / | / | / |
| | 成山镇 | | 5.0±0.9 | / | / | / | / | / | / |
| 2010 年放射性本底调查均值 | | | 18.1±18.6 | / | / | / | / | / | / |

表 3.1-20 降水放射性水平测量结果

³H 单位: Bq/L, 其余放射性核素单位: mBq/L

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样日期 | 样品编号 | 采样地点 | ⁹⁰ Sr | ³ H |
|--------------------------|-------------|------|------------------|----------------|
| 2021 年 4~7 月 | RCLJS210701 | 海工楼 | 15.3±0.2 | 0.45±0.05 |
| | RCLJS210702 | 东钱家村 | 17.6±0.2 | 0.55±0.05 |
| | RCLJS210703 | 宁津街道 | 10.1±0.2 | 0.52±0.05 |
| | RCLJS210704 | 镭铷岛 | 2.70±0.07 | 0.58±0.05 |
| | RCLJS210705 | 成山镇 | 21.3±0.3 | 0.65±0.06 |
| 范围值 | | | 2.70~21.3 | 0.45~0.65 |
| 均值 | | | 13.4±7.2 | 0.55±0.07 |
| 2021 年 7~9 月 | RCLJS210901 | 海工楼 | 24.0±0.3 | 0.32±0.05 |
| | RCLJS210902 | 东钱家村 | 4.15±0.09 | 0.52±0.05 |
| | RCLJS210903 | 宁津街道 | 5.11±0.03 | 0.41±0.05 |
| | RCLJS210904 | 镭铷岛 | 11.2±0.2 | 0.51±0.05 |
| | RCLJS210905 | 成山镇 | 28.1±0.3 | 0.50±0.05 |
| 范围值 | | | 4.15~28.1 | 0.32~0.52 |
| 均值 | | | 14.5±11.0 | 0.45±0.09 |
| 2014~2016 年 放射性本底调查均值 | | 宁津街道 | 10.3±3.8 | 0.65±0.12 |
| | | 成山镇 | 9.8±3.7 | 0.59±0.11 |
| 2010 年放射性本底调查均值 | | | / | 0.97±0.15 |

| 采样日期 | 样品编号 | 采样地点 | ¹³⁴ Cs | ¹³⁷ Cs | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁵⁴ Mn |
|--------------|-------------|------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2021 年 4~7 月 | RCLJS210701 | 海工楼 | <1.8 | <3.0 | <1.6 | <1.4 | <1.5 |
| | RCLJS210702 | 东钱家村 | <1.7 | <2.8 | <1.4 | <1.5 | <1.4 |
| | RCLJS210703 | 宁津街道 | <1.8 | <2.9 | <1.5 | <1.6 | <1.4 |
| | RCLJS210704 | 镭铷岛 | <1.8 | <3.0 | <1.5 | <1.5 | <1.4 |
| | RCLJS210705 | 成山镇 | <2.6 | <4.5 | <2.3 | <2.4 | <2.2 |
| 2021 年 7~9 月 | RCLJS210901 | 海工楼 | <1.6 | <2.5 | <1.2 | <1.4 | <1.3 |
| | RCLJS210902 | 东钱家村 | <1.5 | <2.5 | <1.2 | <1.2 | <1.2 |
| | RCLJS210903 | 宁津街道 | <1.8 | <3.0 | <1.5 | <1.4 | <1.5 |
| | RCLJS210904 | 镭铷岛 | <1.8 | <3.0 | <1.5 | <1.5 | <1.6 |
| | RCLJS210905 | 成山镇 | <1.8 | <2.9 | <1.4 | <1.5 | <1.5 |

表 3.1-21 空气 ³H、¹⁴C、¹³¹I 放射性水平测量结果

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 采样点 | 样品编号 | ³ H | | 样品编号 | ¹⁴ C | | 样品编号 | ¹³¹ I |
|--------------------------|------|-------------|--------------------|-----------|-------------|--------------------|-----------|-------------|--------------------|
| | | | mBq/m ³ | Bq/L | | mBq/m ³ | Bq/gC | | mBq/m ³ |
| 2021 年 4 月 | 海工楼 | RCLQH210401 | 8.44 | 0.37 | RCLQC210401 | 53.2±2.1 | 0.28±0.02 | RCLQI210401 | <0.32 |
| | 东钱家村 | RCLQH210402 | 15.1 | 0.65 | RCLQC210402 | 56.4±2.0 | 0.31±0.02 | RCLQI210402 | <1.9 |
| | 宁津街道 | RCLQH210403 | 5.91 | 0.58 | RCLQC210403 | 58.3±2.0 | 0.32±0.02 | RCLQI210403 | <0.42 |
| | 镆镲岛 | RCLQH210404 | 3.04 | 0.38 | RCLQC210404 | 45.3±2.0 | 0.25±0.02 | RCLQI210404 | <0.38 |
| | 成山镇 | RCLQH210405 | 6.34 | 0.55 | RCLQC210405 | 53.0±2.2 | 0.27±0.02 | RCLQI210405 | <0.34 |
| 范围值 | | | 3.04~15.1 | 0.37~0.65 | / | 45.3~58.3 | 0.25~0.32 | / | / |
| 均值 | | | 7.77±4.53 | 0.51±0.13 | / | 53.2±5.0 | 0.29±0.03 | / | / |
| 2021 年 7 月 | 海工楼 | RCLQH210701 | 7.81 | 0.34 | RCLQI210701 | 61.8±2.0 | 0.35±0.02 | RCLQI210701 | <0.72 |
| | 东钱家村 | RCLQH210702 | 11.3 | 0.49 | RCLQC210702 | 34.4±1.9 | 0.20±0.02 | RCLQI210702 | <0.74 |
| | 宁津街道 | RCLQH210703 | 6.44 | 0.29 | RCLQC210703 | 57.0±2.1 | 0.30±0.02 | RCLQI210703 | <0.74 |
| | 镆镲岛 | RCLQH210704 | 3.88 | 0.20 | RCLQC210704 | 69.2±2.0 | 0.38±0.02 | RCLQI210704 | <0.77 |
| | 成山镇 | RCLQH210705 | 2.64 | 0.14 | RCLQC210705 | 69.0±2.2 | 0.35±0.02 | RCLQI210705 | <0.77 |
| 范围值 | | | 2.64~11.3 | 0.14~0.49 | / | 34.4~69.2 | 0.20~0.38 | / | / |
| 均值 | | | 6.41±3.41 | 0.29±0.14 | / | 58.3±14.3 | 0.32±0.07 | / | / |
| 2014~2016 年 放射性本底调查均值 | 宁津街道 | | 7.6±4.9 | 0.81±0.28 | / | 25.3±2.3 | 0.17±0.01 | / | / |
| | 成山镇 | | 7.2±4.0 | 0.76±0.27 | / | 26.9±2.0 | 0.17±0.01 | / | / |
| 2010 年放射性本底调查均值 | | | / | / | / | 26.7±4.2 | / | / | / |

表 3.1-22 地表水放射性水平测量结果
 华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ⁹⁰ Sr (mBq/L) | ³ H (Bq/L) | ¹⁴ C | |
|-----------------------|---------------|-------|-----------------------------|--------------------------|-----------------|-----------|
| | | | | | (mBq/L) | (Bq/gC) |
| 2021 年 4 月 | RCLDB210401-1 | 八河水库 | 7.51±0.11 | 0.49±0.05 | 5.12±0.18 | 0.21±0.01 |
| | RCLDB210401-2 | 八河水库 | 9.80±0.14 | 0.63±0.05 | 5.09±0.17 | 0.20±0.01 |
| | RCLDB210402 | 南夏家水库 | 6.91±0.12 | 0.60±0.05 | / | / |
| | RCLDB210403 | 郭家水库 | 6.02±0.10 | 0.47±0.05 | / | / |
| | RCLDB210404 | 后龙河水库 | 9.24±0.14 | 0.59±0.05 | / | / |
| 2021 年 7 月 | RCLDB210701 | 八河水库 | 5.80±0.10 | 0.49±0.05 | 3.04±0.11 | 0.19±0.01 |
| | RCLDB210702 | 南夏家水库 | 4.58±0.09 | 0.52±0.05 | / | / |
| | RCLDB210703 | 郭家水库 | 4.59±0.09 | 0.56±0.05 | / | / |
| | RCLDB210704 | 后龙河水库 | 8.27±0.12 | 0.63±0.05 | 4.60±0.16 | 0.20±0.01 |
| 范围值 | | | 4.58~9.80 | 0.47~0.63 | 3.04~5.12 | 0.19~0.21 |
| 平均值 | | | 6.97±1.90 | 0.55±0.06 | 4.52±0.86 | 0.20±0.01 |
| 2014~2016 年放射性本底调查范围值 | | | 3.33~16.8 | 0.30~1.15 | 2.49~6.46 | 0.15~0.25 |
| 2014~2016 年放射性本底调查均值 | | | 9.1±3.0 | 0.70±0.24 | 4.7±1.0 | 0.20±0.02 |

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ¹³⁴ Cs | ¹³⁷ Cs | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁵⁴ Mn |
|------------|---------------|-------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | (mBq/L) | | | | |
| 2021 年 4 月 | RCLDB210401-1 | 八河水库 | <1.6 | <2.7 | <1.4 | <1.4 | <1.4 |
| | RCLDB210401-2 | 八河水库 | <1.7 | <2.8 | <1.5 | <1.5 | <1.5 |
| | RCLDB210402 | 南夏家水库 | <1.6 | <2.7 | <1.3 | <1.3 | <1.3 |
| | RCLDB210403 | 郭家水库 | <1.7 | <2.7 | <1.4 | <1.4 | <1.4 |
| | RCLDB210404 | 后龙河水库 | <1.6 | <2.7 | <1.4 | <1.4 | <1.4 |
| 2021 年 7 月 | RCLDB210701 | 八河水库 | <1.6 | <2.6 | <1.3 | <1.5 | <1.4 |
| | RCLDB210702 | 南夏家水库 | <1.6 | <2.6 | <1.3 | <1.5 | <1.4 |
| | RCLDB210703 | 郭家水库 | <1.7 | <2.7 | <1.7 | <1.5 | <1.5 |
| | RCLDB210704 | 后龙河水库 | <1.6 | <2.7 | <1.4 | <1.8 | <1.4 |

表 3.1-23 底泥放射性水平测量结果

单位: Bq/kg

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ⁹⁰ Sr | ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu | ²³⁸ U | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ⁴⁰ K | ¹³⁷ Cs |
|-----------------------|---------------|-------|------------------|-----------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 2021 年 4 月 | RCLDB210402 | 南夏家水库 | 0.48±0.11 | 0.035±0.010 | 30.7±2.8 | 25.5±0.5 | 53.3±1.3 | 834±9 | <0.56 |
| | RCLDB210403 | 郭家水库 | 0.54±0.07 | / | 35.5±2.8 | 29.3±0.5 | 51.7±1.1 | 727±7 | <0.63 |
| | RCLDB210404 | 后龙河水库 | 0.58±0.08 | / | 37.5±1.7 | 27.8±0.5 | 56.5±1.1 | 1180±9 | <0.66 |
| 2021 年 7 月 | RCLDB210701-1 | 八河水库 | 0.64±0.07 | 0.059±0.008 | 22.6±2.0 | 15.0±0.3 | 24.6±0.7 | 737±6 | 0.61±0.10 |
| | RCLDB210701-2 | 八河水库 | 0.76±0.08 | 0.065±0.008 | 21.5±2.1 | 16.4±0.4 | 25.1±0.8 | 716±6 | 0.67±0.11 |
| 范围值 | | | 0.48~0.76 | 0.035~0.065 | 21.5~37.5 | 15.0~29.3 | 24.6~56.5 | 716~1180 | <LLD~0.67 |
| 平均值 | | | 0.60±0.11 | 0.053±0.016 | 29.6±7.3 | 22.8±6.6 | 42.2±16.0 | 839±196 | 0.64±0.04 |
| 2014~2016 年放射性本底调查范围值 | | | 1.28~4.00 | / | 8.87~93.6 | 6.70~77.1 | 11.6~184 | 653~2140 | <LLD~4.03 |
| 2014~2016 年放射性本底调查均值 | | | 2.24±0.97 | / | 33±34 | 27±28 | 63±70 | 1000±580 | 0.9±1.2 |

| 采样时间 | 样品编号 | 采样点 | ¹³⁴ Cs | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁵⁴ Mn |
|------------|---------------|-------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2021 年 4 月 | RCLDB210402 | 南夏家水库 | <0.58 | <0.51 | <1.1 | <0.58 |
| | RCLDB210403 | 郭家水库 | <0.49 | <0.44 | <0.85 | <0.52 |
| | RCLDB210404 | 后龙河水库 | <0.55 | <0.51 | <1.0 | <0.60 |
| 2021 年 7 月 | RCLDB210701-1 | 八河水库 | <0.39 | <0.35 | <0.76 | <0.41 |
| | RCLDB210701-2 | 八河水库 | <0.39 | <0.37 | <0.77 | <0.41 |

表 3.1-24 地下水放射性水平测量结果
 华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ⁹⁰ Sr | ³ H | ¹⁴ C | |
|-----------------------|-------------|------|------------------|----------------|-----------------|-----------|
| | | | (mBq/L) | (Bq/L) | (mBq/L) | (Bq/gC) |
| 2021 年 4 月 | RCLDX210401 | 东钱家村 | 3.30±0.09 | 0.47±0.05 | 7.55±0.25 | 0.21±0.01 |
| | RCLDX210402 | 宁津街道 | 10.3±0.2 | 0.36±0.05 | 5.42±0.19 | 0.18±0.01 |
| | RCLDX210403 | 东墩村 | 3.75±0.09 | 0.41±0.05 | / | / |
| | RCLDX210404 | 后海崖村 | 6.37±0.09 | 0.22±0.05 | / | / |
| 范围值 | | | 3.30~10.3 | 0.22~0.47 | 5.42~7.55 | 0.18~0.21 |
| 均值 | | | 5.93±3.21 | 0.37±0.11 | 6.49±1.51 | 0.20±0.02 |
| 2014~2016 年放射性本底调查范围值 | | | 6.26~12.1 | / | / | / |
| 2014~2016 年放射性本底调查均值 | | | 8.4±1.5 | / | / | / |

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ¹³⁴ Cs | ¹³⁷ Cs | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁵⁴ Mn |
|------------|-------------|------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | (mBq/L) | | | | |
| 2021 年 4 月 | RCLDX210401 | 东钱家村 | <1.6 | <2.7 | <1.4 | <1.4 | <1.4 |
| | RCLDX210402 | 宁津街道 | <1.6 | <2.7 | <1.3 | <1.3 | <1.4 |
| | RCLDX210403 | 东墩村 | <1.8 | <2.9 | <1.5 | <1.6 | <1.7 |
| | RCLDX210404 | 后海崖村 | <1.6 | <2.6 | <1.3 | <1.4 | <1.3 |

表 3.1-25 饮用水放射性水平测量结果
华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | 总 α | 总 β | ^{90}Sr | ^3H | ^{14}C | |
|-----------------------|-------------|------|-------------|------------|------------------|--------------|-----------------|-----------|
| | | | (Bq/L) | (Bq/L) | (mBq/L) | (Bq/L) | (mBq/L) | (Bq/gC) |
| 2021 年 4 月 | RCLYY210401 | 东钱家村 | 0.043±0.011 | 0.14±0.01 | 3.97±0.11 | 0.29±0.05 | 7.51±0.25 | 0.20±0.01 |
| | RCLYY210402 | 宁津街道 | <0.020 | 0.30±0.01 | 7.14±0.14 | 0.49±0.05 | 4.76±0.17 | 0.18±0.01 |
| | RCLYY210404 | 镬钹岛 | <0.018 | 0.16±0.01 | / | 0.64±0.05 | / | / |
| | RCLYY210405 | 湾头水库 | <0.015 | 0.18±0.01 | 7.15±0.13 | 0.73±0.06 | 6.83±0.22 | 0.21±0.01 |
| 2021 年 7 月 | RCLYY210703 | 东墩村 | 0.12±0.02 | 0.24±0.01 | / | 0.49±0.05 | / | / |
| 范围值 | | | <LLD~0.12 | 0.14~0.30 | 3.97~7.15 | 0.29~0.73 | 4.76~7.51 | 0.18~0.21 |
| 均值 | | | 0.082±0.054 | 0.20±0.07 | 6.09±1.83 | 0.53±0.17 | 6.37±1.43 | 0.20±0.02 |
| 2014~2016 年放射性本底调查范围值 | | | <LLD~0.13 | 0.065~0.34 | 1.92~14.7 | 0.32~0.84 | / | / |
| 2014~2016 年放射性本底调查均值 | | | 0.055±0.032 | 0.16±0.07 | 7.1±2.9 | 0.55±0.14 | / | / |

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ^{134}Cs | ^{137}Cs | ^{58}Co | ^{60}Co | ^{54}Mn |
|------------|-------------|------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | (mBq/L) | | | | |
| 2021 年 4 月 | RCLYY210401 | 东钱家村 | <1.7 | <2.8 | <1.4 | <1.4 | <1.5 |
| | RCLYY210402 | 宁津街道 | <1.6 | <2.8 | <1.4 | <1.4 | <1.4 |
| | RCLYY210404 | 镬钹岛 | <1.6 | <2.6 | <1.3 | <1.3 | <1.4 |
| | RCLYY210405 | 湾头水库 | <1.7 | <2.8 | <1.4 | <1.6 | <1.4 |
| 2021 年 7 月 | RCLYY210703 | 东墩村 | <1.7 | <2.7 | <1.5 | <1.5 | <1.6 |

表 3.1-26 水生生物放射性水平测量结果
 华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品名称 | 样品编号 | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | ¹⁴ C | | 灰鲜比 |
|------------|------|-------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------|---------|
| | | | (Bq/kg 鲜) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/gC) | |
| 2021 年 4 月 | 白鲢鱼 | RCLSY210401 | 0.023±0.007 | 0.039±0.001 | 6.76±0.23 | 0.20±0.01 | 0.00903 |
| 2021 年 7 月 | 水草 | RCLSY210701 | 0.14±0.04 | 0.59±0.01 | 53.15±1.83 | 0.20±0.01 | 0.0509 |

| 采样时间 | 样品名称 | 样品编号 | ¹³⁴ Cs | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁵⁴ Mn |
|------------|------|-------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | (Bq/kg 鲜) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/kg 鲜) |
| 2021 年 4 月 | 白鲢鱼 | RCLSY210401 | <0.021 | <0.024 | <0.041 | <0.023 |
| 2021 年 7 月 | 水草 | RCLSY210701 | <0.094 | <0.092 | <0.11 | <0.097 |

表 3.1-27 土壤放射性水平测量结果

单位: Bq/kg

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ⁹⁰ Sr | ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu | ²³⁸ U | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ⁴⁰ K | ¹³⁷ Cs |
|-------------|---------------|-----------|------------------|-----------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 2021 年 4 月 | RCLTR210401 | 海工楼 | 1.12±0.11 | 0.072±0.010 | 30.5±1.8 | 29.0±0.6 | 44.2±1.2 | 963±9 | 1.30±0.25 |
| | RCLTR210402 | 华能核电厂区边界 | 1.00±0.12 | 0.053±0.006 | 31.1±1.8 | 27.5±0.6 | 55.1±1.3 | 946±9 | 0.94±0.20 |
| | RCLTR210403-1 | 东钱家村 | 0.63±0.10 | 0.038±0.007 | 39.3±1.9 | 28.1±0.6 | 57.3±1.2 | 1190±10 | <0.58 |
| | RCLTR210403-2 | 东钱家村 | 0.77±0.08 | 0.037±0.006 | 38.1±1.9 | 28.8±0.6 | 52.7±1.2 | 1220±10 | 1.14±0.21 |
| | RCLTR210404 | 小河东村 | 1.13±0.14 | 0.10±0.01 | 28.9±1.8 | 27.4±0.6 | 45.5±1.3 | 1150±10 | 2.31±0.24 |
| | RCLTR210405 | 西钱家村 | 0.51±0.08 | / | 30.1±1.8 | 20.9±0.4 | 46.5±1.2 | 944±8 | 1.90±0.21 |
| | RCLTR210406 | 周庄村 | 0.78±0.12 | 0.084±0.008 | 33.7±2.1 | 30.6±0.6 | 55.3±1.2 | 1050±9 | 1.77±0.21 |
| | RCLTR210407 | 所前杜家村 | 0.88±0.08 | 0.032±0.005 | 45.9±2.4 | 48.0±0.8 | 94.7±1.5 | 1020±9 | 0.92±0.22 |
| | RCLTR210408 | 所前王家村 | 1.02±0.08 | / | 48.9±2.7 | 33.7±0.6 | 71.5±1.4 | 1200±9 | <0.75 |
| | RCLTR210409 | 东墩村 | 0.77±0.11 | 0.031±0.006 | 37.3±2.2 | 35.4±0.7 | 62.4±1.4 | 1130±9 | 0.79±0.18 |
| | RCLTR210410 | 南泊村 | 1.58±0.19 | 0.064±0.009 | 33.7±1.8 | 29.7±0.6 | 55.7±1.2 | 1190±9 | 1.57±0.18 |
| | RCLTR210411 | 宁津养殖二厂 | 0.55±0.12 | 0.020±0.007 | 13.1±0.7 | 9.28±0.3 | 14.5±0.7 | 679±7 | <0.51 |
| | RCLTR210412 | 所后王家村 | 0.65±0.08 | / | 47.9±0.9 | 39.0±0.7 | 74.1±1.4 | 1200±10 | 2.00±0.20 |
| | RCLTR210413-1 | 宁津街道 | 0.42±0.08 | / | 53.1±2.7 | 56.5±0.8 | 110±2 | 1240±10 | <1.1 |
| | RCLTR210413-2 | 宁津街道 | 0.46±0.09 | / | 56.8±3.0 | 58.2±0.8 | 105±2 | 1260±10 | <1.1 |
| | RCLTR210414 | 鞠家村 | 1.86±0.10 | / | 71.0±3.6 | 60.3±0.8 | 98.1±1.6 | 1530±11 | 1.64±0.22 |
| | RCLTR210415 | 北场村 | 1.20±0.11 | 0.053±0.009 | 41.0±1.9 | 32.9±0.6 | 64.7±1.2 | 1080±9 | <0.45 |
| | RCLTR210416 | 南夏家村 | 1.12±0.09 | / | 47.3±2.6 | 45.7±0.8 | 87.5±1.6 | 1460±11 | 1.07±0.23 |
| RCLTR210417 | 东南海村 | 0.83±0.10 | / | 48.7±2.4 | 35.3±0.7 | 65.3±1.4 | 953±9 | 0.98±0.19 | |
| RCLTR210418 | 后海崖村 | 1.02±0.13 | / | 20.9±1.2 | 18.6±0.5 | 33.9±1.0 | 783±8 | 1.47±0.18 | |

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ⁹⁰ Sr | ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu | ²³⁸ U | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ⁴⁰ K | ¹³⁷ Cs |
|------|----------------------|----------|------------------|-----------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | RCLTR210419 | 东楮岛村 | 0.93±0.11 | / | 24.3±1.4 | 23.1±0.5 | 34.3±1.1 | 835±8 | 1.87±0.18 |
| | RCLTR210420 | 林家流村 | 0.90±0.09 | / | 58.4±3.2 | 58.3±0.8 | 126±2 | 1190±9 | <1.1 |
| | RCLTR210421 | 八河姚家村 | 0.85±0.08 | / | 31.0±1.8 | 26.8±0.6 | 56.3±1.3 | 1180±9 | 0.74±0.19 |
| | RCLTR210422 | 东山街道 | 1.16±0.08 | / | 44.6±2.5 | 43.7±0.7 | 82.8±1.5 | 1170±10 | <1.1 |
| | RCLTR210423 | 崂山街道 | 0.84±0.07 | / | 47.3±2.0 | 41.0±0.7 | 35.6±1.0 | 632±7 | <0.85 |
| | RCLTR210424 | 港湾街道 | 0.98±0.08 | / | 99.1±4.9 | 97.9±1.1 | 223±2 | 1300±10 | <1.4 |
| | RCLTR210425 | 成山镇（对照点） | 0.61±0.12 | 0.070±0.010 | 12.7±0.9 | 13.6±0.4 | 17.6±0.9 | 803±7 | 1.48±0.18 |
| | 范围值 | | 0.42~1.86 | 0.020~0.10 | 12.7~99.1 | 9.28~97.9 | 14.5~223 | 632~1530 | <LLD~2.31 |
| | 均值 | | 0.91±0.32 | 0.055±0.024 | 41.5±20.1 | 37.0±18.1 | 69.2±41.2 | 1085±217 | 1.41±0.47 |
| | 2014~2016年放射性本底调查范围值 | | 0.65~3.50 | 0.058~0.13 | <LLD~76.8 | 6.75~76.7 | 10.2~173 | 509~1490 | <LLD~3.06 |
| | 2014~2016年放射性本底调查均值 | | 1.74±0.81 | 0.094±0.031 | 31±16 | 28±14 | 48±33 | 920±270 | 1.60±0.79 |
| | 2010年放射性本底调查范围值 | | 0.60~1.18 | / | 26.7~64.8 | 25.7~67.2 | 34.6~138 | 955~1410 | 1.89~3.28 |
| | 2010年放射性本底调查均值 | | 0.96±0.25 | / | 36.7±18.7 | 36.4±20.5 | 62.4±20.5 | 1090±210 | 2.78±0.61 |
| | 全国放射性水平调查（山东省）范围 | | / | / | 15.7~90.1 | 9.8~50.0 | 20.8~202.0 | 391.7~1870 | / |

注：低于探测限的测量结果未参与平均。

表 3.1-27 续 土壤放射性水平测量结果

单位: Bq/kg

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样地点 | ^{134}Cs | ^{58}Co | ^{60}Co | ^{54}Mn |
|-------------|---------------|----------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2021 年 4 月 | RCLTR210401 | 海工楼 | <0.83 | <0.83 | <1.2 | <0.89 |
| | RCLTR210402 | 华能核电厂区边界 | <0.87 | <0.87 | <1.2 | <0.93 |
| | RCLTR210403-1 | 东钱家村 | <0.82 | <0.84 | <1.2 | <0.88 |
| | RCLTR210403-2 | 东钱家村 | <0.87 | <0.88 | <1.3 | <0.92 |
| | RCLTR210404 | 小河东村 | <0.95 | <0.92 | <1.4 | <0.96 |
| | RCLTR210405 | 西钱家村 | <0.83 | <0.84 | <1.1 | <0.89 |
| | RCLTR210406 | 周庄村 | <0.86 | <0.85 | <1.2 | <0.90 |
| | RCLTR210407 | 所前杜家村 | <0.96 | <0.92 | <1.2 | <0.92 |
| | RCLTR210408 | 所前王家村 | <0.86 | <0.88 | <1.2 | <0.86 |
| | RCLTR210409 | 东墩村 | <0.92 | <0.93 | <1.3 | <0.88 |
| | RCLTR210410 | 南泊村 | <0.82 | <0.84 | <1.2 | <0.85 |
| | RCLTR210411 | 宁津养殖二厂 | <0.61 | <0.61 | <0.90 | <0.62 |
| | RCLTR210412 | 所后王家村 | <0.92 | <0.91 | <1.3 | <0.92 |
| | RCLTR210413-1 | 宁津街道 | <1.0 | <0.96 | <1.3 | <0.98 |
| | RCLTR210413-2 | 宁津街道 | <1.0 | <0.98 | <1.3 | <0.99 |
| | RCLTR210414 | 鞠家村 | <1.0 | <1.0 | <1.4 | <1.0 |
| | RCLTR210415 | 北场村 | <0.82 | <0.83 | <1.2 | <0.81 |
| | RCLTR210416 | 南夏家村 | <0.98 | <0.97 | <1.4 | <0.97 |
| | RCLTR210417 | 东南海村 | <0.88 | <0.85 | <1.2 | <0.85 |
| | RCLTR210418 | 后海崖村 | <0.74 | <0.73 | <1.1 | <0.74 |
| | RCLTR210419 | 东楮岛村 | <0.74 | <0.74 | <1.1 | <0.76 |
| | RCLTR210420 | 林家流村 | <1.0 | <0.97 | <1.3 | <1.0 |
| | RCLTR210421 | 八河姚家村 | <0.85 | <0.85 | <1.2 | <0.88 |
| | RCLTR210422 | 东山街道 | <0.97 | <0.93 | <1.3 | <0.98 |
| | RCLTR210423 | 崂山街道 | <0.69 | <0.82 | <1.1 | <0.80 |
| RCLTR210424 | 港湾街道 | <1.2 | <1.1 | <1.5 | <1.3 | |
| RCLTR210425 | 成山镇(对照点) | <0.66 | <0.66 | <0.98 | <0.71 | |

表 3.1-28 陆生生物放射性水平测量结果
华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品名称 | 样品编号 | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | 自由水氚 | | 有机氚 | | ¹⁴ C | | 灰鲜比 |
|------------|------|---------------|-------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|---------|
| | | | (Bq/kg 鲜) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/L) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/L) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/gC) | |
| 2021 年 4 月 | 葱 | RCLSC210401 | 0.023±0.007 | 0.033±0.001 | 0.77±0.10 | 0.85±0.11 | 0.06±0.02 | 1.23±0.48 | 6.76±0.23 | 0.19±0.01 | 0.00630 |
| | 松针 | RCLSZ210401 | 0.14±0.04 | 0.31±0.01 | 0.22±0.03 | 0.71±0.11 | 0.51±0.13 | 1.31±0.48 | 53.15±1.83 | 0.20±0.01 | 0.0275 |
| 2021 年 7 月 | 猪肉 | RCLSR210701 | 0.039±0.007 | 0.060±0.002 | 0.41±0.08 | 0.58±0.11 | <0.18 | <1.06 | 25.37±0.85 | 0.19±0.01 | 0.00836 |
| | 鸡肉 | RCLSR210702 | <0.019 | 0.007±0.001 | 0.39±0.08 | 0.55±0.11 | <0.18 | <1.06 | 28.18±0.94 | 0.21±0.01 | 0.00475 |
| | 豆角 | RCLSC210701 | 0.018±0.004 | 0.017±0.001 | 0.49±0.10 | 0.55±0.11 | 0.10±0.02 | 1.74±0.48 | 7.14±0.26 | 0.19±0.01 | 0.00530 |
| | 小麦 | RCLSL210701 | <0.043 | 0.077±0.003 | / | / | 0.70±0.18 | 1.31±0.48 | 70.02±2.50 | 0.19±0.01 | 0.0192 |
| | 小麦 | RCLSL210702 | 0.084±0.014 | 0.072±0.003 | / | / | 0.57±0.19 | 1.02±0.47 | 72.14±2.46 | 0.21±0.01 | 0.0176 |
| | 玉米 | RCLSL210703 | <0.032 | 0.021±0.002 | / | / | 0.92±0.19 | 1.67±0.48 | 82.21±2.70 | 0.20±0.01 | 0.0125 |
| | 玉米 | RCLSL210704-1 | <0.040 | 0.036±0.002 | / | / | 0.77±0.19 | 1.38±0.48 | 68.42±2.48 | 0.18±0.01 | 0.0127 |
| | 玉米 | RCLSL210704-2 | <0.041 | 0.034±0.002 | / | / | 0.74±0.19 | 1.31±0.48 | 69.06±2.49 | 0.17±0.01 | 0.0124 |
| | 牛奶 | RCLSN210701 | / | / | / | / | / | / | / | / | 0.0122 |

注：小麦和玉米由于含水量低，未给出自由水氚的测量结果，其它核素的测量结果单位为 Bq/kg 干，小麦、玉米测量结果为干重结果。

表 3.1-28 续 陆生生物放射性水平测量结果

单位: Bq/kg 鲜

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品名称 | 样品编号 | ¹³⁴ Cs | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁵⁴ Mn | ¹³¹ I |
|------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2021 年 4 月 | 葱 | RCLSC210401 | <0.020 | <0.022 | <0.040 | <0.022 | / |
| | 松针 | RCLSZ210401 | <0.11 | <0.11 | <0.17 | <0.11 | / |
| 2021 年 7 月 | 猪肉 | RCLSR210701 | <0.021 | <0.024 | <0.046 | <0.024 | |
| | 鸡肉 | RCLSR210702 | <0.018 | <0.019 | <0.030 | <0.018 | / |
| | 豆角 | RCLSC210701 | <0.018 | <0.020 | <0.037 | <0.020 | / |
| | 牛奶 | RCLSN210701 | / | / | / | / | <0.022 |
| | 小麦 | RCLSL210701 | <0.056 | <0.043 | <0.10 | <0.020 | / |
| | 小麦 | RCLSL210702 | <0.062 | <0.074 | <0.11 | <0.069 | / |
| | 玉米 | RCLSL210703 | <0.028 | <0.032 | <0.055 | <0.031 | / |
| | 玉米 | RCLSL210704-1 | <0.018 | <0.020 | <0.037 | <0.020 | / |
| 玉米 | RCLSL210704-2 | <0.018 | <0.020 | <0.037 | <0.020 | / | |

表 3.1-29 海水放射性水平测量结果
华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样点 | 总 α | 总 β | ^{226}Ra | ^{40}K | ^{137}Cs | ^{90}Sr | ^3H | ^{14}C | | 沉淀量 (g) |
|-----------------------|---------------|---------|------------|-----------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------|-----------------|-----------|------------|
| | | | (Bq/L) | (Bq/L) | (mBq/L) | (Bq/L) | (mBq/L) | (mBq/L) | (Bq/L) | (mBq/L) | (Bq/gC) | |
| 2021 年 4 月 | RCHHS210401 | 取水口 | <3.71 | 14.4±0.8 | 6.31±0.39 | 12.0±0.4 | 1.23±0.20 | 2.92±0.07 | 0.48±0.05 | 5.01±0.18 | 0.20±0.01 | 1.5887 |
| | RCHHS210402-1 | 排水口 | <4.05 | 13.2±0.8 | 6.55±0.41 | 11.6±0.4 | 1.51±0.21 | 0.93±0.05 | 0.35±0.05 | 4.70±0.18 | 0.20±0.01 | 1.6183 |
| | RCHHS210402-2 | 排水口 | <4.03 | 14.7±0.9 | 4.47±0.30 | 12.6±0.4 | 1.14±0.20 | 0.70±0.04 | 0.40±0.05 | 5.26±0.18 | 0.20±0.01 | 1.5863 |
| | RCHHS210403 | 海水 3#点 | <1.99 | 11.3±0.5 | 3.34±0.28 | 12.7±0.4 | 1.39±0.22 | 0.86±0.04 | 0.34±0.05 | 4.91±0.18 | 0.19±0.01 | 1.5443 |
| | RCHHS210404 | 海水 4#点 | <2.32 | 12.3±0.4 | 3.44±0.27 | 10.2±0.4 | 1.35±0.17 | 0.75±0.06 | 0.33±0.05 | 5.37±0.18 | 0.20±0.01 | 1.5444 |
| | RCHHS210405 | 海水 5#点 | <2.09 | 9.87±0.35 | 3.42±0.30 | 12.0±0.4 | 1.05±0.18 | / | 0.40±0.05 | / | / | 1.5812 |
| | RCHHS210406 | 海水 6#点 | <1.95 | 9.71±0.36 | 7.09±0.40 | 10.6±0.5 | 1.09±0.25 | / | 0.39±0.05 | / | / | 1.5279 |
| | RCHHS210407 | 海水 7#点 | <2.10 | 11.7±0.4 | 6.14±0.34 | 11.4±0.4 | 1.01±0.20 | 1.01±0.06 | 0.34±0.05 | 5.22±0.18 | 0.20±0.01 | 1.5355 |
| | RCHHS210408 | 海水 8#点 | <2.18 | 13.2±0.5 | 4.16±0.28 | 12.0±0.4 | 1.08±0.20 | 0.76±0.05 | 0.32±0.05 | 5.27±0.18 | 0.19±0.01 | 1.5945 |
| | RCHHS210409 | 海水 9#点 | <2.87 | 13.4±0.4 | 4.40±0.32 | 10.2±0.4 | 1.35±0.20 | 0.67±0.05 | 0.46±0.05 | 2.84±0.12 | 0.18±0.01 | 1.5452 |
| | RCHHS210410 | 海水 10#点 | <1.96 | 10.5±0.4 | 2.38±0.22 | 10.4±0.4 | 1.29±0.20 | / | 0.37±0.05 | / | / | 1.5773 |
| | RCHHS210411 | 海水 11#点 | <2.01 | 10.8±0.5 | 3.15±0.26 | 9.58±0.33 | 1.32±0.22 | 0.71±0.05 | 0.39±0.05 | 5.52±0.19 | 0.20±0.01 | 1.5628 |
| | RCHHS210412 | 海水 12#点 | <2.37 | 10.8±0.4 | 3.40±0.31 | 11.3±0.4 | 1.15±0.21 | / | 0.34±0.05 | / | / | 1.5762 |
| | RCHHS210413 | 海水 13#点 | <3.54 | 8.12±0.56 | 3.24±0.29 | 11.0±0.4 | 1.14±0.22 | 0.74±0.05 | 0.25±0.05 | 5.63±0.18 | 0.21±0.01 | 2.6286 |
| | RCHHS210414 | 海水 14#点 | <3.71 | 9.10±0.57 | 7.70±0.45 | 10.4±0.4 | 1.61±0.28 | 0.79±0.05 | 0.38±0.05 | 5.14±0.18 | 0.19±0.01 | 2.6103 |
| RCHHS210415 | 养参池 | <3.72 | 11.7±0.7 | 6.40±0.41 | 9.94±0.30 | 1.01±0.21 | 0.69±0.05 | 0.26±0.05 | 5.49±0.19 | 0.20±0.01 | 1.5505 | |
| 范围值 | | | / | 8.12~14.7 | 2.38~7.70 | 9.58~12.7 | 1.01~1.61 | 0.67~2.92 | 0.25~0.48 | 2.84~5.63 | 0.18~0.21 | / |
| 均值 | | | / | 11.6±1.9 | 4.72±1.69 | 11.0±1.0 | 1.23±0.18 | 0.96±0.63 | 0.36±0.06 | 5.03±0.74 | 0.20±0.01 | / |
| 2014~2016 年放射性本底调查范围值 | | | / | / | 1.10~2.80 | / | / | 1.18~2.86 | 0.19~1.05 | 3.47~6.47 | 0.15~0.25 | / |
| 2014~2016 年放射性本底调查均值 | | | / | / | 1.98±0.39 | / | / | 1.67±0.34 | 0.44±0.21 | 5.07±0.76 | 0.21±0.03 | / |
| 2010 年放射性本底调查范围值 | | | / | / | 0.56~3.12 | / | / | 1.00~2.49 | 0.40~1.38 | / | 0.28~0.30 | / |
| 2010 年放射性本底调查均值 | | | / | / | 1.53±0.65 | / | / | 1.81±0.32 | 0.63±0.16 | / | 0.29±0.02 | / |

表 3.1-29 续 海水放射性水平测量结果

单位: mBq/L

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样点 | ^{134}Cs | ^{58}Co | ^{60}Co | ^{54}Mn | ^{131}I | $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | ^{106}Rh | ^{65}Zn |
|-------------|---------------|---------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------|-------------------|------------------|
| 2021 年 4 月 | RCHHS210401 | 取水口 | <0.80 | <0.65 | <0.99 | <0.70 | <0.65 | <1.1 | <7.2 | <1.6 |
| | RCHHS210402-1 | 排水口 | <0.78 | <0.58 | <0.94 | <0.73 | <0.64 | <1.1 | <7.3 | <1.5 |
| | RCHHS210402-2 | 排水口 | <0.77 | <0.59 | <0.91 | <0.72 | <0.62 | <0.99 | <6.7 | <1.5 |
| | RCHHS210403 | 海水 3#点 | <0.74 | <0.58 | <0.93 | <0.64 | <0.62 | <1.1 | <6.8 | <1.7 |
| | RCHHS210404 | 海水 4#点 | <0.73 | <0.58 | <0.99 | <0.70 | <0.60 | <1.1 | <7.2 | <1.6 |
| | RCHHS210405 | 海水 5#点 | <0.77 | <0.59 | <1.0 | <0.69 | <0.63 | <1.0 | <6.9 | <1.6 |
| | RCHHS210406 | 海水 6#点 | <0.73 | <0.60 | <0.98 | <0.66 | <0.63 | <1.1 | <6.7 | <1.5 |
| | RCHHS210407 | 海水 7#点 | <0.77 | <0.60 | <0.93 | <0.70 | <0.62 | <1.0 | <6.7 | <1.6 |
| | RCHHS210408 | 海水 8#点 | <0.78 | <0.61 | <1.1 | <0.69 | <0.61 | <1.1 | <6.7 | <1.6 |
| | RCHHS210409 | 海水 9#点 | <0.81 | <0.63 | <0.96 | <0.72 | <0.66 | <1.1 | <6.8 | <1.7 |
| | RCHHS210410 | 海水 10#点 | <0.80 | <0.62 | <0.94 | <0.69 | <0.64 | <1.0 | <6.9 | <1.6 |
| | RCHHS210411 | 海水 11#点 | <0.76 | <0.63 | <0.96 | <0.70 | <0.62 | <1.0 | <7.1 | <1.6 |
| | RCHHS210412 | 海水 12#点 | <0.75 | <0.75 | <0.98 | <0.70 | <0.62 | <1.1 | <6.7 | <1.6 |
| | RCHHS210413 | 海水 13#点 | <0.77 | <0.63 | <1.0 | <0.72 | <0.64 | <1.1 | <6.9 | <1.7 |
| | RCHHS210414 | 海水 14#点 | <0.85 | <0.70 | <1.0 | <0.79 | <0.67 | <1.1 | <7.4 | <1.8 |
| RCHHS210415 | 养参池 | <0.78 | <0.62 | <0.96 | <0.70 | <0.57 | <0.91 | <6.3 | <1.6 | |

表 3.1-30 海洋沉积物放射性水平测量结果

单位: Bq/kg

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样点 | ²³⁸ U | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ⁴⁰ K | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu |
|-----------------------|---------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| 2021 年 4、9 月 | RCHCJ210401 | 取水口 | 30.5±3.4 | 28.8±0.6 | 42.2±1.2 | 824±9 | 1.25±0.19 | 1.05±0.11 | 0.088±0.013 |
| | RCHCJ210902-1 | 排水口 | 28.5±2.3 | 22.4±0.4 | 32.6±0.7 | 705±5 | 0.83±0.09 | 1.16±0.08 | 0.075±0.012 |
| | RCHCJ210902-2 | 排水口 | 25.5±1.7 | 20.2±0.3 | 29.7±0.7 | 673±5 | 1.19±0.13 | 1.19±0.08 | 0.10±0.02 |
| | RCHCJ210403 | 沉积物 3#点 | 28.1±2.6 | 24.4±0.5 | 38.6±1.0 | 664±7 | 1.04±0.14 | 0.68±0.08 | 0.13±0.02 |
| | RCHCJ210904 | 沉积物 4#点 | 33.4±2.3 | 22.0±0.4 | 30.2±0.9 | 695±3 | 0.68±0.15 | 2.28±0.09 | 0.096±0.015 |
| | RCHCJ210405 | 沉积物 5#点 | 25.9±2.5 | 20.6±0.4 | 35.5±0.9 | 700±7 | 0.89±0.14 | 1.17±0.08 | / |
| | RCHCJ210406 | 沉积物 6#点 | 21.9±1.9 | 21.8±0.5 | 35.8±0.9 | 707±7 | 0.84±0.15 | 0.47±0.07 | / |
| | RCHCJ210407 | 沉积物 7#点 | 29.6±2.2 | 22.0±0.5 | 34.6±1.0 | 584±7 | <0.55 | 0.34±0.08 | 0.098±0.015 |
| | RCHCJ210908 | 沉积物 8#点 | 23.2±1.8 | 17.6±0.4 | 24.6±0.6 | 525±4 | 0.67±0.10 | 0.81±0.08 | 0.081±0.014 |
| | RCHCJ210909 | 沉积物 9#点 | 19.4±1.7 | 16.6±0.3 | 23.1±0.6 | 498±4 | 0.67±0.08 | 3.59±0.11 | 0.055±0.012 |
| | RCHCJ210910 | 沉积物 10#点 | 33.4±2.5 | 26.9±0.5 | 37.3±0.8 | 705±5 | 0.97±0.11 | 1.83±0.12 | / |
| | RCHCJ210411 | 沉积物 11#点 | 27.3±2.4 | 20.2±0.4 | 31.9±0.9 | 693±7 | 0.80±0.13 | 1.47±0.10 | 0.073±0.010 |
| | RCHCJ210912 | 沉积物 12#点 | 32.4±2.0 | 25.4±0.5 | 37.3±0.8 | 685±5 | 1.11±0.11 | 2.38±0.09 | / |
| | RCHCJ210413 | 沉积物 13#点 | 26.8±2.5 | 23.0±0.4 | 32.7±0.9 | 692±7 | 0.56±0.13 | 1.86±0.10 | 0.075±0.011 |
| | RCHCJ210414 | 沉积物 14#点 | 26.2±2.3 | 19.8±0.4 | 30.0±0.8 | 710±7 | 0.69±0.12 | 1.15±0.09 | 0.045±0.007 |
| | RCHCJ210915 | 养参池 | 21.9±1.7 | 20.9±0.4 | 30.8±0.8 | 797±6 | 1.11±0.10 | 2.58±0.11 | 0.077±0.012 |
| | RCHCJ210416 | 北侧潮间带 | 32.4±2.7 | 29.7±0.5 | 51.0±1.0 | 1030±8 | <0.48 | 0.83±0.10 | 0.033±0.008 |
| RCHCJ210417 | 南侧潮间带 | 30.1±2.5 | 20.5±0.4 | 39.7±0.9 | 720±7 | 2.85±0.15 | 1.23±0.15 | 0.035±0.006 | |
| 范围值 | | | 19.4~33.4 | 16.6~29.7 | 23.1~51.0 | 498~1030 | <LLD~2.85 | 0.34~3.59 | 0.033~0.13 |
| 均值 | | | 27.6±4.2 | 22.4±3.5 | 34.3~6.5 | 700±114 | 1.01±0.53 | 1.45±0.83 | 0.076±0.027 |
| 2014~2016 年放射性本底调查范围值 | | | 11.1~32.6 | 10.4~24.3 | 15.7~37.1 | 447~772 | <LLD~1.75 | 0.85~2.83 | 0.072~0.081 |
| 2014~2016 年放射性本底调查均值 | | | 20.5±6.0 | 18.0±3.9 | 27.9±5.5 | 651±80 | 0.82±0.41 | 1.53±0.59 | 0.077±0.006 |
| 2010 年放射性本底调查范围值 | | | / | 9.06~25.5 | 16.4~43.9 | 312~741 | <LLD~2.04 | 0.65~3.98 | / |
| 2010 年放射性本底调查均值 | | | / | 21.1±5.3 | 34.0±8.3 | 639±99 | 0.95±0.62 | 1.91±0.81 | / |

表 3.1-30 续 海洋沉积物放射性水平测量结果

单位: Bq/kg

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品编号 | 采样点 | ^{134}Cs | ^{58}Co | ^{60}Co | ^{54}Mn | $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | ^{106}Rh | ^{65}Zn |
|--------------|---------------|----------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------|-------------------|------------------|
| 2021 年 4、9 月 | RCHCJ210401 | 取水口 | <0.62 | <0.59 | <1.1 | <0.54 | <0.65 | <6.7 | <1.6 |
| | RCHCJ210902-1 | 排水口 | <0.47 | <0.42 | <0.58 | <0.47 | <0.60 | <4.0 | <1.0 |
| | RCHCJ210902-2 | 排水口 | <0.41 | <0.38 | <0.53 | <0.41 | <0.53 | <3.6 | <0.90 |
| | RCHCJ210403 | 沉积物 3#点 | <0.46 | <0.41 | <0.87 | <0.49 | <0.51 | <4.9 | <1.2 |
| | RCHCJ210904 | 沉积物 4#点 | <0.51 | <0.47 | <0.63 | <0.50 | <0.65 | <4.3 | <1.2 |
| | RCHCJ210405 | 沉积物 5#点 | <0.48 | <0.42 | <0.88 | <0.49 | <0.49 | <5.2 | <1.2 |
| | RCHCJ210406 | 沉积物 6#点 | <0.47 | <0.44 | <0.86 | <0.49 | <0.49 | <5.1 | <1.3 |
| | RCHCJ210407 | 沉积物 7#点 | <0.51 | <0.44 | <0.92 | <0.53 | <0.52 | <5.4 | <1.3 |
| | RCHCJ210908 | 沉积物 8#点 | <0.45 | <0.40 | <0.53 | <0.44 | <0.56 | <3.8 | <0.96 |
| | RCHCJ210909 | 沉积物 9#点 | <0.41 | <0.37 | <0.50 | <0.41 | <0.53 | <3.6 | <0.92 |
| | RCHCJ210910 | 沉积物 10#点 | <0.52 | <0.48 | <0.64 | <0.52 | <0.66 | <4.7 | <1.1 |
| | RCHCJ210411 | 沉积物 11#点 | <0.46 | <0.40 | <0.87 | <0.48 | <0.49 | <4.8 | <1.2 |
| | RCHCJ210912 | 沉积物 12#点 | <0.52 | <0.47 | <0.63 | <0.51 | <0.65 | <4.4 | <1.1 |
| | RCHCJ210413 | 沉积物 13#点 | <0.46 | <0.41 | <0.85 | <0.48 | <0.51 | <5.0 | <1.3 |
| | RCHCJ210414 | 沉积物 14#点 | <0.43 | <0.39 | <0.81 | <0.46 | <0.47 | <4.7 | <1.2 |
| | RCHCJ210915 | 养参池 | <0.50 | <0.46 | <0.67 | <0.51 | <0.67 | <4.4 | <1.1 |
| | RCHCJ210416 | 北侧潮间带 | <0.50 | <0.46 | <0.94 | <0.52 | <0.54 | <5.4 | <1.3 |
| RCHCJ210417 | 南侧潮间带 | <0.46 | <0.40 | <0.85 | <0.49 | <0.57 | <5.4 | <1.3 | |

表 3.1-31 海洋生物放射性水平测量结果
华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品名称 | 样品编号 | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | 自由水氚 | | 有机氚 | | ¹⁴ C | | 灰鲜比 |
|------------|------|---------------|-------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|---------|
| | | | (Bq/kg 干) | (Bq/kg 干) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/L) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/L) | (Bq/kg 鲜) | (Bq/gC) | |
| 2021 年 4 月 | 鲆鱼 | RCHSY210401-1 | 0.089±0.009 | 0.033±0.002 | 0.25±0.08 | 0.35±0.11 | 1.04±0.07 | 5.73±0.54 | 25.11±0.88 | 0.18±0.01 | 0.0193 |
| | 鲆鱼 | RCHSY210401-2 | 0.076±0.010 | 0.043±0.002 | 0.24±0.07 | 0.34±0.11 | 1.15±0.07 | 6.24±0.55 | 25.03±0.88 | 0.19±0.01 | 0.0195 |
| | 梭鱼 | RCHSY210402 | 0.058±0.007 | 0.012±0.001 | 0.32±0.08 | 0.45±0.11 | 0.83±0.06 | 5.44±0.54 | 20.37±0.69 | 0.20±0.01 | 0.0104 |
| | 牡蛎 | RCHSB210401 | 0.058±0.013 | 0.021±0.002 | 0.26±0.08 | 0.34±0.11 | <0.12 | <1.06 | 16.12±0.60 | 0.17±0.01 | 0.0278 |
| | 海参 | RCHSR210401 | <0.033 | 0.038±0.003 | 0.43±0.09 | 0.52±0.11 | 0.08±0.03 | 1.02±0.47 | 10.62±0.36 | 0.20±0.01 | 0.0161 |
| 2021 年 7 月 | 海带 | RCHSC210701-1 | <0.44 | 0.20±0.03 | 0.27±0.08 | 0.35±0.11 | 0.15±0.04 | 1.38±0.48 | 16.54±0.57 | 0.21±0.01 | 0.0164 |
| | 海带 | RCHSC210701-2 | <0.39 | 0.15±0.01 | 0.31±0.09 | 0.39±0.11 | 0.17±0.04 | 1.45±0.48 | 16.69±0.57 | 0.19±0.01 | 0.0151 |
| | 海带 | RCHSC210702 | 0.094±0.027 | 0.070±0.006 | 0.33±0.08 | 0.44±0.11 | <0.12 | <1.06 | 11.75±0.44 | 0.18±0.01 | 0.0464 |
| | 扇贝 | RCHSB210701 | 0.038±0.009 | 0.033±0.003 | 0.52±0.09 | 0.61±0.11 | <0.12 | <1.06 | 11.18±0.39 | 0.18±0.01 | 0.0225 |
| | 白对虾 | RCHSK210701 | 0.015±0.003 | 0.010±0.001 | 0.41±0.09 | 0.50±0.11 | 0.13±0.03 | 1.38±0.48 | 16.27±0.55 | 0.20±0.01 | 0.00924 |

注：海带的 ¹³⁷Cs、⁹⁰Sr 测量结果为干重结果 (Bq/kg 干)，对应为灰干比。

表 3.1-31 续 海洋生物放射性水平测量结果

单位：Bq/kg 鲜

华能高温气冷堆示范工程装料及达到临界状态前

| 采样时间 | 样品名称 | 样品编号 | ^{134}Cs | ^{58}Co | ^{60}Co | ^{54}Mn | $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | ^{106}Rh |
|------------|------|---------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------|-------------------|
| 2021 年 4 月 | 鲅鱼 | RCHSY210401-1 | <0.038 | <0.044 | <0.079 | <0.042 | <0.066 | <0.36 |
| | 鲅鱼 | RCHSY210401-2 | <0.038 | <0.044 | <0.079 | <0.042 | <0.067 | <0.37 |
| | 梭鱼 | RCHSY210402 | <0.026 | <0.029 | <0.051 | <0.28 | <0.043 | <2.5 |
| | 牡蛎 | RCHSB210401 | <0.059 | <0.063 | <0.095 | <0.058 | <0.091 | <0.54 |
| | 海参 | RCHSR210401 | <0.031 | <0.031 | <0.041 | <0.029 | <0.045 | <0.28 |
| 2021 年 7 月 | 海带 | RCHSC210701-1 | <0.39 | <0.44 | <0.77 | <0.42 | <0.65 | <3.8 |
| | 海带 | RCHSC210701-2 | <0.34 | <0.39 | <0.67 | <0.37 | <0.56 | <3.4 |
| | 海带 | RCHSC210702 | <0.13 | <0.14 | <0.23 | <0.13 | <0.20 | <1.2 |
| | 扇贝 | RCHSB210701 | <0.047 | <0.049 | <0.080 | <0.050 | <0.073 | <0.44 |
| | 白对虾 | RCHSK210701 | <0.017 | <0.020 | <0.036 | <0.019 | <0.029 | <0.17 |

注：海带测量结果为干重结果（Bq/kg 干）。

表 3.1-32 主要仪器和设备检定情况

| 序号 | 仪器设备名称 | 型号规格 | 最近检定日期 | 检定证书号 | 检定周期 |
|----|------------------------|---------------|------------|-------------------|------|
| 1 | HPGe γ 谱仪 | GR3019 | 2021.7.6 | 校字第[2021]-P1036 | 2 年 |
| 2 | HPGe γ 谱仪 | BE3830 | 2021.7.6 | 校字第[2021]-P1035 | 2 年 |
| 3 | HPGe γ 谱仪 | GMX-50S | 2021.7.6 | 校字第[2021]-P1037 | 2 年 |
| 4 | HPGe γ 谱仪 | GEM40P4-76 | 2020.10.21 | 检字第[2020]-P029 | 2 年 |
| 5 | HPGe γ 谱仪 | GC4019 | 2021.7.7 | 校字第[2021]-P1038 | 2 年 |
| 6 | 低本底 α/β 测量仪 | LB770 | 2020.3.2 | 检字第[2020]-D1001 | 2 年 |
| 7 | 低本底 α/β 测量仪 | LB770 | 2020.10.19 | 检字第[2020]-D1026A | 2 年 |
| 8 | 低本底 α 谱仪 | 7200-08 | 2020.6.18 | 校字第[2020]-D1001 | 2 年 |
| 9 | 低本底 α 谱仪 | 7200-12 | 2021.8.20 | 校字第[2021]-SQD1056 | 2 年 |
| 10 | 低水平液闪谱仪 | Quantulus1220 | 2020.6.18 | 校字第[2020]-YS002 | 2 年 |
| 11 | 高气压电离室 | RP3000B | 2021.11.16 | 检字第[2021]-L1299 | 1 年 |
| 12 | 电子天平 | MS303S | 2021.3.11 | (2021)天字 15 号 | 1 年 |
| 13 | 电子天平 | PL602-L | 2021.3.11 | (2021)天字 18 号 | 1 年 |
| 14 | 电子天平 | PL602E | 2021.3.11 | (2021)天字 20 号 | 1 年 |

表 3.1-33 平行样品测量结果相对偏差要求

| 核素名称 | 介质种类 | 活度浓度 | 相对偏差控制值 (%) |
|-------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| 总 β | 水 | $\leq 0.15\text{Bq/L}$ | 30 |
| | | $> 0.15\text{Bq/L}$ | 20 |
| | 气溶胶 | / | 20 |
| | 沉降物 | / | 20 |
| ^{90}Sr | 水 | $\leq 2.0\text{mBq/L}$ | 40 |
| | | $> 2.0\text{mBq/L}$ | 30 |
| | 土壤 | $\leq 0.5\text{Bq/kg}$ | 40 |
| | | $> 0.5\text{Bq/kg}$ | 30 |
| | 气溶胶 | $\leq 1\mu\text{Bq/m}^3$ | 40 |
| | | $> 1\mu\text{Bq/m}^3$ | 30 |
| 沉降物 | / | 30 | |
| ^3H | 水、水蒸气、生物自由水 | / | 30 |
| ^{14}C | 空气、生物 | / | 30 |
| ^{238}U | 土壤 | $\leq 50\text{Bq/kg}$ | 40 |
| | | $> 50\text{Bq/kg}$ | 30 |
| ^{137}Cs | 土壤 | $\leq 2\text{Bq/kg}$ | 40 |
| | | $> 2\text{Bq/kg}$ | 30 |
| ^{226}Ra | 土壤 | / | 20 |
| ^{40}K | 土壤 | / | 20 |

3.2 非辐射环境质量现状

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

3.2.1.1 厂址大气环境现状描述

1) 厂址大气环境相关描述

厂址半径 5km 范围内的环境空气保护目标为居民点和文物古迹（东楮岛海草房、东墩海草房），居民点分布见第二章 2.2 节描述，文物古迹分布见第二章 2.3 节描述。

根据厂址气象铁塔 2019~2020 年 10m 高度的观测资料，主导风向为 NNW，出现频率为 12.139%，平均风速为 2.82m/s。

厂址半径 5km 范围内分布有 2 家规模以上工业企业，为荣成创味食品有限公司（罐头食品、藻类制品、水产品）和荣成鑫邦船业有限公司（船舶设计、制造与修理），居民生活污染源主要为居民生活产生的油烟排放。

厂址所在区域的大气环境为二类环境空气功能区，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二级浓度限值标准。

2) 厂址所在区域的大气环境质量历史资料

根据《荣成市 2020 年生态环境质量公报》显示，环境空气主要污染物二氧化硫和二氧化氮年均值、一氧化碳 24 小时平均第 95 百分位数浓度值 3 项指标分别为 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $1.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，达到国家《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）一级标准（ $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $4\text{mg}/\text{m}^3$ ）；可吸入颗粒物（ PM_{10} ）和细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）年均值、臭氧日最大 8 小时滑动平均值的第 90 百分位数浓度值 3 项指标分别为 $37\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $124\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二级标准（ $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。

3.2.1.2 大气环境质量现状调查方案

2014~2021 年期间，建设单位开展了施工期陆域环境监测。

施工期陆域环境监测工作自 2014 年第一季度（3 月）开始，2014 年~2017 年第一季度由山东省环境监测中心站开展监测工作；2017 年第四季度~2020 年 10 月由山东天弘质量检验中心有限公司开展监测工作；2020 年 12 月至今由青岛中一监测有限公司开展监测工作。2017 年第二、三季度建设单位未委托开展监

测工作。

对以厂址为中心、边长 5km 的矩形区域内的东墩村（距离本工程主体厂区最近的居民点）、所前王家村（距离本工程临建区最近的居民点）、北场村（距离本工程弃土场最近的居民点）空气质量进行监测，环境空气质量监测点位置见图 3.2-1。东墩村、所前王家村监测项目包括 SO₂、NO₂、NO_x、CO、PM_{2.5}、PM₁₀、TSP，北场村监测项目包括 PM_{2.5}、PM₁₀、TSP。监测单位及监测方法见表 3.2-1。

3.2.1.3 大气环境质量现状监测结果

监测开展期间，东墩村 SO₂ 的 1h 均值最大监测值范围为 0.007~0.06mg/m³，NO₂ 的 1h 均值最大监测值范围为 0.012~0.107mg/m³，NO_x 的 1h 均值最大监测值范围为 0.016~0.068mg/m³，CO 的 1h 均值最大监测值范围为 0.6~2.2mg/m³，SO₂ 的 24h 均值最大监测值范围为 0.005~0.052mg/m³，NO₂ 的 24h 均值最大监测值范围为 0.004~0.082mg/m³，NO_x 的 24h 均值最大监测值范围为 0.009~0.089mg/m³，CO 的 24h 均值最大监测值范围为 0.4~2.0mg/m³，PM_{2.5} 的 24h 均值最大监测值范围为 0.023~0.096mg/m³，PM₁₀ 的 24h 均值最大监测值范围为 0.036~0.16mg/m³，TSP 的 24h 均值最大监测值范围为 0.073~0.274mg/m³。2020 年第一季度 NO₂ 的 24h 均值最大监测值超过《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值（0.08mg/m³）要求。2016 年第四季度，2019 年第一季度、2020 年第一季度 PM_{2.5} 的 24h 均值最大监测值超过《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值（0.075mg/m³）要求。2019 年第二季度 PM₁₀ 的 24h 均值最大监测值超过《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值（0.15mg/m³）要求。其余时段 SO₂、NO₂、NO_x、CO、PM_{2.5}、PM₁₀、TSP 均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值要求。

监测开展期间，所前王家村 SO₂ 的 1h 均值最大监测值范围为 0.009~0.061mg/m³，NO₂ 的 1h 均值最大监测值范围为 0.015~0.099mg/m³，NO_x 的 1h 均值最大监测值范围为 0.02~0.074mg/m³，CO 的 1h 均值最大监测值范围为 0.7~2.1mg/m³，SO₂ 的 24h 均值最大监测值范围为 0.005~0.052mg/m³，NO₂ 的 24h 均值最大监测值范围为 0.005~0.084mg/m³，NO_x 的 24h 均值最大监测值范围为 0.008~0.104mg/m³，CO 的 24h 均值最大监测值范围为 0.4~1.9mg/m³，PM_{2.5} 的 24h

均值最大监测值范围为 0.022~0.095mg/m³，PM₁₀ 的 24h 均值最大监测值范围为 0.037~0.152mg/m³，TSP 的 24h 均值最大监测值范围为 0.063~0.272mg/m³。2016 年第四季度、2019 年第一季度、2020 年第一季度 PM_{2.5} 的 24h 均值最大监测值超过《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值（0.075mg/m³）要求。2019 年第二季度 PM₁₀ 的 24h 均值最大监测值超过《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值（0.15mg/m³）要求。其余时段 SO₂、NO₂、NO_x、CO、PM_{2.5}、PM₁₀、TSP 均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值要求。

监测开展期间，北场村 PM_{2.5} 的 24h 均值最大监测值范围为 0.035~0.089mg/m³，PM₁₀ 的 24h 均值最大监测值范围为 0.058~0.129mg/m³，TSP 的 24h 均值最大监测值范围为 0.086~0.208mg/m³。2016 年第四季度 PM_{2.5} 的 24h 均值最大监测值超过《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值（0.075mg/m³）要求。其余时段 PM_{2.5}、PM₁₀、TSP 均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）二类浓度限值要求。

3.2.1.4 大气环境质量现状调查质量保证

1) 山东省环境监测中心站（2014 年~2017 年第一季度）

按照原国家环境保护总局发布的《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T55-2000）和《环境空气监测质量保证手册》的要求与规定进行全过程质量控制现场采样和测试时生产设备正常运行，平均负荷达 75%以上，工况稳定。监测仪器经计量部门检验并在有效期内使用，监测人员持证上岗，监测数据经三级审核。

2) 山东天弘质量检验中心有限公司（2017 年第四季度~2020 年 10 月）

按照原国家环境保护总局发布的《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T55-2000）和《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）有关要求与规定进行；环境空气监测质量保证按照《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ/T194-2005、HJ194-2017 及修改单）和《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年 第 29 号）的有关要求与规定进行。监测仪器经计量部门检验并在有效期内使用，监测人员持证上岗，监测数据经三级审核。

3) 青岛中一监测有限公司 (2020 年 12 月至今)

具备 CMA 资质 (编号: 171500341120)。

3.2.1.5 大气环境质量现状结论

厂址半径 5km 范围内的东墩村、所前王家村、北场村等 3 个环境空气监测点位中,东墩村 2020 年第一季度 NO_2 的 24h 均值、2019 年第一季度和 2020 年第一季度 $\text{PM}_{2.5}$ 的 24h 均值、2019 年第二季度 PM_{10} 的 24h 均值超过《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单(生态环境部公告 2018 年 第 29 号)二类浓度限值要求。所前王家村 2019 年第一季度和 2020 年第一季度 $\text{PM}_{2.5}$ 的 24h 均值、2019 年第二季度 PM_{10} 的 24h 均值超过《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单(生态环境部公告 2018 年 第 29 号)二类浓度限值要求。其余时段 SO_2 (1h 均值、24h 均值)、 NO_2 (1h 均值、24h 均值)、 NO_x (1h 均值、24h 均值)、 CO (1h 均值、24h 均值)、 $\text{PM}_{2.5}$ (24h 均值)、 PM_{10} (24h 均值)、TSP (24h 均值)监测结果均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单(生态环境部公告 2018 年 第 29 号)二类浓度限值要求。

主厂区边界 2019 年第一季度 NO_x 的 24h 均值为 $0.086\text{mg}/\text{m}^3$, TSP 的 24h 均值为 $0.248\text{mg}/\text{m}^3$, 2019 年第二季度 TSP 的 24h 均值为 $0.104\text{mg}/\text{m}^3$, 2020 年第一季度 NO_x 的 24h 均值为 $0.077\text{mg}/\text{m}^3$, TSP 的 24h 均值为 $0.223\text{mg}/\text{m}^3$ 。施工临建区边界 2019 年第一季度 NO_x 的 24h 均值为 $0.092\text{mg}/\text{m}^3$, TSP 的 24h 均值为 $0.251\text{mg}/\text{m}^3$, 2019 年第二季度 TSP 的 24h 均值为 $0.104\text{mg}/\text{m}^3$, 2020 年第一季度 NO_x 的 24h 均值为 $0.098\text{mg}/\text{m}^3$, TSP 的 24h 均值为 $0.251\text{mg}/\text{m}^3$ 。上述监测结果符合《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单(生态环境部公告 2018 年 第 29 号)二类浓度限值要求。主厂区和施工临建区厂界未开展 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的监测工作,考虑到 NO_2 与 NO_x 同属于氮氧化物, TSP 与 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 同属于颗粒物,东墩村、所前王家村的 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的监测结果超标原因可能不是主厂区和施工临建区施工影响导致。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

3.2.2.1 厂址声环境现状描述

1) 厂址声环境相关描述

本工程所在区域为农村地区,以居民点和农田为主。声环境敏感目标为本工

程所在区域的居民点。本工程半径 1km 范围内仅有 1 个居民点分布，位于厂址 WSW 方位 0.84km 的东墩村（常住人口 1508 人），东墩村以北为本工程临建区，临建区北侧与所前王家村（位于厂址 WNW 方位 1.27km，常住人口 351 人）。厂址半径 5km 范围内的居民点分布见第二章 2.2 节描述。

本工程所在厂址位于山东东部沿海丘陵区，厂址周边区域地形较为平坦。

厂址半径 5km 范围内分布有 2 家规模以上工业企业，为荣成创味食品有限公司（罐头食品、藻类制品、水产品）和荣成鑫邦船业有限公司（船舶设计、制造与修理），居民生活噪声污染源主要为居民社会生活、交通噪声。

厂址周边区域声环境功能区的环境噪声限值执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准。

2) 厂址所在区域的声环境质量历史资料

根据《荣成市 2020 年生态环境质量公报》显示，荣成市城市区域声环境质量昼间平均等效声级为 52.0dB(A)，道路交通声环境昼间平均等效声级为 68.3dB(A)，1 至 4 类功能区声环境质量昼、夜平均等效声级范围分别为 39.2~52.5dB(A)、42.2~52.3dB(A)、47.0~56.4dB(A)、51.3~61.2dB(A)，均达到相应声环境功能区标准。

3.2.2.2 声环境质量现状调查方案

2014~2021 年期间，建设单位开展了施工期陆域环境监测，对以厂址为中心、边长 5km 的矩形区域内的东墩村、所前王家村声环境质量进行监测，声环境质量监测点位置见图 3.2-2。监测项目包括等效声级（ L_{eq} ）、昼夜等效声级 L_d 、 L_n 、 L_{dn} 、累积百分声级 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 。监测单位及监测方法见表 3.2-2。2017 年第二、三季度建设单位未委托开展监测工作。

3.2.2.3 声环境质量现状监测结果

监测开展期间，东墩村昼间噪声最大监测值范围为 39.2~56dB(A)，夜间噪声最大监测值范围为 36~47.7dB(A)，均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类声环境功能区（昼间 60dB(A)，夜间 50dB(A)）要求。

监测开展期间，所前王家村昼间噪声最大监测值范围为 43.4~58.9dB(A)，夜间噪声最大监测值范围为 35.9~58.1dB(A)，2014 年第二、四季度，2015 年第二、三、四季度夜间噪声最大监测值超过《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类声环境功能区（夜间 50dB(A)）要求，其余时段（包括近三年）各监测点位的昼、

夜间噪声最大监测值均满足《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类声环境功能区要求。所前王家村夜间噪声值超标原因可能为其与施工临建区紧邻受其影响所致。

监测开展期间,北场村昼间噪声最大监测值范围为38.3~63dB(A),夜间噪声最大监测值范围为36~49.4dB(A),2014年第三季度昼间噪声最大监测值超过《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类声环境功能区(昼间60dB(A))要求。其余时段昼、夜间噪声最大监测值均满足《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类声环境功能区要求。北场村昼间噪声值超标原因可能为弃土场施工机械所致。

3.2.2.4 声环境质量现状调查质量保证

1) 山东省环境监测中心站(2014年~2017年第一季度)

监测时使用经计量部门检定、并在有效使用期内的声级计;声级计在测试前后用标准声源进行校准,测量前后仪器的灵敏度相差不大于0.5dB(A),若大于0.5dB(A)测试数据无效。

2) 山东天弘质量检验中心有限公司(2017年第四季度~2020年10月)

按照原国家环境保护总局发布的《环境监测技术规范》(噪声部分)、《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)和《声环境质量标准》(GB3096-2008)标准方法有关规定进行;监测方法为仪器直读法,监测时使用经计量部门检定合格的声级计,声级计在使用前后用标准源进行校准,校准前后仪器示值偏差变化 $<0.5\text{dB(A)}$ 。测量在无雨雪、无雷电天气,风速为5m/s以下时进行。

3) 青岛中一监测有限公司(2020年12月至今)

具备CMA资质(编号:171500341120)。

3.2.2.5 声环境质量现状调查结论

监测开展期间,所前王家村于2014年第二、四季度,2015年第二、三、四季度夜间噪声超过《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类声环境功能区(夜间50dB(A))要求,北场村于2014年第三季度昼间噪声超过《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类声环境功能区(昼间60dB(A))要求。其余时段东墩村、所前王家村、北场村的昼间和夜间噪声均满足《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类声环境功能区(昼间60dB(A),夜间50dB(A))要求。

北场村昼间噪声值超标原因可能为弃土场施工机械所致,所前王家村夜间噪

声值超标时间段为 2014 年第二、四季度，2015 年第二、三、四季度夜间，上述时间段主厂区厂界夜间噪声值符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）厂界环境噪声限值 55dB(A) 要求，最大监测值范围为 43.6~52.9dB(A)（见第五章 5.1 节相关描述），超标原因可能为主厂区夜间施工影响所致。

3.2.3 水体环境质量现状调查与评价

3.2.3.1 厂址水环境现状描述

1) 厂址水环境相关描述

本工程生产废水及无法利用的生活污水拟排入厂址附近海域，不向本工程所在厂址附近地表水体直接排放。

本工程所在厂址半径 10km 范围内的水体分布情况见第二章 2.3 节描述，厂址周边海域情况见第二章 2.5 节描述。

本工程所在厂址周边区域的地表水环境执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV 类标准。本工程所在厂址附近海域的混合区除海水温度外的海水水质执行《海水水质标准》（GB3097-1997）三类海水水质标准；混合区外与岸线围成的三类环境功能区的海水水质执行《海水水质标准》（GB3097-1997）三类海水水质标准；三类环境功能区以外海域的海水水质执行《海水水质标准》（GB3097-1997）二类海水水质标准。混合区及三类环境功能区范围见第一章 1.7 节描述。

2) 厂址所在区域的水环境质量历史资料

根据《威海市 2020 年生态环境质量公报》，威海市省控以上地表水考核断面全部达标，劣 V 类水体全面消除。威海市 13 条主要河流共设 13 个市控以上考核监测断面，其中 9 个断面水质优于或达到国家《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类标准，4 个断面水质达到 IV 类标准。威海市 12 个主要饮用水水源地——崮山水库、所前泊水库、郭格庄水库、武林水库、米山水库、坤龙水库、后龙河水库、逍遥水库、湾头水库、纸坊水库、龙角山水库和乳山河水源地水质均达到或优于国家《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类标准。威海市农村地下水型“千吨万人”以上饮用水水源水质优于或达到国家《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III 类标准。威海市近岸海域国控点位 40 个，33

个点位达到《海水水质标准》（GB3097-1997）一类海水水质标准，7个点位达到《海水水质标准》（GB3097-1997）二类海水水质标准。

3.2.3.2 水环境质量现状调查方案

2019年本工程开始建设后，自然资源部第三海洋研究所分别在2020年11月15日~2020年11月18日、2021年01月11日~2021年01月14日、2021年04月14日~2021年04月18日、2021年07月09日~2021年07月12日开展了秋、冬、春、夏季四航次的调查工作。依据《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）要求，以本工程所在厂址排水口为中心、扇形半径50km布设调查站位，共布设水质大面调查站位48站（见表2.3-27和图2.3-27），其中5、6号点位位于厂址附近海域的混合区外与岸线围成的三类环境功能区范围内，执行《海水水质标准》（GB3097-1997）三类海水水质标准；21、26、29点位执行《海水水质标准》（GB3097-1997）三类海水水质标准；1、2、3、7、9、10、14、15、18、19、22、23、24、27、44、45、46点位执行《海水水质标准》（GB3097-1997）二类海水水质标准；其余执行《海水水质标准》（GB3097-1997）一类海水水质标准。在取排水口共布设连续调查站3个（见表2.3-29和图2.3-29），排水口位于本工程所在厂址附近海域的混合区范围内，除海水温度外执行《海水水质标准》（GB3097-1997）三类海水水质标准；取水口位于厂址附近海域的混合区外与岸线围成的三类环境功能区范围内，执行《海水水质标准》（GB3097-1997）三类海水水质标准。

监测项目包括水化学要素共31类，包括pH、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、总氮、铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、总磷、磷酸盐、活性硅酸盐、氰化物、硫化物、氟化物、挥发性酚、石油类、汞、镉、铅、铜、总铬、六价铬、锌、锰、砷、多环芳烃、多氯联苯、硼、铁、硒、余氯。此外，监测项目涉及水文要素共5类，包括水温、盐度、水深、水色、透明度。

监测方法见表3.2-3。

3.2.3.3 水环境质量现状监测结果

1) 水化学要素

pH: 大面站四季范围值7.89~8.21，连续站四季范围值8~8.22，均符合《海水水质标准》（GB3097-1997）一类海水水质标准要求（7.8~8.5）。

悬浮物: 大面站四季范围值5.3~135mg/L，连续站四季范围值9~84.6mg/L。

溶解氧：大面站四季范围值 5.44~11.26mg/L，除 1 个站位符合《海水水质标准》（GB3097-1997）二类海水水质标准要求（>5mg/L），其余均符合一类海水水质标准要求（>6mg/L）；连续站四季范围值 5~11.1mg/L，除南取水口的 1 个监测时段符合三类海水水质标准要求（>4mg/L），其余均符合一类海水水质标准要求（>6mg/L）。

化学需氧量：大面站四季范围值 0.1~2.91mg/L，均符合《海水水质标准》（GB3097-1997）二类海水水质标准要求（≤3mg/L），其中累计 4 个执行一类海水水质标准要求（≤2mg/L）站位（秋季 2 个、冬季 2 个）出现超标情况；连续站四季范围值 0.17~2.39，均符合二类海水水质标准要求（≤3mg/L）。

总氮：大面站四季范围值 0.115~0.517mg/L，连续站四季范围值 0.033~0.629mg/L。

铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐：大面站铵盐四季范围值未检出~0.077mg/L，硝酸盐四季范围值 0.001~0.15mg/L，亚硝酸盐四季范围值 0.0004~0.012mg/L，均符合《海水水质标准》（GB3097-1997）一类海水水质标准要求（无机氮≤0.20mg/L）；连续站铵盐四季范围值未检出~0.097mg/L，硝酸盐四季范围值 0.01~0.093mg/L，亚硝酸盐四季范围值 0.001~0.008mg/L，均符合一类海水水质标准要求（无机氮≤0.20mg/L）。

总磷：大面站四季范围值 0.007~0.105mg/L，连续站未对该项目进行监测。

磷酸盐：大面站四季范围值 0.001~1.411mg/L，其中 5 个点位超过《海水水质标准》（GB3097-1997）四类海水水质标准要求（≤0.045mg/L）；连续站四季范围值 0.033~0.629，均超过二类海水水质标准要求（≤0.030mg/L）。

活性硅酸盐：大面站四季范围值 0.003~0.793mg/L，连续站四季范围值 0.004~0.033mg/L。

氰化物：大面站四季均未检出，均符合《海水水质标准》（GB3097-1997）一类海水水质标准要求（≤0.005mg/L）；连续站未对该项目进行监测。

硫化物：大面站四季范围值未检出~17.86μg/L，均符合《海水水质标准》（GB3097-1997）一类海水水质标准要求（≤0.02mg/L）；连续站未对该项目进行监测。

氟化物：大面站四季范围值 1.07~1.26μg/L，连续站未对该项目进行监测。

挥发性酚：大面站四季范围值未检出~4μg/L，均符合《海水水质标准》

(GB3097-1997) 一类海水水质标准要求 ($\leq 0.005\text{mg/L}$)；连续站未对该项目进行监测。

石油类：大面站四季范围值 10~39.4 $\mu\text{g/L}$ ，均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 一类海水水质标准要求 ($\leq 0.05\text{mg/L}$)；连续站未对该项目进行监测。

汞：大面站四季范围值 0.01~0.058 $\mu\text{g/L}$ ，均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 二类海水水质标准要求 ($\leq 0.0002\text{mg/L}$)；连续站未对该项目进行监测。

镉：大面站四季范围值 0.0113~0.867 $\mu\text{g/L}$ ，均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 一类海水水质标准要求 ($\leq 0.001\text{mg/L}$)；连续站未对该项目进行监测。

铅：大面站四季范围值未检出~3.78 $\mu\text{g/L}$ ，均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 二类海水水质标准要求 ($\leq 0.005\text{mg/L}$)，其中累计 65 个执行一类海水水质标准要求 ($\leq 0.001\text{mg/L}$) 站位 (秋季 21 个、冬季 14 个、春季 17 个、夏季 13 个) 出现超标情况；连续站未对该项目进行监测。

铜：大面站四季范围值 0.004~14.2 $\mu\text{g/L}$ ，除 1 个站位符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 三类海水水质标准要求 ($\leq 0.050\text{mg/L}$)，其余均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 二类海水水质标准要求 ($\leq 0.010\text{mg/L}$)，此外累计 18 个执行一类海水水质标准要求 ($\leq 0.005\text{mg/L}$) 站位 (秋季 2 个、冬季 3 个、春季 13 个) 出现超标情况；连续站未对该项目进行监测。

总铬：大面站四季范围值 0.511~3.32 $\mu\text{g/L}$ ，均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 一类海水水质标准要求 ($\leq 0.05\text{mg/L}$)；连续站未对该项目进行监测。

六价铬：大面站四季未检出，均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 一类海水水质标准要求 ($\leq 0.005\text{mg/L}$)；连续站未对该项目进行监测。

锌：大面站四季范围值 0.124~73.9 $\mu\text{g/L}$ ，除 1 个站位符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 三类海水水质标准要求 ($\leq 0.10\text{mg/L}$)，其余均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 二类海水水质标准要求 ($\leq 0.050\text{mg/L}$)，此外累计 15 个执行一类海水水质标准要求 ($\leq 0.005\text{mg/L}$) 站位 (冬季 10 个、春季 5 个) 出现超标情况；连续站未对该项目进行监测。

锰：大面站四季范围值 0.014~20.7 $\mu\text{g/L}$ ，连续站未对该项目进行监测。

砷：大面站四季范围值 1.12~2.6 $\mu\text{g/L}$ ，均符合《海水水质标准》(GB3097-1997)一类海水水质标准要求 ($\leq 0.020\text{mg/L}$)；连续站未对该项目进行监测。

多环芳烃：大面站四季范围值 12.78~122.32 ng/L ；连续站未对该项目进行监测。

多氯联苯：大面站四季未检出；连续站未对该项目进行监测。

硼：大面站四季范围值 2.64~3.95 $\mu\text{g/L}$ ；连续站未对该项目进行监测。

铁：大面站四季范围值 0.572~73.4 $\mu\text{g/L}$ ；连续站未对该项目进行监测。

硒：大面站四季范围值 0.203~4.08 $\mu\text{g/L}$ ，均符合《海水水质标准》(GB3097-1997)一类海水水质标准要求 ($\leq 0.010\text{mg/L}$)；连续站未对该项目进行监测。

余氯：大面站四季范围值未检出~0.09 mg/L ；连续站未对该项目进行监测。

2) 水文要素

水深、水色、透明度不属于本报告评估涉及主要要素，不展开描述。

水温：大面站秋季表层平均 16.9 $^{\circ}\text{C}$ ，10m 层平均 16.8 $^{\circ}\text{C}$ ，底层平均 16.8 $^{\circ}\text{C}$ ；冬季表层平均 3.5 $^{\circ}\text{C}$ ，10m 层平均 3.6 $^{\circ}\text{C}$ ，底层平均 3.6 $^{\circ}\text{C}$ ；春季表层平均 7.9 $^{\circ}\text{C}$ ，10m 层平均 7.4 $^{\circ}\text{C}$ ，底层平均 7.4 $^{\circ}\text{C}$ ；夏季表层平均 19.1 $^{\circ}\text{C}$ ，10m 层平均 17.0 $^{\circ}\text{C}$ ，底层平均 16.1 $^{\circ}\text{C}$ 。连续站（南取水口）秋季平均 16.1 $^{\circ}\text{C}$ ，冬季平均 2.5 $^{\circ}\text{C}$ ，春季平均 8.9 $^{\circ}\text{C}$ ，夏季平均 18.6 $^{\circ}\text{C}$ ；连续站（北取水口）秋季平均 16.2 $^{\circ}\text{C}$ ，冬季平均 2.5 $^{\circ}\text{C}$ ，春季平均 8.9 $^{\circ}\text{C}$ ，夏季平均 18.5 $^{\circ}\text{C}$ ；连续站（排水口）秋季平均 16.2 $^{\circ}\text{C}$ ，冬季平均 2.5 $^{\circ}\text{C}$ ，春季平均 8.9 $^{\circ}\text{C}$ ，夏季平均 18.6 $^{\circ}\text{C}$ 。

水文要素——盐度：大面站四季范围值 30.682~31.877，平均 31.201。连续站范围值 30.698~31.651，平均 31.190。

3.2.3.4 水环境质量现状调查质量保证

自然资源部第三海洋研究所严格按照其质量管理体系的相关要求及制定的专题质量保证大纲中的质量控制方法进行任务实施全程质量控制工作。项目质保组织开展调查项目的航前检查、航次内控、外控样测试以及中期成果内审等质控措施。实验室分析人员严格按照规程、规范、技术工作大纲的要求操作，并对样品分析测试的质量负责。专题开展过程中，每个航次按照不少于大面站总数 10% 数量（6 个站）进行水质平行样测试。水质采用平行样测试来检验分析结果

的精密度，采用内控标准物测试和加标测试来检查分析结果的准确度；生物体分析结果的质量控制采用内控标准物质测试来检验分析结果的准确度。通过以上措施进行调查工作质量控制，以保证调查结果符合质量要求。

(1) 水质平行样的相对偏差允许值，如分析方法无此规定，均按表 3.2-4 执行。样品加标回收率，不得超出分析方法给出的范围值。

(2) 标准样品的测试结果应在给定保证值的范围内。质控样品测试结果相对误差允许值参考表 3.2-4 执行。

(3) 每批平行样合格率在 90% 以上，分析结果有效；合格率在 70%~90% 时随机抽 30% 的样品进行复查，复查结果与原结果总合格率达 90% 以上时，结果有效；合格率在 50%~70% 时，应复查 50% 的样品，累计合格率达 90% 以上时，结果有效；合格率小于 50% 时，需重新取样分析；上报数据时，按平行双样结果的均值计算。

(4) 当质控样超出允许误差时，应重新分析超差的质控样并随机抽取一定比例样品进行复查。如复查的质控样品合格且复查样品的结果与原结果不超出平行双样允许偏差，则原分析结果有效；如复查的质控样仍不合格，表明本批分析结果准确度失控，分析结果不得接受，应找出原因加以排除后，再行分析。

3.2.3.5 水环境质量现状调查结论

厂址附近海域的海水水质现状调查结论为：

pH、铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氰化物、硫化物、挥发性酚、石油类、镉、总铬、六价铬、砷、硒符合《海水水质标准》（GB3097-1997）一类海水水质标准要求。溶解氧除 2 个站位外均符合一类海水水质标准要求。铜除 1 个站位外均符合一类海水水质标准要求。化学需氧量、汞、铅符合二类海水水质标准要求。锌除 1 个站位外均符合二类海水水质标准要求。磷酸盐大面站以二类海水水质为主，5 个站点超过四类海水水质标准要求，连续站均超过二类海水水质标准要求。

厂址附近海域的海水水质总体符合一、二类海水水质标准，磷酸盐在部分点位的监测结果超过四类海水水质标准。厂址近岸海域连续站的磷酸盐监测结果超过二类海水水质标准。

根据中国科学院海洋研究所在 2012 年 11 月、2013 年 5 月秋、春两航次的水生态现状专题调查（根据《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（建造阶段）》第二章描述）和本工程 2021 年 5 月取排水工

程施工期海洋环境监测结果（本报告第五章 5.2 节描述），厂址附近海域的磷酸盐监测结果符合二类海水水质标准。厂址近岸海域连续站的磷酸盐监测结果超过二类海水水质标准的原因可能为：本工程周边陆域分布有基本农田、陆基养殖和海上养殖区域（见本报告第二章 2.3 节），在雨季等特定时段可能存在氮、磷为主的农业面源污染和养殖面源污染。此外，本工程 2020 年 11 月~2021 年 07 月厂区污水排放存在部分月份总磷排放不符合《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准的情况，但厂区污水排放流量较小，排放污水中的总磷浓度经稀释扩散后与海水中总磷浓度处于同一水平，因此不存在对厂址近岸海域的海水环境质量产生不可接受的影响。

3.2.4 电磁环境现状调查与评价

3.2.4.1 厂址电磁环境现状描述

厂址半径 5km 范围内的电磁环境敏感目标为农村居民点，其分布见第二章 2.2 节描述。

山东石岛湾核电厂址包括本工程和华能高温气冷堆示范工程。厂址区域范围内的电磁辐射源（包括已建成以及在建设施）包括：（1）本工程配套工程 220kV/500kV 开关站，正在建设中；（2）华能高温气冷堆示范工程配套工程 220kV 开关站，已建成并处于调试阶段；（3）5 座移动通信基站，已建成投运。

厂址半径 5km 范围内（不含厂址区域范围）的电磁辐射源（包括已建成以及在建设施）包括：（1）本工程 220kV 施工辅助电源线路和 500kV 输电线路，220kV 施工辅助电源线路正在建设中，500kV 输电线路尚未开工建设；（2）华能高温气冷堆示范工程 110kV 施工辅助电源线路（工核线）和 220kV 输电线路（湾馍线、湾石 II 线），110kV 施工辅助电源线路已建成并投运，220kV 输电线路已建成并处于调试阶段；（3）移动、联通、电信三家运营商的 26 座基站（电信共享联通的 5G 基站及频段）；（4）1 个 35kV 变电站（宁津变）。

厂址半径 5km 范围内无民用雷达站、微波站等电磁设施分布。

厂址区域电磁环境执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）标准。

3.2.4.2 电磁环境现状调查方案

浙江国辐环保科技有限公司于 2021 年 7 月 29 日~8 月 2 日对本工程所在厂址区域及厂址半径 5km 范围电磁环境进行了现场调查和监测工作。

本工程反应堆至 220kV、500kV 开关站输变电线路工频电场强度、工频磁感应强度监测点位沿线布设、本工程所在厂址区域内 220kV、500kV 开关站工频电场强度、工频磁感应强度监测点位布设在厂界外 50m 区域；220kV、500kV 输变电线路工频电场强度、工频磁感应强度监测点位分别布设在边导线地投影外两侧 40m、50m 带状区域。

移动通信基站电磁环境监测布点位于移动通信基站周边。移动通信基站射频综合场强监测点位布设在以发射天线为中心半径 50 米范围内可能受到影响的环境影响敏感区域公众可到达的距离天线最近处，或天线主瓣方向；5G 移动通信基站射频选频场强监测点位布设在天线覆盖范围内的电磁辐射环境敏感目标处，并优先布设在公众日常生活、工作距离天线最近处，但不布设在需借助工具（如梯子）或采取特殊方式（如攀爬）到达的位置。

监测方法及仪器设备见表 3.2-5。

3.2.4.3 电磁环境现状监测结果

1) 工频电磁环境

本工程所在厂址半径 5km 范围内的输变电线路及开关站监测点位的工频电场强度、工频磁感应强度监测结果为：工频电场强度为 0.489~434.4V/m，工频磁感应强度为 0.032~0.479 μ T。上述监测结果符合《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场限值 4kV/m，工频磁感应强度限值 100 μ T 的规定。

2) 射频电磁环境

本工程所在厂址半径 5km 范围内的 5G 移动通信基站监测点位的射频选频场强监测结果为：功率密度为 0.001~3.20 μ W/cm²。上述监测结果符合《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中功率密度 40 μ W/cm² 的规定。

本工程所在厂址半径 5km 范围内的移动通信基站监测点位的射频综合场强监测结果为：电场强度为 0.2~2.46V/m，功率密度 0.01~1.61 μ W/cm²。上述监测结果符合《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中电场强度 12V/m，功率密度 40 μ W/cm² 的规定。

3.2.4.4 电磁环境现状调查质量保证

1) 资质认定

浙江国辐环保科技有限公司具备浙江省质量技术监督局颁发的《检验检测机构资质认定证书》，在资质认定允许范围内开展本项目监测工作。

2) 组织机构和人员

浙江国辐环保科技有限公司在项目现场工作开展前编制了项目工作大纲及质保大纲并经专家审评。公司成立了项目质保机构，制定了质保工作方案，以开展对各个环节的相关工作进行质量检查和质量指导，确定抽查方案，对争议质量问题进行处理，对检查中发现的问题，分析原因并采取纠正和预防措施。公司参与项目的人员均经考核并持有公司颁发的监测上岗证。

3) 测量方法、仪器与设备

浙江国辐环保科技有限公司在项目现场工作开展时，测量方法选用国家标准、行业标准或者国家检定规程规定的方法。质保组负责确保使用的标准、规程、技术规范 and 校准方法是现行有效的版本。

项目开展前，设备管理员核查相关仪器设备，并做好核查记录，确保所有仪器均能正常使用。在项目进行过程中，设备管理员负责设备的检定、校准、维修、报废工作，并做好相应的记录，保证设备在计量检定或校准的有效范围内使用。工作人员每次使用设备，应按要求填写使用记录。设备管理员制定设备维护保养计划，设备使用责任人对设备定期维护，保证设备正常使用。

参与本项目的仪器设备，按照量值溯源关系，定期经计量部门检定/校准，保证检定或校准结果能溯源到国家计量基准，检定/校准合格后可使用，并定期进行期间核查。一般辅助设备，进行定期功能检查。参与本项目的仪器设备，在开展本目前进行了仪器间的比对检测，见表 3.2-6。

检测人员严格按照仪器的操作规程使用仪器。

4) 数据处理及报告编制

浙江国辐环保科技有限公司在项目现场工作开展时，每个监测项目均编制了原始记录表，实施记录制度；现场检测数据按照规定的格式和内容作清楚、详细、准确的记录，不得随意涂改。如需修改，则在修改处加盖个人印章并注明原因。

在对原始数据进行必要的整理、分析之前，首先要逐一检查原始记录是否按照规定的要求填写正确，修改应保留修改前的痕迹。如发现有误，要反复核算后予以纠正。

在数据处理过程中，必须选择合适的统计技术，对计算方法和结果进行复审。复审由 2 人独立进行计算或由未参加计算的人员进行核算。审查无误后由审核人签名。

所有的监测记录和质量保证编制文件参照相关规定和内部管理要求妥善保管，环境检测结果永久保存。

报告编制严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术总负责人审定。

3.2.4.5 电磁环境现状调查结论

本工程所在厂址半径 5km 范围内的输变电路及开关站监测点位的工频电场强度、工频磁感应强度符合《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场限值 4kV/m，工频磁感应强度限值 100 μ T 的规定。

本工程所在厂址半径 5km 范围内的移动通信基站监测点位的射频选频场强及射频综合场强监测结果符合《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中电场强度 12V/m，功率密度 40 μ W/cm² 的规定。

表 3.2-1 大气环境质量监测单位及方法

监测单位：山东省环境监测中心站

| 序号 | 监测项目 | 分析方法 | 检出限 mg/m ³ |
|----|-------------------|--|--------------------------|
| 1 | 二氧化硫 | 《环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法》HJ 482-2009 | 0.007 |
| 2 | 二氧化氮 | 《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》HJ 479-2009 | 0.005 |
| 3 | 氮氧化物 | | |
| 4 | 一氧化碳 | 《空气质量 一氧化碳的测定 非分散红外法》GB/T 9801-1988 | 0.3 |
| 5 | PM _{2.5} | 《环境空气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的测定 重量法》HJ 618-2011 | 0.010 |
| 6 | PM ₁₀ | | |
| 7 | TSP | 《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》GB/T15432-1995 | 0.001 |

表 3.2-1 续 大气环境质量监测方法

监测单位：山东天弘质量检验中心有限公司

| 序号 | 监测项目 | 分析方法 | 检出限 mg/m ³ | 仪器 |
|----|-------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 二氧化硫 | 《环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法》 HJ 482-2009 | 0.007 (小时值) 0.004 (日均值) | 紫外可见分光光度计 UV-1800 |
| 2 | 二氧化氮 | 《环境空气 氮氧化物(一氧化氮和二氧化氮)的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》HJ 479-2009 | 0.015 (小时值) 0.006 (日均值) | |
| 3 | 氮氧化物 | | - | - |
| 4 | 一氧化碳 | 《空气质量 一氧化碳的测定 非分散红外法》GB/T 9801-1988 | 0.3 | 便携式红外线分析器 GXH3010/3011AE |
| 5 | PM _{2.5} | 《环境空气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的测定 重量法》HJ 618-2011 | 0.010 | 电子天平 DV215CD、 恒温恒湿培养箱 HSP-70BE |
| 6 | PM ₁₀ | | | |
| 7 | TSP | 《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》GB/T15432-1995 | 0.001 | |

表 3.2-1 续 大气环境监测单位及方法

监测单位：青岛中一监测有限公司

| 序号 | 监测项目 | 分析方法 | 检出限 mg/m ³ | 仪器 |
|----|-------------------|--|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 二氧化硫 | 《环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法》HJ 482-2009 | 0.004 | 723C 可见分光光度计 |
| 2 | 二氧化氮 | 《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》 HJ 479-2009 | 0.003 | |
| 3 | 氮氧化物 | | | |
| 4 | 一氧化碳 | 《空气质量 一氧化碳的测定 非分散红外法》GB/T 9801-1988 | 0.3 | GXH-3011A 便携式红外线 CO 分析器 |
| 5 | PM _{2.5} | 《环境空气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的测定 重量法》HJ 618-2011 | 0.01 | AUW120D 岛津分析天平 |
| 6 | PM ₁₀ | | | |
| 7 | TSP | | | |

表 3.2-2 声环境质量监测方法

监测单位：山东省环境监测中心站

| 序号 | 监测项目 | 分析方法 |
|----|---------|------------------------|
| 1 | 环境敏感点噪声 | 《声环境质量标准》(GB3096-2008) |

监测单位：山东天弘质量检验中心有限公司

| 序号 | 监测项目 | 分析方法 | 仪器 |
|----|---------|------------------------|-----------------|
| 1 | 环境敏感点噪声 | 《声环境质量标准》(GB3096-2008) | 噪声频谱分析仪 HS6298B |

监测单位：青岛中一监测有限公司

| 序号 | 监测项目 | 分析方法 | 仪器 |
|----|---------|------------------------|-----------------|
| 1 | 环境敏感点噪声 | 《声环境质量标准》(GB3096-2008) | AWA6228+型多功能声级计 |

表 3.2-3 海水质量监测方法

| 序号 | 项目 | 分析方法 | 执行标准 | 检出限 |
|----|-------|------------------------|---|------------------|
| 1 | 水温 | 温盐深仪 (CTD) | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 2 | 盐度 | 温盐深仪 (CTD) | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 3 | 水色 | 比色法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 4 | 透明度 | 透明圆盘法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 5 | 硫化物 | 亚甲基蓝分光光度法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | 0.20 μ g/L |
| 6 | pH | pH 计法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 7 | 总氮 | 过硫酸钾氧化-分光光度法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | 3.78 μ mol/L |
| 8 | 总磷 | 过硫酸钾氧化-分光光度法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | 0.09 μ mol/L |
| 9 | 活性磷酸盐 | 抗坏血酸还原磷钼蓝法 | 《海洋调查规范 第 4 部分: 海水化学要素调查》(GB/T12763.4-2007) | 0.0006mg/L |
| 10 | 活性硅酸盐 | 硅钼蓝法 | 《海洋调查规范 第 4 部分: 海水化学要素调查》(GB/T12763.4-2007) | 0.013mg/L |
| 11 | 亚硝酸盐 | 重氮-偶氮法 | 《海洋调查规范 第 4 部分: 海水化学要素调查》(GB/T12763.4-2007) | 0.0003mg/L |
| 12 | 硝酸盐 | 锌镉还原法 | 《海洋调查规范 第 4 部分: 海水化学要素调查》(GB/T12763.4-2007) | 0.0007mg/L |
| 13 | 氨盐 | 次溴酸钠氧化法 | 《海洋调查规范 第 4 部分: 海水化学要素调查》(GB/T12763.4-2007) | 0.0007mg/L |
| 14 | 溶解氧 | 碘量滴定法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 15 | 化学需氧量 | 碱性高锰酸钾法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 16 | 悬浮物 | 重量法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 17 | 氟化物 | 氟试剂分光光度法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | - |
| 18 | 六价铬 | 二苯碳酰二肼分光光度法 | 《水质六价铬的测定二苯碳酰二肼分光光度法》(GB7467-87) | 0.004mg/L |
| 19 | 余氯 | N, N-二乙基 1, 4-苯二胺分光光度法 | 《水质游离氯和总氯的测定》(GB11898-89) | 0.03mg/L |
| 20 | 石油类 | 荧光分光光度法 | 《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB17378.4-2007) | 3.5 μ g/L |
| 21 | 铜 | 电感耦合等离子体质谱法 | 《海洋监测技术规程 第 1 部分: 海水》(HY/T147.1-2013) | 0.12 μ g/L |
| 22 | 铅 | 电感耦合等离子体质谱法 | 《海洋监测技术规程 第 1 部分: 海水》(HY/T147.1-2013) | 0.07 μ g/L |
| 23 | 锌 | 电感耦合等离子体质谱法 | 《海洋监测技术规程 第 1 部分: 海水》(HY/T147.1-2013) | 0.10 μ g/L |

| | | | | |
|----|------|---------------|--|-----------|
| 24 | 镉 | 电感耦合等离子体质谱法 | 《海洋监测技术规程 第1部分：海水》(HY/T147.1-2013) | 0.03ug/L |
| 25 | 总铬 | 电感耦合等离子体质谱法 | 《海洋监测技术规程 第1部分：海水》(HY/T147.1-2013) | 0.05ug/L |
| 26 | 砷 | 电感耦合等离子体质谱法 | 《海洋监测技术规程 第1部分：海水》(HY/T147.1-2013) | 0.05ug/L |
| 27 | 汞 | 原子荧光法 | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》(GB17378.4-2007) | 0.4ug/L |
| 28 | 锰 | 电感耦合等离子体质谱法 | 《海洋监测技术规程 第1部分：海水》(HY/T147.1-2013) | 0.01ug/L |
| 29 | 硼 | 甲亚胺-H酸分光光度法 | 《甲亚胺-H酸分光光度法》(QHYSSC-02-04-2012) | 0.074mg/L |
| 30 | 挥发性酚 | 4-氨基安替比林分光光度法 | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》(GB17378.4-2007) | 1.1ug/L |
| 31 | 水深 | 钢丝绳测深法 | 《海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测》(GB/T12763.2-2007) | - |
| 32 | 氰化物 | 异烟酸-吡唑啉酮分光光度法 | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》(GB17378.4-2007) | 0.004mg/L |
| 33 | 铁 | 电感耦合等离子体质谱法 | 参考《海洋监测技术规程 第1部分：海水》(HY/T147.1-2013) | - |
| 34 | 硒 | 电感耦合等离子体质谱法 | 参考《海洋监测技术规程 第1部分：海水》(HY/T147.1-2013) | - |

表 3.2-4 海水水质质量控制要求

| 分析结果数量级 | 平行双样相对偏差 | 精密度/% | | 准确度/% | | |
|-----------|----------|-------|------|--------|------|------|
| | | 室内 | 室间 | 回收率 | 室内 | 室外 |
| 10^{-4} | 1.0 | ≤±5 | ≤±10 | 95~105 | ≤±5 | ≤±10 |
| 10^{-5} | 2.5 | ≤±5 | ≤±10 | 90~110 | ≤±5 | ≤±10 |
| 10^{-6} | 5 | ≤±10 | ≤±15 | 90~110 | ≤±10 | ≤±15 |
| 10^{-7} | 10 | ≤±10 | ≤±15 | 80~110 | ≤±10 | ≤±15 |

表 3.2-5 电磁环境监测所采用的监测方法及仪器设备

监测方法

| 序号 | 监测因子 | 方法依据 |
|----|----------------|---|
| 1 | 工频电场强度、工频磁感应强度 | 《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》（HJ681-2013） |
| 2 | 射频综合场强 | 《辐射环境保护管理导则 电磁环境监测仪器和方法》（HJ/T10.2-1996） 《移动通信基站电磁环境环境监测方法》（HJ972-2018） |
| 3 | 选频综合场强 | 《5G 移动通信基站电磁环境环境监测方法（试行）》（HJ1151-2020） |

仪器设备

| 序号 | 仪器类型 | 型号 | 仪器性能指标 | 检定证书编号 | 检定日期 | 检定有效期 |
|----|-----------|--------------------|--|-----------------------|------------|-------|
| 1 | 工频场强仪 | NBM550 /EHP-50F | 频率响应：1Hz~400kHz | 2020F33-10-2883049001 | 2020.12.1 | 一年 |
| 2 | | | 量程（工频电场）：0.005V/m~100kV/m（过载限值 200kV/m）； 量程（工频磁场）：30nT~10mT（过载限值 20mT） 分辨率：0.001V/m | | | |
| 3 | 射频综合场强仪 | NBM550 /EF0391 | （1）射频综合场强仪 响应频率：100kHz~3GHz 量程：0.2V/m~320V/m | 2020F33-10-2883049001 | 2020.12.1 | 一年 |
| 4 | | | （2）射频综合场强仪 响应频率：100kHz~6GHz 量程：0.1V/m~680V/m | | | |
| 5 | 射频电磁环境选频仪 | DZER-100 | 频率误差：≤1ppm 频率响应范围：600MHz~6000MHz 测量范围：0.3mV/m~500V/m（2.39E-10W/m.m~663.13W/m.m） 频响误差：≤1.5dB | 202105002475 | 2021.5.14 | 一年 |
| 6 | 无线电干扰仪 | FSH3 | 测量频率范围：150kHz~30MHz 带宽：9kHz 测量范围：(0~120)dB(μV/m) 测量误差：≤±3dB | 2020F00-10-2878715001 | 2020.11.30 | 一年 |

表 3.2-6 电磁监测设备比对情况

射频综合场强仪器间比对情况

| 仪器型号 | 仪器检定证书 | 比对数据 | | 比对结果 | 比对时间 |
|---------------|-----------------------|--------------|-------|------|-----------|
| | | 测量值 (V/m) | Z 比分数 | | |
| NBM550/EF0391 | 2020F33-10-2883049001 | 6.14 | 0.04 | 结果满意 | 2021.7.23 |
| NBM550/EF0391 | 2020F33-10-2883050001 | 6.08 | -0.03 | | |

射频选频场强仪器间比对情况

| 仪器型号 | 仪器检定证书 | 比对数据 | | | 比对结果 | 比对时间 |
|----------|--------------|---------------|------|-------|------|-----------|
| | | 测量频段 (MHz) | 测量值 | Z 比分数 | | |
| DZER-100 | 202105002475 | 703~3000 | 1.49 | 0.08 | 结果满意 | 2021.7.23 |
| DZER-100 | 202105002470 | 703~3000 | 1.37 | -0.08 | | |

工频电磁场仪器间比对情况

| 仪器型号 | 仪器检定证书 | 比对数据 | | | | 比对结果 | 比对时间 |
|--------------------|---------------------------|---------------|----------|---------------------|----------|----------|-----------|
| | | 工频电场 (V/m) | Z 比分数 | 磁感应强度 (μ T) | Z 比分数 | | |
| NBM550 /EHP-50F | 2020F33-10- 2883049001 | 1.428 | -0.15 | 0.084 | 0.01 | 结果 满意 | 2021.7.23 |
| NBM550 /EHP-50F | 2020F33-10- 2883050002 | 1.653 | 0.25 | 0.093 | 0.01 | | |

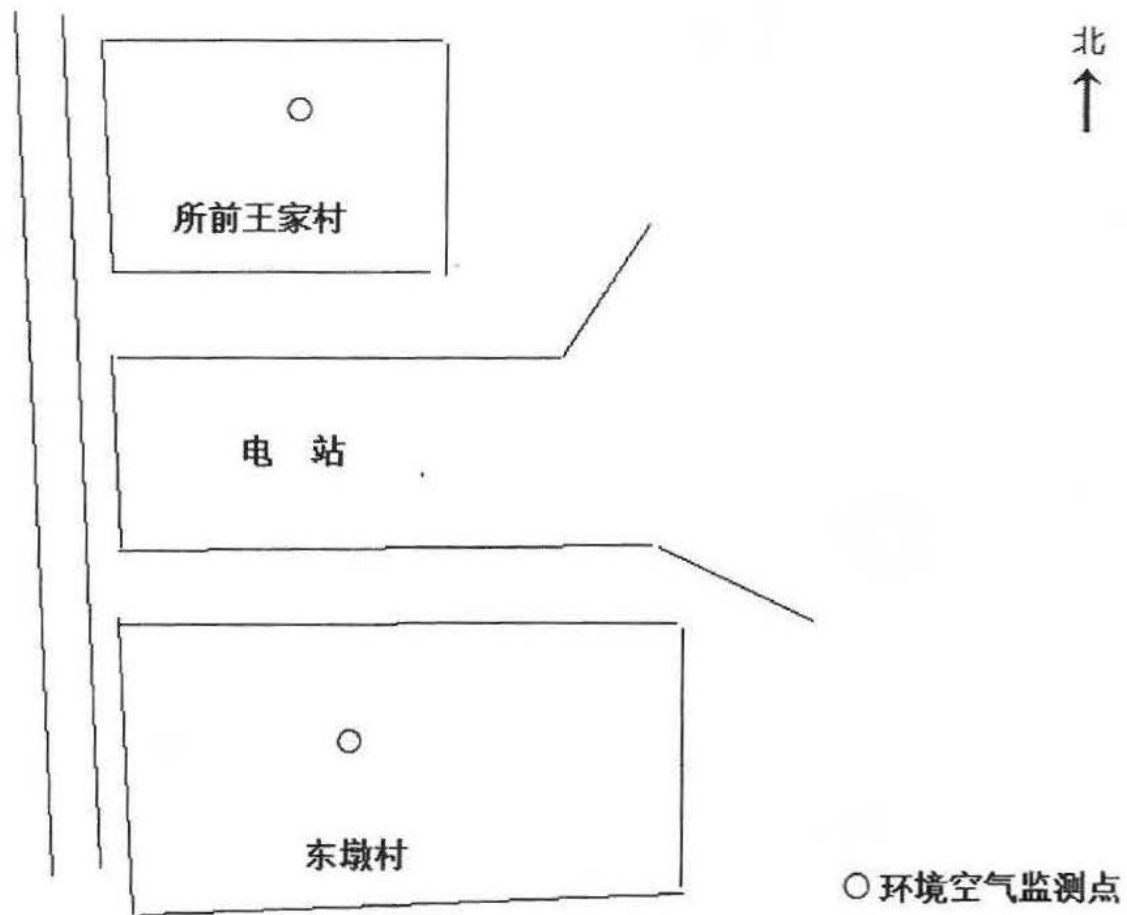


图 3.2-1 环境敏感点大气环境质量监测点位示意图

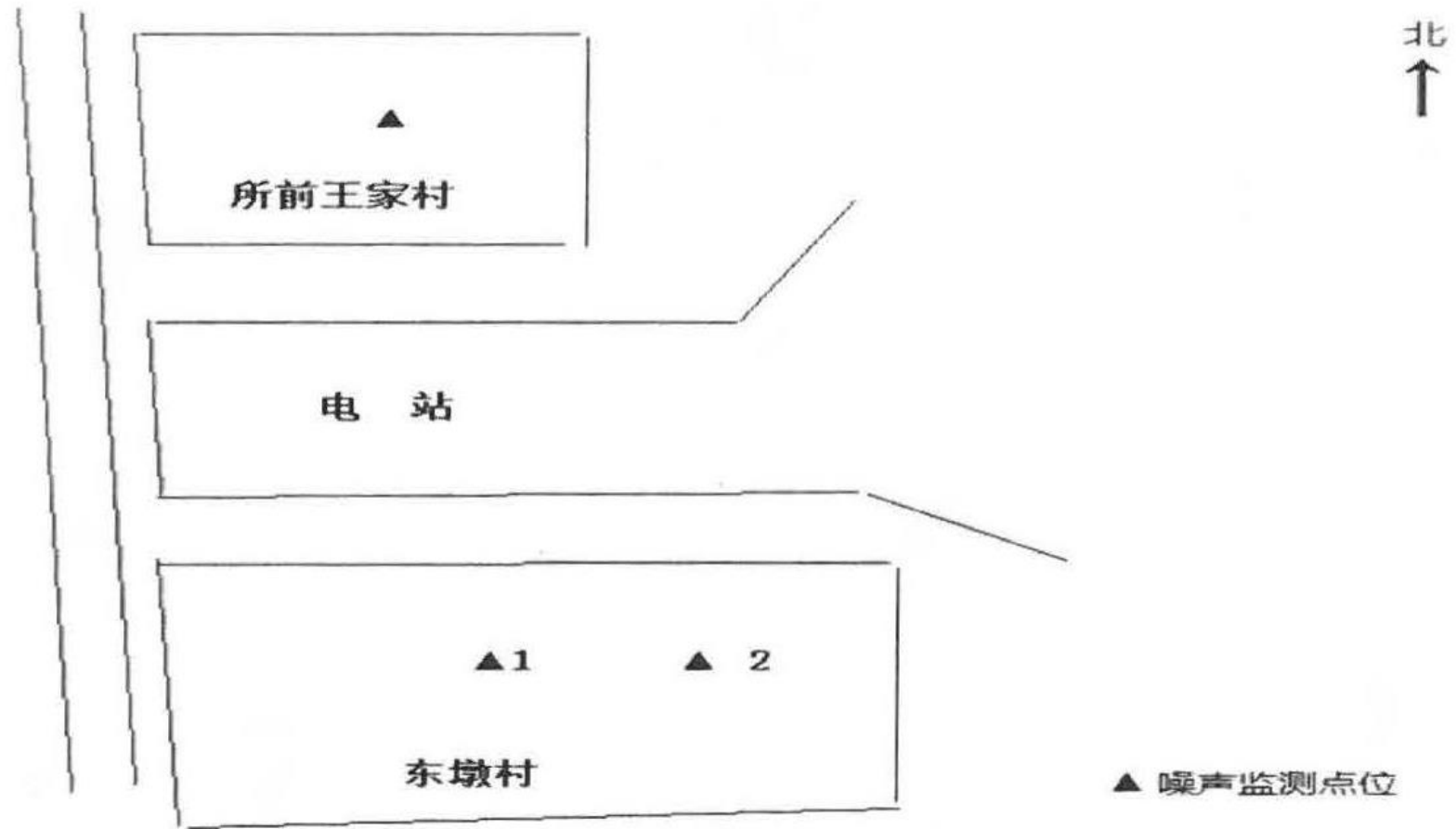


图 3.2-2 环境敏感点声环境质量监测点位示意图

第四章 核电厂

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

厂区规划原则：

- 主厂房核电机型以 CAP1400 机组进行总平面布置；
- 核岛和常规岛应尽量坐落在均匀和稳定的基岩上；
- 避免汽轮机飞射物危及与核安全有关的建构物；
- 功能分区明确，合理划分放射区和非放射区；
- 循环冷却水供水和排水管线力求短捷；
- 电力出线力求短捷；
- 厂区总平面布置应充分结合地形地貌，尽量使土石方工程量既小又平衡；
- 满足运输、防火、卫生、安全、管网布置及施工安装的要求；
- 配套辅助设施一次规划，分机组实施。

综合厂区地形条件、地基岩土层的适宜性、工艺流程要求以及厂外交通条件等诸多因素，本工程的主厂区布置在高温气冷堆示范工程厂区西南侧、东墩村东北侧的缓坡上，该处地质条件良好，取排水条件良好，同时距现有公路较近。

开关站区布置在厂区北侧，位于整个石岛湾厂址中部，便于整个厂址共用；循环水泵房区靠近厂址东侧取水明渠布置，位于主厂房区东南侧；海水淡化及水处理设施区位于主厂房区与循环水泵房区之间，便于工艺管线衔接；放射性废物处理设施区位于主厂房区东北侧，与主厂房区处于同一个保护区内；仓储检修区布置在主厂房区东侧；厂前区布置在主厂房区西侧，通过进厂道路衔接厂外交通；其他辅助设施均围绕主厂房区布置。

4.1.2 厂区平面布置

厂区总体规划图详见图4.1-1，总平面布置图详见图4.1-2。

1) 主厂房的布置

根据本工程建设规模，主厂房群（由11子项反应堆厂房、12子项辅助厂房、20子项汽机厂房、40子项附属厂房、50子项放射性废物厂房、60子项柴油发电机厂房等组成）采用并列布置，位于整个厂区中部，核岛厂房朝西北，汽机厂房朝

东南。本工程建设两台CAP1400机组，1号机组布置在西南侧，2号机组布置在东北侧。

本工程2台机组均坐落在地基条件良好的天然岩石地基上，其中2台机组的核岛厂房均坐落地质条件良好的微风化花岗片麻岩上，而2台机组的汽机厂房均坐落在中等风化~微风化花岗片麻岩上，整个厂区的地基条件良好。

60子项柴油发电机厂房和61子项柴油储存罐布置在核岛厂房的西南侧，距附属厂房约16米，以缩短管线长度；供核岛使用的13子项除盐水储存箱和14子项硼酸箱靠近核岛厂房的西侧布置；同样供核岛使用的15子项非能动安全壳冷却辅助水储存箱布置在核岛厂房的另一侧。

根据汽机厂房内工艺布置将015子项变压器区域紧靠布置在汽机厂房端头的东南侧，以方便连接汽机厂房。与汽机厂房有密切联系的16子项凝结水箱布置在非能动安全壳冷却水辅助贮存箱的东北侧，靠近使用端。

放射性废物厂房（50子项）紧靠辅助厂房西北侧布置，尽量使放射性废液管线短捷、可靠。

2) 开关站的布置

500kV开关站（011子项）和220kV辅助开关站（012子项）以及网控楼（014子项）布置在整个石岛湾厂址中部。由于是滨海核电厂且用地紧张，500kV开关站采用GIS屋内配电的布置方式，500kV开关站至主变的连接采用架空线布置方式。出线走廊始于两台机组汽机厂房的东南侧主变区域，向东北再转向西北后经过三废区，再转向东北与开关站相连。220kV备用电源架空线从厂址西北侧进入，220kV辅助开关站与变压器区域之间用地下电缆连接。

3) 循环水取、排水方案

本工程的循环冷却水和厂用水采用黄海海水作为水源的直流供水系统，2台机组设置一座循环水泵房（71子项），取排水工程考虑“南取中排”方案，采用明渠敞开式取水，取水口位置在厂区东南侧-8m等深线处，朝向南侧，距离岸边约800m，取水口附近防波堤布置为圆弧状，明渠底标高为-6.0m，断面为梯形，底宽暂定为80m。排水明渠从厂址东侧的养殖池中穿过，底标高为-5.0m，断面为梯形，底宽为120m，明渠将温排水引至-10m等深线处排放，距离岸边约2000m。

CAP1400压水堆核电机组单台夏季最大循环冷却水需水量约83m³/s。

4) 三废区的布置

由厂址废物处理设施（51子项）（含中低放废物暂存库和洗衣房）、特种汽车库（52子项）以及去污和热检修车间（53子项）等放射性厂房组成的三废区功能相近，宜集中布置在一起，以方便管理。将三废区布置在2号机组的北侧，三废区东南侧还预留了乏燃料干式储存的场地，两者与主厂房处于同一保护区内，便于生产和管理。

5) 辅助生产设施区的布置

全厂共用的海水淡化及除盐水处理厂房(31子项)布置在循环水泵房的西侧。该处距循环水泵房和2号机组的循环水排水管较近，取水方便，同时处理好的水可向全厂供应。

每台机组均设一座柴油驱动消防泵房（26子项）、一间电动消防泵房（布置在汽机厂房内）和两个消防水箱(27子项第一消防水箱和28子项第二消防水箱)。柴油消防泵房和两个消防水箱布置在汽机厂房的北侧。

低压氢气站（032子项）和氢气升压站（033子项）初步考虑全厂共用，就近布置在1号机组汽机厂房的东南侧，以缩短动力管线。

同时在2号机组汽机厂房的南侧，还布置了非放射性生产废水厂房(38子项)。

综合检修厂房（671子项）紧靠布置在2号机组汽机厂房的东侧，与仓库区布置相结合，形成了全厂性的综合检修区。仓库区（66子项）考虑到全厂共用的特点，紧靠布置在综合检修厂房东侧。

辅助锅炉房（25子项）位于1号机组和2号机组之间，靠近1号机组汽机厂房东北侧布置，以减少蒸汽管线的长度。

6) 厂前区布置

综合楼（65子项）布置在厂区的西侧，它靠近进厂道路的入口处，与生产技术支持中心、培训中心、档案馆、展示中心和食堂等配套设施结合在同一幢建筑单体内，以形成今后全厂的行政办公综合体，综合楼布置在该处既靠近厂区的主出入口，对外联系方便，又可通过厂区内的主干道与主厂区及辅助设施区相连，便于人员交通联系，同时处于全厂常年主导风向的上风侧，环境较好。

应急指挥中心（06子项）布置在进厂道路起点后约300m处的北侧，与主厂区保持一定距离，但靠近主干道，使用比较方便。

警卫营房（694子项）和消防站（695子项）布置在进厂道路的起点后约300m处南侧，既离厂区较近，能及时处理突发情况，同时又布置在厂区边界外，对厂

区生产运行的影响较小。

7) 竖向布置

考虑尽量利用厂址原始地形, 尽可能减少土石方工程量, 厂区竖向设计采用台阶式布置。主厂房区、循环水泵房区、辅助设施区和其它区域的厂坪设计标高为10.00m, 开关站区布置在厂坪设计标高为18.00m的台阶上, 厂前区布置在厂坪设计标高为14.00m的台阶上, 调试运维办公楼布置在厂坪设计标高为22.60m的台阶上。厂区土石方挖方工程量约284.21万 m^3 , 填方工程量约203.44万 m^3 , 考虑最终松散系数取1.15和厂区负挖, 产生余方工程量约223.4万 m^3 , 余方全部外运处理。

8) 绿化布置

核电厂厂区由于有放射性防护和安全保卫等方面的特殊要求, 对厂区绿化的要求不同于一般的电厂。在厂区保护区内不宜绿化, 在核岛环形道路内和带有放射性物质的厂房等设施区不应绿化, 另外, 厂区有监控要求的围墙内外6米范围内禁止种植乔木和灌木等, 保护区双层围墙内禁止绿化。但是, 在厂前区和其它可绿化的区域应充分绿化, 包括零星空地、边坡、挡土墙和厂外道路两侧, 以净化空气和美化环境。本工程厂区绿地面积约为5.05公顷, 绿地率为5.17%。

4.1.3 排放口布置

本工程两台机组产生的放射性废气经过放射性气体废物处理系统(WGS)处理后, 放射性气载流出物通过两台机组各自位于辅助厂房顶部的烟囱排入环境。本工程反应堆烟囱高度为81.15m, 烟囱截面积约为3.96 m^2 。烟气出流速度为13.66m/s。

本工程两台机组产生的放射性废液经过放射性液体废物处理系统(WLS)处理后进入该系统的监测箱。经监测符合设定的排放控制标准后, 液态流出物通过排水管线与循环水排水混合后排入厂址邻近海域。

本工程按照干厂址进行设计。本工程的厂址设计基准洪水位为6.87m, 主厂房区室外地面设计标高为10.00m, 高于设计基准洪水位, 确保了本工程防洪安全。本工程厂区内整平之后的坡度约为0.3%, 各建构筑物旁及各功能区域均设计为有组织的管系排洪系统。厂址所在汇水区域内暴雨形成的洪水, 可以通过管系、沟渠及排洪沟等迅速收集, 再由位于取水明渠和大件码头之间的排放口统一排入大海, 避免了雨洪对本工程的威胁。

另外，本工程厂区内两台机组还布置了柴油发电机厂房和柴油驱动消防泵，柴油发电机厂房位于每台机组核岛厂房的西南侧，柴油驱动消防泵位于每台机组汽机厂房的东北侧。当柴油发电机厂房和柴油驱动消防泵根据需要投入使用时，会排放非放射性废气。

本工程排放口平面位置见图4.1-3。

表 4.1-1 子项名称一览表

| 子项代码 | 名称 | 配置 ^{注1} |
|-----------|----------------------|------------------|
| 00 | 室外工程 | - |
| 001 | 厂内道路 | 全厂共用 |
| 002 | 综合管廊 | 全厂共用 |
| 004 | 进厂道路 | 全厂共用 |
| 005 | 应急道路 | 全厂共用 |
| 006 | 停车场 | 全厂共用 |
| 008 | 控制区围墙 | 全厂共用 |
| 009 | 保护区围墙 | 全厂共用 |
| 01 | 开关站和变电所 | - |
| 011 | 500kV 开关站 | 全厂址共用（不含高温堆） |
| 012 | 220kV 开关站 | 全厂址共用（不含高温堆） |
| 014 | 网控通信楼 | 全厂共用 |
| 015 | 变压器区域构筑物 | 单堆设置 |
| 016 | 主厂区 10kV 开关站 | 全厂共用 |
| 017 | 厂外第一 10kV 开关站 | 全厂共用 |
| 02 | 海工设施 | - |
| 021 | 大件码头 | 全厂址共用 |
| 023 | 取水明渠 | 全厂共用 |
| 024 | 排水明渠 | 全厂址共用 |
| 03 | 化学、燃料、气体处理和贮存 | - |
| 031 | 化学品库 | 全厂共用 |
| 032 | 低压氢气站 | 全厂共用 |
| 033 | 氢气升压站 | 全厂共用 |
| 036 | 高压氢气储气站 | 单堆设置 |
| 037 | 氮气储气站 | 单堆设置 |
| 038 | 高压压缩空气站 | 单堆设置 |
| 04 | 不同规格的电缆沟和架空线 | - |
| 042 | 220kV 电缆沟 | 单堆设置 |
| 043 | 其它等级电缆沟 | 全厂共用 |
| 044 | 500KV 架空线 | 单堆设置 |
| 045 | 厂外 500kV 架空线 | 全厂址共用（不含高温堆） |
| 046 | 厂外 220kV 架空线 | 全厂址共用（不含高温堆） |
| 05 | 保卫控制中心 | 全厂共用 |
| 06 | 应急指挥中心 | 全厂共用 |
| 061 | 移动泵和移动电源储存间 | 全厂共用 |
| 09 | 办证中心、出入口和警卫室 | - |
| 091 | 控制区出入口及办证中心 | 全厂共用 |
| 092 | 主厂区保护区出入口 | 全厂共用 |
| 093 | 循环水泵房保护区出入口 | 全厂共用 |
| 095 | 厂区大门 | 全厂共用 |
| 096 | 警卫室 | 全厂共用 |
| 097 | 开关站控制区出入口 | 全厂共用 |
| 098A | 瞭望塔 A | 全厂共用 |
| 10 | 核岛 | - |
| 11 | 反应堆厂房 | 单堆设置 |
| 12 | 辅助厂房 | 单堆设置 |

| 子项代码 | 名称 | 配置 ^{注1} |
|-----------|------------------|------------------|
| 13 | 除盐水贮箱 | 单堆设置 |
| 14 | 硼酸贮存箱 | 单堆设置 |
| 15 | 非能动安全壳冷却辅助水箱 | 单堆设置 |
| 16 | 凝结水贮箱 | 单堆设置 |
| 20 | 汽机厂房 | 单堆设置 |
| 21 | 汽机厂房第一跨 | 单堆设置 |
| 22 | 贮油箱 | 单堆设置 |
| 23 | 凝结水精处理室外设施 | 单堆设置 |
| 24 | 汽机厂房辅助跨 | 单堆设置 |
| 245 | 换热器间 | 单堆设置 |
| 25 | 辅助锅炉房 | 全厂共用 |
| 251 | 换热站 | 全厂共用 |
| 252 | 供热联合泵间 | 全厂共用 |
| 26 | 柴油驱动消防泵房 | 单堆设置 |
| 27 | 第一消防水箱 | 单堆设置 |
| 271 | 消防稳压罐 | 单堆设置 |
| 28 | 第二消防水箱 | 单堆设置 |
| 29 | 汽机事故油池 | 单堆设置 |
| 30 | 水处理厂 | 全厂共用 |
| 31 | 海水淡化及除盐水处理厂房 | 全厂共用 |
| 32 | 综合水泵房和清水池 | 全厂共用 |
| 37 | 生活污水处理设施 | - |
| 371 | 主厂区生活污水处理设施 | 全厂共用 |
| 372 | 厂前区生活污水处理设施 | 全厂共用 |
| 373 | 厂外生活污水处理设施 | 全厂共用 |
| 38 | 非放射性生产废水处理厂房 | 全厂共用 |
| 40 | 附属厂房 | 单堆设置 |
| 50 | 放射性废物厂房 | 单堆设置 |
| 51 | 厂址废物处理设施 | 全厂址共用（不含高温堆） |
| 52 | 特种汽车库 | 全厂共用 |
| 53 | 去污和热检修车间 | 全厂共用 |
| 532 | 放射源库和电离辐射计量实验室 | 全厂共用 |
| 535 | 流出物和化学实验室 | 全厂共用 |
| 60 | 柴油发电机厂房 | 单堆设置 |
| 61 | 燃油贮存罐 | 单堆设置 |
| 65 | 综合楼 | 全厂共用 |
| 652 | 模拟机厂房 | 全厂共用 |
| 66 | 永久仓库 | - |
| 661 | 永久仓库 A、B 级库及办公楼 | 全厂共用 |
| 662 | 永久仓库 C 级库 | 全厂共用 |
| 663 | 永久仓库 D 级库 | 全厂共用 |
| 67 | 检修厂房 | - |
| 671 | 综合检修厂房 | 全厂共用 |
| 673 | 模拟体厂房 | 全厂共用 |
| 69 | 其他永久性服务设施 | - |
| 694 | 警卫营房 | 全厂共用 |
| 695 | 消防站 | 全厂共用 |
| 696 | 环境监测站 | 全厂址共用 |

| 子项代码 | 名称 | 配置 ^{注1} |
|-----------|----------------|------------------|
| 697 | 气象观测站 | 全厂址共用 |
| 698 | 保卫楼 | 全厂共用 |
| 699 | 公安楼（核电分局） | 全厂共用 |
| 71 | 循环水泵房 | 全厂共用 |
| 72 | 循环水压力供水管 | 单堆设置 |
| 73 | 循环水排水设施 | - |
| 731 | 循环水压力排水管 | 单堆设置 |
| 732 | 虹吸井 | 单堆设置 |
| 733 | 循环水排水沟 | 单堆设置 |
| 734 | 循环水排水口 | 全厂共用 |
| 74 | 循环水加药厂房 | 全厂共用 |
| 753 | 厂用水系统配电间 | 单堆设置 |
| 80 | 临时施工设施 | - |
| 809 | 重件道路 | 全厂共用 |
| 811 | 施工区临时换热站 | 全厂共用 |
| 812 | 调试运维办公楼 | 全厂共用 |
| 82 | 模块拼装场地 | 全厂共用 |
| 8661 | 临建 B 级仓库 | 全厂共用 |
| 87 | 混凝土搅拌站 | 全厂址共用 |
| 88 | 安全壳拼装场地 | 全厂共用 |
| 89 | 实验室 | - |
| 891 | 土建实验室 | 全厂址共用 |
| 90 | 厂外设施 | - |
| 901 | 核电厂辐射环境现场监督站 | 全厂共用 |

注 1:

- 1.单堆设置：指本工程的每台机组分别配置一个子项。
- 2.全厂共用：指本工程的所有机组（2 台）共配置一个子项。
- 3.全厂址共用：指本工程与石岛湾扩建工程（含高温堆）共配置一个子项。
- 4.全厂址共用（不含高温堆）：指本工程与石岛湾扩建工程（不含高温堆）共配置一个子项。

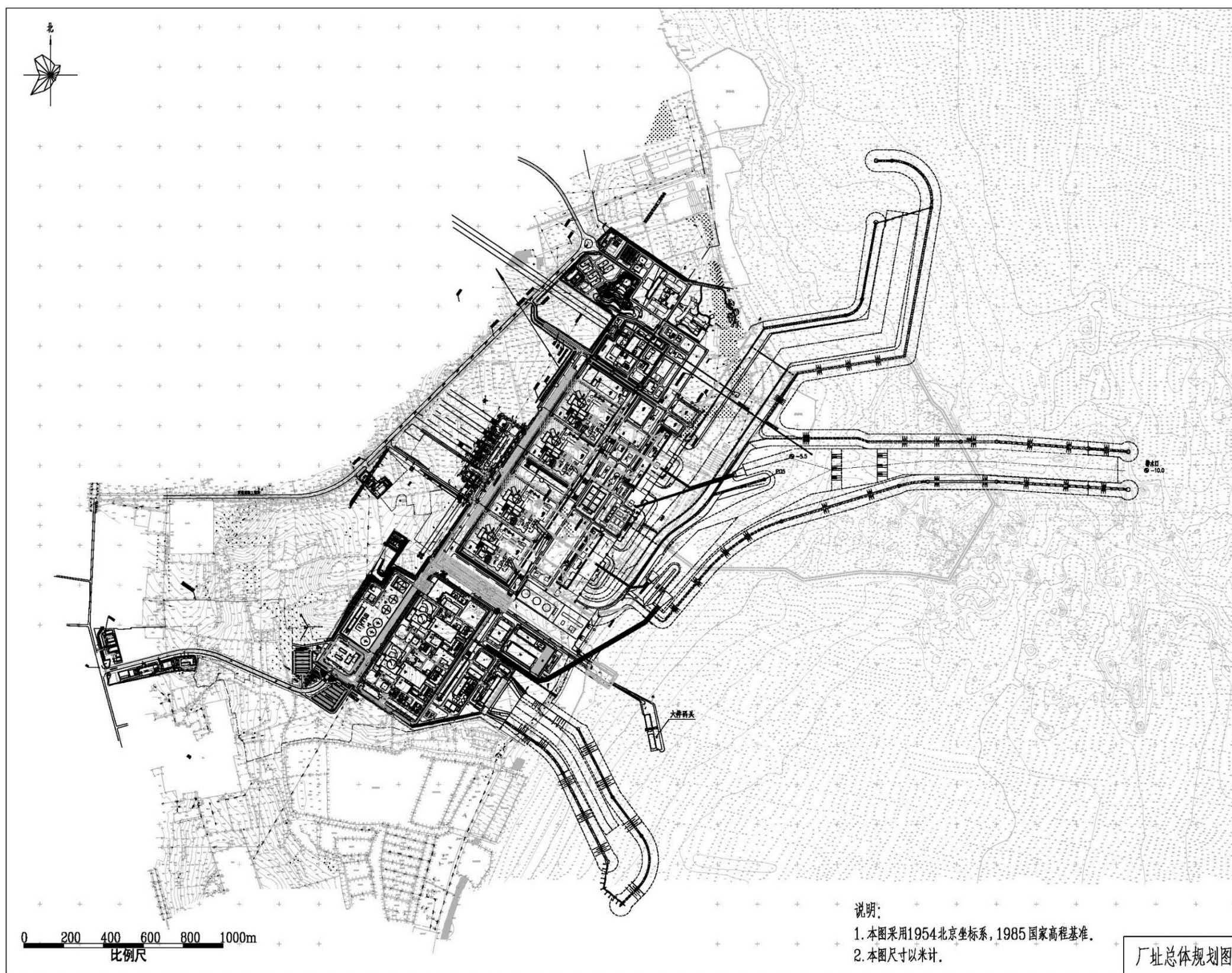


图 4.1-1 工程所在厂址总体规划图

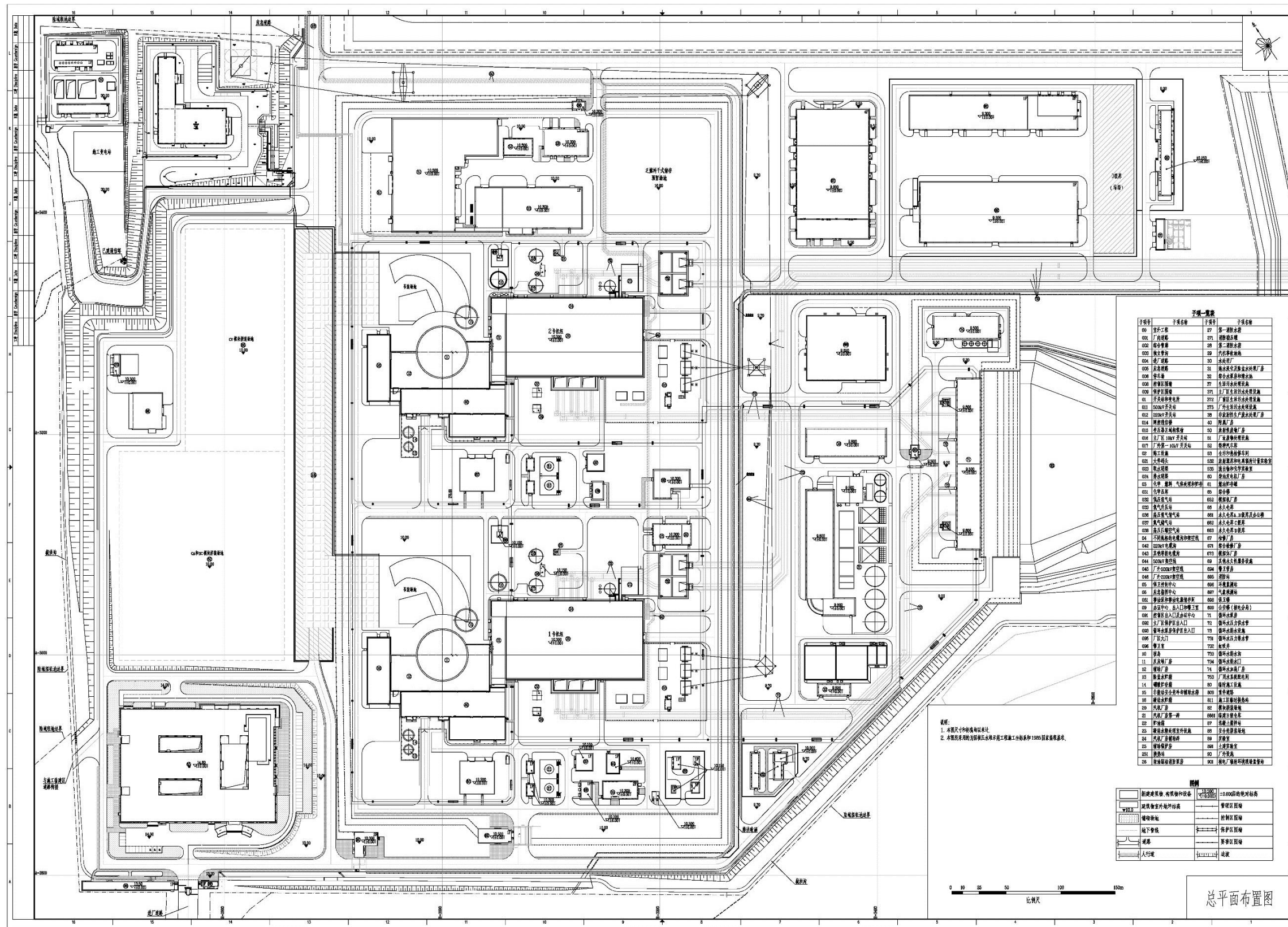


图 4.1-2 工程厂区总平面布置图

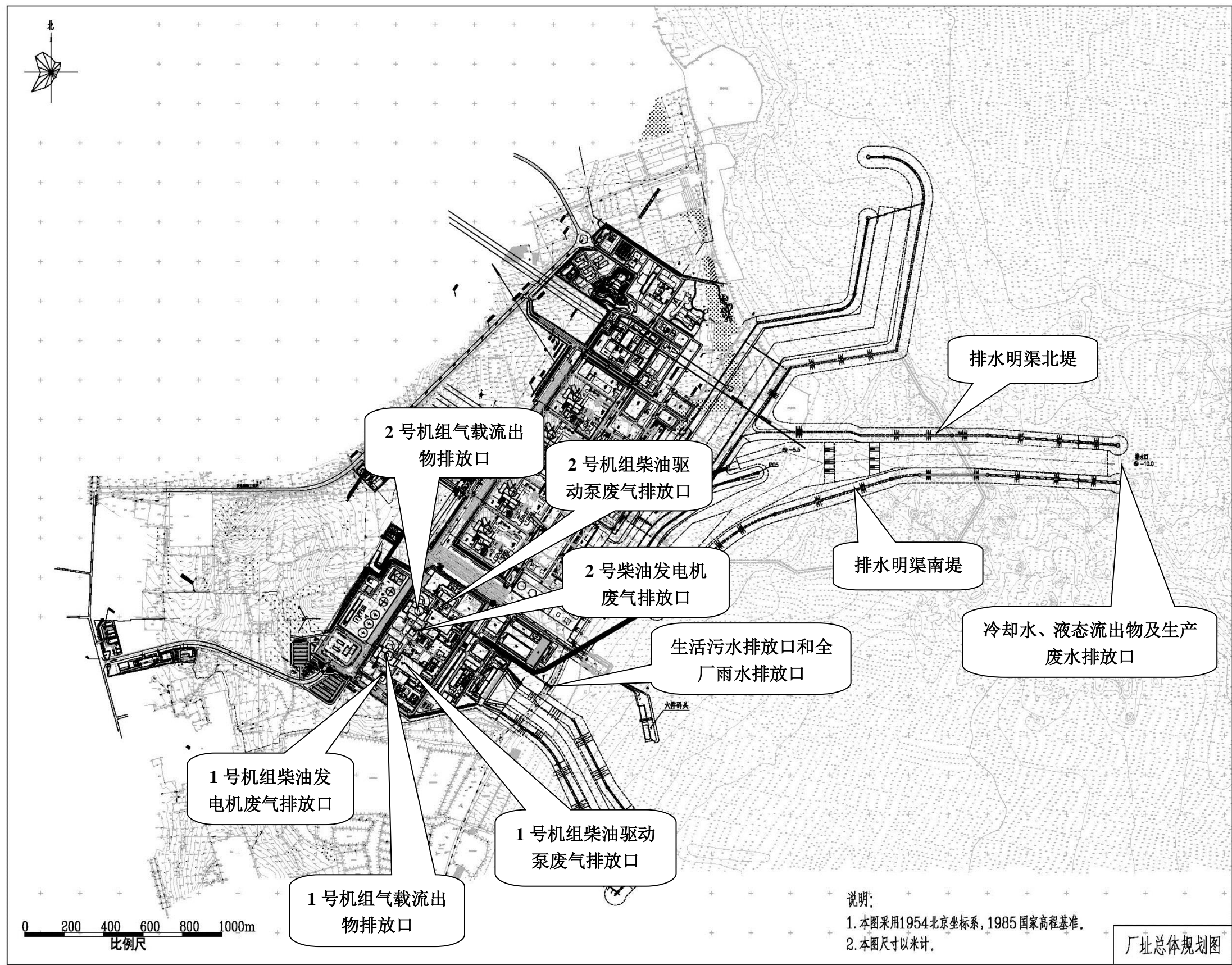


图 4.1-3 工程排放口位置示意图

4.2 反应堆和蒸汽-电力系统

4.2.1 概述

本工程建设 2 台国和一号（CAP1400）核电机组。国和一号是在 AP1000 三代非能动技术的基础上，结合我国数十年核电设计研发、建设和运行经验，通过自主创新研发的具有自主知识产权的大型先进压水堆核电技术。其设计应用非能动安全理念，贯彻“纵深防御”、“系统简化”、“辐射防护最优化”和“放射性废物最小化”原则，遵照执行中国最新有效的相关法律、法规、规范和标准，并以 IAEA 和国外核电先进国家最新有效的规范标准作为补充和参考，参照先进轻水堆用户要求文件（ALWR URD），满足福岛后安全增强要求，能够有效应对地震、飓风、大飞机撞击、全厂失去外电源等极端事件，配置完备的严重事故预防和缓解措施，具有极高的安全性和良好的经济性。

本工程 CAP1400 核电厂布置包括核岛、常规岛和核电厂配套设施（BOP）三个部分：

- 核岛主要构筑物包括反应堆厂房（由安全壳厂房和屏蔽厂房组成）、辅助厂房、附属厂房、放射性废物厂房和柴油发电机厂房等；
- 常规岛主要构筑物是汽轮机厂房；
- BOP 构筑物包括化学品库、水处理厂、核电厂气体厂房、取排水构筑物以及厂址废物处理设施（SRTF）等相关支持厂房。

本工程每台 CAP1400 核电机组的核蒸汽供应系统（NSSS）的额定功率为 4058MWt，反应堆堆芯额定热功率为 4040MWt，机组额定出力约 1500MWe，堆芯热工裕量大于 15%，堆芯损伤概率小于 1.0×10^{-6} /堆年，大量放射性物质释放频率小于 1.0×10^{-7} /堆年。

本工程每台 CAP1400 核电机组的设计寿命为 60 年，机组可利用率 93%（包括强迫和计划停堆，非计划停堆的目标小于 1 次/年）。

本工程技术方案的主要设计性能参数见表 4.2-1。

4.2.2 核岛

4.2.2.1 燃料元件性能的描述

本工程反应堆堆芯装载 193 组 17×17RFA 改进型燃料组件。燃料组件由 17×17 正方形排列的燃料棒和燃料组件骨架组成。燃料组件骨架由上管座、下管

座、15层格架（包括8层中间格架、1层顶部格架、1层底部格架、1层保护格架和4层搅混格架）、24根导向管和1根仪表管组成。在燃料组件骨架未装上、下管座之前，先插入燃料棒，然后再装上、下管座，组成完整的燃料组件。每个燃料组件共有289个棒位，其中24个由导向管占据，1个由仪表管占用，其余264个装有燃料棒（或装整体燃料-可燃毒物棒）。燃料棒装入燃料组件骨架内由格架夹持，使之保持在确定的轴向和径向位置上，并允许燃料棒沿轴向热膨胀和辐照生长。燃料棒端部与上、下管座之间留有足够的间隙，以补偿燃料棒与导向管间不同的热膨胀和辐照生长。燃料组件的燃料棒外径为9.5mm，活性段长度为4267.2mm，燃料棒中心距为12.6mm。燃料组件基本性能参数见表4.2-2，堆芯首次燃料装载见图4.2-1，燃料组件和燃料棒的垂向布置见图4.2-2。

17×17RFA改进型燃料组件的一些主要特点如下：

- 采用一体化上管座，减少产生松脱件的可能性；
- 燃料棒内设置上、下轴向低富集度区，减少中子轴向泄漏和改善中子利用；
- 采用防异物下管座、保护格架和下部包壳预氧化，有效防止燃料棒的异物磨损破坏；
- 燃料棒内设置上、下气腔，降低堆芯下板的中子辐照损伤，降低气腔温度和燃料棒内压；
- 采用性能良好的ZIRLO合金作为包壳和结构件材料；
- 组件上半部装有四层搅混格架（IFM），提高堆芯热工性能；
- 导向管壁厚增加，提高燃料组件整体刚度，降低控制棒不完全插入风险；
- 使用先进的IFBA可燃毒物（芯块柱面涂 ZrB_2 ）；
- 增加燃料棒与格架刚凸和弹簧的接触面积，并采用优化搅混翼布置，增加底部格架弹簧力，以减少燃料棒振动磨蚀破坏可能性；
- 堆内测量仪表从燃料组件上部插入，与压力容器底部无贯穿件设计相匹配；
- 4.27米（14英尺）活性段燃料组件具有丰富的使用经验。

17×17RFA改进型燃料组件富集度的设计要求为小于5%（w/o ^{235}U ）。本工程反应堆堆芯实际采用的燃料组件富集度见图4.2-1注释部分。

本工程反应堆燃料管理方案采用五区装载，其首循环和平衡循环的组件富集

度和铀装量分别如表 4.2-3 和表 4.2-4 所示。

4.2.2.2 核岛厂房布置及堆本体结构

反应堆本体主要由反应堆压力容器、堆内构件、燃料组件和相关组件、控制棒驱动机构以及一体化堆顶组件组成。反应堆本体结构如图4.2-3所示。

4.2.2.3 反应堆冷却剂系统

反应堆冷却剂系统由两个传热环路组成，每个环路包括一台蒸汽发生器、两台反应堆冷却剂泵、一条热段主管道和两条冷段主管道。系统还包括一台稳压器、相关连接管道、阀门和用于运行控制和专设驱动的仪表。

反应堆冷却剂系统执行以下功能：

1) 安全有关功能

- 维持反应堆冷却剂压力边界，限制放射性向安全壳的释放，限制一次侧系统向非放二次侧系统和大气的泄漏。
- 循环冷却剂，排出显热和衰变热，提供均匀的温度分布和化学性，补偿控制棒插入引起的负反应性。
- 监测反应堆冷却剂压力边界内的过程参数，向保护和安全监测系统(PMS)和操纵员提供所需信号。
- 在小破口失水事故时自动卸压，使非能动堆芯冷却系统(PXS)可以充分地冷却堆芯。
- 提供应急下泄以防止事故期间稳压器液位升高引起的长期满溢。

2) 执照申请相关功能

- 反应堆冷却剂系统(RCS)能够排出可能聚集在稳压器和反应堆压力容器上封头的不凝性气体，以增强事故后的堆芯冷却能力。

3) 非安全有关纵深防御功能

- 在事故工况下，将其产生的热量传递给蒸汽发生器系统(SGS)，避免非能动余热排出系统启动。
- 通过稳压器喷雾和电加热器控制系统压力，有助于阻止非能动安全系统的启动。
- 在所有核电厂运行工况下，监测反应堆冷却剂压力边界内的过程参数，向多样化驱动系统(DAS)和操纵员提供所需的信号。

- 手动可控卸压以缓解蒸汽发生器传热管破裂 (SGTR)，并防止多重失效状况下的高压熔堆。

4) 其它非安全有关功能

- 在核电厂功率运行、热备用、核电厂冷却第一阶段时，循环冷却剂，将热量传递给 SGS 以冷却堆芯，正常运行时保证 RCS 温度的均匀分布和反应堆冷却剂中化学物质的均匀性，功率运行期间维持堆芯的中子链式反应和功率分布均匀并提供反应性控制，停堆运行期间补偿控制棒插入带来的负反应性，在核电厂冷却第二阶段、冷停堆、换料和启动前期阶段，RCS 通过正常余热排出系统 (RNS) 排出堆芯衰变热。
- 除开盖换料外的核电厂所有正常运行期间，控制系统压力，冷停堆模式至热备用模式期间控制系统压力和温度，向核电厂控制系统 (PLS) 提供各种信号以控制 RCS 平均温度和控制棒、RCS 压力和稳压器液位等。
- 在核电厂所有正常运行工况、核电厂冷却和启动运行期间，监测反应堆冷却剂压力边界内的参数。

4.2.2.4 辅助系统

1) 化学和容积控制系统

化学和容积控制系统 (CVS) 由再生和下泄热交换器、树脂床和过滤器、补水泵、水箱和相关阀门、管道以及仪表组成。系统的主要功能包括：

- 净化：维持冷却剂纯度和活化程度在一个可接受的水平。
- 控制和补充反应堆冷却剂装量：维持 RCS 要求的冷却剂装量；核电厂正常运行时维持设定的稳压器水位。
- 化学补偿和化学控制：在核电厂启动时维持反应堆冷却剂的化学性能、正常稀释以补偿燃料消耗的反应性效应，以及停堆后的硼化，并通过维持合适的氢氧化锂浓度来控制 RCS 的 pH 值。
- 氧含量控制：在功率运行期间提供维持冷却剂中合适的氧浓度的手段，并在每次停堆后使氧浓度达到启动前合适的浓度。
- RCS 充满和压力试验：为 RCS 充满和压力试验提供手段。CVS 补水泵可用于执行维修换料后的 RCS 水压试验，但不执行 RCS 初始水压试验，通过提供临时水压试验泵接口以支持该功能。
- 向辅助设备补充硼酸溶液：向需要硼化水的一次侧系统补充硼化水。

- 稳压器辅助喷淋—提供稳压器辅助喷淋以帮助降压。

2) 正常余热排出系统

正常余热排出系统（RNS）由两个设备序列组成，每列包含一台泵和一台热交换器。两个序列共用一根连接到RCS的入口母管以及一根出口母管。RNS包括系统运行所必需的管道、阀门和仪表。系统的主要功能包括：

- 停堆热量排出：在核电厂冷停堆期间排出堆芯衰变热和 RCS 显热。
- 停堆净化：在停堆和换料期间提供从 RCS 到 CVS 的净化流。
- 换料疏水：RCS 会疏水到半管水位以便蒸汽发生器疏水和维护。
- 换料热量排出：在核电厂换料期间排出堆芯衰变热。
- RCS 真空充水冷却：在核电厂启动期间，RNS 能排出衰变热，满足 RCS 真空充水的要求。
- 事故后余热排出：在发生触发 ADS 所有阀门和 IRWST 注射的事故之后，RNS 可以投入来排出衰变热。
- 安全壳内换料水箱（IRWST）冷却：对 IRWST 进行冷却，保证 RNS 长期运行期间 IRWST 水温低于 100℃，正常运行期间水温不大于 48.9℃。
- 低压 RCS 补水：从 IRWST 或装料池向 RCS 提供低压补水。
- 低温超压保护：在启堆和停堆操作期间为 RCS 提供低温超压保护。
- 事故后安全壳水装量长期补充通道：在假想的安全壳泄漏事故情况下，为事故后安全壳水装量的长期补给提供通道。
- 乏燃料池冷却：提供备用的乏燃料池冷却。

3) 乏燃料池冷却系统

乏燃料池冷却系统（SFS）由两个机械系列组成，每个系列包括一台泵、一台热交换器、一台除盐床、一台过滤器以及相关的阀门、管道和仪表，两个系列共用入口母管和回流母管。系统的主要功能包括：

- 乏燃料池冷却：运行期间从乏燃料池中排出衰变热，以维持其温度在可接受限值内。
- 乏燃料池净化：运行期间对乏燃料池水进行净化。
- 换料水池净化：换料操作期间对换料水池进行净化。
- 转运水：换料期间在安全壳内换料水箱（IRWST）和换料水池之间转运水。

- 安全壳内换料水箱（IRWST）净化：正常运行期间对 IRWST 进行净化和冷却。

4) 设备冷却水系统

设备冷却水系统（CCS）由两个机械系列组成，每个系列包括一台泵和一台热交换器。各系列单独设置供水/回水管道。两个波动箱分别连接在两个系列的设备冷却水回水管上。系统的主要功能包括：

- 在正常停堆时，向正常余热排出系统（RNS）的热交换器及泵提供冷却。
- 在换料和半充水运行时，向 RNS 系统的热交换器及泵提供冷却。
- 向化学和容积控制系统补水泵的小流量热交换器提供冷却。
- 向乏燃料池热交换器提供冷却。
- 在非能动余热排出热交换器运行时，向 RNS 热交换器提供冷却水以冷却安全壳内置换料水箱的水。
- 在非能动堆芯冷却系统缓解事故后的核电厂恢复阶段，向 RNS 系统提供冷却水带走堆芯热量。

5) 蒸汽发生器系统

蒸汽发生器系统包括两个相同的系列，每台蒸汽发生器对应一个系列。每个系列包括四个主要的部分：安全有关主蒸汽管道及其相关管道、安全有关主给水管道、安全有关启动给水管道和安全有关蒸汽发生器排污管道。

蒸汽发生器系统执行以下功能：

（1）安全有关功能

- 安全壳内的蒸汽发生器系统管道与蒸汽发生器壳侧，以及传热管，形成隔离屏障，分隔工艺流体与安全壳大气。同时，系统为贯穿安全壳的主给水、启动给水、主蒸汽以及蒸汽发生器排污管道提供安全壳隔离，限制厂外辐射量。
- 发生主蒸汽、主给水、启动给水、排污管道破裂、任一台主蒸汽安全阀或大气释放阀误开或卡开后，通过提供隔离措施，限制超过一台蒸汽发生器失控排放，维持反应堆压力容器完整性，避免燃料损坏。
- 蒸汽管道破裂事故后，通过隔离主给水和启动给水，限制向安全壳的质能释放，限制厂外辐射量。
- 通过主蒸汽安全阀为蒸汽发生器二次侧和主蒸汽管道提供超压保护。

- 监测蒸汽发生器液位、主蒸汽管线压力、启动给水流量等工艺参数，并提供 PMS 所必需的信号。

(2) 执照申请相关功能

- 向多样化驱动系统提供执照申请相关功能所需信号。

(3) 非安全有关纵深防御功能

- 特定事故后，将反应堆冷却剂系统产生的热量通过蒸汽发生器、主蒸汽系统输送至二回路或将蒸汽排至大气，释放衰变热。
- 监测蒸汽发生器、主蒸汽和给水的工艺参数，向多样化驱动系统和操纵员提供蒸汽发生器宽量程液位信号。
- 利用大气释放阀提供蒸汽发生器二次侧超压保护。

(4) 非安全有关功能

- 正常运行期间，将加热的给水从主给水系统输送到蒸汽发生器，并将蒸汽发生器内产生的蒸汽输送到主蒸汽系统，供汽轮机发电。
- 功率运行期间连续运行，带走反应堆冷却剂系统产生的热量，并由蒸汽发生器传递至二次侧。
- 提供蒸汽发生器内、主蒸汽隔离阀上游的蒸汽管道以及蒸汽发生器给水的工艺参数监测。
- 在主给水流量和启动给水流量之间提供可靠稳定的自动切换，防止低功率运行时反应堆的不必要停堆，并避免启动给水管嘴处的热冲击。
- 正常停堆工况下提供非安全有关衰变热导出功能。
- 在核电厂启动、停堆和正常功率运行时，提供二次侧连续排污。
- 提供主蒸汽管道暖管、疏水、取样。

6) 蒸汽发生器排污系统

蒸汽发生器排污系统设有两个系列，每个系列包括一台再生热交换器、一个隔离阀，一个流量控制阀和一套电离除盐装置。

蒸汽发生器排污系统执行以下非安全有关功能：

- 正常运行期间，蒸汽发生器排污系统通过排出并净化蒸汽发生器二次侧的排污流对蒸汽发生器二次侧的水化学性质进行控制。
- 停堆期间，蒸汽发生器排污系统通过再循环运行进行蒸汽发生器湿保养。

- 停堆期间，蒸汽发生器排污系统为蒸汽发生器设置疏水通道，排空蒸汽发生器以进行检查和维修。
- 蒸汽发生器排污系统通过从蒸汽发生器管板上部抽出二次侧水，带走淤积在管板上的淤泥。
- 恢复异常的蒸汽发生器水化学特性。

7) 启动给水系统

启动给水系统由并联的两台启动给水泵以及相应的阀门、管道和仪表等组成。

启动给水系统执行以下非安全有关功能：

(1) 执照申请相关功能

- 为蒸汽发生器系统（SGS）提供备用的给水隔离功能。

(2) 非安全有关纵深防御功能

- 在某些设计基准事件中，向蒸汽发生器提供启动给水，执行排出反应堆冷却剂系统（RCS）热量的纵深防御功能，防止非能动安全有关衰变热排出系统动作。

- 限值两台启动给水泵的最大流量，限值质能释放及停堆后一回路过冷。

(2) 非安全有关功能

- 在热备用、启动、低功率运行和停堆冷却工况下，向蒸汽发生器提供所需压力和流量的给水并维持蒸汽发生器的液位。
- 为 PLS 提供主给水流量、启动给水流量、启动给水温度、启动给水压力等信号。

4.2.3 常规岛

本工程主机采用单轴、半速、四缸六排汽、凝汽式汽轮发电机组，每台机组配有两台卧式汽水分离和两级再热装置。汽轮发电机组机转速 1500rpm，机组出力为 1534MW，蒸汽压力 5.78MPa(a)，蒸汽流量 $8.091 \times 10^6 \text{kg/h}$ ，蒸汽湿度 0.45%。每台机组设置三个独立壳体的凝汽器，采用海水一次循环冷却汽轮机低压缸排汽。

汽轮机和冷凝器的有关参数见表 4.2-5。蒸汽—电力转换系统流程简图见图 4.2-4。

表 4.2-1 CAP1400 压水堆核电机组的主要设计参数

| 参数名称 | 单位 | 参数值 |
|--------------|--------|-------|
| 核蒸汽供应系统额定热功率 | MWt | 4058 |
| 反应堆额定热功率 | MWt | 4040 |
| 额定发电功率 | MWe | ~1500 |
| 电厂设计寿命 | 年 | 60 |
| 换料周期 | 月 | 18 |
| 反应堆冷却剂环路数 | 个 | 2 |
| 反应堆系统压力 | MPa(a) | 15.5 |
| 反应堆压力容器入口温度 | ℃ | 284.3 |
| 反应堆压力容器出口温度 | ℃ | 323.7 |
| 电厂可利用率 | % | 93 |
| 负荷跟踪能力 | | 有 |
| 堆芯 DNBR 裕量 | % | >15 |
| 堆芯损伤频率 | 1/堆年 | <1E-6 |
| 大量放射性物质释放频率 | 1/堆年 | <1E-7 |

表 4.2-2 17×17 RFA 改进型燃料组件基本性能参数

| 特征参数 | 17×17 RFA 改进型燃料组件 |
|------------------------|--|
| 燃料组件排列 | 17×17 |
| 棒间距 (mm) | 12.6 |
| 燃料棒数量 | 264 |
| 导向管数 | 24 |
| 仪表管数 | 1 |
| 格架数 | 15 (包括 8 层中间格架、4 层搅混格架、1 层顶部格架、1 层底部格架和 1 层保护格架) |
| 整体尺寸 (mm) | 214.02×214.02×4798.70 |
| 燃料棒 | |
| — 总长 (mm) | 4583.2 |
| — 活性区高度 (mm) | 4267.2 |
| — 上气腔长度 (mm) | 164.5 |
| — 下气腔长度 (mm) | 122.56 |
| — 径向间隙 (mm) | 0.17 |
| — 预充气体 | 氦气+空气 |
| — Non-IFBA 棒预充内压 (MPa) | 1.996 |
| — IFBA 棒预充内压 (MPa) | 0.789 |
| UO ₂ 芯块 | |
| — 密度 (% T.D) | 95.5 |
| — 实心圆柱芯块直径 (mm) | 8.192 |
| — 实心圆柱芯块高度 (mm) | 9.83 |
| — 环形芯块内径 (mm) | 3.94 |
| — 环形芯块外径 (mm) | 8.192 |
| — 环形芯块高度 (mm) | 12.7 |
| 燃料包壳 | |
| — 材料 | ZIRLO |
| — 外径 (mm) | 9.5 |
| — 厚度 (mm) | 0.57 |

表 4.2-3 先进燃料管理方案首循环的组件富集度和铀装量

| 组件类型 | 组件个数 | 组件平均富集度 (不包括低富集度区) (w/o ²³⁵ U) | 每个组件的铀装量 (kgU) | 每个组件的 IFBA 根数 |
|-----------|------|---|-------------------|------------------|
| A1_000 | 12 | 0.740 | 541.2 | 0 |
| B1_000 | 61 | 1.600 | 541.2 | 0 |
| C1_000 | 32 | 3.000 | 541.3 | 0 |
| D1_068_12 | 8 | 3.776 | 538.3 | 68 |
| D1_088_12 | 52 | 3.776 | 537.4 | 88 |
| E1_124 | 12 | 4.376 | 535.8 | 124 |
| E1_136 | 8 | 4.376 | 535.3 | 136 |
| E1_156 | 8 | 4.376 | 534.4 | 156 |

其中：堆芯总的燃料组件数量：193 盒
 堆芯总的燃料组件铀装量：104068 kgU
 堆芯总的 IFBA 数量：8944 根

表 4.2-4 先进燃料管理方案平衡循环的换料组件富集度和铀装量

| 组件类型 | 组件个数 | 组件平均富集度 (不包括低富集度区) (w/o ²³⁵ U) | 每个组件的铀装量 (kgU) | 每个组件的 IFBA 根数 |
|--------|------|---|-------------------|------------------|
| Z1_156 | 28 | 4.450 | 534.4 | 156 |
| Z2_088 | 16 | 4.950 | 537.4 | 88 |
| Z2_128 | 20 | 4.950 | 535.6 | 128 |
| Z2_156 | 8 | 4.950 | 534.4 | 156 |

其中：换料组件数量：72 盒
 换料组件总的铀装量：38549 kgU
 换料组件中总的 IFBA 数量：9584 根

表 4.2-5 汽轮机和冷凝器的有关参数

| | 参数名称 | 单位 | 参数值 |
|---|-----------------|----------------|---------------------------|
| — | 汽轮发电机组 | | |
| | 汽轮机型式 | | 单轴 4 缸 6 排 汽冷凝汽式冲动式汽轮机 |
| | 汽轮机转速 | rpm | 1500 |
| | 汽轮机高中压缸/低压缸数量 | | 1/3 |
| | 进口蒸汽压力 | MPa | 5.78 |
| | 进口蒸汽流量 | kg/h | 8.091×10^6 |
| | 进口蒸汽湿度 | % | 0.45% |
| | 排汽压力 | kPa | 3.6 |
| | 汽轮发电机组额定功率 | MWe | 1534 |
| | 发电机容量 | MVA | 1722 |
| | 电压 | kV | 27 |
| | 频率 | Hz | 50 |
| | 功率因子 | | 0.9 |
| | 发电机效率 | % | 98.95% |
| — | 汽水分离/再热器 | | |
| | 型式 | | 卧式 |
| | 数量 | 个 | 2 |
| | 再热级数 | 级 | 2 |
| — | 冷凝器 | | |
| | 型式 | | 单背压（单流程） |
| | 管材 | | 钛管 |
| | 凝汽器面积 | m ² | (116000) |

| | H | G | F | E | D | C | B | A |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 08 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED E1 | FEED A1 |
| 09 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED C1 |
| 10 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED E1 | FEED A1 |
| 11 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED E1 | FEED C1 |
| 12 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED E1 | FEED C1 | |
| 13 | FEED D1 | FEED B1 | FEED D1 | FEED B1 | FEED E1 | FEED B1 | FEED C1 | |
| 14 | FEED E1 | FEED D1 | FEED E1 | FEED E1 | FEED C1 | FEED C1 | | |
| 15 | FEED A1 | FEED C1 | FEED A1 | FEED C1 | | | | |

- 组件位置 FEED: 新组件
- A1: ^{235}U 富集度为 0.740 w/o
 - B1: ^{235}U 富集度为 1.600 w/o
 - C1: ^{235}U 富集度为 3.000 w/o
 - D1: ^{235}U 富集度为 3.776 w/o
 - E1: ^{235}U 富集度为 4.376 w/o

注: 组件富集度的统计不包括轴向低富集度区

图 4.2-1 堆芯首次燃料装载图

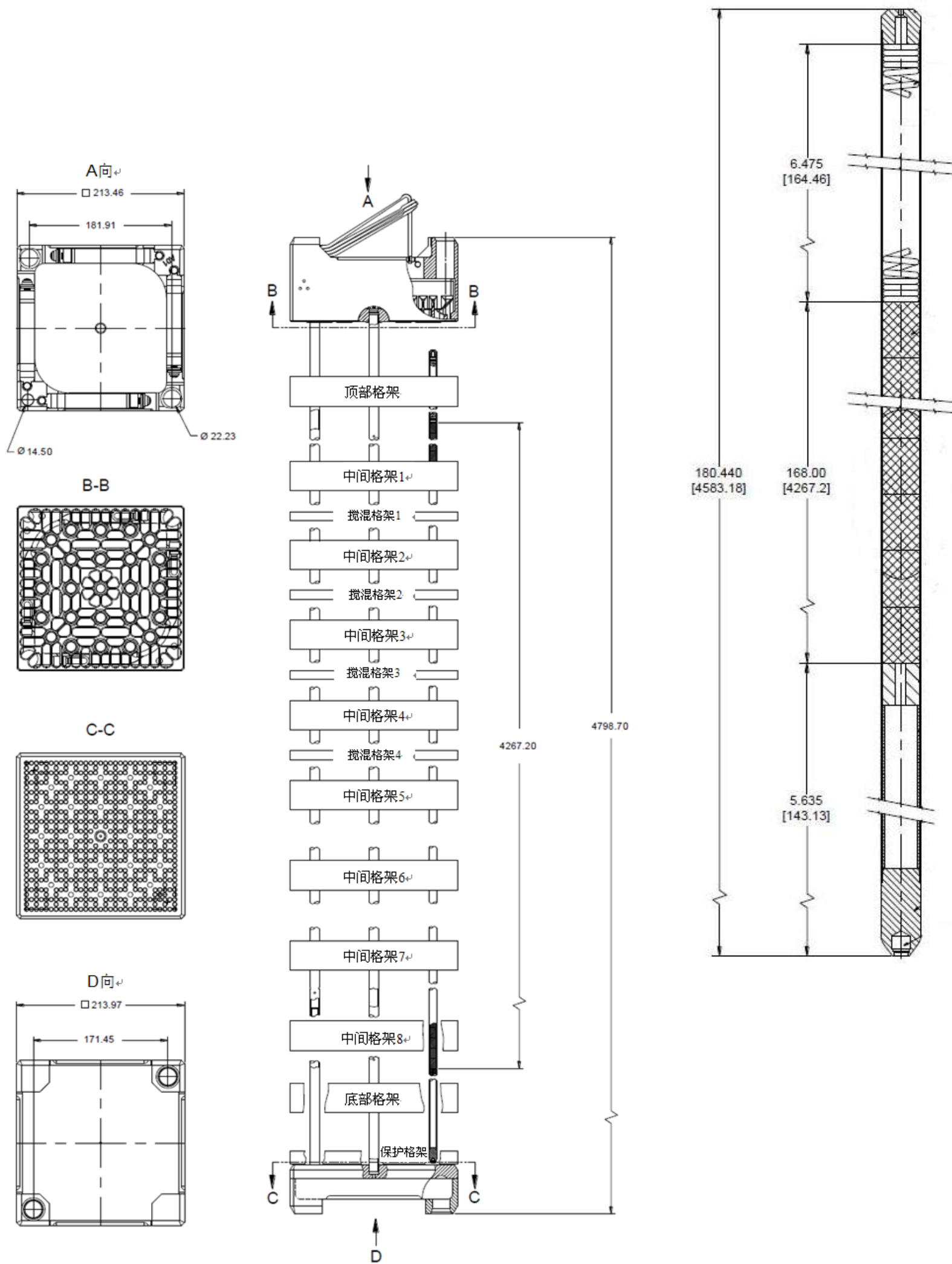


图 4.2-2 17×17 RFA 改进型燃料组件和燃料棒的垂向布置图

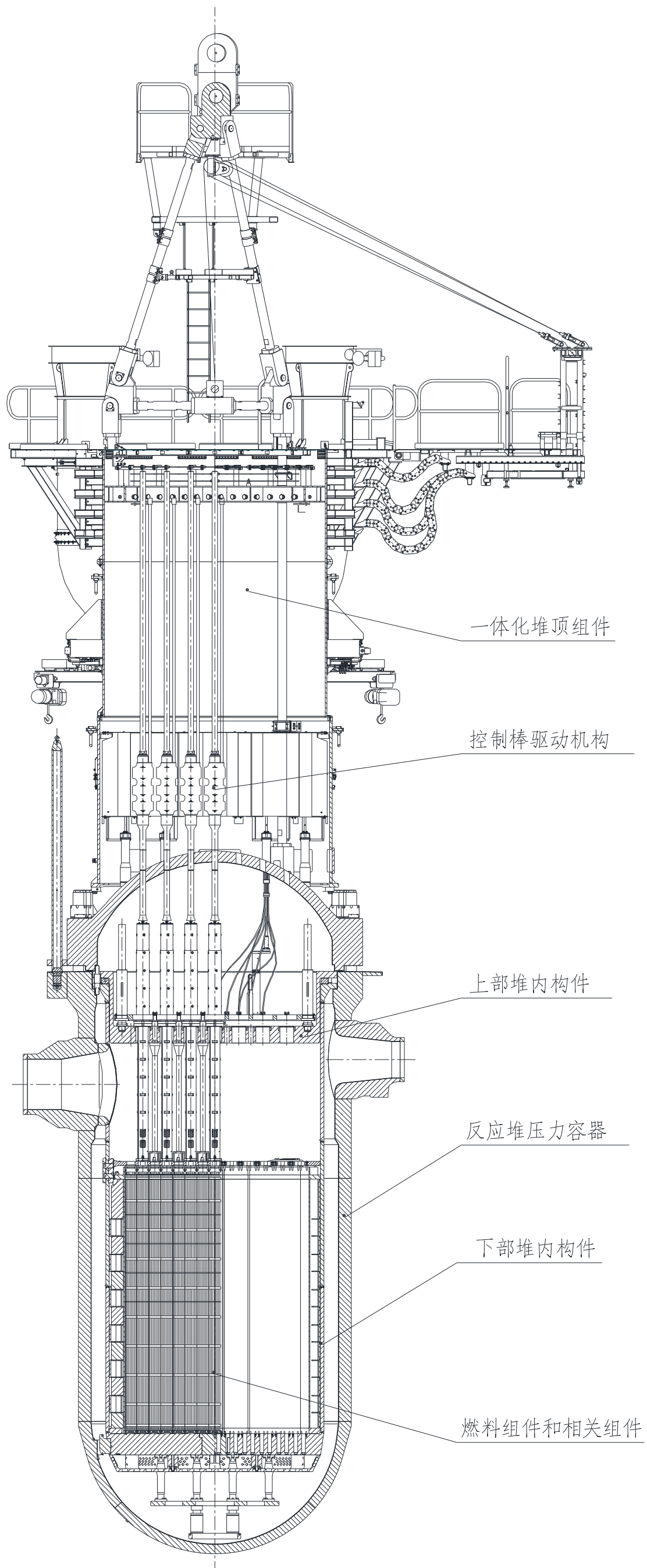


图 4.2-3 反应堆本体结构图

CAP1400核电汽轮机热平衡图

阶段： 施工图设计

Thermal Power = (8091648 × 2779.8 - 8091648 × 975.7) / 3600 = 4054910. kW
 Heat Rate = (8091648 × 2779.8 - 8091648 × 975.7) / 1534111 = 9515. kJ/kWh

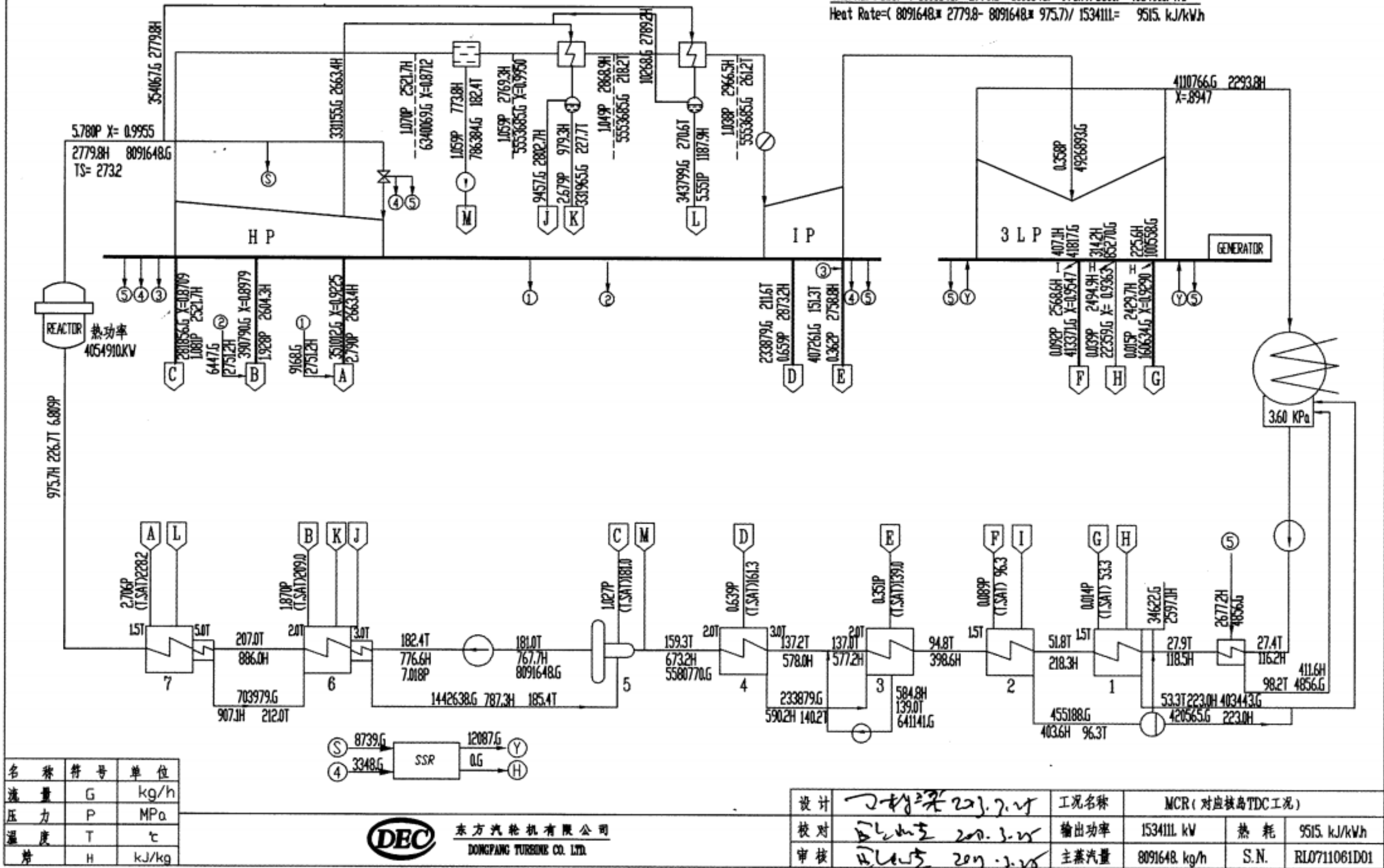


图 4.2-4 蒸汽-电力转换系统流程简图

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

4.3.1.1 厂供水系统

本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组运行期间所用淡水由海水提供，通过海水淡化技术将海水处理为淡水，供给生产用水、生活用水及消防补水等用水。

海水淡化系统按膜法工艺设计，系统设计最大出力为 420t/h。具体工艺流程如下：海水→絮凝沉淀池→澄清水池→砂滤→超滤装置→超滤水池→海水反渗透装置（配能量回收）→一级淡水池→淡水反渗透装置→工业水池→至各用户。

本工程除盐水处理系统用水来自海水淡化的淡水，淡化水经过除盐水处理系统处理后输送至除盐水分配系统及凝结水精处理系统。由除盐水泵输送至核岛、常规岛及 BOP 各除盐水用户。

本工程核电厂取水用于生活用水和生产用水。《城市居民生活用水量标准》（GB/T50331-2002）规定，山东省城市居民生活用水量标准为 85~140L/（p.d）。本工程单位发电量取水量为 0.0875m³/（MW.h），小于《取水定额第 46 部分：核电》（GB/T18916.46-2019）中 0.11m³/（MW.h）的要求；单位装机取水量为 0.024m³/s.GW，小于《取水定额第 46 部分：核电》（GB/T18916.46-2019）的要求。我国已建同类型核电厂单位装机取水量为 0.021~0.053m³/s.GW，本工程该指标在我国类似核电厂中处于优等水平。

本项目采用海水作为主冷却水，节约了大量冷却用淡水；采用海水淡化设备提供核电厂所需淡水，节约当地淡水；污水处理站处理的排水可用于厂区绿化、道路喷洒用水以及车辆清洗用水，提高了水的重复利用率。

4.3.1.2 厂用水系统

厂用水系统（SWS）是一个非安全相关、海水直流冷却系统，把设备冷却水系统（CCS）热交换器收集的热负荷输送到最终热阱。

厂用水系统执行以下非安全相关纵深防御的功能：

- 停堆冷却——在反应堆冷却剂系统（RCS）冷却和冷停堆运行期间，通过 SWS 系统和 CCS 系统为正常余热排出系统（RNS）的热交换器和泵提供冷却，以避免非能动余热排出（PRHR）热交换器的动作。SWS 系统和 CCS 系统也在换料期向 RNS 系统提供冷却，以避免换料池水温升高；

- 乏燃料水池冷却——在核电厂所有运行模式下，通过 SWS 系统和 CCS 系统为乏燃料水池冷却系统（SFS）的热交换器提供冷却，以防止由于储存在池中乏燃料的衰变热而引起的乏燃料水池升温 and 沸腾；
- CVS 系统的小流量热交换器冷却——通过 SWS 系统和 CCS 系统为化学和容积控制系统（CVS）注入泵的小流量热交换器提供冷却。这使 CVS 系统注入泵正确运行，以避免堆芯补水箱（CMT）动作；
- 水装量减少模式冷却——在反应堆冷却剂水装量减少模式运行期间，通过 SWS 系统 CCS 系统为正常余热排出系统（RNS）的热交换器和泵提供冷却。

厂用水系统执行的其它非安全相关功能如下：

- 核电厂正常运行——在停堆、热备用、启动和正常功率运行期间，通过 SWS 系统和 CCS 系统为核电厂各种设备提供冷却；
- 检修支持停堆冷却——除了基本的纵深防御功能之外，SWS 系统和 CCS 系统还具有帮助计划检修的附加功能。这个功能加速了反应堆冷却，使其进入冷停堆和换料运行模式，并维持 RCS 系统和乏燃料水池在所期望的温度，以便于换料；
- IRWST 冷却——在非能动余热排出（PRHR）热交换器运行期间或核电厂正常运行期间（如有需要），通过 SWS 系统和 CCS 系统向正常余热排出系统（RNS）或乏燃料水池冷却系统（SFS）为壳内换料水贮存箱（IRWST）提供冷却；
- 非安全有关事故后恢复——在非能动堆芯冷却系统（PXS）成功缓解事故之后，通过 SWS 系统和 CCS 系统为正常余热排出系统（RNS）提供冷却以完成核电厂的恢复工作；
- SWS 系统包含有设计可靠性保证大纲规定的部件。

SWS 系统的主要部件包括两台 100% 容量的厂用水泵、一台 100% 容量的检修备用水泵，两台自动反冲洗过滤器、和相关管道、阀门及控制仪表。SWS 系统的组成部件及管路系统设计成两列。每列包括一台水泵和一台过滤器。每列向一台 CCS 热交换器提供冷却。厂用水泵 A 或 B 在需要检修隔离时，替换为检修备用水泵 C。检修备用水泵执行原水泵的所有功能，从而避免了因厂用水泵检修导致的系统可用性的降低。

SWS 系统管路和部件都布置在汽轮机厂房，循环水泵房与厂区。系统的简化流程图见图 4.3-1。

4.3.2 核电厂散热系统

4.3.2.1 取排水系统

取排水系统的功能是为核电厂提供循环冷却水系统和厂用水系统用水，并将温排水与符合排放标准的液态流出物排入接纳水体。

本工程位于山东省威海市所辖荣成市石岛湾镇宁津所街道办事处东南，濒临黄海。本工程循环冷却水系统采用海水直流循环供水系统，水源取自黄海。

本工程及所在厂址的 1 台高温气冷堆采用“南北取中排”的取排水方案。

为了防止排水明渠中温排水影响取水水温，同时考虑干施工的要求，在中隔堤、分流堤以及部分护岸、取排水防波堤内设置止水措施，保证其不透水。

具体工艺流程为：黄海海水→取水口→取水明渠→循环水泵房前池→粗格栅→细格栅→鼓型旋转滤网→循环水泵进水流道→循环水泵房→循环水压力进水管→凝汽器/开式循环冷却水系统→循环水压力排水管→虹吸井→循环水排水沟→排水明渠→黄海。

本工程 2 台 CAP1400 机组拟建循环水泵房一座。机组冷却水采用一机配四泵的供水方式，2 台 CAP1400 机组循环水泵房内设置循环水泵 8 台。每台泵的单元流道内设置有鼓型滤网一台，粗、细拦污栅及钢闸门各二台/套。水泵及出口阀门，为室内布置。鼓型滤网、粗、细拦污栅为室外布置。考虑到核岛厂用水系统厂用水泵为非核安全相关物项，本工程厂用水泵安装于循环水泵房内。

每台机组进水管采用现浇钢筋混凝土管，连接循环水泵和凝汽器及虹吸井。排水沟采用双孔钢筋混凝土沟，连接虹吸井和排水口。

每台机组设虹吸井 1 座，由于凝汽器布置标高较低，为了循环水系统检修时管道排水放空的需要，在每座虹吸井 2 个进水口处设闸门孔口并设置钢闸门。

4.3.2.2 设备冷却水系统

设备冷却水系统（CCS）是一个非安全相关的封闭回路冷却系统，在核电厂运行期间将核电厂各设备产生的热量传递到厂用水系统带出，并提供防止放射性物质向环境泄漏的屏障。CCS 在核电厂各个正常运行阶段运行，包括功率运行、正常冷停堆和换料。系统的设备布置成两个机械系列，每个系列包括一台设备冷

却水泵、一台设备冷却水热交换器和一台波动箱。两台泵从各系列的回水母管吸水，供水至各系列的热交换器，然后返回至各系列供水母管。

连接到回水母管的波动箱用来调节热胀冷缩。当水箱低水位时，通过除盐水输送和贮存系统自动补水。从泵出口管到波动箱的管线上安装了一台化学添加箱，用来向系统添加防止腐蚀的化学添加剂。

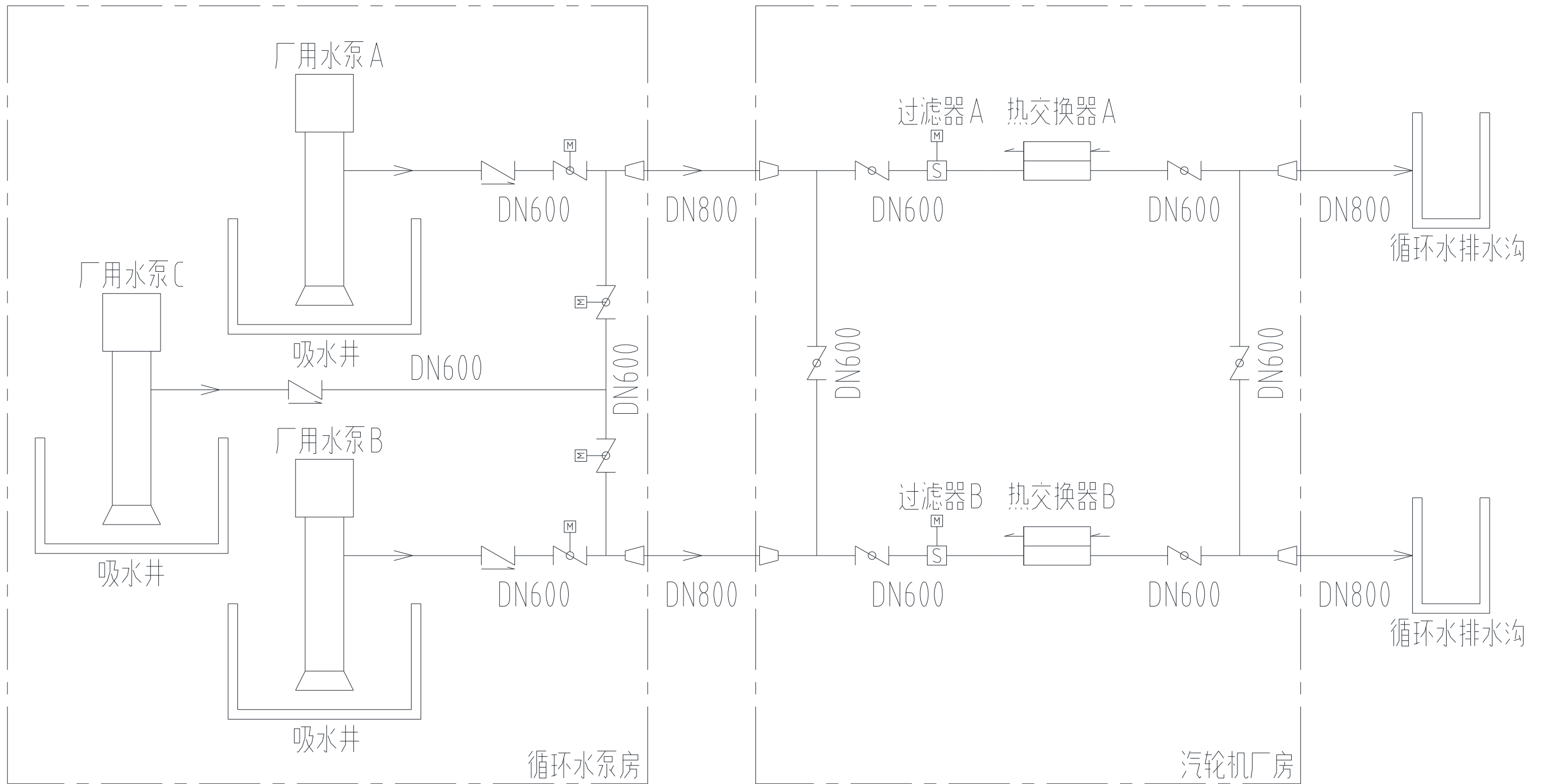


图 4.3-1 厂用水系统简图

4.4 输电及供热系统

4.4.1 输电系统

2020 年山东 500kV 电网形成东西方向主断面为双回路的五个送电通道、南北方向为两个单回路的送电兼联络通道的“五横两纵”500kV 坚强网架。特高压接入山东，电网通过 1000kV 特高压、 ± 800 kV 特高压直流和 ± 660 kV 直流接受区外电力，其中四个直流落点负荷中心（银东直流落点青岛、呼盟直流落点青州，扎鲁特直流落点南部临沂，区外直流落点北部滨州），三个交特高压变电站（济南、潍坊、枣庄站）与国家特高压电网相连。烟台威海电网内已有及规划的 500kV 变电站有：昆嵛站、牟平站、栖霞站、光州站、莱阳站、招远站、乳山站。电网通过光州—寿光的双回 500kV 线路接入北通道，通过光州—大泽、莱阳—大泽、莱阳—崂山 500kV 线路与青岛相连。青岛电网内已有及规划的 500kV 变电站有：即墨站、崂山站、大泽站、李山站、胶东站、琅琊站、胶南站，电网通过崂山站、大泽站、胶东站、琅琊站、胶南站与烟台、潍坊、日照电网相连。

本工程建设 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，位于山东荣成石岛湾厂址西南端。结合电网规划、厂址位置、规划容量及投产进度，接入系统方案为：规划 6 回 500kV 出线接入系统，分别接至莱阳 1 回、光州 1 回、栖霞 1 回、牟平 1 回、昆嵛 2 回，预留扩建条件。本期出线 4 回，分别至莱阳 1 回、栖霞 1 回、昆嵛 2 回。其中至栖霞、莱阳线路电厂侧分别安装线路电抗器，至莱阳的线路电抗器预留改接为母线电抗器的条件，光州出线预留装设线路电抗器位置，并具备改接为母线电抗器的条件。500kV 电气设备短路电流水平按 63kA 选取。500kV 送出线路均采用 $4 \times \text{JL/LB20A-630/45}$ 导线。接入系统示意图详见图 4.4-1。

500kV 配电装置采用屋内全封闭组合电器 GIS，共 23 个断路器间隔，6 个 PT 间隔。本期建设 13 个断路器间隔（包括 2 回主变进线和 4 回线路出线，3 个母联间隔，4 个分段间隔）及 6 个母线 PT 间隔，预留 10 个断路器间隔（华能 4 回进线、光州出线、牟平出线、预留两回出线、两回线路电抗改母线电抗出线），预留断路器间隔的隔离开关本次上齐。

厂内 500kV 线路采用架空线的架线形式，导线采用 JL/LB20A-630/45 型铝包钢芯铝绞线。线路平均呼高为 36.5m，典型塔型 SDJ66 最小线间距为 11m。线路前进方向为 500kV 主变构架至 500kV 开关站构架，双回路左侧线路相序由上至下依次为 C、B、A，右侧相序由上至下依次为 B、A、C。

备用电源方案采用 220kV 线路供电，本期引至 220kV 镆铳站，线路采用 LGJ-400 导线，终期考虑采用 2 回 220kV 线路供电，分别由高温堆站和镆铳站引接。

220kV 电气设备短路电流水平按 50kA 选取。每台机组的两台备用变采用一回 220kV 电力电缆引接至 220kV 开关站。

220kV 配电装置采用屋内全封闭组合电器 GIS，共 9 个断路器间隔，2 个母线 PT 间隔。本期建设 6 个间隔，包括 1 个 220kV 进线间隔（引自镆铳站）；2 个 220kV 出线间隔（1 回接#1 机备用变 A、B，1 回接#2 机备用变 A、B）；2 个母线设备及 PT 间隔；1 个母联间隔。预留 5 个断路器间隔（4 回华能石岛湾核电备用变间隔，1 回高温堆开关站间隔）位置，本期基础一次建成。

4.4.2 供热系统

本工程供热系统示意图见图 4.4-2。供热工程设计热负荷如下：对外供热面积为 450 万 m^2 ，热负荷共计：180MW。采暖期最大热负荷：180MW 即 648GJ/h。

供热蒸汽由中压缸排汽上抽出的蒸汽提供；厂外二级换热站设置水水换热器（由市政负责），采用高温水作为采暖热负荷的供热介质。

本工程每台机组在汽机房 T.A 列各设置一个换热器间，两台机组在厂区共设置一座供热联合泵站。换热器间和供热联合泵站利用汽轮机抽汽加热热网循环水，加压加热后的热网循环水供至二级热力站。换热器间和供热联合泵站包含放热的蒸汽侧系统和吸热的循环水侧系统，具体为热网加热蒸汽系统、热网加热器疏水系统、热网循环水系统以及热网定压、补水系统等。换热器间内的主要设备是热网加热器；供热联合泵站的主要设备有：热网循环水泵、电动滤水器、热网补水泵以及补水除氧器等。

本工程每台机组的汽轮发电机组都能提供设计热负荷，两台机组正常运行时，可由任一台机组供热，一台机组故障或大修期间不能继续供热时，切换到另一台机组提供采暖抽汽。每台机组在汽机房 T.A 列外设置一个毗屋，分别布置两台 50% 容量的汽水换热器。热网循环水泵两台机组共用，布置在两台机组之间供热联合泵站内，热网循环水回水经泵升压后，可由任一台机组的热网加热器加热，两台机组的热网加热器出口水在厂区合成一根管道后向外供出，热网加热器的疏水回到机组的回热系统中去，实现汽水平衡。供热系统包含热网加热蒸汽、热网

循环水、热网加热器疏水以及热网补水定压四个系统。

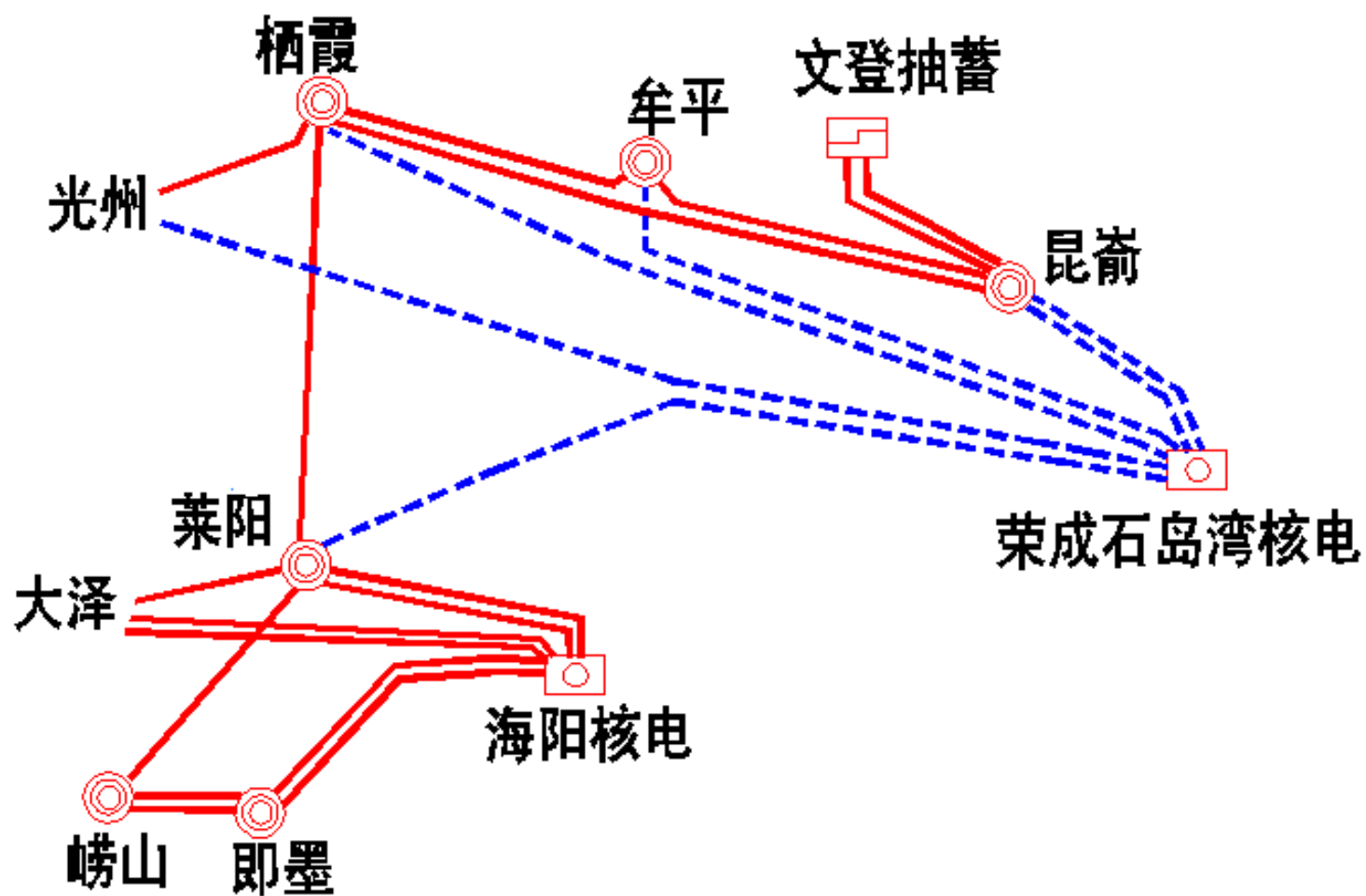


图 4.4-1 工程输电系统接入图

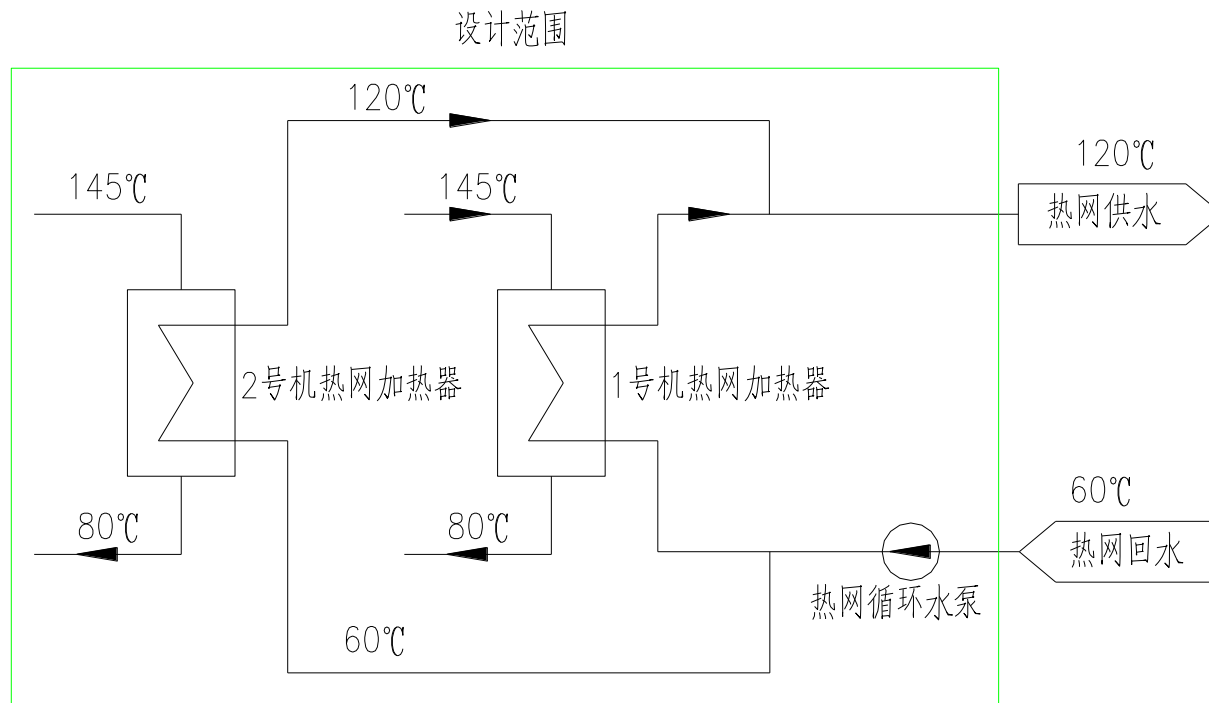


图 4.4-2 工程供热系统示意图

4.5 专设安全设施

4.5.1 概述

核电厂安全是在反应堆固有安全性的基础上，通过设置合适的控制系统、保护系统和专设安全设施，在各种运行工况下尽可能减少放射性物质向环境的释放，保护公众和电站工作人员免受过量辐射伤害。

“纵深防御”是核电厂设计安全原则的基础，这是一套既逐渐深入又相互补充的设计防御措施，其核心是所有与核安全有关的活动，无论是组织实施还是系统设备配置，都应进行多重冗余设置，使单个失效可以得到补救或纠正。

实施纵深防御的一个重要内容是设置多道实体屏障，将放射性物质限制在特定的范围内。在压水堆核电厂中设置了燃料元件包壳、一回路压力边界和安全壳三道安全屏障。

专设安全设施是专门用来应付设计基准事故，以减轻其后果使之符合安全准则的规定要求。它是纵深防御体系中的第三个防御层次。专设安全设施主要包括非能动堆芯冷却系统、非能动安全壳冷却系统、安全壳氢气控制系统、安全壳和安全壳隔离系统、主控制室应急可居留系统。

4.5.2 非能动堆芯冷却系统

4.5.2.1 系统功能

非能动堆芯冷却系统（PXS）的主要功能是在假想的设计基准事件发生后提供应急堆芯冷却。为此，非能动堆芯冷却系统设计实现如下安全有关功能：

- 应急堆芯衰变热排出

在瞬态、事故或任何正常热量排出路径丧失时提供堆芯衰变热排出。该热量排出功能适用于包括停堆在内的反应堆冷却剂系统的各种工况。在换料期间，当安全壳内换料水箱水排入换料水池时，可利用其他非能动方法排出堆芯衰变热。

- 反应堆冷却剂系统应急补给和硼化

当发生化容系统提供的正常反应堆冷却剂系统补给和硼化不可用或不足的瞬态或事故时，PXS 为反应堆冷却剂系统提供紧急补给和硼化。

- 安全注射

在发生所有破口尺寸范围内的冷却剂丧失事故，直至并包括反应堆冷却剂系统最大主管道双端断裂时，PXS 为反应堆冷却剂系统提供安注以提供足够的堆芯

冷却。

- 安全壳 pH 值控制

在事故工况后，PXS 在安全壳内添加化学物质来控制内部环境的 pH 值。该 pH 值同时满足抑制放射性核素析出和在长期淹没条件下防止腐蚀安全壳内设备的要求。

4.5.2.2 系统组成

非能动堆芯冷却系统（PXS）是一个抗震 I 类安全系统。系统由两个系列组成，每个系列包括一个堆芯补水水箱、一个安注箱和安全壳内换料水箱（两个系列共用）。系统还包括 pH 值调整篮、安全壳内换料水箱滤网、安全壳再循环滤网和管线以及相关联的管道、阀门、仪表和其余相关设备。属于反应堆冷却剂系统一部分的自动卸压系统的阀门和鼓泡器，也提供重要的非能动堆芯冷却功能。

4.5.2.3 工艺流程

核电厂正常运行期间，系统处于备用状态。事故工况下，非能动堆芯冷却系统投入运行，以实现其安全功能。在发生 LOCA 事故时，堆芯补水水箱通过直接注射管向反应堆冷却剂系统注入含硼水，当反应堆系统压力降到安注箱静压以下，安注箱中含硼水通过直接注射管线快速注射到反应堆冷却剂系统。当反应堆冷却剂系统压力降到安全壳内换料水箱注射压力以下时，安全壳内换料水箱依靠重力向反应堆冷却剂系统进行安注。堆芯补水水箱冷却水注入时，当堆芯补水水箱液位降低到自动卸压系统的整定值时，自动卸压系统动作，逐渐降低反应堆冷却剂系统的压力，使得安注箱和 IRWST 能够连续投入。当堆芯补水水箱、安注箱和安全壳内换料水箱注水完成后，安全壳内水淹达到相当高的水位，可以通过再循环管向堆芯注水以建立再循环。

4.5.3 非能动安全壳冷却系统

4.5.3.1 系统功能

非能动安全壳冷却系统执行以下安全有关功能：

- PCS 通过将安全壳大气中的热量传递至环境，限制并降低设计基准事故（DBA）后安全壳内的温度和压力，从而能维持安全壳大气压力和温度在设计限值以内以保证安全壳的完整性。设计基准事故（DBA）72 小时内，PCS 利用非能动方式排出安全壳内热量，不需要任何补给或操纵员

操作。设计基准事故 (DBA) 72 小时后, PCS 设有一个从盲板法兰接口至非能动安全壳冷却水箱(PCCWST)或直接至分水斗的安全有关流道, 可供连接厂内或厂外水源冷却安全壳。

- 当乏燃料池丧失正常冷却时, PCS 提供从 PCCWST 至乏燃料池的安全有关流道, 可以为乏燃料池提供补水, 保证乏燃料不裸露。还提供了从厂区安全级盲板法兰接口到乏燃料池的安全有关流道, 可供连接厂内或厂外水源冷却乏燃料池。
- 为保护和监测系统 (PMS) 提供安全壳压力信号, 从而在适当的电站运行工况期间触发反应堆自动停堆并驱动 PCS 和安全壳空气过滤系统 (VFS) 运行。PCS 提供操纵员所需的工艺参数, 一方面监测 PCS 的运行 (包括确认 PCS 自动触发), 另一方面在安全停堆运行和事故运行期间便于操纵员执行必要的手动操作。

4.5.3.2 系统组成

PCS 由一台与安全壳屏蔽厂房结构为一体的 PCCWST、向安全壳输水的冷却水输送流道、位于屏蔽厂房内绕安全壳一周的空气流道、在空气入口处壁面上安装的辐射加热器、用于安全壳水分配的围堰结构和分水斗、非能动安全壳冷却辅助水箱 (PCCAWST)、再循环通道 (包括两台再循环泵、一台再循环加热器、一台化学添加箱等)、移动式应急柴油机补水泵组以及相关的仪表、管道及阀门构成。

4.5.3.3 工艺流程

非能动安全壳冷却系统利用钢制安全壳壳体作为一个传热表面, 蒸汽在安全壳内表面冷凝并加热内表面, 然后通过导热将热量传递至钢壳体。加热的钢壳外表面通过水和空气的对流、辐射和物质传递 (水蒸发) 等热传递机理冷却。热量以显热和水蒸汽的形式通过自然对流的空气带出。来自环境的空气通过一个“常开”流道进入, 沿安全壳容器外壁上升, 最终通过一个高位排气口返回环境。安全壳壳体由位于安全壳上方、与屏蔽厂房结构为一体的非能动安全壳冷却水箱利用重力作用进行直接排水。排水工况由高-2 安全壳压力或安全壳高温信号自动触发, 水流满足至少在 3 天内不需要操纵员的干预调节流量或补充非能动安全壳冷却水的要求。非能动安全壳冷却系统利用了钢制安全壳容器、环绕安全壳的混凝土屏蔽厂房, 以及安全壳与屏蔽厂房之间的空气导流板结构即空气流道。

4.5.4 安全壳氢气控制系统

4.5.4.1 系统功能

安全壳氢气控制系统的功能是限制安全壳大气中的氢气浓度，从而在发生各类假想事件后，不会威胁安全壳完整性。

该系统执行以下功能：

- 在设计基准事故期间和事故后，利用安全级的非能动氢气复合器(PAR)防止安全壳氢气浓度达到可燃限值；
- 利用氢气点火器、非能动氢气复合器控制严重事故后安全壳内的氢气浓度；
- 在正常运行和事故后监测安全壳大气中的氢气浓度。

4.5.4.2 系统组成

位于安全壳内的两台安全级非能动氢气复合器(PAR)能在设计基准事故后维持安全壳总体氢气浓度在较低水平。安全壳内安装了 66 台氢气点火器，在严重事故后，通过燃烧(爆燃)相对低浓度的氢，以防止氢气浓度达到爆炸水平。三台氢浓度监测仪表分布在安全壳内，为操纵员提供安全壳大气氢气浓度的连续指示。

4.5.4.3 工艺流程

两台安全级非能动氢气复合器(PAR)安装在安全壳内高于操作平台的区域，能适应丧失冷却剂事故(LOCA)后预期的氢气产生速率。

在严重事故后，假定 100%的燃料包壳与水发生反应。锆-水蒸气反应产生氢的速率足够快，基于 PAR 运行时不可能防止安全壳内氢气浓度超过最低可燃浓度限值，特别是局部区域。因此，当安全壳内任一区域的氢浓度达到最低可燃浓度限值，氢点火器可以将氢气点燃以降低氢气浓度。在较低氢可燃范围燃烧氢气可防止在较高氢气浓度时发生事故性氢燃烧。这可确保氢燃烧期间维持安全壳的完整性，并且保证氢燃烧期间及以后安全有关设备可持续运行。

对于氢气快速产生的事故序列，通过点火器的运行也可限制安全壳内总体氢气浓度，从而防止氢爆炸的发生。为达到这个目的，点火器布置在安全壳内氢气可能释放、流动或聚集的区域。

分布在安全壳内的氢浓度监测仪表为操纵员提供安全壳大气氢气浓度的连

续指示，为操纵员监控和开始事故后氢气缓解措施提供参考信息。

4.5.5 安全壳和安全壳隔离系统

4.5.5.1 系统功能

安全壳和安全壳隔离系统执行以下与安全有关的功能：

- 完整性：在假定的冷却剂失水事故、蒸汽管道破裂和给水管道破裂时，安全壳隔离系统能承受最大的安全壳内压力和温度。系统设计考虑了严重事故下的完整性要求。
- 隔离。
- 转移热量：安全壳在安全壳大气和非能动安全壳冷却系统之间提供换热表面。

安全壳和安全壳隔离系统还执行以下非安全有关的功能：

- 泄漏率试验：对钢制安全壳和贯穿件进行泄漏率试验。
- 进口/出口：设备闸门和人员闸门留有足够的空间以便在任何正常或异常情况下设备和人员可以容易进出。
- 燃料运输：在安全壳内换料通道和辅助厂房的燃料处理区之间的燃料运输通过安全壳燃料运输贯穿件进行。

4.5.5.2 系统组成和工艺流程

安全壳和安全壳隔离系统（CNS）是分隔钢制安全壳与核电厂结构和外部环境的边界。安全壳和安全壳隔离系统的边界包括钢制安全壳、电气和机械贯穿件、燃料运输贯穿件、设备闸门和人员闸门、蒸汽发生器外壳、蒸汽发生器蒸汽侧仪表连接件、以及安全壳内的蒸汽、给水和排污管线。

4.5.6 主控室应急可居留系统

主控制室应急可居留系统（VES）为主控制室提供可呼吸空气并防止气溶胶进入，保证主控制室的可居留性。在设计基准事故下本系统也用来限制核电厂特定区域内的温度上升。除一次性的阀门动作外，本系统为非能动系统，无能动部件。

4.5.6.1 系统功能

本系统执行以下功能：

- 为主控制室人员提供可呼吸空气；

- 维持主控制室相对周围区域为正压，以防止气溶胶污染物进入；
- 利用构筑物的蓄热能力，为设计基准事故后仍需保持功能的核电厂部分区域提供非能动冷却；
- 为主控制室提供非能动再循环气流，在本系统运行期间维持主控制室剂量低于允许水平。

4.5.6.2 系统描述

本系统由应急空气储存罐以及相关的阀门、管道、喷射器、过滤机组、风管和必要的仪表等组成，为主控制室通风、加压和空气过滤。系统的运行和功能考虑了辅助厂房墙和地面钢/混凝土表面以及肋状表面的蓄热能力，用来保证电气设备和人员停留房间的温度维持在可接受水平内。

系统包括四个送风储存罐模块，每个模块包括 8 个独立的送风罐（共 32 个罐）。储存罐装有可供呼吸的压缩空气，共具有 9276m^3 （ 15.6°C ， 1atm ）的最低空气储存容量。每个模块的储存罐连接至一个集管，四个模块的集管再连接至一根集气母管上。两根主控制室送风管线——主送风管线和备用送风管线，分别从集气母管连接到主控制室内，并在合并为一根送风管后连接至非能动过滤管线上的一个喷射器，喷射器前还设有一根旁通管线。系统的非能动过滤机组包括前置 HEPA 过滤器，活性炭吸附器和后置 HEPA 过滤器。

32 个空气储存罐储有足够的压缩空气，以 $102\sim 119\text{m}^3/\text{h}$ 的流量为主控制室供气，持续时间不少于 72h。同时压缩空气通过喷射器诱导至少 $1600\text{m}^3/\text{h}$ 的主控制室内气流，进入非能动过滤机组，经过滤后送至主控制室。送风维持主控制室处于至少 30Pa 的轻微正压。

本系统当核岛非放射性通风系统（VBS）不可运行时，在 72h 期间内利用主控制室，1E 级仪表间和 1E 级直流设备间的非能动热阱限制每个房间的温度上升。在 72 小时内主控制室的室内温度不高于 35°C ，1E 级仪表间和 1E 级直流设备间维持室内温度不高于 49°C 。

储存罐补气由压缩空气和仪表空气系统（CAS）供给。

4.5.6.3 系统运行

VES 在正常工况和非应急工况下无需运行，当核电厂交流电源或厂内备用柴油发电机可用时，核岛非放射性通风系统（VBS）为主控制室、技术支持中心、仪控间、直流设备间等房间服务。

当发生事故时，触发主控制室送风管高 2 放射性信号或持续丧失所有 AC 电源超过 10 分钟或主控制室持续压力低 1 报超过 10 分钟将自动启动 VES 系统。VES 系统也可手动启动。

如果 72h 后 VBS 系统仍不可用，将使用辅助风机为主控制室、1E 级仪表间进行直流通风和冷却。

4.6 放射性废物系统和源项

本节对核电厂中放射性废物处理系统和放射性源项进行描述。放射性源项主要包括堆芯放射性积存量、一回路及二回路放射性核素的活度浓度。放射性废物处理系统主要包括放射性液体、气体和固体废物处理系统，同时给出了液体和气载流出物的释放量、固体放射性废物的产生量。

4.6.1 放射性源项

本节阐述由放射性液体及气体废物处理系统处理的放射性源项。在燃料芯块内产生的放射性物质（裂变产物）可能通过破损的燃料包壳泄漏进入到反应堆冷却剂系统中。堆芯辐射场导致了冷却剂中的物质活化后形成 ^{14}C 以及氚，而且反应堆冷却剂系统材料表面的腐蚀产物也被活化成为具有放射性的活化腐蚀产物。

4.6.1.1 堆芯放射性总量

本项目平衡循环寿期末堆芯放射性积存量计算结果见表 4.6-1。计算中考虑了反应堆热功率测量的不确定性因子及燃料管理方案变化的包络因子。

4.6.1.2 一回路冷却剂源项

1) 裂变产物

对于设计基准源项，假设存在较大的燃料包壳破损率。假设燃料包壳破损存在于能产生 0.25% 的堆芯功率输出的燃料棒中（也称之为 0.25% 燃料包壳破损率），并且破损燃料棒均匀分布在整个堆芯中。

用来计算设计基准反应堆冷却剂裂变产物活度浓度的参数，包括裂变产物逃脱率系数、冷却剂净化率及除盐床去除效率等相关的数据。因为假设破损的燃料棒在堆芯中均匀分布，因此裂变产物的逃脱率系数是基于燃料的平均温度。

设计基准反应堆冷却剂中裂变产物活度浓度的确定以随时间变化的堆芯积存量为基础。

采用如下的微分方程来计算设计基准反应堆冷却剂中裂变产物的浓度。

对于冷却剂中的母核：

$$\frac{dN_{cp}}{dt} = \frac{F \times R_p \times N_{Fp}}{M_c} - \left[\lambda_p + D_p + \frac{Q_L}{M_c} \times \left(\frac{DF_p - 1}{DF_p} \right) \right] \times N_{cp} \quad (4.6-1)$$

对于冷却剂中的子核：

$$\frac{dN_{cd}}{dt} = \frac{F \times R_d \times N_{Fd}}{M_c} + f_p \times \lambda_p \times N_{cp} - \left[\lambda_d + D_d + \frac{Q_L}{M_c} \times \left(\frac{DF_d - 1}{DF_d} \right) \right] \times N_{cd} \quad (4.6-2)$$

其中：

N_c =设计基准反应堆冷却剂中核素的浓度（原子数/g）；

N_F =燃料中核素的数目（原子数）；

t =运行时间（s）；

F =燃料棒包壳破损率；

R =核素的逃脱率系数（ s^{-1} ）；

M_c =反应堆冷却剂质量（g）；

λ =核素衰变常数（ s^{-1} ）；

D =冲排水所致的稀释系数（1/s）= $\frac{\beta}{B_0 - \beta \times t} \times \frac{1}{DF}$ ；

B_0 =初始硼浓度（ppm）；

β =硼浓度下降速率（ppm/s）；

DF =除盐床对核素的去污因子；

Q_L =净化或下泄质量流量（g/s）；

f =母核产生子核的衰变分支比。

下标 p 适用于母核，下标 d 适用于子核。

采用以上方法计算得到平衡循环裂变产物的最大活度浓度，并考虑了以下变化对结果的影响：

- 燃料管理方案的变化；
- 反应堆冷却剂质量减少 3%；
- 反应堆冷却剂下泄净化流量减少 10%；
- 反应堆热功率测量的不确定性。

在表 4.6-2 中给出了计算得到的设计基准反应堆冷却剂中主要裂变产物核素

的活度浓度。该值为反应堆从启动到平衡循环的整个燃料循环过程中核素活度浓度的最大值。因此，该源项不代表燃料循环中任何特定时间点的值，但它是保守值。

用于设计排放源项分析的反应堆冷却剂剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 5GBq/t ，该源项是在参考核电厂运行经验数据的基础上，又保守考虑了核电厂运行中可能的各种瞬态情况而确定的。用于现实排放源项分析的反应堆冷却剂剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 0.1GBq/t ，该源项是在国内核电厂正常运行经验数据统计的基础上确定的。上述反应堆冷却剂源项通过对设计基准源项按照剂量等效 ^{131}I 活度浓度的比例调整得到，结果见表 4.6-3 和表 4.6-4。

2) 腐蚀产物

反应堆冷却剂中的活化腐蚀产物来自两方面：一方面是堆内部件，另一方面是堆外的主回路管道和主回路设备。前者在发生腐蚀并释放到冷却剂中之前已经受到中子照射而具有放射性；后者产生的腐蚀产物流经堆芯时受到堆芯及其附近区域中子照射之后才具有放射性。

反应堆冷却剂中腐蚀产物活度浓度的确定以运行核电厂数据为基础，并且与燃料包壳破损率无关。设计基准腐蚀产物的活度浓度同样在表 4.6-2 中列出。

对于腐蚀产物，考虑到本工程核电厂采取了一系列降低腐蚀产物的措施，比如从核电厂开堆时起，即向反应堆冷却剂中注入贫化锌；减少钴含量；主冷却剂的 pH 值控制；材料表面处理及减少设备数量等，以上措施预期会降低反应堆冷却剂中腐蚀产物的活度浓度。其中，根据 EPRI 等国际机构提供的经验数据，加锌核电厂材料腐蚀释放速率降低为未加锌核电厂的三分之一。同时根据国际上压水堆的运行经验，预期采取以上控制腐蚀产物措施将使反应堆冷却剂中腐蚀产物的活度浓度至少降低二分之一，因此本文假设腐蚀产物的现实源项为设计基准腐蚀产物源项的二分之一，用于设计排放源项分析的腐蚀产物源项与设计基准腐蚀产物源项相同，结果同样见表 4.6-3 和表 4.6-4。

3) 氚

反应堆冷却剂中主要的产氚途径如下：

- 燃料裂变（三元裂变）产生的氚通过燃料包壳扩散或燃料包壳破损处泄漏进入反应堆冷却剂中；
- 在反应堆冷却剂中可溶硼与中子的反应；

- 可燃的中子吸收体中产生的氚通过扩散或包壳破损进入反应堆冷却剂中；
- 在反应堆冷却剂中可溶锂与中子的反应；
- 反应堆冷却剂中氘与中子的反应；
- 次级源棒产生的氚通过扩散或包壳破损处泄漏进入主冷却剂中。

前两种途径为反应堆冷却剂中氚的主要来源。

反应堆冷却剂中的氚主要以氚化水的形态存在（一个氚原子取代了水分子中的一个氢原子），因此不能轻易通过一般的处理方法把它分离出来。

4) ^{14}C

^{14}C 主要是反应堆冷却剂水中的 ^{17}O 和溶解在反应堆冷却剂中的 ^{14}N 分别通过 $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$ 和 $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 反应生成的。由于 ^{14}C 的半衰期非常长，为 5730 年，在核电厂运行期间内可以不考虑 ^{14}C 的衰减。因此，在计算 ^{14}C 源项时不考虑 ^{14}C 的衰变量。

4.6.1.3 二回路冷却剂源项

以表 4.6-2 中给出了设计基准反应堆冷却剂中核素的活度浓度等为基础计算得到的设计基准蒸汽发生器二次侧水和蒸汽中放射性核素的活度浓度。设计基准二回路源项见表 4.6-5 及表 4.6-6。

在计算用于设计排放源项分析的二回路源项时，假定二回路总的活度浓度水平为 450Bq/L。用于设计排放源项分析的二回路源项核素谱与设计基准二回路源项的核素谱保持一致，结果见表 4.6-7 及表 4.6-8。

考虑到现实情况下二回路活度水平非常低，因此不对二回路的现实源项进行分析。

4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

4.6.2.1 液态流出物排放源项

液体废物的放射性来自于反应堆冷却剂（主要来自于反应堆冷却剂调硼排水和反应堆冷却剂的泄漏）、二回路冷却剂（主要来自于蒸汽发生器排污流的处理和二回路的泄漏）和 SRTF 的排放（主要来自于洗衣废液、各种冷凝液以及设备/地面疏水）。

液态流出物向环境排放前，操作员会对废液监测箱内的液体进行取样分析，确定其放射性浓度在《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）控制值范

围内后进行排放，同时取样结果在放射性废液计划排放记录内登记。若取样结果发现废液放射性活度浓度超过排放控制值，则将监测箱内的废液返回至废液暂存箱，进行再处理。同时，排放管线设有辐射监测仪表，达到报警值时排放管线隔离阀自动关闭，中止废液系统排放，防止系统误排放。通过上述措施可以确保运行过程中废液的排放浓度不会超过《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中的排放控制值 1000Bq/L（氚和碳 14 除外）。

本文分析得到了液态流出物的两套排放源项，包括设计排放源项和现实排放源项。基于反应堆冷却剂剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 5GBq/t 时的源项，经过废液处理系统的处理，结合核岛废液的排放量（调硼排水、设备疏水和脏废液）以及废液的处理量，得到槽式排放口处的排放浓度低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中规定的 1000Bq/L 的控制值要求。考虑到核电厂中实际的控制方式等，液态流出物设计排放源项计算时，保守假设核岛槽式排放口处的液态流出物排放浓度为 1000Bq/L，同时基于废液产生量，反推得到核岛废液的年排放量。核岛槽式排放口液态流出物现实排放量计算时，以各类废液的产生量为基础，同时考虑了废液处理系统对各类废液中不同核素的去污因子。

在计算液态流出物现实排放源项时，假定反应堆冷却剂中裂变产物的剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 0.1GBq/t。该源项是在核电厂正常运行经验数据的基础上确定的，通过对设计基准源项按照剂量等效 ^{131}I 活度浓度的比例调整得到。对于腐蚀产物，考虑其反应堆冷却剂源项为设计基准源项的一半。

对于二回路设计排放源项，保守认为二回路冷却剂的总活度水平为 450Bq/L，并考虑二回路的排污流量后得到。分析时不考虑二回路排污系统的净化作用，并保守假定二回路排污流的排放份额为 10%。由于二回路现实源项的活度水平非常低，因此不对现实排放源项进行分析。

SRTF 产生的放射性废液主要为洗衣废液、热检修车间化学废液、各类冷凝液以及设备/地面疏水。在计算本项目 SRTF 的排放源项时，根据各类废液产生量，并参考核电厂运行经验或设计基准主冷却剂的核素谱，计算得到各类废液的放射性排放量。

单机组液态氚年设计排放量为 47.2TBq/a，年现实排放量为 40.6TBq/a。

单机组液态 ^{14}C 年设计排放量为 50.1GBq/a，年现实排放量为 44.2GBq/a。

单台机组的液态流出物年设计排放量和现实排放量分别见表 4.6-9 和表

4.6-10。在表 4.6-11 给出了单台机组的液态流出物年排放量与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中控制值的比较。可以看出，单台机组的液态流出物年排放量均能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的排放量控制值要求。

4.6.2.2 系统概述及组成

1) 放射性废液处理系统（WLS）

（1）系统概述

放射性液体废物处理系统（WLS）设计用于控制、收集、处理、输送、贮存和处置正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，并可控制地向环境排放。处理后的液态流出物放射性水平和年排放总量符合国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。

（2）系统功能

WLS 执行的安全有关功能主要包括安全壳隔离和防止事故工况下安全壳内水淹倒流至不允许水淹的隔间。该系统的非安全有关功能为：

- 分类收集不同类型的放射性废液；
- 通过固定式处理设备（过滤器/化学絮凝处理装置/离子交换床），处理核电厂预期产生的废液，使其可控制地向环境达标排放；
- 能够承受处理设备故障情况下的预期废液量和由于过量泄漏可能导致的波动量；
- 考虑到在核电厂寿期内可预见的技术革新，保留接口使更为先进的工艺通过移动式设备的方式与 WLS 固定式设备串联使用。

（3）系统描述

WLS 系统放射性污废液分成四类：

- 反应堆冷却剂流出液（含硼废液）

反应堆冷却剂流出液（含硼废液）来自化容系统（CVS）下泄的反应堆冷却剂系统流出液、取样系统取样疏水以及设备引漏水和疏水。反应堆冷却剂流出液通过真空脱气塔去除溶解氢和裂变废气。脱气塔排放泵将脱气后废液输送至指定的流出液暂存箱。

- 地面疏水和含较多颗粒杂质的废液

地面疏水来自可能受污染地面疏水地坑的废液和其他含高颗粒物废液，收集

在废液暂存箱中。

- 洗手废液

洗手废液为放射性热淋浴水、洗手水和附属厂房内相应房间的地面疏水。这类废液放射性水平较低，收集在两个洗手废液箱内。

- 化学废液

化学废液来自放化实验室、可能含有大量化学物质的废液。它可能含危险性和放射性废物或其他高溶解性固体杂质的放射性废物，收集在化学废液箱中。

核电厂正常运行期间，反应堆冷却剂流出液、地面疏水和含较多颗粒杂质的废液经由过滤器、化学絮凝处理装置、深床过滤器和离子交换床处理。

第一台床体（深床过滤器）的顶部通常装有活性炭起到过滤吸附作用，用于去除经上游化学絮凝处理装置在废水中形成的絮凝体，此外还可用于去除地面疏水中可能存在的杂质和少量油。这台床体比下游的树脂床略大。其它五台床体（离子交换树脂床）设计相同，但可根据核电厂情况选择性的装填不同类型树脂。

经离子交换处理后，废液经过一台后过滤器，截留水中残留的放射性颗粒和碎树脂。处理后的废液进入一台监测箱。当一台监测箱充满时，系统会自动切换将废液转送至另一个监测箱。

监测箱内排放废液采取槽式监测排放，并在排放管路上设有在线辐射监测仪表监测放射性活度浓度，确保达标排放。

（4）部件描述

WLS 的主要部件包括泵、热交换器、箱体、过滤器、化学絮凝处理装置、深床过滤器、离子交换床等。

- 泵

- ◇ 2 台反应堆冷却剂疏水箱泵，可循环箱内的流出液，将其排至脱气塔或流出液暂存箱；
- ◇ 2 台安全壳地坑泵，将安全壳地坑内的废液排至废液暂存箱；
- ◇ 2 台脱气塔真空泵，维持脱气塔内的低压，以保证有效脱气；
- ◇ 2 台脱气塔分离器泵，回收从脱气塔分离器排放的水，并送回真空泵；
- ◇ 气动双隔膜泵，包括 2 台脱气塔排放泵、2 台流出液暂存箱泵、2 台废液暂存箱泵、5 台监测箱泵、1 台化学废液箱泵、2 台洗手废液箱泵；

- 热交换器
 - ◇ 1 台反应堆冷却剂疏水箱热交换器，为卧式 U 型管式热交换器，热交换器的设计防止反应堆冷却剂疏水箱内收集的高温泄漏水沸腾；
 - ◇ 1 台蒸汽冷凝器，为卧式 U 型管式热交换器，辅助真空泵分离气水，将气体送入放射性气体废物处理系统中；
 - ◇ 1 台真空泵工作液冷却器，为板式热交换器，用于冷却真空泵的工作液。
- 箱体
 - ◇ 1 台反应堆冷却剂疏水箱，卧式圆筒形箱体；
 - ◇ 1 台安全壳地坑，嵌入混凝土中的矩形不锈钢地坑水箱；
 - ◇ 2 台流出液暂存箱，卧式圆筒形箱体；
 - ◇ 2 台废液暂存箱，立式圆筒形箱体；
 - ◇ 5 台监测箱，立式圆筒形箱体；
 - ◇ 1 台化学废液箱，立式圆筒形箱体；
 - ◇ 2 台洗手废液箱，立式圆筒形箱体；
 - ◇ 1 台脱气塔，单级（净化）不锈钢脱气塔，流出液呈喷雾状进入脱气塔的顶部，并分为小股水流沿壁面流下，低压脱出的不凝性气体经真空接口排出；
 - ◇ 1 台脱气塔分离器，不锈钢材质，从真空泵排放流中分离出压缩液回用。
 - ◇ 3 台厂区废液大贮罐，立式圆筒形箱体；
- 化学絮凝处理装置
 - ◇ 1 套，包括化学添加箱、化学添加泵、管道混合器等。
- 过滤器
 - ◇ 1 台前过滤器，收集工艺流中的杂质颗粒；
 - ◇ 1 台后过滤器，收集碎树脂等。
- 深床过滤器
 - ◇ 1 台。床体顶部活性炭用于截留絮凝体与杂质颗粒，单独更换活性炭时可避免影响床体下层选择性介质，可有效减少固体放射性废物的产生量。

- 离子交换床

- ◇ 5 台串联的离子交换床，设有工艺流进出口以及用于树脂添加、排出和疏水的接口。工艺流出口、冲洗水出口和溢流口都装有树脂截流滤网。

(5) 系统运行

- 反应堆冷却剂流出液

流出液子系统接收两个来源的含硼和含氢废液：反应堆冷却剂疏水箱以及化学和容积控制系统。该类废液通常含氢和裂变气体。因此，废液在进入流出液暂存箱之前，需先经过脱气塔、蒸汽冷凝器、脱气塔分离器等设备，将含氢和裂变气体分离且送往放射性气体废物处理系统。一台脱气塔排放泵将液体输送至指定的流出液暂存箱。如果化容下泄流的管线和反应堆冷却剂疏水箱同时疏水至脱气塔，则优先处理下泄流，疏水箱疏水自动暂缓处理。

该系统设置两台流出液暂存箱。一个水箱接收废液，当箱内的液体装到适当液位时，向操作员发出该水箱已满，准备进行处理的报警。在水箱发出高高液位报警时，自动切换阀门，将流出液排往另一个水箱。

反应堆冷却剂流出液通常经由过滤器、化学絮凝处理装置、深床过滤器、离子交换床处理。

反应堆冷却剂流出液先通过化学絮凝处理装置注入化学添加剂，使其利于深床过滤器和离子交换床处理。流经废液前过滤器的流出液再经深床过滤器和离子交换床进一步过滤和除盐处理。系统共设有 6 台串连的处理床体，包括 1 台深床过滤器和 5 台离子交换床。

经除盐和过滤后的废液送入监测箱。当其中一个监测箱充满时，触发报警，警告操作员某监测箱已满需要排放。在出现高高液位报警时，自动切换阀门，将液体转送至另一个监测箱。

如果排放管线的放射性监测仪监测到较高的放射性，排放阀将自动关闭，并向操作员发出高放射性报警，要求采取纠正措施。操作员必须在确认低放射性后才能将其排出。

在反应堆冷却剂系统脱气期间，流出液暂存箱泵将液体排至化容系统补水泵吸入口。该运行模式适用于反应堆冷却剂脱气运行工况。化容系统的反应堆冷却剂下泄流在脱气塔中脱气后，收集在一台流出液暂存箱内，由泵不断地输送回化

容系统补水泵入口。补水泵再将脱气后的冷却剂送回主系统。

- 地面疏水和含较多颗粒杂质的废液

该类废液通常包括放射性地面疏水、设备疏水和辅助厂房地坑收集水以及放射性固体废物处理系统的过剩排水。该废液收集到两个废液暂存箱中。当一个水箱充满,需准备处理时,向操作员发出水箱高液位报警。在出现高高液位报警时,入口管转换阀自动将液体转送至另一个废液暂存箱。废液暂存箱泵启动,循环水箱内废液,并进行取样。在废液暂存箱内可以按需加入添加剂,优化过滤和离子交换处理工艺。

来自安全壳地坑的地面疏水也排入废液暂存箱。地坑液位高时,自动打开安全壳隔离阀,启动一台地坑泵输送地坑内的废液。地坑液位低时,自动停泵,关闭隔离阀。安全壳地坑液位出现异常高液位时,向操作员发出报警,并自动启动备用泵。由于该类废液的放射性水平低于冷却剂类废液,一般情况下可以旁路化学絮凝处理装置。废液通过前过滤器处理,去除大量颗粒杂质,再通过一台或几台离子交换床和后过滤器处理后,进入监测箱。对监测箱内的废液进行取样,如果放射性活度浓度超过限值,则需要将其送回废液暂存箱重新处理。满足排放要求的废液通过放射性监测仪表后排放。

- 洗手废液

核岛厂房洗手废液由人员洗手产生。这类废液通常不适用上述离子交换方法处理,收集在两个洗手废液箱内。通常此类废液的放射性水平较低,可不经处理直接监测排放。

- 化学废液

化学废液产生量小,通常核岛内只作收集,不处理。但可在化学废液箱中添加化学试剂用以调节 pH 和其它化学性质等。化学废液可通过来自厂址废物处理设施的化学废液屏蔽转运装置运至厂址废物处理设施进行处理。

- 蒸汽发生器排污

正常运行工况下,蒸汽发生器排污水不送往 WLS 系统处理。如果蒸汽发生器传热管发生泄漏导致蒸汽发生器排污水出现放射性高报时,排污水则需送往 WLS 系统。在该工况下,一台废液暂存箱排空用于接收排污水。排污水可由离子交换床处理。经处理后的排污水收集在监测箱内,取样并进行监测排放。

2) 生产废水系统 (WWS)

非放射性生产废水系统根据来水水质情况分别收集来自主厂房含油废水坑的废水，第一跨中转地坑废水，变压器及电抗器区域的含油废水，柴油储罐区废水和核岛附属厂房、辅助厂房、柴油发电机房，CPS 排水以及二回路放射性超标排水等。

(1) 系统功能

废水系统不执行安全相关功能，其非安全相关的主要功能包括：

- 排除附属厂房，辅助厂房以及柴油发电机机厂房的非放控制区域的废水；
- 排除柴油机燃油存储区域的检修维护废水及雨水；
- WWS 废水排至汽机厂房的含油废水坑或者油水分离器；
- 二回路放射性超标排水；
- 排放消防水以控制水淹。
- CPS 再生排水

(2) 系统描述

生产废水系统收集核电厂非放射性区域设备和地漏的排水。除辅助厂房部分生产废水直接排至汽机厂房、放射性废物厂房生产废水直接排至室外雨水管网外，核岛厂房非放废水经收集后都排至位于核岛厂房的各个地坑。地坑的排水再经地坑泵提升输送至第一跨的生产废水中转地坑。

辅助厂房、附属厂房和柴油发电机厂房的非放射性区域内，以及柴油机燃油区都设有废水地坑。柴油储存和输送区、附属厂房以及柴油发电机厂房的地坑用混凝土建造，而辅助厂房的生产废水地坑采用钢结构模块设计。每个地坑都收集来自地漏、设备排水管和其它类型排水管中的废水。

核岛厂房地坑（除了燃油储罐防护堤）都装有气动双隔膜泵以便于排放收集的废水。这些气动双隔膜泵由地坑内的液位控制器自动控制其启动和关闭，如果气动双隔膜泵有两台，则按照先/后模式运行。

汽机房含油废水、第一跨中转地坑废水、变压器及电抗器区域含油废水、柴油储罐区废水均排入含油废水调节池；二回路放射性超标排水、CPS 排水排入接收排放监测水箱。

(3) 设施描述

- 核岛厂房废水地坑

辅助厂房、柴油发电机厂房、附属厂房和柴油储罐区域均设有非放废水收集

地坑。这些收集地坑通过地坑泵排水。除柴油储罐区外，其它地坑内的废水都送往汽轮机厂房地坑。柴油储罐区的废水直接送往生产废水处理厂房含油废水调节池。

- 核岛厂房废水地坑泵

核岛厂房地坑（除了燃油储罐防护堤）都装有气动双隔膜泵以便于排放收集的废水。这些气动双隔膜泵由地坑内的液位控制器自动控制其启动和关闭，如果气动双隔膜泵有两台，则按照先/后模式运行。柴油机燃油区域的地坑（MT-04）直接将废水排放至生产废水处理厂房。

常规岛侧非放射性生产废水系统主要设施：

- 第一跨中转地坑
- 含油废水调节池
- 接收排放监测水箱
- 储油池
- 中间水池
- 反冲洗水池
- 非放厂房集水坑
- 油水分离器
- 精滤器
- 变压器事故油池和污油池
- 电抗器事故油池和污油池

第一跨中转地坑设置在第一跨内，其余水池（不含事故油池及污油池）和水箱都设置在非放射性生产废水厂房内。第一跨中转地坑、储油池、含油废水调节池、中间水池、非放射性生产废水厂房集水坑为矩形混凝土结构且表面做防腐处理。接收排放监测水箱为圆柱体水箱，内表面做防腐处理。

4.6.2.3 放射性释放和监测

放射性废液处理系统监测仪表简图见图 4.6-1。

4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项

4.6.3.1 气载流出物排放源项

气载流出物主要通过下列途径，向环境大气排放：

- 从反应堆冷却剂系统泄漏到安全壳大气中的放射性核素通过安全壳通风向环境的释放；
- 工艺流体泄漏的放射性核素通过辅助厂房向环境的释放；
- 燃料操作区域的通风导致的放射性核素的释放；
- 放射性核素通过放射性废气处理系统的释放；
- 通过二回路系统的释放。

在计算放射性气载流出物设计排放源项时，保守假定反应堆冷却剂中裂变产物的剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 5GBq/t 。该源项保守考虑了核电厂运行中可能的各种瞬态情况导致的反应堆冷却剂中核素活度浓度的增加，通过对设计基准源项按照剂量等效 ^{131}I 活度浓度的比例调整得到。对于腐蚀产物，则保守考虑其冷却剂源项与设计基准源项相同。

在计算放射性气载流出物现实排放源项时，假定反应堆冷却剂中裂变产物的剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 0.1GBq/t 。该源项是在核电厂正常运行经验数据的基础上确定的，通过对设计基准源项按照剂量等效 ^{131}I 活度浓度的比例调整得到。对于腐蚀产物，考虑其冷却剂源项为设计基准源项的一半。

通过以上各途径的气态流出物排放量的分析过程如下：

1) 反应堆厂房

反应堆厂房的气载放射性主要来自反应堆厂房设备的泄漏液，由于反应堆厂房泄漏液的压力和温度相对较高，泄漏液以一定的闪蒸份额变为蒸气后进入反应堆厂房气空间，然后经过通风过滤系统中的活性炭过滤器和高效过滤器的净化后排入环境中。

2) 辅助厂房

辅助厂房的气载放射性主要来自辅助厂房设备的泄漏液，由于辅助厂房冷却剂泄漏液的温度较低，泄漏液以一定的气水分配变为蒸气后进入辅助厂房气空间，然后通过厂房通风系统进入环境中。分析时，保守假设冷却剂泄漏到辅助厂房中的气载放射性核素没有衰变、沉积和去除，直接释放到环境中。

3) 燃料操作区域

换料期间，换料通道将乏燃料池和反应堆压力容器连通，因此，反应堆冷却剂水将与乏燃料池水、燃料运输通道中的水（包括门和连接体积）和换料腔中的水混合，冷却剂水的活度被稀释。同时，乏燃料池中存放的破损乏燃料组件中的

核素也会以一定的释放份额进入冷却剂中。以上两部分是乏燃料水池放射性的主要来源，池水的放射性通过蒸发的形式进入燃料操作区域气空间，通过厂房通风系统进入环境中。

4) 放射性废气处理系统

在计算放射性废气处理系统的气态放射性流出物排放量时，考虑了化学与容积控制系统下泄流和反应堆冷却剂疏水箱中废液脱气产生的废气。根据反应堆冷却剂源项，并考虑了延迟床对氦和氩的延迟作用后，得到废气处理系统处理后的放射性废气的排放量。

5) 二回路

对于二回路系统，未经冷凝的放射性气体主要是通过真空泵的抽气释放进入环境。计算时，以二回路气态源项为基础，保守考虑放射性废气的排放流量为二回路蒸汽流量，同时考虑一定的气水分配系数后得到通过二回路系统释放的气载放射性流出物排放量。由于二回路现实源项的活度水平非常低，因此不对二回路的气态现实排放源项进行分析。

单机组气态氦年设计排放量为 5.25TBq/a，年现实排放量为 4.51TBq/a。

单机组气态 ^{14}C 年设计排放量为 45.1GBq/a，年现实排放量为 39.7GBq/a。

单机组气载流出物年设计排放量和现实排放量分别列在表 4.6-12 和表 4.6-13 中。

在表 4.6-14 中给出了单台机组的气载流出物年设计排放量与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中规定的年排放量控制值的比较。可以看出，单台机组的气载流出物年设计排放量均能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的排放量控制值要求。

4.6.3.2 系统概述及组成

在反应堆运行期间，会裂变产生放射性同位素氙、氪和碘。因为少量燃料包壳的破损，部分核素会释放到反应堆冷却剂中。反应堆冷却剂的泄漏又导致放射性惰性气体释放到安全壳内大气中。通过严格限制反应堆冷却剂泄漏和限制反应堆冷却剂系统内惰性气体和碘的放射性浓度，可控制气载放射性释放。

除放射性气体废物处理系统（WGS）释放途径以外，各厂房通风系统也是向环境释放气载放射性物质的途径。

1) 放射性气体废物处理系统（WGS）

(1) 系统功能

WGS 的主要功能是接收系统运行期间产生的含氢气体和放射性气体，并对其进行处理和排放，使核电厂气载放射性释放量低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。WGS 不执行安全有关功能，其非安全有关功能为：

- 收集含氢气体和放射性气体；
- 处理和排放废气，保持厂外放射性释放在可接受的限值以内；
- 排放管线上设置辐射监测仪表连续监测 WGS 的放射性释放。系统还可对释放流进行取样分析。

(2) 废气来源

WGS 接收工艺系统运行期间产生的含氢气体和放射性气体。运行的设计基准时段为燃料周期末 45 天。在该时段内，排入 WLS 的反应堆冷却剂系统稀释流量和化学和容积控制系统下泄流量达到最大值。WGS 输入如下：

- 反应堆冷却剂系统调硼时的下泄流。含有少量放射性气体的含氢气体以 $0.99\text{m}^3/\text{h}$ 的输入流量进入 WGS。
- 反应堆冷却剂系统脱气时的下泄流。含有少量放射性气体的含氢气体以 $0.99\text{m}^3/\text{h}$ 的输入流量进入 WGS。
- 维持反应堆冷却剂疏水箱液位。间歇产生 $0.85\text{m}^3/\text{h}$ 含有少量放射性气体的氢气和氮气。
- 反应堆冷却剂疏水箱排气。

(3) 部件描述

WGS 系统是一个直流常温活性炭延迟处理系统，包括一台气体冷却器、一台气水分离器、一台活性炭保护床和三台活性炭延迟床。此外，系统中还包括一套气体取样装置。

- 气体冷却器

气体冷却器将废气冷却至接近冷冻水温度，以便有效除湿。

- 气水分离器

去除气体冷却形成的水分。

- 活性炭保护床

活性炭保护床防止活性炭延迟床因过高水汽受到损害。正常运行时，活性炭

保护床可增加氙和氪的延迟处理时间。

- 活性炭延迟床

系统设置三台活性炭延迟床串联运行。由于气流进出延迟床都是在其顶部，所以延迟床不需要活性炭截流筛网。

- 取样装置

提供两台取样泵。通常一台取样泵连续运行输送废气至氢气、氧气分析仪。另一台泵将各取样点的废气定期送至取样筒内，并作为向氢气、氧气分析仪输送废气的备用泵。

(4) 系统运行

WGS 系统为间歇运行。没有废气进入 WGS 系统时，在排放管线的隔离阀入口处有小流量的氮气注入，以维持 WGS 系统处于正压，防止废气流量低时空气进入系统。

WGS 系统为非能动运行，借助气体输入源的压力，使废气通过本系统。进气先通过气体冷却器，由冷冻水对废气进行冷却。气水分离器去除由气体冷却形成的水分。气水分离器的疏水排往 WLS 脱气塔分离器。

放射性气体流经保护床，去除多余的水分。然后，放射性气体流经三台活性炭延迟床，通过动态吸附过程使氙、氪得以延迟衰变。离开 WGS 系统的废气在排往核电厂通风系统前先经过一个辐射监测仪表。该仪表在放射性高整定值时连锁关闭 WGS 出口控制/隔离阀。出口隔离阀也在通风系统低流量时关闭，防止氢气在通风管道内的累积。

放射性气体在延迟床的吸附不需能动设备或运行人员操作。运行人员误操作或能动设备失效不会引起放射性向环境的非受控释放。若由于失去冷冻水或其他原因，废气进入延迟床之前未能去除水分，将导致 WGS 系统性能逐渐下降。

放射性气体废物处理系统设置独立、冗余的监测仪进行连续氧含量分析。系统氧含量过高时，将向运行人员发出警报。当氧浓度到达高高报警值时，WLS 脱气塔真空泵自动停泵，防止可能含氧的气流进入 WGS，同时自动打开氮气阀门，使用氮气吹扫。系统出口隔离阀前用氮气连续加压，防止出口管路空气倒灌入系统。

2) 供热、通风与空调 (HVAC) 系统

(1) 系统功能及组成

核岛供热、通风与空调（HVAC）系统的功能是：

- 对核岛厂房的室内空气温度、相对湿度、压力等参数进行调节和控制，为各厂房提供人员进入及工作的舒适性环境，为设备的正常运行创造安全的环境条件；
- 保证合理的气流方向，控制空气气流从污染较少的区域流向污染逐渐增加的区域，并使各厂房内可能被污染区域的全部通风经监测后，通过烟囱排放；
- 对相关系统的排风进行过滤和除碘处理，以减少气载物质向大气环境的释放。

HVAC系统中对于未被放射性污染的废气，从排风口直接排入大气；对于可能污染区域的全部通风气体经过监测后，通过核岛烟囱或汽轮机厂房烟囱排入大气。HVAC系统中和放射性废气产生、释放相关的子系统主要包括：

- 放射性控制区通风系统（VAS）
- 安全壳空气过滤系统（VFS）
- 放射性废物厂房通风空调系统（VRS）
- 核岛保健物理和热机修车间通风空调系统（VHS）

（2）放射性控制区通风系统

放射性控制区通风系统（VAS）服务于辅助厂房的燃料操作区以及辅助及附属厂房中除物理保健和热机修车间区域以外放射性控制区。

（i）系统功能

VAS不执行安全相关的功能，它的非安全相关功能为：

- 维持 RNS 泵房和 CVS 补水泵房在其设计温度范围之内，支持 RNS 泵和 CVS 补水泵的正常运行；
- 在核电厂正常运行期间，提供足够的通风以维持厂内气载放射性浓度处于安全水平；
- 维持区域内总的空气气流的方向从低放射性污染区流向高放射性污染区；
- 维持每个厂房区域处于轻微负压，以防止气载放射性不受控制的释放至大气或邻近的核电厂清洁区域中；

- VAS 系统的排风受控，排风经预过滤器、HEPA 过滤器、活性炭吸附器和后置过滤器净化处理后排入厂房烟囱，控制核电厂正常气载放射性排放；
- VAS 系统为安全壳环廊的送排风管提供隔离功能，当严重事故下安全壳泄漏时，泄漏物在环廊内滞留和沉积。

(ii) 系统描述

VAS包括两个子系统：辅助/附属厂房通风子系统和燃料操作区通风子系统。

● 辅助/附属厂房通风子系统

辅助/附属厂房通风子系统为直流系统，服务于辅助/附属厂房的放射性控制区（燃料操作区、物理保健和热机修车间除外）。辅助/附属厂房通风子系统由下列设备组成：2×50%的送风空气处理机组、4×25%排风过滤机组、4×25%排风机、送风和排风管路、隔离风阀、空气分布器、自控装置及附件。

每台送风空气处理机组包括：低效过滤器、高效过滤器、热水加热盘管、冷冻水冷却盘管和送风机。空气处理机组热水加热盘管和辅助/附属厂房风管热水加热盘管由热水加热系统（VYS）提供热水，冷却盘管由大容量中央冷冻水系统（VWS）提供冷冻水。空气处理机组位于附属厂房20.650m标高的南侧上部空调机房。系统设计总送风量为89020m³/h。

本子系统设置4×25%的排风过滤机组，每套排风过滤机组包括：预过滤器、HEPA过滤器、活性炭吸附器、后置过滤器及相关的仪表和控制。排风机设于排风过滤机组的下游，以保证排风过滤机组为负压。排风过滤机组的HEPA过滤器的去除效率为99.97%，活性炭吸附器对碘的额定净化效率为99%。系统设计风量要维持厂房的轻微负压。系统设计总排风量为97030m³/h。子系统排风机位于辅助厂房26.300m标高的VAS净化机房。排风经预过滤器、HEPA过滤器、活性炭吸附器和后置过滤器净化处理后直接排至核电厂烟囱，并对排放至厂区的气载放射性浓度进行监测。

● 燃料操作区域通风子系统

燃料操作区通风子系统为直流系统，服务于下列区域：燃料操作区、轨道平台/过滤器芯贮存区和废树脂箱间等。燃料操作区通风子系统由下列设备组成：2×50%的送风空气处理机组、2×50%排风过滤机组、2×50%排风机、送风和排风管路、隔离风阀、空气分布器、自控装置及附件。

每台送风空气处理机组包括：低效过滤器、高效过滤器、热水加热盘管、冷冻水冷却盘管和送风机。空气处理机组热水加热盘管和轨道平台风管热水加热盘管由热水加热系统(VYS)提供热水，冷却盘管由大容量中央冷冻水系统(VWS)提供冷冻水。送风空气处理机组位于附属厂房20.650m标高的南侧上部空调机房。系统设计总送风量为22170m³/h。

每套排风过滤机组包括：电加热器、预过滤器、HEPA过滤器、活性炭吸附器、后置过滤器及相关的仪表和控制。排风机设于排风过滤机组的下游，以保证排风过滤机组为负压。排风过滤机组的HEPA过滤器的去除效率为99.97%，活性炭吸附器对碘的额定净化效率为99%。系统排风量要维持厂房的轻微负压，系统设计总排风量为23420m³/h。排风过滤机组和排风机位于辅助厂房26.300m标高的VAS净化机房。乏燃料池上方设置排风口，排除乏燃料池的水蒸气。送、排风管的布置要使气流从轨道平台/过滤器芯贮存区流到废树脂箱间排放。排风经电加热器、预过滤器、HEPA过滤器、活性炭吸附器和后置过滤器净化处理后排至核电厂烟囱，并对排放至厂区的气载放射性浓度进行监测。

(iii) 系统运行

核电厂正常运行工况下，辅助/附属厂房通风子系统和燃料操作区域通风子系统的送风空气处理机组和排风过滤机组及排风机连续运行，系统按直流式全新风运行。调节送风量以维持服务区域相对于室外环境轻微负压。排风经电加热器、预过滤器、HEPA过滤器、活性炭吸附器和后置过滤器净化处理后排至核电厂烟囱，并对排放至厂区的气载放射性浓度进行监测。通过设置在送风空气处理机组下游共用管上和排风过滤机组上游的风管上的烟雾探测器，进行连续的火灾探测。

厂区失电工况下，RNS泵房单元式冷却机组和CVS补水泵房单元式冷却机组由核电厂备用柴油发电机供电。收到泵房温度高信号后，单元式冷却机组自动启动。VAS系统其它的设备和部件在失电工况下不运行。VAS系统为非核安全有关系统，在LOCA事故或燃料操作事故期间或事故后，本系统不要求运行。严重事故时，主控制室操作人员将关闭隔离阀D174和D175，防止中部环廊内放射性物质外泄。

(3) 安全壳空气过滤系统

安全壳空气过滤系统(VFS)为安全壳提供服务。除安全壳隔离和安全壳真空卸压功能外，没有其他安全相关功能。

(i) 系统功能

VFS执行以下非安全相关的功能：

- 测量、显示和记录通过核电厂烟囱排放至大气的放射性物质的浓度，并提供主控制室报警和指示；
- 正常运行时，VFS系统间断性地为安全壳送、排风，以维持安全壳压力在设计压力范围之内，并清洗安全壳大气中的放射性污染物，使运行人员进入前放射性剂量在允许范围之内；
- 冷停堆时，VFS系统清洗安全壳，以减少潜在气溶胶污染物而保护维护人员。

(ii) 系统描述

安全壳空气过滤系统包括2×100%容量的空气处理机组，带安全壳隔离阀的送风和排风管，以及带调节阀风口、排风机、过滤机组、自控和附件等组成。

每套排风过滤机组包括：电加热器、高效过滤器、HEPA过滤器、活性炭吸附器、后置过滤器及相关的仪表和控制。排风机设于排风过滤机组的下游，以保证排风过滤机组为负压。排风过滤机组的HEPA过滤器的去除效率为99.97%，活性炭吸附器对碘的额定净化效率为99%。

在电站正常运行、冷停堆和换料操作人员进入安全壳前控制壳内放射性污染物。系统穿越安全壳压力边界处，设置贯穿件，每个贯穿件在安全壳内外均设置隔离阀及其试验接头，排风子系统的安全壳贯穿件两侧还设有安全壳真空卸压子系统。在电站正常运行时，每套送风和排风子系统以风量为8160m³/h对安全壳进行小容量清洗。若反应堆冷却剂系统（RCS）发生故障或冷停堆前，两套系统可同时投入运行，则系统风量为16320m³/h。

(iii) 系统运行

核电厂正常运行时，由主控制室操作人员定期运行安全壳空气过滤系统来清洗安全壳内空气以降低气溶胶放射性或将安全壳内压力维持在正常运行范围内。一台空气处理机组将室外空气进行过滤、冷却或加热送至安全壳操作层上。通过调节送风机入口导叶来控制风量为定值，以补偿过滤器负荷或安全壳压力的变化。冷却盘管由中央冷冻水系统（VWS）提供的冷冻水冷却和/或去湿室外空气。加热盘管由热水加热系统（VYS）提供热水。送风由设于空气处理机组下游的公用风管内的烟感连续监测。

当排风过滤器与安全壳相连时，通过调节排风机入口导叶来控制通过排风过滤器的风量为定值，以补偿过滤器阻力或因风机单台或并联运行引起的系统阻力变化，或安全壳压力的变化。当安全壳内正压时，通过与安全壳相连的排风管包括一对并联的隔离阀，来限制气流以维持排风过滤机组内为负压。根据预定值，操作人员选择打开适当的阀门。这将防止未净化的空气从过滤器旁通。

安全壳内净化后的排风由排风机经核电厂烟囱排入大气。烟囱内的气流在排入环境前进行监测放射性水平。

单个子系统运行时，如果运行序列故障，备用空气处理机组和排风机组可由操作人员手动启动。

电站停堆前，一个或全部安全壳空气过滤系统序列可运行，以在人员进入前去除放射性气溶胶。在冷环境工况下，送风由热水加热系统加热。排风过滤机组电加热器控制进入碘吸附器的排风的相对湿度小于70%。

当两个序列同时运行，安全壳空气过滤系统将提供最大风量约合每小时换气0.21次。

当保护和监测系统或多样化驱动系统发出安全壳隔离信号时，送风和排风管道上的安全壳隔离阀自动关闭。

当安全壳保持隔离，如果安全壳内高剂量信号没有出现时，主控制室操作人员可将安全壳空气过滤系统与安全壳相连，以净化潜在放射性气溶胶。

当保护和电站安全监测系统触发安全壳真空卸压信号时，安全壳真空卸压阀自动开启。当保护和电站安全监测系统触发安全壳隔离信号时，这些阀门自动关闭。尽管这些阀门正常关闭，当安全壳内的隔离阀开启时，它们自动获得一个确认关闭信号。

安全壳空气过滤系统不需缓解设计基准下的燃料操作事故或LOCA。如果排风过滤子系统可运行且AC电源可用，则其可用于支持事故后恢复运行。核电厂通过高放射性探测器监测排入烟囱的排风。

如果公用送风管中探测到烟气，将报警。除非核电厂操作人员确定需要手动停运空气处理机组，否则系统持续运行。HVAC风管穿越防火屏障处设防火阀以在火灾发生时隔离每个防火分区。

(4) 放射性废物厂房通风空调系统

放射性废物厂房通风空调系统（VRS）服务于放射性废物厂房。它包括清洁

的电气/机械设备间和有可能被污染的排风机房、打包的废物贮存间、废液监测箱间、移动设施区和卡车运输区。

(i) 系统功能

VRS没有安全相关的功能，其执行的非安全相关功能主要包括：

- 向工作区域提供经处理的空气，使环境温度满足区域内设备和工作人员的需要；
- 确保空气的流动方向是从清洁区域向有潜在污染的区域，使空气污染减到最小；
- 收集从有潜在污染设备的排出气体；
- 气体排放到环境中前，监测其放射性剂量；
- 保持放射性废物厂房相对于环境为负压，防止未经监测的气体释放到环境中。

(ii) 系统描述

VRS是一个直流式通风系统，包括两个完整的子系统：送风子系统和排风子系统。这两个子系统联合运行以保持服务区的温度，并控制空气流向和厂房保持负压。

送风子系统包括两台各自带有管道空气分配系统的50%容量的空气处理机组、自动控制器和附件。每台机组通过独立室外新风入口抽取100%的室外空气，并将空气送至一个连接至厂房各部分的公共管道分配系统。系统设计总送风量为32400m³/h。

排风子系统包括两台50%容量的排风离心风机、一个排气管道收集系统、自动控制器及附件。排风风机经过一个公共管道将空气排至核电厂烟囱。在排放管道中有一个放射性监测器记录气体的放射性，并在探测到高的气载放射性时在主控制室报警。系统设计总排风量为37160m³/h。

系统确保空气的流动方向是从清洁区域向有潜在污染的区域，使空气污染减到最小。系统为可移动系统的设备的直接排风设置了排放的连接点。在潜在的大量气载放射性释放存在时，可移动系统自带HEPA过滤。接至可移动系统的排风管上设有止回阀，以防止当排气系统停机时通过设备回流。

(iii) 系统运行

核电厂正常运行期间，两台送风空气处理机组和两台排风风机连续运行，以

维持放射性厂房内的合适温度。放射性废物厂房通过压差控制器自动控制送风机入口导叶调节送风流量，以维持厂房相对于室外的负压。送风处理机组的温度由独立的加热和冷却控制器控制。对送风处理机组过滤器两端的压差进行监测，当其超过设定值时启动独立的报警信号表明需要更换过滤器。为了更换受影响的送风机组上的过滤器，相应的送风和排风风机停运并通过隔离阀将其从公共管道隔离开来。在过滤器更换期间，送风和排风系统以50%的能力运行。

厂房长期监测排风总管空气的放射性剂量浓度，当监测到高浓度放射性剂量，在主控制室设有报警，操作人员采取措施，如有必要可关闭系统。

(5) 核岛保健物理和热机修车间通风空调系统

核岛保健物理和热机修车间通风空调系统（VHS）为一个直流式通风系统。服务于附属厂房保健物理区和热机修车间。

(i) 系统功能

VHS没有安全相关的功能，其执行的非安全相关功能主要包括：

- 提供经处理的空气至所有工作区域，维持工作区的设备和工作人员可接受的温度和相对湿度条件；
- 确保空气从清洁区流向潜在污染区，最大限度地限制气载污染物的扩散；
- 为热检修车间内的去污室、手套箱提供局部排风；
- 由放射性监测系统为所有排放的空气在释放至大气之前进行放射性监测；
- 维持保健物理区和热机修车间相对于室外为轻微负压，防止放射性污染物未经监测的释放；
- 提供加湿，维持保健物理区和热机修车间相对湿度高于 35%。

(ii) 系统描述

VHS是一个直流式通风系统，包括送风和排风两个子系统。两个系统联合运行，以满足维持服务区的温度和控制空气的流向及保持区域负压的功能要求。

送风子系统包括两台100%容量的空气处理机组，送风管上设置蒸汽加湿器以维持室内相对湿度不低于35%。系统设计总送风量为28360m³/h。

排风子系统包括两台100%容量的离心排风机，系统设计总排风量为28990m³/h。系统排风至核电厂烟囱。

(iii) 系统运行

核电厂正常运行期间，一台空气处理机组和一台排风机连续运行。通过压差

控制器自动控制送风机入口导叶调节送风流量，以维持保健物理区和热机修车间相对于室外的负压。空气处理机组的送风温度通过温度传感器来控制的。这些温度传感器将信号送至热盘管前的迎风旁通阀或冷冻水调节阀。对送风处理机组过滤器两端的压差进行监测，当其超过设定值时启动独立的报警信号表明需要更换过滤器。

对VHS排风进行放射性剂量监测，当监测到高浓度放射性剂量，在主控制室设有报警，操作人员采取措施，如有必要可关闭系统。

当烟气探测器探测到烟气，或FDS系统监测到火灾时，VHS的送排风系统均停运。

VHS为非安全有关系统，设计基准事故时或之后不要求运行。

(6) 常规岛主厂房通风

常规岛主厂房通风包括：

- 汽机厂房通风：汽机厂房通风系统通过从汽机厂房外引入室外较低温空气对汽机厂房内部进行通风降温。核电厂运行期间，当汽机厂房内温度高于要求值时，室外新风地上部分由建筑外窗及电动百叶窗自然进风，地下部分由新风机组机械送风，经各层的主要散热设备周围开设的格栅、检修孔、楼梯间、吊物孔等处，吸收室内余热、余湿后，有组织地经安装在汽机厂房及除氧间屋面上的防爆屋顶风机排至室外。为消除汽机厂房通风死角，汽机厂房设置扰动风机加强空气循环，防止热点形成。
- 汽机厂房第一跨通风：汽机厂房第一跨通风系统从厂房外引入室外较低温空气对第一跨内部进行通风降温。核电厂运行期间，当第一跨内温度高于要求值时，室外新风由安装在第一跨各层的混流风机机械送风，吸收室内余热、余湿后，经安装在汽机厂房第一跨各层的混流风机排至室外。
- 电气设备间通风：常规岛主厂房电气设备间通风空调用于消除室内余热，控制房间温度，为电气设备提供必要的运行环境。电气设备间通风设备用于满足电气设备间灭火后通风换气要求，在室外温度较低或所设空调设备故障时，电气设备间通风设备可兼作通风降温使用。
- 化学房间通风：化学房间通风用于排出生产过程中可能产生的有害气体或有爆炸危险的气体，降低室内有害物浓度，保证运行巡检人员安全。

- 润滑油室通风排烟：润滑油室通风主要用于排除室内余热及排除室内可能产生的油蒸汽，维持室内温度并降低室内有害物质浓度，保证运行巡检人员安全。
- 汽机厂房辅助设备间通风：消防气瓶间设置墙上电动防雨百叶自然进风，钢制轴流风机机械排风系统，以排出室内有害气体。
- 防烟楼梯间及消防电梯前室防烟：常规岛主厂房不具备自然排烟条件的防烟楼梯间和消防电梯前室设置机械防烟设施。其风量满足：疏散门关闭时，防烟楼梯间可保持加压部位与走道之间的压差为 40~50Pa，开启着火层疏散门时，可保持门洞处一定风速 ($\geq 0.7\text{m/s}$)；消防电梯前室可保持加压部位与走道之间的压差为 25~30Pa；开启着火层疏散门时，可保持门洞处一定风速 ($\geq 1.0\text{m/s}$)。

3) 凝汽器抽真空系统 (CMS)

凝汽器抽真空系统主要用于机组启动、正常运行时抽出凝汽器的不凝结气体，并在凝汽器中建立和维持一定的真空度。凝汽器抽真空主要由真空泵完成。

抽真空系统共配置三台水环式真空泵，启动阶段为凝汽器建立真空，在正常运行时抽出凝汽器壳体内的空气和不凝结气体。凝汽器壳体中的不凝性气体连同水蒸汽一起通过管道接入真空泵后排出。正常运行时，三台真空泵两运一备。不凝结气体主要成分是空气、氮气和氨气，该系统不会出现氢气聚集的可能。凝结水和凝汽器热井中存在不能处理的氧气，但是仅有微量的氧气溶解在凝结水中，与排出系统的空气和水蒸气相比这些量几乎是可以忽略的。根据上述两点可以看出，即使没有抽真空系统，凝汽器也并不存在潜在的混合物爆炸的可能性。

真空泵密封水冷却器通过开式循环冷却水进行冷却。为保证真空泵的性能，密封水温度需要被冷却至低于凝汽器压力下的饱和温度，以维持真空泵良好的工作性能。

排放到大气中的不凝结气体和蒸汽的混合物通常不具有放射性。但是，在发生一回路向二回路的泄漏事故时，混合物还是有可能被污染。凝汽器真空泵后母管上设置辐射监测装置，当放射性水平达到不可接受范围时，将启动操作程序。

如果抽真空系统失效，会导致凝汽器内不凝结气体的聚集，凝汽器背压会逐渐提高。凝汽器背压的提高导致汽轮发电机组效率降低。如果抽真空系统持续保持失效状态，凝汽器背压升高至汽轮机跳闸背压，此时汽轮机就会跳闸。凝汽器

真空破坏引起汽轮机跳闸但不会导致主蒸汽隔离阀关闭。

4.6.3.3 放射性释放和监测

放射性废气处理系统监测仪表简图见图 4.6-2。

4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量

放射性固体废物处理系统（WSS）设计用于收集和暂存正常运行以及预期运行事件产生的废树脂、深床过滤器过滤介质、活性炭、水过滤器滤芯、放射性干废物和混合固体废物。这些废物先收集暂存在辅助厂房和放射性废物厂房内，后送往厂址废物处理设施（SRTF）进一步处理和中间贮存。SRTF的描述参见第4.6.6节。

4.6.4.1 系统功能

WSS 系统设计满足下列要求：

- 输送和贮存来自 WLS、CVS 和 SFS 的废树脂和深床过滤器过滤介质；
- 提供混合、取样、输送废树脂和水过滤器的手段；
- 更换、输送、收集水过滤器滤芯时，降低对人员的放射性照射和污染扩散；
- 收集来自核电厂加热、通风、空调系统（HVAC）的通风过滤器滤芯；
- 根据放射性水平对固体废物进行分类和临时贮存；
- 收集含有害物质的放射性废物；
- 分类收集放射性控制区（RCA）产生的废物；
- 在废物送往厂址废物处理设施前（运输设备由厂址废物处理设施提供）可提供至少 6 个月的贮存时间；
- 向辅助厂房车辆停靠间和放射性废物厂房移动设备提供所需的空间和辅助服务；
- 将废树脂接收槽内废液送回 WLS 进行再处理后，监测排放；
- 提供核岛与厂址废物处理设施之间的接口。

4.6.4.2 废物产生量

预期的放射性废物产生量计算依据如下：

- 每个换料周期更换的离子交换树脂床废树脂（包含深床过滤器过滤介质）；
- 每个换料周期更换 WGS 活性炭保护床内的活性炭；

- 每十年更换 WGS 活性炭延迟床内的活性炭；
- 每个换料周期更换全部水过滤器的滤芯；
- 使用核电厂历史运行数据估计的可压实废物、不可压实废物和混合废物总量。

放射性废物最大产生量的计算依据如下：

- 处理的离子交换树脂床与化学絮凝处理装置用活性炭床在 0.25%燃料包壳破损率下运行；
- 每个换料周期更换两次 WGS 活性炭保护床内的活性炭；
- 每五年更换 WGS 活性炭延迟床内的活性炭；
- 所有更换的水过滤器滤芯在 0.25%燃料包壳破损率下运行；
- 可压实废物量增加 50%，不可压实废物、化学废液和混合废物量增加 100%；
- 更换受污染的凝结水精处理系统和排污系统的树脂和膜。

4.6.4.3 部件描述

- 箱体

2 台废树脂接收槽，每台废树脂接收槽内的树脂通过混合喷射器进行混合，此外废树脂接收槽还具有脱水、气体鼓泡和疏水功能。

- 泵

1 台树脂混合泵，为废树脂接收槽内树脂的流动和混合提供动力，在废树脂槽之间进行水流输送，将槽内多余的水排至放射性液体废物处理系统，以及冲洗树脂输送管线。

1 台树脂输送泵，为废树脂接收槽内的废树脂循环混合和取样提供动力。树脂输送泵也用于向位于辅助厂房有轨车平台的屏蔽转运装置输送废树脂。

- 过滤器

1 台树脂碎片过滤器，树脂碎片过滤器将最大限度地防止树脂碎片的扩散，并过滤掉管线冲洗水或废树脂接收槽向 WLS 的排放水中的杂质颗粒。

- 树脂取样装置

树脂取样装置在废树脂循环时进行取样。设备配置一个移动式屏蔽桶用于取样后样品的输送。

- 水过滤器滤芯更换、运输装置

废过滤器滤芯屏蔽运输容器便携式操作工具（MH60）及废过滤器滤芯屏蔽筒（MR40）能够远距离更换废（水）过滤器滤芯，无泄漏输送至辅助厂房滤芯贮存区，将滤芯装入或取出临时贮存格架，吊入屏蔽转运装置内。

4.6.4.4 系统运行

● 废树脂的装运

在输送前先检查用于接收的废树脂接收槽，并确认有足够容量接收树脂床的废树脂。此外，还需确认系统已设置废树脂混合泵将过量的转运水通过树脂碎片过滤器排放至 WLS。

在树脂混合工况时，废树脂接收槽通过树脂截流滤网向外疏水。疏水通过混合喷射器再回到槽内。在该运行模式下，（废树脂接收槽内）废树脂层产生局部流态化。在循环或屏蔽转运装置装填工况时，运行树脂取样装置可获取有代表性的树脂样品。

开启屏蔽转运装置填充阀开始废物装填。冲排水回流至废树脂接收槽内，由此保持系统的水装量，并截留下系统中树脂碎片，去除杂质颗粒。

当装填操作完成时，手动开启管线冲洗控制器，自动运行泵和阀门，冲洗树脂输送管线，冲洗水再回流至废树脂接收槽。废树脂接收槽充填阀短时间开启，将残余树脂冲洗入接收槽内。废树脂混合泵输送废树脂接收槽内过滤后的冲洗水。

● 水过滤器滤芯的处理操作

废过滤器滤芯屏蔽运输容器便携式操作工具（MH60）及废过滤器滤芯屏蔽筒（MR40）用于化学和容积控制系统（CVS）、乏燃料池冷却系统（SFS）、放射性液体废物处理系统（WLS）和放射性固体废物处理系统（WSS）放射性水过滤器滤芯的更换。当更换废过滤器滤芯时，先将滤芯吊入 MR40 中，然后转运至辅助厂房滤芯贮存区进行临时贮存。待滤芯贮存一段时间后，再利用 MR40 将滤芯转运至屏蔽转运装置中。放射性（水）过滤器滤芯通过屏蔽转运装置运往厂址废物处理设施处理。暖通设备的放射性过滤器滤芯装袋后和其他放射性干废物一起运往厂址废物处理设施处理。

● 干废物的处理操作

来自放射性控制区域表面污染区的废物打包或装入容器，在废物产生地点标注放射性水平、废物类型和处理地点的信息。废物袋或容器运至放射性废物厂房，使用合适屏蔽措施，干废物根据是否含水分开收集存放。待累积到足够废物量后，

再转运至厂址废物处理设施进行稳定化处理。在放射性控制区的表面污染区域以外产生的其他放射性废物装袋或装桶后运送到放射性废物厂房内临时贮存场所。通常这些废物通过便携式放射性监测装置确认其放射性水平并进行对应处理。

4.6.4.5 放射性释放和监测

放射性固体废物管理系统监测仪表简图见图 4.6-3。

4.6.5 厂址废物处理设施

厂址废物处理设施（SRTF）是一个集中式放射性废物处理设施，位于核岛 BOP 区域。它作为核岛三废处理系统的补充，提供完整、适宜的手段来处理核岛产生但无法直接处理的放射性废液与放射性固体废物。根据该设施执行的功能，可划分为：废物处理厂房、洗衣房、废物暂存库三大区域。废物处理厂房为三层现浇钢筋混凝土剪力墙结构，局部有地下室。厂房部分墙体和楼板厚度除需满足结构要求外还需满足屏蔽要求。废物暂存库为钢筋混凝土排架结构。洗衣房为单层现浇钢筋混凝土框架结构，局部有一层地下室。设施内处理达标的废液将送至临近机组的厂区排放总管进行排放。经该设施处理后的废物均采用统一包装容器（200L 钢桶）进行包装，并送往设施内的废物暂存库进行暂存。

4.6.6.1 设计基准

SRTF 不执行安全有关基准，但其放射性排放应符合对应的法规要求。其设计时考虑了如下基准：

- 6 台机组采用错峰停堆换料模式；
- 换料时间约为 17 天（每 18 个月）；
- 废物处理采用成熟减容工艺，充分贯彻“废物最小化”理念；
- SRTF 职业照射剂量不超过核电厂的剂量约束值，且可合理达到尽量低；
- 洗衣房的处理容量依据换料大修期间员工 1000 人/机组*天，正常运行期间员工 100 人/机组*天的基准来设计；
- 各类废物都通过屏蔽转运装置和专用车辆转运至厂址废物处理设施；
- 各类废物流通过对应的处理工艺，以 200L 钢桶的包装形式在废物暂存库内进行中间贮存，暂存期间不另设屏蔽包装。废物暂存库内中、低放废物分区储存；

- 废物暂存库按照暂存全厂 6 台 CAP1400 机组 5 年内产生的放射性废物总量设计。放射性水平较低的 200L 废物桶（表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ）按照 5 层垂直堆叠，放射性水平较高的 200L 废物桶（表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ ）按照 4 层垂直堆叠。在贮存放射性水平较低废物桶的区域内的废物桶周围设置支撑钢架，维持桶体堆叠时的安全性与稳定性，防止废物桶倾倒。在贮存放射性水平较高废物桶的区域上方设有混凝土屏蔽塞进行屏蔽，减少对厂房上部空间的辐射；
- SRTF 内产生的所有废物均在 SRTF 内完成处理，无须再回到核岛或其它设施进行再处理。SRTF 处理合格的废液将通过 SRTF 排放总管汇至指定排放区域。

4.6.6.2 总体描述

核岛的各类废物流通过屏蔽转运装置和专用车辆送往 SRTF。除一回路废树脂、水过滤器滤芯的收集在核岛辅助厂房中，其余固体废物都先从核岛各区域集中至放射性废物厂房临时暂存，随后送往 SRTF。

1) 废物处理厂房

废物处理厂房分三层布置，设有局部二层，局部地下层。其中废液、废固处理工艺主要布置在底层。废物处理厂房包含了废液、废固处理工艺以及配套辅助系统，如：水过滤器滤芯处理系统（FCS）、通风过滤器滤芯/干废物/混合固体废物处理系统（HVS）、废树脂处理系统（RES）、化学废液处理系统（CTS）等。

(1) 水过滤器滤芯处理系统（FCS）

屏蔽转运装置在核岛辅助厂房卡车区接收来自核岛的水过滤器滤芯，随后运送至 SRTF。

在 SRTF 指定区域，由 SRTF 专用抓具将 200L 钢桶从屏蔽转运装置内吊出。装有水过滤器滤芯的 200L 钢桶通过辊道送往水泥灌浆区进行灌浆固定。灌浆固定完成的 200L 钢桶经短期养护后，送至剂量检测间进行桶体剂量监测，最终送往废物暂存库存放。工艺流程归纳如下：

水过滤器滤芯 → SRTF 指定区域 → 卸出钢桶 → 灌浆 → 检测 → 中间贮存

(2) 通风过滤器滤芯/干废物/混合固体废物处理系统（HVS）

核岛产生的通风过滤器滤芯/干废物/混合固体废物等由专用车辆运送至 SRTF。

通风过滤器滤芯通过通过一套专用的挤压与预压实装置进行预处理，再送往超级压实机进行超压处理。干废物在核岛内需经预分拣，干的和湿的干废物分开收集。干废物（不含水）通过干废物分拣装置进行切割、分拣和预压实处理，然后装入 160L 桶；不可压实干废物直接装入 200L 钢桶。干废物（含水）装入 160L 桶后送往十二桶干燥装置进行干燥处理，干燥完成后再送往干废物分拣装置进行预压实处理。装有可压实干废物的 160L 桶通过辊道送往超级压实，形成的压实饼按照一定比例配置，装入 200L 钢桶，通过辊道送往灌浆处理。装有不可压实干废物的 200L 钢桶通过辊道送往灌浆处理。灌浆固定完成的 200L 钢桶经短期养护后，送至剂量检测间进行桶体剂量监测，最终送往废物暂存库存放。

通风过滤器滤芯也可以根据实际情况实施清洁解控。

通风过滤器滤芯处理的工艺流程归纳如下：

通风过滤器滤芯 → SRTF 指定区域 → 挤压和预压实装置 → 装桶（160L 桶） → 超压 → 装桶（200L 桶） → 灌浆 → 检测 → 中间贮存

干废物/混合固体废物处理的工艺流程归纳如下：

干废物（不可压实） → 装桶（200L 钢桶） → 灌浆 → 检测 → 中间贮存
干废物（可压实，不含水） → 装桶（预压，压实桶） → 超压 → 装桶（200L 钢桶） → 灌浆 → 检测 → 中间贮存

干废物（可压实，含水） → 装桶（160L 桶） → 十二桶干燥装置 → 预压（反复装填不含水干废物） → 超压 → 装桶（200L 钢桶） → 灌浆 → 检测 → 中间贮存

混合固体废物运往 SRTF 后进行装桶贮存。

（3）废树脂处理系统（RES）

核岛产生的废树脂由废树脂屏蔽转运装置接收，并转运至 SRTF 的废树脂缓冲罐内。废树脂缓冲罐内的废树脂通过废树脂转运泵送往废树脂计量罐。经计量后，由废树脂计量罐送至废树脂干燥装置。干燥装置通过热油加热，运行真空泵产生负压，使干燥装置内废树脂的水分在较低温度下蒸发。干燥完成之后，废树脂装入 160L 桶并加盖。装有废树脂的 160L 通过辊道送往超级压实，形成的压实饼按照一定比例配置，装入 200L 钢桶，通过辊道送往灌浆处理。灌浆固定完

成的 200L 钢桶经短期养护后，送至剂量检测间进行桶体剂量监测，最终送往废物暂存库存放。

废树脂处理系统（RES）的工艺流程归纳如下：

核岛废树脂 → 屏蔽转运装置 → SRTF 废树脂缓冲罐 → 废树脂锥型干燥装置 → 装桶（160L 桶）→ 超压 → 装桶（200L 桶）→ 灌浆 → 检测 → 中间贮存

（4）化学废液处理系统（CTS）

核岛产生的化学废液由屏蔽转运装置运送至 SRTF 的化学废液缓冲罐内。SRTF 内产生的化学废液等均通过该系统进行收集和处理。

收集在 SRTF 化学废液缓冲罐内的化学废液，通过输送泵送往一套小型蒸发装置进行预处理。经过蒸发预处理，废液中的放射性核素大多浓集于蒸残液中，并随蒸残液去烘干装置进一步干燥处理或固化处理。蒸发后的蒸残液通过输送泵分批送往桶内干燥装置。干燥装置内的干燥容器采用 160L 钢桶。经该装置反复多次进料、干燥、再进料、再干燥后形成化学废液盐块。装有盐块的 160L 通过辊道送往超级压实（压实 160L 桶内上部空间），装入 200L 钢桶，通过辊道送往灌浆处理。灌浆固定完成的 200L 钢桶经短期养护后，送至剂量检测间进行桶体剂量监测，最终送往废物暂存库存放。

若预期化学废液或蒸残液干燥产生的盐饼的放射性活度会超过限值，则直接对化学废液或蒸残液进行水泥固化处理。

化学废液处理系统的工艺流程归纳如下：

化学废液 → SRTF 化学废液缓冲罐 → 蒸发装置 → 桶内干燥装置 → 装桶（160L 桶）→ 软压实 → 包装（200L 桶）→ 灌浆 → 检测 → 中间贮存

2) 洗衣房

在核电站正常运行和维修期间，会产生程度不同的被放射性污染的工作服和工作鞋等衣物。对污染严重的直接作为放射性固体废物处理，否则将其去污清洗、脱水、烘干和熨平，使其满足卫生、剂量标准后回收重复使用。

洗衣的操作程序根据衣物的种类和污染程度制定。电站正常运行期间，采用一洗二漂的操作程序。洗衣房地下室设置有洗衣废水箱及洗衣废水排放泵，洗衣废水将被输送到洗衣废水箱暂存，然后进行取样分析，满足排放要求的废水通过

洗衣废水排放泵监测排放至核电厂总排放口。

3) 废物暂存库

废物暂存库用于贮存全厂各机组五年产生的（200L 钢桶）桶装废物。废物暂存库按照废物放射性水平分区存放。两个区域通过实体围墙隔开。其中放射性水平较低的 200L 废物桶（表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ）按照 5 层竖直堆叠，放射性水平较高的 200L 废物桶（表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ ）按照 4 层竖直堆叠。在贮存放射性水平较低废物桶的区域内的废物桶周围设置支撑钢架，维持桶体堆叠时的安全性与稳定性，防止废物桶倾倒。在贮存放射性水平较高废物桶的区域上方设有混凝土屏蔽塞进行屏蔽，减少对厂房上部空间的辐射。贮存区内设有专用格架用以维持废物桶堆叠的稳定。

4.6.6.3 放射性释放和监测

SRTF 的放射性废液经处理后送往监测箱内进行槽式排放。每次排放前，监测箱内的液态流出物循环后取送化学分析室分析，取样结果符合排放标准后进行排放。排放管上设置有流出物辐射监测通道，连续测量 SRTF 向环境排放的液态流出物的放射性水平，并保证流出物排放符合标准要求。当流出物放射性活度浓度超过设定值时，自动关闭排放阀并停泵，停止对外排放，发出报警。来自 SRTF 排放管的液态流出物将送往临近机组的排放总管。

SRTF 内设置了必要的设备和仪表，能对处理过程中的固体废物进行检测和控制，为 SRTF 的正常运行提供必要的依据。固体包装废物将采用统一的 200L 钢桶作为包装容器，200L 钢桶入库前会对放射性核素及比活度进行测量和记录。

SRTF 的工艺及暖通排气经高效过滤器过滤后对外排放。排放总管上设有辐射监测措施及流量计，监测 SRTF 对外排气的放射性活度浓度及总量。

4.6.6 废物最小化

核电厂废物最小化的原则在国际上已得到充分的重视，本项目在设计、建造、运行乃至退役等各个阶段将积极考虑先进的技术和管理方法，在废物政策上落实最小化的原则，本工程设计上预计产生的放射性废物体积小于 50m^3 。

核电厂放射性废物的体积和活度的量通过合理的设计手段和运行、退役措施保持在切实可行的最小水平，这些措施包括设备材料的选择和控制、材料的再循环和再利用、合理的运行程序的应用等，重点在于不同类型废物和材料的隔离以

减少放射性废物的体积并利于管理。

“废物最小化”可从管理和技术安全两方面进行考虑：

- 管理：建立废物管理和废物最小化的程序和合理可靠的废物清洁和排放程序以及相应的质量保证系统，并对运行人员进行培训和论证等；
- 技术安全：核电站在设计和建造阶段对废物最小化的考虑对将来运行和退役阶段废物的产生有直接的影响。本项目在设计时将考虑如下因素：
 - ◇ 选择合适的材料（抗腐蚀、高质量的表面处理、不会或较低可能被活化或产生其它放射性核素）；
 - ◇ 应用最有效、可靠和先进的技术以确保设备尽可能长时间维持可运行状态，而不需要更换和/或维修；
 - ◇ 采用高性能的设备，避免废物的无序积累，减少泄漏或排放以避免维修的设备被污染而产生额外的废物；
 - ◇ 严格区分非放射性物质和放射性物质，合理地根据物质的特性和放射性活度进行分离。

需要指出的是，核电厂不可避免地将产生放射性废物，由于现有废物贮存设施和处理设备的限制以及保护环境和公众的考虑，在“废物最小化”原则中也包含了待处理和贮存放射性废物的体积和放射性最小化的含义，减少已产生废物的体积和放射性的措施主要有：

- 在处理已产生的放射性废物前放置足够长的时间，通过衰变来降低废物的放射性，这对于短半衰期核素特别有用。这也可以简化废物处理的过程并相应提高处理效率。
- 对于核电厂日常维护和大修、以及核电厂退役后产生的非放射性金属废物应区分出来，可用作民用建筑材料再循环复用。

4.6.7 乏燃料贮存系统

4.6.7.1 乏燃料的贮存

反应堆换料时从堆芯卸出的乏燃料贮存在核岛辅助厂房的乏燃料贮存水池中，采用水下密集型布置方式。

贮存设施包括乏燃料贮存水池和乏燃料贮存格架。乏燃料贮存格架位于乏燃料贮存水池内。乏燃料贮存水池是池底和四壁衬有不锈钢板覆面的钢筋混凝土结

构，与燃料厂房构成整体结构。池内充以含硼去离子水，池水由冷却和净化系统保持其水质条件。

乏燃料组件贮存在格架的贮存腔内。贮存格架分为 I 区非密集贮存型和 II 区密集贮存型。乏燃料贮存格架可以贮存反应堆 18 个日历年正常运行卸出的乏燃料组件及一个完整堆芯，共设置 999 个贮存位置。其中，I 区可以贮存一个完整堆芯及一次平衡换料的乏燃料组件，共设置 327 个贮存位置（含 8 个破损组件贮存位置）。

乏燃料贮存的设计准则如下：

- 在最佳中子慢化条件（纯水）和反应性最大几何排列条件（燃料浓度为可能的最高值、装载量为可能的最大值等）下，须保证在任何正常和事故工况下始终保持在次临界状态。
- 乏燃料贮存格架的设计，应能承受正常和假定的静载荷、动载荷以及由于热效应产生的载荷和由安全停堆地震产生的载荷。应能承受一个燃料组件从抓取机上的最高位置上掉落的冲击能量。应能承受燃料抓取机的最大提升载荷。此外还应具有稳定、不会倾倒或意外晃动、移动的结构性能。
- 乏燃料水池和水层高度应有足够的防护能力，确保水面以上操作大厅满足辐射限值要求。
- 乏燃料贮存格架的设计，应为乏燃料贮存提供安全、有效的措施。即便于乏燃料组件的插入和取出、能防止燃料组件不适当的插入及具有保护组件不受损伤的措施、有贮存破损或泄漏燃料组件的专用贮腔。
- 乏燃料贮存格架的材料应与环境（正常及应急工况下的贮存水）相容。
- 乏燃料贮存格架为抗震 I 类设备，设备安全等级为 D 级。
- 乏燃料贮存格架的设计，应便于贮存水池中的冷却水能够在格架内自由循环，以冷却贮存的乏燃料组件。
- 用于密集型贮存方式的贮存格架的每个贮存栅格围板中包含有中子吸收体材料，以保证满足密集型贮存的要求。
- 贮存水池应有足够的密封性，使冷却水泄漏保持在可接受的限值内。

4.6.7.2 贮存及设施描述

从堆芯卸出的乏燃料组件转运至辅助厂房后，插入乏燃料贮存格架，进行贮

存和冷却。如果检测到有破损的组件，装入专门的容器后存放于破损组件贮存腔内。

乏燃料贮存格架采用奥氏体不锈钢制造。贮存腔围板由方形截面的套管构成，贮存腔外围包覆有中子吸收材料。贮存腔用于垂直存放乏燃料组件，其端口设有导向喇叭口。

乏燃料水池中的含硼水浓度为 2700ppm，水池设有冷却和净化系统，以排出乏燃料组件的余热，并保证水池的水温、水质和水位。同时，限制放射性物质水平在规定的范围内，保证水池表面的剂量率低于限值。

乏燃料水池同时还设有水位、水温监测系统和水池检漏系统，可随时监测水池的水位、水温和水池密封情况。

乏燃料贮存区域设有通风系统，系统能及时净化燃料贮存区域的空气。

乏燃料贮存区域还设置有剂量监测点，以保证操作人员的辐射安全。

表 4.6-1 平衡循环堆芯放射性积存量

单位: Bq

| | 核素 | 堆芯积存量 | | 核素 | 堆芯积存量 |
|------|---------------------------|----------|-------------------|---------------------------|----------|
| 碘 | ^{130}I | 8.81E+16 | 惰性气体 | $^{85\text{m}}\text{Kr}$ | 1.10E+18 |
| | ^{131}I | 4.20E+18 | | ^{85}Kr | 5.12E+16 |
| | ^{132}I | 6.12E+18 | | ^{87}Kr | 2.16E+18 |
| | ^{133}I | 8.63E+18 | | ^{88}Kr | 2.90E+18 |
| | ^{134}I | 9.69E+18 | | $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | 4.62E+16 |
| | ^{135}I | 8.21E+18 | | $^{133\text{m}}\text{Xe}$ | 2.68E+17 |
| 铯组 | ^{134}Cs | 8.21E+17 | | ^{133}Xe | 8.45E+18 |
| | ^{136}Cs | 1.76E+17 | | $^{135\text{m}}\text{Xe}$ | 1.80E+18 |
| | ^{137}Cs | 5.28E+17 | | ^{135}Xe | 1.73E+18 |
| | ^{138}Cs | 8.05E+18 | | ^{138}Xe | 7.61E+18 |
| | ^{86}Rb | 8.37E+15 | ^{141}Ce | 7.05E+18 | |
| 碲组 | $^{127\text{m}}\text{Te}$ | 6.23E+16 | 铈组 | ^{143}Ce | 6.52E+18 |
| | ^{127}Te | 3.74E+17 | | ^{144}Ce | 5.56E+18 |
| | $^{129\text{m}}\text{Te}$ | 2.11E+17 | | ^{238}Pu | 1.17E+16 |
| | ^{129}Te | 1.10E+18 | | ^{239}Pu | 1.18E+15 |
| | $^{131\text{m}}\text{Te}$ | 8.16E+17 | | ^{240}Pu | 1.88E+15 |
| | ^{132}Te | 5.98E+18 | | ^{241}Pu | 4.87E+17 |
| | ^{127}Sb | 3.82E+17 | | ^{239}Np | 8.00E+19 |
| | ^{129}Sb | 1.17E+18 | | ^{90}Y | 4.18E+17 |
| 铷组 | ^{103}Ru | 6.52E+18 | 镧组 | ^{91}Y | 5.38E+18 |
| | ^{105}Ru | 4.49E+18 | | ^{92}Y | 5.51E+18 |
| | ^{106}Ru | 2.17E+18 | | ^{93}Y | 6.22E+18 |
| | ^{105}Rh | 4.20E+18 | | ^{95}Nb | 7.30E+18 |
| | ^{99}Mo | 7.84E+18 | | ^{95}Zr | 7.23E+18 |
| | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 6.89E+18 | | ^{97}Zr | 7.16E+18 |
| 钡和锶组 | ^{89}Sr | 4.13E+18 | | ^{140}La | 7.78E+18 |
| | ^{90}Sr | 4.00E+17 | | ^{142}La | 6.71E+18 |
| | ^{91}Sr | 5.08E+18 | | ^{143}Pr | 6.39E+18 |
| | ^{92}Sr | 5.44E+18 | | ^{147}Nd | 2.74E+18 |
| | ^{139}Ba | 7.67E+18 | | ^{241}Am | 5.34E+14 |
| | ^{140}Ba | 7.45E+18 | | ^{242}Cm | 1.43E+17 |
| | | | | ^{244}Cm | 1.21E+16 |

表 4.6-2 设计基准反应堆冷却剂中核素的活度浓度

单位: Bq/g

| 核素 | 活度浓度 | 核素 | 活度浓度 |
|---------|----------|---------|----------|
| Kr-83m | 6.16E+03 | Y-91 | 5.07E+00 |
| Kr-85m | 2.80E+04 | Y-92 | 1.21E+01 |
| Kr-85 | 9.78E+04 | Y-93 | 4.12E+00 |
| Kr-87 | 1.61E+04 | Zr-95 | 6.13E+00 |
| Kr-88 | 4.87E+04 | Nb-95 | 6.10E+00 |
| Kr-89 | 1.15E+03 | Mo-99 | 8.16E+03 |
| Xe-131m | 4.31E+04 | Tc-99m | 7.59E+03 |
| Xe-133m | 5.77E+04 | Ru-103 | 5.29E+00 |
| Xe-133 | 4.08E+06 | Rh-103m | 5.29E+00 |
| Xe-135m | 6.42E+03 | Ru-106 | 1.79E+00 |
| Xe-135 | 1.05E+05 | Rh-106 | 1.79E+00 |
| Xe-137 | 2.38E+03 | Te-127m | 3.14E+01 |
| Xe-138 | 8.59E+03 | Te-129m | 1.06E+02 |
| Br-83 | 1.05E+03 | Te-129 | 1.28E+02 |
| Br-84 | 5.31E+02 | Te-131m | 3.25E+02 |
| Br-85 | 6.03E+01 | Te-131 | 1.66E+02 |
| I-129 | 4.89E-04 | Te-132 | 3.01E+03 |
| I-130 | 2.18E+02 | Te-134 | 3.91E+02 |
| I-131 | 2.65E+04 | Ba-137m | 1.97E+04 |
| I-132 | 3.22E+04 | Ba-140 | 3.91E+01 |
| I-133 | 4.85E+04 | La-140 | 1.24E+01 |
| I-134 | 7.84E+03 | Ce-141 | 5.96E+00 |
| I-135 | 2.87E+04 | Ce-143 | 5.53E+00 |
| Cs-134 | 2.48E+04 | Pr-143 | 5.76E+00 |
| Cs-136 | 2.59E+04 | Ce-144 | 4.56E+00 |
| Cs-137 | 1.98E+04 | Pr-144 | 4.60E+00 |
| Cs-138 | 1.28E+04 | Cr-51 | 1.01E+02 |
| Rb-88 | 4.97E+04 | Mn-54 | 5.18E+01 |
| Rb-89 | 2.31E+03 | Fe-55 | 3.89E+01 |
| Sr-89 | 4.11E+01 | Fe-59 | 9.77E+00 |
| Sr-90 | 2.06E+00 | Co-58 | 1.49E+02 |
| Sr-91 | 6.37E+01 | Co-60 | 1.72E+01 |
| Sr-92 | 1.44E+01 | Zn-65 | 1.66E+01 |
| Y-90 | 5.50E-01 | Sb-124 | 1.11E+01 |
| Y-91m | 3.41E+01 | Ag-110m | 4.81E+01 |

表 4.6-3 用于设计排放源项分析的反应堆冷却剂源项

单位: Bq/g

| 核素 | 活度浓度 | 核素 | 活度浓度 |
|---------|----------|---------|----------|
| Kr-83m | 8.32E+02 | Y-91 | 6.85E-01 |
| Kr-85m | 3.78E+03 | Y-92 | 1.64E+00 |
| Kr-85 | 1.32E+04 | Y-93 | 5.57E-01 |
| Kr-87 | 2.18E+03 | Zr-95 | 8.28E-01 |
| Kr-88 | 6.58E+03 | Nb-95 | 8.24E-01 |
| Kr-89 | 1.55E+02 | Mo-99 | 1.10E+03 |
| Xe-131m | 5.82E+03 | Tc-99m | 1.03E+03 |
| Xe-133m | 7.80E+03 | Ru-103 | 7.15E-01 |
| Xe-133 | 5.51E+05 | Rh-103m | 7.15E-01 |
| Xe-135m | 8.68E+02 | Ru-106 | 2.42E-01 |
| Xe-135 | 1.42E+04 | Rh-106 | 2.42E-01 |
| Xe-137 | 3.22E+02 | Te-127m | 4.24E+00 |
| Xe-138 | 1.16E+03 | Te-129m | 1.43E+01 |
| Br-83 | 1.42E+02 | Te-129 | 1.73E+01 |
| Br-84 | 7.18E+01 | Te-131m | 4.39E+01 |
| Br-85 | 8.15E+00 | Te-131 | 2.24E+01 |
| I-129 | 6.61E-05 | Te-132 | 4.07E+02 |
| I-130 | 2.95E+01 | Te-134 | 5.28E+01 |
| I-131 | 3.58E+03 | Ba-137m | 2.66E+03 |
| I-132 | 4.35E+03 | Ba-140 | 5.28E+00 |
| I-133 | 6.55E+03 | La-140 | 1.68E+00 |
| I-134 | 1.06E+03 | Ce-141 | 8.05E-01 |
| I-135 | 3.88E+03 | Ce-143 | 7.47E-01 |
| Cs-134 | 3.35E+03 | Pr-143 | 7.78E-01 |
| Cs-136 | 3.50E+03 | Ce-144 | 6.16E-01 |
| Cs-137 | 2.68E+03 | Pr-144 | 6.22E-01 |
| Cs-138 | 1.73E+03 | Cr-51 | 1.01E+02 |
| Rb-88 | 6.72E+03 | Mn-54 | 5.18E+01 |
| Rb-89 | 3.12E+02 | Fe-55 | 3.89E+01 |
| Sr-89 | 5.55E+00 | Fe-59 | 9.77E+00 |
| Sr-90 | 2.78E-01 | Co-58 | 1.49E+02 |
| Sr-91 | 8.61E+00 | Co-60 | 1.72E+01 |
| Sr-92 | 1.95E+00 | Zn-65 | 1.66E+01 |
| Y-90 | 7.43E-02 | Sb-124 | 1.11E+01 |
| Y-91m | 4.61E+00 | Ag-110m | 4.81E+01 |

表 4.6-4 反应堆冷却剂现实源项

单位: Bq/g

| 核素 | 活度浓度 | 核素 | 活度浓度 |
|---------|----------|---------|----------|
| Kr-83m | 1.66E+01 | Y-91 | 1.37E-02 |
| Kr-85m | 7.57E+01 | Y-92 | 3.27E-02 |
| Kr-85 | 2.64E+02 | Y-93 | 1.11E-02 |
| Kr-87 | 4.35E+01 | Zr-95 | 1.66E-02 |
| Kr-88 | 1.32E+02 | Nb-95 | 1.65E-02 |
| Kr-89 | 3.11E+00 | Mo-99 | 2.21E+01 |
| Xe-131m | 1.16E+02 | Tc-99m | 2.05E+01 |
| Xe-133m | 1.56E+02 | Ru-103 | 1.43E-02 |
| Xe-133 | 1.10E+04 | Rh-103m | 1.43E-02 |
| Xe-135m | 1.74E+01 | Ru-106 | 4.84E-03 |
| Xe-135 | 2.84E+02 | Rh-106 | 4.84E-03 |
| Xe-137 | 6.43E+00 | Te-127m | 8.49E-02 |
| Xe-138 | 2.32E+01 | Te-129m | 2.86E-01 |
| Br-83 | 2.84E+00 | Te-129 | 3.46E-01 |
| Br-84 | 1.44E+00 | Te-131m | 8.78E-01 |
| Br-85 | 1.63E-01 | Te-131 | 4.49E-01 |
| I-129 | 1.32E-06 | Te-132 | 8.14E+00 |
| I-130 | 5.89E-01 | Te-134 | 1.06E+00 |
| I-131 | 7.16E+01 | Ba-137m | 5.32E+01 |
| I-132 | 8.70E+01 | Ba-140 | 1.06E-01 |
| I-133 | 1.31E+02 | La-140 | 3.35E-02 |
| I-134 | 2.12E+01 | Ce-141 | 1.61E-02 |
| I-135 | 7.76E+01 | Ce-143 | 1.49E-02 |
| Cs-134 | 6.70E+01 | Pr-143 | 1.56E-02 |
| Cs-136 | 7.00E+01 | Ce-144 | 1.23E-02 |
| Cs-137 | 5.35E+01 | Pr-144 | 1.24E-02 |
| Cs-138 | 3.46E+01 | Cr-51 | 5.05E+01 |
| Rb-88 | 1.34E+02 | Mn-54 | 2.59E+01 |
| Rb-89 | 6.24E+00 | Fe-55 | 1.95E+01 |
| Sr-89 | 1.11E-01 | Fe-59 | 4.89E+00 |
| Sr-90 | 5.57E-03 | Co-58 | 7.45E+01 |
| Sr-91 | 1.72E-01 | Co-60 | 8.60E+00 |
| Sr-92 | 3.89E-02 | Zn-65 | 8.30E+00 |
| Y-90 | 1.49E-03 | Sb-124 | 5.55E+00 |
| Y-91m | 9.22E-02 | Ag-110m | 2.41E+01 |

表 4.6-5 设计基准二回路冷却剂液相核素的活度浓度

单位: Bq/g

| 核素 | 活度浓度 | 核素 | 活度浓度 |
|--------|----------|---------|----------|
| Br-83 | 3.47E-01 | Y-91 | 4.09E-03 |
| Br-84 | 5.85E-02 | Y-92 | 8.03E-03 |
| Br-85 | 6.86E-04 | Y-93 | 2.44E-03 |
| I-129 | 3.77E-07 | Zr-95 | 4.81E-03 |
| I-130 | 1.34E-01 | Nb-95 | 4.79E-03 |
| I-131 | 2.01E+01 | Mo-99 | 6.12E+00 |
| I-132 | 1.17E+01 | Tc-99m | 5.75E+00 |
| I-133 | 3.24E+01 | Ru-103 | 4.14E-03 |
| I-134 | 1.34E+00 | Rh-103m | 4.14E-03 |
| I-135 | 1.49E+01 | Rh-106 | 3.58E-06 |
| Rb-88 | 3.39E+00 | Ag-110m | 8.01E-03 |
| Rb-89 | 1.36E-01 | Te-125m | 2.96E-03 |
| Cs-134 | 3.49E+01 | Te-127m | 2.46E-02 |
| Cs-136 | 3.58E+01 | Te-127 | 6.35E-03 |
| Cs-137 | 2.79E+01 | Te-129m | 8.27E-02 |
| Cs-138 | 1.52E+00 | Te-129 | 6.61E-02 |
| H-3 | 1.04E+04 | Te-131m | 2.30E-01 |
| Cr-51 | 7.89E-02 | Te-131 | 6.01E-02 |
| Mn-54 | 4.07E-02 | Te-132 | 2.27E+00 |
| Fe-55 | 3.05E-02 | Te-134 | 5.44E-02 |
| Fe-59 | 7.64E-03 | Ba-137m | 2.62E+01 |
| Co-58 | 1.17E-01 | Ba-140 | 3.05E-02 |
| Co-60 | 1.35E-02 | La-140 | 1.13E-02 |
| Sr-89 | 5.82E-02 | Ce-141 | 4.66E-03 |
| Sr-90 | 2.90E-03 | Ce-143 | 3.94E-03 |
| Sr-91 | 5.55E-02 | Ce-144 | 3.57E-03 |
| Sr-92 | 6.43E-03 | Pr-143 | 4.53E-03 |
| Y-90 | 5.52E-04 | Pr-144 | 3.57E-03 |
| Y-91m | 3.11E-02 | — | — |

表 4.6-6 设计基准二回路蒸汽侧的核素活度浓度

单位: Bq/g

| 核素 | 活度浓度 |
|---------|----------|
| Kr-83m | 3.00E-02 |
| Kr-85m | 1.22E-01 |
| Kr-85 | 4.24E-01 |
| Kr-87 | 6.98E-02 |
| Kr-88 | 2.12E-01 |
| Kr-89 | 4.90E-03 |
| Xe-131m | 1.86E-01 |
| Xe-133m | 2.51E-01 |
| Xe-133 | 1.77E+01 |
| Xe-135m | 1.89E-01 |
| Xe-135 | 4.81E-01 |
| Xe-137 | 1.02E-02 |
| Xe-138 | 3.71E-02 |
| I-129 | 4.70E-09 |
| I-130 | 1.67E-03 |
| I-131 | 2.51E-01 |
| I-132 | 1.46E-01 |
| I-133 | 4.04E-01 |
| I-134 | 1.68E-02 |
| I-135 | 1.86E-01 |

表 4.6-7 用于设计排放源项分析的二回路冷却剂液相源项

单位: Bq/g

| 核素 | 活度浓度 | 核素 | 活度浓度 |
|--------|----------|---------|----------|
| Br-83 | 6.91E-04 | Y-91 | 8.14E-06 |
| Br-84 | 1.16E-04 | Y-92 | 1.60E-05 |
| Br-85 | 1.37E-06 | Y-93 | 4.86E-06 |
| I-129 | 7.50E-10 | Zr-95 | 9.57E-06 |
| I-130 | 2.67E-04 | Nb-95 | 9.53E-06 |
| I-131 | 4.00E-02 | Mo-99 | 1.22E-02 |
| I-132 | 2.33E-02 | Tc-99m | 1.14E-02 |
| I-133 | 6.45E-02 | Ru-103 | 8.24E-06 |
| I-134 | 2.67E-03 | Rh-103m | 8.24E-06 |
| I-135 | 2.97E-02 | Rh-106 | 7.13E-09 |
| Rb-88 | 6.75E-03 | Ag-110m | 1.59E-05 |
| Rb-89 | 2.71E-04 | Te-127m | 4.90E-05 |
| Cs-134 | 6.95E-02 | Te-129m | 1.65E-04 |
| Cs-136 | 7.13E-02 | Te-129 | 1.32E-04 |
| Cs-137 | 5.55E-02 | Te-131m | 4.58E-04 |
| Cs-138 | 3.03E-03 | Te-131 | 1.20E-04 |
| Cr-51 | 1.57E-04 | Te-132 | 4.52E-03 |
| Mn-54 | 8.10E-05 | Te-134 | 1.08E-04 |
| Fe-55 | 6.07E-05 | Ba-137m | 5.22E-02 |
| Fe-59 | 1.52E-05 | Ba-140 | 6.07E-05 |
| Co-58 | 2.33E-04 | La-140 | 2.25E-05 |
| Co-60 | 2.69E-05 | Ce-141 | 9.28E-06 |
| Sr-89 | 1.16E-04 | Ce-143 | 7.84E-06 |
| Sr-90 | 5.77E-06 | Ce-144 | 7.11E-06 |
| Sr-91 | 1.10E-04 | Pr-143 | 9.02E-06 |
| Sr-92 | 1.28E-05 | Pr-144 | 7.11E-06 |
| Y-90 | 1.10E-06 | Zn-65 | 2.60E-05 |
| Y-91m | 6.19E-05 | Sb-124 | 5.93E-05 |

表 4.6-8 用于设计排放源项分析的二回路冷却剂气相源项

单位: Bq/g

| 核素 | 活度浓度 |
|---------|----------|
| Kr-83m | 5.97E-05 |
| Kr-85m | 2.43E-04 |
| Kr-85 | 8.44E-04 |
| Kr-87 | 1.39E-04 |
| Kr-88 | 4.22E-04 |
| Kr-89 | 9.75E-06 |
| Xe-131m | 3.70E-04 |
| Xe-133m | 5.00E-04 |
| Xe-133 | 3.52E-02 |
| Xe-135m | 3.76E-04 |
| Xe-135 | 9.57E-04 |
| Xe-137 | 2.03E-05 |
| Xe-138 | 7.38E-05 |
| I-129 | 9.36E-12 |
| I-130 | 3.32E-06 |
| I-131 | 5.00E-04 |
| I-132 | 2.91E-04 |
| I-133 | 8.04E-04 |
| I-134 | 3.34E-05 |
| I-135 | 3.70E-04 |

表 4.6-9 单台机组液态流出物年设计排放量

单位: Bq/a

| 核素 | 核岛废液 | 二回路 | SRTF 释放 | 总释放 |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| 活化腐蚀产物 | | | | |
| ⁵¹ Cr | 1.15E+07 | 3.39E+06 | 2.57E+07 | 4.06E+07 |
| ⁵⁴ Mn | 7.06E+06 | 1.75E+06 | 1.60E+07 | 2.48E+07 |
| ⁵⁵ Fe | 5.33E+06 | 1.31E+06 | 2.55E+07 | 3.21E+07 |
| ⁵⁹ Fe | 1.20E+06 | 3.28E+05 | 8.69E+06 | 1.02E+07 |
| ⁵⁸ Co | 1.93E+07 | 5.04E+06 | 4.94E+07 | 7.37E+07 |
| ⁶⁰ Co | 2.38E+06 | 5.81E+05 | 6.03E+07 | 6.33E+07 |
| ⁶⁵ Zn | 1.11E+06 | 5.62E+05 | 1.30E+03 | 1.67E+06 |
| ^{110m} Ag | 6.65E+06 | 3.44E+05 | 4.25E+06 | 1.12E+07 |
| ¹²⁴ Sb | 1.54E+06 | 1.28E+06 | 1.52E+06 | 4.34E+06 |
| 裂变产物 | | | | |
| ⁸³ Br | 3.80E+05 | 1.49E+07 | 8.23E+04 | 1.54E+07 |
| ⁸⁴ Br | 4.29E+04 | 2.51E+06 | 4.16E+04 | 2.59E+06 |
| ⁸⁵ Br | 4.54E+02 | 2.96E+04 | 4.73E+03 | 3.48E+04 |
| ⁸⁸ Rb | 3.40E+06 | 1.46E+08 | 3.90E+06 | 1.53E+08 |
| ⁸⁹ Sr | 3.50E+05 | 2.51E+06 | 3.22E+05 | 3.18E+06 |
| ⁹⁰ Sr | 2.03E+04 | 1.25E+05 | 3.57E+04 | 1.81E+05 |
| ⁹¹ Sr | 2.87E+04 | 2.38E+06 | 4.99E+03 | 2.41E+06 |
| ⁹² Sr | 1.78E+03 | 2.77E+05 | 1.13E+03 | 2.80E+05 |
| ⁹⁰ Y | 1.68E+04 | 2.38E+04 | 4.31E+01 | 4.06E+04 |
| ^{91m} Y | 1.82E+04 | 1.34E+06 | 2.68E+03 | 1.36E+06 |
| ⁹¹ Y | 4.97E+04 | 1.76E+05 | 2.84E+05 | 5.10E+05 |
| ⁹² Y | 3.71E+03 | 3.46E+05 | 9.49E+02 | 3.51E+05 |
| ⁹³ Y | 1.98E+03 | 1.05E+05 | 3.23E+02 | 1.07E+05 |
| ⁹⁵ Zr | 5.31E+04 | 2.07E+05 | 3.90E+06 | 4.16E+06 |
| ⁹⁵ Nb | 5.68E+04 | 2.06E+05 | 6.74E+06 | 7.00E+06 |
| ⁹⁹ Mo | 2.36E+07 | 2.64E+08 | 8.53E+05 | 2.88E+08 |
| ^{99m} Tc | 2.26E+07 | 2.46E+08 | 5.95E+05 | 2.69E+08 |
| ¹⁰³ Ru | 4.35E+04 | 1.78E+05 | 1.03E+06 | 1.25E+06 |
| ^{103m} Rh | 4.35E+04 | 1.78E+05 | 4.15E+02 | 2.22E+05 |

表 4.6-9 续 单台机组液态流出物年设计排放量

单位: Bq/a

| 核素 | 核岛废液 | 二回路 | SRTF 释放 | 总释放 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| ¹⁰⁶ Ru | 1.65E+04 | 1.54E+02 | 1.40E+02 | 1.68E+04 |
| ¹⁰⁶ Rh | 1.65E+04 | 1.54E+02 | 1.40E+02 | 1.68E+04 |
| ^{127m} Te | 2.76E+05 | 1.06E+06 | 2.46E+03 | 1.34E+06 |
| ^{129m} Te | 7.19E+05 | 3.57E+06 | 8.31E+03 | 4.30E+06 |
| ¹²⁹ Te | 6.29E+05 | 2.85E+06 | 1.00E+04 | 3.49E+06 |
| ^{131m} Te | 5.36E+05 | 9.90E+06 | 2.55E+04 | 1.05E+07 |
| ¹³¹ Te | 8.34E+04 | 2.59E+06 | 1.30E+04 | 2.69E+06 |
| ¹³² Te | 1.00E+07 | 9.77E+07 | 2.36E+05 | 1.08E+08 |
| ¹³⁴ Te | 1.25E+04 | 2.33E+06 | 3.06E+04 | 2.37E+06 |
| ¹²⁹ I | 2.95E+01 | 1.62E+01 | 3.84E-02 | 4.57E+01 |
| ¹³⁰ I | 4.01E+05 | 5.77E+06 | 1.71E+04 | 6.19E+06 |
| ¹³¹ I | 6.30E+08 | 8.64E+08 | 7.96E+06 | 1.50E+09 |
| ¹³² I | 4.76E+07 | 5.04E+08 | 2.53E+06 | 5.54E+08 |
| ¹³³ I | 1.56E+08 | 1.39E+09 | 3.80E+06 | 1.55E+09 |
| ¹³⁴ I | 1.08E+06 | 5.77E+07 | 6.15E+05 | 5.94E+07 |
| ¹³⁵ I | 2.94E+07 | 6.42E+08 | 2.25E+06 | 6.74E+08 |
| ¹³⁴ Cs | 1.17E+09 | 1.50E+09 | 4.09E+07 | 2.71E+09 |
| ¹³⁶ Cs | 8.47E+08 | 1.54E+09 | 3.34E+06 | 2.39E+09 |
| ¹³⁷ Cs | 9.64E+08 | 1.20E+09 | 5.84E+07 | 2.22E+09 |
| ¹³⁸ Cs | 1.57E+06 | 6.55E+07 | 1.00E+06 | 6.81E+07 |
| ^{137m} Ba | 3.33E+08 | 1.13E+09 | 1.55E+06 | 1.46E+09 |
| ¹⁴⁰ Ba | 2.58E+05 | 1.31E+06 | 3.23E+06 | 4.80E+06 |
| ¹⁴⁰ La | 2.38E+05 | 4.86E+05 | 9.72E+02 | 7.25E+05 |
| ¹⁴¹ Ce | 4.75E+04 | 2.01E+05 | 8.15E+05 | 1.06E+06 |
| ¹⁴³ Ce | 8.34E+03 | 1.69E+05 | 4.34E+02 | 1.78E+05 |
| ¹⁴³ Pr | 4.10E+04 | 1.95E+05 | 4.51E+02 | 2.36E+05 |
| ¹⁴⁴ Ce | 4.28E+04 | 1.54E+05 | 1.38E+07 | 1.40E+07 |
| ¹⁴⁴ Pr | 4.32E+04 | 1.54E+05 | 3.60E+02 | 1.98E+05 |
| 总量 | 4.30E+09 | 9.72E+09 | 3.50E+08 | 1.44E+10 |
| 液态氙: 4.72E+13Bq/a | | | | |
| 液态 ¹⁴ C: 5.01E+10Bq/a | | | | |

表 4.6-10 单台机组液态流出物年现实排放量

单位: Bq/a

| 核素 | 核岛废液 | SRTF 排放量 | 总释放 |
|--------------------|----------|----------|----------|
| 活化腐蚀产物 | | | |
| ⁵¹ Cr | 2.96E+06 | 2.57E+07 | 2.87E+07 |
| ⁵⁴ Mn | 1.86E+06 | 1.60E+07 | 1.79E+07 |
| ⁵⁵ Fe | 1.41E+06 | 2.55E+07 | 2.69E+07 |
| ⁵⁹ Fe | 3.12E+05 | 8.69E+06 | 9.00E+06 |
| ⁵⁸ Co | 5.07E+06 | 4.94E+07 | 5.45E+07 |
| ⁶⁰ Co | 6.25E+05 | 6.03E+07 | 6.09E+07 |
| ⁶⁵ Zn | 5.92E+05 | 1.30E+03 | 5.93E+05 |
| ^{110m} Ag | 1.75E+06 | 4.25E+06 | 6.00E+06 |
| ¹²⁴ Sb | 4.04E+05 | 1.52E+06 | 1.92E+06 |
| 裂变产物 | | | |
| ⁸³ Br | 3.29E+05 | 8.23E+04 | 4.12E+05 |
| ⁸⁴ Br | 3.77E+04 | 4.16E+04 | 7.94E+04 |
| ⁸⁵ Br | 3.92E+02 | 4.73E+03 | 5.12E+03 |
| ⁸⁸ Rb | 9.32E+04 | 3.90E+06 | 3.99E+06 |
| ⁸⁹ Sr | 1.02E+05 | 3.22E+05 | 4.25E+05 |
| ⁹⁰ Sr | 5.70E+03 | 3.57E+04 | 4.14E+04 |
| ⁹¹ Sr | 5.55E+03 | 4.99E+03 | 9.84E+03 |
| ⁹² Sr | 4.85E+03 | 1.13E+03 | 1.43E+03 |
| ⁹⁰ Y | 3.07E+03 | 4.31E+01 | 5.60E+03 |
| ^{91m} Y | 1.32E+04 | 2.68E+03 | 5.76E+03 |
| ⁹¹ Y | 2.96E+02 | 2.84E+05 | 2.97E+05 |
| ⁹² Y | 6.25E+02 | 9.49E+02 | 1.58E+03 |
| ⁹³ Y | 3.33E+02 | 3.23E+02 | 6.56E+02 |
| ⁹⁵ Zr | 1.50E+04 | 3.90E+06 | 3.91E+06 |
| ⁹⁵ Nb | 1.66E+04 | 6.74E+06 | 6.76E+06 |
| ⁹⁹ Mo | 4.18E+06 | 8.53E+05 | 5.04E+06 |
| ^{99m} Tc | 3.96E+06 | 5.95E+05 | 4.56E+06 |
| ¹⁰³ Ru | 1.23E+04 | 1.03E+06 | 1.04E+06 |
| ^{103m} Rh | 1.23E+04 | 4.15E+02 | 1.27E+04 |

表 4.6-10 续 单台机组液态流出物年现实排放量

单位: Bq/a

| 核素 | 核岛废液 | SRTF 排放量 | 总释放 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| ¹⁰⁶ Ru | 4.88E+03 | 1.40E+02 | 5.02E+03 |
| ¹⁰⁶ Rh | 4.88E+03 | 1.40E+02 | 5.02E+03 |
| ^{127m} Te | 7.99E+04 | 2.46E+03 | 8.24E+04 |
| ^{129m} Te | 2.29E+05 | 8.31E+03 | 2.38E+05 |
| ¹²⁹ Te | 1.52E+05 | 1.00E+04 | 1.62E+05 |
| ^{131m} Te | 7.73E+04 | 2.55E+04 | 1.03E+05 |
| ¹³¹ Te | 1.41E+04 | 1.30E+04 | 2.71E+04 |
| ¹³² Te | 1.81E+06 | 2.36E+05 | 2.05E+06 |
| ¹³⁴ Te | 2.07E+03 | 3.06E+04 | 3.27E+04 |
| ¹²⁹ I | 2.63E+01 | 3.84E-02 | 2.63E+01 |
| ¹³⁰ I | 3.55E+05 | 1.71E+04 | 3.72E+05 |
| ¹³¹ I | 5.77E+08 | 7.96E+06 | 5.85E+08 |
| ¹³² I | 4.14E+07 | 2.53E+06 | 4.40E+07 |
| ¹³³ I | 1.38E+08 | 3.80E+06 | 1.42E+08 |
| ¹³⁴ I | 9.36E+05 | 6.15E+05 | 1.55E+06 |
| ¹³⁵ I | 2.59E+07 | 2.25E+06 | 2.81E+07 |
| ¹³⁴ Cs | 5.14E+07 | 4.09E+07 | 9.23E+07 |
| ¹³⁶ Cs | 3.00E+07 | 3.34E+06 | 3.32E+07 |
| ¹³⁷ Cs | 4.22E+07 | 5.84E+07 | 1.01E+08 |
| ¹³⁸ Cs | 4.29E+04 | 1.00E+06 | 1.04E+06 |
| ^{137m} Ba | 1.29E+08 | 1.55E+06 | 1.30E+08 |
| ¹⁴⁰ Ba | 6.11E+04 | 3.23E+06 | 3.29E+06 |
| ¹⁴⁰ La | 6.14E+04 | 9.72E+02 | 6.24E+04 |
| ¹⁴¹ Ce | 1.25E+04 | 8.15E+05 | 8.28E+05 |
| ¹⁴³ Ce | 1.41E+03 | 4.34E+02 | 1.84E+03 |
| ¹⁴³ Pr | 9.84E+03 | 4.51E+02 | 1.03E+04 |
| ¹⁴⁴ Ce | 1.28E+04 | 1.38E+07 | 1.38E+07 |
| ¹⁴⁴ Pr | 1.29E+04 | 3.60E+02 | 1.33E+04 |
| 总量 | 1.06E+09 | 3.50E+08 | 1.41E+09 |
| 液态氙: 4.06E+13Bq/a | | | |
| 液态 ¹⁴ C: 4.42E+10Bq/a | | | |

表 4.6-11 单机组液态年设计排放量与控制值的比较

单位: Bq/a

| 核素 | GB6249-2011 中规定的 单机组排放量控制值 | 单机组排放量计算值 |
|----------------------------|-------------------------------|-----------|
| 除氙和 ¹⁴ C 外的其余核素 | 5.00E+10 | 1.44E+10 |
| 氙 | 7.50E+13 | 4.72E+13 |
| ¹⁴ C | 1.50E+11 | 5.01E+10 |

表 4.6-12 单台机组气载放射性年设计排放量

单位: Bq/a

| 惰性气体 | 废气处理系统 | 厂房通风区域 | | | | 总量 |
|--------------------|----------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
| | | 安全壳 | 辅助厂房 | 燃料操作区域 ⁽¹⁾ | 二回路 | |
| ^{83m} Kr | 4.13E+02 | 2.52E+10 | 1.18E+11 | 0.00E+00 | 4.23E+09 | 1.47E+11 |
| ^{85m} Kr | 7.55E+08 | 1.15E+11 | 5.39E+11 | 2.27E+00 | 1.72E+10 | 6.72E+11 |
| ⁸⁵ Kr | 1.95E+13 | 4.00E+11 | 1.88E+12 | 2.58E+08 | 5.97E+10 | 2.18E+13 |
| ⁸⁷ Kr | 7.46E-02 | 6.59E+10 | 3.10E+11 | 5.87E-18 | 9.84E+09 | 3.86E+11 |
| ⁸⁸ Kr | 8.44E+06 | 1.99E+11 | 9.37E+11 | 4.27E-04 | 2.99E+10 | 1.17E+12 |
| ⁸⁹ Kr | 0.00E+00 | 4.71E+09 | 2.21E+10 | 0.00E+00 | 6.90E+08 | 2.75E+10 |
| ^{131m} Xe | 6.57E+11 | 1.76E+11 | 8.29E+11 | 4.22E+07 | 2.62E+10 | 1.69E+12 |
| ^{133m} Xe | 1.14E+07 | 2.36E+11 | 1.11E+12 | 1.86E+07 | 3.54E+10 | 1.38E+12 |
| ¹³³ Xe | 2.54E+12 | 1.67E+13 | 7.85E+13 | 2.44E+09 | 2.49E+12 | 1.00E+14 |
| ^{135m} Xe | 0.00E+00 | 2.63E+10 | 1.23E+11 | 9.77E-02 | 2.66E+10 | 1.76E+11 |
| ¹³⁵ Xe | 4.37E-22 | 4.30E+11 | 2.02E+12 | 2.88E+05 | 6.77E+10 | 2.52E+12 |
| ¹³⁷ Xe | 0.00E+00 | 9.74E+09 | 4.58E+10 | 0.00E+00 | 1.44E+09 | 5.70E+10 |
| ¹³⁸ Xe | 0.00E+00 | 3.52E+10 | 1.65E+11 | 0.00E+00 | 5.22E+09 | 2.05E+11 |
| 总量 | 2.27E+13 | 1.84E+13 | 8.66E+13 | 2.76E+09 | 2.78E+12 | 1.30E+14 |

| 碘 | 厂房/区域通风 | | | | 总量 |
|------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 燃料操作区域 ⁽¹⁾ | 安全壳 | 辅助厂房 | 二回路 | |
| ¹²⁹ I | 6.70E+02 | 9.98E+00 | 1.50E+01 | 6.63E-02 | 6.95E+02 |
| ¹³⁰ I | 7.59E+03 | 4.44E+06 | 6.67E+06 | 2.35E+04 | 1.11E+07 |
| ¹³¹ I | 2.79E+09 | 5.41E+08 | 8.11E+08 | 3.54E+06 | 4.15E+09 |
| ¹³² I | 3.47E-06 | 6.50E+08 | 9.85E+08 | 2.06E+06 | 1.64E+09 |
| ¹³³ I | 2.84E+07 | 9.89E+08 | 1.48E+09 | 5.69E+06 | 2.50E+09 |
| ¹³⁴ I | 0.00E+00 | 1.57E+08 | 2.40E+08 | 2.36E+05 | 3.97E+08 |
| ¹³⁵ I | 4.00E+03 | 5.83E+08 | 8.78E+08 | 2.62E+06 | 1.46E+09 |
| 总量 | 2.82E+09 | 2.92E+09 | 4.40E+09 | 1.42E+07 | 1.02E+10 |

| 核素 | 厂房/区域通风 | | | 总量 |
|--------------------|----------|----------|-----------------------|----------|
| | 安全壳 | 辅助厂房 | 燃料操作区域 ⁽¹⁾ | |
| ⁶⁵ Zn | 2.01E+06 | 1.95E+06 | 1.65E+07 | 2.05E+07 |
| ⁵¹ Cr | 1.22E+07 | 1.19E+07 | 3.50E+07 | 5.91E+07 |
| ⁵⁴ Mn | 6.28E+06 | 6.08E+06 | 5.20E+07 | 6.44E+07 |
| ⁵⁵ Fe | 4.71E+06 | 4.57E+06 | 3.93E+07 | 4.86E+07 |
| ⁵⁹ Fe | 1.18E+06 | 1.15E+06 | 5.66E+06 | 7.99E+06 |
| ⁵⁸ Co | 1.81E+07 | 1.75E+07 | 1.41E+08 | 1.77E+08 |
| ⁶⁰ Co | 2.08E+06 | 2.02E+06 | 1.74E+07 | 2.15E+07 |
| ¹²⁴ Sb | 1.35E+06 | 1.30E+06 | 6.01E+06 | 8.66E+06 |
| ^{110m} Ag | 5.84E+06 | 5.66E+06 | 4.80E+07 | 5.95E+07 |
| ⁸³ Br | 1.72E+07 | 1.61E+07 | 0.00E+00 | 3.33E+07 |
| ⁸⁴ Br | 8.70E+06 | 8.12E+06 | 0.00E+00 | 1.68E+07 |
| ⁸⁵ Br | 9.87E+05 | 9.22E+05 | 0.00E+00 | 1.91E+06 |
| ⁸⁸ Rb | 8.14E+08 | 2.13E+09 | 0.00E+00 | 2.94E+09 |
| ⁸⁹ Rb | 3.78E+07 | 9.89E+07 | 0.00E+00 | 1.37E+08 |

注:

- (1) 燃料操作区域在辅助厂房内, 但被分开考虑。
(2) 二回路粒子的排放量相比其他区域要小很多, 因此本文未考虑粒子二回路的排放。

表 4.6-12 续 单台机组气载放射性年设计排放量

单位: Bq/a

| 核素 | 厂房/区域通风 | | | 总量 |
|----------------------------------|----------|----------|-----------------------|----------|
| | 安全壳 | 辅助厂房 | 燃料操作区域 ⁽¹⁾ | |
| ⁸⁹ Sr | 6.73E+05 | 6.52E+05 | 3.68E+06 | 5.01E+06 |
| ⁹⁰ Sr | 3.37E+04 | 3.27E+04 | 2.82E+05 | 3.48E+05 |
| ⁹¹ Sr | 1.04E+06 | 1.01E+06 | 3.07E+01 | 2.05E+06 |
| ⁹² Sr | 2.36E+05 | 2.29E+05 | 2.18E-08 | 4.65E+05 |
| ⁹⁰ Y | 9.01E+03 | 8.73E+03 | 9.30E+02 | 1.87E+04 |
| ^{91m} Y | 5.58E+05 | 5.41E+05 | 0.00E+00 | 1.10E+06 |
| ⁹¹ Y | 8.30E+04 | 8.05E+04 | 5.30E+05 | 6.94E+05 |
| ⁹² Y | 1.98E+05 | 1.92E+05 | 9.82E-06 | 3.90E+05 |
| ⁹³ Y | 6.75E+04 | 6.54E+04 | 3.87E+00 | 1.33E+05 |
| ⁹⁵ Zr | 1.00E+05 | 9.73E+04 | 7.03E+05 | 9.00E+05 |
| ⁹⁵ Nb | 9.99E+04 | 9.68E+04 | 3.68E+05 | 5.65E+05 |
| ⁹⁹ Mo | 1.34E+08 | 1.30E+08 | 1.47E+07 | 2.79E+08 |
| ^{99m} Tc | 1.24E+08 | 1.20E+08 | 3.29E+01 | 2.44E+08 |
| ¹⁰³ Ru | 8.66E+04 | 8.40E+04 | 3.63E+05 | 5.34E+05 |
| ^{103m} Rh | 8.66E+04 | 8.40E+04 | 0.00E+00 | 1.71E+05 |
| ¹⁰⁶ Ru | 2.93E+04 | 2.84E+04 | 1.24E+06 | 1.30E+06 |
| ¹⁰⁶ Rh | 2.93E+04 | 2.84E+04 | 1.24E+06 | 1.30E+06 |
| ^{127m} Te | 5.14E+05 | 4.98E+05 | 4.19E+06 | 5.20E+06 |
| ^{129m} Te | 1.74E+06 | 1.68E+06 | 6.11E+06 | 9.53E+06 |
| ¹²⁹ Te | 2.10E+06 | 2.03E+06 | 0.00E+00 | 4.13E+06 |
| ^{131m} Te | 5.32E+06 | 5.16E+06 | 7.50E+04 | 1.06E+07 |
| ¹³¹ Te | 2.72E+06 | 2.63E+06 | 0.00E+00 | 5.35E+06 |
| ¹³² Te | 4.93E+07 | 4.78E+07 | 7.56E+06 | 1.05E+08 |
| ¹³⁴ Te | 6.40E+06 | 6.21E+06 | 0.00E+00 | 1.26E+07 |
| ¹³⁴ Cs | 4.06E+08 | 1.06E+09 | 3.38E+09 | 4.85E+09 |
| ¹³⁶ Cs | 4.24E+08 | 1.11E+09 | 5.05E+08 | 2.04E+09 |
| ¹³⁷ Cs | 3.24E+08 | 8.47E+08 | 2.71E+09 | 3.88E+09 |
| ¹³⁸ Cs | 2.10E+08 | 5.48E+08 | 0.00E+00 | 7.58E+08 |
| ^{137m} Ba | 3.23E+08 | 3.13E+08 | 0.00E+00 | 6.36E+08 |
| ¹⁴⁰ Ba | 6.40E+05 | 6.21E+05 | 7.48E+05 | 2.01E+06 |
| ¹⁴⁰ La | 2.03E+05 | 1.97E+05 | 6.94E+03 | 4.07E+05 |
| ¹⁴¹ Ce | 9.76E+04 | 9.46E+04 | 3.33E+05 | 5.25E+05 |
| ¹⁴³ Ce | 9.06E+04 | 8.78E+04 | 1.73E+03 | 1.80E+05 |
| ¹⁴³ Pr | 9.43E+04 | 9.14E+04 | 1.19E+05 | 3.05E+05 |
| ¹⁴⁴ Ce | 7.47E+04 | 7.24E+04 | 6.18E+05 | 7.65E+05 |
| ¹⁴⁴ Pr | 7.53E+04 | 7.30E+04 | 0.00E+00 | 1.48E+05 |
| 总量 | 2.95E+09 | 6.50E+09 | 7.00E+09 | 1.65E+10 |
| 气态氙: 5.25E+12Bq/a | | | | |
| 气态 ¹⁴ C: 4.51E+11Bq/a | | | | |

注:

- (1) 燃料操作区域在辅助厂房内, 但被分开考虑。
- (2) 二回路粒子的排放量相比其他区域要小很多, 因此本文未考虑粒子二回路的排放。

表 4.6-13 单台机组气载放射性年现实排放量

单位: Bq/a

| 惰性气体 | 废气系统 | 厂房通风区域 | | | 总量 |
|--------------------|----------|----------|----------|-----------------------|----------|
| | | 安全壳 | 辅助厂房 | 燃料操作区域 ⁽¹⁾ | |
| ^{83m} Kr | 4.24E+00 | 5.04E+08 | 2.37E+09 | 0.00E+00 | 2.87E+09 |
| ^{85m} Kr | 7.74E+06 | 2.29E+09 | 1.08E+10 | 4.54E-02 | 1.31E+10 |
| ⁸⁵ Kr | 2.00E+11 | 8.01E+09 | 3.76E+10 | 5.16E+06 | 2.46E+11 |
| ⁸⁷ Kr | 7.65E-04 | 1.32E+09 | 6.19E+09 | 0.00E+00 | 7.51E+09 |
| ⁸⁸ Kr | 8.65E+04 | 3.99E+09 | 1.87E+10 | 8.53E-06 | 2.27E+10 |
| ⁸⁹ Kr | 0.00E+00 | 9.42E+07 | 4.42E+08 | 0.00E+00 | 5.36E+08 |
| ^{131m} Xe | 6.73E+09 | 3.53E+09 | 1.66E+10 | 8.43E+05 | 2.69E+10 |
| ^{133m} Xe | 1.16E+05 | 4.72E+09 | 2.22E+10 | 3.72E+05 | 2.69E+10 |
| ¹³³ Xe | 2.61E+10 | 3.34E+11 | 1.57E+12 | 4.87E+07 | 1.93E+12 |
| ^{135m} Xe | 0.00E+00 | 5.26E+08 | 2.47E+09 | 1.95E-03 | 3.00E+09 |
| ¹³⁵ Xe | 0.00E+00 | 8.60E+09 | 4.04E+10 | 5.77E+03 | 4.90E+10 |
| ¹³⁷ Xe | 0.00E+00 | 1.95E+08 | 9.16E+08 | 0.00E+00 | 1.11E+09 |
| ¹³⁸ Xe | 0.00E+00 | 7.03E+08 | 3.30E+09 | 0.00E+00 | 4.00E+09 |
| 总量 | 2.33E+11 | 3.69E+11 | 1.73E+12 | 5.51E+07 | 2.33E+12 |

| 碘 | 厂房/区域通风 | | | 总量 |
|------------------|-----------------------|----------|----------|----------|
| | 燃料操作区域 ⁽¹⁾ | 安全壳 | 辅助厂房 | |
| ¹²⁹ I | 1.34E+01 | 2.00E-01 | 2.99E-01 | 1.39E+01 |
| ¹³⁰ I | 1.52E+02 | 8.88E+04 | 1.33E+05 | 2.22E+05 |
| ¹³¹ I | 5.58E+07 | 1.08E+07 | 1.62E+07 | 8.28E+07 |
| ¹³² I | 0.00E+00 | 1.30E+07 | 1.97E+07 | 3.27E+07 |
| ¹³³ I | 5.68E+05 | 1.98E+07 | 2.97E+07 | 5.01E+07 |
| ¹³⁴ I | 0.00E+00 | 3.13E+06 | 4.80E+06 | 7.93E+06 |
| ¹³⁵ I | 7.99E+01 | 1.17E+07 | 1.76E+07 | 2.93E+07 |
| 总量 | 5.63E+07 | 5.85E+07 | 8.81E+07 | 2.03E+08 |

| 核素 | 厂房/区域通风 | | | 总量 |
|--------------------|----------|----------|-----------------------|----------|
| | 安全壳 | 辅助厂房 | 燃料操作区域 ⁽¹⁾ | |
| ⁶⁵ Zn | 1.01E+06 | 9.75E+05 | 8.27E+06 | 1.03E+07 |
| ⁵¹ Cr | 6.12E+06 | 5.93E+06 | 1.75E+07 | 2.96E+07 |
| ⁵⁴ Mn | 3.14E+06 | 3.04E+06 | 2.60E+07 | 3.22E+07 |
| ⁵⁵ Fe | 2.36E+06 | 2.28E+06 | 1.97E+07 | 2.43E+07 |
| ⁵⁹ Fe | 5.92E+05 | 5.74E+05 | 2.83E+06 | 4.00E+06 |
| ⁵⁸ Co | 9.03E+06 | 8.75E+06 | 7.03E+07 | 8.81E+07 |
| ⁶⁰ Co | 1.04E+06 | 1.01E+06 | 8.70E+06 | 1.08E+07 |
| ¹²⁴ Sb | 6.73E+05 | 6.52E+05 | 3.01E+06 | 4.34E+06 |
| ^{110m} Ag | 2.92E+06 | 2.83E+06 | 2.40E+07 | 2.98E+07 |
| ⁸³ Br | 3.44E+05 | 3.21E+05 | 0.00E+00 | 6.65E+05 |
| ⁸⁴ Br | 1.74E+05 | 1.62E+05 | 0.00E+00 | 3.36E+05 |
| ⁸⁵ Br | 1.97E+04 | 1.84E+04 | 0.00E+00 | 3.81E+04 |
| ⁸⁸ Rb | 1.63E+07 | 4.25E+07 | 0.00E+00 | 5.88E+07 |
| ⁸⁹ Rb | 7.57E+05 | 1.98E+06 | 0.00E+00 | 2.74E+06 |

注: (1) 燃料操作区域在辅助厂房内, 但被分开考虑。

表 4.6-13 续 单台机组气载放射性年现实排放量

单位: Bq/a

| 核素 | 厂房/区域通风 | | | 总量 |
|--------------------------------------|----------|----------|-----------------------|----------|
| | 安全壳 | 辅助厂房 | 燃料操作区域 ⁽¹⁾ | |
| ⁸⁹ Sr | 1.35E+04 | 1.30E+04 | 7.36E+04 | 1.00E+05 |
| ⁹⁰ Sr | 6.75E+02 | 6.54E+02 | 5.64E+03 | 6.97E+03 |
| ⁹¹ Sr | 2.09E+04 | 2.02E+04 | 6.13E-01 | 4.11E+04 |
| ⁹² Sr | 4.72E+03 | 4.57E+03 | 0.00E+00 | 9.29E+03 |
| ⁹⁰ Y | 1.80E+02 | 1.75E+02 | 1.86E+01 | 3.74E+02 |
| ^{91m} Y | 1.12E+04 | 1.08E+04 | 0.00E+00 | 2.20E+04 |
| ⁹¹ Y | 1.66E+03 | 1.61E+03 | 1.06E+04 | 1.39E+04 |
| ⁹² Y | 3.96E+03 | 3.84E+03 | 1.96E-07 | 7.80E+03 |
| ⁹³ Y | 1.35E+03 | 1.31E+03 | 7.74E-02 | 2.66E+03 |
| ⁹⁵ Zr | 2.01E+03 | 1.95E+03 | 1.41E+04 | 1.81E+04 |
| ⁹⁵ Nb | 2.00E+03 | 1.94E+03 | 7.37E+03 | 1.13E+04 |
| ⁹⁹ Mo | 2.67E+06 | 2.59E+06 | 2.94E+05 | 5.55E+06 |
| ^{99m} Tc | 2.49E+06 | 2.41E+06 | 6.58E-01 | 4.90E+06 |
| ¹⁰³ Ru | 1.73E+03 | 1.68E+03 | 7.26E+03 | 1.07E+04 |
| ^{103m} Rh | 1.73E+03 | 1.68E+03 | 0.00E+00 | 3.41E+03 |
| ¹⁰⁶ Ru | 5.86E+02 | 5.68E+02 | 2.48E+04 | 2.60E+04 |
| ¹⁰⁶ Rh | 5.86E+02 | 5.68E+02 | 2.48E+04 | 2.60E+04 |
| ^{127m} Te | 1.03E+04 | 9.97E+03 | 8.37E+04 | 1.04E+05 |
| ^{129m} Te | 3.47E+04 | 3.36E+04 | 1.22E+05 | 1.90E+05 |
| ¹²⁹ Te | 4.19E+04 | 4.06E+04 | 0.00E+00 | 8.25E+04 |
| ^{131m} Te | 1.06E+05 | 1.03E+05 | 1.50E+03 | 2.11E+05 |
| ¹³¹ Te | 5.44E+04 | 5.27E+04 | 0.00E+00 | 1.07E+05 |
| ¹³² Te | 9.86E+05 | 9.55E+05 | 1.51E+05 | 2.09E+06 |
| ¹³⁴ Te | 1.28E+05 | 1.24E+05 | 0.00E+00 | 2.52E+05 |
| ¹³⁴ Cs | 8.12E+06 | 2.12E+07 | 6.77E+07 | 9.70E+07 |
| ¹³⁶ Cs | 8.48E+06 | 2.22E+07 | 1.01E+07 | 4.08E+07 |
| ¹³⁷ Cs | 6.48E+06 | 1.69E+07 | 5.42E+07 | 7.76E+07 |
| ¹³⁸ Cs | 4.19E+06 | 1.10E+07 | 0.00E+00 | 1.52E+07 |
| ^{137m} Ba | 6.45E+06 | 6.25E+06 | 0.00E+00 | 1.27E+07 |
| ¹⁴⁰ Ba | 1.28E+04 | 1.24E+04 | 1.50E+04 | 4.02E+04 |
| ¹⁴⁰ La | 4.06E+03 | 3.94E+03 | 1.39E+02 | 8.14E+03 |
| ¹⁴¹ Ce | 1.95E+03 | 1.89E+03 | 6.66E+03 | 1.05E+04 |
| ¹⁴³ Ce | 1.81E+03 | 1.76E+03 | 3.47E+01 | 3.60E+03 |
| ¹⁴³ Pr | 1.89E+03 | 1.83E+03 | 2.37E+03 | 6.09E+03 |
| ¹⁴⁴ Ce | 1.49E+03 | 1.45E+03 | 1.24E+04 | 1.53E+04 |
| ¹⁴⁴ Pr | 1.51E+03 | 1.46E+03 | 0.00E+00 | 2.97E+03 |
| 总量 | 8.48E+07 | 1.55E+08 | 3.13E+08 | 5.53E+08 |
| 气态氙排放量: 4.51E+12Bq/a | | | | |
| 气态 ¹⁴ C 排放量: 3.97E+11Bq/a | | | | |

注: (1) 燃料操作区域在辅助厂房内, 但被分开考虑。

表 4.6-14 单机组气载放射性年设计排放量与控制值的比较

单位: Bq/a

| 核素 | GB6249-2011 中规定的 单机组排放量控制值 | 单机组排放量设计值 |
|-----------------|-------------------------------|-----------|
| 惰性气体 | 6.00E+14 | 1.30E+14 |
| 碘 | 2.00E+10 | 1.02E+10 |
| 粒子 (半衰期≥8d) | 5.00E+10 | 1.65E+10 |
| 氚 | 1.50E+13 | 5.25E+12 |
| ¹⁴ C | 7.00E+11 | 4.51E+11 |

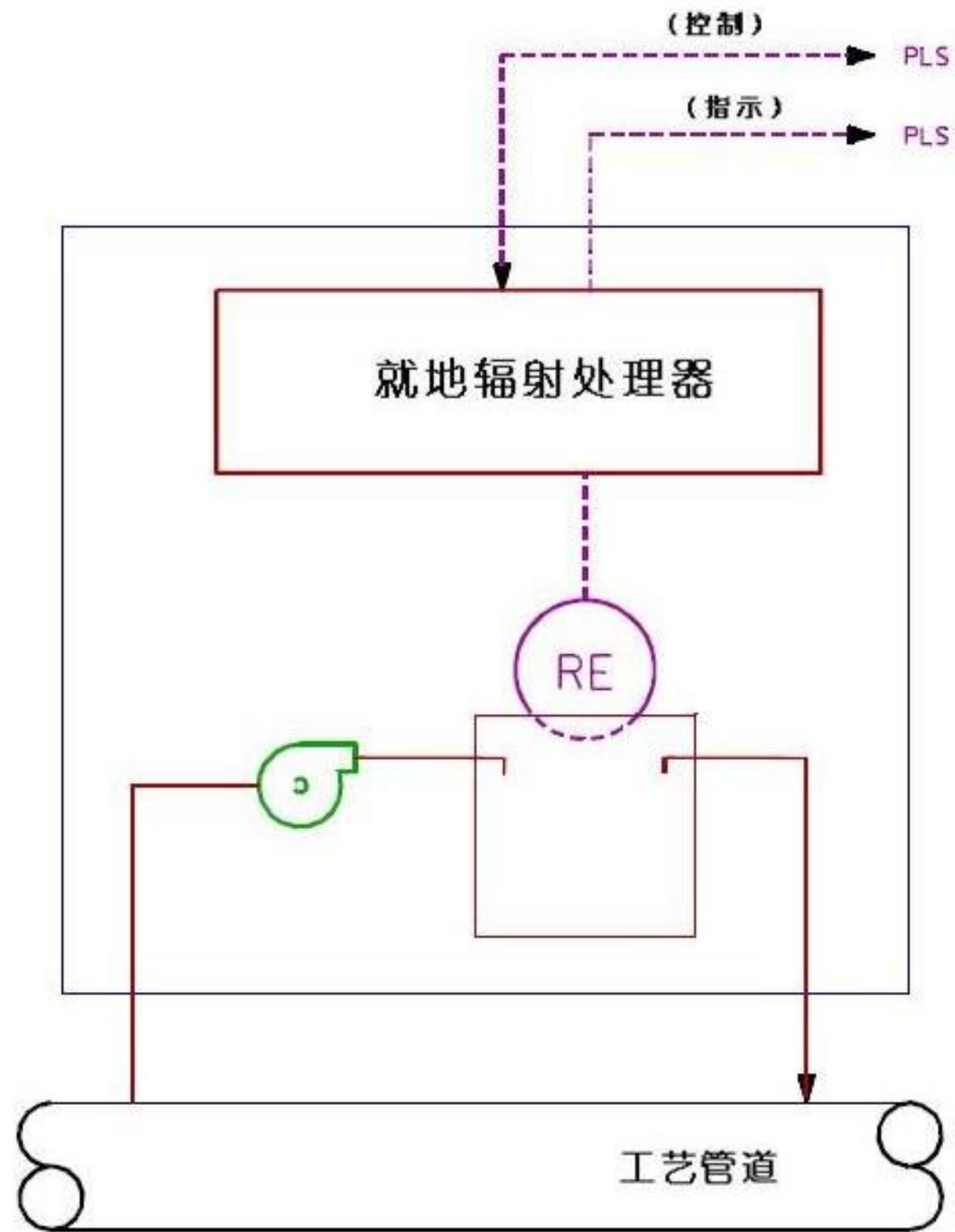


图 4.6-1 放射性废液处理系统监测仪表简图

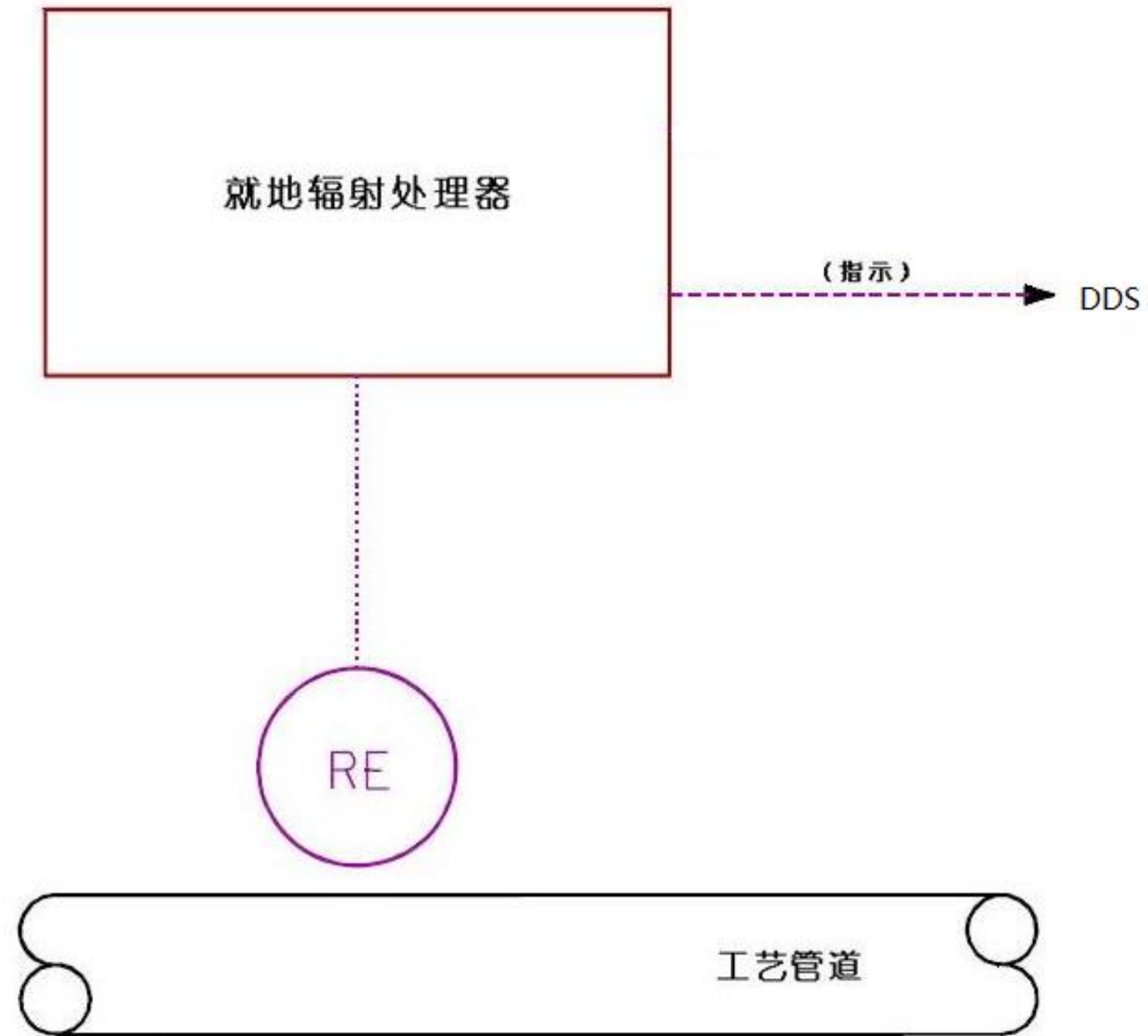


图4.6-2 放射性废气处理系统监测仪表简图

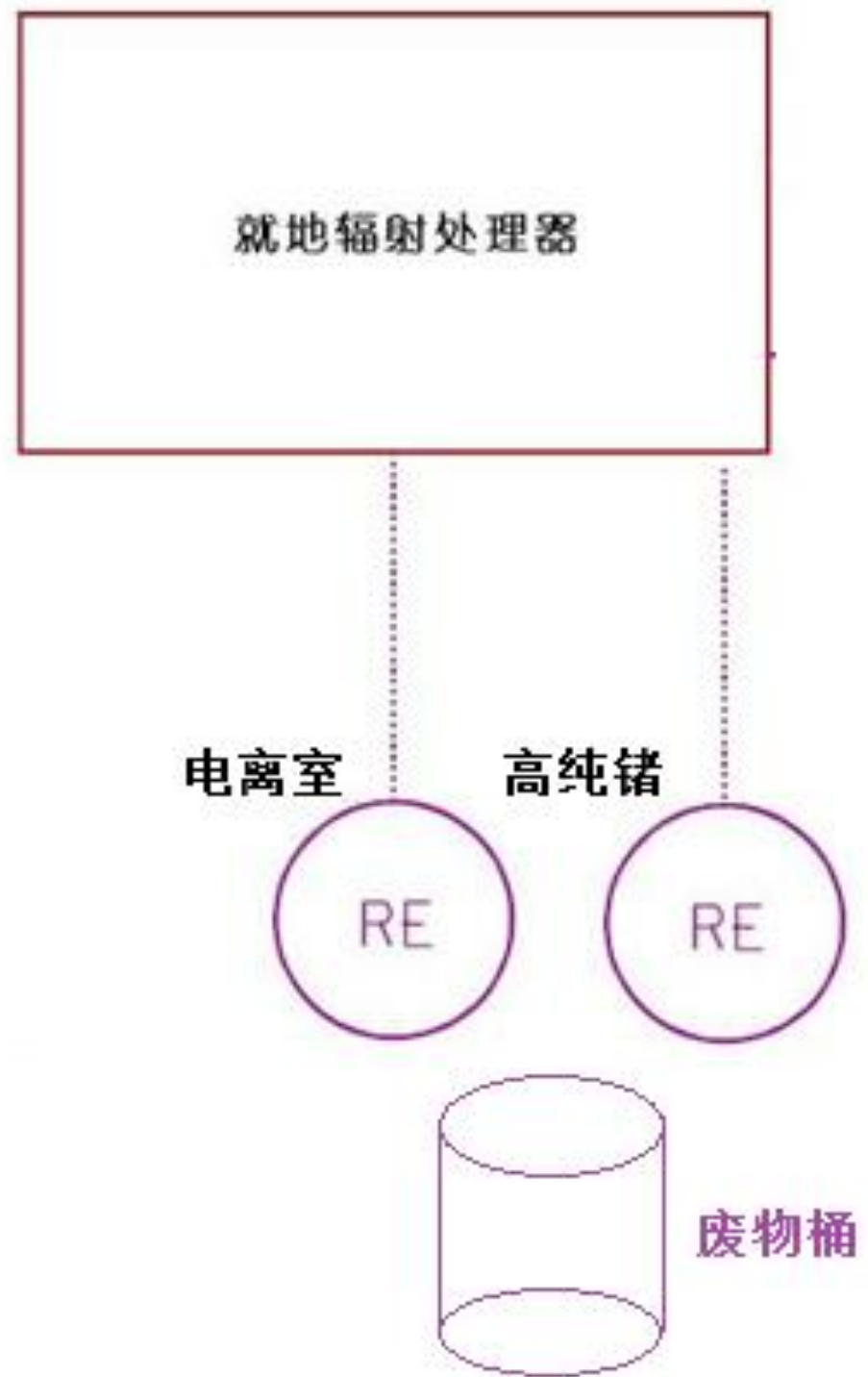


图4.6-3 放射性固体废物管理系统监测仪表简图（废物桶监测装置流程图）

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

本工程2台CAP1400核电机组在运行期间排入环境的主要化学物质的名称、用途、年平均和最大使用量、排放方式、排放浓度及年排放总量，见表4.7-1。

核电厂在凝结水精处理、海水淡化、除盐水处理、循环水加药、常规岛化学药剂供给、核岛调硼等系统运行过程中将使用化学物质。各系统工艺及化学物质使用情况如下：

4.7.1.1 凝结水精处理系统

凝结水精处理系统在机组启停及异常运行期间能从凝结水中除去微量的离子态杂质和腐蚀产物，缩短机组启动时间，维持正常运行以及在凝汽器管材泄漏时确保在一定时间内有计划地停机。

工艺流程为：凝结水→前置阳床→高速混床→精密过滤器→凝结水升压泵→凝结水。

该系统中使用的化学物质是盐酸和氢氧化钠，主要用于树脂再生，其排放物为再生过程产生的酸碱性废水，酸碱性废水经过曝气中和处理后 pH=6~9，排入非放射性生产废水系统（WWS）统一排放，曝气中和处理流程见图4.7-1。每台机组凝结水精处理系统的再生废水池容积为600m³，混凝土制，分为两格，共配置4台出力为200m³/h的废水中和泵。

按凝结水精处理系统连续运行计算，年使用31%盐酸约2435t，32%氢氧化钠约381t。

4.7.1.2 海水淡化系统

海水淡化系统用于将海水转化为淡水，提供核电厂运行期间生活水、消防水、生产正常用水等。海水淡化系统按膜法工艺设计，具体工艺流程如下：海水→絮凝沉淀池→澄清水池→砂滤→超滤装置→超滤水池→海水反渗透装置（配能量回收）→一级淡水池→淡水反渗透装置→工业水池→至各用户。

海水淡化系统设计最大出力为420t/h。海水反渗透膜的脱盐率99.3%（一年内），99.0%（三年内），回收率40%；淡水反渗透膜的脱盐率98%（一年内），95%（三年内），回收率75%。

该系统中使用的化学物质有凝聚剂、助凝剂、次氯酸钠、阻垢剂、还原剂，主要用于海水预处理的絮凝、阻垢和杀菌过程，以及防止反渗透膜结垢和氧化，

其加入系统后随着处理工艺消耗，无外排。按海水淡化系统连续运行计算，年使用 100%凝聚剂约 245t，100%助凝剂约 9.8t，1.6g/L 的次氯酸钠溶液约 18375m³，100%阻垢剂约 39t，100%还原剂约 28t。系统还使用酸、碱类药剂作为化学清洗剂，超滤、反渗透装置单次化学清洗最大产生废水量约 40m³。

4.7.1.3 除盐水处理系统

除盐水处理系统的功能是处理来自淡水供应系统的水，为常规岛、核岛和 BOP 等项目提供符合水质和水量要求的除盐水，处理后的除盐水输送至除盐水储存和分配系统及凝结水精处理系统。

除盐水处理系统采用一级除盐加混床的处理工艺。

该系统中使用的化学物质是盐酸和氢氧化钠，主要用于树脂再生，其排放物为再生过程产生的酸碱性和废水，酸碱性和废水经过曝气中和处理后 pH=6~9，排入 WWS 统一排放。除盐水处理系统的再生废水池为全厂共用，容积为 500m³，混凝土制，分为两格，共配置 4 台出力为 100m³/h 的废水中和泵，设备布置在除盐水处理厂外。

按除盐水处理系统连续运行计算，年使用 31% 盐酸约 205t，32% 氢氧化钠约 280t。

4.7.1.4 循环水加药系统

循环水加药系统采用电解海水的方式制取次氯酸钠，用以抑制藻类、贻贝的生长，保证凝汽器和热交换器良好的传热性能。工艺流程为：海水淡化来浓水→过滤器→次氯酸钠发生装置→次氯酸钠储存罐→加药泵→各加药点。

该系统中使用的化学物质主要是次氯酸钠溶液，主要用于海水杀菌灭藻，其加入系统后随循环水外排至大海。按循环水加药系统连续运行计算，年产生 1.6g/L 的次氯酸钠溶液约 2.6×10⁶m³。

4.7.1.5 常规岛化学药剂供给系统

常规岛化学药剂供给系统将所需的化学药品注入凝结水、给水、闭式水以及蒸汽发生器排污系统，维持系统的合适水化学工况，以使这些系统腐蚀和结垢倾向减至最低。

系统包括加乙醇胺（ETA）/氨水加药装置一套，用于给水、凝结水、闭式水和湿保养期间的加药；联氨加药装置一套，用于给水、凝结水、闭式水和湿保养期间的加药，乙醇胺（ETA）/氨水和联氨加入系统后随着处理工艺消耗，无

外排。

该系统中使用的化学物质主要是 ETA/氨水和联氨，年使用 98% 乙醇胺(ETA) 约 447t 或者 25% 氨水约 632t，80% 联氨约 35t。

4.7.1.6 核岛调硼

本项目没有硼回收系统，在设计中对于含硼的反应堆冷却剂考虑尽量回用。但由于调硼动作造成的化学和容积控制系统下泄流以及泄漏出的反应堆冷却剂中的硼会进入放射性液体废物处理系统(WLS)，并最终随液态流出物一起与循环水排水掺混后排放。预计本项目单台机组每年排放的硼质量约为 3t，排放至循环冷却水时的最高浓度为 2700mg/L (2700ppm)。

此外，氢氧化锂及联氨（一回路除氧剂）的年使用量分别为 6kg 和 28kg；保守预计每机组约消耗洗涤剂 380kg/年，但实际洗涤剂投加量将根据衣物的沾污程度而做相应调整。

4.7.2 生活废物

本项目运行期产生的生活废物主要包括生活垃圾和生活污水。

本项目运行期产生的生活垃圾按规定收集暂存并送到指定的生活垃圾处置场处置。

本项目运行期产生的生活污水主要来源于人员综合办公、食堂、各厂房卫生设施、武警消防宿舍等。生活污水排水系统采用重力流管道收集产生的生活污水，并输送至生活污水处理设施处理。全厂设置 3 套埋地式污水处理设施，负责处理厂址主厂区、厂前区、厂外区域（厂区大门进场道路北侧）的生活污水。

生活污水处理简化流程图见图 4.7-2。

处理后其水质可达到或高于《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）中的绿化、车辆冲洗用水标准。直接排放的污水经处理可达到《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准。（处理后的水质不管直接排放还是回用，需按照以上两标准较严格者执行。）

4.7.3 其它废物

本工程运行期间产生一般工业固体废物及危险废物，其中危险废物主要包括

废试剂、废油、废油漆、废涂料、废电池等。

本工程建设油脂库、一般工业固体废物库及非放危险废物库，位于厂区东侧区域，取水明渠以北、循环水加药厂房以东。危废库区域建构物主要包括油脂库、一般工业固体废物库、非放危险废物库、消防事故应急池。非放危险废物库面积为 650m²，油脂库与一般固体废物库合并建设，油脂库面积为 820m²，一般固体废物库面积为 560m²。

4.7.3.1 一般工业固体废物贮存

本工程专用一般工业固体废物贮存设施的设计和建造按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）中的相关规定开展。

一般工业固体废物库采用门窗自然通风。

一般工业固体废物库火灾危险性为丙类，耐火等级为二级。一般工业固体废物库和油脂库为一个防火分区。

4.7.3.2 危险废物贮存

本工程专用危险废物贮存设施的设计和建造按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001，环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单）中的相关规定开展，其中包括：危险废物贮存于专用厂房内；各类危险废物分类存放并置于符合规定的容器内；厂房内加装排风机以保持厂房内通风良好，以减少挥发出的有害气体积聚；地面水泥硬化，并考虑防渗措施。具体如下：

1) 建筑设计

本工程专用危险废物贮存设施包括油脂库及非放危险废物库。

油脂库用于临时存放废油脂。

非放危险废物库建筑外围护材料主要为 240mm 厚加气混凝土砌块。外墙 0.3m 标高以下采用钢筋混凝土墙体用于防溢。非放危险废物库房间组成及临时贮存的危险废物如下：

- 废树脂库：报废树脂。
- 杂项废品库：废密封剂、粘合剂、废油桶、四氯化碳、四氯乙烯、钠试剂、COD 试剂、亚硫酸氢钠。
- 废油漆库：废油漆桶及废油漆制品、染料涂料。
- 废有毒有害品库：氯仿。
- 废氧化剂库：高锰酸钾、亚硝酸钠。

- 废酸库。
- 废电池库：废弃铅酸电池、废电路板。
- 废矿物油库：废含油淤泥、含油滤芯、冷冻机油、变压器油、润滑油、液压油、防冻液。
- 废还原剂库。
- 废碱库。
- 废易燃液体库：柴油、煤油、正己烷甲类。
- 备用库。

房间地面设有防溢、防渗、渗漏收集措施。

2) 通风设计

非放危险废物库各房间通风设计如下：

- 废树脂库、废矿物油库、备用库采用门窗自然通风。
- 杂项废品库、废氧化剂库、废酸库、废还原剂库、废碱库、废易燃液体库设置机械通风系统。
- 废油漆库、废有毒有害品库平时采用门窗自然通风，同时设置事故通风设施。
- 废电池库设置平时通风和事故通风设施。
- 油脂库设置机械通风系统。

3) 防火设计

油脂库火灾危险性为丙类，耐火等级为二级。油脂库和一般工业固体废物库为一个防火分区。

非放危险废物库火灾危险等级为甲级，耐火等级为二级。非放危险废物库设五个防火分区。非放危险废物库中的废油漆库、废易燃液体库为有爆炸危险的部位，采取防爆措施、设置泄压设施。

4) 防水设计

- (1) 屋面防水：等级为 I 级，设二道防水层。
- (2) 屋面排水：有组织排水。
- (3) 门窗：防滲雨措施。

表 4.7-1 核电厂各系统主要化学物质

| 系统 | 主要化学物质 | 药品浓度 | 主要用途 | 年平均使用量 | 年最大使用量 | 排放方式 | 年排放量 |
|----------------|--------|---------|------------|--------|--|---|---|
| 凝结水精处理系统 (CPS) | 盐酸 | 31% | 精处理系统阳树脂再生 | / | 约 2435t (按 CPS 连续运行计) | 使用过的酸碱经过中和后, 成为 pH=6~9 的酸性废水 (主要成分为 NaCl, NaOH 等) | 废水量约为 $2.1 \times 10^5 \text{m}^3$ |
| | 氢氧化钠 | 32% | 精处理系统阴树脂再生 | / | 约 381t (按 CPS 连续运行计) | | |
| 海水淡化系统 | 凝聚剂 | 100% | 絮凝 | / | 约 245t | 加入系统后随处理工艺消耗, 无外排; 浓盐水含盐量约为 55g/L, 超滤、反渗透装置化学清洗单次废水量约 40m^3 。 | 浓盐水年排放量约为 $3.72 \times 10^6 \text{m}^3$ |
| | 助凝剂 | 100% | 絮凝 | / | 约 9.8t | | |
| | 次氯酸钠 | 1.6g/L | 杀菌 | / | 次氯酸钠溶液: 约 18375m^3 | | |
| | 阻垢剂 | 100% | 阻垢 | / | 约 39t | | |
| | 还原剂 | 100% | 除余氯 | / | 约 28t | | |
| | 酸、碱类药剂 | / | 化学清洗 | / | / | | |
| 除盐水处理系统 (DTS) | 盐酸 | 30% | 阳、混床再生 | / | 约 205t | 使用过的酸碱经过中和后, 成为 pH=6~9 的酸性废水 (主要成分为 NaCl, NaOH 等) | 废水量约为 8000m^3 |
| | 氢氧化钠 | 30% | 阴、混床再生 | / | 约 280t | | |
| 循环水加药系统 (WIS) | 次氯酸钠 | 1.6g/L | 循环水杀菌 | / | 次氯酸钠溶液: 约 $2.6 \times 10^6 \text{m}^3$ | <0.1mg/L 余氯的循环水系统排入大海 | 余氯年排放量 <416t |
| 常规岛化学药剂供给系统 | ETA/氨水 | 98%/25% | 维持水化学工况 | / | 约 447t/约 632t | 加入系统后随处理工艺消耗, 无外排 | / |
| | 联氨 | 80% | | / | 约 35t | | |

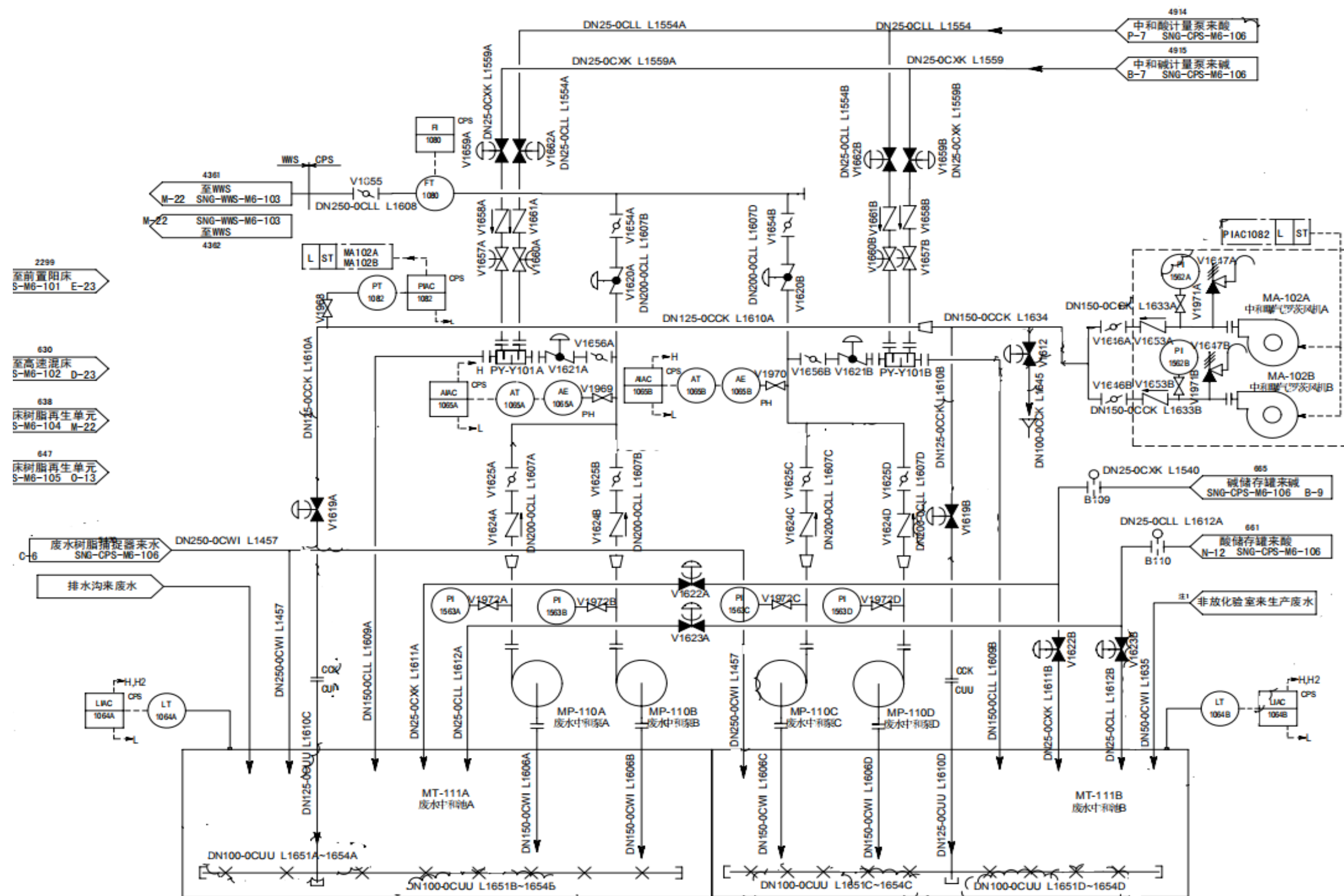


图 4.7-1 酸碱性废水曝气中和处理流程图

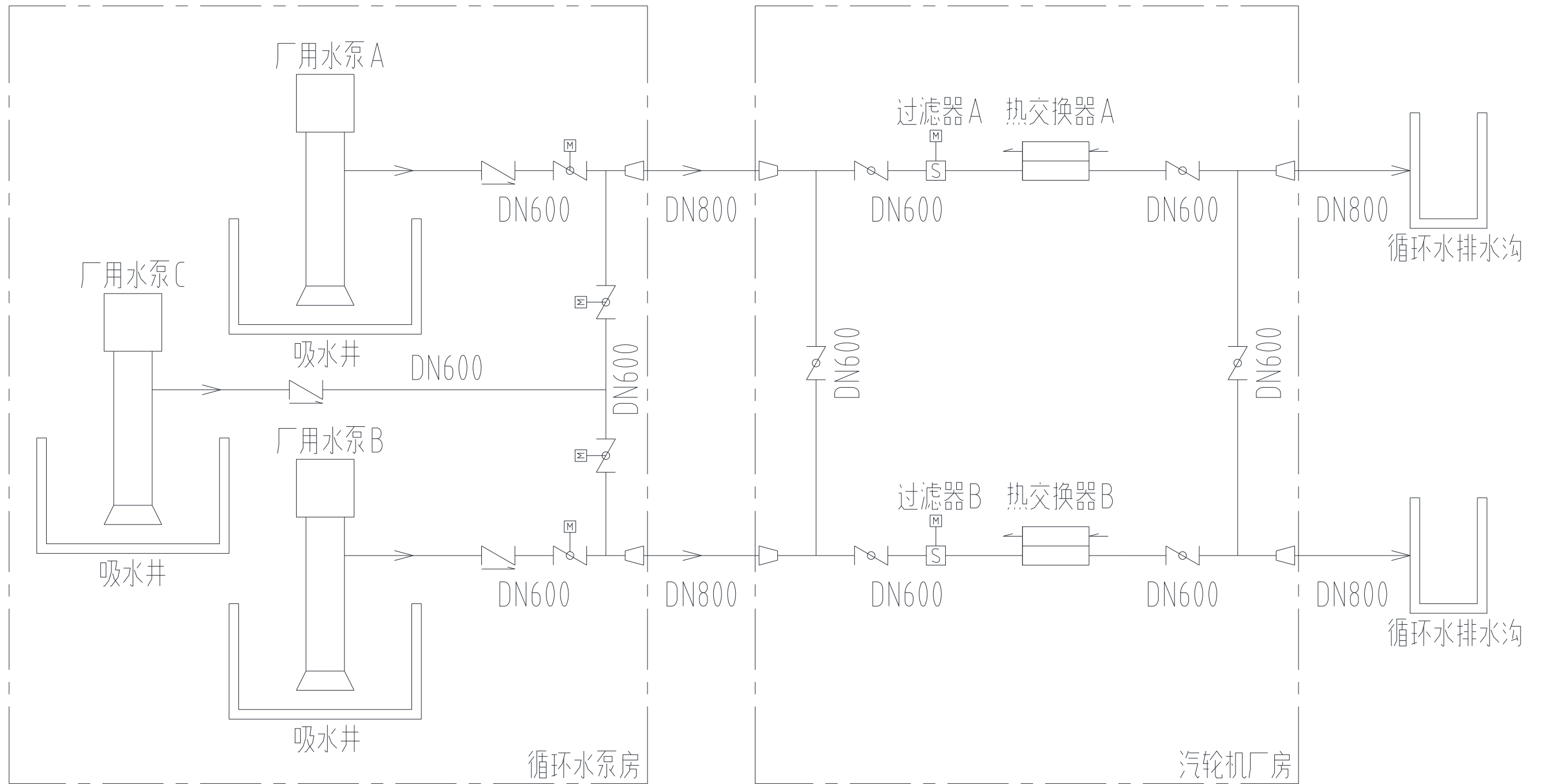


图 4.7-2 污水处理流程简图

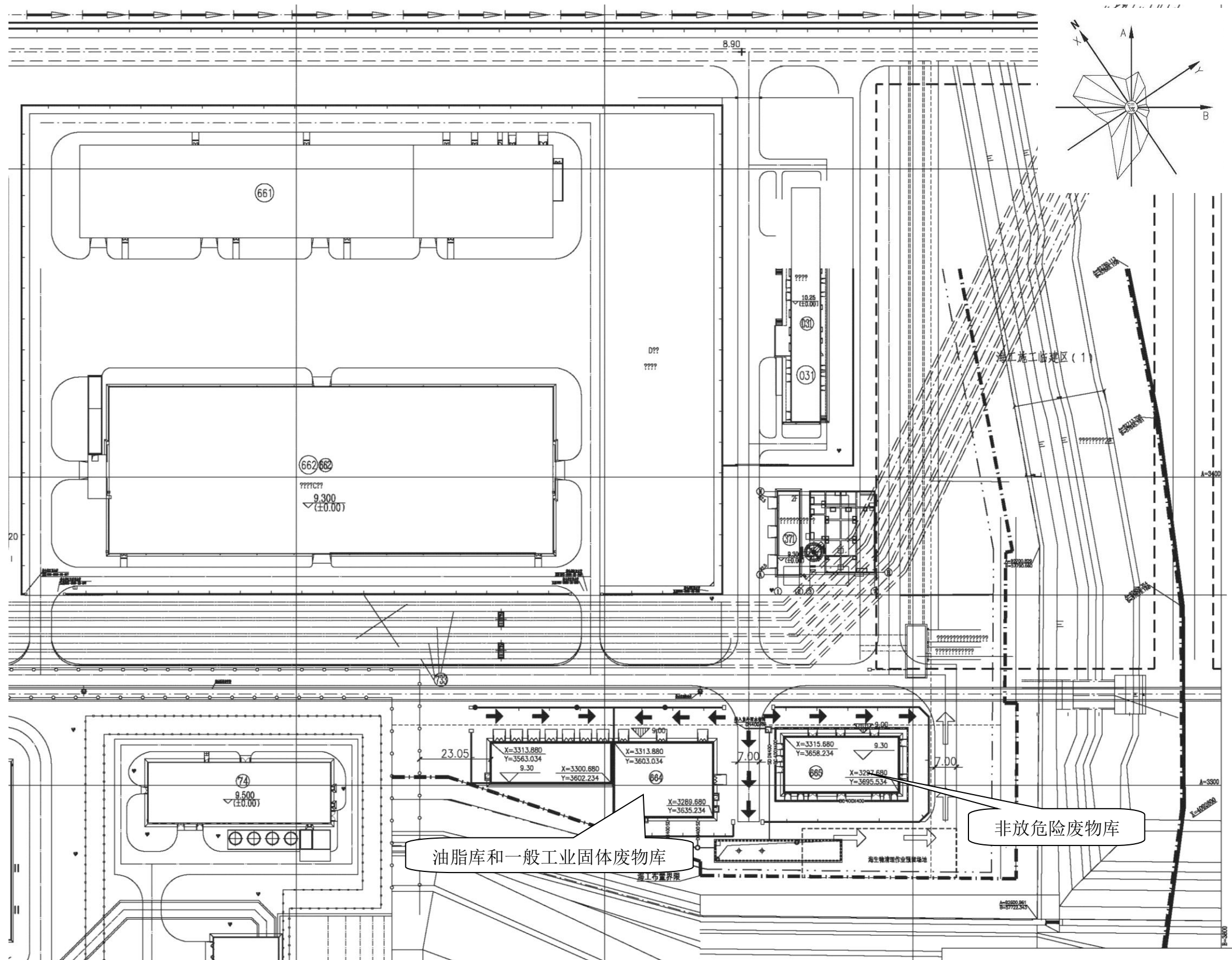


图 4.7-3 油脂库、一般工业固体废物库及非放危险废物库区域总平面布置图

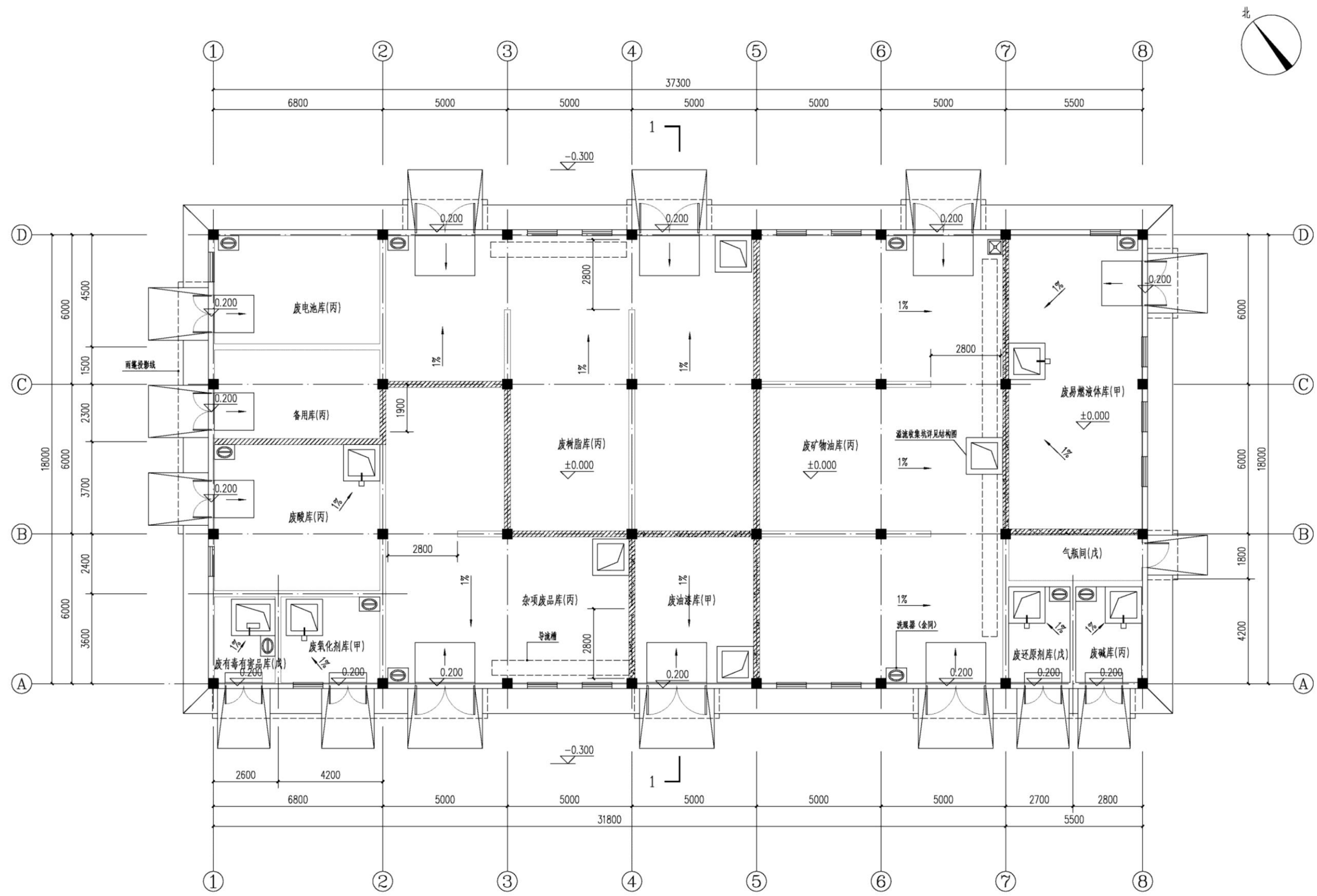


图 4.7-4 非放危险废物库平面图

4.8 放射性物质厂内运输

运进核电厂的放射性物质有初级中子源和未经辐照的新燃料组件。为了安全运输初级中子源，应根据《密封放射源一般要求和分级》（GB4075-2009）中密封中子源分级对应的试验要求对密封中子源的试样进行试验，每项试验后应按《密封放射源的泄漏检验方法》（GB/T15849-1995）的规定对试样进行泄漏试验。新燃料组件和中子源运输容器的设计、制造应能满足我国《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。

运出核电厂的放射性物质有两类，即乏燃料组件和放射性固体废物。

4.8.1 新燃料运输

本工程的首炉和换料组件将由国核铀业发展有限责任公司供货，国核铀业委托中核包头核燃料元件股份有限公司开展燃料组件制造活动，该燃料厂具备每年约 740 组燃料组件的制造能力，能够满足本工程需求。

4.8.1.1 核燃料运输容器

新燃料组件在运输过程中必须放在专用的运输容器内，使新燃料组件在运输过程中得到充分的保护而避免受损伤。

新燃料运输容器能够满足核材料国际运输管理导则的要求，并应满足《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号，2010.01.01）、《放射性物品运输安全许可管理办法》（第二次修正版，2021.01.08）和《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）的规定。在火烧、跌落和耐压试验等假想事故条件下，新燃料运输容器能够保证运输容器内燃料的完整性。新燃料运输容器能够保证在最佳慢化条件下， $k_{\text{eff}} < 0.95$ 。

新燃料运输容器主要由外壳和内壳构成。外壳与内壳采用减振连接，能够有效地减小新燃料组件在运输过程所受到外力（如冲击和振动），使新燃料组件在运输过程中免受损伤。新燃料运输容器对新燃料组件起密封保护作用，防止运输过程中受外界物体碰、撞等而造成损伤。同时新燃料运输容器能够使新燃料组件在整个运输过程中便于实行由公路、铁路和海路分段运输之间的中转、转换等操作。

4.8.1.2 新燃料的厂内运输

新燃料组件装在专用的新燃料运输容器内由专用运输车辆运至核岛辅助厂

房内，根据程序进行检查确认、开箱等操作，最终将新燃料组件吊运并贮存在新燃料贮存格架中。

新燃料贮存格架的贮存容量或能力应能保证充分满足堆芯一次平衡换料所需的新燃料组件的数量。经检查合格的新燃料组件一次一个地吊运到新燃料贮存格架内，然后采用干法贮存。反应堆换料之前，用燃料抓取机（借助于新燃料组件操作工具）将新燃料组件从新燃料贮存格架内吊至新燃料升降机，然后由新燃料升降机将新燃料组件转运至乏燃料水池底部，再用燃料抓取机（借助于乏燃料组件操作工具）将新燃料组件吊入乏燃料贮存格架内暂存，换料时通过辅助厂房的燃料运输设备将新燃料组件传送到反应堆厂房。

新燃料的接收操作在核岛辅助厂房的新燃料接收和检查区进行。

现场接收新燃料运输容器后，首先进行外部检查，并确认商标、标记以及安全铅封均完好。当容器打开后，检查安装在其内部的震动监视器，确认运输过程中的震动没有超过设计限值。

从运输容器中取出燃料组件时，借助于新燃料开箱操作台，检查其塑料包装，确认没有受损。然后，去掉包装材料，对整个新燃料组件进行目测检查。

根据设计的详细步骤，用燃料抓取机将新燃料组件逐一转运至新燃料贮存格架中或转运到新燃料升降机里，经升降机下降到乏燃料水池中，然后转运并存放在乏燃料贮存格架中，或转运至燃料运输设备的燃料篮内。

重复上述贮存操作过程，直至所有新燃料组件全部放入贮存格架内。

对于首炉新燃料的贮存，在新燃料到厂后，超过新燃料贮存格架的贮存容量的部分，可采用暂时贮存在乏燃料贮存格架内的方法。

4.8.1.3 新燃料的厂外运输概述

新燃料由中核包头核燃料元件股份有限公司运输至本工程现场。

目前，国内已具备一定的全程公路运输经验。公路运输前需要预先与高速公路管理部门就有关限速等问题进行协调。

4.8.2 乏燃料运输

乏燃料的运输可分为厂内干式贮存和厂外运输。运输容器也可分为密封容器、转运容器、干式贮存容器、厂外运输容器。

4.8.2.1 乏燃料的厂内运输

乏燃料的厂内运输包括乏燃料组件装入乏燃料运输容器，至厂外运输前的全过程。

乏燃料的厂内运输由乏燃料运输容器吊车、燃料抓取机、容器专用运输卡车及相应的操作工具完成。乏燃料组件装入专用的密封乏燃料运输容器中外运。乏燃料组件装入运输容器的操作以及容器的清洗、检查等操作分别在装料池和清洗池内进行。装料池和清洗池为两个毗邻的水池，均位于辅助厂房内乏燃料贮存水池旁。

乏燃料组件通常贮存在乏燃料贮存水池中，直到裂变产物的活性降低到允许外运的程度。然后，将乏燃料组件装入到乏燃料运输容器中。

乏燃料运输容器装料操作的典型步骤如下：

1) 装料池已经充满了水，且装料池和乏燃料贮存水池之间的水闸门已经打开。

2) 乏燃料运输容器被运到清洗池，用去离子水洗净。同时容器顶盖在其它部分清洗时被移走并贮存起来。

3) 乏燃料运输容器被吊运至充满水的装料池中。

4) 燃料抓取机定位在待运出乏燃料组件的贮腔上方。

5) 燃料组件被提起，经水闸门在水下移至装料池，并运送进装料池中的容器内。在运送的过程中，需保持燃料组件活性区顶部有足够的屏蔽水层。

6) 重复步骤 4) ~ 5) 直至装满乏燃料运输容器，运输容器盖被重新安置到运输容器上。

7) 将乏燃料运输容器转移到清洗池，完成去污处理且符合外运容器表面剂量限值后，容器可被提升出清洗池。

4.8.2.2 乏燃料的厂外运输

乏燃料组件厂外运输必须遵守《中华人民共和国核材料管制条例》(HAF501)、《放射性物质安全运输规程》(GB11806-2019)、《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》(GB/T17230-1998)、《放射性物品运输安全管理条例》(国务院令 562 号, 2010.01.01) 等相关条例、标准的要求。

厂外运输容器可直接装载和干式转换两种模式。在直接装载模式下，容器在厂房吊装口吊入燃料厂房，容器在清洗池清洗，并在装料池装料。装完燃料后把内盖盖上并用吊车将其吊至燃料厂房操作平面上，排水、烘干、充氦气后盖上外

盖。密封试验及容器剂量测量后，将容器从吊装口吊至运输车上，安装两端的减震器、运输托架和人员防护罩并与运输车固定，准备外运。在干式转换模式下，容器在干式贮存场地通过干式转换的方式，将贮运两用密封容器从混凝土贮存容器中导入厂外运输容器中，经过安装内盖、烘干、充氦气后盖上外盖，而后将容器吊装至运输车的运输托架上，安装减震器、防护罩，准备外运。

乏燃料组件必须在乏燃料贮存水池内贮存足够的时间，使乏燃料组件的衰变热降到可以不必再用池水进行冷却，组件中的中短寿命放射性核素的放射强度大大衰减而便于外运。从反应堆卸出的乏燃料组件在乏燃料水池中贮存一定的时间后，直到裂变产物的活性降低到满足转运的要求才可进行转运。乏燃料厂外运输的工艺流程起点在辅助厂房乏燃料贮存水池或核电厂内的乏燃料干式贮存场地，终点为乏燃料后处理厂，通过专用运输卡车和乏燃料厂外运输容器进行转运。在转运前，需要预先编制详细的操作、运输规程，包括对正常、异常、事故工况下的处置预案；对转运用到的设备、公用系统与场地进行检查和清理。在进行转运操作时，将乏燃料组件装载到乏燃料运输容器中，此容器的设计满足辐射防护要求和相关的安全运输规定。

4.8.3 放射性固体废物运输

4.8.3.1 放射性固体废物的场内转运

核岛无法直接处理的各类放射性废物，将根据其废物类型，采用适宜的运输形式，转运至厂址废物处理设施（SRTF）进行处理。废物类型主要包括废树脂、水过滤器滤芯、化学废液及其他废物。每台机组废物厂内运输方式、单批次转运量及转运次数的信息。

放射性各类废物转运至 SRTF 后，通过对应的处理工艺，最终以 200L 钢桶的包装形式在厂址废物处理设施的废物暂存库内进行中间贮存，暂存期间废物桶外不另设屏蔽外包装，在外运送至最终处置场时再根据废物表面剂量水平加装外屏蔽桶。

废物暂存库按照废物放射性水平分区存放。废物暂存库具有暂存全厂址 5 年内产生的放射性废物的能力。核电厂处理产生的最终废物包装体符合《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB9132-2018）。这些废物桶最终将运至国家区域处置场作最终处置。

废物暂存库内废物经过 5 年暂存后，最终根据我国低、中放废物近地表处置场规划，由转运卡车运至相应国家区域处置场设施进行集中处置。整个废物转运过程遵照《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）执行，保证转运工作人员的安全，并尽量避免核废物运输对公众的影响。

4.8.3.2 放射性固体废物的厂外运输

核电厂统一采用 200L 钢桶作为废物中间贮存包装容器，该废物桶自暂存库送出厂外进行运输时，对于表面剂量率小于等于 2mSv/h 的废物桶，可直接通过转运车辆运输，对于表面剂量率大于 2mSv/h 的废物桶，则在外加屏蔽体后通过转运车辆运输。在运输过程中将严格遵守《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）中的有关要求，防止事故发生，确保运输人员和沿途公众接收的辐照控制在合理可行尽量低的水平，维护其安全和健康。

放射性废物运输的起点为核电厂厂址废物处理设施（SRTF）内的废物暂存库，运输终点为规划中的低、中放固体废物区域处置场。根据国家工信部、生态环境部、财政部三部委联合召开的低中放废物处置场专题会议，在核电建设相对集中的五省（包括山东省）建设区域处置场。中电投山东核环保有限公司负责山东省低水平放射性固体废物处置场（国内五座区域性处置场之一，简称“山东处置场”）项目推进工作，该项目列入国家和省级相关规划，2020 年启动核准工作。2021 年 4 月 26 日，国家国防科技工业局于在山东省海阳市召开项目推进协调会议，山东省人民政府及相关政府部门和企业参加会议，会议要求各相关部门和单位要进一步统一思想认识，把山东处置场作为国家重点项目，加强协调配合，抓紧推进相关工作。2021 年 11 月，山东处置场项目核准申请报告通过中国国际工程咨询有限公司组织的评估。山东处置场项目已获得核准。

废物的厂外运输可通过铁路、公路、船舶进行运输，运输时应符合安全运输规定的要求。

放射性中、低放固体废物的厂外运输应保证运输人员和公众接受的照射控制在可合理做到的尽可能低的水平，厂外运输可通过铁路、公路、船舶等方式，并符合《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 562 号，2010.01.01）、《放射性物品运输安全许可管理办法》（第二次修正版，2021.01.08）和《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）等规定。

第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

5.1 土地利用

5.1.1 工程用地概况

5.1.1.1 项目用地方案

本工程的用地采用一次全部征用的方案，总用地面积为 97.6720 公顷，其中主厂区用地 58.3544 公顷，其它设施建设用地 39.3176 公顷。

主厂区用地包括：主厂房区 17.40 公顷，放射性辅助生产设施 3.80 公顷，配电装置区 7.4744 公顷，除盐水设施 1.75 公顷，循环水泵房 1.94 公顷，制（供）氢站 0.52 公顷，维修设施与仓库建筑 4.83 公顷，废污水处理设施 0.50 公顷，调试运维楼区 2.76 公顷，实物保护 5.07 公顷，厂前建筑区 3.42 公顷，部分架空线占地 3.71 公顷，部分重件道路 1.77 公顷，模拟体厂房 1.35 公顷，厂区内护坡和挡墙 2.06 公顷。

其它设施建设用地包括：核电厂现场服务区 2.30 公顷，运行安全培训中心 1.2 公顷，应急指挥中心 0.51 公顷，武警营房和消防站 2.47 公顷，进厂道路和应急道路 5.46 公顷、厂外取、排水构筑物及专用码头设施 8.91 公顷，淡水厂 1.0 公顷，气象站 0.15 公顷，厂区外边坡、挡土墙及防洪设施 7.5776 公顷，模块拼装场地和模块堆场分别为 5.40 公顷和 4.34 公顷。

本工程用地总规模为 97.6720 公顷，拟占用农用地 90.9120 公顷（其中：耕地 79.5532 公顷、林地 3.2678 公顷、交通用地 3.4674 公顷、水域及水利设施用地 0.6179 公顷、园地 0.9906 公顷、其他用地 3.0151 公顷），建设用地 1.5721 公顷，未利用地 5.1879 公顷。

另外，根据施工临建实际使用需求，本工程租用部分土地，面积约 20.78 公顷。

5.1.1.2 土地利用符合性评价

原山东省国土资源厅以《山东省国土资源厅关于国核示范电站有限责任公司大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程建设用地预审的初审意见》（鲁国土资字[2013]1164 号）、国核示范电站有限责任公司以《关于大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程用地预审的申请报告》（国核示范发[2013]15 号）上报原国土资源部。原国土资源部以《关于大型先进压水堆核电站

重大专项 CAP1400 示范工程用地预审意见的复函》(国土资预审字[2014]14 号)明确,项目用地已列入当地土地利用总体规划,同意通过用地预审。

由于荣成市所在各镇耕地后备资源少,无法满足落实耕地占补平衡的需要。为确保耕地总量的动态平衡,项目占用的耕地,已由国核示范电站有限责任公司申请,根据荣成市相关规定,按 24 万元/公顷的标准缴纳耕地开垦费,委托易地补充耕地的方式解决。补充耕地所对应的土地开发项目为:无棣县杨子庄付屋子等村土地开发项目(滨国土耕字[2007]1 号),该项目已在原山东省国土资源局备案。征地补偿安置标准执行山东省政府批准实施的区片综合地价标准,征地补偿标准为 II 级区片 60 万元/公顷。

综上所述,本工程的土地利用满足国家和地方土地利用计划和政策,不存在冲突。

5.1.2 施工活动对环境的影响

5.1.2.1 施工作业的总体环境影响

1) 社会环境的影响

本工程的建设永久占用土地。本工程非居住区边界范围内无常住居民,因此无搬迁人口。此外,由于本工程新征地较少,对社会环境的影响十分有限。

本工程建设期间,大量外来施工人员进驻施工现场,并在该地区居住和生活,增加该地区的消费能力和当地居民的就业机会,一定程度上促进该地区经济的发展。

2) 大气环境的影响

本工程建设永久占用土地,工程场地的开挖和填充,以及工程建构物的建设,改变当地的局部地形和下垫面粗糙度,但与当地的地形相比,还不足以影响厂址边界以外的大气环境。

土石方工程施工过程中,由于爆破、开挖、填充、道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会造成施工区域尘土飞扬,大气中粉尘含量增高。

施工过程中产生的粉尘在采取必要的防护措施后其产生的环境影响范围有限。施工过后,当地的大气环境质量将很快得以恢复。

3) 水环境的影响

本工程建设期间对水环境(地表水和黄海)的污染主要来自于施工期间土石

方和建筑材料的流失以及生产废水和施工人员的生活污水排放。

(1) 土石方和建筑材料的流失

本工程建设期间，由于外界条件（如大风、降水等）的作用，造成小部分开挖的土石方和堆放的建筑材料随风或水扩散，落入附近的水体，污染水环境，造成局部海域海水含沙量和浊度的增加。

(2) 生产废水和生活污水

本工程施工场地平整期间，所产生的污水主要是生活污水和施工机械冲洗后的含油废水。

- 生活污水：施工单位租赁当地民居作为施工临时住所的，生活污水通过原有生活污水处理设施进行处理；各施工单位设在施工临建区域内所有生活及生产污水均通过地下管网排至临建区内的污水处理站进行处理达标。部分区域（CV、CA 区域）临建设施生活及生产污水无法接入地下污水管网的，设置独立的化粪池，污水及沉淀物定期委托地方环保单位进行抽排后统一处理。经处理站处理达标的排放水，尽可能回收加以利用，主要用于道路洒水降尘、绿化用水等方面，不能循环利用的废水经处理达到《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35 号）的一级排放标准的规定后集中排放截洪沟内后排至大海。
- 生产废水：洗车废水采用一套 3m³/h 油水分离设施对冲洗车辆含油废水进行油水分离，以及一套 3m³/h 的一体化车辆冲洗专用循环水设备，达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）洗车水中水使用要求，进行洗车废水循环使用，油污定期清理外运。

本工程主体工程施工期间的工业废水主要包用：生产车间废水、机械维修厂废水、混凝土预制件生产厂废水、施工现场生产用水等。厂区内生产废水及施工临建区生产污水高峰期为 290t/d。施工现场生活污水主要为办公、食堂等部位所产生的污水，包括冲厕污水、盥洗污水、厨房污水等。FCD 前，本工程管理人员及作业人员最高峰人数总计约为 2700 人，考虑不均匀系数（取 1.3），得到生活废水日最大产生量为 140.4m³/d；FCD 后的施工阶段，本工程管理人员及作业人员最高峰人数总计约为 8600 人，则得到生活废水日最大产生量为 447.2m³/d。利用设在临建区及厂区内的污水处理站集中处理施工期间生产废水与生活废水，

施工期间生产废水与生活废水处理采用相同的工艺，同时满足这两种废水的处理要求，处理后尽可能循环利用，废水基本不外排。循环回用的中水满足《城市污水再生利用-城市杂用水水质》（GB/T18920-2002），主要用于绿化和汽车冲洗等。

因此，施工期间产生的水土和材料流失、生产、生活废水的排放在采取合理有效的预防措施（如加强对材料和废水的管理、建设临时施工废水沉淀池和生活污水处理设施等）后，其产生的环境影响范围有限。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

4) 噪声的影响

本工程建造期间的施工期噪声主要来自不同施工阶段所使用的不同施工机械的非连续作业噪声。基础施工阶段，主要施工机械是各种打桩机、空压机等，基本上都是固定噪声源，打桩机为主要噪声源，其声级为 95-105dB(A)，结构施工阶段主要施工机械是混凝土搅拌机和振捣棒，其声级为 75-88dB(A)。场地平整采取的爆破措施，爆破产生的瞬间噪声水平可超过 120dB(A)；工程建设期运送材料的船只、汽车等运行噪声为随机移动声源施工期大型运输设备正常行驶时噪声最大可达 80dB(A)，鸣笛时可达 85dB(A)，海堤水土结构施工的主要噪声源为施工船舶等，其声级为 65-70dB(A)，声级不大。实际施工过程中，往往是多台机械设备同时作业，各台设备产生的噪声会互相叠加。根据类比调查，叠加后的噪声增值约 3-8dB(A)，一般不超过 10dB(A)。

土石方工程施工期间的开挖爆破、各类施工机具作业、车辆的运输等所产生的噪声对厂址周围的声环境影响属于暂时性影响，且影响范围有限。施工期噪声影响将在施工完成后不复存在。

5) 固体废物的影响

本工程施工阶段产生的工业固废主要为建筑类固体废物，主要分为弃土、废渣、废钢材、废木材、废塑料、废纸等 6 类。

- 弃土：在厂区外规划了土石方堆放场，集中堆放开挖土石方和弃土；
- 废渣：由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，定期清理出厂区，运至当地垃圾处理场处理；
- 废钢材、废木材、废塑料、废纸等：具有一定的回收利用价值，由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，由废品回收单位进行回

收处理；

- 建筑垃圾：均由施工单位自行运至当地垃圾处理场处理，现场不设立集中的垃圾中转场地。

施工单位在其施工临建区内设立危险废物集中存放区域，废油、废油漆等危险废物集中堆放在该区域，由供货商定期回收并进行后续的处理。

本工程施工期间，施工现场生活垃圾主要为现场办公室、食堂、施工现场等部位产生的生活垃圾。FCD 前，本工程管理人员及作业人员最高峰人数总计约为 2700 人，考虑不均匀系数（取 1.3），得到生活垃圾日最大产生量为 2.52t/d；FCD 后的施工阶段，本工程管理人员及作业人员最高峰人数总计约为 8600 人，则生活垃圾日最大产生量为 8.03t/d。在上述部位设置垃圾箱，分类堆放生活垃圾，及时清理，并就近运至荣成市孔家垃圾处理场进行无害化处置。

6) 生态环境的影响

本工程施工区域无名贵动植物资源、风景名胜和文物古迹。取排水工程相邻海域内无珍稀或保护性海洋生物。

本工程建设期间在征地边界范围内占用土地、表土和植被剥离，对征地范围内的生态环境产生永久性影响，同时也对厂址附近的动、植物资源及其生存环境造成暂时的影响。

本工程严格执行水土流失防治措施，在厂区内及海岸施工区域内合理开展施工作业，工程建设后期有规划地进行厂区绿化和景观恢复，形成精心布置、与周围环境相协调的人文景观。本工程建设不会对当地的生态环境造成不良影响。

5.1.3.2 施工临建区

施工临建区指厂区外部的临时建筑布置（不包括厂区以内部分）。施工临建区设计规划总面积为 21.6 万 m²，施工临建区东侧紧邻厂址区，南侧紧邻厂区进厂路。

施工临建区设计使用年限为 10 年（2014.4.30~2024.4.30），主要是满足主体工程施工期间承包商临时用地，其内部主要构筑物或设施（主要包括）：工程总承包商及施工承包商办公设施（包括食堂）、核岛安装承包商临建区（主要包括现场临时办公室、休息室、露天堆场、预制场地、机械停放场地、仓库、各种加工车间等）、常规岛土建及安装施工承包商临建区、污水处理站、汽水换热站、土建试验室等。施工临建区周边设置截洪沟，同时施工临建区内按现有地形冲沟

内最低处设一排水涵洞，施工临建区外两侧排水根据自然地形分别排水截洪沟及宁馍路侧的原有水沟。

施工临建区在核电厂施工过程中产生的环境影响是局部的和暂时的。在采取必要的防护措施后可降低施工过程中的环境影响。施工过后，当地的环境质量将很快得以恢复。施工临建区的环境影响因素及相应控制措施如下：

1) 大气：施工临建区内主要堆放工程建设用物资和材料，如预制件等。施工用预制件的堆放以及车辆在施工临建区与厂区间的运输会造成空气扬尘，汽车尾气和食堂的油烟气也会造成一定的污染。对于扬尘造成的污染，施工方采取措施：对施工临建区及时清扫，道路路面上经常洒水；在施工临建区边界处使用隔离板；露天堆场等堆放场所加盖布条进行防护等。对汽车尾气造成的污染，施工方加强施工管理，合理调度运输车辆，在满足建设需要的前提下尽可能减少车辆运输的次数。对于食堂的油烟气，应按照《饮食业油烟排放标准（试行）》（GB18483-2001），经油烟净化设施处理后排放。通过上述措施来保证施工临建区周围的空气环境质量符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年第 29 号）二级标准的要求。

2) 水：施工临建区内的废水主要来自场地冲洗、设备洗涤的生产废水和施工人员产生的生活污水。各施工单位设在施工临建区域内所有生活及生产污水均通过地下管网排至临建区内的污水处理站进行处理，处理后尽可能循环利用，废水基本不外排。循环利用的中水达到国家标准《城市污水再生利用-城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）后主要用于绿化和汽车冲洗等。不能循环利用的废水经处理达到《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35 号）的一级排放标准（2019 年 3 月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准（2019 年 3 月后执行该标准）的规定后排入截洪沟。为本工程建设期间提供施工用水源的水处理厂为临时水厂，其污泥沉淀产生上清液及在反冲洗过程产生的废水仅含沉淀泥沙，一并排入雨水管网。

3) 噪声：施工临建区内噪声相对施工区来说较小，主要噪声来源于核电设备的组装加工，施工人员日间的生产活动（工程建设用物资和材料的搬运等）以及车辆在施工临建区与厂区间的运输产生的噪声。施工方对加工车间内的机械以及污水处理站、汽水换热站等建筑内的水泵进行隔声减振等防噪设计以降低其噪

声影响，同时通过避免夜间作业，合理调度运输车辆和安排运输路线等措施使得施工临建区边界处的噪声能满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）（昼间 70dB，夜间 55dB）的要求。

4) 固体废物：在本工程施工期对施工临建区的固体废物处理作统一考虑。施工临建区污水处理站的污泥、加工车间的金属粉屑、机械保养等产生的固体废弃物以及施工人员日常生活产生的生活垃圾等分类收集并统一处理。为本工程建设期间提供施工用水源的水处理厂为临时水厂，其产生的污泥汇总至污泥沉淀池，污泥产生量很少，经简单沉淀后集中外运处理。此外，施工单位在其施工临建区内设立危险废物集中存放区域，废油、废油漆等危险废物集中堆放在该区域，由供货商定期回收并进行后续的处理。施工单位在其施工临建区内设立危险废物集中存放区域，废油、废油漆等危险废物集中堆放在该区域，由供货商定期回收并进行后续的处理。危险废物临时贮存设施设计和建设按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001，环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单）中的相关规定开展，其中包括：危险废物贮存于专用厂房内；各类危险废物分类存放并置于符合规定的容器内；厂房内加装排风机以保持厂房内通风良好，以减少挥发出来的有害气体积聚；地面水泥硬化，并考虑防渗措施。

5) 水保措施：施工临建区采用租地方式，在施工期间和施工结束后，通过下述措施使得施工临建区范围内恢复原地貌。

- 表层土的剥离、堆放及回填：施工生产区场地平整时首先用推土机清除原地表 30cm 表层土，集中堆放，作为后期复耕用土。
- 截洪沟、排水涵洞、临时排水沟：施工临建区周围截洪沟、排水涵洞等的设置可起到不改变施工临建区内原有水系的作用，排水涵洞可确保雨季上游来水经涵洞排至下游，而不改变其水质及水量，减少施工临建区对周围的影响。为及时排水场地雨水，在施工区场地内临时道路两侧设置临时排水沟。
- 空闲地绿化美化和边坡绿化：业主临时办公区、SPMO 综合办公区施工场地中设置绿化区域，对施工生产区平整之后形成的边坡采取植草防护设计。

施工方通过有效实施上述控制措施后，施工临建区的影响范围仅限于施工临建区范围内。

5.1.3.3 弃土场

本工程弃土场位于厂址西侧约 4km 处山脚下的缓坡地上，西侧紧邻山体，东侧为缓坡地，南侧距北场村约 150m，北侧有一个池塘。弃土场东西长约 700m，南北长约 350m。弃土地貌类型为低山剥蚀丘陵地貌，地面高程 52.81~90.05m，占地性质为耕地和林地等。弃土场所处区域西侧有山坡、中部有小土坡依靠，在此处弃土有利于保证回填后场地的稳定，可减少场地护坡的工程量；施工临建区的位置紧靠厂区和进厂道路，有利于缩短施工运输距离、便于施工组织以及降低施工成本。

本工程弃方总量为 227.10 万 m^3 ，其中 21.76 万 m^3 为临时性剥离表层土，用于绿化区域的后期绿化和施工区复耕；厂区平整 5.86 万 m^3 用于荣成市华东房地产开发有限公司进行南港头项目建设；取排水工程 61.28 万 m^3 淤泥运至当地海洋与渔业部门指定的地方抛海处理，剩余 138.20 万 m^3 弃置于弃土场。弃土场容量约 140 万 m^3 ，满足本工程的弃土容量要求。

1) 弃土场使用期间的环境影响分析

(1) 扬尘影响

弃土场征地总面积为 19.58 公顷，弃土场面积为 14.18 公顷，其作业为分批堆放弃土。具体为：将弃土平铺在某一处堆到一定高度（覆土厚度一般小于 1m），然后压实，再继续在压实面进行覆土（覆土厚度一般小于 1m），再压实，如此反复，直至工程要求的高度。对于已压实土堆，不考虑扬尘影响。对于未压实面，在风的作用下产生扬尘，对大气环境造成影响。为减少扬尘对大气环境的影响，在堆土过程中进行适量的洒水。在整个堆土作业周期中，未压实土堆最大面积为 5.1 万平方米，长度为 500m，等效宽度约为 102m，面源有效高度取 10m。

考虑到堆土过程进行洒水作业可有效降低扬尘量，根据类比数据，未压实土堆的最大起尘量预估为 2.0g/s。采用环境保护部工程评估中心环境质量模拟重点实验室发布的大气环境防护距离标准计算程序进行计算，无 TSP 质量浓度超标点，可不设置大气防护距离。此外，考虑到弃土场所在区域的主导风向为 SSW，敏感目标北场村位于弃土场所在区域的主导风向的上风向，弃土扬尘对敏感目标的空气质量无明显影响。

弃土场扬尘通过程序计算表明在弃土场的周边可不设置大气防护距离，同时考虑到敏感目标位于弃土场所在区域的主导风向的上风向，弃土场扬尘对敏感目

标的空气质量无明显影响。

弃土场采取如下措施减小扬尘的影响：弃土堆土作业过程中，采用人工和机械方法对弃土碾压和夯实后，弃土上方附上 0.5cm 的表层土；弃土之后，对已压实堆土区域定期洒水；对弃土回填形成的边坡采取格栅植草防护；弃土场后期进行复耕。

（2）噪声影响

弃土场噪声主要为运输车辆频繁进出弃土场进行倒土作业的车辆噪声以及土堆摊铺及压实过程中，进行作业的机械噪声。机械作业噪声源强取最大噪声设备的源强，保守取 90dB(A)，并按照点声源进行计算。敏感目标北场村距离弃土场边界的最近距离约 110m，按照点声源衰减公式进行预测，弃土场机械作业噪声对敏感目标的噪声贡献值为 49dB(A)。叠加北场村的背景噪声 36.9dB(A)（2010 年非放射性环境本底调查结果）后为 49dB(A)，可满足 2 类区的声环境质量标准 [昼间 60dB(A)]。弃土场夜间不施工，对敏感目标声环境无影响。根据以上分析，本工程弃土场对环境的影响是暂时的，且对环境影响较小，其环境影响是可以接受的。

（3）水土流失影响

对于弃土场土地使用范围内的地面农作物、经济林、果树、水塘、水井、生活和灌溉水利设施、房屋以及无法转移的生活设施、猪舍、耕种道路等地面附着物和青苗，已经根据石岛农业综合局和荣成市价格认证中心提供给的认证结论书和评估报告，进行了补偿。弃土场中的树种和农作物见表 5.1-1。

本工程弃土（石）场周边租地范围比弃土回填范围大，弃土填筑时对周围环境影响较小。弃土场周围没有工业企业，并不影响周围交通等公共设施。弃土场弃土之前首先用推土机清除原地表 30cm 表层土，集中堆放，作为后期复耕用土。弃土之后，整修为三个台阶，然后采取全面整地措施改善弃土场地力条件，便于后期复耕。由于弃土场南侧距离村庄较近，弃土弃渣容易对村庄造成一定影响，因此明确要求施工单位在弃土弃渣时要严格按照先挡后弃的原则，首先修筑初期坝，同时按照永临结合的原则，在弃土四周修筑排水沟，防止四周的雨水汇集对弃土弃渣造成冲刷，产生严重的水土流失。同时，对弃土回填形成的边坡主体设计在满足安全、稳定的前提下，采取格栅植草防护，满足水土保持和环境保护的要求。弃土场修筑排水沟，保证弃土场上游来水及时泄走，又防止弃土场内雨水

横流，从而维护弃土场的安全稳定。为了减少工程占地，主体设计在弃土场中部北侧、西南侧和东南侧边界设置挡土墙，总长 600m，挡土墙的设置减少弃土边坡占地，从而减少工程扰动面积，降低水土流失量的发生。同时，挡土墙又满足边坡稳定，防止滑坡，有利于防治水土流失和环境保护。在满足边坡稳定的基础上，为改善环境景观，保护生态环境，主体设计对弃土（石）场边坡采取格栅植草防护措施。另外还采取了表层土的剥离、堆放及回填等措施，有效的减小弃土场对环境的影响。

2) 施工场地到弃土场之间运输过程的环境影响分析

主要是在运输路线中，运输车辆对路线两侧的噪声影响和扬尘影响。车辆运输的渣土经过压实、洒水及简单覆盖后，在车辆行进过程中扬尘产生量很少，经过大气扩散及稀释作用对运输路线两侧的大气环境质量无明显影响。

运输线路上，每辆渣土运输车往返数趟，每天昼间从施工场地到弃土场的运输车流量预计为 1600 辆/日，夜间（22:00-06:00）不作业。

采用《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2009）的道路噪声预测公式：

$$L_{eq}(h)_i = (\overline{L_{0E}})_i + 10 \lg \left(\frac{N_i}{V_i T} \right) + 10 \lg \left(\frac{7.5}{r} \right) + 10 \lg \left(\frac{\psi_1 + \psi_2}{\pi} \right) + \Delta L - 16$$

式中：

$L_{eq}(h)_i$ —第*i*类车的小时等效声级，dB(A)；

$(\overline{L_{0E}})_i$ —第*i*类车速度为 V_i , km/h；水平距离为7.5米处的能量平均A声级，dB(A)；

渣土运输车辆噪声为75dB(A)；

N_i —昼间或夜间通过某个预测点的第*i*类车平均小时车流量，辆/h；取值100辆/h；

r —从车道中心线到预测点的距离，m；适用于 $r > 7.5$ m预测点的噪声预测。本工程敏感目标北场村的距离取170m。所前王家村距离取110m；

V_i —第*i*类车的平均车速，km/h；车速取50km/h；

T —计算等效声级的时间，1h；

ψ_1 、 ψ_2 ——预测点到有限长路段两端的张角，弧度。保守取 $\psi_1 + \psi_2 = \pi$ ；

ΔL ——修正量。取 0。

总车流等效声级公式：

$$Leq(T) = 10 \lg \left(10^{0.1Leq(h)大} + 10^{0.1Leq(h)中} + 10^{0.1Leq(h)小} \right)$$

计算得到运输路线由渣土运输车辆对所前王家村造成的 $L_{eq}(T)$ 为 50.3dB(A)，对北场村造成的 $L_{eq}(T)$ 为 48.2dB(A)。叠加所前王家村的昼间背景噪声 50.6dB(A)（2010 年非放射性环境本底调查结果）后为 53.5dB(A)。北场村的昼间背景噪声 36.9dB(A)（2010 年非放射性环境本底调查结果），考虑之前的弃土场的噪声影响后为 49dB(A)。再叠加渣土运输车辆对北场村的影响后，噪声可达 51.6dB(A)。渣土运输车辆对两个村的噪声影响后，两个村庄仍可满足 2 类区的声环境质量标准[昼间 60dB(A)]要求。

5.1.3.4 进厂道路和应急道路

1) 道路基本情况

进厂道路：全长 1243.86m，路面宽度 18m，起点为宁津镇东墩村东北侧，终点为本工程厂前区入口处，参照二级公路标准设计，双向四车道，沥青混凝土路面，设计车速 60km/h。

应急道路全长约 344m，拟建路面宽度 9m，起点为厂区北侧华能拟建厂外道路，终点为本工程厂址废物处理设施北侧厂区出入口，参照三级公路标准设计，双向两车道，沥青混凝土路面，设计车速 40km/h。

本工程运行期间，进厂道路和应急道路均可作为厂内职工进出的主要道路，车辆主要以厂内职工的班车及职工的私家车为主。车辆集中为上下班时间段，其他时段由于车辆数量很少，可忽略。保守假定职工在 1h 内陆续进厂或出厂，并假定上下班高峰时段的车流量均为小型客车（私家车）500 辆/h，大型客车（班车）20 辆/h。折算为昼间小时平均车流量分别为 63 辆/h 和 2 辆/h。夜间(22:00-6:00)车流量很少，不考虑交通噪声对周边的影响。

2) 评价范围

依据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2009），本工程的应急道路和进厂道路噪声评价范围为道路中心线外两侧 200m 范围。

依据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018），对于以线源为主的的城市道路项目，评价范围可设定为线源中心两侧各 200m 范围。

3) 敏感目标情况

距离应急道路最近的敏感目标为周庄，相距 940m，在应急道路的评价范围

外，可以不予考虑。进厂道路评价范围内最近的敏感目标为东墩村，位于路的南面，距离 175m，其次为所前王家村，位于路的北面，距离 180m。两村庄按 2 类声功能区考虑。

4) 环境影响预测

(1) 施工期

进厂道路和应急道路施工期对环境可能产生影响的活动中主要有施工现场土地的清理、平整，路面开挖、弃土的运输与处置等，对环境可能产生影响的主要因子有：施工引起的扬尘、施工机械及运输车辆排放的废气、施工机械的冲洗废水、施工人员的生活污水和施工机械噪声等，见表 5.1-2。

● 施工期噪声影响

项目施工期的主要噪声来自于施工机械和运输车辆产生的噪声。施工机械和施工车辆的噪声可近似视为点声源，根据点声源噪声衰减模式，估算距离声源不同距离处的噪声值，预测模式如下：

$$L_p = L_{p0} - 20 \lg(r / r_0)$$

式中：

L_p ——距声源 r 米处的施工噪声预测值，dB(A)；

L_{p0} ——距声源 r_0 米处的噪声参考值，dB(A)。

根据《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），施工场界昼间的噪声限值为 70dB(A)，夜间限值为 55dB(A)；本工程夜间不施工。类比某道路环评报告施工期施工场界 5m 处的实测噪声值，并进行预测，见表 5.1-3。由表 5.1-3 可见，进厂道路和应急道路两侧 60m 处满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的昼间限值要求。距离进厂道路最近的敏感目标为东墩村，相距 175m，距离应急道路最近的敏感目标为周庄，相距 940m，施工噪声对东墩村和周庄无影响。

● -施工期大气环境影响

施工方采取如下施工环保管理措施：对应急道路施工区域及时清扫以减少施工引起的扬尘；加强施工管理，合理调度施工机械和运输车辆，减少施工机械及运输车辆排放废气造成的污染。进厂道路和应急道路施工期间对大气环境影响很小。

● 施工期水环境影响

进厂道路和应急道路施工期间，施工机械的冲洗废水、施工人员的生活污水统一收集处理，处理后尽可能循环利用，废水基本不外排；循环回用的中水满足《城市污水再生利用-城市杂用水水质》（GB/T18920-2002），主要用于绿化和汽车冲洗等。因此应急道路施工期间对水环境基本无影响。

（2）投运期

● 投运期噪声影响

由于距离应急道路最近的敏感目标为 940m 处的周庄，在评价范围外，可以不予考虑道路噪声的影响。进厂道路评价范围内最近的敏感目标为东墩村，位于路的南面，距离 175m，其次为所前王家庄，位于路的北面，距离 180m。两村庄按 2 类声功能区考虑。

采用《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2009）给定的道路噪声预测公式：

$$L_{eq}(h)_i = (\overline{L_{0E}})_i + 10\lg\left(\frac{N_i}{V_i T}\right) + 10\lg\left(\frac{7.5}{r}\right) + 10\lg\left(\frac{\psi_1 + \psi_2}{\pi}\right) + \Delta L - 16$$

式中：

$L_{eq}(h)_i$ —第*i*类车的小时等效声级，dB(A)；

$(\overline{L_{0E}})_i$ —第*i*类车速度为 V_i ，km/h；水平距离为7.5m处的能量平均A声级，dB(A)；

中小型轿车取值65dB(A)，班车取值75dB(A)；

N_i —昼间，夜间通过某个预测点的第*i*类车平均小时车流量，辆/h；中小型轿车取值63辆/h，班车取值2辆/h；

r —从车道中心线到预测点的距离，m；适用于 $r>7.5$ m预测点的噪声预测。敏感目标东墩村的距离取175m。所前王家村距离取180m；

V_i —第*i*类车的平均车速，km/h；车速取50；

T —计算等效声级的时间，1h；

ψ_1 、 ψ_2 —预测点到有限长路段两端的张角，弧度。进厂道路与东墩村的张角以及道路与所前王家庄的夹角均保守取 $\psi_1 + \psi_2 = \pi$ ；

ΔL ——修正量。取 0。

总车流等效声级公式：

$$Leq(T) = 10\lg\left(10^{0.1Leq(h)大} + 10^{0.1Leq(h)中} + 10^{0.1Leq(h)小}\right)$$

计算得到进厂道路噪声在东墩村的 $L_{eq}(T)$ 为 46.3dB(A)。在所前王家庄的 $L_{eq}(T)$ 为 46.2dB(A)。叠加东墩村的昼间背景噪声 47.7dB(A) (2010 年非放射性环境本底调查结果) 后为 50.1dB(A)，所前王家庄的昼间背景噪声 50.6dB(A) (2010 年非放射性环境本底调查结果) 后为 52.0dB(A)。可见进厂道路的投运对敏感目标无明显影响。以上均可满足 2 类区的声环境质量标准[昼间 60dB(A)]。即便是在上下班高峰时段，进厂道路噪声对东墩村的噪声贡献值为 55.3dB(A)，对所前王家庄的噪声贡献值为 55.2dB(A)，叠加各敏感目标的背景值后分别为 56.0dB(A)和 56.5dB(A)，仍可满足 2 类区的声环境质量标准[昼间 60dB(A)]。

夜间由于车辆很少，故对敏感目标的声环境无影响。

● 投运期大气环境影响

应急道路投运后，机动车运行产生的尾气及扬尘对周围环境的空气环境有一定的影响，其主要污染物为 CO、NO_x、TSP 等。道路采用沥青混凝土路面，扬尘污染较小。考虑到道路所在区域的大气扩散条件较好，且车辆绝大部分为进出核电厂的轿车车辆，日均车流量不大，因此，机动车尾气对周围大气环境影响很小。

5.1.3 施工期环境监测

5.1.3.1 施工期环境监测方案

本小节引用《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（建造阶段）》描述的施工期环境监测方案。本工程施工期环境监测工作方案如下。

1) 环境空气监测

(1) 厂界监测

监测项目：颗粒物、SO₂、NO_x日均值。

监测点位：厂界（包括主厂区、施工临建区）上风向布设一个参照点，下风向布设三个监控点。

监测频次：一年 4 次，每季节各 1 次；每次 1 天，4 次/天。

(2) 弃土场监测

监测项目：颗粒物日均值。

监测点位：弃土场上风向布设一个参照点，下风向布设三个监控点。

监测频次：一年 4 次，每季节各 1 次；每次 1 天，4 次/天。

(3) 敏感点监测

监测项目：TSP、PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、NO_x、CO 日均值。

监测点位：所前王家村、东墩村、北场村各布设一个监测点。

监测频次：一年 4 次，具有季节代表性的 7 天。

2) 污水监测

污水监测点位、监测项目及监测频次详见表 5.1-4。

3) 噪声监测

(1) 噪声监测点位及监测频次

监测点位：厂界布设 5 个点，敏感点所前王家村布设 1 个点位、东墩村布设 2 个点位、北场村布设 1 个点位。

监测频次：一年 4 次，每次监测 1 天，24h 连续监测。

监测项目：L_d、L_n、L_{dn}、L₁₀、L₅₀、L₉₀。

(2) 监测分析方法

施工噪声按《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）进行，敏感点噪声监测按《声环境质量标准》（GB3096-2008）进行。

5.1.3.2 施工期环境监测结果

施工期陆域环境监测工作自 2014 年第一季度（3 月）开始，2014 年~2017 年第一季度由山东省环境监测中心站开展监测工作，其监测方案与 5.1.3.1 节施工期环境监测方案一致；2017 年第四季度~2020 年 10 月由山东天弘质量检验中心有限公司开展监测工作，其监测方案与 5.1.3.1 节施工期环境监测方案相比调整如下：增加施工临建区厂界噪声监测布点，设置临建区污水处理站排放口、厂前区污水处理站排放口、雨洪排海口、第二临建区暗涵排口监测布点，减少北场村噪声监测布点；2020 年 12 月至今由青岛中一监测有限公司开展监测工作，其监测方案与 5.1.3.1 节施工期环境监测方案相比调整如下：增加施工临建区厂界噪声监测布点，设置厂前区污水处理站排放口、雨洪排海口监测布点，减少北场村噪声监测布点。

2017 年第二、三季度建设单位未委托开展监测工作。

施工期陆域环境监测中的居民点等环境敏感区域监测结果见第三章 3.2 节，大气污染物无组织排放、污水排放及厂界噪声监测结果如下。

1) 大气污染物无组织排放

监测开展期间，主厂区边界 SO_2 无组织排放最大监测值范围为未检出~ $0.052\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_x 无组织排放最大监测值范围为 $0.025\sim 0.104\text{mg}/\text{m}^3$ ，TSP 无组织排放最大监测值范围为 $0.041\sim 0.907\text{mg}/\text{m}^3$ 。施工临建区边界 SO_2 无组织排放最大监测值范围为未检出~ $0.052\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_x 无组织排放最大监测值范围为 $0.035\sim 0.106\text{mg}/\text{m}^3$ ，TSP 无组织排放最大监测值范围为 $0.069\sim 0.251\text{mg}/\text{m}^3$ 。弃土场边界 TSP 无组织排放最大监测值范围为 $0.039\sim 0.835\text{mg}/\text{m}^3$ 。上述监测结果满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）无组织排放监控浓度限值要求。

2) 污水排放

本工程处理的生活污水以办公、生活用水为主，生活污水处理后大部分回用，用于道路洒水、绿化、混凝土搅拌等。2018年10月前，生活污水处理设施为临建区污水处理站，2018年10月后，临建区污水处理站关闭，本工程的厂前区污水处理站（371子项）投入试运行。

2015年1~12月监测结果：污水处理站出口主要污染物 pH、 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、石油类、阴离子表面活性剂的日均值浓度符合《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准，部分时段的氨氮的日均值浓度不符合《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准。

2016年1~3月监测结果：污水处理站出口1月份氨氮、 COD_{Cr} 的日均值浓度超出《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准的要求，pH、SS、 BOD_5 、阴离子表面活性剂、石油类的日均值浓度均符合《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准的要求。污水处理站出口废水2016年2~3月份氨氮的日均值浓度超《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准的要求，pH、色度、SS、 COD_{Cr} 、 BOD_5 、阴离子表面活性剂、石油类、总氮、总磷、动植物油、六价铬、总汞、总砷、总铅、总镉、总铬的日均值浓度符合《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准的要求。

2016年4~8月厂区污水站升级改造，期间污水储存于污水池内，监测暂停。改造升级后，污水站抽回储存污水并处理，2016年9月份恢复监测，污水全部回用，监测标准按照《城市污水再生 利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）执行。

2016年9~12月监测结果：污水处理站出口2016年9月氨氮的日均值浓度超出《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）要求，pH、色度、BOD₅、氨氮（10~12月）、总余氯、阴离子表面活性剂、总大肠菌群的日均值浓度均符合《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）建筑施工用水标准的要求。

2017年第一季度（3月）监测结果：污水处理站出口阴离子表面活性剂、总大肠菌群的日均值浓度超出《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）要求，pH、色度、BOD₅、氨氮、总余氯的日均值浓度均符合《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）要求。

2017年10月至2018年10月临建区污水处理站排放口监测结果：pH、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂（LAS）、总磷（TP）、色度的日均值浓度符合《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）要求，存在部分时段的化学需氧量（COD_{Cr}）、生化需氧量（BOD₅）、悬浮物（SS）、总氮（TN）、氨氮的日均值浓度出现超过《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）要求的情况。

2018年11月至2021年12月厂前区污水处理站排放口监测结果：pH、悬浮物（SS）、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂（LAS）、色度的日均值浓度符合《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准（2019年3月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准（2019年3月后执行该标准）的要求，存在部分时段的化学需氧量（COD_{Cr}）、生化需氧量（BOD₅）、总氮（TN）、氨氮、总磷（TP）的日均值浓度出现超过《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准（2019年3月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准（2019年3月后执行该标准）的情况。

2017年第四季度至2021年第四季度雨洪排海口监测结果：pH、阴离子表面活性剂（LAS）、总磷（TP）、色度的日均值浓度符合《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准（2019年3月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准（2019年3月后执行该标准）的要求，存在部分时段的化学需氧量（COD_{Cr}）、生化需氧量（BOD₅）、悬浮物（SS）、动植物油、石油类、总氮（TN）、氨氮的日均值浓度出现超过《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准（2019年3月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准（2019年3月后执行该标准）的情况。

2017年第四季度至2020年第三季度第二临建区暗涵排口监测结果：pH、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂（LAS）、总磷（TP）、色度的日均值浓度符合《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准（2019年3月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准（2019年3月后执行该标准）的要求，存在部分时段的化学需氧量（COD_{Cr}）、生化需氧量（BOD₅）、悬浮物（SS）、总氮（TN）、氨氮的日均值浓度出现超过《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）一级排放标准（2019年3月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准（2019年3月后执行该标准）的情况。

3) 厂界噪声

监测开展期间，主厂区厂界昼间噪声最大监测值范围为47.2~69.9dB(A)，夜间噪声最大监测值范围为41.2~66.9dB(A)，2014年第一季度夜间噪声最大监测值超过《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）夜间厂界环境噪声限值（夜间55dB(A)）要求，其余时段各监测点位的昼、夜间噪声最大监测值均满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）厂界环境噪声限值（昼间70dB(A)，夜间55dB(A)）要求。

监测开展期间，施工临建区厂界昼间噪声最大监测值范围为50~58.2dB(A)，

夜间噪声值大监测值范围为 42.5~47.7dB(A)，均满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）厂界环境噪声限值（昼间 70dB(A)，夜间 55dB(A)）要求。

5.1.3.3 施工期危险废物管理情况

1) 危险废物管理体系

（1）建设单位安排总包单位组织各承包商单位制定了《危化品安全管理细则》、《环境管理规定》、《环境突发事件应急预案》、《危险废物污染防治责任制度》等程序文件，建立健全危险废物管理制度和应急预案，规范危险废物收集、贮存、运输、处置、应急等各环节管理。

（2）按《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》要求制定《危险废物管理计划》，并通过危险废物信息管理系统向所在地生态环境主管部门申报危险废物的种类、产生量、流向、贮存、处置等有关资料。

（3）建立危险废物管理台账，及时对进、出库危险废物信息进行登记。

2) 危险废物贮存管理

（1）各涉及危险废物产生的承包商单位建造施工期专用危险废物贮存设施，具备防风、防雨、防晒、防渗漏功能。

（2）施工期专用危险废物贮存设施外侧设置危险废物标志牌和危废识别标签，并张贴危险废物管理制度、危废污染防治责任制度、危废工艺流程图。

（3）施工期专用危险废物贮存设施采取地面硬化及防渗处理、设置围堰，并配置液体防泄露托盘。

（4）进入施工期专用危险废物贮存设施的危险废物分类存放、堆放整齐，容器和包装物上均张贴危险废物标签。

（5）施工期专用危险废物贮存设施附近设置消防器材、应急电话等标识牌。

3) 危险废物转移处置管理

（1）建设单位与山东中再生环境科技有限公司（具有相应的危险废物经营资质）签订了《CAP1400 示范工程建设期间危险废物处理服务合同》，委托该公司对项目产生的危险废物进行专业回收、处理。

（2）2020 年 7 月-2021 年 3 月，山东中再生公司共处理项目危险废物 35.62 吨，主要包括废油漆桶类、废定影剂，严格执行危险废物转移联单制度。

5.1.4 水土保持

山东省水利勘测设计院受国核示范电站有限责任公司委托开始编制本工程水土保持方案。《国核压水堆示范工程水土保持方案报告书（报批稿）》于2013年3月完成，报告书主要结论为：通过对本工程的主体工程水土保持分析和方案可行性分析，从水土保持角度看，项目建设是可行的。

《国核压水堆示范工程水土保持方案报告书（报批稿）》由水利部水土保持监测中心进行技术评审并获得通过（水保监[2013]38号），水利部于2013年正式批复该报告（水保函[2013]118号），同意本工程水土保持方案。

5.1.4.1 水土流失现状

本工程位于威海荣成市境内，地处滨海。根据《山东省水土保持规划》（山东省计划委员会、山东省水利厅联合主编，1995.06）、山东省第二次水土流失普查结果以及荣成市水土保持资料等，结合对项目区地形地貌、土地类型、降雨情况、土壤母质、植被覆盖等现场调查，并咨询专家意见，确定本工程原地貌土壤侵蚀模数为 $1200t/(km^2 a)$ 。

根据《关于划分国家级水土流失重点防治区的公告》（水利部2006年第2号）、《山东省水土保持规划》及山东省人民政府《关于发布水土流失重点防治区的通告》（山东省人民政府，1999.03），项目区位于鲁东低山丘陵轻度侵蚀区，土壤侵蚀类型以水力侵蚀为主，侵蚀强度为轻度，属山东省水土流失重点治理区。根据土壤侵蚀强度分级和土壤侵蚀容许量标准，项目区地处北方土石山区，土壤侵蚀容许流失量为 $200t/(km^2 a)$ 。

5.1.4.2 水土流失的影响

1) 水土流失可能造成的影响

(1) 厂区在建设中，由于建筑物基础开挖，出现了新的开挖面，如不采取有效的水土流失防治措施，遇大雨天气，造成基坑开挖坡面的冲刷和基坑底部泥土淤积，以及临时堆土的冲刷流失。因此，施工过程中表层土和基坑回填土需要集中堆放，并采取拦挡措施，以避免大雨冲刷造成道路泥泞，同时影响工程的施工，降低工效，使工期延长，相应增加了工程的投资费用。

(2) 施工临建区由于施工过程中施工机械设备在场地的反复碾压和扰动，使熟化的表层土板结化，土壤由松变硬，由厚变薄。表层土如果不加以保护，若遇大雨天气，会造成土壤有机质和氮、磷、钾养分及土壤随水流失，使后期恢复

原地表植被困难。施工生产区的砂、石、水泥等建筑材料的堆放，若不采取有效的防治措施，造成砂、石、水泥在场地流失，影响该区域的后期利用。

(3) 道路工程、取排水工程和施工管线工程属线性工程，施工中产生线性开挖坡面和线性堆土，如不采取有效的水土流失防护措施，遇大风和降雨天气，造成沿线区域的水土流失，给沿线的农田造成泥土淹没，影响农作物的生长。

(4) 由于工程位于海边，施工期间如果不采取措施对弃土（石）场进行防护，势必会造成泥沙冲到海里，造成海边泥沙淤积，影响海边水质和水产养殖。同时，还会淤积沟渠，影响周围农田灌溉和排水。

2) 水土流失预测

本工程在施工过程中，土石方挖填总量为678.92万 m^3 ，其中土石方开挖量为453.01万 m^3 ，土石方填筑量为225.91万 m^3 。

本工程的利用方量为127.94万 m^3 ，无外借方量；弃土石方量为227.10万 m^3 （土方153.74万 m^3 ，弃置石方73.36万 m^3 ），弃置土方中，21.76万 m^3 表层土用于厂区、道路区绿化及施工区和弃土场复植，场地平整过程中产生的5.86万 m^3 土方用于荣成市华东房地产开发有限公司进行南港头项目建设，取排水工程建设过程中产生的61.28万 m^3 淤泥运至当地海洋渔业部门指定的海域抛海处理，剩余的64.84万 m^3 土方弃置在工程专门设置的弃土（石）场内。弃置石方全部弃置在工程专门设置的弃土（石）场内。

施工期间产生的临时性堆土量为27.67万 m^3 。本工程扰动原地貌、占压土地和植被面积为126.41ha，损坏的水土保持设施面积为121.34ha。

水土流失量预测如下：建设期内如不采取任何防护措施，产生水土流失总量3.17万t，其中新增水土流失总量2.45万t。

5.1.4.3 防治责任范围及防治分区

防治责任范围及防治分区根据“谁开发谁保护，谁造成水土流失谁负责治理”的原则和《开发建设项目水土保持方案技术规范》的规定进行确定。本工程防治责任范围包括项目建设区和直接影响区。

项目建设区主要指建设项目征地范围、占地范围、用地范围及其管理范围。本工程项目建设区主要包括厂区、施工临建区、道路工程、取排水工程、施工管线工程及弃土（石）场的占地范围。项目建设区面积为131.97ha。

直接影响区指项目建设区以外，由于开发建设可能造成水土流失或危害的范

围，不属于占地范围，需要通过现场勘测、调查来确定。

本工程各工程区域征占地界限明确，然而工程建设期间若不采取水土流失防治措施，可能会对工程征占地范围以外的区域产生一定的影响。参照已建工程经验，确定本工程建设期直接影响区为：厂区边界外侧10m范围、施工临建区周边2m范围、道路工程的道路两侧5m范围、取排水工程的取排水明渠陆域部分两侧5m范围，施工管线工程的管线两侧5m范围，弃土（石）场的运渣道路两侧5m范围。经计算，本工程直接影响区面积为15.76ha。

综上所述，本工程水土流失防治责任范围总计为147.73ha。

5.1.4.4 水土保持投资估算及效益分析

1) 水土保持投资估算

本工程建设期水土保持工程总投资为2935.29万元，其中水土流失治理费1968.77万元（包括工程措施治理费1253.02万元，植物措施治理费313.23万元，临时措施治理费402.51万元）；独立费用571.43万元（其中监理费168万元，监测费157.00万元）；基本预备费152.41万元；水土保持补偿费242.68万元。

2) 效益分析

开发建设项目水土保持作为项目建设的组成部分，其主要任务是恢复和改善生态环境，保障生产建设安全运行，其效益总体上是反映在对社会和对自然环境的贡献，对本工程自身而言则集中反映在保证建设安全上，即不致因水土流失而造成重大经济损失，从而使工程总体效益达到最高事实上。水土保持效益分析和评价应首先考虑生态效益和社会效益，即“生态社会效益优先”。

(1) 保土效益

根据《水土保持综合治理效益计算方法》（GB/T15774-2008）规定，保土效益为工程项目建设前后土壤流失量的差值。

经预测，项目区建设前每年产生土壤流失量为1517t；建设期内如不采取任何防护措施，产生水土流失总量3.17万t，其中新增水土流失总量2.45万t。本方案实施后，各分项工程区土壤流失量得到有效控制，使设计水平年项目区总控制比达1.0。项目区内减少临时堆土流失量3042t，拦渣率达到98%，保土效益相当显著。

(2) 蓄水效益

根据《水土保持综合治理效益计算方法》（GB/T15774-2008）规定，造林、

种草等措施具有增加就地入渗、减小地表径流的效益。根据山东省有关规定，采用的蓄水减流定额为 $600\text{m}^3/\text{ha}$ 。

本方案设计了在项目区内栽植普通乔木7129株、栽植灌木7.70万株、撒播植草 10.00hm^2 ，故整个项目区绿化总面积约为 30.33hm^2 ，计算可得年减少地表径流增加量 18198m^3 ，蓄水效益较为可观。

（3）生态效益

项目区设计水平年林草措施总面积为 30.33ha ，项目建设区面积为 126.41ha ，林草覆盖率为23%；项目区内可绿化面积为 30.69ha ，林草植被恢复系数为98%。

方案实施后，有效拦截了工程建设产生的土壤流失，遏制了项目区原有的水土流失，最终达到了绿化美化项目区及其周边环境、减少污染、涵养水源的目的，促进项目区生态环境的改善和良性循环。

（4）社会效益

实施本方案的社会效益表现在：

- 稳定了边坡，减少了项目区的水土流失危害，保障了主体工程的安全，减轻了水土流失对当地农业生产的影响，促进了农民生活水平的提高。
- 绿化措施的布设塑造了山东核电的形象，符合生态省建设的要求，整个水土保持方案的实施为山东核电发展做出较大的贡献。

经过水土流失综合防治效果的评估，本方案实施后，项目区各项水土保持评价指标，如扰动土地治理率、水土流失治理度、水土流失控制比、拦渣率、林草覆盖率、林草植被恢复系数，均达到或超过原设计要求。

5.1.4.5 水土保持监测

本工程的水土保持现场工作依据山东省水利勘测设计院编制的《本工程水土保持方案报告书》开展。

水土保持监测时段从施工准备期开始到设计水平年结束，根据项目建设过程中水土流失的实际情况，水土保持监测划分为施工期（含施工准备期）和设计水平年两个时段进行监测。监测总时段从施工准备期开始到设计水平年结束。

监测范围为全部防治责任范围，监测面积为 147.73hm^2 。

根据本项工程水土流失预测初步分析，确定本工程水土保持监测的重点区域为厂区和弃土（石）场，重点监测时段为施工期。

工程建设期在不同的监测区域布置固定监测点和临时监测点，以进行较为全

面的监测分析。本工程共布设 2 处固定监测点位，包括厂区监测区和弃土（石）工程区。为了全面监测评估由于项目建设所造成的水土流失，在设立固定监测点的同时，还设立了一些相对固定的临时调查监测点位，主要设立在厂区、施工临建区、道路工程、取排水工程区和施工管线工程。

本工程采用调查巡查和定点观测相结合的监测方法。由于本工程的侵蚀类型主要为水蚀，因此监测主要采取布设监测小区的方法，定时观测和采样分析，获取监测数据。

本工程通过招标方式确定了山东省水利科学研究院为本工程的水土保持监测监理单位，2014 年 1 月，国核示范电站有限责任公司与山东省水利科学研究院签订了水土保持监理服务合同。2014 年 4 月山东省水利科学研究院完成了水土保持监测质保大纲和工作大纲；6 月在第一弃土场边坡和厂区边界位置各建设一个水土保持监测设施，用以监测自然情况下的水土保持情况，现已完工；其他主要监测厂区水土流失情况、施工区土地扰动量、弃土石方量、排水沟修建量、边坡支护修建量、腐殖土清理量等数据。

山东省水利科学研究院已按照合同要求开展本工程水土保持监测监理工作，并在每个季度编制《生产建设项目水土保持监测季度报告表》，截至 2021 年第四季度，总体评价均为水保措施比较到位。

表 5.1-1 弃土场中的树种和农作物补偿量计算结果

| 农作物 | 数量 | 单位 | 树种 | 株数/占地面积 | 单位 |
|------|-------|----|----------|---------|----|
| 板栗 | 25 | 棵 | 臭椿 | 1001 | 棵 |
| 茶 | 0.12 | 公顷 | 刺槐 | 111 | 棵 |
| 茶叶玉米 | 11.21 | 公顷 | 大叶女贞 | 421 | 棵 |
| 大豆 | 0.28 | 公顷 | 芙蓉 | 4 | 棵 |
| 地瓜 | 0.07 | 公顷 | 黄连木、桔楝苗圃 | 0.19 | 公顷 |
| 核桃 | 80 | 棵 | 棉槐 | 500 | 墩 |
| 花椒 | 10 | 棵 | 棉槐、灌木 | 86400 | 棵 |
| 花生 | 0.48 | 公顷 | 木槿 | 5 | 棵 |
| 梨 | 80 | 棵 | 楸树 | 6 | 棵 |
| 猕猴桃 | 10 | 棵 | 桑树 | 16 | 棵 |
| 石榴 | 40 | 棵 | 松树 | 5 | 棵 |
| 柿子 | 54 | 棵 | 乌桕树 | 275 | 棵 |
| 桃 | 6 | 棵 | 杨树 | 1320 | 棵 |
| 无花果 | 345 | 棵 | 杨树扦插苗 | 0.02 | 公顷 |
| 西瓜 | 0.01 | 公顷 | 榆树 | 5 | 棵 |
| 樱桃 | 450 | 棵 | 杂树 | 40 | 棵 |
| 玉米 | 0.81 | 公顷 | | | |
| 竹子 | 5 | 墩 | | | |

表 5.1-2 不同施工阶段主要污染源及污染物

| 施工阶段 | 主要污染源 | 主要污染物 |
|---------|---------------------------------------|--|
| 平整土地阶段 | 推土机、铲车、运输卡车 | 噪声、扬尘、渣土、NO _x 、CO、污水 |
| 打桩、挖土阶段 | 裸露地面、土方堆场、土方装卸过程 打桩机、挖土机、铲车、运输卡车等 | 噪声、扬尘、渣土、NO _x 、CO、污水 |
| 道路铺设 | 建材堆场、建材装卸过程、混凝土搅拌 \运输卡车、吊车、混凝土搅拌机等 | 噪声、扬尘、渣土、沥青 烟气、NO _x 、CO、污水 |

表 5.1-3 施工期施工场界 5m 处的实测噪声值预测结果

| 机械名称 | 5m | 10m | 20m | 40m | 60m | 80m | 100m | 150m | 175m | 200m |
|-----------------------|----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|
| 挖掘机 | 84 | 78 | 72 | 66 | 62.5 | 60 | 58 | 54.5 | 53.1 | 52 |
| 推土机 | 86 | 80 | 74 | 68 | 64.5 | 62 | 60 | 56.5 | 55.1 | 54 |
| 装卸机 | 90 | 84 | 78 | 72 | 68.5 | 66 | 64 | 60.5 | 59.1 | 58 |
| 平地机 | 90 | 84 | 78 | 72 | 68.5 | 66 | 64 | 60.5 | 59.1 | 58 |
| 压路机 | 86 | 80 | 74 | 68 | 64.5 | 62 | 60 | 56.5 | 55.1 | 54 |
| 摊铺机 | 87 | 81 | 75 | 69 | 65.5 | 63 | 61 | 57.5 | 56.1 | 55 |
| 拌和机 | 87 | 81 | 75 | 69 | 65.5 | 63 | 61 | 57.5 | 56.1 | 55 |
| 自卸车辆 | 82 | 76 | 70 | 64 | 60.4 | 58 | 56 | 52.5 | 51.1 | 50 |
| 注：5m 处的噪声级为类比的报告的实测值。 | | | | | | | | | | |

表 5.1-4 生活污水监测内容

| 序号 | 监测点位 | 监测项目 | 日监测频次 | 年监测频次 |
|----|---------|---|--------------|-------|
| 1 | 污水处理站进口 | pH、SS、COD _{Cr} 、BOD ₅ 、色度、总氮、总磷、氨氮、阴离子表面活性剂、石油类、动植物油、粪大肠菌群、流量 | 4次/天 每次2天 | 1次/月 |
| 2 | 污水处理站出口 | pH、SS、COD _{Cr} 、BOD ₅ 、色度、总氮、总磷、氨氮、阴离子表面活性剂、动植物油、粪大肠菌群、流量 | 4次/天 每次2天 | 1次/月 |

5.2 水的利用

5.2.1 施工用水对水体环境的影响

5.2.1.1 施工用水方案

本工程施工期间所用淡水分为施工生产用水、施工生活用水、施工消防用水等，本工程以朱玃水库、黄山水库、东庄水库联合供水作为淡水供水水源，取水地点为三水库坝前迎水侧，在坝前迎水侧设置取水泵后，用车载方式运至厂区，厂区内设置水处理厂，在对水质进行有效处理后满足本工程用水要求。

5.2.1.2 施工用水对水体环境的影响

施工现场的供水量满足全工地的直接生产用水、施工机械用水、生活用水和消防用水的综合最大需要量，饮用水符合《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)和当地卫生机关的规定；混凝土和砂浆的拌和用水符合《混凝土用水标准》(JGJ63-2006)的规定；施工机械用水水质符合《工业锅炉水质》(GB1576-2008)中给水水质规定。

场地平整阶段的施工用水量不超过 $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，每天工作按照一个班考虑，则小时流量为： $1000 \div 8 \times 1.5 = 187.5\text{m}^3/\text{h}$ ，1.5 为流量调节系数，按一年施工 300 天考虑，场地平整阶段年最大需水量约为 30 万 m^3 。

主体施工阶段的施工用水主要考虑混凝土浇筑用水量及施工人员生活用水。估计施工高峰期的混凝土浇筑量为 $5000\text{m}^3/\text{d}$ ，每 m^3 混凝土需水量标准为 $300\text{L}/\text{m}^3$ ，需水 $1500\text{m}^3/\text{d}$ ，小时用水量约为 $63\text{m}^3/\text{h}$ ；每 m^3 混凝土的沙石冲洗水为 $400\text{L}/\text{m}^3$ ，需水 $2000\text{m}^3/\text{d}$ ，小时用水量约为 $80\text{m}^3/\text{h}$ ；取小时变化系数 2，混凝土浇筑养护和混凝土砂石料冲洗总平均水量 $71.5\text{m}^3/\text{h}$ ，其中混凝土浇筑养护平均用水量 $31.5\text{m}^3/\text{h}$ 。混凝土砂石料冲洗平均用水量 $40\text{m}^3/\text{h}$ ，考虑 25% 回收利用，通过澄清池回用水量为 $10\text{m}^3/\text{h}$ ，即实际补水量为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。施工机械冲洗水量为 $8.5\text{m}^3/\text{h}$ ，全部由澄清池提供。施工机械冷却水补水量为 $5\text{m}^3/\text{h}$ ，全部消耗。锅炉补水为 $3\text{m}^3/\text{h}$ ，全部消耗。

高峰时施工人员 5000 人（日均），管理人员 1000 人（日均），每天用水量 $120\text{L}/\text{d}$ ，最高日用水量 $720\text{m}^3/\text{d}$ ，平均小时用水量约为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。

未预见用水量按上述用水量的 10% 计，即约 $9.95\text{m}^3/\text{h}$ ；期间输水损失初步估计约为 $11.5\text{m}^3/\text{h}$ 。

本工程施工用水水处理厂自用水损耗约 $5.47\text{m}^3/\text{h}$ 。

施工期平均用水量为 126.5m³/h，按 330 天计算，本工程施工期年用水量约为 100.5 万 m³。

5.2.2 施工排水对环境的影响

5.2.2.1 厂区雨水排水方案

本工程按照干厂址进行设计。厂址处的设计基准洪水位为 6.87m，厂区厂坪标高为 10.0m，高于设计基准洪水位，确保了电厂防洪安全。

厂区内整平之后的坡度为 0.1%左右，各建构物旁及各功能区域均设计为有组织的管系排洪系统。厂址所在汇水区域内暴雨形成的洪水，可以通过管系、沟渠及排洪沟等迅速排入大海，故不存在雨洪对本工程的威胁。

5.2.2.2 场地平整和主体施工期间的污水处理

场地平整阶段所产生的污水主要是生活污水和施工机械冲洗后的含油废水，不能直接排入大海，因此，生活污水采用一套 3m³/h 地埋式生活污水处理设施进行处理，生活污水经建成后的处理设施收集处理后，达到《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35 号）的一级排放标准后，尽可能进行中水回用，不能循环利用的废水经处理达到《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35 号）的一级排放标准的规定后集中排放；粪便、污泥或剩余污水等通过当地的环卫部门专用车辆运送至当地的污水处理厂集中处理。洗车废水采用一套 3m³/h 油水分离设施对冲洗车辆含油废水进行油水分离，以及一套 3m³/h 的一体化车辆冲洗专用循环水设备，达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）洗车水中水使用要求，进行洗车废水循环使用，油污定期清理外运或填埋，使得本工程达到国家节能减排的要求。

主体施工期间的废水主要来自场地冲洗、设备洗涤的生产废水和施工人员产生的生活污水。施工期间厂区生活和生产废水集中经污水处理站处理后尽可能循环利用，废水基本不外排。循环利用的中水达到国家标准《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）后主要用于绿化和汽车冲洗等。不能循环利用的废水经处理达到《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35 号）的一级排放标准（2019 年 3 月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）

的一级排放标准（2019年3月后执行该标准）的规定后排放。

污水排放监测结果见第五章 5.1.3 节描述。

5.2.3 取排水工程施工对水体环境的影响

5.2.3.1 取排水工程方案

本工程海工工程（取排水工程）包括南取水东堤、南取水西堤、北取水东堤、北取水西堤、排水北堤、排水南堤、中隔堤、分流堤，总长度约11590m，堤顶高度3.5m~6.0m，堤顶宽度5.0m~14.0m，取排水工程各段大堤的参数如下。

| 取排水工程 | 长度 | 堤顶高程 | 堤顶宽度 |
|-------|------|------|----------|
| 南取水东堤 | 880 | 6.0 | 8.0~14.0 |
| 南取水西堤 | 960 | 5.0 | 8.0~14.0 |
| 北取水东堤 | 1720 | 5.5 | 7.0~14.0 |
| 北取水西堤 | 1400 | 4.0 | 5.0~9.0 |
| 排水北堤 | 1940 | 4.0 | 8.5~13.0 |
| 排水南堤 | 2840 | 5.5 | 8.0~13.0 |
| 中隔堤 | 1000 | 3.5 | 8.0 |
| 分流堤 | 450 | 3.5 | 8.6 |

5.2.3.2 取排水工程施工影响

1) 本工程取排水工程建设阶段对海洋水环境的影响主要为对水质环境的影响。

取排水工程建设阶段对海洋水质环境主要来自于取、排水明渠建设期的施工悬浮泥沙影响。

取、排水明渠建设整个工程施工期分三个工期，与本工程相关的施工阶段为施工二期（南侧取水明渠以及东侧排水明渠并配合明渠内疏浚作业）和施工三期（继续建设北侧取水明渠，配合部分区段的疏浚作业，同时拆除高温堆取水口南侧的干施工围堰）。取、排水明渠建设会导致附近海域悬浮泥沙量的增大和海水水质下降。《石岛湾核电厂址海工工程后期施工期泥沙对高温堆取水影响分析数学模型试验研究报告》计算结果表明，取排水明渠施工二期和施工三期悬浮泥沙量的影响范围为：悬浮物超一、二类海水水质标准（10~100mg/L）包络线面积分别为 4.49km² 和 3.69km²；悬浮物超三类海水水质标准（100~150mg/L）包络线面积分别为 0.95km² 和 1.38km²；悬浮物超四类海水水质标准（>150mg/L）包络

线面积分别为 0.24km² 和 0.61km²。

(1) 悬浮物扩散对“三场一通”游泳动物的影响主要为短期效应，施工结束后对游泳动物的影响较小。

(2) 悬浮物扩散项目周边海域养殖的影响分析如下：

本工程所在厂址的养殖清海情况见第二章 2.3 节描述。清海工作已完成，厂区邻近海域范围内无养殖活动，因此施工期对周边养殖区影响不大。

施工活动可能产生的悬浮泥沙使附近海水悬浮物浓度升高，受污染的海水趁潮进入厂址南侧养殖池，可能对养殖海产品的生长产生影响。为应对悬浮泥沙可能对厂址南侧养殖场取水水质产生的影响的措施如下：

(i) 根据原国家海洋局《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》的要求，制订详细的施工期环境监测方案，委托具有海洋环境监测资质的相关单位，同时邀请政府、养殖户代表等全程参与，跟踪监测本工程对取水口海洋环境的影响，包括施工前后的海水水质的对比分析，为后续的养殖户沟通和赔付问题处理提供依据。

(ii) 在本工程施工前与养殖户及时沟通协调，养殖户取水期尽量选择夜间，避开白天填海、疏浚作业集中影响期；施工期间，加强施工期海洋环境跟踪监测，及时调整施工方案，建立养殖补偿应急预案，及时与受影响养殖业户协调。

(iii) 要求施工单位严格按照设计方案施工，尽可能采取有效措施减少对高位养殖取水口的影响，具体如下：

- 严格按先形成围堰后回填的施工工艺进行施工。在护岸形成抛填石块时应尽量减少石方中的泥土含量。通过优化施工方案，最大程度减少泥沙入海量。施工单位在制定施工计划、安排进度时，应充分考虑到附近海域的环境保护问题，围堰形成应选在低潮施工，减少入海泥沙影响范围。
- 施工船舶机舱含油污水不能随意排放，要求租用含油污水接收处理船接收处理。施工船舶应加强管理，要经常检查机械设备性能完好情况，对跑、冒、滴、漏严重的船只严禁参加作业，以防止发生机油溢漏事故。甲板上机械出现设备漏冒油时，立即停机处理，使用吸油棉及时吸取，并迅速堵塞泄水口，防止油水流入海中。严禁施工船舶向施工海域排放废油、残油等污染物；不得在施工区域清洗油舱和有污染物质的容器；海上施工船上的粪便污水应收集在船上的卫生设施中，统一运往陆上的

污水处理系统中处理。施工船舶垃圾禁止随意扔入海域。

- 施工场地和施工人员生活区指定地点设置临时垃圾桶和垃圾箱，配置运输车，安排专人负责定时分类收集垃圾。施工船舶垃圾及机械保养产生的固体废弃物不得随意倒入海域，应由施工船舶配备的垃圾收集装置统一收集。
- 建立切实可行的安全措施，对施工安全加强管理，防止施工船舶溢油、含油废水的任意排放，最大限度地减小施工对海域环境的影响。

若出现超标现象，针对养殖户的合理诉求，按照养殖赔付应急预案的要求，在当地政府的统一协调下，依据施工前后的水质监测数据指标和对比分析结果，按照国家和当地政府相关的赔偿标准给予赔偿。

取排水工程建设的悬浮泥沙影响仅限于取排水工程建设阶段，该影响是暂时性的，随着施工的结束，水环境质量将逐步得到恢复。

2) 本工程取排水工程建设阶段对海洋生态环境影响主要为取排水渠开挖造成的直接和间接生态损失。

取排水渠开挖产生的悬浮泥沙会造成施工区域范围内海域的水体局部悬浮物增加，主要通过增加水体浑浊度所产生的一系列负面效应及沉降后的掩埋作用而对水体中各生物类群如浮游植物、浮游动物及鱼类等进行生理、行为、繁殖、生长等方面的影响，从而影响整个水生态系的种群动态及群落结构。包括：

- 悬浮颗粒造成水体透明度下降和溶解氧降低，对浮游植物的光合作用产生不利影响，进而降低浮游植物数量，导致局部水域内初级生产力水平降低；悬浮物快速下沉造成部分浮游植物被携带而随之下沉，使水体中浮游植物遭受一定的损害。
- 悬浮颗粒粘附在游泳动物体表，干扰其正常的生理功能，其中鱼类的腮腺积聚的泥沙微粒损害鳃部的滤水和呼吸功能，可能导致鱼类窒息死亡。
- 悬浮颗粒粘附在鱼卵的表面，阻碍鱼卵与水体之间氧与二氧化碳的充分交换，导致鱼卵死亡；影响仔稚鱼幼体发育，降低其生存能力。悬浮颗粒沉降后覆盖鱼类产卵场所，造成鱼卵孵化率下降；水底的石砾、碎石及水底其它不规则的类似物被掩埋，鱼苗天然庇护场所早到破坏。
- 取排水渠开挖改变了该海域局部区域底栖生物的栖息环境，导致底栖生物被挖起死亡或被掩埋致死，底栖生物资源受到一定影响。

- 取排水渠开挖过程中涉及的水下爆破施工（炸礁）产生的冲击波会对海洋生物造成一定的危害。

根据本报告第二章 2.3 节描述，本工程开始建设后，厂址附近海域的各类渔业资源数据与本工程未开展建设前相比，基本处于同一水平，因此《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响报告书（建造阶段）》第五章 5.2 节关于取排水施工所致海洋生物损失量评估结果是可以接受的。总体而言，渔业生物资源的损失量较小。

本工程炸礁作业位于现状养殖池内，受排水防波堤、现状养殖池围堰的阻隔作用，炸礁作业发生时不会对养殖池外海域的渔业资源造成致命的影响。同时，由于本工程取排水工程施工前完成了工程周边海域养殖区的清理，因此施工作业不会对养殖生物造成损失。

综上所述，取排水工程建设施工引起的生态环境影响是局部的，且这种不良影响是暂时的，当施工结束后，这种影响也将随之消失。

5.2.4 海洋环境监测

5.2.4.1 海洋环境监测方案

1) 监测范围

根据《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》的规定，本项目以平行于海岸线为纵向，以垂直于海岸线为横向。本项目监测范围如下：纵向为 10km；横向为建设项目所处海域外缘两侧各 5km。考虑到本项目的具体情况，可以适当进行调整。

2) 监测项目

在项目施工前和施工过程中对水文、水质、沉积物和生物进行调查，及时了解项目建设对海洋环境的影响。分析其对周边用海活动及海洋功能区的影响范围、程度等。

(1) 水文：水色、透明度。

(2) 水质：

- 本底调查：SS、COD、石油类、磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、pH、DO、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油类等。
- 常规监测：SS、石油类、COD、磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、铜、

铅、锌、镉、铬、汞、砷。

(3) 沉积物:

- 本底调查: 粒度、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷。
- 常规监测: 粒度、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷。

(4) 生物: 叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物。

3) 监测站位

本项目建设过程中对项目附近养殖区影响较大。因此,在布设断面时优先考虑对项目周边养殖区的监测,共设计水文大面站 20 个,水质大面站 20 个、沉积物、生物大面站 10 个。站位可根据实际情况进行适当调整。目前考虑南边高位养殖的取水口水质监测要求,在各养殖取水口位置适当加密。

(1) 水文监测断面: 横向布设 5 个断面,其中主断面为经过建设项目所处海域中心点的断面;项目中心点两侧各 2 个断面。每个断面均布设 4 个大面站。

(2) 水质监测断面: 横向布设 5 个断面,其中主断面为经过建设项目所处海域中心点的断面;项目中心点两侧各 2 个断面。每个断面均布设 4 个大面站。

(3) 沉积物和生物项目断面: 在每个水质断面中选择 2 个站位观测。

4) 监测时间与频率

监测时间及频率根据项目施工期做相应的调整,本海工工程施工期约为 36 个月。包括施工前监测、施工过程中跟踪监测和施工后监测。

(1) 水文监测: 施工期间每年的丰水期、平水期和枯水期进行大潮期和小潮期监测,工程完成后进行一次大、小潮期监测。

(2) 水质监测: 施工期间每年的丰水期、平水期和枯水期进行大潮期和小潮期监测,工程完成后进行一次大、小潮期监测。期间,根据需要增加监测频次。本方案以 10 次作为总监测次数。

- 本底监测: 工程期间选大潮期进行一次本底监测,监测所有常规水质项目。
- 常规监测: 其余时间段进行常规监测。监测目标为本项目主要环境影响因子。

(3) 沉积物监测: 施工期间每年的丰水期和枯水期大小潮各进行一次,工程完成后进行一次大、小潮期监测,共计 6 次。

- 本底监测: 工程期间选大潮期进行一次本底监测,监测所有常规沉积物

项目。

- 常规监测：其余时间段进行常规监测。监测目标为本项目主要环境影响因子。

(4) 生物监测：施工期间每年的丰水期和枯水期大小潮各进行一次，工程完成后进行一次大、小潮期监测，共计进行 6 次。

以上监测频率必要时可根据实际情况进行调整。此外，施工期间如有因施工或海洋灾害等导致的突发性海洋环境事件，可根据建设单位的要求进行应急监测。

5.2.4.2 海洋环境监测结果

国核示范电站有限责任公司委托国家海洋局烟台海洋环境监测中心站开展取排水工程施工期海洋环境监测工作。

国家海洋局烟台海洋环境监测中心站根据取排水工程开工时间（2020 年 11 月 1 日）和建设周期（30 个月）开展监测，取排水工程施工前、后各进行一次大、小潮调查，调查内容为全要素（水质、生物、沉积物）。在施工期间每年春、夏、秋季各一次大、小潮进行水质、生物调查，总计 16 次。沉积物调查每年一次，总计 4 次。

根据海工工程施工区域实际情况，国家海洋局烟台海洋环境监测中心站调整了调查断面和站位布设。调查断面和站位布设以取排水工程整体为中心点（122°31'52"E，36°57'18"N），在监测区域布置 5 条东西向断面，每条断面设 3~5 个站，同时在取排水工程东侧 7~8km 位置处布设 2 个对照站，在取排水工程东北侧三个功能区和养殖交界处、东南侧两个功能区和养殖交界处各布设 1 个控制站，总计调查站位 25 个（全部开展水质监测工作），其中生态站位 17 个，沉积物站位 15 个。调查站位布设尽量与历史调查站位重合。

1) 海洋生态

(1) 施工前：2020 年 9 月 11 日（秋季小潮）

叶绿素 a：调查海域（表层海水）含量范围为（0.118~0.466） $\mu\text{g/L}$ ，平均值为 0.341 $\mu\text{g/L}$ 。

浮游植物：调查海域出现 31 种（硅藻 25 种，甲藻 6 种），生物密度变化范围为（ $2.4\times 10^3\sim 1.66\times 10^6$ ）个/ m^3 ，平均值为 1.65×10^5 个/ m^3 ，优势种为圆筛藻、旋链角毛藻、三角角藻、角毛藻、中肋骨条藻，物种多样性指数（H'）范围为 1.65~3.41，平均值为 2.43；均匀度（J）范围为 0.52~0.97，平均值为 0.79；丰度

(d) 范围为 0.31~0.86, 平均值为 0.55; 优势度 (D) 范围为 0.37~0.81, 平均值为 0.60。

浮游动物: 调查海域出现 26 种 (桡足类为主), 湿重生物量变化范围为 (0.3~483.2) mg/m³, 平均值为 69.0mg/m³, 生物密度变化范围为 (0.26~650.0) 个/m³, 平均值为 85.7 个/m³, 优势种为强壮箭虫, 物种多样性指数 (H') 范围为 0.00~2.38, 平均值为 1.70; 均匀度 (J) 范围为 0.00~0.73, 平均值为 0.59; 丰度 (d) 范围为 0.00~1.80, 平均值为 1.17; 优势度 (D) 范围为 0.69~1.00, 平均值为 0.79。

底栖生物: 调查海域出现 5 种 (环节动物为主), 06 号站未获大型底栖生物样品, 其它站位生物量变化范围为 (0.040~16.580) g/m², 平均值为 1.443g/m², 生物密度变化范围为 (10~20) 个/m², 平均值为 12.5 个/m², 优势种为沙蚕, 物种多样性指数(H')范围为 0.00~1.00, 平均值为 0.25; 均匀度(J)范围为 0.00~1.00, 平均值为 0.25; 丰度 (d) 指数 12、10 和 3 号站为 1.00; 优势度指数 (D₂) 均为 1.00。

(2) 施工前: 2020 年 9 月 17 日 (秋季大潮)

叶绿素 a: 调查海域 (表层海水) 含量范围为 (0.036~0.526) μg/L, 平均值为 0.366 μg/L。

浮游植物: 调查海域出现 37 种 (硅藻 29 种, 甲藻 7 种), 生物密度变化范围为 (4.6×10³~1.83×10⁶) 个/m³, 平均值为 1.96×10⁵ 个/m³, 优势种为三角角藻、旋链角毛藻、圆筛藻、粗次角藻、角毛藻, 物种多样性指数(H')范围为 1.45~3.28, 平均值为 2.51; 均匀度 (J) 范围为 0.38~0.97, 平均值为 0.82; 丰度 (d) 范围为 0.22~1.01, 平均值为 0.57; 优势度 (D) 范围为 0.32~0.86, 平均值为 0.57。

浮游动物: 调查海域出现 26 种 (桡足类为主), 湿重生物量变化范围为 (0.7~292.5) mg/m³, 平均值为 43.9mg/m³, 生物密度变化范围为 (0.79~330.0) 个/m³, 平均值为 61.0 个/m³, 优势种为强壮箭虫, 物种多样性指数 (H') 范围为 0.00~2.83, 平均值为 1.81; 均匀度 (J) 范围为 0.00~1.00, 平均值为 0.69; 丰度 (d) 范围为 0.00~1.90, 平均值为 1.14; 优势度 (D) 范围为 0.52~1.00, 平均值为 0.75。

底栖生物: 调查海域出现 4 种 (软体动物为主), 06 号站未获大型底栖生

物样品,其它站位生物量变化范围为(0.060~263.240)g/m²,平均值为 68.275g/m²,生物密度变化范围为(10~20)个/m²,平均值为 13.3 个/m²,无明显优势种,物种多样性指数(H')范围为 0.00~1.00,平均值为 0.17;均匀度(J)范围为 0.00~1.00,平均值为 0.17;丰度(d)指数 KZ1 号站为 0.00,1 号站为 1.00;优势度指数(D₂)均为 1.00。

(3) 施工期间:2020 年 11 月 25 日(秋季小潮)

叶绿素 a: 调查海域(表层海水)含量范围为(0.009~0.569) μg/L,平均值为 0.116 μg/L。

浮游植物: 调查海域出现 24 种(硅藻 20 种,甲藻 4 种),生物密度变化范围为(1.64×10⁴~8.91×10⁵)个/m³,平均值为 1.23×10⁵个/m³,主要优势种为奇异菱形藻、圆筛藻、星脐圆筛藻。物种多样性指数(H')范围为 0.88~2.10,平均值为 1.51;均匀度(J)范围为 0.32~0.78,平均值为 0.60;丰度(d)范围为 0.20~0.64,平均值为 0.33;优势度(D)范围为 0.71~0.95,平均值为 0.83。

浮游动物: 调查海域出现 16 种,湿重生物量变化范围为(0.1~46.0) mg/m³,平均值为 8.9mg/m³,主要优势种为强壮箭虫和中华哲水蚤。物种多样性指数(H')范围为 2.15~3.22,平均值为 1.57;均匀度(J)范围为 0.65~0.96,平均值为 0.79;丰度(d)范围为 1.42~100.00,平均值为 21.24;优势度(D)范围为 0.38~0.71,平均值为 0.52。未统计生物密度变化范围和平均值。

底栖生物: 调查海域出现 6 种(软体动物为主),生物量变化范围为(0.040~38.690)g/m²,平均值为 3.60g/m²,生物密度变化范围为(10~70)个/m²,平均值为 17 个/m²,优势种为沙蚕,物种多样性指数(H')范围为 0.00~1.38,均匀度(J)范围为 0.00~1.00,丰度(d)范围为 0.71~1.00,优势度(D)范围为 0.86~1.00,上述各指数未统计平均值。

潮间带生物: 调查海域出现 16 种(软体动物为主),生物量变化范围为(60.112~600.920)g/m²,平均值为 221.515g/m²,生物密度变化范围为(88~280)个/m²,平均值为 181 个/m²,优势种为短滨螺。物种多样性指数(H')范围为 0.80~2.21,平均值为 1.68;均匀度(J)范围为 0.50~0.92,平均值为 0.80;丰度(d)范围为 0.45~1.36,平均值为 0.79;优势度(D)范围为 0.67~0.94,平均值为 0.77。

(3) 施工期间：2021年5月13日（春季大潮）

叶绿素 a：调查海域（表层海水）含量范围为（0.067~0.390） $\mu\text{g/L}$ ，平均值为0.189 $\mu\text{g/L}$ 。

浮游植物：调查海域出现18种（硅藻16种，甲藻2种），生物密度变化范围为（ $1.23\times 10^4\sim 1.25\times 10^7$ ）个/ m^3 ，平均值为 9.60×10^5 个/ m^3 ，优势种为具槽直链藻，物种多样性指数（ H' ）范围为0.32~2.18，平均值为1.06；均匀度（J）范围为0.13~0.84，平均值为0.41；丰度（d）范围为0.18~0.45，平均值为0.31；优势度（D）范围为0.58~0.97，平均值为0.88。

浮游动物：调查海域出现6种（桡足类为主），湿重生物量变化范围为（0.2~94.1） mg/m^3 ，平均值为21.1 mg/m^3 ，生物密度变化范围为（0.26~128.12）个/ m^3 ，平均值为25.91个/ m^3 ，优势种为中华哲水蚤，物种多样性指数（ H' ）范围为0.00~1.38，平均值为0.43；均匀度（J）范围为0.00~0.87，平均值为0.33；丰度（d）范围为0.00~0.71，平均值为0.26；优势度（D）范围为0.85~1.00，平均值为0.98。

底栖生物：调查海域出现9种（环节动物为主）（部分站位所获样品无大型底栖生物），生物量变化范围为（0.050~0.210） g/m^2 ，平均值为0.101 g/m^2 ，生物密度变化范围为（10~40）个/ m^2 ，平均值为18个/ m^2 ，优势种为沙蚕，物种多样性指数（ H' ）范围为0.00~2.00，平均值为0.69；均匀度（J）范围为0.00~1.00，平均值为0.55；丰度（d）范围为1.00~1.50，平均值为1.13；优势度（D）范围为0.50~1.00，平均值为0.92。

潮间带生物：调查海域出现12种（软体动物为主），生物量变化范围为（78.912~482.768） g/m^2 ，平均值为179.76 g/m^2 ，生物密度变化范围为（16~464）个/ m^2 ，平均值为184个/ m^2 ，优势种为短滨螺。物种多样性指数（ H' ）范围为0.00~1.45，平均值为0.80；均匀度（J）范围为0.00~1.00，平均值为0.53；丰度（d）范围为0.00~1.00，平均值为0.48；优势度（D）范围为0.86~1.00，平均值为0.95。

(4) 施工期间：2021年5月19日（春季小潮）

叶绿素 a：调查海域（表层海水）含量范围为（0.127~0.754） $\mu\text{g/L}$ ，平均值为0.373 $\mu\text{g/L}$ 。

浮游植物：调查海域出现 17 种（硅藻 15 种，甲藻 2 种），生物密度变化范围为 $(1.21 \times 10^4 \sim 7.13 \times 10^5)$ 个/ m^3 ，平均值为 1.16×10^5 个/ m^3 ，优势种为具槽直链藻、中肋骨条藻，物种多样性指数 (H') 范围为 0.47~1.87，平均值为 1.25；均匀度 (J) 范围为 0.30~0.81，平均值为 0.60；丰度 (d) 范围为 0.13~0.40，平均值为 0.22；优势度 (D) 范围为 0.69~0.98，平均值为 0.90。

浮游动物：调查海域出现 12 种（桡足类为主），湿重生物量变化范围为 $(0.8 \sim 225.0)$ mg/ m^3 ，平均值为 30.1mg/ m^3 ，生物密度变化范围为 $(3.34 \sim 430.0)$ 个/ m^3 ，平均值为 59.9 个/ m^3 ，优势种为中华哲水蚤，物种多样性指数 (H') 范围为 0.16~1.74，平均值为 0.80；均匀度 (J) 范围为 0.16~0.92，平均值为 0.44；丰度 (d) 范围为 0.18~1.02，平均值为 0.55；优势度 (D) 范围为 0.73~1.00，平均值为 0.93。

底栖生物：调查海域出现 10 种（环节动物为主）（部分站位所获样品无大型底栖生物），生物量变化范围为 $(0.060 \sim 14.620)$ g/ m^2 ，平均值为 4.117g/ m^2 ，生物密度变化范围为 $(10 \sim 50)$ 个/ m^2 ，平均值为 21 个/ m^2 ，优势种为沙蚕，物种多样性指数 (H') 范围为 0.00~2.32，平均值为 0.63；均匀度 (J) 范围为 0.00~1.00，平均值为 0.43；丰度 (d) 范围为 0.86~1.72，平均值为 1.15；优势度 (D) 范围为 0.40~1.00，平均值为 0.91。

潮间带生物：调查海域出现 13 种（软体动物为主），生物量变化范围为 $(35.752 \sim 741.216)$ g/ m^2 ，平均值为 330.089g/ m^2 ，生物密度变化范围为 $(56 \sim 776)$ 个/ m^2 ，平均值为 284 个/ m^2 ，优势种为短滨螺。物种多样性指数 (H') 范围为 0.17~2.05，平均值为 0.93；均匀度 (J) 范围为 0.11~0.99，平均值为 0.68；丰度 (d) 范围为 0.22~0.87，平均值为 0.40；优势度 (D) 范围为 0.66~1.00，平均值为 0.93。

(5) 施工期间：2021 年 6 月 17 日（夏季小潮）

叶绿素 a：调查海域（表层海水）含量范围为 $(0.738 \sim 1.67)$ $\mu\text{g/L}$ ，平均值为 1.04 $\mu\text{g/L}$ 。

浮游植物：调查海域出现 18 种（硅藻 17 种，甲藻 1 种），生物密度变化范围为 $(1.13 \times 10^4 \sim 2.99 \times 10^5)$ 个/ m^3 ，平均值为 7.02×10^4 个/ m^3 ，优势种为具槽直链藻，物种多样性指数 (H') 范围为 0.90~1.91，平均值为 1.43；均匀度 (J) 范围

为 0.42~0.93，平均值为 0.65；丰度 (d) 范围为 0.19~0.33，平均值为 0.25；优势度 (D) 范围为 0.70~0.95，平均值为 0.85。

浮游动物：调查海域出现 22 种（桡足类为主），湿重生物量变化范围为 (0.4~374.0) mg/m³，平均值为 60.57mg/m³，生物密度变化范围为 (1.28~935.00) 个/m³，平均值为 225.67 个/m³，优势种为小拟哲水蚤，物种多样性指数 (H') 范围为 0.00~2.40，平均值为 1.83；均匀度 (J) 范围为 0.00~0.98，平均值为 0.59；丰度 (d) 范围为 0.00~1.68，平均值为 1.05；优势度 (D) 范围为 0.57~1.00，平均值为 0.76。

底栖生物：调查海域出现 10 种（环节、软体动物为主），生物量变化范围为 (0.040~12.570) g/m²，平均值为 1.57 g/m²，生物密度变化范围为 (10~100) 个/m²，平均值为 21.54 个/m²，优势种为沙蚕，物种多样性指数 (H') 范围为 0.00~1.92，平均值为 0.34；均匀度 (J) 范围为 0.00~1.00，平均值为 0.26；丰度 (d) 范围为 0.30~1.29，平均值为 0.90；优势度 (D) 范围为 0.60~1.00，平均值为 0.97。

潮间带生物：调查海域出现 8 种（节肢、软体动物各 4 种），生物量变化范围为 (95.648~324.272) g/m²，平均值为 200.3g/m²，生物密度变化范围为 (88~296) 个/m²，平均值为 178 个/m²。优势种为短滨螺。物种多样性指数 (H') 范围为 1.23~2.04，平均值为 1.73；均匀度 (J) 范围为 0.53~0.94，平均值为 0.77；丰度 (d) 范围为 0.64~1.16，平均值为 0.91；优势度 (D) 范围为 0.58~0.88，平均值为 0.75。

(6) 施工期海洋生态现状评价

施工期厂址附近海域海洋生态生物多样性指数评价结果：

厂址附近海域浮游植物在 2020 年 9 月秋季小潮、2020 年 9 月秋季大潮、2020 年 11 月秋季小潮、2021 年 5 月春季小潮、2021 年 5 月春季大潮、2021 年 6 月夏季小潮的生物多样性指数均值分别为 2.43、2.51、1.51、1.25、1.06、1.43（在 1~3 之间），反映了厂址邻近海域浮游植物的物种丰富度较低，个体分布比较匀。

厂址附近海域浮游动物在 2020 年 9 月秋季小潮、2020 年 9 月秋季大潮、2020 年 11 月秋季小潮、2021 年 5 月春季小潮、2021 年 5 月春季大潮、2021 年 6 月夏季小潮的生物多样性指数范围分别为 1.70、1.81、1.57、0.80、0.43、1.83（在 0~2 之间），反映了厂址临近海域浮游动物的物种丰富度低，个体分布不均匀。

厂址附近海域大型底栖生物 2020 年 9 月秋季小潮、2020 年 9 月秋季大潮、2020 年 11 月秋季小潮、2021 年 5 月春季小潮、2021 年 5 月春季大潮、2021 年 6 月夏季小潮的生物多样性指数均值分别为 0.25、0.17、(0.00~1.38)、0.63、0.69、0.34 (在 0~1 之间)，反映了厂址邻近海域大型底栖生物的物种丰富度低，个体分布不均匀。

厂址附近海域潮间带生物 2020 年 11 月秋季小潮、2021 年 5 月春季小潮、2021 年 5 月春季大潮、2021 年 6 月夏季小潮的生物多样性指数均值分别为 1.68、0.93、0.80、1.73 (在 0~2 之间)，反映了厂址邻近海域潮间带生物的物种丰富度低，个体分布不均匀。

总体而言，厂址附近海域的海洋生物中，浮游植物、浮游动物和潮间带生物的生境质量一般，物种丰富度较低。

施工期厂址附近海域海洋生物调查结果与既往调查结果的比较可见，取排水工程开始建设后，厂址附近海域的各类海洋生态数据与本工程未开展建设前相比，除底栖生物由于 2021 年春季取排水工程所在海域清淤，生物量及生物密度有所下降外，浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物的变化较小。

2) 沉积物

施工前：2020 年 9 月 11 日（秋季小潮）和 2020 年 9 月 17 日（秋季大潮）粒度、铜、铅、镉、锌、石油类、硫化物、有机碳监测结果符合一类沉积物标准要求。

3) 海水水质

施工前：2020 年 9 月 11 日（秋季小潮）和 2020 年 9 月 17 日（秋季大潮）水质监测结果符合二类海水水质标准要求。

施工期间：2021 年 5 月 13 日（春季大潮）除无机氮（1 个站位）超过二类海水水质标准外，pH、溶解氧（DO）、悬浮物（SS）、活性磷酸盐、化学需氧量（COD）、硫化物、石油类、铜、锌、镉、铅、铬、汞、砷符合二类海水水质标准要求。2021 年 5 月 19 日（春季小潮）除无机氮（22 个站位）、石油类（1 个站位）超过二类海水水质标准外，pH、溶解氧（DO）、悬浮物（SS）、活性磷酸盐、化学需氧量（COD）、硫化物、铜、锌、镉、铅、铬、汞、砷符合二类海水水质标准要求。2021 年 6 月 17 日（夏季小潮）除无机氮（1 个站位）超过二类海水水质标准外，pH、溶解氧（DO）、悬浮物（SS）、活性磷酸盐、化学

需氧量（COD）、硫化物、石油类、铜、锌、镉、铅、铬、汞、砷符合二类海水水质标准要求。

5.2.5 疏浚物海洋倾倒

5.2.5.1 疏浚物倾倒区

本工程疏浚物临时性海洋倾倒区（以下简称本工程倾倒区）位于威海市桑沟湾东南部海域，为 122°54'16.4"E、37°00'44.0"N；122°54'56.9"E、37°00'44.0"N；122°54'56.9"E、36°59'39.2"N；122°54'16.5"E、36°59'39.2"N 四点所围成 1.0km×2.0km 的长方形倾倒区，面积 2.0km²，离岸最近距离为约 30km。2021 年监测的倾倒区平均水深 27.1m，水深范围 26.7m~27.8m，水深状况良好，海底地形较为平坦。

本工程倾倒区所在海域未在《山东省海洋功能区划（2011-2020 年）》的区划范围之内。根据《全国海洋功能区划（2011-2020 年）》，倾倒区位于“山东半岛南部海域”，该海域的功能为海洋保护、旅游休闲娱乐、港口航运和工业与城镇用海。目前我国海洋倾倒物质主要是清洁疏浚物，因此实际倾倒期间，倾倒活动对生态环境的影响主要为悬浮泥沙对海水水质的影响。疏浚物倾倒为间歇性活动，活动终止后，海水中悬浮物浓度能够在短时间内恢复到本底水平，不会对海洋环境造成较大影响。此外，倾倒区临海工程配套使用，服务于临海工业，符合海洋功能区划的要求。

本工程倾倒区未在《山东省黄海海洋生态红线划定方案》（2016-2020 年）中确定红线区中，距离本工程倾倒区最近的生态红线区有重要渔业海域-楮岛藻类渔业海域限制区（代码 37-Xe07）和重要滨海旅游区-楮岛滨海旅游限制区（代码 37-Xj11），与本工程倾倒区的距离均大于 25km。

本工程倾倒区临近海域主要的功能区包括：港口航运区、农渔业区、旅游休闲娱乐区、保留区、特殊利用区、工业与城镇用海区等，距离均大于 20km。附近无军事区、无增养殖活动。

5.2.5.2 倾倒区容量评估

本工程南取水明渠及排水口疏浚工程的总疏浚量约 23 万方，日最大倾倒量预计 11500 方；高温气冷堆示范工程北取水明渠和排水明渠工程将产生约 157 万

方疏浚物，日最大倾倒量预计 1800 方，均需进行海洋废弃物倾倒处置。上述取排水工程产生需海洋倾倒的疏浚物合计约 180 万方，日最大倾倒量合计约 13300 方。截至目前，石岛国核倾倒区已批准的倾倒量为 143.8326 万方。

根据《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国海洋倾废管理条例》，以及我国海洋倾倒区“容量导向”的管理要求，为了解倾倒活动对本工程倾倒区及其周边海域的生态环境影响，评估该倾倒区的使用状况，国家海洋环境监测中心基于倾倒区选划报告、2020 年倾倒区海洋环境现状监测与评价报告等相关资料，以及倾倒区 2021 年实际使用状况，构建本工程倾倒区倾倒活动数值模拟模型，评估倾倒活动对倾倒区水深地形、航道淤积和生态敏感区等的影响，确定本工程倾倒区 2022 年最大可倾倒量，提出分区倾倒等管控措施建议，并完成 2021 年度倾倒区容量评估报告的编制，为倾倒区后续使用提供技术依据和支撑。

本工程倾倒区自然环境良好，水质、沉积物、生物质量良好，水深条件较好。本工程倾倒区周围外抛疏浚物为清洁疏浚物，根据模拟分析结果结合实地监测与倾倒需求数据，石岛国核倾倒区年最大倾倒量不超过 200 万方/年；月最大倾倒量不超过 29 万方/月；日最大倾倒量不超过 3.2 万方/日。允许倾倒物质为黏土、粉砂和砂为主的疏浚物。本工程倾倒区在年、月和日最大倾倒量确定后，其对倾倒区及周边海域水深地形、生态环境敏感区和确权养殖海域的海水环境质量和航道淤积等没有显著影响。本工程倾倒区使用期间，每年开展倾倒区容量核算与论证，利用倾倒区和每个分区的疏浚物倾倒量与水深地形数据进行数值模型优化与验证，确定下一年度倾倒区与各倾倒区分区的最大倾倒量。

5.2.5.3 疏浚物倾倒区环境监测

按照《中华人民共和国海洋环境保护法》、《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》、《海洋倾倒区选划技术导则》、《海洋倾倒区监测技术规程》等法律法规的要求，针对倾倒区单位时间的倾倒量较大、倾倒频率较高、影响倾倒区水深变化的工程，进行重点倾倒活动的跟踪监测。若跟踪监测结果显示倾倒区水下地形发生显著变化或倾倒区邻近海域用海类型发生变更时，也应及时进行倾倒剩余容量评估。

为了能够直观地反映出倾倒区周围海域环境状况，掌握倾倒活动对本工程倾

倒区及邻近海域生态环境质量、水深地形、敏感区域的影响，计划至少每年开展一次倾倒区及邻近海域跟踪监测。监测内容包括水深地形、水质、沉积物和生物生态。

国家海洋局烟台海洋环境监测中心站于2021年11月对本工程倾倒区海域进行了海洋环境现状调查。监测共设12个监测站点，所涉及范围为122°50'06"~122°55'51"E；36°58'59"~37°02'23"N。

(1) 监测方案及监测项目

监测项目为水质、沉积物、生物质量、海洋生物，并在本工程倾倒区周围海域分别设一个控制点GHKZ1，两个对照站GHDZ1和GHDZ2。

海水水质检测：于表、中、底三层采取水质样品，共包括pH、DO、COD、BOD₅、悬浮物、活性磷酸盐、硝酸氮、亚硝酸氮、铵盐、硅酸盐、石油类、铜、铅、锌、镉、汞、砷、铬、硫化物等19个项目的监测内容。根据本工程倾倒区周围海域海洋功能区划，海水水质评价标准采用《海水水质标准》(GB3097-1997)中的二类水质标准。

海洋沉积物监测：选取调查站位中的8个站位进行表层沉积物采样分析。将铜、铅、锌、镉、汞、砷、有机碳、共7个项目作为评价因子。根据本工程倾倒区周围海域海洋功能区划，海洋沉积物评价标准采用《海洋沉积物质量标准》(GB18668-2002)中的一类沉积物标准。

海洋生物质量现状调查：海洋生物选取贝类，选取调查站位中的8个站位进行贝类生物质量采样，将铜、铅、镉、锌、铬、汞、砷、石油烃，共8个项目作为评价因子。根据本工程倾倒区周围海域海洋功能区划，贝类生物质量评价采用《海洋生物质量》(GB1842-2001)中规定的第一类生物质量标准。

海洋生物生态环境现状调查：进行叶绿素a、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物监测。调查项目的采样、分析方法和技术要求执行《海洋监测规范 第7部分：近海污染生态调查和生物监测》(GB17378.7-2007)和《海洋调查规范 第6部分：海洋生物调查》(GB12763.6-2007)。

2) 监测结果

- 2021年11月航次调查的水质所有评价因子中，调查的12个站位均符合二类海水水质标准，表明倾倒区及邻近海域水质状况良好。
- 2021年11月航次调查的沉积物所有评价因子中，调查的8个站位均符

合《海洋沉积物质量标准》（GB18668-2002）中的一类沉积物标准，表明倾倒区及邻近海域沉积物状况良好。

- 2021年11月航次调查的8个站位海洋生物体质量所有评价因子中，铜、汞、砷、石油烃项目均符合《海洋生物质量》（GB1842-2001）中规定的第一类生物质量标准，铅、锌、镉、铬项目全部超过第一类生物质量标准，其中铅、镉项目均符合二类生物质量标准，项目锌的GH02站位超过二类生物质量标准，符合三类生物质量标准，其他站位均符合二类生物质量标准，项目铬的GHKZ1、GH04站位超过二类生物质量标准，符合三类生物质量标准，其他站位均符合二类生物质量标准。上述调查结果与第二章2.3节的2020~2021海洋生态专题调查中海洋生物质量调查结果相比，铜、铅、镉、锌、铬、汞、砷、石油烃的生物质量标准处于同一水平。
- 2021年11月航次调查的海域浮游植物多样性指数在2.34~3.43之间，均匀度指数在0.58~0.78之间，丰度指数在0.51~1.35之间，优势度指数在0.44~0.69之间，调查海域浮游植物物种丰富多样，种间分布较均匀，群落结构稳定；浮游动物种类多样性指数在2.29~3.11之间，均匀度指数在0.53~0.69之间，丰度指数在1.83~2.61之间，优势度指数在0.48~0.77之间，浮游动物种群结构较稳定；大型底栖生物种类多样性指数在1.52~2.75之间，均匀度指数在0.93~1.00之间，丰度指数在0.86~2.00之间，优势度指数在0.33~0.80之间。上述调查结果与第二章2.3节的2020~2021海洋生态专题调查中海洋生物质量调查结果相比，叶绿素a、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物的生物多样性指数处于同一水平。

5.3 施工影响控制

核电站的建设过程，特别是“四通一平”等前期厂址场地准备工程，其施工活动必然会对周围环境产生一定的影响。为此，需要采取一定的控制措施，以减少对环境造成的不利影响。

5.3.1 大气污染的控制

5.3.1.1 控制措施

本工程施工期间对大气污染的防治主要是减少扬尘和尾气的释放，相应的防治措施包括：

- 施工区和车辆运输相关道路上散落的灰土及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润；
- 在环境保护目标附近使用隔离板使施工区与周围环境隔离；
- 开挖出的土方尽可能及时运至填方地段充填，尽量减少土方的堆置时间，弃土场注意防止二次扬尘；
- 渣土临时堆放场加盖布条进行防护；
- 水泥等粉状建筑材料妥善保管，不得露天随意存放；
- 加强施工管理，合理调度运输车辆等。

5.3.1.2 措施执行

1) 要求施工单位做好各自内部土石方平衡，开挖的土方尽可能直接用于回填，减少临时堆存量。

2) 所有临时堆土均采用 1500 密目网及时进行覆盖，以防止扬尘，对于与周边地方道路或外部周边村庄较近的堆土，均采用隔离彩钢板进行硬质隔离。

3) 为防止土石方运输过程中产生扬尘，厂内所有运土的临时主干路均采用砼进行了硬化，部分由于施工制约的一般均采用碎石进行硬化，同时日常设专业单位每天对道路清扫及洒水降尘，定期对砼路面进行全面冲洗，以减少扬尘。对不具备硬化条件且土石方运输量较大的道路，设置临时洗车池，对出厂车辆进行全面冲洗，以减少对路面的污染。

4) 所有水泥等易产生扬尘的细状材料，均要求放入临时仓库内，不得露天堆放。

5) 所有运输车辆均采用篷布进行覆盖。

5.3.2 水污染的控制

5.3.2.1 控制措施

本工程施工期间对水环境的污染主要考虑对海水水质的影响，影响虽然短暂而且有限，但仍需要采取适当的防治措施以使污染最小化。海水污染防治措施主要包括：

- 海域工程施工采用合理可行的方法，尽量减少填海对海水的影响；

- 施工材料妥善保管，堆放地宜远离海岸，且需采取一定的防护措施；
- 加强对车辆、设备使用的油品以及船舶的管理，防止油品进入施工生产废水，严禁施工船舶向施工海域排放废油、残油等污染物和在施工区域清洗油舱和有污染物质的容器，避免污染水环境；
- 弃土场设置合理的排水系统，防止弃土直接冲入邻近海域造成海水水质下降；
- 加强施工人员环保意识，禁止生产废水和生活污水乱排或就近排海，在后期的施工过程中，生产废水和生活污水集中到污水处理厂进行集中处理，尽可能循环利用，废水基本不外排。循环利用的中水达到国家标准《城市污水再生利用-城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）后主要用于绿化和汽车冲洗等。不能循环利用的废水经处理达到《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》（DB37/676-2007）及修改单（鲁质监标发[2011]35号）的一级排放标准（2019年3月前执行该标准）或《流域水污染物综合排放标准第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准（2019年3月后执行该标准）的规定后排放，确保生产废水和生活污水的排放不会对海域环境造成明显的不利影响；
- 加强海洋监督管理体系建设。在工程建设期间由专门机构负责管理本工程用海，重视用海环保要求。建立完善的组织管理与保障体系，对于工程建设与运营期可能发生的各种事故，采取科学的对策和相应的应急措施，以保障项目正常运行与安全生产。
- 使用海域监控措施。在该项目启动和用海过程中，主管部门核查本工程用海位置和面积，并对该项目审批后的用海情况进行全程监督管理，避免该工程影响其它海洋功能区的开发利用；作为项目用海单位，在海域使用期间，如发现所使用海域的自然资源和自然条件发生重大变化时及时报告海洋行政主管部门，以维护国家海域所有权和周边海洋产业海域使用者的合法权益。
- 加强海洋环境监控。根据国家海洋局《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》的要求，为了及时了解和掌握本工程建设对海洋环境的影响，评价其影响范围和影响程度，建设单位需要制订环境监测计划，委托具有海洋环境监测资质的相关单位，跟踪监测本工程对海洋环境的影响，

及时发现并解决本工程建设引起的海洋环境问题。

5.3.2.2 措施执行

1) 现场生活污水排放至厂区污水处理设施进行沉淀、中和（主要针对还有化学成分的污水）等处理后达标排放。

2) 搅拌站配置有砂石分离设备，搅拌站罐车清洗污水等生产废水通过砂石分离设备进入沉淀池循环使用。

3) 委托定期对厂区排污口进行取样化验，出具检测报告。

5.3.3 生态污染的控制

5.3.3.1 控制措施

本工程施工期间的场地开挖、车辆运输等会对陆生生态造成一定的不利影响，建设过程中通过恢复植被、增设水土保持设施等措施减少对陆生生态的影响。

本工程施工期间的给排水工程、码头等会对海洋生态造成一定的不利影响，建设过程中通过合理选择施工方案、安排施工进度、采用先进机械等措施减少对海洋生态的影响：

- 水下爆破严格采用微差延时爆破方式，严格控制一次爆破的总药量和最大一段药量；尽可能减少单次最大爆破药量尤其是爆夯药量以及爆破次数，并尽量分层、分片实施，以减小水下冲击波对海洋生物的影响。
- 尽可能增加单次爆破或爆夯之间的时间间隔；
- 爆破前，先用小当量爆炸驱赶鱼群；留出足够的时间让鱼群游离，起到大范围驱赶作用，从而减少后续爆破对渔业资源影响；
- 合理安排施工进度，爆破工程尽量避开浮游生物、鱼卵、仔稚鱼及鱼类繁殖生长旺盛的季节，清淤工程尽量避开海洋生物繁殖和生长最佳的春、夏季。

5.3.3.2 措施执行

1) 委托专题单位完成《施工影响范围预测报告》及《施工养殖影响评价报告》专题报告，为海洋环境监测和环保提供指导依据。

2) 辨识海上施工环境因素，编制完成《国和一号示范工程海工工程海域环境污染综合控制方案》，针对性地制定海域环境污染防控措施。

3) 根据地勘资料，南取水明渠内海域部分需要开挖清淤区域的地层自上而

下分别为粉细砂层、淤泥层、残积土、全风化花岗片麻岩层，采用挖泥船可以完成明渠开挖工作，无水下爆破作业。

5.3.4 噪声污染的控制

5.3.4.1 控制措施

本工程施工期间可以通过以下措施来降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响：

- 使用低噪声的施工设备；
- 合理安排施工进度，施工期间加强对高噪声设备的管理，避免同时使用多个高噪声设备；
- 车辆的运输作业尽量避免安排在夜间进行，运输路线尽量避开居民区等环境敏感点；
- 关注噪声敏感点，采用距离衰减的方式，必要时建立隔声屏障以降低施工噪声对公众的影响。

5.3.4.2 措施执行

组织编制绿色施工方案，使用低噪音、低振动的机具，采取隔音与隔振措施，避免或减少施工噪音和振动。现场噪音排放不得超过国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的规定，定期开展专项评价。

5.3.5 固体废弃物的控制

5.3.5.1 控制措施

本工程施工期间产生施工人员的生活垃圾和一些生产固体废物，对固体废弃物的控制措施主要包括：

- 对施工过程产生的弃渣弃土进行分类，能回收利用的尽量回用于陆域回填，达到建筑固废的减量化；不能回收利用的则及时清运至合适地点实施回填或进行临时堆存，不得长期堆积或随意丢弃。在施工场地和施工人员临时生活区指定地点设置垃圾桶和垃圾箱，禁止随意丢弃，定时清运，并运输当地垃圾处理场进行统一处理；
- 施工船舶垃圾及机械保养产生的固体废弃物不随意倒入海域，由施工船舶配备的垃圾收集装置统一收集并处理。

5.3.5.2 措施执行

开工前完成全厂土石方平衡策划，初步确定了全厂土石方总开挖量、总回填量以及余土量等，随着工程进展，每个年度均根据现场变更、土石方施工的实际状况及时对土石方平衡情况进行重新评估，为土石方合理调配提供决策依据，对于多余的土石方均弃至规划的永久弃土点，同时为解决厂内挖填进度不平衡的状况，通过临时租地等手段设立中转土石堆料场，用于临时存储土石料。

5.3.6 辐射污染的控制

5.3.6.1 控制措施

本工程施工期间的辐射污染来源主要是密封放射源和射线装置进行无损探伤时的射线泄漏，不会对大气和水环境产生影响，相应的防治措施包括：

- 开展放射源和射线装置探伤作业时必须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关规定；
- 在使用放射源和射线装置的作业区范围内设置警示区，防止有人误入工作区；
- 根据国家颁布的《放射性同位素与射线装置放射防护条例》等相关条例制订放射源和射线装置探伤操作管理制度；
- 放射源存放区域必须是专用源库或带有屏蔽的厂房内，并设置双人双锁，并由专人看管，并严格执行源进出的登记制度。
- 探伤作业时，放射工作人员必须配备个人剂量计、个人剂量报警器和辐射监测仪。

5.3.6.2 措施执行

本工程总承包单位——上海核工程研究设计院有限公司于2020年4月28日批准发布《放射源集中管理细则》（SNG-HX1-GCS-0185），现场所有参加单位的放射源实施集中管理，并集中存放于中核二三放射源库，源库实施双人双锁并由专人进行看管。放射源从入场、存放、领取、现场使用、回收等环节需满足上海核工程研究设计院有限公司批准发布的《射线作业安全管理细则》（SNG-I-PM07-011）要求。除放射源实施集中管理外，射线装置由各施工单位各自管理。现场射线作业实施作业审批制度，审批内容涵盖作业地点、作业内容、作业负责人、安全管理人员、作业时间、作业围封等。施工单位按批准的作业票

开展射线探伤作业，作业过程中，安排专人对围封区域进行巡检，防止非射线作业人员误入探伤作业区域，同时做好辐射剂量检测工作，确保射线探伤作业安全。

第六章 核电厂运行的环境影响

6.1 散热系统运行的影响

6.1.1 散热系统方案

厂址位于荣成市宁津所镇东南的滨海，北、东、南三面频邻黄海。东南隔镆镞岛与石岛湾毗邻，东北隔楮岛与桑沟湾毗邻，东临广阔的大海，海域条件较好。厂址海域北面有老炕石、井口石、老铁石和黑石岛等岛屿，从西北向东南方向断续排列，长约 3km，构成深度浅于 5m 的浅滩，成为天然的东北风浪的屏障。厂址区水深区离岸近，5m 等深线距岸约 700m，海域取水条件较好。

核电厂运行过程中，需抽取大量海水用于散热系统的冷却。本工程单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水流量为 $83\text{m}^3/\text{s}$ ，取排水温升为 7.4°C ，冬季冷却水流量为 $50\text{m}^3/\text{s}$ ，取排水温升为 12.3°C 。

本工程所在厂址采用南北取中排（明渠自养参池外延）方案。

散热系统的工程方案见第四章 4.3 节。

散热系统的工程方案总平面布置图见第四章 4.1 节。

6.1.2 散热系统对水体的物理影响

6.1.2.1 散热系统设施对水体的物理影响

1) 取排水构筑物对岸线的影响

核电厂海工工程及取排水系统运行后，会使当地岸滩进行重新调整，引起岸滩冲淤变化。

(1) 排水明渠建设后，受堤身挑流效应和排水影响，堤头外海域出现局部冲刷，范围东西 1.0km~2.0km，南北约 1.5km，局部最大冲深接近 1.0m。此外，南北两侧取水明渠堤头亦有一定程度的冲刷，但其冲深小于排水明渠堤头，约在 0.2m 左右。

(2) 大件码头区域处在排水明渠与南取水明渠间的环流区内，将产生淤积，回淤厚度大致在 0.5m~1.0m 间。

(3) 在南北取水明渠与岸线间的两个三角形区域内，潮流流速大幅降低、波浪传播时亦受到掩护，从而均出现一定程度淤积。图中反映出最大平衡淤厚可达 1.0m 左右，平均淤厚在 0.5m~0.6m 间。

(4) 排水明渠与北取水明渠间三角区水域总体有所淤积，幅度多在 0.2m~0.5m。其中靠近取排水明渠堤根及养参池外侧略有冲刷，这与该处局部波能集中有关。总体而言，波浪淘刷后的泥沙也基本在取排水明渠间三角区的回流内运动，因此该区总体仍为淤积趋势。

(5) 取水明渠年平均淤强 0.12m，年最大淤强 0.20m，年淤积量 1.2 万 m³。

2021 年补充收集本工程所在厂址近年以来卫星遥感影像以及 2021 年工程海域水深测图，同时采用工程海域 2020~2021 年同步水文测验基础资料，开展了岸滩稳定性复核及泥沙冲淤变化数值模拟研究工作。结果表明：

(1) 既往对工程海域自然条件及水沙环境的分析是合理的，采用最新实测地形水文资料计算的工程海域的潮流及泥沙运动规律与既往专题报告的结果是基本一致的。

(2) 本工程投运后，2 台 CAP1400 核电机组通过南取水明渠取水，本工程所在厂址已投运的 1 台高温气冷堆通过北取水明渠取水，工程实施后并未改变当地海域整体潮流运动特征，变化主要局限在工程局部水域。与原始岸线相比，大范围取样点平均流速变幅在 0.06m/s 以内、最大流速变幅在 0.17m/s 以内。

(3) 对于正常年份，本工程及所在厂址 1 台高温气冷堆同时处于运行工况时，南取水明渠内，平均年淤强为 0.11m/a，最大淤强为 0.21m/a，年淤积量在 1.31 万 m³ 左右，取水明渠内正常年淤强不高。

(4) 百年一遇大浪天气、本工程及所在厂址 1 台高温气冷堆同时处于运行工况时，南取水明渠平均淤厚为 0.07m，最大淤厚为 0.16m，回淤量在 0.83 万 m³ 左右。

2) 取排水构筑物对流场的影响

取排水工程建设未明显改变当地海域的整体潮流运动特征，对大范围流场的影响局限在楮岛至镆铳岛范围海域内。

(1) 取排水工程实施后，楮岛和镆铳岛处平均流速降幅约 0.05m/s，对大范围海域潮流影响较小。

(2) 取排水工程实施后，南北两侧取水明渠、排水明渠堤头外侧流速有所增大。对取水明渠而言，由于工程前后均处于弱流区内，从而堤头流速增幅较低，其中南北取水明渠堤头平均流速增幅均在 0.15m/s 以下；排水明渠堤头位于主流区，受堤头挑流和排水影响较取水明渠显著，堤头外平均流速增幅在 0.20m/s 左

右，流速增加区范围约 1.7km²。至于明渠间形成的局部海湾形结构，由于受到排水明渠堤身遮蔽，南北湾内潮流流速均有不同程度的降低。

6.1.2.2 温排水对水体的物理影响

1) 建造阶段环境影响报告书温排水影响评价（明渠南、北取水，养殖池中间明渠延长 0.6km 排放方案）

为了预测温排水对沿海海域造成的影响，中国水利水电科学研究院针对山东石岛湾厂址 1 台 200MWe 高温气冷堆和 2 台 CAP1400 压水堆机组正常运行时的温排水影响进行了温排水排放的数值模拟分析及物理模型试验的研究工作，上述工作于 2011 年完成，研究工作考虑单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水流量为 83m³/s，取排水温升为 8.3℃，冬季冷却水流量为 62.25m³/s，取排水温升为 11℃。对核电厂开展温排水数模及物模的目的在于：在满足核电厂取水要求的基础上，尽可能减少排水产生的高温升影响区面积，以满足海洋环境保护要求。其中，需保证核电厂温排水产生的 1℃ 以上温升影响区离岸距离在 200m 以上，以消除或大幅减弱温排水对岸边养殖区的影响。

(1) 数学模型及数值方法

温排水排放的数值模拟分析采用了二维数值模拟分析方法。

(i) 基本方程

连续方程：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial x} + \frac{\partial (Hv)}{\partial y} = 0 \quad (6.1-1)$$

运动方程：

x 方向：

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gu}{C^2 H} \sqrt{u^2 + v^2} - \frac{\tau_{sx}}{\rho H} - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} (HE \frac{\partial u}{\partial x}) \\ - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} (HE \frac{\partial u}{\partial y}) - fv = 0 \end{aligned} \quad (6.1-2)$$

y 方向：

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gv}{C^2 H} \sqrt{u^2 + v^2} - \frac{\tau_{sy}}{\rho H} - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} (HE \frac{\partial v}{\partial x}) \\ - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} (HE \frac{\partial v}{\partial y}) + fu = 0 \end{aligned} \quad (6.1-3)$$

热输运方程：

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial t} + u \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + v \frac{\partial \Delta T}{\partial y} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} (\text{HD} \frac{\partial \Delta T}{\partial x}) + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} (\text{HD} \frac{\partial \Delta T}{\partial y}) - \frac{K_s \Delta T}{\rho c_p H} \quad (6.1-4)$$

(6.1-1) ~ (6.1-4) 式中:

H: 水深, $H = h_b + \zeta$, h_b 为基准面以下水深; ζ 为相对基准面水位;

u、v: x、y 方向垂向平均流速;

t: 时间变量;

C: 谢才系数, $C = \frac{1}{n} H^{\frac{1}{6}}$, n 为糙率系数;

E: 广义粘性系数;

ΔT : 水体超温, $\Delta T = T - T_a$, T 为水温, T_a 为环境水温;

D: 广义热(物质)扩散系数;

K_s : 水面综合散热系数;

P: 水体密度;

G: 重力加速度;

c_p : 水的定压比热;

f: 柯氏力系数;

τ_{sx} , τ_{sy} : 表面风应力 τ_s 在 x、y 方向的分量。

(ii) 数值方法

方程在三角形离散网格上采用分步杂交法进行数值求解。

水流连续方程。连续方程要求每个单元质量守恒, 可使用在一个时间步长上建立于集中质量单元的守恒格式, 如式(6.1-5)。

$$\begin{aligned} \frac{\zeta_k^{n+\frac{1}{2}} - \zeta_k^{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} A_k &= \frac{H_k^{n+\frac{1}{2}} - H_k^{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} A_k \\ &= - \oint_{\Gamma_k} [(1 - \beta) H^{n-\frac{1}{2}} + \beta H^{n+\frac{1}{2}}] \bar{v}^n \cdot \bar{n} d\Gamma \end{aligned} \quad (6.1-5)$$

式中:

A_k : 对应结点 k 的集中质量单元面积;

Γ_k : 对应结点 k 的集中质量单元边界;

β : 加权因子, $0 \leq \beta \leq 1$ 。

对动量及物质输运方程的离散求解分二步进行。首先, 对第一分步方程采用

特征线方法求解，数值解如式（6.1-6）。

$$\begin{cases} \mathbf{u}_k^{n+\frac{1}{2}} = \tilde{L}_k \mathbf{u}_k^n + \tilde{L}_{k\beta} \mathbf{u}_{k\beta}^n + \tilde{L}_{k\gamma} \mathbf{u}_{k\gamma}^n \\ \mathbf{v}_k^{n+\frac{1}{2}} = \tilde{L}_k \mathbf{v}_k^n + \tilde{L}_{k\beta} \mathbf{v}_{k\beta}^n + \tilde{L}_{k\gamma} \mathbf{v}_{k\gamma}^n \\ \Delta T_k^{n+\frac{1}{2}} = \tilde{L}_k \Delta T_k^n + \tilde{L}_{k\beta} \Delta T_{k\beta}^n + \tilde{L}_{k\gamma} \Delta T_{k\gamma}^n \\ (C_i)_k^{n+\frac{1}{2}} = \tilde{L}_k (C_i)_k^n + \tilde{L}_{k\beta} (C_i)_{k\beta}^n + \tilde{L}_{k\gamma} (C_i)_{k\gamma}^n \end{cases} \quad (6.1-6)$$

式中：

$\tilde{L}_k, \tilde{L}_{k\beta}, \tilde{L}_{k\gamma}$ ：对应三角形单元的结点 k 的面积坐标。

其次，对第二分步方程采用对时间差分的半隐式格式与集中质量方法求解，

即对 $\frac{\partial \Phi^{(2)}}{\partial t}$ 项进行时间差分，数值解如式（6.1-7）。

$$\begin{cases} \frac{\mathbf{u}^{n+1} - \mathbf{u}^{n+\frac{1}{2}}}{2 \frac{\Delta t}{2}} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + f v^{n+1} - g \left(\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} \right)^{n+\frac{1}{2}} \mathbf{u}^{n+1} + \left(\frac{\tau_{sx}}{\rho H} \right)^{n+\frac{1}{2}} + E \nabla^2 \mathbf{u}^{n+\frac{1}{2}} \\ \frac{\mathbf{v}^{n+1} - \mathbf{v}^{n+\frac{1}{2}}}{2 \frac{\Delta t}{2}} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - f u^{n+1} - g \left(\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} \right)^{n+\frac{1}{2}} \mathbf{v}^{n+1} + \left(\frac{\tau_{sy}}{\rho H} \right)^{n+\frac{1}{2}} + E \nabla^2 \mathbf{v}^{n+\frac{1}{2}} \\ \frac{\Delta T^{n+1} - \Delta T^{n+\frac{1}{2}}}{2 \frac{\Delta t}{2}} = D \nabla^2 \Delta T^{n+\frac{1}{2}} - \left(\frac{K_s}{\rho c_p H} \right)^{n+\frac{1}{2}} \Delta T^{n+1} \\ \frac{(C_i)^{n+1} - (C_i)^{n+\frac{1}{2}}}{2 \frac{\Delta t}{2}} = D \nabla^2 (C_i)^{n+\frac{1}{2}} - \lambda_i (C_i)^{n+1} \end{cases} \quad (6.1-7)$$

然后，对式（6.1-7）右项进行集中质量求解，数值解如式（6.1-8）。

$$\begin{cases} a_{11} \mathbf{u}_k^{n+1} + a_{12} \mathbf{v}_k^{n+1} = \mathbf{u}_k^{n+\frac{1}{2}} - \frac{E \Delta t}{A_k} \sum_{m=1}^N b_{km} \mathbf{u}_m^{n+\frac{1}{2}} - g \frac{\Delta t}{A_k} \sum_{m=1}^N c_{km} \zeta_m^{n+\frac{1}{2}} + \left(\frac{\tau_{sx}}{\rho H} \right)_k^{n+\frac{1}{2}} \Delta t \\ a_{21} \mathbf{u}_k^{n+1} + a_{22} \mathbf{v}_k^{n+1} = \mathbf{v}_k^{n+\frac{1}{2}} - \frac{E \Delta t}{A_k} \sum_{m=1}^N b_{km} \mathbf{v}_m^{n+\frac{1}{2}} - g \frac{\Delta t}{A_k} \sum_{m=1}^N d_{km} \zeta_m^{n+\frac{1}{2}} + \left(\frac{\tau_{sy}}{\rho H} \right)_k^{n+\frac{1}{2}} \Delta t \\ \left[1 + \left(\frac{K_s}{\rho c_p H} \right)^{n+\frac{1}{2}} \Delta t \right] \Delta T_k^{n+1} = \Delta T_k^{n+\frac{1}{2}} - \frac{D \Delta t}{A_k} \sum_{m=1}^N b_{km} \Delta T_m^{n+\frac{1}{2}} \\ \left[1 + \lambda_i \Delta t \right] (C_i)_k^{n+1} = (C_i)_k^{n+\frac{1}{2}} - \frac{D \Delta t}{A_k} \sum_{m=1}^N b_{km} (C_i)_m^{n+\frac{1}{2}} \end{cases}$$

(6.1-8)

式 (6.1-8) 中各系数如下:

$$\begin{aligned}
a_{11} &= 1 + \frac{g}{C^2} \left(\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} \right)_k^{n+\frac{1}{2}} \Delta t \\
a_{12} &= -f\Delta t \\
a_{21} &= f\Delta t \\
a_{22} &= a_{11} \\
b_{km} &= \int_{\Omega} \nabla N_k \cdot \nabla N_m d\Omega \\
c_{km} &= \int_{\Omega} N_k \frac{\partial N_m}{\partial x} d\Omega \\
d_{km} &= \int_{\Omega} N_k \frac{\partial N_m}{\partial y} d\Omega
\end{aligned} \tag{6.1-9}$$

式中:

N_k 、 N_m : 节点 k 、 m 的插值函数;

Ω : 求解域。

数值模拟计算的定解条件、参数选择、计算区域和网格尺度如下:

(iii) 定解条件

● 流场定解条件

边界条件: 对于岸边界采用流速滑移条件, 即 $\vec{v}|_b \cdot \vec{n} = 0$; 对于水边界采用给定潮位过程, 即 $H_b(x, y, t) = H_0(x, y) + \zeta(x, y, t)$, 其中 $\zeta(x, y, t)$ 给定。模型水边界的潮位根据成山角、乳山口、千里岩、石岛等潮汐站资料推求。

初始条件: 采用静流条件起算, 即 $\vec{v}|_{t=0} = 0$ 。

● 温度场定解条件

边界条件: 对于岸边界采用绝热条件, 即 $\frac{\partial T}{\partial \vec{n}}|_b = 0$; 对于水边界, 流出计算

域时按式 (6.1-10) 求解。

$$\frac{\partial(H \Delta T)}{\partial t} + \frac{\partial(Hu \Delta T)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv \Delta T)}{\partial y} = 0 \tag{6.1-10}$$

初始条件: 对于域内采用零温升条件, 即 $\Delta T(x, y, 0) = 0$

(iv) 主要参数选择

● 糙率系数 n

n 取值 0.018~0.023。

● 水流广义扩散系数 E

一般情况下广义扩散系数 E 可用如下形式表示：

$$E = \chi |u| |L|$$

式中：

|u|：特征流速；

|L|：特征长度；

χ ：系数。

计算中 E 的取值范围为 0.1~5m²/s。

● 广义热（物质）扩散系数 D

随具体环境的变化，物质扩散系数在一个较大的范围内变动。计算中 D 的取值范围为 0~10m²/s。

● 柯氏力系数 f

核电厂位于北纬 36°58'附近，故

$$f=2\omega\sin\varphi\approx 8.7\times 10^{-5}$$

● 表面综合散热系数 K_s

根据水文气象条件，采用以下公式进行 K_s 的计算。

$$K_s = (k + b)\alpha + 4\varepsilon\sigma(T_s + 273)^3 + \Delta K \quad (6.1-11)$$

式中：

$$\Delta K: \Delta K = \frac{80(1 + km)}{\alpha} (b(T_s - T_a) + \Delta e_s), \text{ 其中 } k = \frac{\partial e_s}{\partial T_s}, m = \frac{0.378}{P} (T_s + 273);$$

P：大气压强；

e_s：对应于水面温度的饱和水汽压；

T_s：水面水温；

B：0.627hPa/°C；

ε ：水面发射率， $\varepsilon=0.97$ ；

σ ：Stafan-Boltzman 常数， $\sigma = 5.6\times 10^{-8} (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{C}^{-4})$ ；

$$\alpha: \alpha = [22.0 + 12.5v_w^2 + 2.0(T_s - T_a)]^{\frac{1}{2}} (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1});$$

V_w：风速；

T_a : 气温。

根据厂址附近夏季、冬季的气象、水温条件，分别计算得到综合散热系数 $K_s = 47W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 、 $28.5W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

● 表面风应力 τ_s

$$\tau_s = \rho_{air} C_D V_w^2$$

ρ_{air} : 空气密度;

V_w : 海面上 10m 风速;

C_D : 系数, 可采用式 (6.1-12) 确定。

$$C_D = \begin{cases} 1.25 \times 10^{-3} / V_w^{1/5} & (V_w \leq 1 \text{ m / s}) \\ 0.5 \times 10^{-3} V_w^{1/2} & (1 < V_w \leq 15 \text{ m / s}) \\ 2.6 \times 10^{-3} & (V_w > 15 \text{ m / s}) \end{cases} \quad (6.1-12)$$

(v) 计算区域

模拟水域西起乳山口东至 50m 等深线附近, 北起成山角南至 50m 等深线(见图 6.1-1), 南北方向沿岸线长约 160km, 东边界离岸长约 50km, 南边界离岸长约 90km, 计算域面积约 14000km²。

(vi) 网格尺度

计算网格的尺度首先应能反映工程海域水工构筑物(包括取排水建筑物等)及沿岸地形对模拟水域细部流场和物质运输的影响, 同时适当考虑计算工作量的经济合理性。计算网格单元最小高度定为 40m, 网格示意图见图 6.1-2。

(2) 物理模型试验方法

模型设计以重力相似为主, 兼顾浮力相似等其它相似准则设计, 即:

$$(Fr)_r = (V / \sqrt{gH})_r = 1 \quad (\text{重力相似准则})$$

$$(Ri)_r = \left(V / \sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho} gH} \right)_r = 1 \quad (\text{浮力相似准则})$$

$$(\Delta T)_r = (T_l - T_a)_r = 1 \quad (\text{温度相似准则})$$

当 $\left(\frac{\Delta \rho}{\rho} \right)_r = 1$ 时, 重力相似准则与浮力相似准则可同时满足。

T_l 、 T_a : 排水温度、环境水温;

H 、 V 、 $\Delta \rho$: 水深、流速、水体温差引起的密度差;

脚标 r : 原体与模型的比值。

按照上述模型相似准则, 模型比尺关系如下:

流量比尺: $Q_r=L_r H_r^{3/2}$

流速比尺: $V_r=H_r^{1/2}$

糙率比尺: $n_r=H_r^{2/3} L_r^{-1/2}$

时间比尺: $t_r=L_r H_r^{-1/2}$

物理模型试验的模型设计比尺与特征参数、地形及水工构筑物模拟、模型控制系统及检测设备、模拟范围如下:

(i) 模型设计比尺与特征参数

依循本工程的模型设计原则、场地以及试验室供水、供电能力等因素, 最终选定模型水平比尺、垂向比尺为: $L_r=400$; $H_r=125$; $\varepsilon=L_r/H_r=3.2$ 。

相应模型特征参数见表 6.1-1。

(ii) 地形及水工构筑物模拟

模型试验所依据的地形资料包括:

2006 年实测厂址附近大范围海域 1:2000、1:10000 水下地形, 不足部分用 1:20000、1:25000 海图补足。

工程水域取排水口、码头、栈桥等水工构筑物模拟。

(iii) 模型控制系统及检测设备

● 生控潮系统

采用“海工模型潮汐模拟自控系统”, 包括: 一套工控机管理控制系统, 12 套远程控制箱, 261 台潜水泵, 一套潮汐模拟自动控制软件平台。

该系统为中央计算机、分站 PLC 可编程控制器及分布式工业控制总线组成的多通道变频泵群生、控潮系统, 采用控制边界中各分段的流量过程、同步监视水位的开环控制模式。由多通道潜水泵群潮汐模拟系统自动监控全潮流量和水位过程, 实现潮位、流场的精确模拟。即给定整个潮周各分段的流量~时间过程数据及水位监视点的潮位~时间过程数据, 模拟系统通过控制各通道不同流量水泵状态变化(开启或关闭)实现进出水量改变, 形成模拟水域的潮汐流动, 同时以高精自动水位仪(分辨率 0.01mm, 精度 $\pm 0.1\text{mm}$)自动监测水位实时过程, 使模型水位与给定潮位相符, 可实现模型水域潮位、潮流的高精度控制, 以完成潮汐模拟。潮位控制精度 $\pm 1.0\text{mm}$;

- 供水系统：由水库（约 4000m³）、供水泵、输水管道、平水廊道等组成。
- 水位测量：采用精密水位仪检测，精度为±0.1mm。
- 取排水流量测控系统：由浮子流量计、管道泵、蝶阀等组成。
- 流速测控仪器系统：

测点流速量测：SonTek Micro ADV 三维超声波测速仪，精度±1%；多通道旋桨流速仪，精度±3%；

模型大水域水面同步流场量测：PIV 多通道粒子图象测速系统，精度±5%；

- 温控系统：由控温仪、电加热箱、浮子流量计等组成。
- 温度检测系统：

模拟水域水体表层温度场及特征点位垂向温升分布量测：多点温度数据采集系统 PC-2WS（单套 384 个测温探头），精度±0.1℃；

全水域水面温度场的随潮变化动态观测：TVS-2000MK II ST 红外热像仪，精度±0.4%。

- 示踪剂（模拟低放废水）配置及施放系统

包括标液箱、混合箱、微量流量计等。

- 浓度测量系统

采用 DJ 浓度监测系统，整个量测系统相对误差为±5%。DJ 浓度监测系统集成有多通道电导率仪（每个并行通道由一台 DDLY-2005 型电导率仪构成，精度误差小于 0.01uS/cm，盐度检测单点误差小于 0.1‰），与测温系统组合可监测以钠盐为示踪剂的浓度场发展状况。

（iv）模型模拟范围

模拟以厂址为中心 18km×14km 海域，总面积约 252km² 的范围，北起楮岛，南至镆铘岛，模型布置见图 6.1-3。物模试验工程布置图见图 6.1-4。

（3）温排水对水体的物理影响分析

（i）取排水方案数、物模结果分析

山东石岛湾厂址各机组产生的温排水受潮流、地形条件等影响，取排水近区温升分布呈现明显的顺岸带状分布特征，其高温升区主体位于老铁石-黑石岛西侧。

温排水的影响因素主要包括以下两个方面：

- 大、中、小潮潮型的不同影响：大、中、小潮的潮流强度以及掺混能力

从强至弱变化，特别是大潮的潮差和潮型所致，对温排水的掺混挟带能力明显强于中、小潮，温升影响面积也明显小于其它潮型，而小潮潮流最弱，环境水体对温排水的掺混稀释能力也弱，等温升线包络面积最大；取水温升取决于其所处环境温升，与其所在水域冷、热水交换强度密切相关，小潮冷热交换量最少，取排水口所处水域温升最大，因此取水温升最高，反之，大潮取水温升最低。

- 夏、冬季节的不同影响：与夏季相比，冬季工况循环水量小，对环境流场影响较小。但排热量与夏季相近，因冬季水面综合散热能力小，温升影响范围较夏季增大，各取水口温升也有所升高。

通过对比数模计算与物模试验结果可知，同种工况下两种研究结果得到的温升影响面积、取水温升随不同潮型的变化规律一致。核电厂取水温升值小潮相对较大，中潮次之，大潮最小；但物模试验得到的取水温升和排水口近区高温升影响区面积的结果略高于数模计算结果，而远区低温升影响区面积的结果小于数模计算结果。数模计算与物模试验各自得到的 1.0℃温升影响区面积结果相近，即 1.0℃温升线基本为近、远区的分界线。

数模计算和物模试验存在差异的主要原因在于：

- 数模计算可以模拟大范围海域的潮流场和温排水扩散特性，在计算时可以通过调整水面综合散热系数的方式来模拟夏、冬季节温度场，同时不存在模型几何变态影响；但数模计算特别是二维数模计算无法准确模拟排水出流的水动力特性。
- 物模试验能较为准确地模拟取、排水口近区水域的三维水力、热力特性，可较好地预测近区温升场和机组的取水温升；但由于客观条件的制约，物模试验的模拟范围较数模计算的要小的多，因此无法准确模拟模型散热影响以及边界回归水体温升影响，同时模型几何变态影响等可能会导致物模试验温升影响范围大于实际工况。
- 本工程的排水属离岸深水排放，与近岸排放温度场一般由近岸浅水区逐渐向离岸深水区发展的显著差异在于：排水口近区易于出现水体表、底温度分层现象，高温升区主要分布在深水区，即本工程的 4℃和 1℃温升区离岸距离在 200m 以上，影响范围均位于离岸深水区域。

物模试验表明：取排水口附近水域存在较明显的温度分层效应，表层温度高、

底层温度低；排水出口前缘水体热水层厚度约 3~4m，表底层温差约 2.0~4.0℃；取水入口附近水体表底层温差约 0.2~0.4℃。二维数模计算将温升垂向均化，无法模拟垂向温度分层效应，所给出排水口近区温升影响范围明显小于物模试验。

综上所述，针对数、物模得到的结论，建议本工程的温排水影响采用如下参数：1℃及以上温升分布采用物模试验结果，0.5℃采用二维数模计算结果。

(ii) 取排水方案的温排水影响

根据数模计算和物模试验结果，山东石岛湾厂址温排水推荐方案（南、北取水、养殖池中间明渠延长 0.6km 排放）情况下，在 1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组正常运行时，夏季：

- 1℃全潮最大温升包络面积为 8.51km²；
- 2℃全潮最大温升包络面积为 4.69km²；
- 3℃全潮最大温升包络面积为 2.51km²；
- 4℃全潮最大温升包络面积为 1.13km²。

正常运行时，冬季：

- 1℃全潮最大温升包络面积为 9.28km²；
- 2℃全潮最大温升包络面积为 5.07km²；
- 3℃全潮最大温升包络面积为 2.63km²；
- 4℃全潮最大温升包络面积为 1.19km²。

本工程温排水的全潮平均和全潮最大等温升线包络面积列于表 6.1-2。

(iii) 取排水方案的取水温升影响

山东石岛湾厂址 CAP1400 压水堆机组正常运行时的取水温升见表 6.1-3。

(iv) 取水口调整分析

山东石岛湾厂址取排水方案于 2012 年进行方案调整与优化。经优化后的取排水布置方案与原先的取排水布置推荐方案相比变化如下：

- 优化方案的排水明渠位置、形式不变；
- 优化方案的北取水明渠部分段东移，延伸外侧（东）防波堤，使进水口由原来的北向进水变成西向进水，但位置不变；
- 优化方案的南取水明渠位置不变，只是外侧（东）防波堤向西南延伸，使进水口由南向进水变为西向进水，进水口位置没有改变。

根据上述经优化设计的取排水布置方案，中国水利水电科学研究院对山东石

岛湾厂址各机组温排水产生的温排影响再次进行了数值模拟计算。数值模拟计算方式及参数选取与本报告前文的数学模型相关描述一致。

对山东石岛湾厂址 1 台 200MWe 高温气冷堆、2 台 CAP1400 压水堆机组以及山东石岛湾厂址留有的后续核电机组扩建场地上的规划机组（按 4 台 AP1000 机组考虑）在取排水方案优化前后的夏季温排水影响进行对比，见表 6.1-4。从温排水面积看，经优化后的取排水布置方案与原先的取排水布置推荐方案的不同潮型温升包络面积的变化规律一致，南取水明渠的变化是外侧导流堤向西南延伸，使得进水口也由向南改为向西、朝向岸边，北取水明渠向东推移，明渠进水口向西。两个取水明渠进水口门的改变，使取水温升略有下降，取水明渠渠头水流平顺；北取水明渠向东推移，与排水明渠间的弱流区范围变小，落潮时回流范围减小。环境水域流场的改善，会提高其对温排水掺混能力，从而温排水影响面积会略有减小，即优化方案包络面积略有减小。虽然经优化后的取排水布置方案较之原先的取排水布置推荐方案的取水明渠稍有改变，但排水位置、形式不变，温度场的分布形态未发生明显变化。

结合 2011 年完成的《石岛湾核电厂址温排水及低放废水排放研究综合分析报告》的分析结果：同机组模拟工况下，数学模型计算及物理模型试验两种研究结果得到的温升影响面积、取水温升随不同潮型的变化规律一致；物模试验取水温升略高于数模计算结果；排水口近区高温升影响区面积物模试验结果大于数模计算结果，远区低温升影响区面积物模试验结果小于数模计算结果， 1.0°C 温升影响区面积物模试验与数模计算结果相近，即 1.0°C 温升线基本为近、远区的分界线。根据对优化后的取排水方案的数模计算结果，较之原先的取排水布置推荐方案，经优化后的取排水布置方案实施后，温度场的分布形态无明显变化，温排水影响面积有所减小。因此，对于经优化后的取排水布置方案，原先的取排水布置推荐方案的物理模型试验结果偏于保守，将 1°C 及其以上温升分布和取水温升的物理模型试验结果引用到新方案是可行的， 0.5°C 则采用经优化后的取排水布置方案的二维数模计算结果，见表 6.1-5。

（4）近岸海域环境功能区划相符性分析

本节进行温排水影响评价时，主要采用典型小潮工况下的 $1\times 200\text{MWe}$ 高温气冷堆及 $2\times \text{CAP1400}$ 压水堆机组的全潮最大等温升线包络面积，其中 1°C 及以上温升分布采用物模试验结果， 0.5°C 采用二维数模计算结果。其取排水工程模

型为明渠南、北取水，养殖池中间明渠延长 0.6km 排放。

根据《山东省近岸海域环境功能区划》，本工程周围海域原定为二类功能区，海水水质执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中的二类标准。山东石岛湾厂址取排水方案最初采用“北取南排”方案，并依据该取排水方案对近岸海域环境功能区划进行调整，根据山东省环境保护厅文件《关于同意调整华能山东石岛湾核电站附近海域环境功能区划的复函》（鲁环发[2009]27 号）中对石岛湾厂址附近的近岸海域环境功能区划的调整说明，厂址附近 C1-C6 坐标点连线之内、面积为 12.9209km² 的海域，由二类环境功能区调整为三类环境功能区，海水水质执行不低于三类的海水水质标准，调整后编号为 WH03III-2。厂址附近 D1-D6 坐标点连线之内、面积为 1.2465km² 的海域，由二类环境功能区调整为混合区，海水水质执行不低于三类的海水水质标准，调整后编号为 WHH-5。其它为二类功能区不变，海水水质执行不低于二类的海水水质标准。

由于厂址压水堆机型改为 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，因此对山东石岛湾厂址取排水方案重新开展了比选论证工作，通过对不同取排水方案的数、物模比选计算后，确定将原有的“北取南排”方案优化为“南北取中排”方案，与此同时，厂址周边海域的近岸海域环境功能区划也进行了调整。山东省环境保护厅已出具《山东省环境保护厅关于同意调整大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程近岸海域环境功能区划的复函》（鲁环发[2014]70 号），同意本工程近岸海域环境功能区划的调整，具体见本报告第一章 1.7 节的描述。“鲁环发[2014]70 号”批复的近岸海域功能区划调整面积和范围与《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程近岸海域环境功能区调整论证报告》的调整建议一致。

根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模研究工作成果，在 1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组投入运行时，1℃全潮最大温升包络面积为 9.28km²，4℃全潮最大温升包络面积为 1.19km²，为各工况中温排水影响面积和范围最大者。1 台高温气冷堆和 2 台 CAP1400 压水堆核电机组的温排水影响面积和范围满足近岸海域环境功能区划要求，核电站运行期间排水形成的 4℃温升包络区域位于调整后的混合区区域内，1℃温升包络区域位于调整后的三类环境功能区区域内。

2) 运行阶段环境影响报告书温排水影响评价（明渠南、北取水，养殖池中间明

渠延长 0.4km 排放方案)

根据建设单位与华能山东石岛湾核电有限公司的分工,本工程温排水用海由华能山东石岛湾核电有限公司通过华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程项目用海进行申请。2020年6月22日自然资源部出具《自然资源部办公厅关于华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程项目用海的函》(自然资办函[2020]1087号)同意本工程温排水用海。为与上述用海批复保持一致,本工程对应的山东石岛湾厂址取排水方案由“明渠南、北取水,养殖池中间明渠延长 0.6km 排放方案”中的“明渠延长 0.6km”调整为“明渠延长 0.4km”。

为了预测调整后的取排水方案情况下温排水对沿海海域造成的影响,中国水利水电科学研究院针对山东石岛湾厂址 1 台 200MWe 高温气冷堆和 2 台 CAP1400 压水堆机组正常运行时的温排水影响进行了温排水排放的数值模拟分析及物理模型试验的研究工作,数模工作于 2021 年完成,物模工作于 2022 年完成,研究工作考虑单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水流量为 83m³/s,取排水温升为 7.4℃,冬季冷却水流量为 50m³/s,取排水温升为 12.3℃。

(1) 数学模型及数值方法

温排水排放的数值模拟分析采用了三维数值模拟分析方法。

(i) 基本方程

模型采用基于 Boussinesq 和垂向静水压力假定,其控制方程如下:

水深平均的连续方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)U \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)V \sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q \quad (6.1-13)$$

d : 参考平面以下的水深值。

ζ : 自由表面高程(参考平面 $z=0$ 以上的数值)。

t : 时间。

ξ 和 η : 曲线坐标系下水平方向的坐标。

$G_{\xi\xi}$ 、 $G_{\eta\eta}$: 分别为曲线坐标系转换为直角坐标系的转换系数。

U 、 V : 分别为 ξ 和 η 方向的水深平均流速。

Q : 源汇项,如取排水、降雨和蒸发等。

模型在水平方向 ξ 和 η 的动量方程表示如

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial U}{\partial \xi} + \frac{V}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial U}{\partial \eta} - \frac{V^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \frac{UV}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - fV = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\xi\xi}}} P_\xi + F_\xi + M_\xi \quad (6.1-14)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{U}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial V}{\partial \xi} + \frac{V}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial V}{\partial \eta} - \frac{U^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + \frac{UV}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + fU = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + M_\eta \quad (6.1-15)$$

f : Coriolis 参数, $f = 2\Omega \sin \phi$ 。

Ω : 地球自转角速度。

ϕ : 纬度。

F_ξ 和 F_η : 分别为 ξ 和 η 方向的紊动动量通量, 反应雷诺应力。

P_ξ 和 P_η : 分别为 ξ 和 η 方向的水压力梯度。

M_ξ 和 M_η : 分别为 ξ 和 η 方向上动量的源汇项。

在浅水假定下, 垂向动量方程简化为静水压方程:

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -g\rho H \quad (6.1-16)$$

积分后静水压表示为:

$$P = P_{atm} + gH \int_{\sigma}^0 \rho(\varepsilon, \eta, \sigma') d\sigma' \quad (6.1-17)$$

采用斜压模型, 水体密度为温度和盐度的函数, 采用 UNESCO 状态方程表示, 每个求解步通过状态方程求解温、盐度分布引起的密度差, 在压力项 P 中予以反映。

在 σ 坐标系下垂向流速 ω 通过连续方程求解:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)u\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)v\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} \\ = H(q_{in} - q_{out}) \end{aligned} \quad (6.1-18)$$

ω : 垂向流速, 定义在等 σ 面上, 表示相对于 σ 平面的垂向运动。

在求解 F_ξ 和 F_η 时涉及到水平粘滞系数 ν_H , 其表达式为:

$$\nu_H = \nu_{2D} + \nu_{3D} + \nu_{mol} \quad (6.1-19)$$

ν_{2D} : 水平方向未求解的亚格子水平紊动相关的紊动粘滞系数, Delft3D 中无模型求解此参数, 可以通过 GUI 用户界面设置为全场恒定值或者随空间变化的值。

v_{3D} : 三维紊动有关的紊动粘滞系数, 通过紊流模型求解。

v_{mol} : 分子粘性系数。

垂向粘滞系数 v_v 的表达式为:

$$v_v = v_{mol} + \max(v_{back}, v_{3D}) \quad (6.1-20)$$

v_{back} : 垂向粘性系数背景值, 主要是为了反映其它未求解的掺混效应(如分层流中的内波影响)。

(ii) 边界条件

● 流场边界条件

边界条件: 水位开边界采用潮位边界, 采用 TPXO 全球海潮模型给出开边界上的潮汐调和常数作为输入。

初始条件: 采用静流条件起算。

底部摩擦项: 对全水深平均的二维流动, 床面剪切力采用二次摩擦定律:

$$\bar{\tau}_b = \frac{\rho_0 g \bar{U} |\bar{U}|}{C_{2D}^2} \quad (6.1-21)$$

U : 水深平均水平向流速。

ρ_0 : 水的密度。

C_{2D} : 二维 Chezy 系数($m^{1/2}/s$), 可以直接赋值或者采用 Manning 公式。

$$C_{2D} = \sqrt[6]{H}/n \quad (6.1-22)$$

H : 总水深, m。

n : Manning 系数, $m^{-1/3}/s$ 。

④ 水面摩擦项

表面风应力表示为:

$$|\vec{\tau}_s| = \rho_a C_d U_{10}^2 \quad (6.1-23)$$

ρ_a : 空气密度。

U_{10} : 自由表面以上 10m 风速。

C_d : 风拖曳力系数, 与 U_{10} 有关。

● 温度场边界条件

边界条件: 岸边界和底部边界为绝热边界, 开边界上为环境水温。自由表面为散热边界, 采用超温散热模块计算:

$$Q_{\text{tot}} = -\lambda(T_s - T_{\text{back}}) \quad (6.1-24)$$

Q_{tot} : 换热通量。

λ : 热交换系数。

T_s : 表层水温。

T_{back} : 环境水温。

λ : 取值等同于综合散热系数 K_s 。

初始条件: 采用零温升 (即环境水温) 起算。

取排水采用关联源项, 排水流量等于取水流量, 排水口水温 T_{out} 取水口水温 T_{in} 之间的关系为:

$$T_{\text{out}} = T_{\text{in}} + \Delta T \quad (6.1-25)$$

ΔT : 取排水温差。

(iv) 主要参数选择

● 糙率系数

采用曼宁公式计算底部摩阻, 考虑到海区冬季存在紫菜养殖, 近岸区域糙率会加大, 故夏、冬季采用不同糙率取值, 夏季糙率系数 n 取值范围 0.018~0.028, 冬季糙率系数 n 取值范围 0.018~0.04。

● 水平粘滞系数及物质扩散系数

水平粘滞系数背景值取 $\nu_{2D}=1$ (默认值), 水平扩散系数背景值取值与水深、流速关联, 温排水主要影响区取值范围在 0.01~20m²/s 之间, 模拟区域总体取值在 0.01~70m²/s 之间, 垂向扩散系数采用 $k-\varepsilon$ 模型求解。

● 表面综合散热系数

表面综合散热系数 K_s 采用《冷却水工程水力、热力模拟技术规程》(SL160-2012) 中的公式:

$$K_s = (k + b)\alpha + 4\varepsilon\sigma(T_s + 273)^3 + \Delta K \quad (6.1-26)$$

$$\Delta K = \frac{0.8(1 + km)}{\alpha} (b(T_s - T_a) + \Delta e_s), \quad \text{其中 } k = \frac{\partial e_s}{\partial T_s}, \quad m = \frac{0.378}{P} (T_s + 273)。$$

P : 大气压强, hPa。

e_s : 对应于水面温度的饱和水汽压, hPa。

Δe_s : 对应于水面温度的饱和水汽压与水面以上 1.5m 处水汽压的差值 hPa。

T_s : 表面水温, °C。

b : $0.627\text{hPa}/^\circ\text{C}$ 。

ε : 水面发射率, $\varepsilon = 0.97$ 。

σ : Stefan-Boltzman 常数, $\sigma = 5.6 \times 10^{-8} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-4})$ 。

α : $\alpha = [22.0 + 12.5V_w^2 + 2.0(T_s - T_a)^{1/2}] (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1})$ 。

V_w : 自由表面风速, m/s, 一般选用不同季节的月平均值。

T_a : 气温, $^\circ\text{C}$ 。

综合散热系数夏季取值 $K_s=47\text{W}/\text{m}^2\text{C}$, 冬季取值 $K_s=28.5\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ 。(与建造阶段环境影响报告书二维数模综合散热系数取值一致)

(v) 计算区域

模拟水域西起乳山口东至 50m 等深线附近, 北起成山角南至 50m 等深线, 南北方向沿岸线长约 160km, 东边界离岸长约 50km, 南边界离岸长约 90km, 计算域面积约 14000km^2 , 见图 6.1-5。(与建造阶段环境影响报告书二维数模计算区域基本一致)

(vi) 网格尺度

网格示意图见图 6.1-6。垂向上平均分 5 层, 基本满足热水分层模拟需求。

(2) 物理模型试验方法

模型设计以重力相似为主, 兼顾浮力相似等其它相似准则设计, 即:

$$(Fr)_r = (V / \sqrt{gH})_r = 1 \quad (\text{重力相似准则})$$

$$(Ri)_r = \left(V / \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} gH} \right)_r = 1 \quad (\text{浮力相似准则})$$

$$(\Delta T)_r = (T_l - T_a)_r = 1 \quad (\text{温度相似准则})$$

当 $\left(\frac{\Delta\rho}{\rho} \right)_r = 1$ 时, 重力相似准则与浮力相似准则可同时满足。

T_l 、 T_a : 排水温度、环境水温;

H 、 V 、 $\Delta\rho$: 水深、流速、水体温差引起的密度差;

脚标 r : 原体与模型的比值。

按照上述模型相似准则, 模型比尺关系如下:

流量比尺: $Q_r = L_r H_r^{3/2}$

流速比尺: $V_r = H_r^{1/2}$

糙率比尺： $n_r=H_r^{2/3}L_r^{-1/2}$

时间比尺： $t_r=L_rH_r^{-1/2}$

物理模型试验的模型设计比尺与特征参数、地形及水工构筑物模拟、模型控制系统及检测设备、模拟范围如下：

(i) 模型设计比尺与特征参数

依循本工程的模型设计原则、场地以及试验室供水、供电能力等因素，最终选定模型水平比尺、垂向比尺为： $L_r=350$ ； $H_r=125$ ； $\varepsilon=L_r/H_r=2.8$ 。

相应模型特征参数见表 6.1-6。

(ii) 地形及水工构筑物模拟

模型试验所依据的地形资料包括：

2021 年测制的厂址附近大范围海域 1:2000、1:10000 水下地形，不足部分用 1:20000、1:25000 海图补足。

工程水域取排水口、码头、栈桥等水工构筑物模拟。

(iii) 模型控制系统及检测设备

- 生控潮系统：采用的“海工模型潮汐模拟自控系统”，由工控机管理控制系统、远程控制箱、潜水泵及潮汐模拟自动控制软件平台组成。该系统采用控制边界中各分段的流量过程、同步监视水位的开环控制模式。由多通道潜水泵群潮汐模拟系统自动监控全潮流量和水位过程，实现潮位、流场的精确模拟。即给定整个潮周各分段的流量~时间过程数据及水位监视点的潮位~时间过程数据，模拟系统通过控制各通道不同流量水泵状态变化（开启或关闭）实现进出水量改变，形成模拟水域的潮汐流动，同时以高精度自动水位仪（分辨率 0.01mm，精度±0.1mm）自动监测水位实时过程，使模型水位与给定潮位相符，可实现模型水域潮位、潮流的高精度控制，以完成潮汐模拟。潮位控制精度±1.0mm。
- 供水系统：由水库（约 4000m³）、供水泵、输水管道、平水廊道等组成。
- 水位测量：采用精密水位仪检测，精度为±0.1mm。
- 取排水流量测控系统：由浮子流量计、管道泵、蝶阀等组成。
- 流速测控仪器、系统：测点流速量测采用 ACM2/3-RS 电磁流速系统，精度±2%；模型大水域水面同步流场量测采用 PIV 多通道粒子图象测速系统，精度±5%。

- 温控系统：由控温仪、电加热箱、浮子流量计等组成。
- 温度检测系统：模拟水域水体表层温度场及特征点位垂向温升分布量测：横河温度数据采集系统，精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ；全水域水面温度场的随潮变化动态观测：TVS-2000MK II ST 红外热像仪，精度 $\pm 2\%$ 。

(iv) 模型模拟范围

模拟以排水点为中心约 $20\text{km}\times 10\text{km}$ 海域，总面积约 200km^2 的范围，北起楮岛，南至镆铳岛，物理模型试验模型布置见图 6.1-7，物理模型模拟区域示意图见图 6.1-8。

(3) 温排水对水体的物理影响分析

(i) 取排水方案的温排水影响（数模结果）

根据三维数模计算结果，山东石岛湾厂址温排水调整方案（南、北取水、养殖池中间明渠延长 0.4km 排放）情况下，在 1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组正常运行时，夏季：

- 1°C 全潮最大温升包络面积为 12.58km^2 ；
- 2°C 全潮最大温升包络面积为 3.03km^2 ；
- 3°C 全潮最大温升包络面积为 0.74km^2 ；
- 4°C 全潮最大温升包络面积为 0.27km^2 。

正常运行时，冬季：

- 1°C 全潮最大温升包络面积为 12.91km^2 ；
- 2°C 全潮最大温升包络面积为 3.21km^2 ；
- 3°C 全潮最大温升包络面积为 1.28km^2 ；
- 4°C 全潮最大温升包络面积为 0.57km^2 。

本工程温排水的全潮平均和全潮最大等温升线包络面积列于表 6.1-7。

(ii) 取排水方案的温排水影响（物模结果）

根据物模试验结果，山东石岛湾厂址温排水调整方案（南、北取水、养殖池中间明渠延长 0.4km 排放）情况下，在 1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组正常运行时，夏季：

- 1°C 全潮最大温升包络面积为 8.79km^2 ；
- 2°C 全潮最大温升包络面积为 4.15km^2 ；
- 3°C 全潮最大温升包络面积为 2.11km^2 ；

— 4℃全潮最大温升包络面积为 0.84km²。

正常运行时，冬季：

— 1℃全潮最大温升包络面积为 10.11km²；

— 2℃全潮最大温升包络面积为 4.81km²；

— 3℃全潮最大温升包络面积为 2.32km²；

— 4℃全潮最大温升包络面积为 1.15km²。

本工程温排水的全潮平均和全潮最大等温升线包络面积列于表 6.1-8。

(iii) 取排水方案的温排水影响（数模、物模结果综合分析）

数模计算与物模试验结果对比显示：

- 工程海域流场、温度场特性相近，相应温升等值线包络面积以及取水温升随不同潮型的变化规律基本一致。
- 排水口近区高温升影响区（如：4.0℃温升区）面积物模试验结果大于数模计算结果，远区低温升影响区（如：1.0℃温升区）面积物模试验结果小于数模计算结果，各工况组合物模与三维数模温升等值线包络面积交叉区域基本在1.0℃~2.0℃之间，1.0℃温升影响区面积物模试验与数模计算结果相近。

产生上述差异的主要原因在于：

- 物理模型能够较为准确地模拟取、排水口近区水域的三维水力、热力特性，可以较好地预测排口近区温升场（表层及垂向温升分布）。物理模型能较好模拟出流动量，排口附近物理模型的高温升区影响范围通常大于分层三维数学模型，但受变态影响物理模型表层温升结果较实际情况会有所偏大。
- 本工程2台CAP1400压水堆核电机组与1台高温气冷堆核电机组运行工况下，排口附近高温升区(4.0℃温升区)数模与物模面积差异显著增大，其主要原因在于：一方面，明渠出口处三维紊动特性明显，且排水出流呈现显著的时、空非均匀性。本工程所在山东石岛湾核电厂址的排水明渠按照全厂址规划容量设计，明渠宽度为120m，本工程2台CAP1400压水堆核电机组与1台高温气冷堆核电机组运行工况下的排水量在明渠出口非全断面均匀出流，在时间分布上也存在不均匀现象，高潮位时浮于水体表层的“热水”易于受潮流顶托而出流受阻（热排放量有所减少），

而落潮时热水出流量则有所增大。数学模型受到工程计算中网格密度的限制，排水近区局部加密后的网格尺度仍无法达到精细模拟明渠出口处复杂流场的要求，物模可更好的反映明渠出口该复杂的水力、热力输移扩散特性；另一方面物理模型由于量测点密度受限等，对本工程2台CAP1400压水堆核电机组与1台高温气冷堆核电机组运行工况下温升面积较小的情况，在作图处理时温升范围保守处理原则易于导致其过度的夸大。因此本工程2台CAP1400压水堆核电机组与1台高温气冷堆核电机组运行工况下，数模和物模4℃温升包络面积存在较大差异是可以理解的，也符合保守原则。

- 温排水影响区温度分层现象随着环境流的增强以及与排水出口距离的增大而逐渐减弱，在远区沿垂向均化后，物理模型与数学模型的模拟结果差异缩小。基于热量守恒性的影响，排口远区低温升影响范围数模计算结果大于物模试验结果是合理的。

综上所述，物理模型与数学模型模拟结果在具体应用时，可对研究成果进行“分项、分段选取”。本工程2台CAP1400压水堆核电机组与1台高温气冷堆核电机组运行工况下的排水量在明渠排口出流均匀、稳定性较差，数学模型难以模拟其复杂的出流流态，相应数模计算与物模试验结果差异较大。故此，基于保守性原则，排口附近中、高温升区（2.0~4.0℃温升）影响范围建议采用物理模型试验（物模大、中、小潮叠加）结果；排口远区低温升区（1℃及其以下温升）影响范围建议采用三维数模结果。

（iv）取排水方案的取水温升影响

物理模型试验取水温升值基本接近或略高于数模计算结果。考虑到物理模型试验可更好地直接反映取水进流条件，相应取水温升模拟结果更符合工程实际，山东石岛湾厂址 CAP1400 压水堆机组取水温升宜采用物模试验结果。山东石岛湾厂址 CAP1400 压水堆机组正常运行时的取水温升（物模结果）见表 6.1-9。

（4）功能区划相符性分析

本节进行温排水影响评价时，采用数、物模综合分析成果中的 1×200MWe 高温气冷堆及 2×CAP1400 压水堆机组的全潮最大等温升线包络面积。

（i）温排水用海相符性分析

2012年11月，国务院正式批复《山东省海洋功能区划（2011-2020）》。批复

后的《山东省海洋功能区划》将宁津镇东墩村以东附近海域划定为荣成宁津工业与城镇建设用海区（面积 12.88km²，代码 A3-17）与荣成宁津保留区（面积 14.65km²，代码 A8-12）。厂址附近海域海洋功能区划现状见图 1.7-1，其中荣成宁津工业与城镇建设用海区（代码 A3-17）的基本功能为工业和城镇用海，开发利用期内执行不低于三类海水水质标准，可以容纳人为温升不超过 4 度的废水；荣成宁津保留区（代码 A8-12）的基本功能需通过科学论证确定，未确定用途前保持现有海洋环境与水质标准；荣成宁津工业与城镇建设用海区（代码 A3-17）与荣成宁津保留区（代码 A8-12）外侧为桑沟湾-镆铳岛近岸农渔业区，代码为 A1-21，南侧 A3-18 处对应的海洋功能区类型为工业与城镇用海区。因此，根据《山东省海洋功能区划（2011-2020）》规定，桑沟湾-镆铳岛近岸农渔业区（A1-21）执行不低于二类海水水质标准，荣成宁津工业与城镇建设用海区（A3-17）开发利用期内执行不低于三类海水水质标准。《海水水质标准》（GB3097-1997）规定：对于一、二类海水水质，人为造成的海水温升夏季不超过当时当地 1℃，其他季节不超过 2℃；对于三、四类海水水质，人为造成的海水温升不超过当时当地 4℃。

山东省国土空间规划以及 2020 年之后的山东省海洋功能区划尚未正式发布。

国核示范电站有限责任公司委托国家海洋局第一海洋研究所编制完成了《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程海域使用论证报告书》（2014 年 1 月），该报告已取得原国家海洋局批复[《国家海洋局关于大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程用海预审意见的函》（国海管字[2014]268 号)]。后因上述用海预审意见超过时效，国核示范电站有限责任公司委托日照市环境保护科学研究所有限公司编制完成《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程海域使用论证报告书》（2018 年 7 月），该报告已取得批复。与本工程同位于山东石岛湾核电厂址的高温气冷堆示范工程的海域使用论证报告——《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程海域使用论证报告书（2017 年 6 月）》已取得批复。

《自然资源部办公厅关于华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程项目用海的函》（自然资办函[2020]1087 号）批准温排水用海 140.2700 公顷。

根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，在 1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组投入运行时，冬

季 4℃全潮最大温升包络面积为 1.15km²，夏季 4℃全潮最大温升包络面积为 0.84km²。1 台高温气冷堆和 2 台 CAP1400 压水堆核电机组运行期间排水形成的 4℃温升包络区域位于批准的温排水用海范围内。

(ii) 近岸海域环境功能区划相符性分析

山东省环境保护厅已出具《山东省环境保护厅关于同意调整大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程近岸海域环境功能区划的复函》（鲁环发[2014]70 号），同意本工程近岸海域环境功能区划的调整，具体见本报告第一章 1.7 节的描述。“鲁环发[2014]70 号”批复的近岸海域功能区划调整面积和范围与《大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程近岸海域环境功能区调整论证报告》的调整建议一致。

根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，在 1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组投入运行时，冬季 1℃全潮最大温升包络面积为 12.91km²，4℃全潮最大温升包络面积为 1.15km²，夏季 1℃全潮最大温升包络面积为 12.58km²，4℃全潮最大温升包络面积为 0.84km²。1 台高温气冷堆和 2 台 CAP1400 压水堆核电机组的温排水影响面积和范围满足近岸海域环境功能区划要求，核电厂运行期间排水形成的 4℃温升包络区域位于调整后的混合区区域内，1℃温升包络区域位于调整后的三类环境功能区区域内。

威海市人民政府于 2021 年 4 月 6 日以《威海市人民政府关于明确石岛湾核电基地水质要求的请示》（威政请字[2021]5 号）向山东省人民政府发文，特恳请省政府批准，由省生态环境主管部门明确石岛湾核电基地水质要求。山东省生态环境厅于 2021 年 6 月 1 日以《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》（鲁环函[2021]69 号）回函，同意 A1（E122°33'07.69"，N36°59'00.00"）、A2（E122°34'00.00"，N36°59'00.00"）、A3（E122°34'00.00"，N36°57'46.68"）、A4（E122°33'07.69"，N36°57'46.68"）四点连线围成的混合区不设置水质管控目标；B1 点（E122°31'54.46"，N36°59'42.14"）、B2 点（E122°33'10.96"，N37°00'40.59"）、B3 点（E122°35'15.89"，N37°00'40.59"）、B4 点（E122°35'15.89"，N36°56'42.75"）、B5 点（E122°33'25.29"，N36°55'43.53"）、B6 点（E122°31'12.36"，N36°57'04.72"）六点连线围成的三类环境功能区执行三类海水水质标准。

《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》（鲁环函

[2021]69号)提及的混合区和三类环境功能区范围与《山东省环境保护厅关于同意调整大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程近岸海域环境功能区划的复函》(鲁环发[2014]70号)提及的混合区和三类环境功能区范围是一致的。

威海市人民政府于2021年6月19日发布了《威海市人民政府关于印发威海市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》(威政字[2021]24号),其中重点管控单元主要涵盖工业或城镇建设用海区、港口区、倾废区、排污混合区、围填海区等开发利用强度较高的海域,以及水动力条件较差、水质超标、生态破坏较重和存在重大风险源的海域。该区域重点提升海洋环境质量,强化陆海统筹,优化空间开发利用格局。根据威海市环境管控单元分类图(见第一章图1.6-2),山东石岛湾厂址附近海域属于重点管控单元,根据威海市近岸海域环境质量底线图(2025年)(见第一章图1.6-6)山东石岛湾厂址附近海域执行三类水质标准。

由图1.6-2和图1.6-6可见,山东石岛湾厂址附近海域重点管控单元以及执行三类水质标准的海域范围的形状与《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》(鲁环函[2021]69号)提及的三类环境功能区是一致的。

综上所述,1台200MWe高温气冷堆和2台CAP1400压水堆机组温排水排放产生的4℃全潮最大温升影响范围处于《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》(鲁环函[2021]69号)提及的混合区范围内;1台200MWe高温气冷堆和2台CAP1400压水堆机组温排水排放产生的1℃全潮最大温升影响范围处于《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》(鲁环函[2021]69号)提及的三类环境功能区内,且与《威海市人民政府关于印发威海市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》(威政字[2021]24号)对应重点管控单元以及执行三类水质标准的海域范围对应。

(iii) 海洋生态红线影响分析

山东石岛湾核电厂址周边海域海洋生态红线分布见图1.6-1。

根据《山东省黄海海洋生态红线划定方案(2016-2020年)》(鲁政办字[2016]14号)描述,山东石岛湾核电厂址周边海域共有5处海洋生态红线,分别为:

(1) 楮岛滨海旅游限制区(编号37-Xj11),类别为限制开发区,类型为重要滨海旅游区,面积29.62km²,岸线长度28.13km。生态保护目标:海岛生态系统、威海桑沟湾魁蚶、荣成鼠尾藻、大叶藻种质资源。管控措施:禁止从事可能改变或影响滨海旅游的开发建设活动。严格控制岸线附近的景区建设工程;严格

控制占用岸线、沙滩和沿海防护林。保持岸线形态、长度和邻近海域底加强渔业资源养护，控制捕捞强度。保护生物多样性。

(2) 楮岛藻类渔业海域限制区(编号37-Xe07)，类别为限制开发区，类型为重要渔业海域，面积5.45km²，不靠岸。生态保护目标：荣成鼠尾藻、大叶藻种质资源。管控措施：按照《水产种质资源保护区管理暂行办法》进行管理。禁止围填海、截断洄游通道、水下爆破和施工等开发活动，加强渔业资源养护，控制捕捞强度，保护生物多样性。

(3) 石岛南海村滨海旅游限制区(编号37-Xj12)，类别为限制开发区，类型为重要滨海旅游区，面积2.32km²，岸线长度6.53km。生态保护目标：自然景观、海岸线。管控措施：禁止从事可能改变或影响滨海旅游的开发建设活动。严格控制岸线附近的景区建设工程；保障休闲娱乐、海上旅游等用海需求。不得破坏自然景观，严格控制占用岸线、沙滩和沿海防护林。

(4) 黑石岛海岛限制区(编号37-Xf02)，类别为限制开发区，类型为特殊保护海岛，面积1.46km²，不靠岸。生态保护目标：领海基点、海岛自然生态系统。管控措施：黑石岛岛体进行特殊保护，禁止在领海基点保护范围内从事建设活动以及其他可能改变该区域地形、地貌的活动。禁止炸礁、围填海、填海连岛、采挖海砂等可能造成海岛生态系统破坏及自然地形、地貌改变的活动。

(5) 镆钁岛海岛限制区(编号37-Xf03)，类别为限制开发区，类型为特殊保护海岛，面积17.87km²，不靠岸。生态保护目标：领海基点、海岛自然生态系统。管控措施：镆钁岛领海基点附近区域和黑石岛岛体进行特殊保护，禁止在领海基点保护范围内从事建设活动以及其他可能改变该区域地形、地貌的活动。禁止炸礁、围填海、填海连岛、采挖海砂等可能造成海岛生态系统破坏及自然地形、地貌改变的活动。可适度进行岛陆交通基础设施建设。

2020年之后的山东省黄海海洋生态红线划定方案尚未正式发布。

根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，在1台200MWe高温气冷堆和本工程2台CAP1400压水堆机组投入运行时，冬季1℃全潮最大温升包络面积为12.91km²，4℃全潮最大温升包络面积为1.15km²，夏季1℃全潮最大温升包络面积为12.58km²，4℃全潮最大温升包络面积为0.84km²。1台高温气冷堆和2台CAP1400压水堆核电机组运行期间排水形成的4℃温升包络区域不涉及厂址附近海域海洋生态红线的各类限制区，且与黑石岛

海岛限制区（编号 37-Xf02）内的黑石岛之间的距离远大于 100m；1℃温升包络区域的部分区域涉及楮岛滨海旅游限制区（编号 37-Xj11）和黑石岛海岛限制区（编号 37-Xf02）。

根据近岸海域环境功能区划相符性分析结果，本工程 1~4℃温升包络区域符合《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》（鲁环函[2021]69号）的海水水质温度指标要求。

黑石岛海岛限制区（编号 37-Xf02）范围内涉及黑石岛等基岩岛，根据《石岛湾核电厂址周边海岛调查及核电厂对海岛影响报告书》的结论，《山东省海洋功能区划（2011-2020）》将黑石岛等海岛附近海域定为荣成宁津保留区，目标是保护领海基点的稳定性，本工程对领海基点稳定性不会产生影响，与保护领海基点稳定性不发生冲突。黑石岛周围 100m 范围内海域位于 4℃温升包络线以下范围，温排水温升对黑石岛等的生态环境影响不显著。

温排水对海洋生态的影响分析见 6.1.3 节。

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

本工程的取排水系统主要包括取水头部、水泵、冷凝器和排水渠等部分。取排水系统各个部分对海洋生物可能产生的影响主要通过机械因素、热因素和化学因素实现。在所有这些影响因素中，最主要的是排水系统的热影响、以及取水系统的卷吸撞击效应的影响。

6.1.3.1 取排水工程对水生生物的影响

取水系统对生物影响主要表现为取水的卷吸效应，即水生物随电站抽取循环冷却水而进入冷却系统，并在其中受到热、压力等物理因素和氯化等化学因素综合影响而死亡的现象。一般取排水产生的卷吸效应只对那些能通过取水系统滤网的鱼卵、仔鱼、仔虾、浮游生物及其它游泳类生物幼体产生明显的伤害。

1) 卷吸效应对浮游生物的影响

据大亚湾的相关分析结果，进入核电厂冷却系统的浮游藻类的机械损伤率为 11.98%~27.08%，但经过 72 小时后数量可恢复到与自然海水中的数量相同；对浮游动物的实验表明浮游动物的总损伤率为 55%，但浮游动物生殖周期短（一般 1~7 天），繁殖快，生物量周转率较高，恢复试验证明其恢复到原来数量的时间为 30 小时~6 天。

根据 2.3.3.2 节描述的 2020-2021 年海洋生态调查成果,山东石岛湾厂址附近海域的浮游植物丰度在春季最高,夏、秋、冬季较为接近;浮游动物总个体数春、夏两季高于秋、冬两季。本工程运行期间,其取水系统产生的卷吸效应对厂址附近海域的浮游生物造成一定影响,将使取水口附近小范围内的浮游生物(尤其是浮游动物)的生物量有所减少,局部范围的海洋初级生产力会有所降低。但由于浮游生物的生殖周期较短,繁殖较快,分布广泛,可认为卷吸造成的损伤对海区的浮游生物总量及种群结构等的影响将是有限的。

2) 卷吸对仔稚鱼的影响

根据大亚湾相关研究成果,在环境良好的实验条件下,大部分鱼虾类生长发育过程中的成活率约为 1%~20%之间,但自然条件下生长环境较恶劣,鱼卵仔鱼的成活率更低,一般都要低于 10%。本工程取水量有限,由卷吸效应造成的海洋鱼虾类的仔鱼死亡数量要远低于这些海洋渔业资源在自然环境下的死亡数量。并且,大亚湾核电站运行的经验表明,在取排水口附近海域仍存在鱼卵和仔鱼的相对密集区,这也证明了核电站取水卷吸效应的影响是有限的。

厂址附近海域历次海洋生态现状调查表明厂址附近海域的鱼卵仔鱼种类和数量都较少,而在厂址附近海域渔业资源调查过程中仅捕获到很少量的经济性鱼类及鱼卵仔鱼等。根据 2.3.3.2 节描述的 2020-2021 年海洋生态调查成果以及 2.3.3.3 节描述的 2020-2021 年渔业资源调查结果统计可知,春、夏、秋、冬四季的游泳动物平均尾数密度范围为 0.008~0.089ind./m²,鱼卵平均密度范围为 0.002~1.23ind./m³,仔稚鱼平均密度范围为 0.03~0.811ind./m³,其中秋季垂直拖网以及冬、春季垂直拖网和水平拖网未采到鱼卵。上述调查结果均表明厂址邻近海域的鱼类活动较少。

由于本工程取排水口附近鱼卵仔鱼分布较少,可以认为由于取排水对仔稚鱼的影响是很小的,其机械损伤造成的存活率变化基本湮没在海洋幼鱼幼虾类在自然条件下生长的成活率变化涨落范围内。

3) 卷吸对底栖生物的影响

底栖生物成体的生活方式为底埋或底表方式,因此受核电站取水口卷吸作用的影响甚微。底栖生物的早期发育阶段主要为浮游幼虫形态,个体非常微小(大小一般为 50~100 微米),在繁殖季节,浮游幼虫有可能被核电站取水口少量吸入;但总体而言,卷吸的机械冲击损伤对个体微小的底栖生物浮游幼虫不会产生明显

影响。

4) 取水系统设计

本工程取水设施口设有拦网；同时采用了取水口流速控制的方式，使得取水口附近的流速与周围海域的潮流流速接近一致，以此减少取水设施对海洋生物的卷吸效应影响。

6.1.3.2 温排水对水生生物的影响

1) 对海洋生物的影响

从生物学角度看，水温对海洋生态系统和各类海洋生物活动起着极为重要的作用。它对生物个体的生长发育、新陈代谢、生殖细胞的成熟及生物生命周期都有显著的影响，在自然条件下，海洋水温的变化幅度要比陆地环境和淡水环境小得多。核电厂温排水对水生生态系统的影响是多方面的，如适度的水温升高可以增加水体中浮游生物种类和数量，使鱼类的产卵期提前等，但如果环境水体升温后超过海洋生物生长的适宜温度，将可能导致海洋生物的生长受到抑制或死亡。评价这种影响需要考虑到整个生态系统，包括鱼类的营养学特征和空间生态位置等，因此一般不能准确估计温排水给海域海洋生物带来的利弊。

(1) 对浮游生物的影响

浮游生物不但是某些鱼、虾、贝类的饵料生物，同时其数量的多少也决定海域海洋初级生产力的大小，从而影响渔业资源的潜在量。

温排水的影响与浮游生物的种类数关系密切。在水温较低的季节，尤其是在冬季，水体的适度增温 ($\Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$) 可以使群落中的种类数增加，其中浮游植物的种类数平均增加 50%，浮游动物种类数平均增加 76%；在夏季自然水温较高时，大于 3°C 的强增温会对浮游生物生长产生不利影响，可能引起浮游生物的种类和数量的减少，群落物种多样性降低，并改变群落中的物种组成。

本项目营运过程中，温排水的热效应影响在夏季较为明显，高升温区会对海洋生物造成一定的损失，其中浮游生物较易受到影响。相关研究结果表明，滨海核电厂温排水对活动能力强的大型浮游动物的影响明显，对桡足类等活动能力弱的小型浮游动物影响较小，或几乎没有影响。根据山东黄岛电厂近海海域调查表明，高温升区范围内的海水溶解氧含量下降，同正常海域相比，浮游植物数量及初级生产力较低。但温排水对大型浮游生物的影响主要集中在近排水口的区域。根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，在

1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组投入运行时，冬季 3℃全潮最大温升包络面积为 2.32km²，夏季 3℃全潮最大温升包络面积为 2.11km²，其影响范围仅局限于排水口周围的小范围区域内。而多数浮游生物在生存水体温度不超过 35℃时，不会被抑制生长或造成死亡。本工程所在厂址附近海域在夏季最高水温时核电厂温排水造成 4℃温升包络线以外的海水温度将低于 35℃，不会对浮游生物的生长造成不可逆的影响。

(2) 对鱼虾贝类的影响

水温对鱼类、虾类和贝类的各种生命活动过程有很大的影响。一般而言，在适温范围内，水温的升高会提高鱼类、虾类和贝类的摄食能力，促进其性成熟加快、生长加速。但是，如果水温超过适温范围，将会抑制其新陈代谢和发育生长；如果超过其忍受限，还将会有导致其死亡的危险。此外，对于鱼类和虾类等具有游泳能力的海洋生物，它们能感受到环境水温的微弱变化，对超出适温范围的高温或低温水体，具有回避反应。

温度急变对某些鱼类的繁殖、胚胎发育、鱼苗的成活等均有不同程度的影响。温排水进入受纳水体后，会改变鱼类等水生生物在水体中的正常分布，引起群落结构的变化、鱼类异常发育，并对某些有洄游习性的鱼类造成影响。有关研究结果表明（陈晓秋，2007），一般情况下，如果有比该海区正常水温高 4℃以上的热废水常年注入时，就会产生热污染的问题，特别是对于一些冷温性鱼类的影响较大，可见本项目的温排水可能对游泳动物等造成一定影响，特别是可能对于一些在冬末早春产卵的冷温性鱼类影响较大。

虽然温排水对鱼类的产卵活动影响较为明显，鱼类一般避开温升 1.0℃以上水域而趋于在热排放的边缘区域（温升 0.5℃~1.0℃）产卵，但一些鱼类适应温度的能力比较强，在核电站的温排水区域也能正常生长。蔡泽平等对大亚湾 3 种重要经济鱼类进行热效应模拟实验，并结合其生殖生态习性和水域环境进行研究，结果表明，大亚湾核电站温排水热效应对黑鲷和平鲷等种群资源没有明显的不利影响。林昭进等研究了温排水对大亚湾鱼卵、仔鱼的影响，结果发现温排水对整个大鹏澳水域鱼卵和仔鱼的总数量及其季节变化均无明显影响，对鱼卵死亡率的影响也不显著，但鱼类的种群结构发生了一定的改变，须引起重视。Marcy 在研究 Connecticut 河上的一座核电站的温排水对邻近水域仔鱼的影响，结果表明，只有水温升高 6℃才会对仔鱼的死亡率有较大的影响。

夏季时，温排水导致排水口附近海域局部升温，部分温升范围（4℃温升区）将超过鱼类的适宜温度。根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，在1台200MWe高温气冷堆和本工程2台CAP1400压水堆机组投入运行时，冬季1℃全潮最大温升包络面积为12.91km²，4℃全潮最大温升包络面积为1.15km²，夏季1℃全潮最大温升包络面积为12.58km²，4℃全潮最大温升包络面积为0.84km²，其影响范围仅限于厂址邻近海域；同时，鱼类为游泳生物，能回避不适的热环境。厂址附近海域历次海洋生态现状调查表明厂址附近海域的鱼卵仔鱼种类和数量都较少，而在厂址附近海域渔业资源调查过程中仅捕获到很少量的经济性鱼类及鱼卵仔鱼等。根据本报告第二章2.3节描述的2020-2021年海洋生态调查成果以及2020-2021年渔业资源调查结果统计可知，春、夏、秋、冬四季的游泳动物平均尾数密度范围为0.008~0.089ind./m²，鱼卵平均密度范围为0.002~1.23ind./m³，仔稚鱼平均密度范围为0.03~0.811ind./m³，其中秋季垂直拖网以及冬、春季垂直拖网和水平拖网未采到鱼卵。上述调查结果均表明厂址邻近海域的鱼类活动较少。此外，本次调查所捕获的大部分鱼类均为适温广的暖温性鱼类，适应温度的能力比较强，对其影响相对较小。

温排水对有洄游习性的鱼类的影响较为明显。美国Argonne国立实验所曾组织调查密执安Point Beech核电站温排水与鱼群分布的关系，结果显示，在低温季节鱼群频繁出入于热羽流区域，而在高温季节则回避该海区。鱼类被冷却水流导引和阻隔，其生殖迁徙活动受到影响。因此，水温是影响鱼类逆流迁徙的一个重要因素。但根据厂址附近海域的海洋生态和渔业资源专题调查成果，本工程所在厂址邻近海域无鱼类的产卵场、索饵场和越冬场、洄游通道、天然渔场分布，本工程温排水对厂址以东的黄海及东海海域的鱼类产卵场、索饵场和越冬场、洄游通道、天然渔场等重要生态敏感区基本无影响。

（3）对底栖生物的影响

水温升高对底栖生物的影响与其对鱼虾贝类的影响类似；此外，海水的温升效应会使底栖生物的繁殖期提前。

厂址海域主要底栖生物为软体动物、甲壳动物和多毛类。软体动物双壳类和多毛类主要是底埋性栖息类群，运动性低。软体动物中的腹足类如红螺，为底爬性生态习性，具备一定的爬行运动能力。厂址海域出现的底栖生物种类，均为暖温带生物种类，最适宜的海水温度为14~25℃，在28℃以下海水温度条件下，能

正常生存。根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，在1台200MWe高温气冷堆和本工程2台CAP1400压水堆机组投入运行时，冬季1℃全潮最大温升包络面积为12.91km²，4℃全潮最大温升包络面积为1.15km²，夏季1℃全潮最大温升包络面积为12.58km²，4℃全潮最大温升包络面积为0.84km²，同时根据温排水三维数模结果，冬季1℃全潮最大温升底层包络面积为7.32km²，夏季1℃全潮最大温升底层包络面积为10.85km²。可见温排水排放时全潮最大温升底层包络面积相对于表层偏小。因此可见，虽然厂址邻近海域4℃温升区内的海水温度将超过一些重要底栖生物正常生存温度的上限，对底栖生物可产生一定损害，但影响范围仅限于厂址邻近海域。

(4) 对污损生物的影响

污损生物对核电厂的影响主要为其附着在核电厂取排水设施（如管道）上所带来的影响。厂址附近的海水温度较低，不利于污损生物的附着生长，同时本工程排水方案为中排方案，温排水通过明渠排放至厂址附近海域，即使因温度升高导致附着在明渠口的污损生物增加，也不会影响核电厂的正常运行。

(5) 其它影响

厂址半径 15km 范围内没有省级以上的自然保护区，相邻海域无珍稀或保护性水生生物。另据调查结果，本工程所在厂址附近海域在冬季期间基本不会出现大面积海冰的情况。由于本工程的温排水影响范围仅限于厂址附近的海域，因此，本工程的温排水基本上不对海冰的形成造成影响。

2) 对水产养殖的影响

(1) 对养殖区的影响

(i) 筏式养殖

本工程所在厂址附近沿海区域海水养殖较发达，厂址半径 5km 范围内有两家养殖面积超过 100ha 的海水养殖场，分别为山东好当家海洋发展股份有限公司（E~ESE 方位 2.9km 处）及荣成林家流水产有限公司（N 方位 4.3km 处），养殖方式为筏吊式。

海带的生长适温为 1~13℃，超过 20℃时将停止生长或死亡，但近年也有新型海带品种可耐受 21℃的海水温度，海带养殖期一般自 11 月起，收获期一般为来年的 5~7 月。

海参的适温范围可达 0~28℃，适温能力较强。海参在水温大于 20℃时会开

始夏眠，即迁移到海水较深处，隐藏于岩石间或草丛中停止进食和活动。海参夏眠期的长短主要与水温的变化有关，山东沿岸海域海参的夏眠期一般在 6 月至 10 月初。

牙鲆为冷温性底栖鱼类，属广盐性鱼类，能在盐度低于 8 的河口地带生活。其具有潜沙习性，幼鱼多生活在水深 10m 以上，有机物少，易形成涡流的河口地带，夏季在此肥育，当秋季水温下降时逐步向较深的海域移动，一般 9、10 月份移向 50m 以下外海，11 月份至 12 月份向南移至水深 90m 或者更深的海底越冬，春季游回近岸水深约 30-70m 的浅水海域进行产卵繁殖。牙鲆可在低至 1℃，高达 33℃ 的水温条件下短暂存活。2 龄以上的牙鲆适应高温的能力明显下降，反之 1 龄个体对低温的耐受能力也较差。据报道，牙鲆仔鱼培育的最适温度为 17~20℃，成鱼生长的适温为 14~23℃，最适温度为 21℃。

根据厂址海洋专用观测站 2006 年 4 月 1 日~2007 年 3 月 31 日表层水温观测资料，观测期间的年平均水温 12.84℃；温度最高月 9 月，平均水温 22.61℃；温度最低月 2 月，平均水温 4.05℃。根据石岛海洋站 1960~2020 年水温资料分析，多年平均表层水温值为 12.2℃。其中，9 月份平均水温全年最高为 22.6℃，2 月份平均水温全年最低为 2.0℃。根据 1 台 200MWe 高温气冷堆和 2 台 CAP1400 压水堆机组正常运行时的温排水三维数模和物模结果，4℃全潮最大温升包络面积为 1.15km²，可见由于温排水引起的厂址附近海域的海水温升范围有限，养殖区域的海水温升后的平均温度基本仍在除海带外的养殖品种的适温范围内。而海带的收获季节为夏季，温排水对其生长期的海水温度变化影响仍基本在其生长适温范围内。

根据本报告第二章 2.3 节描述，本工程周边海域清海工作以及清海范围内的养殖清理补偿工作已完成，同时为保护清海范围，避免其他用海活动对核电用海的影响，华在清海范围的北、南和东侧边界均申请了用海，现清海范围内除华能山东石岛湾核电有限公司项目用海外，无其他确权用海项目。此外，已与当地政府签订补偿框架协议，对处于温排水影响范围内但位于清海范围以外（位于清海范围南、北侧）的确权养殖用海进行补偿。

根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，在 1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组投入运行时，冬季 1℃全潮最大温升包络面积为 12.91km²，4℃全潮最大温升包络面积为 1.15km²，

夏季 1℃全潮最大温升包络面积为 12.58km²，4℃全潮最大温升包络面积为 0.84km²。4℃温升区域不涉及任何养殖区域，未超出本工程清海范围。冬季 2℃温升区域影响范围主要涉及清海范围南侧的山东好当家海洋发展股份有限公司养殖区域，夏季 1℃温升区域影响范围主要涉及清海范围南侧的山东好当家海洋发展股份有限公司养殖区域和小型筏吊式养殖单位（不大于 50ha）中的小部分区域（以及清海范围北侧的小型筏吊式养殖单位（不大于 50ha）中的小部分区域，受影响的养殖区域拟按照补偿框架协议开展补偿工作。可见本工程温排水对周边筏式养殖区带来的影响有限。

(ii) 滩涂养殖

本工程所在厂址附近海域海水养殖区的其它主要品种包括蛎子、扇贝等，养殖方式为滩涂养殖。蛎子的适温范围为 6~32℃，当水温高于 28℃或低于 6℃生长缓慢或停止，在水温 15~25℃时生长最快；扇贝的适宜生长水温 1~23℃之间，夏季最高水温不超过 25℃，冬季不低于零下 1℃。

本工程依据 1 台 200MWe 高温气冷堆和 2 台 CAP1400 压水堆机组正常运行时的温排水 1℃温升线包络面积及分布范围判断其对厂址周围海域海水养殖及滩涂养殖的影响。对于滩涂养殖，根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，核电厂温排水的 1℃温升线边界距岸均在 200m 以上，而滩涂养殖的取排水口位于岸边，因此滩涂养殖场用水温升不会超过 1℃，温排水对养殖场基本没有影响。

综合分析而言，核电厂的温排水对附近区域的养殖区基本没有影响。

(2) 对水产种质资源保护区的影响

本工程半径 5km 范围内无国家级水产种质资源保护区分布，最近的国家级水产种质资源保护区——荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区位于厂址 NNE 方位约 7km 处（距本工程排放口最近距离约 7km）。核电厂排放的温排水 1℃等温升线以及液态流出物全潮平均不衰減核素相对浓度等值线（稀释因子 0.1，见 6.2.4.2 节描述）距该自然保护区的边界的最近距离超过 3km。因此本工程运行期间不会对周围海域分布的水产种质资源保护区产生影响。

表 6.1-1 物理模型特征参数 (2011 年)

| | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Q_r | V_r | n_r | t_r |
| 5.6×10^5 | 11.2 | 1.25 | 35.8 |

表 6.1-2 等温升线包络面积 (数、物模成果综合, 2011 年)

全潮平均

| 编号 | 机组 | 季节 | 潮型 | 全潮平均等温升线影响面积 (km ²) | | | | |
|----|------------------------|----|------|---------------------------------|------|------|------|-------|
| | | | | 4°C | 3°C | 2°C | 1°C | 0.5°C |
| 1 | 1×200MWe 高温气冷堆 + | 夏季 | 典型大潮 | 0.32 | 0.64 | 1.31 | 2.33 | 3.62 |
| 2 | | | 典型中潮 | 0.46 | 1.05 | 2.04 | 3.91 | 7.18 |
| 3 | | | 典型小潮 | 0.58 | 1.34 | 2.57 | 4.96 | 9.97 |
| 4 | 2×CAP1400 压水堆核电机组 | 冬季 | 典型大潮 | 0.33 | 0.69 | 1.37 | 2.47 | 4.16 |
| 5 | | | 典型中潮 | 0.51 | 1.12 | 2.22 | 4.23 | 8.03 |
| 6 | | | 典型小潮 | 0.63 | 1.42 | 2.77 | 5.26 | 11.1 |

全潮最大

| 编号 | 机组 | 季节 | 潮型 | 全潮最大等温升线影响面积 (km ²) | | | | |
|----|------------------------|----|------|---------------------------------|------|------|------|-------|
| | | | | 4°C | 3°C | 2°C | 1°C | 0.5°C |
| 1 | 1×200MWe 高温气冷堆 + | 夏季 | 典型大潮 | 0.64 | 1.45 | 2.86 | 5.31 | 11.3 |
| 2 | | | 典型中潮 | 0.88 | 2.03 | 3.93 | 7.38 | 14.6 |
| 3 | | | 典型小潮 | 1.13 | 2.51 | 4.69 | 8.51 | 18.2 |
| 4 | 2×CAP1400 压水堆核电机组 | 冬季 | 典型大潮 | 0.70 | 1.58 | 3.09 | 5.77 | 11.7 |
| 5 | | | 典型中潮 | 0.97 | 2.21 | 4.32 | 8.09 | 15.9 |
| 6 | | | 典型小潮 | 1.19 | 2.63 | 5.07 | 9.28 | 20.1 |

注:

- 1) 取排水方案: 明渠南、北取水, 养殖池中间明渠延长 0.6km 排放。
- 2) 排水量: 单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水流量为 83m³/s, 冬季冷却水流量为 62.25m³/s。
- 3) 排水温升: 单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水排水温升为 8.3°C, 冬季冷却水排水温升为 11°C。

表 6.1-3 取水温升（2011 年）

| 工况 (1×200MWe高温气冷堆+2×CAP1400) | | CAP1400取水温升 | |
|---------------------------------|------|-------------|------|
| | | 平均 | 最大 |
| 夏季 | 典型大潮 | 0.24 | 0.26 |
| | 典型中潮 | 0.30 | 0.32 |
| | 典型小潮 | 0.32 | 0.34 |
| 冬季 | 典型大潮 | 0.26 | 0.28 |
| | 典型中潮 | 0.33 | 0.35 |
| | 典型小潮 | 0.37 | 0.38 |

表 6.1-4 山东石岛湾厂址取排水方案优化前后的温排水影响比较（2013 年）

| 机组 | 取排水方案 | 潮型 | 夏季 | 等温升线范围 (km ²) | | | | |
|---|----------------|----|------|---------------------------|------|------|------|------|
| | | | | 4℃ | 3℃ | 2℃ | 1℃ | 0.5℃ |
| 1×200MWe 高温气冷堆 + 2×CAP1400 压水堆核电机组 + 后续机组 (4×AP1000) | 优化 调整 方案 | 典型 | 全潮平均 | 0.03 | 0.05 | 0.33 | 7.31 | 34.6 |
| | | 大潮 | 全潮最大 | 0.25 | 0.99 | 3.85 | 15.7 | 57.1 |
| | | 典型 | 全潮平均 | 0.03 | 0.12 | 1.18 | 10.9 | 49.2 |
| | | 中潮 | 全潮最大 | 0.44 | 1.81 | 6.97 | 22.5 | 77.3 |
| | | 典型 | 全潮平均 | 0.09 | 0.43 | 2.91 | 14.6 | 52.0 |
| | | 小潮 | 全潮最大 | 1.27 | 3.47 | 8.60 | 28.4 | 73.9 |
| | 原有 推荐 方案 | 典型 | 全潮平均 | 0.02 | 0.08 | 0.38 | 8.08 | 37.6 |
| | | 大潮 | 全潮最大 | 0.27 | 1.14 | 4.50 | 17.1 | 60.1 |
| | | 典型 | 全潮平均 | 0.04 | 0.16 | 1.59 | 12.0 | 52.9 |
| | | 中潮 | 全潮最大 | 0.54 | 2.16 | 7.35 | 25.1 | 80.0 |
| | | 典型 | 全潮平均 | 0.12 | 0.54 | 3.22 | 16.4 | 55.2 |
| | | 小潮 | 全潮最大 | 1.47 | 3.85 | 9.07 | 30.6 | 77.3 |

表 6.1-5 山东石岛湾厂址取排水方案优化后的温排水影响(数模成果,2011 年)

| 季节 | 季节 | 潮型 | | 等温升线范围 (km ²) | | | | |
|--|----|------|------|---------------------------|------|------|------|------|
| | | | | 4℃ | 3℃ | 2℃ | 1℃ | 0.5℃ |
| 1×200MWe 高温气冷堆 + 2×CAP1400 压水堆核电机组 | 夏季 | 典型大潮 | 全潮平均 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.11 | 2.69 |
| | | | 全潮最大 | 0.02 | 0.04 | 0.15 | 1.82 | 9.78 |
| | | 典型中潮 | 全潮平均 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.32 | 6.50 |
| | | | 全潮最大 | 0.03 | 0.07 | 0.29 | 3.66 | 13.3 |
| | | 典型小潮 | 全潮平均 | 0.01 | 0.03 | 0.10 | 1.69 | 8.84 |
| | | | 全潮最大 | 0.07 | 0.19 | 1.06 | 6.86 | 16.1 |
| | 冬季 | 典型大潮 | 全潮平均 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.11 | 3.04 |
| | | | 全潮最大 | 0.03 | 0.05 | 0.18 | 1.92 | 9.87 |
| | | 典型中潮 | 全潮平均 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.33 | 6.79 |
| | | | 全潮最大 | 0.04 | 0.07 | 0.30 | 3.89 | 13.6 |
| | | 典型小潮 | 全潮平均 | 0.01 | 0.03 | 0.11 | 2.05 | 9.62 |
| | | | 全潮最大 | 0.10 | 0.27 | 1.24 | 7.23 | 17.0 |

表 6.1-6 物模模型特征参数（2022 年）

| Q_r | V_r | n_r | t_r |
|-------------------|-------|-------|-------|
| 4.9×10^5 | 11.2 | 1.34 | 31.3 |

表 6.1-7 等温升线包络面积（数模成果，2021 年）

全潮最大

| 装机 | 潮型 | 类别 | 全潮最大等温升线包络面积 (km ²) | | | | |
|--|-----------|--------|---------------------------------|------|-------|-------|-------|
| | | | 4°C | 3°C | 2°C | 1°C | 0.5°C |
| 1×200MWe 高温气冷堆 + 2×CAP1400 压水堆核电机组 | 夏季 小潮 | 表层 | 0.18 | 0.51 | 2.51 | 11.04 | 24.77 |
| | | 中层 | 0.02 | 0.04 | 0.18 | 6.32 | 17.95 |
| | | 底层 | 0.01 | 0.02 | 0.07 | 5.52 | 16.33 |
| | | 垂向投影最大 | 0.18 | 0.51 | 2.51 | 11.04 | 24.77 |
| | 夏季 中潮 | 表层 | 0.20 | 0.60 | 2.33 | 10.58 | 26.01 |
| | | 中层 | 0.02 | 0.06 | 0.25 | 7.68 | 21.79 |
| | | 底层 | 0.01 | 0.02 | 0.11 | 6.82 | 19.96 |
| | | 垂向投影最大 | 0.20 | 0.60 | 2.33 | 10.59 | 26.01 |
| | 夏季 大潮 | 表层 | 0.24 | 0.58 | 1.83 | 9.54 | 25.89 |
| | | 中层 | 0.02 | 0.05 | 0.23 | 6.66 | 22.10 |
| | | 底层 | 0.01 | 0.03 | 0.11 | 5.81 | 20.28 |
| | | 垂向投影最大 | 0.24 | 0.58 | 1.83 | 9.54 | 25.89 |
| | 夏季 半月潮 | 表层 | 0.27 | 0.74 | 3.03 | 12.57 | 28.94 |
| | | 中层 | 0.03 | 0.06 | 0.35 | 8.27 | 23.12 |
| | | 底层 | 0.01 | 0.03 | 0.16 | 7.32 | 21.42 |
| | | 垂向投影最大 | 0.27 | 0.74 | 3.03 | 12.58 | 28.94 |
| | 冬季 小潮 | 表层 | 0.38 | 0.87 | 2.71 | 10.16 | 21.67 |
| | | 中层 | 0.02 | 0.05 | 0.31 | 8.56 | 20.08 |
| | | 底层 | 0.00 | 0.01 | 0.13 | 8.04 | 19.14 |
| | | 垂向投影最大 | 0.38 | 0.87 | 2.71 | 10.20 | 21.68 |
| | 冬季 中潮 | 表层 | 0.41 | 0.92 | 2.06 | 9.17 | 22.90 |
| | | 中层 | 0.02 | 0.05 | 0.41 | 8.37 | 21.80 |
| | | 底层 | 0.01 | 0.02 | 0.28 | 7.80 | 21.11 |
| | | 垂向投影最大 | 0.41 | 0.92 | 2.06 | 9.22 | 22.90 |
| | 冬季 大潮 | 表层 | 0.46 | 0.89 | 2.16 | 8.95 | 24.05 |
| | | 中层 | 0.03 | 0.07 | 0.48 | 8.25 | 23.35 |
| | | 底层 | 0.01 | 0.04 | 0.32 | 7.75 | 22.65 |
| | | 垂向投影最大 | 0.46 | 0.89 | 2.16 | 8.95 | 24.11 |
| 冬季 半月潮 | 表层 | 0.57 | 1.28 | 3.21 | 12.90 | 27.61 | |
| | 中层 | 0.03 | 0.09 | 0.73 | 11.52 | 26.31 | |
| | 底层 | 0.01 | 0.04 | 0.53 | 10.85 | 25.59 | |
| | 垂向投影最大 | 0.57 | 1.28 | 3.21 | 12.91 | 27.66 | |

注：

- 1) 取排水方案：明渠南、北取水，养殖池中间明渠延长 0.4km 排放。
- 2) 排水量：单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水流量为 83m³/s，冬季冷却水流量为 50m³/s。
- 3) 排水温升：单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水排水温升为 7.4°C，冬季冷却水排水温升为 12.3°C。

表 6.1-7 续 等温升线包络面积（数模成果，2021 年）

全潮平均

| 装机 | 潮型 | 类别 | 全潮平均等温升线包络面积 (km ²) | | | | |
|--|-----------|--------|---------------------------------|-------|------|------|-------|
| | | | 4℃ | 3℃ | 2℃ | 1℃ | 0.5℃ |
| 1×200MWe 高温气冷堆 + 2×CAP1400 压水堆核电机组 | 夏季 小潮 | 表层 | 0.02 | 0.04 | 0.09 | 1.20 | 10.17 |
| | | 中层 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.24 | 7.80 |
| | | 底层 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.12 | 6.81 |
| | | 垂向投影最大 | 0.02 | 0.04 | 0.09 | 1.21 | 10.28 |
| | 夏季 中潮 | 表层 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.95 | 9.30 |
| | | 中层 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.39 | 8.00 |
| | | 底层 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.17 | 7.45 |
| | | 垂向投影最大 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.96 | 9.45 |
| | 夏季 大潮 | 表层 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.76 | 8.01 |
| | | 中层 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.33 | 6.95 |
| | | 底层 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.13 | 6.59 |
| | | 垂向投影最大 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.76 | 8.11 |
| | 夏季 半月潮 | 表层 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.90 | 8.81 |
| | | 中层 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.31 | 7.35 |
| | | 底层 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.12 | 6.67 |
| | | 垂向投影最大 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.90 | 8.93 |
| | 冬季 小潮 | 表层 | 0.03 | 0.05 | 0.12 | 1.46 | 9.25 |
| | | 中层 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.45 | 8.49 |
| | | 底层 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.21 | 8.03 |
| | | 垂向投影最大 | 0.03 | 0.05 | 0.12 | 1.47 | 9.36 |
| | 冬季 中潮 | 表层 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | 0.85 | 7.60 |
| | | 中层 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.44 | 7.28 |
| | | 底层 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.29 | 7.08 |
| | | 垂向投影最大 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | 0.87 | 7.74 |
| | 冬季 大潮 | 表层 | 0.02 | 0.03 | 0.07 | 0.73 | 7.43 |
| | | 中层 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.45 | 7.13 |
| | | 底层 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.37 | 6.93 |
| | | 垂向投影最大 | 0.02 | 0.03 | 0.07 | 0.74 | 7.52 |
| 冬季 半月潮 | 表层 | 0.02 | 0.04 | 0.09 | 1.02 | 8.70 | |
| | 中层 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.49 | 8.21 | |
| | 底层 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.29 | 7.95 | |
| | 垂向投影最大 | 0.02 | 0.04 | 0.09 | 1.02 | 8.85 | |

注：

- 1) 取排水方案：明渠南、北取水，养殖池中间明渠延长 0.4km 排放。
- 2) 排水量：单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水流量为 83m³/s，冬季冷却水流量为 50m³/s。
- 3) 排水温升：单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水排水温升为 7.4℃，冬季冷却水排水温升为 12.3℃。

表 6.1-8 等温升线包络面积（物模成果，2022 年）

全潮平均

| 编号 | 机组 | 季节 | 潮型 | 全潮平均等温升线影响面积 (km ²) | | | |
|----|--|----|------|---------------------------------|------|------|------|
| | | | | 4°C | 3°C | 2°C | 1°C |
| 1 | 1×200MWe 高温气冷堆 + 2×CAP1400 压水堆核电机组 | 夏季 | 典型大潮 | 0.21 | 0.56 | 1.37 | 2.89 |
| 2 | | | 典型中潮 | 0.35 | 0.99 | 1.90 | 4.01 |
| 3 | | | 典型小潮 | 0.48 | 1.11 | 2.08 | 4.80 |
| 4 | | 冬季 | 典型大潮 | 0.23 | 0.61 | 1.48 | 3.13 |
| 5 | | | 典型中潮 | 0.41 | 1.06 | 2.07 | 4.19 |
| 6 | | | 典型小潮 | 0.53 | 1.23 | 2.43 | 5.68 |

全潮最大

| 编号 | 机组 | 季节 | 潮型 | 全潮最大等温升线影响面积 (km ²) | | | |
|----|--|----|------|---------------------------------|------|------|-------|
| | | | | 4°C | 3°C | 2°C | 1°C |
| 1 | 1×200MWe 高温气冷堆 + 2×CAP1400 压水堆核电机组 | 夏季 | 典型大潮 | 0.78 | 1.48 | 3.01 | 6.67 |
| 2 | | | 典型中潮 | 0.79 | 1.89 | 3.46 | 7.58 |
| 3 | | | 典型小潮 | 0.84 | 2.11 | 4.15 | 8.79 |
| 4 | | 冬季 | 典型大潮 | 0.88 | 1.58 | 3.20 | 7.11 |
| 5 | | | 典型中潮 | 0.93 | 2.09 | 3.96 | 8.36 |
| 6 | | | 典型小潮 | 1.15 | 2.32 | 4.81 | 10.11 |

注：

- 1) 取排水方案：明渠南、北取水，养殖池中间明渠延长 0.4km 排放。
- 2) 排水量：单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水流量为 83m³/s，冬季冷却水流量为 50m³/s。
- 3) 排水温升：单台 CAP1400 压水堆核电机组夏季冷却水排水温升为 7.4°C，冬季冷却水排水温升为 12.3°C。

表 6.1-9 取水温升（2022 年）

| 工况 (1×200MWe高温气冷堆+2×CAP1400) | | CAP1400取水温升 | |
|---------------------------------|------|-------------|-----|
| | | 平均 | 最大 |
| 夏季 | 典型大潮 | 0.3 | 0.3 |
| | 典型中潮 | 0.3 | 0.4 |
| | 典型小潮 | 0.4 | 0.5 |
| 冬季 | 典型大潮 | 0.3 | 0.4 |
| | 典型中潮 | 0.3 | 0.4 |
| | 典型小潮 | 0.4 | 0.5 |

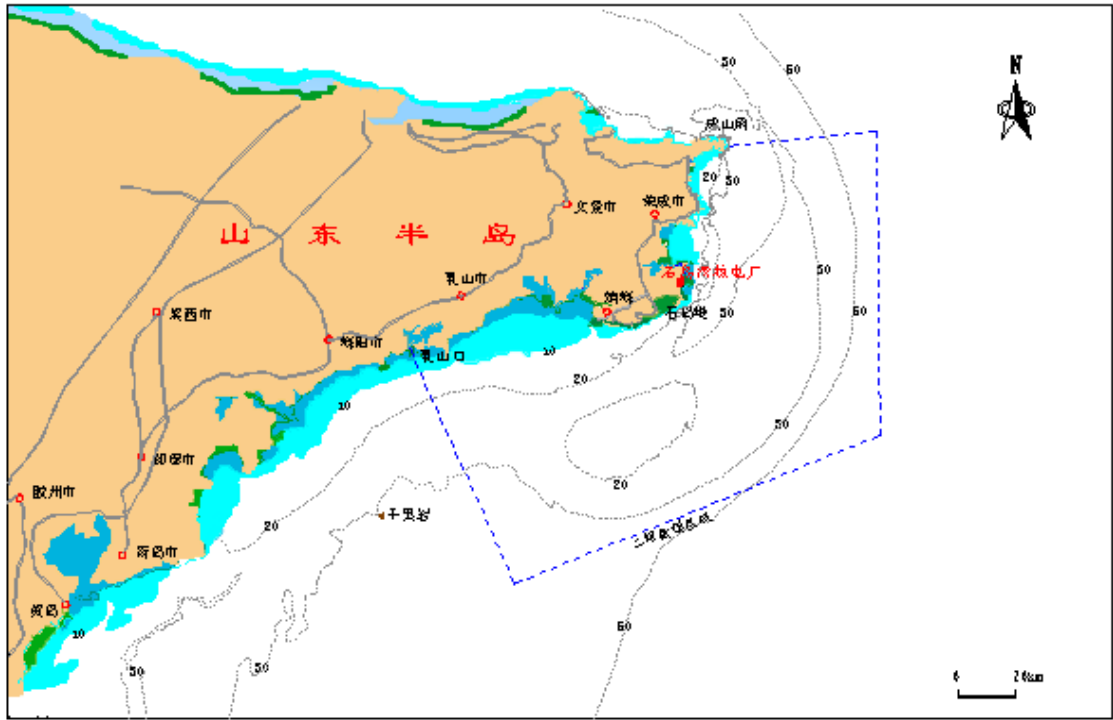
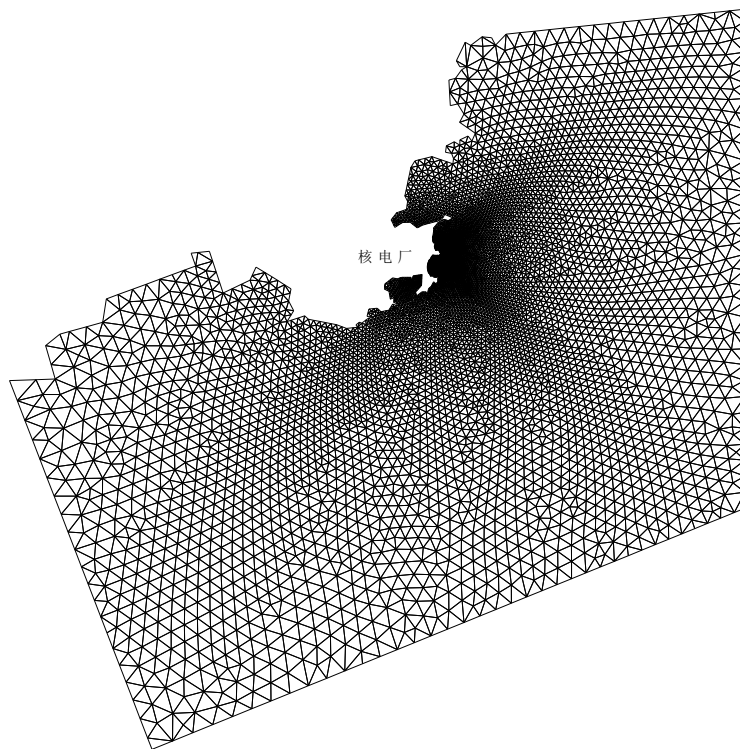


图 6.1-1 二维数模模拟范围图（2011 年）



全域网格



工程水域局部网格

图 6.1-2 二维数模计算网格示意图（2011 年）

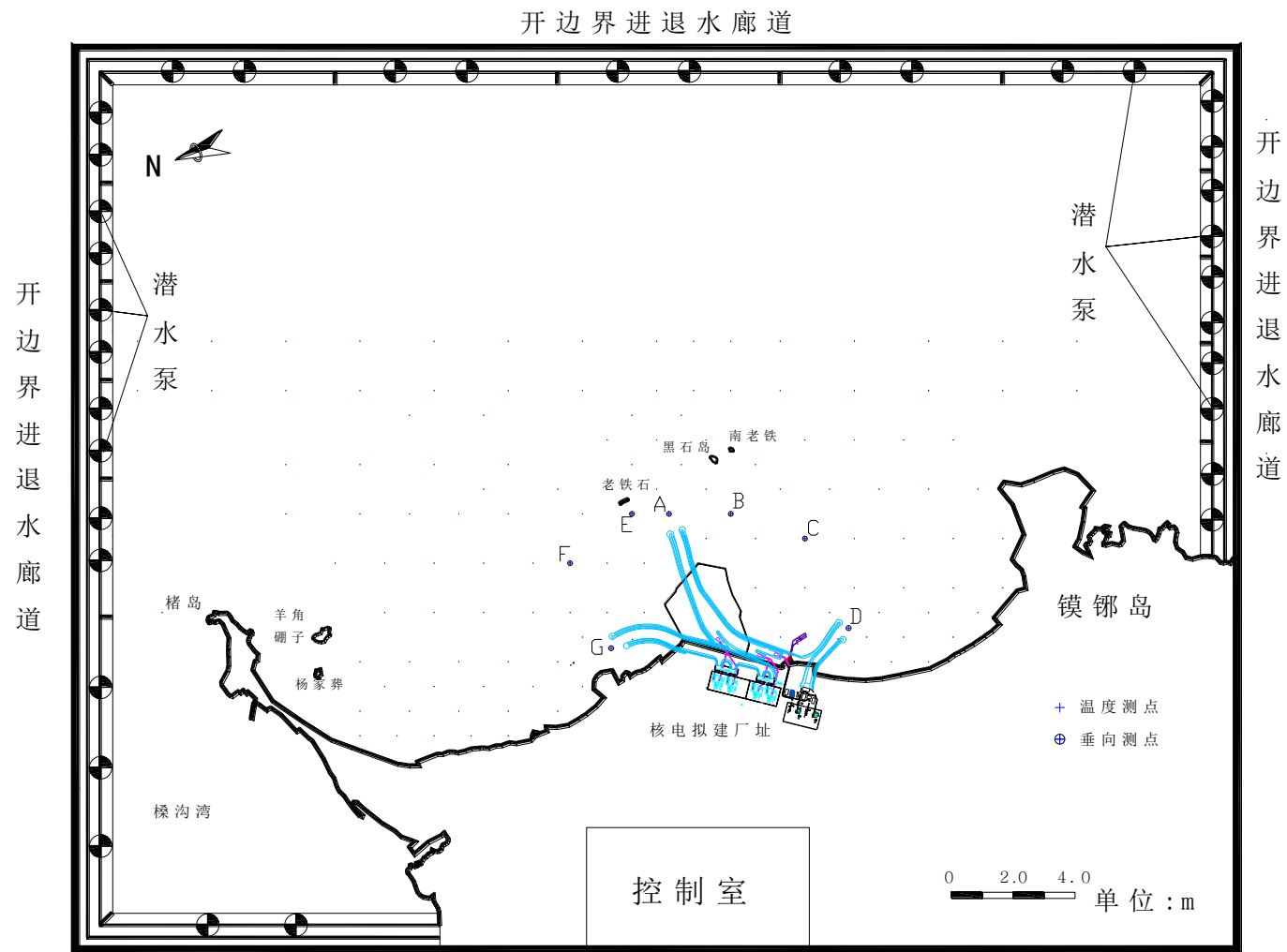


图 6.1-3 物理模型试验模型布置图 (2011 年)

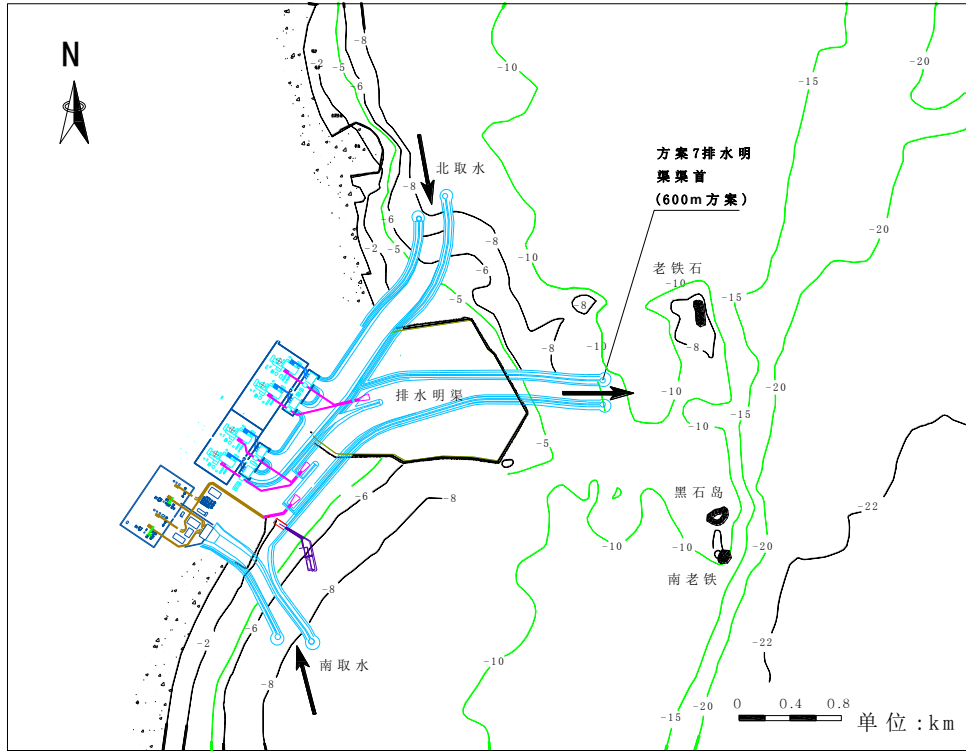


图 6.1-4 物理模型试验工程布置图 (2011 年)

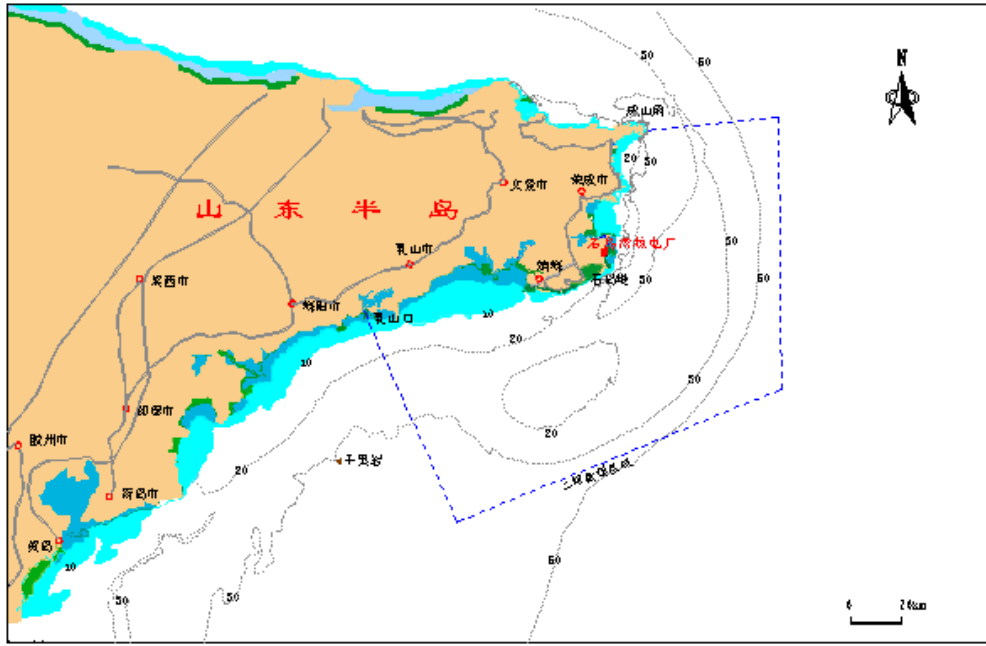
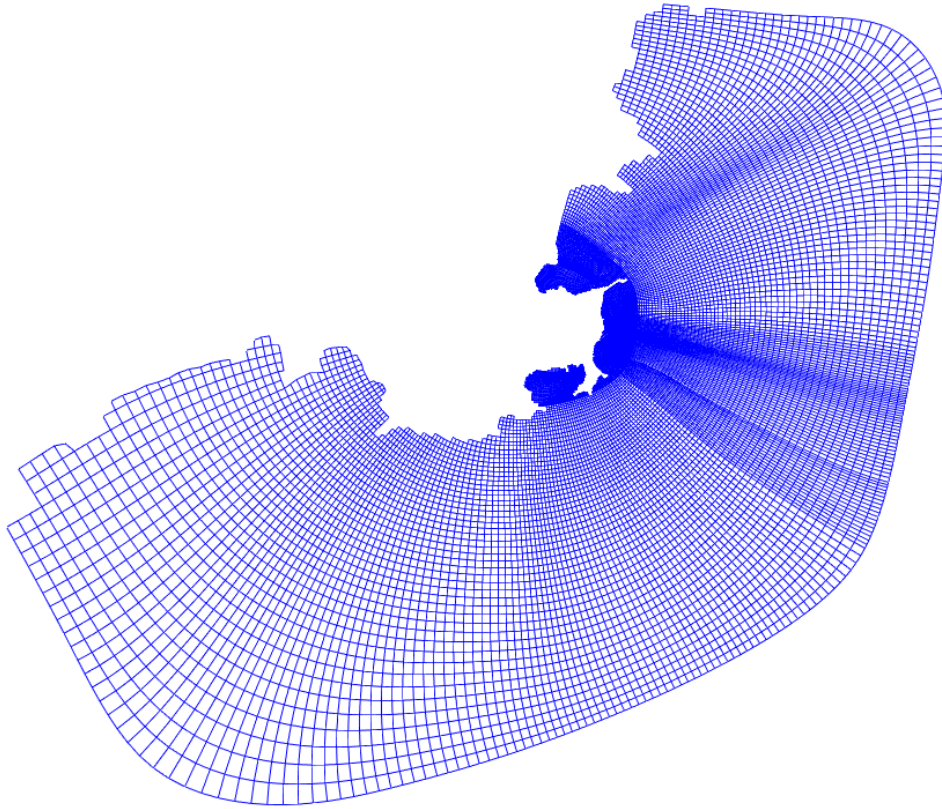
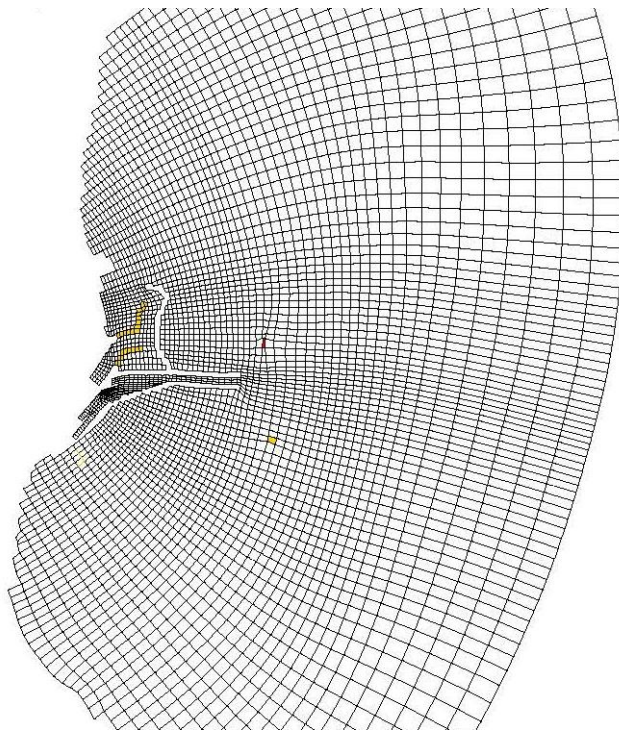


图 6.1-5 三维数模模拟范围图（2021 年）



整体网格



局部网格

图 6.1-6 三维数模计算网格示意图 (2021 年)

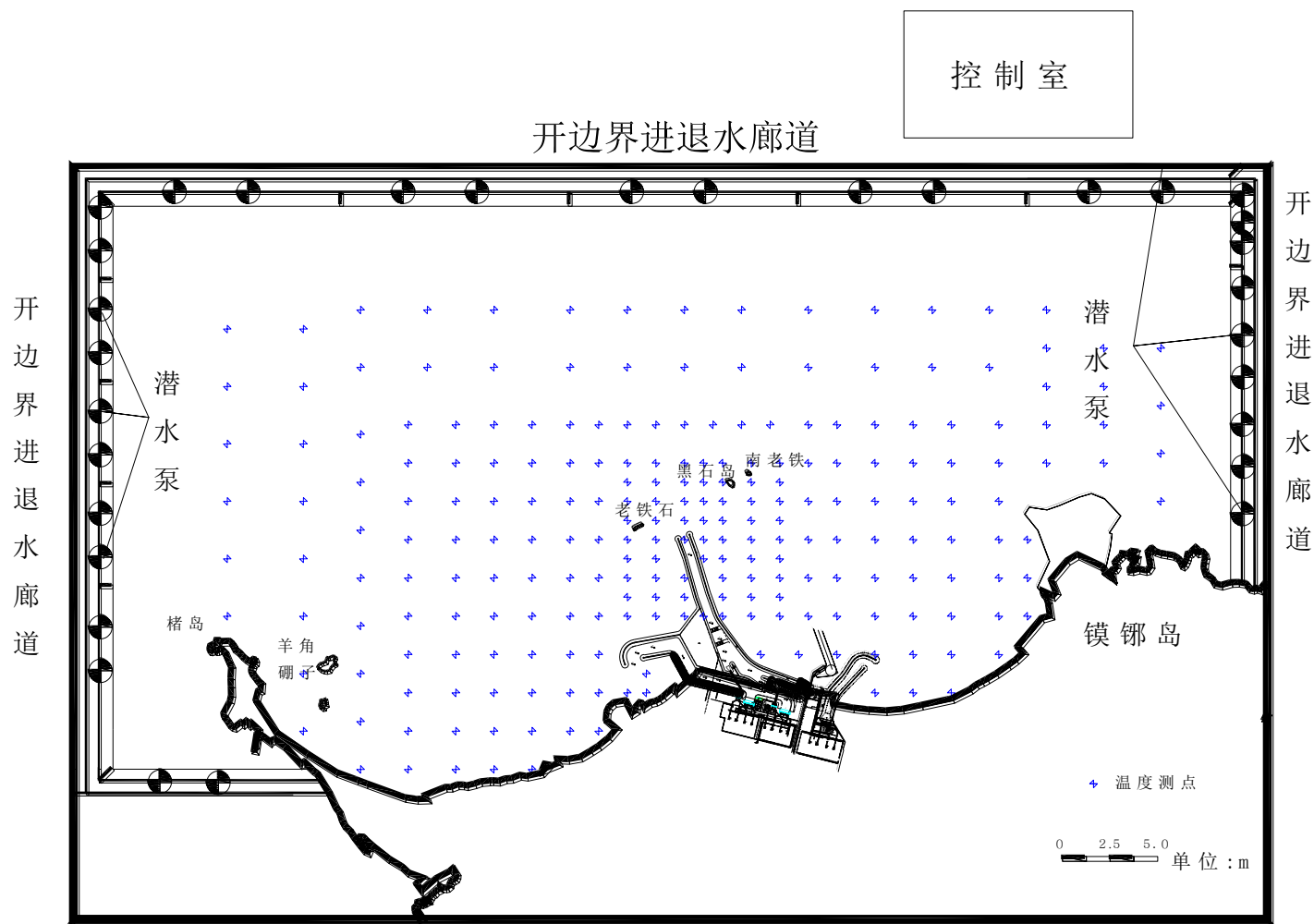


图 6.1-7 物理模型试验模型布置图 (2022 年)

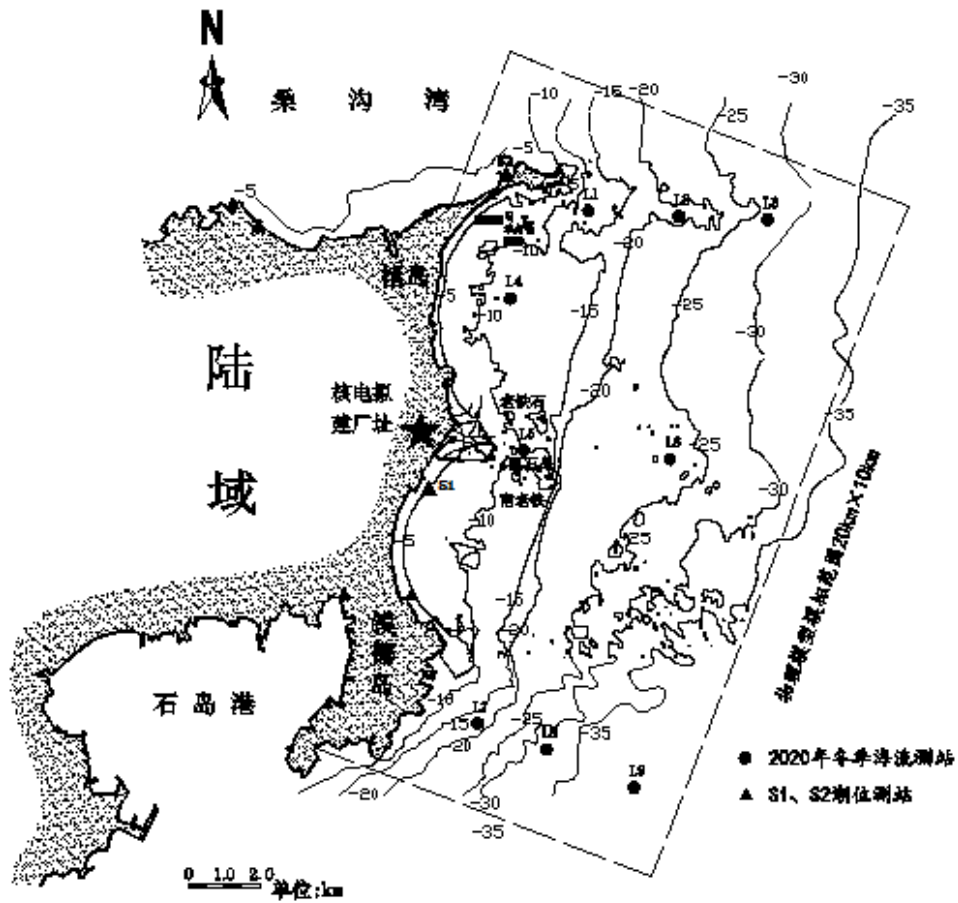


图 6.1-8 物理模型模拟区域示意图 (2022 年)

6.2 正常运行的辐射影响

本节将对本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行工况下气态和液态流出物所造成的辐射影响进行估算及评价。

6.2.1 流出物排放源项

核电厂正常运行状态下的气、液态流出物的设计排放量和现实排放量、计算方法及相关输入参数见本报告第四章 4.6 节相关描述。

本报告估算环境介质中的放射性核素浓度、公众的最大个人剂量和非人类生物的辐射剂量时，采用流出物的设计排放源项；在分析关键人群组、关键核素、关键照射途径时，采用流出物的现实排放源项。

6.2.2 照射途径

6.2.2.1 气态途径

在正常运行工况下，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组产生的气载流出物通过烟囱排放。通过气态途径释放到大气中的流出物在大气弥散过程中对公众造成辐射照射的途径如图 6.2-1 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 浸没于空气中受到的外照射；
- 由于干、湿沉降导致地面放射性沉积物引起的外照射；
- 吸入空气造成的内照射；
- 食入因干、湿沉降导致放射性沉积的粮食、蔬菜等食物造成的内照射；
- 食入由干、湿沉降导致放射性沉积的饲料所喂养的家畜肉、奶及其制品造成的内照射。

6.2.2.2 液态途径

在正常运行工况下，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组产生的液态流出物，经处理合格后集中与循环冷却水混合后排入厂址附近海域。在辐射环境影响评价中，液态流出物对公众造成辐射照射的途径如图 6.2-2 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 食用由接纳水域生长的水产品（或水生生物）所致的内照射；
- 在接纳水域中游泳或划船等造成的直接外辐照；

- 岸边沉积的放射性物质对岸边活动公众所造成的外照射。

6.2.2.3 其它途径

根据目前调查情况看,厂址周围区域不存在其它可导致个人有效剂量显著增加的照射途径。

6.2.3 计算模式与参数

6.2.3.1 气态途径

本工程气载流出物通过气载途径对公众所致剂量的计算模式、主要输入参数和计算结果见下述描述。

1) 气载流出物在大气中弥散

在大气弥散因子计算中考虑了建筑物尾流影响,以及混合层高度的修正,同时也考虑了干、湿沉积损耗,核素衰变损耗的修正。计算年均扩散因子的计算模式及参数如下描述:

(1) 烟云抬升

计算中考虑了动力抬升,对于高架排放,根据下式确定有效烟囱高度:

$$h_e = h_s + \Delta h \quad (6.2-1)$$

式中:

h_e : 有效烟羽高度, m。

h_s : 烟囱高度, m。

Δh : 烟羽抬升高度, m。

对于中性和不稳定条件,分别由下面两式计算 ΔH 值,取其最小值为抬升值:

$$\Delta H = 1.44D \left(\frac{W_0}{u} \right)^{2/8} \left(\frac{\chi}{D} \right)^{1/8} - C \quad (6.2-2)$$

$$\Delta H = 3 \frac{W_0}{u} D \quad (6.2-3)$$

式中:

W_0 : 烟气出口处烟气流速, m/s。

D : 烟囱出口处内径, m。

χ : 下风向距离, m。

u : 烟囱顶部处的风速, m/s。

C : $W_0 < 1.5u$ 时的下洗校正因子 ($W_0 \geq 1.5u$, 不作下洗校正, 取 $C=0$)。 $C =$

$$3\left(1.5 - \frac{W_0}{u}\right)D_0$$

对于稳定条件，比较由式（6.2-2）和下述两式计算的 ΔH 值，取它们中的最小值为抬升值：

$$\Delta H = 4\left(\frac{F_m}{S}\right)^{1/4} \quad (6.2-4)$$

$$\Delta H = 1.5S^{-1/6}\left(\frac{F_m}{S}\right)^{1/3} \quad (6.2-5)$$

式中：

F_m ：动量通量参数。 $F_m = W_0^2\left(\frac{D}{2}\right)^2$

s ：稳定度参数。其值为： $S = \begin{cases} 8.7 \times 10^{-4} - \text{对 E 类天气} \\ 1.75 \times 10^{-3} - \text{对 F 类天气} \end{cases}$ 。

（2）烟云的扩散

程序计算高架和地面连续排放导致的浓度，如果是混合排放，需要同时计算高架和地面排放，计算结果根据排放类型发生的时间分配比相加。

地面释放条件下大气弥散因子基本公式由下式给出：

$$(\chi/Q)_G = \frac{2.032}{X \cdot U_G \cdot \sum_z} \cdot f_{Gd} \cdot f_{Gw} \cdot f_{GR} \quad (6.2-6)$$

式中：

$(\chi/Q)_G$ ：地面释放条件下的大气弥散因子， s/m^3 。

X ：计算点与释放点之间的距离， m 。

U_G ：地面 10m 高度风速， m/s 。

\sum_z ：经建筑物尾流校正后的垂直扩散参数， m 。

f_{Gd} ：地面释放条件下干沉降引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

f_{Gw} ：地面释放条件下湿沉降引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

f_{GR} ：地面释放条件下核素衰变引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

地面释放条件下，应考虑建筑物的下风向尾流效应对各类大气稳定度下的垂直扩散参数进行修正，修正方法由下式给出：

$$\sum_z = \min \left[\left(\sigma_z^2 + \frac{0.5}{\pi} D_z^2 \right)^{0.5}, \sqrt{3} \sigma_z \right] \quad (6.2-7)$$

式中：

Dz ：邻近建筑物的高度，m。

σ_z ：厂址垂直扩散参数，m。

高架释放应考虑混合层的反射作用，根据下式确定混合层对烟羽影响的起始距离 X_b 。

$$H_e + 2.15 \sigma_z(x) = H_m \quad (6.2-8)$$

根据计算点 X 与 X_b 的距离关系，按以下计算模型确定高架释放条件下的大气弥散因子：

当 $X < X_b$ 时，假定混合层对烟羽扩散没有影响，大气弥散因子由下式给出：

$$(x/Q)_H = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_z} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_e}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (6.2-9)$$

当 $X_b \leq X < 2X_b$ 时，假定烟羽在地面与混合层之间进行多次反射，大气弥散因子由下式给出：

$$(x/Q)_H = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_z} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \cdot \sum_{n=-2}^2 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{2nH_m - H_e}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (6.2-10)$$

当 $X \geq 2X_b$ 时，假定烟羽在地面与混合层之间已均匀混合，大气弥散因子由下式给出：

$$(x/Q)_H = \frac{2.032}{\sqrt{2/\pi} \cdot X \cdot U_H \cdot H_m} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \quad (6.2-11)$$

式中：

$(x/Q)_H$ ：高架释放条件下的大气弥散因子， s/m^3 。

U_H ：烟羽有效高度处的风速，m/s。

f_{Hd} ：高架释放条件下干沉降引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

f_{Hw} ：高架释放条件下湿沉降引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

f_{HR} ：高架释放条件下核素衰变引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

其中：

$$U_H = U_{10} \cdot \left(\frac{H_g}{10} \right)^m \quad (6.2-12)$$

U_{10} : 为 10m 高度的风速, m/s。

H_g : 烟囱几何释放高度, m。

m : 风廓线指数, 无量纲。

(3) 沉积

a) 干沉积

干沉积地面放射性物质的干沉积速率可以用下式表示:

$$A_p = V_d \chi \quad (6.2-13)$$

式中

A_p : 干沉积速率, (Bq/s) /m²。

χ : 地面空气浓度, Bq/m³。

V_d : 沉积速度, m/s, 对于碘取 0.01m/s, 对于其他粒子取 0.001m/s。

b) 湿沉积

引入湿沉积校正因子 F_w , 来修正在实际降雨期间湿沉积造成烟羽浓度的损耗, 即:

$$\hat{\chi} = \chi F_w \quad (6.2-14)$$

$$F_w = \exp\left(-\Lambda \frac{\chi}{u}\right) \quad (6.2-15)$$

式中:

χ , $\hat{\chi}$: 校正前后的浓度。

Λ : 冲洗系数, 1/s。通常假定 Λ 近似于降雨率 I (mm/h) 成正比: $\Lambda = \alpha I$ 。

(4) 高、低架排放的时间分配

当烟囱高度高于邻近建筑物, 且低于其 2.5 倍时, 视为混合排放, 即部分时间为高架排放, 部分时间为地面源排放, 两者的分配由计算值 E_i 决定。

按如下关系式确定烟羽高架排放和地面排放的份额:

$$E_i = 1.0 \text{ 当 } W_0 / \bar{u} \leq 1.0 \quad (6.2-16)$$

$$E_i = 2.58 - 1.58 (W_0 / \bar{u}) \text{ 当 } 1.0 < W_0 / \bar{u} \leq 1.5 \quad (6.2-17)$$

$$E_i = 0.3 - 0.06 (W_0 / \bar{u}) \text{ 当 } 1.5 < W_0 / \bar{u} \leq 5.0 \quad (6.2-18)$$

$$E_i = 0.0 \text{ 当 } W_0 / \bar{u} \geq 5.0 \quad (6.2-19)$$

式中:

E_i : 排放为地面的时间份额。

w_0 : 烟羽排出速度, m/s。

\bar{u} : 出口处平均风速, m/s。

大气弥散参数 σ_y 、 σ_z 是进行大气弥散计算的基本参数, 本阶段采用的大气弥散参数综合考虑了山东石岛湾厂址大气扩散试验、风洞流场测量及示踪实验以及 CFD 数值模拟研究所得到的结果, 具体见第二章 2.4 节相关描述。

厂址气载流出物大气弥散计算所需的风向、风速、稳定度联合频率取自第二章 2.4 节中的厂址气象观测设施 80m 高度的联合频率。在大气弥散因子计算中考虑了不同类别混合层高度的影响, 取值为: A-B 类 900m, C 类 350m, D 类 200m。

本工程气载流出物排放烟囱的高度为 81.15m, 邻近最高的建筑物为反应堆厂房, 高度 75.55m。烟囱等效内径为 2.25m, 烟气出口排放速率为 13.66m/s。

2) 气载流出物剂量模式

气态流出物对居民所致的剂量计算模式描述如下:

(1) 空气浸没外照射剂量

$$D_{Bi} = 3.15 \times 10^7 S_F \dot{Q} \left(\frac{\bar{x}}{\dot{Q}} \right)_i g_B \quad (6.2-20)$$

式中:

D_{Bi} : 对应风向的下风向扇形的年有效剂量, Sv/a。

S_F : 建筑物屏蔽产生的剂量减弱因子, 对于个人, 取 $S_F=0.7$, 对于群体, 取 $S_F=0.5$ 。

g_B : 烟云浸没外照射剂量转换因子, (Sv/s) / (Bq/m³)。

\dot{Q} : 释放源项, Bq/a。

$(\bar{x}/\dot{Q})_i$: 大气弥散因子, s/m³。

(2) 地面沉积外照射剂量

$$D_{B_i}^G = 3.15 \times 10^7 S_F C_i^G g_B^G \quad (6.2-21)$$

式中:

$D_{B_i}^G$: 沉积外照射的年有效剂量, Sv/a。

g_B^G : 污染地表面上的外照射剂量转换因子, (Sv/s) / (Bq/m²)。

C_i^G : i 方向下风向扇形内地表面的放射性核素浓度, Bq/m²。 C_i^G 由下式计算:

$$C_j^G = \frac{3.15 \times 10^7 (\bar{W}_{D_i} + \bar{W}_{w_i})}{\lambda_e^s} (1 - e^{-\lambda_e^s t_b}) \quad (6.2-22)$$

式中：

\bar{W}_{D_i} , \bar{W}_{w_i} : 分别为 i 风向下风向的年平均干沉积因子和湿沉积因子, $1/m^2$ 。

t_b : 放射性核素在地面的累积时间 (近似取核设施开始气载流出物释放至待计算年份的时间), $1/a$ 。

λ_e^s : 放射性核素由地表清除的有效速率常数, $1/a$ 。

$\lambda_e^s = \lambda + \lambda_s$, λ 为物理衰变参数, λ_s 为除衰变外其他清除过程的速率常数。

$$\lambda_s = \begin{cases} 1 \times 10^{-1} a^{-1} & (\text{对于碘}) \\ 1 \times 10^{-2} a^{-1} & (\text{对于其他粒子}) \end{cases}$$

(3) 吸入内照射剂量

$$D_{A_i}^a = R_a \dot{Q} \left(\frac{\bar{x}}{\dot{Q}} \right)_i g_{A_a} \quad (6.2-23)$$

式中,

$D_{A_i}^a$: i 风向下风向扇形内 a 年龄组个人的年吸入产生的待积有效剂量当量或器官的剂量当量, Sv/a。

R_a : a 年龄组个人的年空气摄入量, $1/(m^3 \cdot a)$ 。

g_{A_a} : 对应 a 年龄组的吸入剂量因子, Sv/Bq。

(4) 食入陆地动植物内照射剂量

因食入污染的食物产生的待积有效剂量当量为:

$$D_{D_i}^a = g_{D_a} \sum_P U_a^P f_P C_i^P \quad (6.2-24)$$

式中:

$D_{D_i}^a$: i 风向下风向扇形内 a 年龄组的个人因食入污染食物产生的待积有效剂量当量, Sv/a。

g_{D_a} : a 年龄组的食入剂量因子, Sv/Bq。

U_a^P : a 年龄组的个人对 P 类农产品的年摄入量, kg/a 或 1/a。

f_P : 食入有关地区产生的 P 类农产品的份额, %。

C_i^P : P 类农产品中的放射性核素浓度, Bq/kg 或 Bq/L。

a) 蔬菜、谷类、水果、饲料等农作物中的核素浓度 (不包括 3H 和 ^{14}C)

$$C_i^P = 3.15 \times 10^7 \dot{Q} (\bar{W}_{D_i} + \bar{W}_{w_i}) \left\{ \frac{RT_{iV} [1 - \exp(-\lambda_c^V t_c)]}{Y_V \lambda_c^V} + \frac{B_V [1 - \exp(-\lambda_e^S t_b)]}{P \lambda_c^S} \right\} \times \exp(-\lambda t_h) \quad (6.2-25)$$

式中：

R：滞留份额，即沉积放射性保留在植物中的份额。

T_{iV} ：易位因子，即沉积于植物外部的放射性核素向植物食用部分的易位因子，无量纲。

λ_c^V ：放射性核素由植物中清除的有效速率， $1/a$ ， $\lambda_c^V = \lambda + \lambda_w$ ，其中 λ_w 是风化产生的物理消除速率常数。

t_c ：农作物在生长季节受污染的时间，a。

Y：收获时农作物的有效生物质量，即单位面积产量， kg/m^2 。

B_V ：农作物食用部分从土壤摄入核素的浓集因子， $[\text{Bq}/\text{kg}(\text{鲜作物})]/[\text{Bq}/\text{kg}(\text{干土壤})]$ 。

t_b ：核素在土壤中的累积时间，a。

P：土壤的有效表面密度， $\text{kg}(\text{干土壤})/\text{m}^2$ 。

t_h ：农作物由收获到消费的时间，a。

b) 植物中 ^3H 的浓度

$$C_i^T = 10^3 \dot{Q}_T (\bar{\chi}/\dot{Q})_i (0.75)(0.5/H) = 3.8 \times 10^2 \dot{Q}_T (\bar{\chi}/\dot{Q})_i \frac{1}{H} \quad (6.2-26)$$

式中：

C_i^T ：i风向下风向扇形内植物中的 ^3H 浓度， Bq/kg 。

H：评价点的年平均绝对湿度， g/m^3 。

\dot{Q}_T ： ^3H 的释放率， Bq/a 。

0.5：植物中水的氚浓度与大气水中 ^3H 浓度之比。

0.75：水在植物中总质量中的份额。

c) 植物中 ^{14}C 的浓度

$$C_{14}^T = \frac{1}{3.15 \times 10^4} \cdot Q_{14} \cdot (\chi/Q)_i \cdot p \cdot 0.11 / 0.16 \quad (6.2-27)$$

式中：

C_{14}^T ：i风向下风向扇形区内农作物中 ^{14}C 浓度， Bq/kg 。

Q_{14} : ^{14}C 的年释放率, Bq/a。

p : 相对平衡比。

$(x/Q)_i$: i 风向下风向扇形区内在 x 距离处的大气弥散因子, s/m^3 。

0.11: 植物总量中天然碳所占的份额。

0.16: 大气中天然碳的浓度, g/m^3 。

$1/(3.5 \times 10^4)$: 单位转换系数。

d) 奶、肉和蛋中的核素浓度

$$C_i^m = F_m C_i^a Q_F \exp(-\lambda t_F) \quad (6.2-28)$$

式中:

C_i^m : i 风向下风向扇形内奶中的核素浓度, Bq/L。

C_i^a : 动物饲料中的核素比活度, Bq/kg (干重)。

F_m : 动物每天摄入的放射性核素出现在每升奶中的平均份额, d/L。

Q_F : 动物每天消耗的饲料量, kg (干重) /d。

t_F : 放射性核素由奶到人的平均迁移时间, a。

肉中的核素浓度同样可表示为

$$C_i^f = F_f C_i^a Q_F \exp(-\lambda t_f) \quad (6.2-29)$$

式中:

C_i^f : 肉中的核素比活度, Bq/kg。

F_f : 动物每天摄入的放射性核素出现在每公斤肉中的份额, d/kg。

t_f : 屠宰到消费的时间, a。

关于蛋中的核素浓度的表达式及各参数的含义, 完全类同于奶中核素浓度的计算。

动物饲料核素浓度 C_i^a 由下式计算:

$$C_i^a = f_p f_s C_i^p + (1 - f_p) C_i^s + f_p (1 - f_s) C_i^s \quad (6.2-30)$$

式中:

C_i^p : 生长中的牧草的核素比活度, Bq/kg (干重)。

C_i^s : 贮存饲料的核素比活度, Bq/kg (干重)。

f_p : 动物每年放牧于牧场的时间份额。 f_s 为放牧期间饲料中鲜草的份额。

式 (6.2-30) 也可以表示为

$$C_i^a = \hat{f}_p C_i^p + \hat{f}_s C_i^s \quad (6.2-31)$$

式中：

\hat{f}_p ：饲料中鲜牧草的份额， $\hat{f}_p = f_p f_s$ 。

\hat{f}_s ：饲料中贮存牧草的份额， $\hat{f}_s = 1 - \hat{f}_p$ 。

e) 食入剂量

因食入污染的食物产生的待积有效剂量当量为：

$$D_{D_i}^a = g_{D_a} \sum_P U_a^P f_P C_i^P \quad (6.2-32)$$

式中：

$D_{D_i}^a$ ：i 风向下扇形内 a 年龄组的个人因食入污染食物产生的待积有效剂量当量，Sv/a。

g_{D_a} ：a 年龄组的食入剂量因子，Sv/Bq。

U_a^P ：a 年龄组的个人对 P 类农产品的年摄入量，kg/a 或 1/a。

f_P ：食入有关地区产生的 P 类农产品的份额，%。

C_i^P ：P 类农产品中的放射性核素浓度，Bq/kg 或 Bq/L。

(6) 气载流出物释放对公众群体的集体剂量

$$D = \sum_k D_{ek} \cdot P_k \quad (6.2-33)$$

式中：

D ：评价区域内公众群体受到的集体有效剂量，人·Sv/a。

D_{ek} ：第 k 子区中公众个人受到的有效剂量，Sv/a。

P_k ：评价区域内第 k 子区中公众人口数，人。

6.2.3.2 液态途径

1) 受纳水体的稀释因子

液态流出物在受纳水体中的稀释扩散，与受纳水体的水文气象条件、核电厂的设计和布置、取排水构筑物的形式以及液态流出物排放方式有密切关系。本工程产生的液态流出物随着作为载体的温排水一起排入厂址附近海域，其随潮运动规律及在环境水域中的分布形态与温排水相似。在模拟液态流出物的稀释扩散过程时，主要影响因素为环境流场，其次是核素自衰减。一方面，液态流出物随温排水被环境水体掺混稀释的同时，温排水通过水面与大气交换，散出其自身带有热量，对浓度产生影响；另一方面，液态流出物中的核素通过自身衰变对浓度也

产生影响，不同半衰期的核素在环境水域中的影响范围各不相同。

为了预测液态流出物对沿海海域造成的影响，中国水利水电科学研究院针对本工程优化后的取排水方案开展了液态流出物数模计算专题研究，上述工作于2021年完成。在半月潮型下，针对1台高温气冷堆和2台CAP1400，采用优化方案（南北取中排，排水明渠外延0.4km），考虑核素衰变和不考虑核素衰变的情况下，进行液态流出物二维数模模拟计算，采用的数学模型及数值方法如下：

(i) 基本方程

物质输运方程：

$$\frac{\partial (d + \zeta)T}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial [\sqrt{G_{\eta\eta}}(d + \zeta)UT]}{\partial \xi} + \frac{\partial [\sqrt{G_{\xi\xi}}(d + \zeta)VT]}{\partial \eta} \right\} = \quad (6.2-35)$$

$$\frac{d + \zeta}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left[D_H \frac{\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial T}{\partial \xi} \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} \left[D_H \frac{\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial T}{\partial \eta} \right] \right\} - \lambda_d (d + \zeta)T + S$$

T ：水温（或物质浓度）。

D_H ：水平扩散系数。

λ_d ：物质一阶衰减项。

S ：源汇项。

其余方程及参数见6.1节。

(ii) 定解条件

● 边界条件

开边界上为环境本底浓度。

● 初始条件

采用零浓度（即环境本底浓度）起算。

取排水浓度采用排水浓度 C_{out} 与取水浓度 C_{in} 相差单位浓度1处理：

$$C_{out} = C_{in} + 1 \quad (6.2-36)$$

(iv) 衰变系数

核素浓度衰减按源项 Q_c 考虑：

$$Q_c = -\lambda_i C_i \quad (6.2-37)$$

λ_i ：第 i 类核素的衰变系数。

C_i ：第 i 类核素的浓度值。

衰变系数见表 6.2-1。

2) 液态流出物对人体的受照有效剂量

本工程液态流出物释放对附近居民中个人造成的受照剂量和集体剂量的计算模式如下：

(1) 海产品食入内照射

海产品一般分为海鱼、甲壳类、软体类和海藻四大类，公众食入海产品造成的内照射剂量计算公式：

$$D_{EP} = \sum_i C_{PKi} \cdot U_p \cdot e^{(-\lambda_i T_p)} \cdot Df_{EEi} \quad (6.2-38)$$

式中：

D_{EP} ：通过食入途径造成的公众个人年有效剂量，Sv/a。

C_{PKi} ：海产品中放射性核素 i 的浓度，Bq/kg。

U_p ：公众个人的海产品消费量，kg/a。

λ_i ：核素 i 的衰变常数，h⁻¹。

T_p ：海产品从捕捞到被消费的时间间隔，h。

Df_{EEi} ：食入放射性核素 i 对人体的有效剂量转换因子，Sv/Bq。

海产品中放射性核素 i 的浓度基于下式计算：

$$C_{PKi} = C_{WKi} \cdot B_{Pi} \quad (6.2-39)$$

式中：

C_{PKi} ：海产品 P 中放射性核素 i 的浓度，Bq/kg。

C_{WKi} ：海水中放射核素 i 的浓度，Bq/L。

B_{Pi} ：海产品 P 对放射性核素 i 的浓集因子，(Bq/kg) / (Bq/L)。

(2) 岸边沉积外照射

岸边沉积外照射剂量基于下式计算：

$$D_{ES} = \sum_i C_{Bi} \cdot W \cdot Df_{ESi} \cdot T_S \quad (6.2-40)$$

式中：

D_{ES} ：通过岸滩沉积物途径造成的公众个人年有效剂量，Sv/a。

C_{Bi} ：岸边放射性核素 i 的沉积量，Bq/m²。

W ：岸宽因子，无量纲。

Df_{Esi} ：岸边沉积物中核素 i 对人体的有效剂量转换因子，(Sv/h)/(Bq/m²)。

T_s ：每年公众在岸边的活动时间，h/a。

岸边放射性核素 i 的沉积量基于下式计算：

$$C_{Bi} = \frac{(0.1)(0.001) \cdot K_{di} \cdot D_s \cdot C_{wi} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_i T_e}}{\lambda_i \cdot T_e}}{1 + (0.001) S_s \cdot K_{di}} \quad (6.2-41)$$

式中：

C_{Bi} ：岸边放射性核素 i 的沉积量，Bq/m²。

C_{wi} ：海水中放射性核素的浓度，Bq/m³。

D_s ：悬浮物在岸边的有效沉积密度，kg/m²。

S_s ：海水中悬浮物的浓度，kg/m³。

K_{di} ：海水中悬浮物对核素 i 的吸附分配因子，L/kg。

λ_i ：放射性核素 i 的衰变常数，1/h。

T_e ：沉积物中放射性累积时间，h（缺省值：8760h）。

0.1：底部沉积物吸附分配因子与悬浮物吸附分配因子之比，无量纲。

0.01：体积转换系数，m³/L。

(3) 海水浸没外照射

海水浸没（包括游泳、水下作业等）外照射剂量基于下式计算：

$$D_{Ews} = \sum_i C_{wi} \cdot T_s \cdot Df_{EWi} \quad (6.2-42)$$

式中：

D_{Ews} ：游泳或海中作业时海水中放射性核素对公众个人产生的有效剂量，Sv/a。

C_{wi} ：水中放射性核素 i 的浓度，Bq/m³。

T_s ：每年公众个人游泳或海水中作业的时间，h/a。

Df_{EWi} ：放射性核素*i*对人体的水体浸没有效剂量转换因子，(Sv/h)/(Bq/m³)。

(4) 海上活动外照射

公众划船、捕捞等海上活动受到的外照射剂量：

$$D_{EWf} = \sum_i C_{wi} \cdot g \cdot T_f \cdot Df_{EWi} \quad (6.2-43)$$

式中：

D_{EWf} ：海上作业时海水中放射性核素对公众个人产生的有效剂量，Sv/a。

C_{wi} ：水中放射性核素*i*的浓度，Bq/m³。

T_f ：每年公众个人在海面上作业的时间，h/a。

Df_{EWi} ：浸没于无限大水体中放射性核素*i*对人体的有效剂量转换因子，(Sv/h) / (Bq/m³)。

g ：海上作业的几何因子，无量纲。

(5) 集体剂量

$$D_{ip} = P \sum_a D_a \cdot f_a \quad (6.2-44)$$

式中：

D_{ip} —核素*i*通过途径*p*所致的居民年集体剂量，人 Sv/a；

P —半径 80km 范围内居民数，人；

D_a —年龄组 *a* 中个人所接受的年剂量，Sv/a；

f_a —居民中年龄组 *a* 所占的份额。

6.2.4 大气弥散和水体稀释

6.2.4.1 大气弥散

表 6.2-2~6.2-7 分别列出了厂址半径 80km 范围内各子区代表性放射性核素 ⁸⁵Kr、¹³³Xe、¹³¹I、¹³⁷Cs、³H 和 ¹⁴C 混合释放情况下年均长期大气弥散因子值。

厂址半径 80km 范围因干、湿沉积所致的元素碘和粒子态核素年均沉积因子见表

6.2-8~表 6.2-9。

6.2.4.2 水体稀释

流出物以核电厂温排水作为载体,其在环境水体中的水动力掺混稀释规律与温排水相同。与温排水的主要区别在于温排水研究需考虑散热而流出物则考虑其自身的衰减,因此,流出物在环境水体中的影响区—相对浓度场的分布形态与温度场相似。对于半衰期较长或不衰减核素来说,其影响范围则较温排水大得多。

根据中国水利水电科学研究院 2021 年 1 台高温气冷堆和 2 台 CAP1400 压水堆核电机组二维数模模拟成果,综合考虑冬、夏季半月潮全潮平均情况,在距离排放口约 1km 处的稀释因子为 0.1,约 2km 处的稀释因子为 0.05,约 10km 处的稀释因子小于 0.02,相对浓度等值线包络面积见表 6.2-10 和表 6.2-11。

采用数模半月潮全潮平均相对浓度计算结果,并考虑到本工程周围岸边居民点、海上活动人群等与核电厂排水口的相对位置,因此,在计算厂址附近居民个人最大有效剂量时,食入海洋生物的稀释因子取 0.1,其它途径取 0.05。在计算 80km 范围内的集体有效剂量时,稀释因子取 0.02。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

6.2.5.1 大气中主要核素浓度

表 6.2-12~6.2-17 分别列出了半径 80km 范围内各子区代表性放射性核素 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe 、 ^{137}Cs 、 ^3H 和 ^{14}C 混合释放情况下空气中的平均活度浓度。由表可见,各核素浓度最大值出现在 NNE 方位 0~1km 处。

6.2.5.2 海水中主要放射性核素浓度

《海水水质标准》(GB3097-1997)中规定了 5 种放射性核素的限值,本项目中单台 CAP1400 压水堆核电机组的液态流出物年排放量约为 3260m^3 (极值为 4300m^3),排放方式为间歇排放,排放速率范围为 $9\sim 17\text{m}^3/\text{h}$ (极值为 $22\text{m}^3/\text{h}$)。1 台 CAP1400 冬季冷却水流量约为 $62.25\text{m}^3/\text{s}$,考虑 2 台机组中的 1 台机组大修、1 台机组运行的工况,该工况下仅有 1 台机组的循环冷却水处于正常运行状态,根据 5 种核素的年排放量计算得到总排放口各核素的浓度见表 6.2-18。由表 6.2-18 可见,总排放口 5 种核素的浓度均远小于《海水水质标准》(GB3097-1997)中规定的限值。

6.2.6 公众的最大个人剂量

6.2.6.1 气态途径

本工程厂址半径 80km 范围内的居民食入量取第 2 章 2.2 节。

气载途径剂量计算采用的剂量转换因子见表 6.2-19。剂量转换因子采用我国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和美国联邦导则 12 号报告《空气、水和土壤中核素导致的外照射》的推荐值。

根据 CAP1400 压水堆核电机组正常运行工况下气载流出物设计源项、放射性核素平均长期大气弥散因子、地面沉积因子、食物摄入量、剂量转换因子等数据，计算了本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组在正常运行工况下由气态途径对厂址周围居民可能造成的最大个人（成人）有效剂量。

根据气态途径剂量计算结果，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组由气态途径所致个人最大受照有效剂量出现的位置为厂址 WSW 方位 0~1km 处的东墩村。婴儿、儿童、青少年、成人和渔民的最大个人剂量分别为 $5.07E-03\text{mSv/a}$ 、 $1.03E-02\text{mSv/a}$ 、 $8.13E-03\text{mSv/a}$ 、 $8.20E-03\text{mSv/a}$ 和 $8.20E-03\text{mSv/a}$ 。

6.2.6.2 液态途径

液态途径剂量计算采用的剂量转换因子见表 6.2-20。剂量转换因子采用我国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《滨海核电厂液态放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20199-2013）和美国联邦导则 12 号报告《空气、水和土壤中核素导致的外照射》的推荐值。

本工程所在厂址附近海域沉积物分配系数见第二章 2.5 节。

根据 CAP1400 压水堆核电机组正常运行工况下液态流出物设计源项、放射性核素稀释因子、厂址附近居民中个人最大受照有效剂量和居民集体剂量的利用因子、食物摄入量、剂量转换因子、沉积物分配系数等数据，计算了本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组在正常运行工况下由气态途径对厂址周围居民可能造成的最大个人（成人）有效剂量，计算时采用了偏保守的假设条件（保守认为厂址附近居民食用的海产品来自液态流出物排放口附近海域）。

根据液态途径剂量计算结果，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组由液态途径所致厂址附近的婴儿、儿童、青少年、成人和渔民的最大有效剂量为 $1.09E-05\text{mSv/a}$ 、 $3.50E-04\text{mSv/a}$ 、 $3.12E-04\text{mSv/a}$ 、 $4.32E-04\text{mSv/a}$ 和 $3.90E-04\text{mSv/a}$ 。

6.2.6.3 剂量汇总

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定：正常运行工况下，每座核动力厂向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效

剂量，每年应小于 0.25mSv。

本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组在正常运行期间放射性物质由气态途径和液态途径排放所致的最大个人为位于厂址 WSW 方位 0~1km 处的东墩村的儿童，其个人受照有效剂量为 1.07E-02mSv/a，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 4.26%。

气态途径所致厂址半径 80km 范围内居民集体有效剂量 2.30E-01 人 Sv/a。液态途径所致厂址半径 80km 范围内居民集体有效剂量 2.41E-01 人 Sv/a。厂址半径 80km 范围内集体有效剂量为 4.71E-01 人·Sv/a。

6.2.7 非人类生物的辐射剂量

水生生物受到的辐射照射主要来自宇宙射线、天然放射性及核设施液态流出物，这些照射导致了水生生物的外照射剂量和内照射剂量。其中外照射剂量来源于水体照射和底泥照射；内照射剂量来源于生物直接摄入放射性核素。

2000 年 11 月~2003 年 10 月欧共体完成了 FASSET 计划，这个计划的目的是发展评价电离辐射生物和生态系统影响的方法和工具，以及支持防护辐射对环境有害效应的努力。计划分为 4 个方面：1) 环境计量学；2) 放射性核素在生态系统中的转移；3) 电离辐射生物效应；4) 建立评价的框架。欧共体在完成 FASSET 计划后，在 2004 年 3 月制定了一个 ERICA 计划，计划实施从 2004 年 1 月到 2007 年 2 月，计划分为 5 个方面：1) 提供评价工具；2) 提供生态危害评价危害特征方法学；3) 提供管理导则，支持电离辐射的环境保护；4) 在 5 个不同场址事例研究情景中，应用和检验评价的方法学；5) 总的管理和计划进展评价。

基于欧洲模式的非人类生物辐射评价方法采用了危害商的定义，危害商的定义是剂量估算值与参考值的比值，具体公式如下：

$$RQ = \frac{\text{预测的生物剂量率}}{\text{认定安全的剂量率基准值}} \quad (6.2-47)$$

由公式 (6.2-47) 可知，如果危害商小于 1，说明生物的辐射影响是可以接受的。

基于欧洲模式的非人类生物辐射评价方法由三级筛选组成：一级筛选中只需输入要评价的生态系统、选择核素、输入核素在介质中的活度浓度，导出危害商，若危害商大于 1 则进入二级筛选；二级筛选在一级筛选的基础上增加了生物种类

的选择，同时程序还允许用户进行核素参数设置（包括分布系数、生物参数设置等）；三级筛选的特点是用户在进行核素参数设置时，不但可以输入或采用程序提供的默认值，也可以根据选择的分布类型计算其分布值（可选择7种，包括指数分布、正态分布、三角分布、均匀分布、对数正态分布、对数三角分布、对数均匀分布）。

根据基于欧洲模式的非人类生物辐射评价方法对本工程2台CAP1400压水堆核电机组的水生生物的辐射剂量进行了计算。本次计算采用二级筛选模式，同时采用程序提供的默认值。基于欧洲模式的非人类生物辐射评价方法中水生生物辐射剂量计算模式和参数如下所述：

1) 浓度平衡比和分配系数

浓度平衡比：

$$CR = \frac{\text{放射性核素在生物体中的浓度 (Bq / kg 干重)}}{\text{放射性核素在水中的浓度 (Bq / L)}} \quad (6.2-48)$$

分配系数：

$$K_d = \frac{\text{放射性核素在沉积物中的浓度 (Bq / kg 干重)}}{\text{放射性核素在水中的浓度 (Bq / L)}} \quad (6.2-49)$$

2) 剂量转换因子

(1) 对于单能源的剂量转换因子

内照射剂量转换因子：

$$DCC_{int} = 5.77 \times 10^{-4} \times E \times \Phi_E \quad (6.2-50)$$

外照射剂量转换因子：

$$DCC_{ext} = 5.77 \times 10^{-4} \times E \times (1 - \Phi_E) \quad (6.2-51)$$

式中：

DCC ——剂量转换因子 ($\mu\text{Gyh}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$)；

E ——单能源的能量 (MeV)；

Φ_E ——特定能量的吸收系数；

5.77×10^{-4} ——转换因子。

(2) 对于多能源的剂量转换因子

$$DCC_{int} = wf_{low\beta} \times DCC_{int, low\beta} + wf_{\beta+\gamma} \times DCC_{int, \beta+\gamma} + wf_{\alpha} \times DCC_{int, \alpha} \quad (6.2-52)$$

$$DCC_{ext} = wf_{low\beta} \times DCC_{ext, low\beta} + wf_{\beta+\gamma} \times DCC_{ext, \beta+\gamma} \quad (6.2-53)$$

式中：

w_f ——各能量源的权重因子（ β ， $\beta+\gamma$ 和 α ）。

3) 水生生物辐射剂量

(1) 内照射剂量率

$$D_{int}^b = \sum_i C_i^b \times DCC_{int,i}^b \quad (6.2-54)$$

式中：

D_{int}^b ——生物体 b 的内照射吸收剂量率；

C_i^b ——核素 i 在生物体 b 内的平均浓度（Bq/kg 干重）；

$DCC_{int,i}^b$ ——内照射剂量转换因子。

(2) 外照射剂量率

$$D_{ext}^b = \sum_z V_z \sum_i C_{zi}^{ref} \times DCC_{ext,Zi}^b \quad (6.2-55)$$

式中：

V_z ——占有系数，即生物体 b 在介质 Z 所停留时间的份额；

C_{zi}^{ref} ——核素 i 在介质 Z 中的平均浓度（Bq/kg 干重或 Bq/L）；

$DCC_{ext,Zi}^b$ ——外照射剂量转换因子。

(3) 总照射剂量

$$D = D_{int} + D_{ext} \quad (6.2-56)$$

基于欧洲模式的非人类生物辐射评价方法采用的生物浓集因子、沉积物吸附分配因子和居留因子见表 6.2-21~表 6.2-23。

表 6.2-24~表 6.2-26 分别给出了本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行时 51 种核素对厂址邻近海域的水生生物造成的外照射剂量率、内照射剂量率及总辐射剂量率。表 6.2-27 给出了本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行时液态流出物排放对厂址邻近海域的水生生物造成的危害商，本次评价保守的采用基于欧洲模式的非人类生物辐射评价方法中默认的剂量率基准值： $10\mu\text{Gy/h}$ 。

由表 6.2-27 可知，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行时放射性液体流出物排放对厂址邻近海域的水生生物造成的危害商最大为 $7.18\text{E-}01$ ，该值小于 1。本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行工况下，液态流出物排放对厂址邻近海域中的水生生物造成的辐射影响有限，不会对环境产生危害。

6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

本阶段对于本工程两台 CAP1400 压水堆核电机组流出物排放造成公众辐射影响的“三关键”分析，将从厂址近区各方位距离厂址最近的居民点以及厂址排水口附近的居民点进行筛选，并结合环境调查中发现的厂址排水口附近从事特殊职业工作的居民，通过剂量计算分析比较，最终确定受核电厂流出物排放辐射影响最大的关键居民组及年龄组。

对本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行时所致东墩、东钱家、东张家、南泊、前王家、西钱家、小河东、周庄等 8 个居民点（各年龄组）可能造成的最大个人有效剂量进行计算。上述居民点的食谱及生活习性见第 2 章 2.2 节。根据厂址附近各居民点的食谱调查和生活习性调查结果，计算得到本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行时对周围居民（各年龄组）可能造成的最大个人有效剂量见表 6.2-28，由表 6.2-28 可知：本工程在正常运行期间放射性物质由气态途径和液态途径排放所致最大个人有效剂量点位于东钱家，其中所致东钱家婴儿、儿童、青少年、成人及渔民的个人有效剂量分别为 $2.12\text{E-}04\text{mSv/a}$ 、 $1.52\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $1.11\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $1.23\text{E-}03\text{mSv/a}$ 和 $1.20\text{E-}03\text{mSv/a}$ 。

东钱家居民按各年龄组别由气、液态途径所致个人有效剂量见表 6.2-29~表 6.2-37。

“三关键”分析时需确定关键居民组、关键核素和关键照射途径确定，给出关键居民组的居住位置、年龄等主要特征。关键居民组的确定应考虑居民各年龄组别的总人数的可代表性，并确保核电厂投运后开展“三关键”监测的可持续性，而关键照射途径和关键核素应由其对人体引起的辐射照射剂量大小进行判断。由表 6.2-28 可筛选得到出现个人最大受照有效剂量的居民点为东钱家，其中儿童的个人受照剂量最大，其次为成人、成人渔民、青少年和婴儿。根据东钱家食谱及生活习性调查情况，各年龄组别的样本数分别为：婴儿年龄组别 11 人，儿童年龄组别 19 人，青少年年龄组别 36 人，成人年龄组别为 84 人（其中渔民年龄组别为 12 人），而东钱家总人口数为 732 人，可见成人样本占据主体地位，具有较好的代表性。对表 6.2-29~表 6.2-37 开展分析工作，得到本工程“三关键”分析结果为：东钱家成人为关键居民组，关键途径为食入生物途径，关键核素为 ^{14}C 。

气态和液态两种途径对东钱家成人的最大个人有效剂量的贡献中，气态排放途径是主要的，它占总有效剂量的 75.44%。

气态途径中，食入动植物途径所致有效剂量 $7.16\text{E-}04\text{mSv/a}$ ，约占总有效剂量的 58.05%，其次是吸入空气，所致有效剂量 $1.94\text{E-}04\text{mSv/a}$ ，约占总有效剂量的 15.74%；剂量贡献最大核素是 ^{14}C ，其所致有效剂量 $8.65\text{E-}04\text{mSv/a}$ ，约占总有效剂量的 70.12%，其次是 ^3H ，其所致有效剂量 $2.72\text{E-}05\text{mSv/a}$ ，约占总有效剂量的 2.20%， ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 所致有效剂量分别为 $1.06\text{E-}05\text{mSv/a}$ 、 $2.51\text{E-}06\text{mSv/a}$ 、 $1.00\text{E-}05\text{mSv/a}$ 。

液态途径中，基本以食入海洋生物途径影响为主，其所致有效剂量 $3.02\text{E-}04\text{mSv/a}$ ，约占总有效剂量的 24.50%；液态途径最大贡献核素是 ^{14}C ，其所致有效剂量 $2.70\text{E-}04\text{mSv/a}$ ，约占总有效剂量的 21.85%， ^3H 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 所致有效剂量分别为 $3.84\text{E-}06\text{mSv/a}$ 、 $1.62\text{E-}06\text{mSv/a}$ 、 $2.87\text{E-}11\text{mSv/a}$ 、 $1.69\text{E-}10\text{mSv/a}$ 、 $2.13\text{E-}05\text{mSv/a}$ 、 $7.10\text{E-}07\text{mSv/a}$ 、 $4.30\text{E-}07\text{mSv/a}$ 。

6.2.9 辐射影响评价

6.2.9.1 排放量和排放浓度评价

本报告第四章 4.6 节给出了本工程单台 CAP1400 压水堆核电机组槽式排放口处液态流出物排放浓度以及与国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中规定的沿海核电厂液态流出物排放浓度控制值的比较。同时给出了本工程单台 CAP1400 压水堆核电机组的气载流出物和液态流出物设计排放量与国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中规定的核电厂流出物年排放量控制值的比较。

本报告第一章 1.7 节给出了本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组及本工程所在山东石岛湾核电厂址已装料的高温气冷堆核电机组的气载流出物和液态流出物申请排放量之和与国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中规定的核电厂流出物年排放量控制值的比较。

本工程 CAP1400 压水堆核电机组气载和液体流出物的年排放量及槽式排放口处排放浓度以及本工程投运后的山东石岛湾核电厂址所有核电机组气载和液体流出物的年排放量之和均满足国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定。

6.2.9.2 辐射剂量评价

1) 公众

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定：正常运行工况下，任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年应小于 0.25mSv 的剂量约束值。

利用设计排放源项进行公众剂量评估，考虑当地居民的生活习惯，并采用偏保守的假设条件。本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量为 1.07E-02mSv/a，考虑到已装料的高温气冷堆核电机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量不大于 0.01mSv，因此本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组与已装料的高温气冷堆核电机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量不大于 2.07E-02mSv，占《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定（0.25mSv/a）的 8.28%。因此，本工程正常运行期间对环境的辐射影响是可以接受的。

2) “三关键”分析

利用现实排放源项进行“三关键”分析，得到东钱家村成人为可能的关键居民组，所受个人有效剂量为 1.23E-03mSv/a；所致个人有效剂量的可能关键照射途径为食入生物途径，其所致有效剂量为 9.31E-04mSv/a，约占总有效剂量的 75.44%；所致个人有效剂量的可能关键核素为 ^{14}C ，其总和为 1.13E-03mSv/a，约占总有效剂量的 91.97%。

3) 非人类生物

本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行时液态流出物排放对受纳海域中水生生物造成的危害商小于 1（即辐射剂量率小于辐射剂量率基准值 10 $\mu\text{Gy/h}$ ），液态流出物排放不会对受纳海域中的水生生物产生影响。

表 6.2-1 低放射性物质衰减系数

2011 年数模

| 半衰期 | 8d | 70d | 250d | 5a |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| λ_i | 1.0×10^{-6} | 1.1×10^{-7} | 3.2×10^{-8} | 4.4×10^{-9} |

2021 年数模

| 半衰期 | 8.07 天 | 70.78 天 | 249.9 天 | 2.06 年 | 5.272 年 |
|-------------|------------------|------------------|---------------------------|-------------------|------------------|
| 对应放射性核素 | ^{131}I | ^{58}Co | $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | ^{134}Cs | ^{60}Co |
| λ_i | 1.00E-06 | 1.15E-07 | 3.21E-08 | 1.10E-08 | 4.23E-09 |

表 6.2-2 厂址半径 80km 范围内长期大气弥散因子

^{85}Kr

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 3.24E-07 | 1.41E-07 | 9.19E-08 | 5.39E-08 | 2.71E-08 | 1.32E-08 | 7.47E-09 | 5.08E-09 | 3.80E-09 | 3.01E-09 | 2.49E-09 | 2.11E-09 |
| NNE | 4.89E-07 | 1.97E-07 | 1.32E-07 | 7.89E-08 | 4.11E-08 | 2.02E-08 | 1.13E-08 | 7.57E-09 | 5.61E-09 | 4.41E-09 | 3.62E-09 | 3.06E-09 |
| NE | 2.69E-07 | 1.03E-07 | 6.89E-08 | 4.45E-08 | 2.82E-08 | 1.50E-08 | 8.24E-09 | 5.37E-09 | 3.88E-09 | 2.99E-09 | 2.40E-09 | 1.99E-09 |
| ENE | 2.49E-07 | 9.09E-08 | 6.03E-08 | 3.87E-08 | 2.44E-08 | 1.29E-08 | 7.09E-09 | 4.61E-09 | 3.31E-09 | 2.54E-09 | 2.04E-09 | 1.69E-09 |
| E | 2.13E-07 | 8.11E-08 | 5.41E-08 | 3.46E-08 | 2.11E-08 | 1.08E-08 | 5.90E-09 | 3.84E-09 | 2.77E-09 | 2.14E-09 | 1.72E-09 | 1.43E-09 |
| ESE | 3.56E-07 | 1.32E-07 | 8.16E-08 | 5.14E-08 | 3.01E-08 | 1.52E-08 | 8.27E-09 | 5.41E-09 | 3.92E-09 | 3.03E-09 | 2.45E-09 | 2.04E-09 |
| SE | 4.82E-07 | 1.81E-07 | 1.22E-07 | 7.54E-08 | 4.09E-08 | 1.97E-08 | 1.07E-08 | 7.05E-09 | 5.15E-09 | 4.01E-09 | 3.26E-09 | 2.74E-09 |
| SSE | 4.61E-07 | 1.70E-07 | 1.13E-07 | 6.96E-08 | 3.81E-08 | 1.87E-08 | 1.02E-08 | 6.70E-09 | 4.88E-09 | 3.79E-09 | 3.07E-09 | 2.57E-09 |
| S | 2.37E-07 | 9.42E-08 | 6.30E-08 | 3.84E-08 | 2.15E-08 | 1.10E-08 | 6.12E-09 | 4.07E-09 | 2.99E-09 | 2.33E-09 | 1.90E-09 | 1.60E-09 |
| SSW | 2.56E-07 | 9.86E-08 | 6.30E-08 | 3.70E-08 | 1.96E-08 | 9.80E-09 | 5.51E-09 | 3.68E-09 | 2.72E-09 | 2.13E-09 | 1.74E-09 | 1.47E-09 |
| SW | 2.20E-07 | 8.54E-08 | 5.43E-08 | 3.21E-08 | 1.72E-08 | 8.58E-09 | 4.81E-09 | 3.22E-09 | 2.37E-09 | 1.86E-09 | 1.52E-09 | 1.28E-09 |
| WSW | 1.36E-07 | 5.85E-08 | 3.72E-08 | 2.19E-08 | 1.14E-08 | 5.62E-09 | 3.19E-09 | 2.16E-09 | 1.61E-09 | 1.27E-09 | 1.04E-09 | 8.83E-10 |
| W | 1.23E-07 | 5.60E-08 | 3.53E-08 | 2.12E-08 | 1.12E-08 | 5.58E-09 | 3.18E-09 | 2.16E-09 | 1.61E-09 | 1.27E-09 | 1.05E-09 | 8.89E-10 |
| WNW | 1.20E-07 | 5.50E-08 | 3.49E-08 | 2.09E-08 | 1.12E-08 | 5.55E-09 | 3.16E-09 | 2.14E-09 | 1.59E-09 | 1.26E-09 | 1.04E-09 | 8.77E-10 |
| NW | 1.49E-07 | 6.31E-08 | 3.87E-08 | 2.32E-08 | 1.23E-08 | 6.08E-09 | 3.44E-09 | 2.32E-09 | 1.72E-09 | 1.36E-09 | 1.11E-09 | 9.41E-10 |
| NNW | 1.99E-07 | 8.78E-08 | 5.71E-08 | 3.38E-08 | 1.71E-08 | 8.33E-09 | 4.73E-09 | 3.22E-09 | 2.41E-09 | 1.91E-09 | 1.58E-09 | 1.35E-09 |

表 6.2-3 厂址半径 80km 范围内长期大气弥散因子



单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 3.24E-07 | 1.40E-07 | 9.17E-08 | 5.37E-08 | 2.68E-08 | 1.29E-08 | 7.22E-09 | 4.84E-09 | 3.57E-09 | 2.80E-09 | 2.28E-09 | 1.91E-09 |
| NNE | 4.89E-07 | 1.96E-07 | 1.32E-07 | 7.86E-08 | 4.08E-08 | 1.99E-08 | 1.10E-08 | 7.27E-09 | 5.33E-09 | 4.15E-09 | 3.37E-09 | 2.82E-09 |
| NE | 2.69E-07 | 1.03E-07 | 6.87E-08 | 4.43E-08 | 2.80E-08 | 1.47E-08 | 7.96E-09 | 5.13E-09 | 3.65E-09 | 2.78E-09 | 2.21E-09 | 1.81E-09 |
| ENE | 2.49E-07 | 9.08E-08 | 6.02E-08 | 3.85E-08 | 2.42E-08 | 1.27E-08 | 6.84E-09 | 4.39E-09 | 3.11E-09 | 2.36E-09 | 1.87E-09 | 1.53E-09 |
| E | 2.12E-07 | 8.10E-08 | 5.40E-08 | 3.45E-08 | 2.09E-08 | 1.06E-08 | 5.73E-09 | 3.68E-09 | 2.63E-09 | 2.00E-09 | 1.59E-09 | 1.30E-09 |
| ESE | 3.56E-07 | 1.31E-07 | 8.14E-08 | 5.12E-08 | 2.98E-08 | 1.49E-08 | 8.02E-09 | 5.19E-09 | 3.72E-09 | 2.84E-09 | 2.27E-09 | 1.87E-09 |
| SE | 4.81E-07 | 1.81E-07 | 1.22E-07 | 7.52E-08 | 4.06E-08 | 1.94E-08 | 1.04E-08 | 6.79E-09 | 4.91E-09 | 3.79E-09 | 3.05E-09 | 2.54E-09 |
| SSE | 4.61E-07 | 1.70E-07 | 1.13E-07 | 6.94E-08 | 3.77E-08 | 1.84E-08 | 9.89E-09 | 6.42E-09 | 4.62E-09 | 3.55E-09 | 2.85E-09 | 2.36E-09 |
| S | 2.37E-07 | 9.41E-08 | 6.28E-08 | 3.82E-08 | 2.13E-08 | 1.08E-08 | 5.93E-09 | 3.90E-09 | 2.83E-09 | 2.18E-09 | 1.76E-09 | 1.46E-09 |
| SSW | 2.56E-07 | 9.85E-08 | 6.28E-08 | 3.68E-08 | 1.94E-08 | 9.61E-09 | 5.33E-09 | 3.53E-09 | 2.57E-09 | 1.99E-09 | 1.61E-09 | 1.34E-09 |
| SW | 2.20E-07 | 8.53E-08 | 5.42E-08 | 3.19E-08 | 1.70E-08 | 8.39E-09 | 4.64E-09 | 3.06E-09 | 2.22E-09 | 1.72E-09 | 1.39E-09 | 1.16E-09 |
| WSW | 1.36E-07 | 5.84E-08 | 3.71E-08 | 2.18E-08 | 1.13E-08 | 5.50E-09 | 3.08E-09 | 2.05E-09 | 1.51E-09 | 1.18E-09 | 9.53E-10 | 7.96E-10 |
| W | 1.23E-07 | 5.59E-08 | 3.52E-08 | 2.11E-08 | 1.11E-08 | 5.44E-09 | 3.05E-09 | 2.04E-09 | 1.50E-09 | 1.17E-09 | 9.46E-10 | 7.90E-10 |
| WNW | 1.20E-07 | 5.49E-08 | 3.48E-08 | 2.08E-08 | 1.10E-08 | 5.41E-09 | 3.02E-09 | 2.01E-09 | 1.47E-09 | 1.14E-09 | 9.25E-10 | 7.71E-10 |
| NW | 1.49E-07 | 6.29E-08 | 3.86E-08 | 2.31E-08 | 1.21E-08 | 5.93E-09 | 3.30E-09 | 2.19E-09 | 1.60E-09 | 1.24E-09 | 1.00E-09 | 8.34E-10 |
| NNW | 1.99E-07 | 8.76E-08 | 5.69E-08 | 3.37E-08 | 1.70E-08 | 8.16E-09 | 4.57E-09 | 3.07E-09 | 2.27E-09 | 1.78E-09 | 1.45E-09 | 1.22E-09 |

表 6.2-4 厂址半径 80km 范围内长期大气弥散因子

^{131}I

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 3.08E-07 | 1.24E-07 | 7.80E-08 | 4.30E-08 | 2.02E-08 | 9.11E-09 | 4.54E-09 | 2.77E-09 | 1.83E-09 | 1.39E-09 | 1.06E-09 | 7.98E-10 |
| NNE | 4.65E-07 | 1.73E-07 | 1.12E-07 | 6.30E-08 | 3.06E-08 | 1.40E-08 | 6.86E-09 | 4.12E-09 | 2.71E-09 | 2.03E-09 | 1.55E-09 | 1.16E-09 |
| NE | 2.56E-07 | 9.09E-08 | 5.84E-08 | 3.55E-08 | 2.10E-08 | 1.04E-08 | 5.00E-09 | 2.92E-09 | 1.87E-09 | 1.37E-09 | 1.02E-09 | 7.50E-10 |
| ENE | 2.36E-07 | 7.99E-08 | 5.12E-08 | 3.09E-08 | 1.82E-08 | 8.94E-09 | 4.29E-09 | 2.50E-09 | 1.59E-09 | 1.16E-09 | 8.66E-10 | 6.33E-10 |
| E | 2.02E-07 | 7.14E-08 | 4.59E-08 | 2.76E-08 | 1.58E-08 | 7.51E-09 | 3.60E-09 | 2.10E-09 | 1.35E-09 | 9.88E-10 | 7.40E-10 | 5.43E-10 |
| ESE | 3.38E-07 | 1.16E-07 | 6.93E-08 | 4.10E-08 | 2.25E-08 | 1.05E-08 | 5.04E-09 | 2.95E-09 | 1.90E-09 | 1.40E-09 | 1.05E-09 | 7.75E-10 |
| SE | 4.57E-07 | 1.59E-07 | 1.03E-07 | 6.02E-08 | 3.05E-08 | 1.36E-08 | 6.52E-09 | 3.85E-09 | 2.50E-09 | 1.86E-09 | 1.41E-09 | 1.04E-09 |
| SSE | 4.38E-07 | 1.49E-07 | 9.62E-08 | 5.56E-08 | 2.84E-08 | 1.29E-08 | 6.21E-09 | 3.66E-09 | 2.36E-09 | 1.75E-09 | 1.32E-09 | 9.76E-10 |
| S | 2.25E-07 | 8.28E-08 | 5.35E-08 | 3.07E-08 | 1.61E-08 | 7.61E-09 | 3.74E-09 | 2.23E-09 | 1.46E-09 | 1.09E-09 | 8.25E-10 | 6.13E-10 |
| SSW | 2.43E-07 | 8.68E-08 | 5.35E-08 | 2.95E-08 | 1.46E-08 | 6.80E-09 | 3.37E-09 | 2.02E-09 | 1.33E-09 | 9.93E-10 | 7.57E-10 | 5.64E-10 |
| SW | 2.09E-07 | 7.51E-08 | 4.61E-08 | 2.56E-08 | 1.28E-08 | 5.96E-09 | 2.95E-09 | 1.77E-09 | 1.16E-09 | 8.68E-10 | 6.61E-10 | 4.93E-10 |
| WSW | 1.29E-07 | 5.15E-08 | 3.16E-08 | 1.75E-08 | 8.51E-09 | 3.91E-09 | 1.95E-09 | 1.19E-09 | 7.84E-10 | 5.92E-10 | 4.54E-10 | 3.40E-10 |
| W | 1.17E-07 | 4.92E-08 | 2.99E-08 | 1.70E-08 | 8.36E-09 | 3.87E-09 | 1.94E-09 | 1.18E-09 | 7.84E-10 | 5.93E-10 | 4.55E-10 | 3.41E-10 |
| WNW | 1.14E-07 | 4.84E-08 | 2.97E-08 | 1.67E-08 | 8.34E-09 | 3.86E-09 | 1.93E-09 | 1.17E-09 | 7.76E-10 | 5.86E-10 | 4.50E-10 | 3.37E-10 |
| NW | 1.41E-07 | 5.55E-08 | 3.29E-08 | 1.85E-08 | 9.14E-09 | 4.21E-09 | 2.10E-09 | 1.27E-09 | 8.34E-10 | 6.27E-10 | 4.80E-10 | 3.58E-10 |
| NNW | 1.89E-07 | 7.72E-08 | 4.84E-08 | 2.70E-08 | 1.28E-08 | 5.79E-09 | 2.90E-09 | 1.77E-09 | 1.18E-09 | 8.94E-10 | 6.89E-10 | 5.18E-10 |

表 6.2-5 厂址半径 80km 范围内长期大气弥散因子

^{137}Cs

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 3.08E-07 | 1.24E-07 | 7.81E-08 | 4.31E-08 | 2.02E-08 | 9.13E-09 | 4.56E-09 | 2.78E-09 | 1.85E-09 | 1.40E-09 | 1.08E-09 | 8.08E-10 |
| NNE | 4.65E-07 | 1.73E-07 | 1.12E-07 | 6.30E-08 | 3.07E-08 | 1.40E-08 | 6.88E-09 | 4.14E-09 | 2.72E-09 | 2.04E-09 | 1.56E-09 | 1.16E-09 |
| NE | 2.56E-07 | 9.09E-08 | 5.85E-08 | 3.55E-08 | 2.11E-08 | 1.04E-08 | 5.02E-09 | 2.94E-09 | 1.88E-09 | 1.38E-09 | 1.03E-09 | 7.58E-10 |
| ENE | 2.36E-07 | 7.99E-08 | 5.12E-08 | 3.09E-08 | 1.82E-08 | 8.95E-09 | 4.31E-09 | 2.51E-09 | 1.60E-09 | 1.17E-09 | 8.73E-10 | 6.38E-10 |
| E | 2.02E-07 | 7.14E-08 | 4.60E-08 | 2.76E-08 | 1.58E-08 | 7.53E-09 | 3.62E-09 | 2.12E-09 | 1.36E-09 | 9.97E-10 | 7.49E-10 | 5.50E-10 |
| ESE | 3.38E-07 | 1.16E-07 | 6.93E-08 | 4.10E-08 | 2.25E-08 | 1.05E-08 | 5.05E-09 | 2.97E-09 | 1.91E-09 | 1.41E-09 | 1.06E-09 | 7.83E-10 |
| SE | 4.57E-07 | 1.59E-07 | 1.03E-07 | 6.02E-08 | 3.06E-08 | 1.37E-08 | 6.54E-09 | 3.87E-09 | 2.51E-09 | 1.87E-09 | 1.42E-09 | 1.05E-09 |
| SSE | 4.38E-07 | 1.49E-07 | 9.63E-08 | 5.56E-08 | 2.84E-08 | 1.30E-08 | 6.23E-09 | 3.68E-09 | 2.38E-09 | 1.76E-09 | 1.33E-09 | 9.86E-10 |
| S | 2.25E-07 | 8.29E-08 | 5.35E-08 | 3.07E-08 | 1.61E-08 | 7.64E-09 | 3.76E-09 | 2.25E-09 | 1.47E-09 | 1.10E-09 | 8.38E-10 | 6.24E-10 |
| SSW | 2.43E-07 | 8.68E-08 | 5.35E-08 | 2.95E-08 | 1.47E-08 | 6.83E-09 | 3.39E-09 | 2.04E-09 | 1.34E-09 | 1.01E-09 | 7.69E-10 | 5.74E-10 |
| SW | 2.09E-07 | 7.51E-08 | 4.62E-08 | 2.56E-08 | 1.29E-08 | 5.99E-09 | 2.97E-09 | 1.79E-09 | 1.18E-09 | 8.84E-10 | 6.76E-10 | 5.05E-10 |
| WSW | 1.29E-07 | 5.15E-08 | 3.16E-08 | 1.75E-08 | 8.53E-09 | 3.93E-09 | 1.97E-09 | 1.20E-09 | 7.96E-10 | 6.03E-10 | 4.64E-10 | 3.48E-10 |
| W | 1.17E-07 | 4.93E-08 | 3.00E-08 | 1.70E-08 | 8.39E-09 | 3.90E-09 | 1.96E-09 | 1.20E-09 | 7.99E-10 | 6.06E-10 | 4.67E-10 | 3.52E-10 |
| WNW | 1.14E-07 | 4.84E-08 | 2.97E-08 | 1.67E-08 | 8.37E-09 | 3.88E-09 | 1.95E-09 | 1.19E-09 | 7.93E-10 | 6.02E-10 | 4.64E-10 | 3.49E-10 |
| NW | 1.41E-07 | 5.55E-08 | 3.29E-08 | 1.85E-08 | 9.16E-09 | 4.24E-09 | 2.12E-09 | 1.28E-09 | 8.48E-10 | 6.40E-10 | 4.91E-10 | 3.68E-10 |
| NNW | 1.89E-07 | 7.72E-08 | 4.85E-08 | 2.70E-08 | 1.28E-08 | 5.81E-09 | 2.92E-09 | 1.79E-09 | 1.20E-09 | 9.10E-10 | 7.03E-10 | 5.31E-10 |

表 6.2-6 厂址半径 80km 范围内长期大气弥散因子

^3H

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 3.24E-07 | 1.41E-07 | 9.19E-08 | 5.39E-08 | 2.71E-08 | 1.32E-08 | 7.47E-09 | 5.08E-09 | 3.80E-09 | 3.01E-09 | 2.49E-09 | 2.11E-09 |
| NNE | 4.89E-07 | 1.97E-07 | 1.32E-07 | 7.89E-08 | 4.11E-08 | 2.02E-08 | 1.13E-08 | 7.57E-09 | 5.61E-09 | 4.41E-09 | 3.62E-09 | 3.06E-09 |
| NE | 2.69E-07 | 1.03E-07 | 6.89E-08 | 4.45E-08 | 2.82E-08 | 1.50E-08 | 8.24E-09 | 5.37E-09 | 3.88E-09 | 2.99E-09 | 2.40E-09 | 1.99E-09 |
| ENE | 2.49E-07 | 9.09E-08 | 6.03E-08 | 3.87E-08 | 2.44E-08 | 1.29E-08 | 7.09E-09 | 4.61E-09 | 3.31E-09 | 2.54E-09 | 2.04E-09 | 1.69E-09 |
| E | 2.13E-07 | 8.11E-08 | 5.41E-08 | 3.46E-08 | 2.11E-08 | 1.08E-08 | 5.90E-09 | 3.84E-09 | 2.77E-09 | 2.14E-09 | 1.72E-09 | 1.43E-09 |
| ESE | 3.56E-07 | 1.32E-07 | 8.16E-08 | 5.14E-08 | 3.01E-08 | 1.52E-08 | 8.27E-09 | 5.41E-09 | 3.92E-09 | 3.03E-09 | 2.45E-09 | 2.04E-09 |
| SE | 4.82E-07 | 1.81E-07 | 1.22E-07 | 7.54E-08 | 4.09E-08 | 1.97E-08 | 1.07E-08 | 7.05E-09 | 5.15E-09 | 4.01E-09 | 3.26E-09 | 2.74E-09 |
| SSE | 4.61E-07 | 1.70E-07 | 1.13E-07 | 6.96E-08 | 3.81E-08 | 1.87E-08 | 1.02E-08 | 6.70E-09 | 4.88E-09 | 3.79E-09 | 3.07E-09 | 2.57E-09 |
| S | 2.37E-07 | 9.42E-08 | 6.30E-08 | 3.84E-08 | 2.15E-08 | 1.10E-08 | 6.12E-09 | 4.07E-09 | 2.99E-09 | 2.33E-09 | 1.90E-09 | 1.60E-09 |
| SSW | 2.56E-07 | 9.86E-08 | 6.30E-08 | 3.70E-08 | 1.96E-08 | 9.80E-09 | 5.51E-09 | 3.68E-09 | 2.72E-09 | 2.13E-09 | 1.74E-09 | 1.47E-09 |
| SW | 2.20E-07 | 8.54E-08 | 5.43E-08 | 3.21E-08 | 1.72E-08 | 8.58E-09 | 4.81E-09 | 3.22E-09 | 2.37E-09 | 1.86E-09 | 1.52E-09 | 1.28E-09 |
| WSW | 1.36E-07 | 5.85E-08 | 3.72E-08 | 2.19E-08 | 1.14E-08 | 5.62E-09 | 3.19E-09 | 2.16E-09 | 1.61E-09 | 1.27E-09 | 1.04E-09 | 8.83E-10 |
| W | 1.23E-07 | 5.60E-08 | 3.53E-08 | 2.12E-08 | 1.12E-08 | 5.58E-09 | 3.18E-09 | 2.16E-09 | 1.61E-09 | 1.27E-09 | 1.05E-09 | 8.89E-10 |
| WNW | 1.20E-07 | 5.50E-08 | 3.49E-08 | 2.09E-08 | 1.12E-08 | 5.55E-09 | 3.16E-09 | 2.14E-09 | 1.59E-09 | 1.26E-09 | 1.04E-09 | 8.77E-10 |
| NW | 1.49E-07 | 6.31E-08 | 3.87E-08 | 2.32E-08 | 1.23E-08 | 6.08E-09 | 3.44E-09 | 2.32E-09 | 1.72E-09 | 1.36E-09 | 1.11E-09 | 9.41E-10 |
| NNW | 1.99E-07 | 8.78E-08 | 5.71E-08 | 3.38E-08 | 1.71E-08 | 8.33E-09 | 4.73E-09 | 3.22E-09 | 2.41E-09 | 1.91E-09 | 1.58E-09 | 1.35E-09 |

表 6.2-7 厂址半径 80km 范围内长期大气弥散因子

¹⁴C

单位: s/m³

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 3.24E-07 | 1.41E-07 | 9.19E-08 | 5.39E-08 | 2.71E-08 | 1.32E-08 | 7.47E-09 | 5.08E-09 | 3.80E-09 | 3.01E-09 | 2.49E-09 | 2.11E-09 |
| NNE | 4.89E-07 | 1.97E-07 | 1.32E-07 | 7.89E-08 | 4.11E-08 | 2.02E-08 | 1.13E-08 | 7.57E-09 | 5.61E-09 | 4.41E-09 | 3.62E-09 | 3.06E-09 |
| NE | 2.69E-07 | 1.03E-07 | 6.89E-08 | 4.45E-08 | 2.82E-08 | 1.50E-08 | 8.24E-09 | 5.37E-09 | 3.88E-09 | 2.99E-09 | 2.40E-09 | 1.99E-09 |
| ENE | 2.49E-07 | 9.09E-08 | 6.03E-08 | 3.87E-08 | 2.44E-08 | 1.29E-08 | 7.09E-09 | 4.61E-09 | 3.31E-09 | 2.54E-09 | 2.04E-09 | 1.69E-09 |
| E | 2.13E-07 | 8.11E-08 | 5.41E-08 | 3.46E-08 | 2.11E-08 | 1.08E-08 | 5.90E-09 | 3.84E-09 | 2.77E-09 | 2.14E-09 | 1.72E-09 | 1.43E-09 |
| ESE | 3.56E-07 | 1.32E-07 | 8.16E-08 | 5.14E-08 | 3.01E-08 | 1.52E-08 | 8.27E-09 | 5.41E-09 | 3.92E-09 | 3.03E-09 | 2.45E-09 | 2.04E-09 |
| SE | 4.82E-07 | 1.81E-07 | 1.22E-07 | 7.54E-08 | 4.09E-08 | 1.97E-08 | 1.07E-08 | 7.05E-09 | 5.15E-09 | 4.01E-09 | 3.26E-09 | 2.74E-09 |
| SSE | 4.61E-07 | 1.70E-07 | 1.13E-07 | 6.96E-08 | 3.81E-08 | 1.87E-08 | 1.02E-08 | 6.70E-09 | 4.88E-09 | 3.79E-09 | 3.07E-09 | 2.57E-09 |
| S | 2.37E-07 | 9.42E-08 | 6.30E-08 | 3.84E-08 | 2.15E-08 | 1.10E-08 | 6.12E-09 | 4.07E-09 | 2.99E-09 | 2.33E-09 | 1.90E-09 | 1.60E-09 |
| SSW | 2.56E-07 | 9.86E-08 | 6.30E-08 | 3.70E-08 | 1.96E-08 | 9.80E-09 | 5.51E-09 | 3.68E-09 | 2.72E-09 | 2.13E-09 | 1.74E-09 | 1.47E-09 |
| SW | 2.20E-07 | 8.54E-08 | 5.43E-08 | 3.21E-08 | 1.72E-08 | 8.58E-09 | 4.81E-09 | 3.22E-09 | 2.37E-09 | 1.86E-09 | 1.52E-09 | 1.28E-09 |
| WSW | 1.36E-07 | 5.85E-08 | 3.72E-08 | 2.19E-08 | 1.14E-08 | 5.62E-09 | 3.19E-09 | 2.16E-09 | 1.61E-09 | 1.27E-09 | 1.04E-09 | 8.83E-10 |
| W | 1.23E-07 | 5.60E-08 | 3.53E-08 | 2.12E-08 | 1.12E-08 | 5.58E-09 | 3.18E-09 | 2.16E-09 | 1.61E-09 | 1.27E-09 | 1.05E-09 | 8.89E-10 |
| WNW | 1.20E-07 | 5.50E-08 | 3.49E-08 | 2.09E-08 | 1.12E-08 | 5.55E-09 | 3.16E-09 | 2.14E-09 | 1.59E-09 | 1.26E-09 | 1.04E-09 | 8.77E-10 |
| NW | 1.49E-07 | 6.31E-08 | 3.87E-08 | 2.32E-08 | 1.23E-08 | 6.08E-09 | 3.44E-09 | 2.32E-09 | 1.72E-09 | 1.36E-09 | 1.11E-09 | 9.41E-10 |
| NNW | 1.99E-07 | 8.78E-08 | 5.71E-08 | 3.38E-08 | 1.71E-08 | 8.33E-09 | 4.73E-09 | 3.22E-09 | 2.41E-09 | 1.91E-09 | 1.58E-09 | 1.35E-09 |

表 6.2-8 厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）

元素碘

单位：1/m²

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 3.81E-09 | 1.60E-09 | 1.03E-09 | 6.10E-10 | 3.08E-10 | 1.51E-10 | 8.61E-11 | 5.89E-11 | 4.43E-11 | 3.53E-11 | 2.92E-11 | 2.49E-11 |
| NNE | 5.43E-09 | 2.15E-09 | 1.43E-09 | 8.57E-10 | 4.47E-10 | 2.20E-10 | 1.24E-10 | 8.35E-11 | 6.21E-11 | 4.91E-11 | 4.04E-11 | 3.42E-11 |
| NE | 2.94E-09 | 1.12E-09 | 7.38E-10 | 4.76E-10 | 2.99E-10 | 1.58E-10 | 8.73E-11 | 5.73E-11 | 4.15E-11 | 3.21E-11 | 2.59E-11 | 2.16E-11 |
| ENE | 2.78E-09 | 1.01E-09 | 6.62E-10 | 4.23E-10 | 2.64E-10 | 1.39E-10 | 7.67E-11 | 5.02E-11 | 3.64E-11 | 2.81E-11 | 2.26E-11 | 1.89E-11 |
| E | 2.32E-09 | 8.76E-10 | 5.80E-10 | 3.70E-10 | 2.24E-10 | 1.15E-10 | 6.29E-11 | 4.12E-11 | 2.99E-11 | 2.31E-11 | 1.87E-11 | 1.56E-11 |
| ESE | 3.64E-09 | 1.35E-09 | 8.33E-10 | 5.24E-10 | 3.06E-10 | 1.54E-10 | 8.44E-11 | 5.53E-11 | 4.01E-11 | 3.11E-11 | 2.51E-11 | 2.10E-11 |
| SE | 5.23E-09 | 1.95E-09 | 1.30E-09 | 8.06E-10 | 4.37E-10 | 2.11E-10 | 1.15E-10 | 7.65E-11 | 5.61E-11 | 4.39E-11 | 3.58E-11 | 3.02E-11 |
| SSE | 4.91E-09 | 1.80E-09 | 1.19E-09 | 7.34E-10 | 4.01E-10 | 1.97E-10 | 1.08E-10 | 7.13E-11 | 5.21E-11 | 4.06E-11 | 3.30E-11 | 2.77E-11 |
| S | 3.33E-09 | 1.26E-09 | 8.22E-10 | 5.04E-10 | 2.79E-10 | 1.42E-10 | 8.04E-11 | 5.44E-11 | 4.05E-11 | 3.21E-11 | 2.64E-11 | 2.24E-11 |
| SSW | 3.90E-09 | 1.43E-09 | 8.97E-10 | 5.37E-10 | 2.85E-10 | 1.43E-10 | 8.18E-11 | 5.60E-11 | 4.21E-11 | 3.35E-11 | 2.77E-11 | 2.36E-11 |
| SW | 3.33E-09 | 1.23E-09 | 7.70E-10 | 4.62E-10 | 2.47E-10 | 1.24E-10 | 7.08E-11 | 4.84E-11 | 3.63E-11 | 2.89E-11 | 2.39E-11 | 2.03E-11 |
| WSW | 2.60E-09 | 9.99E-10 | 6.20E-10 | 3.74E-10 | 1.97E-10 | 9.76E-11 | 5.68E-11 | 3.93E-11 | 2.99E-11 | 2.40E-11 | 2.00E-11 | 1.71E-11 |
| W | 2.11E-09 | 8.53E-10 | 5.29E-10 | 3.22E-10 | 1.71E-10 | 8.51E-11 | 4.94E-11 | 3.41E-11 | 2.59E-11 | 2.07E-11 | 1.73E-11 | 1.48E-11 |
| WNW | 2.25E-09 | 8.99E-10 | 5.59E-10 | 3.40E-10 | 1.81E-10 | 9.05E-11 | 5.25E-11 | 3.63E-11 | 2.76E-11 | 2.21E-11 | 1.84E-11 | 1.58E-11 |
| NW | 2.68E-09 | 1.03E-09 | 6.26E-10 | 3.81E-10 | 2.02E-10 | 1.01E-10 | 5.83E-11 | 4.02E-11 | 3.05E-11 | 2.44E-11 | 2.03E-11 | 1.74E-11 |
| NNW | 3.02E-09 | 1.22E-09 | 7.76E-10 | 4.67E-10 | 2.40E-10 | 1.18E-10 | 6.78E-11 | 4.69E-11 | 3.55E-11 | 2.85E-11 | 2.37E-11 | 2.03E-11 |

表 6.2-9 厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）

粒子态核素

单位：1/m²

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 1.18E-09 | 4.24E-10 | 2.62E-10 | 1.60E-10 | 8.38E-11 | 4.15E-11 | 2.45E-11 | 1.72E-11 | 1.33E-11 | 1.07E-11 | 9.03E-12 | 7.78E-12 |
| NNE | 1.30E-09 | 4.67E-10 | 2.95E-10 | 1.80E-10 | 9.52E-11 | 4.73E-11 | 2.75E-11 | 1.92E-11 | 1.46E-11 | 1.18E-11 | 9.87E-12 | 8.47E-12 |
| NE | 6.41E-10 | 2.27E-10 | 1.43E-10 | 9.09E-11 | 5.30E-11 | 2.74E-11 | 1.57E-11 | 1.07E-11 | 8.01E-12 | 6.37E-12 | 5.26E-12 | 4.47E-12 |
| ENE | 6.88E-10 | 2.37E-10 | 1.48E-10 | 9.35E-11 | 5.37E-11 | 2.76E-11 | 1.59E-11 | 1.09E-11 | 8.19E-12 | 6.53E-12 | 5.41E-12 | 4.61E-12 |
| E | 5.03E-10 | 1.78E-10 | 1.12E-10 | 7.09E-11 | 4.05E-11 | 2.05E-11 | 1.17E-11 | 7.99E-12 | 6.00E-12 | 4.77E-12 | 3.95E-12 | 3.36E-12 |
| ESE | 4.80E-10 | 1.73E-10 | 1.06E-10 | 6.68E-11 | 3.83E-11 | 1.93E-11 | 1.07E-11 | 7.17E-12 | 5.29E-12 | 4.15E-12 | 3.40E-12 | 2.86E-12 |
| SE | 1.11E-09 | 3.89E-10 | 2.47E-10 | 1.53E-10 | 8.25E-11 | 4.05E-11 | 2.32E-11 | 1.60E-11 | 1.21E-11 | 9.68E-12 | 8.06E-12 | 6.90E-12 |
| SSE | 9.13E-10 | 3.20E-10 | 2.04E-10 | 1.26E-10 | 6.82E-11 | 3.38E-11 | 1.92E-11 | 1.32E-11 | 9.90E-12 | 7.89E-12 | 6.55E-12 | 5.58E-12 |
| S | 1.68E-09 | 5.75E-10 | 3.51E-10 | 2.19E-10 | 1.18E-10 | 5.90E-11 | 3.49E-11 | 2.47E-11 | 1.90E-11 | 1.54E-11 | 1.30E-11 | 1.12E-11 |
| SSW | 2.26E-09 | 7.68E-10 | 4.65E-10 | 2.88E-10 | 1.53E-10 | 7.67E-11 | 4.57E-11 | 3.24E-11 | 2.50E-11 | 2.04E-11 | 1.72E-11 | 1.49E-11 |
| SW | 1.92E-09 | 6.52E-10 | 3.94E-10 | 2.45E-10 | 1.30E-10 | 6.52E-11 | 3.88E-11 | 2.75E-11 | 2.13E-11 | 1.73E-11 | 1.46E-11 | 1.26E-11 |
| WSW | 2.00E-09 | 6.79E-10 | 4.10E-10 | 2.55E-10 | 1.36E-10 | 6.77E-11 | 4.05E-11 | 2.88E-11 | 2.23E-11 | 1.82E-11 | 1.54E-11 | 1.33E-11 |
| W | 1.44E-09 | 4.96E-10 | 2.99E-10 | 1.86E-10 | 9.91E-11 | 4.96E-11 | 2.96E-11 | 2.10E-11 | 1.63E-11 | 1.33E-11 | 1.12E-11 | 9.68E-12 |
| WNW | 1.69E-09 | 5.79E-10 | 3.49E-10 | 2.17E-10 | 1.16E-10 | 5.79E-11 | 3.46E-11 | 2.46E-11 | 1.91E-11 | 1.55E-11 | 1.31E-11 | 1.14E-11 |
| NW | 1.94E-09 | 6.59E-10 | 3.96E-10 | 2.47E-10 | 1.31E-10 | 6.57E-11 | 3.92E-11 | 2.79E-11 | 2.16E-11 | 1.76E-11 | 1.49E-11 | 1.29E-11 |
| NNW | 1.74E-09 | 6.01E-10 | 3.65E-10 | 2.26E-10 | 1.20E-10 | 5.97E-11 | 3.56E-11 | 2.52E-11 | 1.95E-11 | 1.59E-11 | 1.34E-11 | 1.16E-11 |

表 6.2-10 相对浓度等值线全潮平均包络面积

(1 台高温堆+2×CAP1400 压水堆核电机组，明渠南、北取水+养殖池中间明渠
延长 0.4km 排放)

| 潮型 | 半衰期 | 等相对浓度影响面积 (km ²) | | | | | | |
|-------|------|------------------------------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.005 |
| 夏季半月潮 | 8d | 0.08 | 3.14 | 17.5 | 35.7 | 100 | 255 | 624 |
| | 70d | 0.09 | 4.68 | 20.0 | 45.5 | 162 | 972 | 3023* |
| | 250d | 0.09 | 4.81 | 20.3 | 46.7 | 179 | 1683 | 3320* |
| | 2a | 0.09 | 4.89 | 20.4 | 47.0 | 185 | 1876 | 3386* |
| | 5a | 0.09 | 4.91 | 20.4 | 47.0 | 186 | 1934 | 3414* |
| | 不衰变 | 0.09 | 4.93 | 20.4 | 47.3 | 187 | 1979 | 3425* |
| 冬季半月潮 | 8d | 0.03 | 0.57 | 8.31 | 22.0 | 59.3 | 134 | 363 |
| | 70d | 0.03 | 0.68 | 10.7 | 25.2 | 74.5 | 255 | 1607 |
| | 250d | 0.03 | 0.71 | 10.9 | 25.6 | 76.7 | 307 | 2213 |
| | 2a | 0.03 | 0.72 | 11.0 | 25.7 | 77.2 | 324 | 2297 |
| | 5a | 0.03 | 0.72 | 11.0 | 25.7 | 77.5 | 327 | 2331 |
| | 不衰变 | 0.03 | 0.72 | 11.0 | 25.7 | 77.7 | 331 | 2337 |

*影响范围超出计算域，统计值为计算域内面积。

表 6.2-11 相对浓度等值线全潮最大包络面积

(1 台高温堆+2×CAP1400 压水堆核电机组，明渠南、北取水+养殖池中间明渠
延长 0.4km 排放)

| 潮型 | 半衰期 | 等相对浓度影响面积 (km ²) | | | | | | |
|-------|------|------------------------------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.005 |
| 夏季半月潮 | 8d | 0.01 | 0.09 | 3.52 | 14.0 | 46.1 | 119 | 344 |
| | 70d | 0.01 | 0.14 | 4.80 | 18.9 | 65.4 | 531 | 2510* |
| | 250d | 0.01 | 0.14 | 4.97 | 19.6 | 71.0 | 1210 | 2793* |
| | 2a | 0.01 | 0.14 | 5.02 | 19.8 | 72.2 | 1401 | 2885* |
| | 5a | 0.01 | 0.14 | 5.02 | 19.8 | 72.7 | 1464 | 2928* |
| | 不衰变 | 0.01 | 0.14 | 5.02 | 19.8 | 72.7 | 1498 | 2939* |
| 冬季半月潮 | 8d | <0.01 | 0.02 | 0.30 | 5.60 | 24.7 | 53.5 | 154 |
| | 70d | <0.01 | 0.03 | 0.53 | 7.71 | 29.5 | 101 | 1035 |
| | 250d | <0.01 | 0.03 | 0.55 | 7.93 | 30.2 | 121 | 1678 |
| | 2a | <0.01 | 0.03 | 0.55 | 7.99 | 30.5 | 123 | 1779 |
| | 5a | <0.01 | 0.03 | 0.55 | 8.00 | 30.6 | 123 | 1804 |
| | 不衰变 | <0.01 | 0.03 | 0.55 | 8.02 | 30.6 | 124 | 1817 |

*影响范围超出计算域，统计值为计算域内面积。

表 6.2-12 厂址半径 80km 范围内放射性物质空气浓度活度

^{85}Kr

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 4.47E-01 | 1.94E-01 | 1.27E-01 | 7.44E-02 | 3.73E-02 | 1.82E-02 | 1.03E-02 | 7.00E-03 | 5.24E-03 | 4.16E-03 | 3.43E-03 | 2.91E-03 |
| NNE | 6.75E-01 | 2.71E-01 | 1.82E-01 | 1.09E-01 | 5.67E-02 | 2.79E-02 | 1.56E-02 | 1.05E-02 | 7.74E-03 | 6.09E-03 | 4.99E-03 | 4.22E-03 |
| NE | 3.71E-01 | 1.43E-01 | 9.50E-02 | 6.13E-02 | 3.89E-02 | 2.07E-02 | 1.14E-02 | 7.42E-03 | 5.35E-03 | 4.12E-03 | 3.31E-03 | 2.75E-03 |
| ENE | 3.43E-01 | 1.25E-01 | 8.32E-02 | 5.34E-02 | 3.37E-02 | 1.79E-02 | 9.78E-03 | 6.36E-03 | 4.57E-03 | 3.51E-03 | 2.81E-03 | 2.33E-03 |
| E | 2.93E-01 | 1.12E-01 | 7.47E-02 | 4.77E-02 | 2.91E-02 | 1.49E-02 | 8.15E-03 | 5.30E-03 | 3.83E-03 | 2.95E-03 | 2.37E-03 | 1.97E-03 |
| ESE | 4.91E-01 | 1.82E-01 | 1.13E-01 | 7.09E-02 | 4.15E-02 | 2.09E-02 | 1.14E-02 | 7.47E-03 | 5.41E-03 | 4.18E-03 | 3.38E-03 | 2.82E-03 |
| SE | 6.65E-01 | 2.50E-01 | 1.68E-01 | 1.04E-01 | 5.65E-02 | 2.72E-02 | 1.48E-02 | 9.73E-03 | 7.11E-03 | 5.54E-03 | 4.50E-03 | 3.78E-03 |
| SSE | 6.36E-01 | 2.34E-01 | 1.56E-01 | 9.61E-02 | 5.25E-02 | 2.58E-02 | 1.41E-02 | 9.24E-03 | 6.73E-03 | 5.22E-03 | 4.24E-03 | 3.54E-03 |
| S | 3.27E-01 | 1.30E-01 | 8.69E-02 | 5.30E-02 | 2.96E-02 | 1.51E-02 | 8.45E-03 | 5.62E-03 | 4.12E-03 | 3.22E-03 | 2.62E-03 | 2.20E-03 |
| SSW | 3.53E-01 | 1.36E-01 | 8.69E-02 | 5.10E-02 | 2.70E-02 | 1.35E-02 | 7.60E-03 | 5.08E-03 | 3.75E-03 | 2.94E-03 | 2.41E-03 | 2.03E-03 |
| SW | 3.04E-01 | 1.18E-01 | 7.49E-02 | 4.42E-02 | 2.37E-02 | 1.18E-02 | 6.64E-03 | 4.44E-03 | 3.27E-03 | 2.56E-03 | 2.09E-03 | 1.76E-03 |
| WSW | 1.88E-01 | 8.07E-02 | 5.13E-02 | 3.02E-02 | 1.57E-02 | 7.76E-03 | 4.41E-03 | 2.98E-03 | 2.22E-03 | 1.75E-03 | 1.44E-03 | 1.22E-03 |
| W | 1.70E-01 | 7.73E-02 | 4.87E-02 | 2.93E-02 | 1.54E-02 | 7.70E-03 | 4.39E-03 | 2.97E-03 | 2.22E-03 | 1.76E-03 | 1.45E-03 | 1.23E-03 |
| WNW | 1.66E-01 | 7.59E-02 | 4.82E-02 | 2.89E-02 | 1.54E-02 | 7.66E-03 | 4.36E-03 | 2.95E-03 | 2.20E-03 | 1.74E-03 | 1.43E-03 | 1.21E-03 |
| NW | 2.05E-01 | 8.71E-02 | 5.34E-02 | 3.20E-02 | 1.69E-02 | 8.39E-03 | 4.75E-03 | 3.20E-03 | 2.37E-03 | 1.87E-03 | 1.54E-03 | 1.30E-03 |
| NNW | 2.75E-01 | 1.21E-01 | 7.87E-02 | 4.67E-02 | 2.36E-02 | 1.15E-02 | 6.53E-03 | 4.44E-03 | 3.33E-03 | 2.64E-03 | 2.18E-03 | 1.86E-03 |

表 6.2-13 厂址半径 80km 范围内放射性物质空气浓度活度

^{133}Xe

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 2.05E+00 | 8.90E-01 | 5.81E-01 | 3.40E-01 | 1.70E-01 | 8.17E-02 | 4.58E-02 | 3.07E-02 | 2.26E-02 | 1.77E-02 | 1.45E-02 | 1.21E-02 |
| NNE | 3.10E+00 | 1.24E+00 | 8.36E-01 | 4.98E-01 | 2.58E-01 | 1.26E-01 | 6.95E-02 | 4.61E-02 | 3.38E-02 | 2.63E-02 | 2.13E-02 | 1.79E-02 |
| NE | 1.70E+00 | 6.54E-01 | 4.35E-01 | 2.81E-01 | 1.77E-01 | 9.32E-02 | 5.05E-02 | 3.25E-02 | 2.32E-02 | 1.76E-02 | 1.40E-02 | 1.15E-02 |
| ENE | 1.58E+00 | 5.75E-01 | 3.82E-01 | 2.44E-01 | 1.53E-01 | 8.03E-02 | 4.34E-02 | 2.78E-02 | 1.97E-02 | 1.50E-02 | 1.18E-02 | 9.70E-03 |
| E | 1.35E+00 | 5.14E-01 | 3.42E-01 | 2.18E-01 | 1.33E-01 | 6.75E-02 | 3.63E-02 | 2.34E-02 | 1.66E-02 | 1.27E-02 | 1.01E-02 | 8.27E-03 |
| ESE | 2.26E+00 | 8.33E-01 | 5.16E-01 | 3.25E-01 | 1.89E-01 | 9.44E-02 | 5.09E-02 | 3.29E-02 | 2.36E-02 | 1.80E-02 | 1.44E-02 | 1.19E-02 |
| SE | 3.05E+00 | 1.15E+00 | 7.70E-01 | 4.76E-01 | 2.58E-01 | 1.23E-01 | 6.61E-02 | 4.30E-02 | 3.11E-02 | 2.40E-02 | 1.94E-02 | 1.61E-02 |
| SSE | 2.92E+00 | 1.08E+00 | 7.17E-01 | 4.40E-01 | 2.39E-01 | 1.16E-01 | 6.27E-02 | 4.07E-02 | 2.93E-02 | 2.25E-02 | 1.81E-02 | 1.50E-02 |
| S | 1.50E+00 | 5.96E-01 | 3.98E-01 | 2.42E-01 | 1.35E-01 | 6.83E-02 | 3.76E-02 | 2.47E-02 | 1.79E-02 | 1.38E-02 | 1.12E-02 | 9.26E-03 |
| SSW | 1.62E+00 | 6.24E-01 | 3.98E-01 | 2.33E-01 | 1.23E-01 | 6.09E-02 | 3.38E-02 | 2.23E-02 | 1.63E-02 | 1.26E-02 | 1.02E-02 | 8.51E-03 |
| SW | 1.39E+00 | 5.41E-01 | 3.44E-01 | 2.02E-01 | 1.08E-01 | 5.32E-02 | 2.94E-02 | 1.94E-02 | 1.41E-02 | 1.09E-02 | 8.81E-03 | 7.32E-03 |
| WSW | 8.61E-01 | 3.70E-01 | 2.35E-01 | 1.38E-01 | 7.15E-02 | 3.49E-02 | 1.95E-02 | 1.30E-02 | 9.55E-03 | 7.45E-03 | 6.04E-03 | 5.05E-03 |
| W | 7.79E-01 | 3.54E-01 | 2.23E-01 | 1.34E-01 | 7.02E-02 | 3.45E-02 | 1.93E-02 | 1.29E-02 | 9.48E-03 | 7.39E-03 | 6.00E-03 | 5.01E-03 |
| WNW | 7.61E-01 | 3.48E-01 | 2.21E-01 | 1.32E-01 | 6.99E-02 | 3.43E-02 | 1.91E-02 | 1.27E-02 | 9.32E-03 | 7.25E-03 | 5.87E-03 | 4.89E-03 |
| NW | 9.42E-01 | 3.99E-01 | 2.45E-01 | 1.46E-01 | 7.67E-02 | 3.76E-02 | 2.09E-02 | 1.39E-02 | 1.01E-02 | 7.86E-03 | 6.35E-03 | 5.28E-03 |
| NNW | 1.26E+00 | 5.55E-01 | 3.61E-01 | 2.13E-01 | 1.08E-01 | 5.17E-02 | 2.90E-02 | 1.95E-02 | 1.44E-02 | 1.13E-02 | 9.21E-03 | 7.73E-03 |

表 6.2-14 厂址半径 80km 范围内放射性物质空气浓度活度

^{131}I

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 8.09E-05 | 3.25E-05 | 2.05E-05 | 1.13E-05 | 5.30E-06 | 2.39E-06 | 1.19E-06 | 7.27E-07 | 4.82E-07 | 3.64E-07 | 2.80E-07 | 2.10E-07 |
| NNE | 1.22E-04 | 4.54E-05 | 2.95E-05 | 1.66E-05 | 8.06E-06 | 3.68E-06 | 1.80E-06 | 1.08E-06 | 7.11E-07 | 5.34E-07 | 4.07E-07 | 3.04E-07 |
| NE | 6.72E-05 | 2.39E-05 | 1.54E-05 | 9.33E-06 | 5.53E-06 | 2.73E-06 | 1.31E-06 | 7.68E-07 | 4.91E-07 | 3.60E-07 | 2.69E-07 | 1.97E-07 |
| ENE | 6.22E-05 | 2.10E-05 | 1.35E-05 | 8.11E-06 | 4.79E-06 | 2.35E-06 | 1.13E-06 | 6.57E-07 | 4.18E-07 | 3.05E-07 | 2.28E-07 | 1.66E-07 |
| E | 5.31E-05 | 1.88E-05 | 1.21E-05 | 7.26E-06 | 4.14E-06 | 1.97E-06 | 9.47E-07 | 5.53E-07 | 3.54E-07 | 2.60E-07 | 1.95E-07 | 1.43E-07 |
| ESE | 8.89E-05 | 3.05E-05 | 1.82E-05 | 1.08E-05 | 5.90E-06 | 2.76E-06 | 1.32E-06 | 7.77E-07 | 4.99E-07 | 3.68E-07 | 2.77E-07 | 2.04E-07 |
| SE | 1.20E-04 | 4.19E-05 | 2.72E-05 | 1.58E-05 | 8.03E-06 | 3.59E-06 | 1.72E-06 | 1.01E-06 | 6.57E-07 | 4.88E-07 | 3.70E-07 | 2.74E-07 |
| SSE | 1.15E-04 | 3.93E-05 | 2.53E-05 | 1.46E-05 | 7.47E-06 | 3.40E-06 | 1.63E-06 | 9.62E-07 | 6.21E-07 | 4.60E-07 | 3.47E-07 | 2.57E-07 |
| S | 5.92E-05 | 2.18E-05 | 1.41E-05 | 8.06E-06 | 4.22E-06 | 2.00E-06 | 9.84E-07 | 5.88E-07 | 3.83E-07 | 2.86E-07 | 2.17E-07 | 1.61E-07 |
| SSW | 6.40E-05 | 2.28E-05 | 1.41E-05 | 7.76E-06 | 3.85E-06 | 1.79E-06 | 8.85E-07 | 5.32E-07 | 3.48E-07 | 2.61E-07 | 1.99E-07 | 1.48E-07 |
| SW | 5.50E-05 | 1.98E-05 | 1.21E-05 | 6.73E-06 | 3.37E-06 | 1.57E-06 | 7.75E-07 | 4.65E-07 | 3.05E-07 | 2.28E-07 | 1.74E-07 | 1.30E-07 |
| WSW | 3.39E-05 | 1.35E-05 | 8.30E-06 | 4.60E-06 | 2.24E-06 | 1.03E-06 | 5.14E-07 | 3.12E-07 | 2.06E-07 | 1.56E-07 | 1.19E-07 | 8.93E-08 |
| W | 3.07E-05 | 1.29E-05 | 7.87E-06 | 4.46E-06 | 2.20E-06 | 1.02E-06 | 5.11E-07 | 3.11E-07 | 2.06E-07 | 1.56E-07 | 1.20E-07 | 8.97E-08 |
| WNW | 3.00E-05 | 1.27E-05 | 7.80E-06 | 4.40E-06 | 2.19E-06 | 1.01E-06 | 5.08E-07 | 3.08E-07 | 2.04E-07 | 1.54E-07 | 1.18E-07 | 8.86E-08 |
| NW | 3.71E-05 | 1.46E-05 | 8.64E-06 | 4.87E-06 | 2.40E-06 | 1.11E-06 | 5.52E-07 | 3.33E-07 | 2.19E-07 | 1.65E-07 | 1.26E-07 | 9.41E-08 |
| NNW | 4.97E-05 | 2.03E-05 | 1.27E-05 | 7.10E-06 | 3.37E-06 | 1.52E-06 | 7.62E-07 | 4.66E-07 | 3.10E-07 | 2.35E-07 | 1.81E-07 | 1.36E-07 |

表 6.2-15 厂址半径 80km 范围内放射性物质空气浓度活度

^{137}Cs

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 7.57E-05 | 3.04E-05 | 1.92E-05 | 1.06E-05 | 4.97E-06 | 2.25E-06 | 1.12E-06 | 6.85E-07 | 4.54E-07 | 3.44E-07 | 2.65E-07 | 1.99E-07 |
| NNE | 1.14E-04 | 4.25E-05 | 2.76E-05 | 1.55E-05 | 7.54E-06 | 3.44E-06 | 1.69E-06 | 1.02E-06 | 6.68E-07 | 5.02E-07 | 3.83E-07 | 2.86E-07 |
| NE | 6.29E-05 | 2.24E-05 | 1.44E-05 | 8.73E-06 | 5.18E-06 | 2.56E-06 | 1.23E-06 | 7.22E-07 | 4.62E-07 | 3.39E-07 | 2.54E-07 | 1.86E-07 |
| ENE | 5.82E-05 | 1.97E-05 | 1.26E-05 | 7.59E-06 | 4.48E-06 | 2.20E-06 | 1.06E-06 | 6.17E-07 | 3.93E-07 | 2.88E-07 | 2.15E-07 | 1.57E-07 |
| E | 4.96E-05 | 1.76E-05 | 1.13E-05 | 6.80E-06 | 3.88E-06 | 1.85E-06 | 8.89E-07 | 5.21E-07 | 3.34E-07 | 2.45E-07 | 1.84E-07 | 1.35E-07 |
| ESE | 8.32E-05 | 2.85E-05 | 1.70E-05 | 1.01E-05 | 5.53E-06 | 2.59E-06 | 1.24E-06 | 7.30E-07 | 4.70E-07 | 3.47E-07 | 2.61E-07 | 1.93E-07 |
| SE | 1.13E-04 | 3.92E-05 | 2.54E-05 | 1.48E-05 | 7.52E-06 | 3.36E-06 | 1.61E-06 | 9.52E-07 | 6.17E-07 | 4.59E-07 | 3.48E-07 | 2.58E-07 |
| SSE | 1.08E-04 | 3.67E-05 | 2.37E-05 | 1.37E-05 | 6.99E-06 | 3.19E-06 | 1.53E-06 | 9.04E-07 | 5.85E-07 | 4.33E-07 | 3.28E-07 | 2.43E-07 |
| S | 5.54E-05 | 2.04E-05 | 1.32E-05 | 7.54E-06 | 3.96E-06 | 1.88E-06 | 9.26E-07 | 5.54E-07 | 3.62E-07 | 2.71E-07 | 2.06E-07 | 1.53E-07 |
| SSW | 5.98E-05 | 2.13E-05 | 1.32E-05 | 7.26E-06 | 3.60E-06 | 1.68E-06 | 8.33E-07 | 5.02E-07 | 3.30E-07 | 2.47E-07 | 1.89E-07 | 1.41E-07 |
| SW | 5.14E-05 | 1.85E-05 | 1.14E-05 | 6.30E-06 | 3.16E-06 | 1.47E-06 | 7.31E-07 | 4.41E-07 | 2.90E-07 | 2.17E-07 | 1.66E-07 | 1.24E-07 |
| WSW | 3.18E-05 | 1.27E-05 | 7.77E-06 | 4.31E-06 | 2.10E-06 | 9.66E-07 | 4.85E-07 | 2.95E-07 | 1.96E-07 | 1.48E-07 | 1.14E-07 | 8.57E-08 |
| W | 2.87E-05 | 1.21E-05 | 7.37E-06 | 4.18E-06 | 2.06E-06 | 9.58E-07 | 4.83E-07 | 2.95E-07 | 1.96E-07 | 1.49E-07 | 1.15E-07 | 8.65E-08 |
| WNW | 2.80E-05 | 1.19E-05 | 7.30E-06 | 4.12E-06 | 2.06E-06 | 9.55E-07 | 4.81E-07 | 2.93E-07 | 1.95E-07 | 1.48E-07 | 1.14E-07 | 8.58E-08 |
| NW | 3.47E-05 | 1.36E-05 | 8.09E-06 | 4.56E-06 | 2.25E-06 | 1.04E-06 | 5.21E-07 | 3.16E-07 | 2.09E-07 | 1.57E-07 | 1.21E-07 | 9.04E-08 |
| NNW | 4.65E-05 | 1.90E-05 | 1.19E-05 | 6.65E-06 | 3.15E-06 | 1.43E-06 | 7.18E-07 | 4.40E-07 | 2.94E-07 | 2.24E-07 | 1.73E-07 | 1.31E-07 |

表 6.2-16 厂址半径 80km 范围内放射性物质空气浓度活度

^3H

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 1.08E-01 | 4.68E-02 | 3.06E-02 | 1.80E-02 | 9.01E-03 | 4.38E-03 | 2.49E-03 | 1.69E-03 | 1.26E-03 | 1.00E-03 | 8.28E-04 | 7.03E-04 |
| NNE | 1.63E-01 | 6.54E-02 | 4.40E-02 | 2.63E-02 | 1.37E-02 | 6.73E-03 | 3.76E-03 | 2.52E-03 | 1.87E-03 | 1.47E-03 | 1.21E-03 | 1.02E-03 |
| NE | 8.96E-02 | 3.44E-02 | 2.29E-02 | 1.48E-02 | 9.40E-03 | 5.00E-03 | 2.74E-03 | 1.79E-03 | 1.29E-03 | 9.94E-04 | 8.00E-04 | 6.64E-04 |
| ENE | 8.29E-02 | 3.03E-02 | 2.01E-02 | 1.29E-02 | 8.14E-03 | 4.31E-03 | 2.36E-03 | 1.53E-03 | 1.10E-03 | 8.46E-04 | 6.79E-04 | 5.63E-04 |
| E | 7.08E-02 | 2.70E-02 | 1.80E-02 | 1.15E-02 | 7.03E-03 | 3.61E-03 | 1.97E-03 | 1.28E-03 | 9.23E-04 | 7.11E-04 | 5.72E-04 | 4.75E-04 |
| ESE | 1.19E-01 | 4.39E-02 | 2.72E-02 | 1.71E-02 | 1.00E-02 | 5.05E-03 | 2.76E-03 | 1.80E-03 | 1.31E-03 | 1.01E-03 | 8.16E-04 | 6.80E-04 |
| SE | 1.60E-01 | 6.03E-02 | 4.06E-02 | 2.51E-02 | 1.36E-02 | 6.56E-03 | 3.57E-03 | 2.35E-03 | 1.72E-03 | 1.34E-03 | 1.09E-03 | 9.12E-04 |
| SSE | 1.53E-01 | 5.65E-02 | 3.77E-02 | 2.32E-02 | 1.27E-02 | 6.22E-03 | 3.39E-03 | 2.23E-03 | 1.62E-03 | 1.26E-03 | 1.02E-03 | 8.55E-04 |
| S | 7.90E-02 | 3.14E-02 | 2.10E-02 | 1.28E-02 | 7.15E-03 | 3.65E-03 | 2.04E-03 | 1.35E-03 | 9.94E-04 | 7.77E-04 | 6.32E-04 | 5.31E-04 |
| SSW | 8.53E-02 | 3.28E-02 | 2.10E-02 | 1.23E-02 | 6.52E-03 | 3.26E-03 | 1.83E-03 | 1.23E-03 | 9.05E-04 | 7.10E-04 | 5.80E-04 | 4.89E-04 |
| SW | 7.33E-02 | 2.84E-02 | 1.81E-02 | 1.07E-02 | 5.71E-03 | 2.86E-03 | 1.60E-03 | 1.07E-03 | 7.90E-04 | 6.19E-04 | 5.05E-04 | 4.26E-04 |
| WSW | 4.53E-02 | 1.95E-02 | 1.24E-02 | 7.30E-03 | 3.79E-03 | 1.87E-03 | 1.06E-03 | 7.19E-04 | 5.35E-04 | 4.22E-04 | 3.47E-04 | 2.94E-04 |
| W | 4.10E-02 | 1.86E-02 | 1.17E-02 | 7.07E-03 | 3.73E-03 | 1.86E-03 | 1.06E-03 | 7.18E-04 | 5.35E-04 | 4.24E-04 | 3.49E-04 | 2.96E-04 |
| WNW | 4.00E-02 | 1.83E-02 | 1.16E-02 | 6.97E-03 | 3.72E-03 | 1.85E-03 | 1.05E-03 | 7.11E-04 | 5.30E-04 | 4.19E-04 | 3.45E-04 | 2.92E-04 |
| NW | 4.95E-02 | 2.10E-02 | 1.29E-02 | 7.72E-03 | 4.08E-03 | 2.02E-03 | 1.15E-03 | 7.72E-04 | 5.73E-04 | 4.52E-04 | 3.71E-04 | 3.13E-04 |
| NNW | 6.63E-02 | 2.92E-02 | 1.90E-02 | 1.13E-02 | 5.70E-03 | 2.77E-03 | 1.58E-03 | 1.07E-03 | 8.03E-04 | 6.37E-04 | 5.27E-04 | 4.48E-04 |

表 6.2-17 厂址半径 80km 范围内放射性物质空气浓度活度

^{14}C

单位: s/m^3

| 距离 (km) 方位 | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | 9.27E-03 | 4.02E-03 | 2.63E-03 | 1.54E-03 | 7.74E-04 | 3.77E-04 | 2.14E-04 | 1.45E-04 | 1.09E-04 | 8.61E-05 | 7.11E-05 | 6.04E-05 |
| NNE | 1.40E-02 | 5.62E-03 | 3.78E-03 | 2.26E-03 | 1.17E-03 | 5.78E-04 | 3.23E-04 | 2.17E-04 | 1.60E-04 | 1.26E-04 | 1.04E-04 | 8.74E-05 |
| NE | 7.69E-03 | 2.96E-03 | 1.97E-03 | 1.27E-03 | 8.07E-04 | 4.29E-04 | 2.36E-04 | 1.54E-04 | 1.11E-04 | 8.54E-05 | 6.87E-05 | 5.70E-05 |
| ENE | 7.12E-03 | 2.60E-03 | 1.73E-03 | 1.11E-03 | 6.99E-04 | 3.70E-04 | 2.03E-04 | 1.32E-04 | 9.48E-05 | 7.27E-05 | 5.83E-05 | 4.83E-05 |
| E | 6.08E-03 | 2.32E-03 | 1.55E-03 | 9.89E-04 | 6.04E-04 | 3.10E-04 | 1.69E-04 | 1.10E-04 | 7.93E-05 | 6.11E-05 | 4.91E-05 | 4.08E-05 |
| ESE | 1.02E-02 | 3.77E-03 | 2.33E-03 | 1.47E-03 | 8.60E-04 | 4.34E-04 | 2.37E-04 | 1.55E-04 | 1.12E-04 | 8.67E-05 | 7.00E-05 | 5.84E-05 |
| SE | 1.38E-02 | 5.18E-03 | 3.48E-03 | 2.16E-03 | 1.17E-03 | 5.63E-04 | 3.06E-04 | 2.02E-04 | 1.47E-04 | 1.15E-04 | 9.34E-05 | 7.83E-05 |
| SSE | 1.32E-02 | 4.86E-03 | 3.24E-03 | 1.99E-03 | 1.09E-03 | 5.35E-04 | 2.91E-04 | 1.92E-04 | 1.39E-04 | 1.08E-04 | 8.78E-05 | 7.34E-05 |
| S | 6.78E-03 | 2.69E-03 | 1.80E-03 | 1.10E-03 | 6.14E-04 | 3.14E-04 | 1.75E-04 | 1.16E-04 | 8.54E-05 | 6.67E-05 | 5.43E-05 | 4.56E-05 |
| SSW | 7.32E-03 | 2.82E-03 | 1.80E-03 | 1.06E-03 | 5.60E-04 | 2.80E-04 | 1.57E-04 | 1.05E-04 | 7.77E-05 | 6.10E-05 | 4.98E-05 | 4.20E-05 |
| SW | 6.29E-03 | 2.44E-03 | 1.55E-03 | 9.17E-04 | 4.91E-04 | 2.45E-04 | 1.38E-04 | 9.20E-05 | 6.78E-05 | 5.31E-05 | 4.34E-05 | 3.66E-05 |
| WSW | 3.89E-03 | 1.67E-03 | 1.06E-03 | 6.27E-04 | 3.26E-04 | 1.61E-04 | 9.13E-05 | 6.17E-05 | 4.59E-05 | 3.63E-05 | 2.98E-05 | 2.52E-05 |
| W | 3.52E-03 | 1.60E-03 | 1.01E-03 | 6.07E-04 | 3.20E-04 | 1.60E-04 | 9.09E-05 | 6.16E-05 | 4.60E-05 | 3.64E-05 | 3.00E-05 | 2.54E-05 |
| WNW | 3.43E-03 | 1.57E-03 | 9.99E-04 | 5.99E-04 | 3.19E-04 | 1.59E-04 | 9.03E-05 | 6.11E-05 | 4.55E-05 | 3.60E-05 | 2.96E-05 | 2.51E-05 |
| NW | 4.25E-03 | 1.80E-03 | 1.11E-03 | 6.63E-04 | 3.50E-04 | 1.74E-04 | 9.84E-05 | 6.63E-05 | 4.92E-05 | 3.88E-05 | 3.18E-05 | 2.69E-05 |
| NNW | 5.69E-03 | 2.51E-03 | 1.63E-03 | 9.67E-04 | 4.90E-04 | 2.38E-04 | 1.35E-04 | 9.20E-05 | 6.89E-05 | 5.47E-05 | 4.52E-05 | 3.85E-05 |

表 6.2-18 总排放口浓度（5 种放射性核素）

| 放射性核素 | I ~IV类海域浓度标准 (Bq/L) | 单机组排放量 (Bq/a) | 液态流出物排放量 (m ³ /a) | 液态流出物排放速率 (m ³ /h) | 单机组冬季循环冷却水排放量 (m ³ /s) | 总排放口浓度 (Bq/L) |
|-------------------|------------------------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| ⁶⁰ Co | 0.03 | 6.33E+07 | 3260 | 22 | 62.25 | 3.81E-03 |
| ⁹⁰ Sr | 4 | 1.81E+05 | 3260 | 22 | 62.25 | 1.09E-05 |
| ¹⁰⁶ Ru | 0.2 | 1.68E+04 | 3260 | 22 | 62.25 | 1.01E-06 |
| ¹³⁴ Cs | 0.6 | 2.71E+09 | 3260 | 22 | 62.25 | 1.63E-01 |
| ¹³⁷ Cs | 0.7 | 2.22E+09 | 3260 | 22 | 62.25 | 1.34E-01 |

表 6.2-19 计算气态辐射途径所用的剂量转换因子

| 核素 | 衰变常数 (1/s) | 空气浸没 ^(a) (Sv/s) / (Bq/m ³) | 沉积 ^(a) (Sv/s) / (Bq/m ²) | 吸入 ^(b) (Sv/Bq) | | | | 食入 ^(b) (Sv/Bq) | | | |
|--------------------|---------------|--|--|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | | | | 婴儿 | 儿童 | 青少年 | 成人 | 婴儿 | 儿童 | 青少年 | 成人 |
| ^{83m} Kr | 1.49E-04 | 2.43E-18 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ^{85m} Kr | 4.30E-05 | 6.83E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ⁸⁵ Kr | 2.09E-09 | 2.55E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ⁸⁷ Kr | 1.52E-04 | 3.94E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ⁸⁸ Kr | 6.78E-05 | 9.72E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ⁸⁹ Kr | 5.43E-03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ^{131m} Xe | 6.81E-07 | 3.70E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ^{133m} Xe | 3.55E-06 | 1.27E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ¹³³ Xe | 1.53E-06 | 1.39E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ^{135m} Xe | 7.55E-04 | 1.85E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ¹³⁵ Xe | 2.15E-05 | 1.11E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ¹³⁷ Xe | 4.36E-03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ¹³⁸ Xe | 1.20E-03 | 5.44E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ¹²⁹ I | 1.40E-15 | 3.81E-16 | 2.63E-17 | 7.20E-08 | 8.60E-08 | 6.70E-08 | 3.60E-08 | 1.80E-07 | 2.20E-07 | 1.90E-07 | 1.10E-07 |
| ¹³⁰ I | 2.26E-05 | 1.40E-13 | 2.10E-15 | 8.20E-09 | 7.40E-09 | 1.60E-09 | 6.70E-10 | 2.10E-08 | 1.80E-08 | 4.60E-09 | 2.00E-09 |
| ¹³¹ I | 9.98E-07 | 1.84E-14 | 3.81E-16 | 7.20E-08 | 7.20E-08 | 1.90E-08 | 7.40E-09 | 1.80E-07 | 1.80E-07 | 5.20E-08 | 2.20E-08 |
| ¹³² I | 8.37E-05 | 1.14E-13 | 2.28E-15 | 1.10E-09 | 9.60E-10 | 2.20E-10 | 1.10E-10 | 3.00E-09 | 2.40E-09 | 6.20E-10 | 2.90E-10 |
| ¹³³ I | 9.25E-06 | 3.01E-14 | 6.34E-16 | 1.90E-08 | 1.80E-08 | 3.80E-09 | 1.50E-09 | 4.90E-08 | 4.40E-08 | 1.00E-08 | 4.30E-09 |
| ¹³⁴ I | 2.20E-04 | 1.33E-13 | 6.34E-16 | 4.80E-10 | 3.70E-10 | 1.10E-10 | 5.50E-11 | 1.10E-09 | 7.50E-10 | 2.10E-10 | 1.10E-10 |
| ¹³⁵ I | 2.91E-05 | 8.24E-14 | 1.52E-15 | 4.10E-09 | 3.70E-09 | 7.90E-10 | 3.20E-10 | 1.00E-08 | 8.90E-09 | 2.20E-09 | 9.30E-10 |

注:

(a) 取自《空气、水和土壤中核素导致的外照射》(美国联邦导则 12 号报告, 1993);

(b) 取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 6.2-19 续 计算气态辐射途径所用的剂量转换因子

| 核素 | 衰变常数 (1/s) | 空气浸没 ^(a) (Sv/s) / (Bq/m ³) | 沉积 ^(a) (Sv/s) / (Bq/m ²) | 吸入 ^(b) (Sv/Bq) | | | | 食入 ^(b) (Sv/Bq) | | | |
|--------------------|---------------|--|--|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | | | | 婴儿 | 儿童 | 青少年 | 成人 | 婴儿 | 儿童 | 青少年 | 成人 |
| ⁶⁵ Zn | 4.75E-08 | 2.92E-14 | 5.71E-16 | 1.50E-08 | 1.00E-08 | 3.80E-09 | 2.20E-09 | 3.60E-08 | 1.60E-08 | 6.40E-09 | 3.90E-09 |
| ⁵¹ Cr | 2.89E-07 | 1.52E-15 | 3.11E-17 | 2.60E-10 | 2.10E-10 | 6.60E-11 | 3.70E-11 | 3.50E-10 | 2.30E-10 | 7.80E-11 | 3.80E-11 |
| ⁵⁴ Mn | 2.57E-08 | 4.12E-14 | 8.24E-16 | 7.50E-09 | 6.20E-09 | 2.40E-09 | 1.50E-09 | 5.40E-09 | 3.10E-09 | 1.30E-09 | 7.10E-10 |
| ⁵⁵ Fe | 1.17E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.20E-09 | 3.20E-09 | 1.40E-09 | 7.70E-10 | 7.60E-09 | 2.40E-09 | 1.10E-09 | 3.30E-10 |
| ⁵⁹ Fe | 1.80E-07 | 6.02E-14 | 1.14E-15 | 2.10E-08 | 1.30E-08 | 5.80E-09 | 4.00E-09 | 3.90E-08 | 1.30E-08 | 4.70E-09 | 1.80E-09 |
| ⁵⁸ Co | 1.13E-07 | 4.76E-14 | 9.51E-16 | 9.00E-09 | 7.50E-09 | 3.10E-09 | 2.10E-09 | 7.30E-09 | 4.40E-09 | 1.70E-09 | 7.40E-10 |
| ⁶⁰ Co | 4.17E-09 | 1.27E-13 | 2.38E-15 | 9.20E-08 | 8.60E-08 | 4.00E-08 | 3.10E-08 | 5.40E-08 | 2.70E-08 | 1.10E-08 | 3.40E-09 |
| ¹²⁴ Sb | 1.92E-07 | 9.20E-14 | 1.78E-15 | 3.90E-08 | 3.10E-08 | 1.30E-08 | 8.60E-09 | 2.50E-08 | 1.60E-08 | 5.20E-09 | 2.50E-09 |
| ^{110m} Ag | 4.62E-08 | 1.36E-13 | 2.70E-15 | 4.60E-08 | 4.10E-08 | 1.80E-08 | 1.20E-08 | 2.40E-08 | 1.40E-08 | 5.20E-09 | 2.80E-09 |
| ⁸³ Br | 1.18E-04 | 3.82E-16 | 8.13E-18 | 3.50E-10 | 2.30E-10 | 7.70E-11 | 4.80E-11 | 5.30E-10 | 3.00E-10 | 8.30E-11 | 4.30E-11 |
| ⁸⁴ Br | 5.26E-04 | 9.41E-14 | 1.60E-15 | 3.70E-10 | 2.40E-10 | 7.70E-11 | 3.70E-11 | 1.00E-09 | 5.80E-10 | 1.60E-10 | 8.80E-11 |
| ⁸⁵ Br | 5.56E-03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ⁸⁸ Rb | 9.36E-04 | 3.36E-14 | 5.95E-16 | 1.90E-10 | 1.20E-10 | 3.20E-11 | 1.60E-11 | 1.10E-09 | 6.20E-10 | 1.70E-10 | 9.00E-11 |
| ⁸⁹ Rb | 1.10E-03 | 1.06E-13 | 1.91E-15 | 1.40E-10 | 9.30E-11 | 2.70E-11 | 1.40E-11 | 5.40E-10 | 3.00E-10 | 8.60E-11 | 4.70E-11 |
| ⁸⁹ Sr | 1.59E-07 | 4.44E-16 | 6.98E-17 | 3.90E-08 | 3.00E-08 | 1.20E-08 | 7.90E-09 | 3.60E-08 | 1.80E-08 | 5.80E-09 | 2.60E-09 |
| ⁹⁰ Sr | 7.67E-10 | 9.83E-17 | 1.11E-16 | 4.20E-07 | 4.00E-07 | 1.80E-07 | 1.60E-07 | 2.30E-07 | 7.30E-08 | 6.00E-08 | 2.80E-08 |
| ⁹¹ Sr | 2.86E-05 | 3.45E-14 | 6.77E-16 | 3.50E-09 | 2.50E-09 | 7.70E-10 | 4.10E-10 | 5.20E-09 | 4.00E-09 | 1.20E-09 | 6.50E-10 |
| ⁹² Sr | 1.03E-04 | 6.79E-14 | 1.25E-15 | 2.20E-09 | 1.50E-09 | 4.50E-10 | 2.30E-10 | 3.40E-09 | 2.70E-09 | 8.20E-10 | 4.30E-10 |
| ⁹⁰ Y | 4.33E-06 | 8.24E-16 | 1.11E-16 | 1.30E-08 | 8.80E-09 | 2.70E-09 | 1.50E-09 | 3.10E-08 | 2.00E-08 | 5.90E-09 | 2.70E-09 |
| ^{91m} Y | 3.31E-04 | 2.55E-14 | 5.23E-16 | 7.40E-11 | 5.90E-11 | 2.00E-11 | 1.10E-11 | 9.20E-11 | 6.00E-11 | 2.10E-11 | 1.10E-11 |
| ⁹¹ Y | 1.98E-07 | 6.34E-16 | 7.61E-17 | 4.30E-08 | 3.40E-08 | 1.30E-08 | 8.90E-09 | 2.80E-08 | 1.80E-08 | 5.20E-09 | 2.40E-09 |
| ⁹² Y | 7.94E-05 | 1.30E-14 | 2.53E-16 | 1.90E-09 | 1.20E-09 | 3.50E-10 | 1.80E-10 | 5.90E-09 | 3.60E-09 | 1.00E-09 | 4.90E-10 |
| ⁹³ Y | 2.75E-05 | 4.80E-15 | 9.12E-17 | 4.60E-09 | 3.00E-09 | 8.50E-10 | 4.20E-10 | 1.40E-08 | 8.50E-09 | 2.50E-09 | 1.20E-09 |
| ⁹⁵ Zr | 1.25E-07 | 3.49E-14 | 1.49E-15 | 2.40E-08 | 1.90E-08 | 8.30E-09 | 5.90E-09 | 8.50E-09 | 5.60E-09 | 1.90E-09 | 9.50E-10 |
| ⁹⁵ Nb | 2.29E-07 | 3.81E-14 | 7.61E-16 | 7.70E-09 | 5.90E-09 | 2.50E-09 | 1.80E-09 | 4.60E-09 | 3.20E-09 | 1.10E-09 | 5.80E-10 |

注:

(a) 取自《空气、水和土壤中核素导致的外照射》(美国联邦导则 12 号报告, 1993);

(b) 取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 6.2-19 续 计算气态辐射途径所用的剂量转换因子

| 核素 | 衰变常数 (1/s) | 空气浸没 ^(a) (Sv/s) / (Bq/m ³) | 沉积 ^(a) (Sv/s) / (Bq/m ²) | 吸入 ^(b) (Sv/Bq) | | | | 食入 ^(b) (Sv/Bq) | | | |
|--------------------|---------------|--|--|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | | | | 婴儿 | 儿童 | 青少年 | 成人 | 婴儿 | 儿童 | 青少年 | 成人 |
| ⁹⁹ Mo | 4.20E-06 | 1.27E-14 | 2.92E-16 | 6.90E-09 | 4.80E-09 | 1.70E-09 | 9.90E-10 | 5.50E-09 | 3.50E-09 | 1.10E-09 | 6.00E-10 |
| ^{99m} Tc | 4.61E-05 | 6.02E-15 | 1.24E-16 | 1.30E-10 | 1.00E-10 | 3.50E-11 | 2.00E-11 | 2.00E-10 | 1.30E-10 | 4.30E-11 | 2.20E-11 |
| ¹⁰³ Ru | 2.04E-07 | 2.28E-14 | 4.76E-16 | 1.30E-08 | 1.00E-08 | 4.20E-09 | 3.00E-09 | 7.10E-09 | 4.60E-09 | 1.50E-09 | 7.30E-10 |
| ^{103m} Rh | 2.97E-04 | 8.80E-18 | 1.25E-18 | 2.00E-11 | 1.30E-11 | 4.30E-12 | 2.70E-12 | 4.70E-11 | 2.70E-11 | 7.40E-12 | 3.80E-12 |
| ¹⁰⁶ Ru | 2.18E-08 | 1.14E-14 | 3.49E-16 | 2.60E-07 | 2.30E-07 | 9.10E-08 | 6.60E-08 | 8.40E-08 | 4.90E-08 | 1.50E-08 | 7.00E-09 |
| ¹⁰⁶ Rh | 1.25E-04 | 1.04E-14 | 2.12E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ^{127m} Te | 1.06E-07 | 1.55E-16 | 2.22E-17 | 4.10E-08 | 3.30E-08 | 1.40E-08 | 9.80E-09 | 4.10E-08 | 1.80E-08 | 5.20E-09 | 2.30E-09 |
| ^{129m} Te | 3.39E-07 | 1.71E-15 | 6.02E-17 | 3.80E-08 | 2.90E-08 | 1.20E-08 | 7.90E-09 | 4.40E-08 | 2.40E-08 | 6.60E-09 | 3.00E-09 |
| ¹²⁹ Te | 2.42E-04 | 2.75E-15 | 6.01E-17 | 3.50E-10 | 2.30E-10 | 6.90E-11 | 3.90E-11 | 7.50E-10 | 4.40E-10 | 1.20E-10 | 6.30E-11 |
| ^{131m} Te | 9.26E-06 | 7.93E-14 | 1.55E-15 | 8.70E-09 | 7.60E-09 | 2.00E-09 | 9.40E-10 | 2.00E-08 | 1.40E-08 | 4.30E-09 | 1.90E-09 |
| ¹³¹ Te | 6.72E-04 | 2.04E-14 | 4.10E-16 | 2.60E-10 | 2.00E-10 | 5.30E-11 | 2.80E-11 | 9.00E-10 | 6.60E-10 | 1.90E-10 | 8.70E-11 |
| ¹³² Te | 3.56E-06 | 1.05E-14 | 2.51E-15 | 2.20E-08 | 1.80E-08 | 4.20E-09 | 2.00E-09 | 4.80E-08 | 3.00E-08 | 8.30E-09 | 3.80E-09 |
| ¹³⁴ Te | 3.97E-04 | 4.24E-14 | 8.67E-16 | 5.60E-10 | 4.00E-10 | 1.30E-10 | 6.80E-11 | 1.10E-09 | 7.50E-10 | 2.20E-10 | 1.10E-10 |
| ¹³⁴ Cs | 1.07E-08 | 7.61E-14 | 1.55E-15 | 7.00E-08 | 6.30E-08 | 2.80E-08 | 2.00E-08 | 2.60E-08 | 1.60E-08 | 1.90E-08 | 1.90E-08 |
| ¹³⁶ Cs | 6.12E-07 | 1.08E-13 | 2.12E-15 | 1.50E-08 | 1.10E-08 | 4.10E-09 | 2.80E-09 | 1.50E-08 | 9.50E-09 | 4.40E-09 | 3.00E-09 |
| ¹³⁷ Cs | 7.32E-10 | 2.76E-14 | 5.71E-16 | 1.10E-07 | 1.00E-07 | 4.80E-08 | 3.90E-08 | 2.10E-08 | 1.20E-08 | 1.30E-08 | 1.30E-08 |
| ¹³⁸ Cs | 5.19E-04 | 1.21E-13 | 2.19E-15 | 4.20E-10 | 2.80E-10 | 8.20E-11 | 4.30E-11 | 1.10E-09 | 5.90E-10 | 1.70E-10 | 9.20E-11 |
| ^{137m} Ba | 6.53E-03 | 2.88E-14 | 5.86E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ¹⁴⁰ Ba | 6.32E-07 | 8.58E-15 | 1.80E-16 | 2.90E-08 | 2.20E-08 | 8.60E-09 | 5.80E-09 | 3.20E-08 | 1.80E-08 | 5.80E-09 | 2.60E-09 |
| ¹⁴⁰ La | 6.90E-06 | 1.17E-13 | 2.16E-15 | 8.80E-09 | 6.30E-09 | 2.00E-09 | 1.10E-09 | 2.00E-08 | 1.30E-08 | 4.20E-09 | 2.00E-09 |
| ¹⁴¹ Ce | 2.47E-07 | 3.49E-15 | 7.61E-17 | 1.60E-08 | 1.20E-08 | 5.30E-09 | 3.80E-09 | 8.10E-09 | 5.10E-09 | 1.50E-09 | 7.10E-10 |
| ¹⁴³ Ce | 8.42E-06 | 1.29E-14 | 2.79E-16 | 5.90E-09 | 4.10E-09 | 1.40E-09 | 8.30E-10 | 1.20E-08 | 8.00E-09 | 2.40E-09 | 1.10E-09 |
| ¹⁴³ Pr | 8.52E-07 | 2.10E-17 | 7.01E-19 | 1.30E-08 | 9.20E-09 | 3.60E-09 | 2.40E-09 | 1.40E-08 | 8.70E-09 | 2.60E-09 | 1.20E-09 |
| ¹⁴⁴ Ce | 4.07E-08 | 3.49E-15 | 1.81E-16 | 3.60E-07 | 2.70E-07 | 7.80E-08 | 5.30E-08 | 6.60E-08 | 3.90E-08 | 1.10E-08 | 5.20E-09 |
| ¹⁴⁴ Pr | 9.63E-04 | 1.95E-15 | 3.78E-17 | 1.90E-10 | 1.20E-10 | 3.40E-11 | 1.80E-11 | 6.40E-10 | 3.50E-10 | 9.50E-11 | 5.00E-11 |
| ³ H | 1.79E-09 | 3.31E-19 | 0.00E+00 | 3.40E-10 | 2.70E-10 | 8.20E-11 | 4.50E-11 | 6.40E-11 | 4.80E-11 | 2.30E-11 | 1.80E-11 |
| ¹⁴ C | 3.84E-12 | 2.24E-19 | 0.00E+00 | 1.90E-08 | 1.70E-08 | 7.40E-09 | 5.80E-09 | 1.40E-09 | 1.60E-09 | 8.00E-10 | 5.80E-10 |

注:

(a) 取自《空气、水和土壤中核素导致的外照射》(美国联邦导则 12 号报告, 1993);

(b) 取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 6.2-20 计算液态辐射途径所用的剂量转换因子

| 核素 | 淹没在水体 ^a (Sv/h) / (Bq/m ³) | 岸边沉积 ^a (Sv/h) / (Bq/m ²) | 食入 ^b (Sv/Bq) | | | |
|--------------------|---|--|-------------------------|----------|----------|----------|
| | | | 婴儿 | 儿童 | 青少年 | 成人 |
| ⁵¹ Cr | 2.90E-07 | 1.12E-13 | 1.19E-14 | 3.50E-10 | 2.30E-10 | 7.80E-11 |
| ⁵⁴ Mn | 2.57E-08 | 2.97E-12 | 3.20E-13 | 5.40E-09 | 3.10E-09 | 1.30E-09 |
| ⁵⁵ Fe | 8.14E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.60E-09 | 2.40E-09 | 1.10E-09 |
| ⁵⁹ Fe | 1.80E-07 | 4.11E-12 | 4.17E-13 | 3.90E-08 | 1.30E-08 | 4.70E-09 |
| ⁵⁸ Co | 1.13E-07 | 3.42E-12 | 3.41E-13 | 7.30E-09 | 4.40E-09 | 1.70E-09 |
| ⁶⁰ Co | 4.17E-09 | 8.56E-12 | 8.79E-13 | 5.40E-08 | 2.70E-08 | 1.10E-08 |
| ⁶⁵ Zn | 3.29E-08 | 1.99E-12 | 2.26E-13 | 3.60E-08 | 1.60E-08 | 6.40E-09 |
| ^{110m} Ag | 3.21E-08 | 9.70E-12 | 3.33E-13 | 2.40E-08 | 1.40E-08 | 5.20E-09 |
| ¹²⁴ Sb | 1.33E-07 | 6.39E-12 | 7.13E-13 | 2.50E-08 | 1.60E-08 | 5.20E-09 |
| ⁸³ Br | 8.06E-05 | 2.93E-14 | 2.97E-15 | 5.30E-10 | 3.00E-10 | 8.30E-11 |
| ⁸⁴ Br | 3.63E-04 | 5.76E-12 | 7.34E-13 | 1.00E-09 | 5.80E-10 | 1.60E-10 |
| ⁸⁵ Br | 1.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ⁸⁸ Rb | 6.48E-04 | 2.14E-12 | 2.61E-13 | 1.10E-09 | 6.20E-10 | 1.70E-10 |
| ⁸⁹ Sr | 1.59E-07 | 2.51E-13 | 5.36E-16 | 3.60E-08 | 1.80E-08 | 5.80E-09 |
| ⁹⁰ Sr | 7.55E-10 | 4.00E-13 | 5.26E-17 | 2.30E-07 | 7.30E-08 | 8.00E-08 |
| ⁹¹ Sr | 2.03E-05 | 2.44E-12 | 2.69E-13 | 5.20E-09 | 4.00E-09 | 1.20E-09 |
| ⁹² Sr | 7.10E-05 | 4.50E-12 | 5.29E-13 | 3.40E-09 | 2.70E-09 | 8.20E-10 |
| ⁹⁰ Y | 3.00E-06 | 4.00E-13 | 1.31E-15 | 3.10E-08 | 2.00E-08 | 5.90E-09 |
| ^{91m} Y | 2.33E-04 | 1.88E-12 | 1.99E-13 | 9.20E-11 | 6.00E-11 | 2.10E-11 |
| ⁹¹ Y | 1.37E-07 | 2.74E-13 | 1.96E-15 | 2.80E-08 | 1.80E-08 | 5.20E-09 |
| ⁹² Y | 5.44E-05 | 9.11E-13 | 1.01E-13 | 5.90E-09 | 3.60E-09 | 1.00E-09 |
| ⁹³ Y | 1.91E-05 | 3.28E-13 | 3.71E-14 | 1.40E-08 | 8.50E-09 | 2.50E-09 |
| ⁹⁵ Zr | 1.25E-07 | 5.37E-12 | 2.82E-13 | 8.50E-09 | 5.60E-09 | 1.90E-09 |
| ⁹⁵ Nb | 2.29E-07 | 2.74E-12 | 2.92E-13 | 4.60E-09 | 3.20E-09 | 1.10E-09 |
| ⁹⁹ Mo | 2.92E-06 | 1.05E-12 | 5.69E-14 | 5.50E-09 | 3.50E-09 | 1.10E-09 |
| ^{99m} Tc | 3.20E-05 | 4.45E-13 | 4.72E-14 | 2.00E-10 | 1.30E-10 | 4.30E-11 |
| ¹⁰³ Ru | 2.04E-07 | 1.71E-12 | 1.76E-13 | 7.10E-09 | 4.60E-09 | 1.50E-09 |
| ^{103m} Rh | 2.06E-04 | 4.50E-15 | 7.45E-17 | 4.70E-11 | 2.70E-11 | 7.40E-12 |
| ¹⁰⁶ Ru | 2.18E-08 | 1.26E-12 | 1.40E-13 | 8.40E-08 | 4.90E-08 | 1.50E-08 |
| ¹⁰⁶ Rh | 1.25E-04 | 7.63E-13 | 8.06E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |

注：

(a) 取自《滨海核电厂液态放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》(NB/T20199-2013)、《空气、水和土壤中核素导致的外照射》(美国联邦导则 12 号报告, 1993)。

(b) 取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 6.2-20 续 计算液态辐射途径所用的剂量转换因子

| 核素 | 淹没在水体 ^a (Sv/h) / (Bq/m ³) | 岸边沉积 ^a (Sv/h) / (Bq/m ²) | 食入 ^b (Sv/Bq) | | | |
|--------------------|---|--|-------------------------|----------|----------|----------|
| | | | 婴儿 | 儿童 | 青少年 | 成人 |
| ^{127m} Te | 7.36E-08 | 4.07E-14 | 1.24E-15 | 4.10E-08 | 1.80E-08 | 5.20E-09 |
| ^{129m} Te | 2.39E-07 | 1.36E-13 | 1.22E-14 | 4.40E-08 | 2.40E-08 | 6.60E-09 |
| ¹²⁹ Te | 1.66E-04 | 2.16E-13 | 2.16E-14 | 7.50E-10 | 4.40E-10 | 1.20E-10 |
| ^{131m} Te | 6.42E-06 | 5.59E-12 | 5.47E-13 | 2.00E-08 | 1.40E-08 | 4.30E-09 |
| ¹³¹ Te | 4.62E-04 | 1.48E-12 | 1.60E-13 | 9.00E-10 | 6.60E-10 | 1.90E-10 |
| ¹³² Te | 2.46E-06 | 9.02E-12 | 8.21E-14 | 4.80E-08 | 3.00E-08 | 8.30E-09 |
| ¹³⁴ Te | 2.77E-04 | 3.12E-12 | 3.33E-13 | 1.10E-09 | 7.50E-10 | 2.20E-10 |
| ¹²⁹ I | 1.40E-15 | 9.29E-14 | 3.21E-15 | 1.80E-07 | 2.20E-07 | 1.90E-07 |
| ¹³⁰ I | 1.55E-05 | 7.56E-12 | 8.10E-13 | 2.10E-08 | 1.80E-08 | 4.60E-09 |
| ¹³¹ I | 9.98E-07 | 1.37E-12 | 1.43E-13 | 1.80E-07 | 1.80E-07 | 5.20E-08 |
| ¹³² I | 8.37E-05 | 8.22E-12 | 8.75E-13 | 3.00E-09 | 2.40E-09 | 6.20E-10 |
| ¹³³ I | 9.26E-06 | 2.28E-12 | 2.30E-13 | 4.90E-08 | 4.40E-08 | 1.00E-08 |
| ¹³⁴ I | 2.20E-04 | 9.47E-12 | 1.02E-12 | 1.10E-09 | 7.50E-10 | 2.10E-10 |
| ¹³⁵ I | 2.91E-05 | 5.48E-12 | 6.23E-13 | 1.00E-08 | 8.90E-09 | 2.20E-09 |
| ¹³⁴ Cs | 1.07E-08 | 5.59E-12 | 5.90E-13 | 2.60E-08 | 1.60E-08 | 1.90E-08 |
| ¹³⁶ Cs | 6.12E-07 | 7.65E-12 | 8.32E-13 | 1.50E-08 | 9.50E-09 | 4.40E-09 |
| ¹³⁷ Cs | 7.33E-10 | 2.05E-12 | 5.36E-17 | 2.10E-08 | 1.20E-08 | 1.30E-08 |
| ¹³⁸ Cs | 3.59E-04 | 7.88E-12 | 9.43E-13 | 1.10E-09 | 5.90E-10 | 1.70E-10 |
| ^{137m} Ba | 6.50E-03 | 2.11E-12 | 2.25E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| ¹⁴⁰ Ba | 6.32E-07 | 6.25E-13 | 6.73E-14 | 3.20E-08 | 1.80E-08 | 5.80E-09 |
| ¹⁴⁰ La | 4.78E-06 | 6.67E-12 | 9.14E-13 | 2.00E-08 | 1.30E-08 | 4.20E-09 |
| ¹⁴¹ Ce | 2.47E-07 | 2.74E-13 | 2.74E-14 | 8.10E-09 | 5.10E-09 | 1.50E-09 |
| ¹⁴³ Ce | 5.81E-06 | 1.00E-12 | 1.02E-13 | 1.20E-08 | 8.00E-09 | 2.40E-09 |
| ¹⁴³ Pr | 5.90E-07 | 2.79E-20 | 1.45E-16 | 1.40E-08 | 8.70E-09 | 2.60E-09 |
| ¹⁴⁴ Ce | 2.82E-08 | 6.51E-13 | 6.88E-15 | 6.60E-08 | 3.90E-08 | 1.10E-08 |
| ¹⁴⁴ Pr | 6.69E-04 | 9.17E-14 | 1.49E-14 | 6.40E-10 | 3.50E-10 | 9.50E-11 |
| ³ H | 1.79E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.40E-11 | 4.80E-11 | 2.30E-11 |
| ¹⁴ C | 3.84E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.40E-09 | 1.60E-09 | 8.00E-10 |

注：

- (a) 取自《滨海核电厂液态放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》(NB/T20199-2013)、《空气、水和土壤中核素导致的外照射》(美国联邦导则 12 号报告, 1993)。
- (b) 取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 6.2-21 生物浓集因子

单位: Bq kg⁻¹/ (Bq L⁻¹)

| 核素 \ 水生生物 | 深海鱼 | 软体动物 | 甲壳类 | 大型海藻 | 哺乳类 | 浅海鱼 | 浮游植物 | 脉管类植物 | 浮游动物 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cr | 1.20E+02 | 2.18E+02 | 1.00E+03 | 3.60E+02 | 1.20E+02 | 1.20E+02 | 5.00E+03 | 4.90E+02 | 1.00E+03 |
| Mn | 8.97E+03 | 5.83E+03 | 2.51E+04 | 6.85E+03 | 4.50E+03 | 8.97E+03 | 2.73E+03 | 3.05E+04 | 2.57E+03 |
| Fe | 3.00E+04 | 5.00E+05 | 5.00E+05 | 2.00E+04 | 3.00E+07 | 3.00E+04 | 4.00E+05 | 4.00E+05 | 7.00E+05 |
| Co | 4.85E+03 | 3.44E+03 | 2.54E+03 | 1.66E+03 | 5.00E+02 | 4.85E+03 | 2.98E+03 | 5.21E+01 | 4.56E+03 |
| Zn | 1.18E+04 | 2.66E+03 | 1.90E+02 | 3.70E+00 | 1.18E+04 | 1.18E+04 | 2.85E+03 | 2.85E+03 | 1.00E+05 |
| Ag | 1.00E+04 | 2.24E+04 | 2.24E+04 | 4.90E+03 | 2.20E+04 | 1.00E+04 | 5.18E+04 | 4.90E+03 | 6.67E+03 |
| Sb | 2.90E+00 | 1.85E+02 | 6.90E+00 | 2.00E+02 | 2.90E+00 | 2.90E+00 | 2.00E+02 | 2.00E+02 | 1.31E+03 |
| Sr | 2.48E+01 | 1.08E+02 | 8.34E+01 | 2.86E+01 | 1.60E+02 | 2.48E+01 | 1.91E+02 | 3.00E+00 | 6.70E+01 |
| Y | 1.60E+01 | 2.66E+03 | 8.20E+02 | 1.70E+02 | 1.60E+01 | 1.60E+01 | 2.85E+03 | 2.85E+03 | 2.66E+03 |
| Zr | 8.52E+01 | 4.75E+01 | 4.90E+01 | 2.02E+03 | 8.52E+01 | 8.52E+01 | 1.11E+04 | 1.10E+03 | 1.52E+04 |
| Nb | 3.00E+01 | 7.01E+03 | 1.00E+02 | 3.73E+02 | 3.00E+01 | 3.00E+01 | 4.57E+03 | 4.21E+04 | 7.01E+03 |
| Tc | 1.69E+04 | 1.05E+04 | 1.69E+04 | 5.42E+04 | 1.69E+04 | 1.69E+04 | 4.90E+00 | 5.42E+04 | 1.69E+04 |
| Ru | 2.82E+01 | 2.02E+03 | 2.02E+03 | 1.14E+03 | 2.82E+01 | 2.82E+01 | 6.20E+03 | 1.14E+03 | 3.00E+04 |
| Rh | 2.20E+04 | 1.34E+05 | 8.83E+04 | 5.42E+04 | 2.20E+04 | 1.18E+04 | 5.18E+04 | 3.05E+04 | 1.52E+04 |
| Te | 6.81E+02 | 1.85E+03 | 1.85E+03 | 3.55E+02 | 8.30E+03 | 6.81E+02 | 1.31E+04 | 7.14E+01 | 9.76E+02 |
| I | 8.08E+00 | 5.37E+01 | 3.92E+01 | 5.56E+03 | 6.80E-01 | 8.08E+00 | 9.50E+02 | 2.40E+01 | 4.69E+03 |
| Cs | 8.18E+01 | 6.03E+01 | 5.21E+01 | 8.51E+01 | 2.12E+02 | 8.18E+01 | 8.52E+00 | 1.04E+01 | 1.31E+02 |
| Ba | 2.00E+01 | 6.23E+02 | 4.70E+02 | 5.30E+01 | 1.60E+02 | 2.00E+01 | 5.12E+01 | 2.02E+02 | 4.70E+02 |
| La | 5.70E+03 | 1.24E+04 | 5.70E+03 | 1.10E+04 | 5.70E+03 | 5.70E+03 | 1.10E+04 | 1.10E+04 | 1.24E+04 |
| Ce | 1.15E+02 | 1.19E+03 | 1.87E+03 | 1.71E+03 | 1.15E+02 | 1.15E+02 | 1.07E+04 | 1.55E+02 | 1.87E+03 |
| H | 1.00E+00 | 1.00E+00 | 1.00E+00 | 1.00E+00 | 1.00E+00 | 1.00E+00 | 1.00E+00 | 1.00E+00 | 1.00E+00 |
| C | 1.20E+02 | 2.18E+02 | 1.00E+03 | 3.60E+02 | 1.20E+02 | 1.20E+02 | 5.00E+03 | 4.90E+02 | 1.00E+03 |

表 6.2-22 沉积物吸附分配因子

单位: L/kg

| | | | | | |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 核素 | Cr | Mn | Fe | Co | Zn |
| 分配系数 (K _d) | 1.33E+05 | 5.33E+06 | 3.00E+08 | 7.99E+05 | 1.86E+05 |
| 核素 | Ag | Sb | Sr | Y | Zr |
| 分配系数 (K _d) | 2.66E+04 | 5.33E+03 | 2.13E+01 | 9.00E+05 | 5.33E+06 |
| 核素 | Nb | Tc | Ru | Rh | Te |
| 分配系数 (K _d) | 2.13E+06 | 2.66E+02 | 1.07E+05 | 3.00E+05 | 2.66E+03 |
| 核素 | I | Cs | Ba | La | Ce |
| 分配系数 (K _d) | 1.86E+02 | 1.07E+04 | 5.33E+03 | 7.99E+06 | 7.99E+06 |
| 核素 | H | C | | | |
| 分配系数 (K _d) | 2.66E+00 | 1.33E+05 | | | |

表 6.2-23 居留因子

| 水生生物 | 水表 | 水体 | 沉积物表面 | 沉积物内 |
|-------|----|----|-------|------|
| 深海鱼 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 软体动物 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 甲壳类 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 大型海藻 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 哺乳动物 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 浅海鱼 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 浮游植物 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 脉管类植物 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 浮游动物 | 0 | 1 | 0 | 0 |

表 6.2-24 水生生物外照射剂量率

单位: $\mu\text{Gy/h}$

| 核素 \ 水生生物 | 深海鱼 | 软体动物 | 甲壳类 | 大型海藻 | 哺乳动物 | 浅海鱼 | 浮游植物 | 脉管类植物 | 浮游动物 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ^{51}Cr | 2.70E-04 | 2.87E-04 | 2.59E-04 | 2.90E-04 | 1.75E-09 | 3.98E-09 | 4.53E-09 | 2.86E-04 | 4.49E-09 |
| ^{54}Mn | 1.75E-01 | 1.85E-01 | 1.69E-01 | 1.86E-01 | 3.31E-08 | 6.45E-08 | 7.18E-08 | 1.84E-01 | 7.15E-08 |
| ^{55}Fe | 4.03E-04 | 1.68E-03 | 4.73E-04 | 1.25E-03 | 5.25E-13 | 3.47E-12 | 8.66E-11 | 1.44E-03 | 5.43E-11 |
| ^{59}Fe | 5.83E+00 | 6.13E+00 | 5.63E+00 | 6.19E+00 | 2.08E-08 | 3.82E-08 | 4.32E-08 | 6.11E+00 | 4.23E-08 |
| ^{58}Co | 9.11E-02 | 9.62E-02 | 8.78E-02 | 9.72E-02 | 1.13E-07 | 2.24E-07 | 2.52E-07 | 9.59E-02 | 2.49E-07 |
| ^{60}Co | 2.03E-01 | 2.13E-01 | 1.96E-01 | 2.15E-01 | 2.76E-07 | 5.00E-07 | 5.54E-07 | 2.13E-01 | 5.50E-07 |
| ^{65}Zn | 2.90E-04 | 3.05E-04 | 2.80E-04 | 3.07E-04 | 1.64E-09 | 3.05E-09 | 3.39E-09 | 3.04E-04 | 3.37E-09 |
| $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | 1.31E-03 | 1.39E-03 | 1.27E-03 | 1.40E-03 | 5.04E-08 | 9.69E-08 | 1.09E-07 | 1.38E-03 | 1.08E-07 |
| ^{124}Sb | 6.94E-05 | 7.35E-05 | 6.67E-05 | 7.60E-05 | 1.38E-08 | 2.55E-08 | 3.22E-08 | 7.31E-05 | 3.04E-08 |
| ^{89}Sr | 3.20E-09 | 5.95E-09 | 1.79E-09 | 1.61E-08 | 2.94E-11 | 1.83E-10 | 5.36E-09 | 5.34E-09 | 2.97E-09 |
| ^{90}Sr | 5.96E-10 | 9.24E-10 | 2.81E-10 | 2.23E-09 | 4.55E-12 | 2.94E-11 | 5.78E-10 | 8.29E-10 | 3.87E-10 |
| ^{91}Sr | 9.40E-08 | 1.04E-07 | 8.74E-08 | 1.22E-07 | 3.94E-09 | 8.03E-09 | 1.74E-08 | 1.02E-07 | 1.38E-08 |
| ^{92}Sr | 1.82E-08 | 2.04E-08 | 1.66E-08 | 2.35E-08 | 7.99E-10 | 1.53E-09 | 2.97E-09 | 1.99E-08 | 2.67E-09 |
| ^{91}Y | 2.50E-05 | 4.37E-05 | 1.46E-05 | 1.14E-04 | 7.75E-12 | 3.66E-11 | 9.00E-10 | 3.94E-05 | 5.12E-10 |
| $^{91\text{m}}\text{Y}$ | 1.09E-03 | 1.20E-03 | 1.02E-03 | 1.40E-03 | 1.09E-09 | 2.33E-09 | 4.97E-09 | 1.18E-03 | 3.87E-09 |
| ^{92}Y | 2.38E-04 | 3.11E-04 | 1.78E-04 | 4.60E-04 | 1.69E-10 | 4.20E-10 | 1.96E-09 | 2.92E-04 | 1.67E-09 |
| ^{93}Y | 3.78E-05 | 5.04E-05 | 2.51E-05 | 8.96E-05 | 2.18E-11 | 6.04E-11 | 4.38E-10 | 4.67E-05 | 3.48E-10 |
| ^{95}Zr | 5.20E-02 | 5.49E-02 | 5.01E-02 | 5.55E-02 | 9.64E-09 | 1.92E-08 | 2.18E-08 | 5.48E-02 | 2.14E-08 |
| ^{95}Nb | 1.81E-02 | 1.91E-02 | 1.75E-02 | 1.93E-02 | 8.43E-09 | 1.67E-08 | 1.87E-08 | 1.91E-02 | 1.86E-08 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 1.42E-05 | 1.52E-05 | 1.37E-05 | 1.53E-05 | 4.07E-08 | 1.05E-07 | 1.20E-07 | 1.52E-05 | 1.18E-07 |
| ^{103}Ru | 1.05E-04 | 1.11E-04 | 1.00E-04 | 1.12E-04 | 9.06E-10 | 1.93E-09 | 2.20E-09 | 1.11E-04 | 2.16E-09 |
| $^{103\text{m}}\text{Rh}$ | 6.20E-08 | 1.14E-07 | 4.80E-08 | 1.34E-07 | 5.41E-14 | 3.67E-13 | 1.64E-12 | 1.10E-07 | 1.22E-12 |
| ^{106}Ru | 1.17E-06 | 1.53E-06 | 8.46E-07 | 2.40E-06 | 6.23E-12 | 1.70E-11 | 8.94E-11 | 1.43E-06 | 7.47E-11 |
| $^{127\text{m}}\text{Te}$ | 7.97E-08 | 1.22E-07 | 7.06E-08 | 1.90E-07 | 1.55E-11 | 5.67E-11 | 6.31E-10 | 1.16E-07 | 2.43E-10 |
| $^{129\text{m}}\text{Te}$ | 1.76E-06 | 2.28E-06 | 1.50E-06 | 3.74E-06 | 4.76E-10 | 1.18E-09 | 7.79E-09 | 2.18E-06 | 4.68E-09 |
| ^{129}Te | 1.20E-06 | 1.57E-06 | 1.03E-06 | 2.64E-06 | 3.26E-10 | 8.09E-10 | 5.84E-09 | 1.50E-06 | 3.37E-09 |

表 6.2-24 续 水生生物外照射剂量率

单位: $\mu\text{Gy/h}$

| 水生生物 核素 | 深海鱼 | 软体动物 | 甲壳类 | 大型海藻 | 哺乳动物 | 浅海鱼 | 浮游植物 | 脉管类植物 | 浮游动物 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ^{131}Te | 9.63E-06 | 1.06E-05 | 9.02E-06 | 1.22E-05 | 3.14E-09 | 6.94E-09 | 1.38E-08 | 1.05E-05 | 1.11E-08 |
| $^{131\text{m}}\text{Te}$ | 8.64E-05 | 9.18E-05 | 8.29E-05 | 9.46E-05 | 3.17E-08 | 6.35E-08 | 8.08E-08 | 9.14E-05 | 7.51E-08 |
| ^{132}Te | 1.15E-03 | 1.22E-03 | 1.10E-03 | 1.27E-03 | 4.20E-07 | 8.44E-07 | 1.09E-06 | 1.22E-03 | 1.01E-06 |
| ^{134}Te | 3.52E-05 | 3.74E-05 | 3.38E-05 | 3.87E-05 | 1.31E-08 | 2.59E-08 | 3.32E-08 | 3.72E-05 | 3.09E-08 |
| ^{129}I | 2.40E-13 | 3.14E-13 | 2.05E-13 | 3.28E-13 | 4.47E-16 | 2.38E-15 | 4.42E-15 | 3.10E-13 | 3.97E-15 |
| ^{130}I | 3.94E-06 | 4.18E-06 | 3.79E-06 | 4.25E-06 | 2.03E-08 | 4.13E-08 | 4.96E-08 | 4.16E-06 | 4.71E-08 |
| ^{131}I | 1.70E-04 | 1.82E-04 | 1.63E-04 | 1.87E-04 | 8.05E-07 | 1.78E-06 | 2.42E-06 | 1.81E-04 | 2.11E-06 |
| ^{132}I | 3.78E-04 | 4.02E-04 | 3.63E-04 | 4.17E-04 | 2.01E-06 | 3.95E-06 | 5.11E-06 | 4.00E-04 | 4.75E-06 |
| ^{133}I | 3.07E-04 | 3.33E-04 | 2.93E-04 | 3.58E-04 | 1.50E-06 | 3.20E-06 | 5.34E-06 | 3.31E-04 | 4.32E-06 |
| ^{134}I | 4.67E-05 | 4.96E-05 | 4.48E-05 | 5.15E-05 | 2.53E-07 | 4.87E-07 | 6.34E-07 | 4.93E-05 | 5.89E-07 |
| ^{135}I | 3.87E-04 | 4.11E-04 | 3.74E-04 | 4.26E-04 | 2.16E-06 | 4.06E-06 | 5.52E-06 | 4.09E-04 | 4.87E-06 |
| ^{134}Cs | 7.12E-02 | 7.54E-02 | 6.86E-02 | 7.64E-02 | 6.54E-06 | 1.31E-05 | 1.53E-05 | 7.51E-02 | 1.48E-05 |
| ^{136}Cs | 8.64E-02 | 9.12E-02 | 8.33E-02 | 9.21E-02 | 8.22E-06 | 1.59E-05 | 1.80E-05 | 9.09E-02 | 1.77E-05 |
| ^{137}Cs | 2.13E-02 | 2.27E-02 | 2.04E-02 | 2.35E-02 | 1.92E-06 | 3.91E-06 | 5.40E-06 | 2.26E-02 | 4.71E-06 |
| ^{138}Cs | 2.95E-03 | 3.18E-03 | 2.76E-03 | 3.51E-03 | 2.90E-07 | 5.29E-07 | 8.32E-07 | 3.14E-03 | 7.71E-07 |
| ^{140}Ba | 1.03E-04 | 1.10E-04 | 9.94E-05 | 1.14E-04 | 2.07E-08 | 3.80E-08 | 5.17E-08 | 1.09E-04 | 4.63E-08 |
| ^{140}La | 2.17E-02 | 2.30E-02 | 2.09E-02 | 2.38E-02 | 2.94E-09 | 5.33E-09 | 6.90E-09 | 2.29E-02 | 6.37E-09 |
| ^{141}Ce | 1.01E-03 | 1.12E-03 | 9.73E-04 | 1.18E-03 | 9.44E-11 | 2.50E-10 | 4.70E-10 | 1.11E-03 | 3.32E-10 |
| ^{143}Ce | 6.53E-04 | 7.49E-04 | 6.15E-04 | 9.10E-04 | 6.77E-11 | 1.58E-10 | 4.87E-10 | 7.37E-04 | 3.03E-10 |
| ^{144}Ce | 3.62E-02 | 5.11E-02 | 2.11E-02 | 9.87E-02 | 1.61E-09 | 5.89E-09 | 5.76E-08 | 4.67E-02 | 4.49E-08 |
| ^3H | 4.23E-10 | 1.58E-09 | 5.11E-12 | 1.21E-06 | 1.01E-11 | 3.13E-12 | 5.29E-08 | 1.44E-09 | 6.11E-11 |
| ^{14}C | 7.24E-06 | 2.91E-05 | 8.63E-06 | 8.66E-05 | 1.08E-09 | 7.10E-09 | 5.08E-07 | 2.51E-05 | 1.30E-07 |
| ^{90}Y | 6.25E-12 | 9.53E-12 | 2.90E-12 | 2.29E-11 | 4.71E-14 | 3.04E-13 | 5.58E-12 | 8.56E-12 | 3.96E-12 |
| ^{106}Rh | 1.59E-12 | 2.09E-12 | 1.15E-12 | 3.27E-12 | 8.50E-18 | 2.32E-17 | 1.22E-16 | 1.95E-12 | 1.02E-16 |
| $^{137\text{m}}\text{Ba}$ | 1.49E-07 | 1.59E-07 | 1.44E-07 | 1.62E-07 | 1.35E-11 | 2.75E-11 | 3.35E-11 | 1.58E-07 | 3.18E-11 |

注: ^{90}Y 、 ^{106}Rh 、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 为衰变子核素, 下同。

表 6.2-25 水生生物内照射剂量率

单位: $\mu\text{Gy/h}$

| 水生生物 核素 | 深海鱼 | 软体动物 | 甲壳类 | 大型海藻 | 哺乳动物 | 浅海鱼 | 浮游植物 | 脉管类植物 | 浮游动物 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ^{51}Cr | 1.25E-07 | 2.01E-07 | 1.12E-06 | 4.97E-07 | 2.58E-07 | 1.29E-07 | 6.24E-06 | 6.95E-07 | 8.37E-07 |
| ^{54}Mn | 5.88E-05 | 1.90E-05 | 2.19E-04 | 1.97E-05 | 1.64E-04 | 6.83E-05 | 2.98E-06 | 1.12E-04 | 3.27E-06 |
| ^{55}Fe | 4.72E-05 | 7.83E-04 | 7.87E-04 | 3.14E-05 | 4.73E-02 | 4.72E-05 | 5.96E-04 | 6.27E-04 | 1.07E-03 |
| ^{59}Fe | 2.23E-04 | 2.71E-03 | 4.37E-03 | 1.01E-04 | 7.64E-01 | 2.42E-04 | 1.23E-03 | 2.22E-03 | 2.79E-03 |
| ^{58}Co | 1.10E-04 | 4.69E-05 | 7.24E-05 | 2.48E-05 | 5.18E-05 | 1.24E-04 | 2.07E-05 | 9.21E-07 | 3.55E-05 |
| ^{60}Co | 3.02E-04 | 1.27E-04 | 2.00E-04 | 5.52E-05 | 1.46E-04 | 3.41E-04 | 5.19E-05 | 2.02E-06 | 9.70E-05 |
| ^{65}Zn | 3.97E-06 | 5.14E-07 | 8.21E-08 | 6.83E-10 | 1.93E-05 | 4.51E-06 | 2.72E-07 | 6.20E-07 | 1.02E-05 |
| $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | 1.11E-04 | 1.40E-04 | 3.18E-04 | 2.79E-05 | 1.19E-03 | 1.27E-04 | 1.03E-04 | 3.46E-05 | 1.92E-05 |
| ^{124}Sb | 1.47E-08 | 7.52E-07 | 3.97E-08 | 8.80E-07 | 3.85E-08 | 1.58E-08 | 2.56E-07 | 1.07E-06 | 2.89E-06 |
| ^{89}Sr | 9.58E-08 | 4.00E-07 | 3.29E-07 | 1.19E-07 | 6.45E-07 | 9.73E-08 | 1.75E-07 | 1.49E-08 | 1.46E-07 |
| ^{90}Sr | 1.61E-08 | 6.69E-08 | 5.65E-08 | 1.44E-08 | 1.12E-07 | 1.67E-08 | 2.40E-08 | 1.89E-09 | 2.12E-08 |
| ^{91}Sr | 2.65E-07 | 1.06E-06 | 9.40E-07 | 2.33E-07 | 2.43E-06 | 2.74E-07 | 3.23E-07 | 2.98E-08 | 3.53E-07 |
| ^{92}Sr | 3.79E-08 | 1.44E-07 | 1.39E-07 | 3.00E-08 | 3.78E-07 | 4.04E-08 | 3.60E-08 | 4.12E-09 | 3.26E-08 |
| ^{91}Y | 1.63E-08 | 2.60E-06 | 8.54E-07 | 1.39E-07 | 1.71E-08 | 1.66E-08 | 5.01E-07 | 2.81E-06 | 1.49E-06 |
| $^{91\text{m}}\text{Y}$ | 4.86E-08 | 7.42E-06 | 2.61E-06 | 3.98E-07 | 6.99E-08 | 5.01E-08 | 1.40E-06 | 8.04E-06 | 4.21E-06 |
| ^{92}Y | 2.47E-08 | 3.68E-06 | 1.37E-06 | 1.78E-07 | 3.04E-08 | 2.64E-08 | 3.03E-07 | 4.06E-06 | 1.07E-06 |
| ^{93}Y | 6.21E-09 | 9.58E-07 | 3.41E-07 | 4.64E-08 | 7.19E-09 | 6.57E-09 | 9.44E-08 | 1.05E-06 | 3.30E-07 |
| ^{95}Zr | 2.44E-07 | 1.01E-07 | 1.65E-07 | 5.03E-06 | 8.17E-07 | 2.65E-07 | 1.82E-05 | 3.02E-06 | 2.41E-05 |
| ^{95}Nb | 4.37E-08 | 6.63E-06 | 1.80E-07 | 4.60E-07 | 1.82E-07 | 4.87E-08 | 3.72E-06 | 5.94E-05 | 4.41E-06 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 5.38E-04 | 2.53E-04 | 6.01E-04 | 1.26E-03 | 1.64E-03 | 5.61E-04 | 8.89E-08 | 1.32E-03 | 3.36E-04 |
| ^{103}Ru | 1.08E-08 | 6.35E-07 | 8.60E-07 | 4.80E-07 | 2.77E-08 | 1.14E-08 | 2.14E-06 | 5.08E-07 | 8.06E-06 |
| $^{103\text{m}}\text{Rh}$ | 7.43E-07 | 4.47E-06 | 2.99E-06 | 1.81E-06 | 7.51E-07 | 3.97E-07 | 1.69E-06 | 1.02E-06 | 4.99E-07 |
| ^{106}Ru | 1.92E-09 | 1.25E-07 | 1.48E-07 | 5.57E-08 | 2.32E-09 | 2.04E-09 | 3.57E-08 | 7.57E-08 | 5.72E-07 |
| $^{127\text{m}}\text{Te}$ | 9.89E-07 | 2.63E-06 | 2.70E-06 | 4.86E-07 | 1.24E-05 | 9.91E-07 | 1.15E-05 | 1.02E-07 | 1.24E-06 |
| $^{129\text{m}}\text{Te}$ | 3.28E-06 | 8.55E-06 | 9.11E-06 | 2.09E-06 | 4.37E-05 | 3.33E-06 | 2.69E-05 | 4.84E-07 | 2.97E-06 |
| ^{129}Te | 4.44E-06 | 1.16E-05 | 1.23E-05 | 1.93E-06 | 5.89E-05 | 4.50E-06 | 2.09E-05 | 4.49E-07 | 3.94E-06 |

表 6.2-25 续 水生生物内照射剂量率

单位: $\mu\text{Gy/h}$

| 水生生物 核素 | 深海鱼 | 软体动物 | 甲壳类 | 大型海藻 | 哺乳动物 | 浅海鱼 | 浮游植物 | 脉管类植物 | 浮游动物 |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ^{131}Te | 5.97E-06 | 1.49E-05 | 1.71E-05 | 2.43E-06 | 1.07E-04 | 6.16E-06 | 2.82E-05 | 5.81E-07 | 4.72E-06 |
| ^{131m}Te | 1.73E-05 | 3.94E-05 | 5.18E-05 | 6.80E-06 | 4.86E-04 | 1.82E-05 | 1.22E-04 | 1.54E-06 | 1.47E-05 |
| ^{132}Te | 2.00E-05 | 4.43E-05 | 6.07E-05 | 1.86E-05 | 5.98E-04 | 2.12E-05 | 2.54E-04 | 4.37E-06 | 1.44E-05 |
| ^{134}Te | 6.02E-06 | 1.33E-05 | 1.83E-05 | 2.20E-06 | 1.84E-04 | 6.39E-06 | 2.66E-05 | 5.22E-07 | 4.25E-06 |
| ^{129}I | 1.16E-13 | 7.31E-13 | 5.79E-13 | 7.49E-11 | 1.12E-14 | 1.18E-13 | 1.19E-11 | 3.28E-13 | 6.09E-11 |
| ^{130}I | 8.02E-08 | 3.97E-07 | 4.51E-07 | 3.67E-05 | 2.15E-08 | 8.64E-08 | 2.27E-06 | 1.81E-07 | 2.27E-05 |
| ^{131}I | 2.03E-06 | 1.21E-05 | 1.05E-05 | 2.51E-03 | 3.16E-07 | 2.09E-06 | 2.47E-04 | 1.15E-05 | 8.89E-04 |
| ^{132}I | 3.27E-08 | 1.74E-07 | 1.79E-07 | 4.54E-05 | 7.15E-09 | 3.49E-08 | 1.84E-06 | 2.37E-07 | 8.34E-06 |
| ^{133}I | 7.53E-07 | 4.58E-06 | 3.81E-06 | 1.23E-03 | 9.71E-08 | 7.69E-07 | 9.54E-05 | 5.87E-06 | 2.98E-04 |
| ^{134}I | 1.27E-06 | 6.79E-06 | 6.95E-06 | 5.86E-04 | 2.74E-07 | 1.36E-06 | 2.09E-05 | 3.10E-06 | 3.09E-04 |
| ^{135}I | 1.55E-05 | 8.93E-05 | 8.11E-05 | 8.37E-03 | 2.64E-06 | 1.61E-05 | 5.13E-04 | 4.05E-05 | 5.52E-03 |
| ^{134}Cs | 2.20E-04 | 1.17E-04 | 1.65E-04 | 1.54E-04 | 1.96E-03 | 2.39E-04 | 6.93E-06 | 2.12E-05 | 1.75E-04 |
| ^{136}Cs | 6.70E-05 | 3.28E-05 | 5.19E-05 | 7.81E-05 | 6.90E-04 | 7.40E-05 | 4.27E-06 | 1.09E-05 | 4.71E-05 |
| ^{137}Cs | 1.88E-04 | 1.22E-04 | 1.28E-04 | 1.60E-04 | 9.24E-04 | 1.94E-04 | 7.63E-06 | 2.14E-05 | 2.07E-04 |
| ^{138}Cs | 2.46E-05 | 1.55E-05 | 1.75E-05 | 1.66E-05 | 1.19E-04 | 2.65E-05 | 1.82E-07 | 2.74E-06 | 1.08E-05 |
| ^{140}Ba | 1.04E-07 | 2.79E-06 | 2.64E-06 | 3.94E-07 | 1.69E-06 | 1.08E-07 | 1.29E-07 | 1.72E-06 | 1.38E-06 |
| ^{140}La | 5.24E-07 | 9.31E-07 | 5.82E-07 | 1.91E-06 | 1.28E-06 | 5.54E-07 | 4.29E-07 | 2.28E-06 | 5.24E-07 |
| ^{141}Ce | 4.01E-08 | 3.98E-07 | 6.59E-07 | 8.16E-07 | 4.96E-08 | 4.03E-08 | 3.69E-06 | 7.63E-08 | 5.73E-07 |
| ^{143}Ce | 5.51E-08 | 5.42E-07 | 9.11E-07 | 7.06E-07 | 6.61E-08 | 5.57E-08 | 1.66E-06 | 7.08E-08 | 6.32E-07 |
| ^{144}Ce | 5.92E-06 | 5.73E-05 | 1.02E-04 | 6.78E-05 | 6.69E-06 | 6.24E-06 | 8.47E-05 | 8.11E-06 | 3.52E-05 |
| ^3H | 2.17E-03 | 2.17E-03 | 2.17E-03 | 2.18E-03 | 2.17E-03 | 2.17E-03 | 2.18E-03 | 2.18E-03 | 2.17E-03 |
| ^{14}C | 1.06E-01 | 1.05E-01 | 8.79E-02 | 7.05E-02 | 1.06E-01 | 1.05E-01 | 4.64E-02 | 7.08E-02 | 8.67E-02 |
| ^{90}Y | 6.97E-10 | 1.10E-07 | 3.76E-08 | 1.40E-08 | 7.60E-10 | 7.28E-10 | 3.46E-08 | 3.08E-07 | 4.58E-08 |
| ^{106}Rh | 1.84E-11 | 1.01E-10 | 7.96E-11 | 9.26E-11 | 2.23E-11 | 1.05E-11 | 9.00E-12 | 7.10E-11 | 3.43E-12 |
| ^{137m}Ba | 1.02E-09 | 2.26E-08 | 2.82E-08 | 4.91E-09 | 2.78E-08 | 1.11E-09 | 7.57E-10 | 2.26E-08 | 9.10E-09 |

表 6.2-26 水生生物总辐射剂量率

单位: $\mu\text{Gy/h}$

| 水生生物 核素 | 深海鱼 | 软体动物 | 甲壳类 | 大型海藻 | 哺乳动物 | 浅海鱼 | 浮游植物 | 脉管类植物 | 浮游动物 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ^{51}Cr | 2.70E-04 | 2.87E-04 | 2.61E-04 | 2.90E-04 | 2.60E-07 | 1.33E-07 | 6.24E-06 | 2.87E-04 | 8.41E-07 |
| ^{54}Mn | 1.75E-01 | 1.85E-01 | 1.69E-01 | 1.86E-01 | 1.64E-04 | 6.84E-05 | 3.05E-06 | 1.84E-01 | 3.34E-06 |
| ^{55}Fe | 4.51E-04 | 2.46E-03 | 1.26E-03 | 1.29E-03 | 4.73E-02 | 4.72E-05 | 5.96E-04 | 2.07E-03 | 1.07E-03 |
| ^{59}Fe | 5.83E+00 | 6.13E+00 | 5.64E+00 | 6.19E+00 | 7.64E-01 | 2.42E-04 | 1.23E-03 | 6.11E+00 | 2.79E-03 |
| ^{58}Co | 9.12E-02 | 9.63E-02 | 8.78E-02 | 9.72E-02 | 5.19E-05 | 1.24E-04 | 2.10E-05 | 9.59E-02 | 3.57E-05 |
| ^{60}Co | 2.03E-01 | 2.14E-01 | 1.97E-01 | 2.15E-01 | 1.46E-04 | 3.41E-04 | 5.24E-05 | 2.13E-01 | 9.75E-05 |
| ^{65}Zn | 2.94E-04 | 3.05E-04 | 2.80E-04 | 3.07E-04 | 1.93E-05 | 4.51E-06 | 2.76E-07 | 3.04E-04 | 1.02E-05 |
| $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | 1.42E-03 | 1.52E-03 | 1.58E-03 | 1.43E-03 | 1.19E-03 | 1.27E-04 | 1.03E-04 | 1.42E-03 | 1.93E-05 |
| ^{124}Sb | 6.94E-05 | 7.42E-05 | 6.68E-05 | 7.69E-05 | 5.23E-08 | 4.13E-08 | 2.88E-07 | 7.42E-05 | 2.92E-06 |
| ^{89}Sr | 9.90E-08 | 4.06E-07 | 3.31E-07 | 1.35E-07 | 6.45E-07 | 9.75E-08 | 1.81E-07 | 2.03E-08 | 1.49E-07 |
| ^{90}Sr | 1.67E-08 | 6.78E-08 | 5.68E-08 | 1.66E-08 | 1.12E-07 | 1.67E-08 | 2.46E-08 | 2.72E-09 | 2.16E-08 |
| ^{91}Sr | 3.59E-07 | 1.16E-06 | 1.03E-06 | 3.55E-07 | 2.44E-06 | 2.82E-07 | 3.40E-07 | 1.32E-07 | 3.66E-07 |
| ^{92}Sr | 5.61E-08 | 1.64E-07 | 1.56E-07 | 5.36E-08 | 3.79E-07 | 4.20E-08 | 3.89E-08 | 2.41E-08 | 3.53E-08 |
| ^{91}Y | 2.50E-05 | 4.63E-05 | 1.55E-05 | 1.14E-04 | 1.71E-08 | 1.66E-08 | 5.01E-07 | 4.23E-05 | 1.49E-06 |
| $^{91\text{m}}\text{Y}$ | 1.09E-03 | 1.21E-03 | 1.02E-03 | 1.40E-03 | 7.10E-08 | 5.24E-08 | 1.40E-06 | 1.19E-03 | 4.21E-06 |
| ^{92}Y | 2.38E-04 | 3.14E-04 | 1.79E-04 | 4.60E-04 | 3.06E-08 | 2.68E-08 | 3.05E-07 | 2.96E-04 | 1.07E-06 |
| ^{93}Y | 3.78E-05 | 5.13E-05 | 2.54E-05 | 8.96E-05 | 7.21E-09 | 6.63E-09 | 9.49E-08 | 4.78E-05 | 3.30E-07 |
| ^{95}Zr | 5.20E-02 | 5.49E-02 | 5.01E-02 | 5.55E-02 | 8.27E-07 | 2.84E-07 | 1.83E-05 | 5.48E-02 | 2.41E-05 |
| ^{95}Nb | 1.81E-02 | 1.92E-02 | 1.75E-02 | 1.93E-02 | 1.91E-07 | 6.54E-08 | 3.74E-06 | 1.92E-02 | 4.43E-06 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 5.52E-04 | 2.68E-04 | 6.14E-04 | 1.28E-03 | 1.64E-03 | 5.61E-04 | 2.09E-07 | 1.34E-03 | 3.36E-04 |
| ^{103}Ru | 1.05E-04 | 1.12E-04 | 1.01E-04 | 1.13E-04 | 2.86E-08 | 1.33E-08 | 2.14E-06 | 1.11E-04 | 8.07E-06 |
| $^{103\text{m}}\text{Rh}$ | 8.05E-07 | 4.58E-06 | 3.04E-06 | 1.94E-06 | 7.51E-07 | 3.97E-07 | 1.69E-06 | 1.13E-06 | 4.99E-07 |
| ^{106}Ru | 1.17E-06 | 1.65E-06 | 9.94E-07 | 2.45E-06 | 2.33E-09 | 2.06E-09 | 3.58E-08 | 1.51E-06 | 5.72E-07 |
| $^{127\text{m}}\text{Te}$ | 1.07E-06 | 2.75E-06 | 2.77E-06 | 6.77E-07 | 1.24E-05 | 9.92E-07 | 1.15E-05 | 2.18E-07 | 1.24E-06 |
| $^{129\text{m}}\text{Te}$ | 5.04E-06 | 1.08E-05 | 1.06E-05 | 5.83E-06 | 4.37E-05 | 3.33E-06 | 2.69E-05 | 2.67E-06 | 2.97E-06 |
| ^{129}Te | 5.64E-06 | 1.31E-05 | 1.33E-05 | 4.57E-06 | 5.89E-05 | 4.50E-06 | 2.09E-05 | 1.95E-06 | 3.95E-06 |

表 6.2-26 续 水生生物总辐射剂量率

单位: $\mu\text{Gy/h}$

| 核素 \ 水生生物 | 深海鱼 | 软体动物 | 甲壳类 | 大型海藻 | 哺乳动物 | 浅海鱼 | 浮游植物 | 脉管类植物 | 浮游动物 |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ^{131}Te | 1.56E-05 | 2.55E-05 | 2.61E-05 | 1.46E-05 | 1.07E-04 | 6.17E-06 | 2.82E-05 | 1.10E-05 | 4.73E-06 |
| ^{131m}Te | 1.04E-04 | 1.31E-04 | 1.35E-04 | 1.01E-04 | 4.86E-04 | 1.82E-05 | 1.22E-04 | 9.30E-05 | 1.48E-05 |
| ^{132}Te | 1.17E-03 | 1.27E-03 | 1.16E-03 | 1.29E-03 | 5.98E-04 | 2.20E-05 | 2.55E-04 | 1.22E-03 | 1.55E-05 |
| ^{134}Te | 4.12E-05 | 5.07E-05 | 5.21E-05 | 4.09E-05 | 1.84E-04 | 6.42E-06 | 2.66E-05 | 3.78E-05 | 4.28E-06 |
| ^{129}I | 3.56E-13 | 1.04E-12 | 7.84E-13 | 7.52E-11 | 1.17E-14 | 1.20E-13 | 1.19E-11 | 6.37E-13 | 6.09E-11 |
| ^{130}I | 4.02E-06 | 4.58E-06 | 4.24E-06 | 4.09E-05 | 4.18E-08 | 1.28E-07 | 2.32E-06 | 4.35E-06 | 2.28E-05 |
| ^{131}I | 1.72E-04 | 1.94E-04 | 1.74E-04 | 2.69E-03 | 1.12E-06 | 3.87E-06 | 2.49E-04 | 1.93E-04 | 8.91E-04 |
| ^{132}I | 3.79E-04 | 4.02E-04 | 3.63E-04 | 4.63E-04 | 2.01E-06 | 3.99E-06 | 6.95E-06 | 4.01E-04 | 1.31E-05 |
| ^{133}I | 3.08E-04 | 3.37E-04 | 2.97E-04 | 1.59E-03 | 1.60E-06 | 3.97E-06 | 1.01E-04 | 3.36E-04 | 3.03E-04 |
| ^{134}I | 4.79E-05 | 5.64E-05 | 5.17E-05 | 6.37E-04 | 5.27E-07 | 1.84E-06 | 2.15E-05 | 5.24E-05 | 3.10E-04 |
| ^{135}I | 4.03E-04 | 5.01E-04 | 4.55E-04 | 8.80E-03 | 4.81E-06 | 2.02E-05 | 5.18E-04 | 4.50E-04 | 5.53E-03 |
| ^{134}Cs | 7.15E-02 | 7.55E-02 | 6.88E-02 | 7.66E-02 | 1.97E-03 | 2.52E-04 | 2.23E-05 | 7.52E-02 | 1.89E-04 |
| ^{136}Cs | 8.65E-02 | 9.12E-02 | 8.34E-02 | 9.22E-02 | 6.98E-04 | 8.99E-05 | 2.23E-05 | 9.09E-02 | 6.48E-05 |
| ^{137}Cs | 2.14E-02 | 2.28E-02 | 2.06E-02 | 2.36E-02 | 9.26E-04 | 1.98E-04 | 1.30E-05 | 2.26E-02 | 2.11E-04 |
| ^{138}Cs | 2.97E-03 | 3.20E-03 | 2.78E-03 | 3.53E-03 | 1.19E-04 | 2.70E-05 | 1.01E-06 | 3.15E-03 | 1.15E-05 |
| ^{140}Ba | 1.03E-04 | 1.12E-04 | 1.02E-04 | 1.15E-04 | 1.72E-06 | 1.46E-07 | 1.81E-07 | 1.11E-04 | 1.43E-06 |
| ^{140}La | 2.17E-02 | 2.30E-02 | 2.09E-02 | 2.38E-02 | 1.28E-06 | 5.60E-07 | 4.36E-07 | 2.29E-02 | 5.31E-07 |
| ^{141}Ce | 1.01E-03 | 1.12E-03 | 9.74E-04 | 1.18E-03 | 4.97E-08 | 4.05E-08 | 3.69E-06 | 1.11E-03 | 5.73E-07 |
| ^{143}Ce | 6.53E-04 | 7.49E-04 | 6.16E-04 | 9.10E-04 | 6.62E-08 | 5.58E-08 | 1.66E-06 | 7.37E-04 | 6.32E-07 |
| ^{144}Ce | 3.62E-02 | 5.11E-02 | 2.12E-02 | 9.87E-02 | 6.69E-06 | 6.25E-06 | 8.48E-05 | 4.67E-02 | 3.53E-05 |
| ^3H | 2.17E-03 | 2.17E-03 | 2.17E-03 | 2.18E-03 | 2.17E-03 | 2.17E-03 | 2.18E-03 | 2.18E-03 | 2.17E-03 |
| ^{14}C | 1.06E-01 | 1.05E-01 | 8.79E-02 | 7.05E-02 | 1.06E-01 | 1.05E-01 | 4.64E-02 | 7.09E-02 | 8.67E-02 |
| ^{90}Y | 7.03E-10 | 1.10E-07 | 3.76E-08 | 1.41E-08 | 7.60E-10 | 7.29E-10 | 3.46E-08 | 3.08E-07 | 4.58E-08 |
| ^{106}Rh | 2.00E-11 | 1.03E-10 | 8.08E-11 | 9.59E-11 | 2.23E-11 | 1.05E-11 | 9.00E-12 | 7.29E-11 | 3.43E-12 |
| ^{137m}Ba | 1.50E-07 | 1.81E-07 | 1.72E-07 | 1.67E-07 | 2.78E-08 | 1.14E-09 | 7.90E-10 | 1.81E-07 | 9.13E-09 |

表 6.2-27 水生生物危害商

| 水生生物名称 | 危害商 |
|--------|----------|
| 深海鱼 | 6.72E-01 |
| 软体动物 | 7.09E-01 |
| 甲壳类 | 6.47E-01 |
| 大型海藻 | 7.18E-01 |
| 哺乳动物 | 9.27E-02 |
| 浅海鱼 | 1.10E-02 |
| 浮游植物 | 5.22E-03 |
| 脉管类植物 | 7.03E-01 |
| 浮游动物 | 1.01E-02 |

表6.2-28 本工程2台CAP1400压水堆核电机组所致厂址附近各居民组最大个人有效剂量汇总

单位：mSv/a

| 年龄组别 居民组 | | 婴儿 | 儿童 | 青年 | 成人 | 渔民 |
|-------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 东墩 | 气态 | 1.76E-04 | 8.40E-04 | 6.41E-04 | 6.09E-04 | 6.09E-04 |
| | 液态 | 8.46E-06 | 2.41E-04 | 2.10E-04 | 3.00E-04 | 2.66E-04 |
| | 合计 | 1.84E-04 | 1.08E-03 | 8.51E-04 | 9.09E-04 | 8.75E-04 |
| 东钱家 | 气态 | 2.04E-04 | 1.30E-03 | 9.18E-04 | 9.31E-04 | 9.31E-04 |
| | 液态 | 8.46E-06 | 2.16E-04 | 1.92E-04 | 3.03E-04 | 2.70E-04 |
| | 合计 | 2.12E-04 | 1.52E-03 | 1.11E-03 | 1.23E-03 | 1.20E-03 |
| 东张家 | 气态 | 9.91E-05 | 6.52E-04 | 4.39E-04 | 4.48E-04 | 4.48E-04 |
| | 液态 | 8.46E-06 | 2.32E-04 | 1.64E-04 | 3.03E-04 | 2.70E-04 |
| | 合计 | 1.08E-04 | 8.84E-04 | 6.03E-04 | 7.51E-04 | 7.18E-04 |
| 南泊 | 气态 | 1.16E-04 | 6.23E-04 | 4.58E-04 | 4.68E-04 | 4.68E-04 |
| | 液态 | 8.46E-06 | 1.97E-04 | 1.79E-04 | 2.74E-04 | 2.70E-04 |
| | 合计 | 1.24E-04 | 8.20E-04 | 6.37E-04 | 7.42E-04 | 7.38E-04 |
| 前王家 | 气态 | 1.10E-04 | 5.40E-04 | 3.99E-04 | 4.07E-04 | 4.07E-04 |
| | 液态 | 8.46E-06 | 2.31E-04 | 1.67E-04 | 2.95E-04 | 2.65E-04 |
| | 合计 | 1.18E-04 | 7.71E-04 | 5.66E-04 | 7.02E-04 | 6.72E-04 |
| 西钱家 | 气态 | 1.51E-04 | 9.24E-04 | 6.71E-04 | 6.72E-04 | 6.72E-04 |
| | 液态 | 8.46E-06 | 2.15E-04 | 2.06E-04 | 3.03E-04 | 2.70E-04 |
| | 合计 | 1.59E-04 | 1.14E-03 | 8.77E-04 | 9.75E-04 | 9.42E-04 |
| 小河东 | 气态 | 1.68E-04 | 1.11E-03 | 7.59E-04 | 7.65E-04 | 7.65E-04 |
| | 液态 | 8.46E-06 | 2.31E-04 | 1.64E-04 | 2.61E-04 | 2.61E-04 |
| | 合计 | 1.76E-04 | 1.34E-03 | 9.23E-04 | 1.03E-03 | 1.03E-03 |
| 周庄 | 气态 | 1.31E-04 | 7.74E-04 | 5.11E-04 | 5.37E-04 | 5.37E-04 |
| | 液态 | 8.46E-06 | 2.13E-04 | 2.06E-04 | 2.99E-04 | 2.65E-04 |
| | 合计 | 1.39E-04 | 9.87E-04 | 7.17E-04 | 8.36E-04 | 8.02E-04 |

表 6.2-29 本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组各种核素经各种气态照射途径
对附近居民（婴儿）所致的最大个人有效剂量

单位：mSv/a

距离：2~3km 方位：NNE

| 核素名称 | 空气浸没 | 地面沉积 | 吸入 | 食入 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ^{83m} Kr | 1.38E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.38E-12 | 0 |
| ^{85m} Kr | 1.87E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.87E-08 | 0.01 |
| ⁸⁵ Kr | 1.33E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.33E-08 | 0.01 |
| ⁸⁷ Kr | 5.84E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.84E-08 | 0.03 |
| ⁸⁸ Kr | 4.55E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.55E-07 | 0.22 |
| ⁸⁹ Kr | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ^{131m} Xe | 2.13E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.13E-09 | 0 |
| ^{133m} Xe | 7.30E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.30E-09 | 0 |
| ¹³³ Xe | 5.69E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.69E-07 | 0.28 |
| ^{135m} Xe | 8.32E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.32E-09 | 0 |
| ¹³⁵ Xe | 1.15E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.15E-07 | 0.06 |
| ¹³⁷ Xe | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ¹³⁸ Xe | 2.69E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.69E-08 | 0.01 |
| ¹²⁹ I | 9.57E-19 | 2.07E-13 | 1.15E-14 | 1.25E-12 | 1.47E-12 | 0 |
| ¹³⁰ I | 5.57E-12 | 4.77E-11 | 2.07E-11 | 9.64E-11 | 1.70E-10 | 0 |
| ¹³¹ I | 2.75E-10 | 7.27E-08 | 6.84E-08 | 2.13E-06 | 2.27E-06 | 1.11 |
| ¹³² I | 6.46E-10 | 2.05E-09 | 3.96E-10 | 1.03E-11 | 3.10E-09 | 0 |
| ¹³³ I | 2.72E-10 | 7.94E-09 | 1.09E-08 | 1.61E-07 | 1.80E-07 | 0.09 |
| ¹³⁴ I | 1.72E-10 | 5.29E-11 | 3.93E-11 | 7.17E-18 | 2.64E-10 | 0 |
| ¹³⁵ I | 4.31E-10 | 3.54E-09 | 1.36E-09 | 3.45E-09 | 8.78E-09 | 0 |
| ⁶⁵ Zn | 5.43E-11 | 5.98E-08 | 1.77E-09 | 5.98E-08 | 1.21E-07 | 0.06 |
| ⁵¹ Cr | 8.16E-12 | 1.55E-09 | 8.85E-11 | 2.07E-10 | 1.85E-09 | 0 |
| ⁵⁴ Mn | 2.40E-10 | 4.96E-07 | 2.77E-09 | 8.02E-09 | 5.07E-07 | 0.25 |
| ⁵⁵ Fe | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.17E-09 | 4.98E-09 | 6.15E-09 | 0 |
| ⁵⁹ Fe | 4.36E-11 | 1.23E-08 | 9.66E-10 | 3.42E-09 | 1.67E-08 | 0.01 |
| ⁵⁸ Co | 7.58E-10 | 3.60E-07 | 9.11E-09 | 4.62E-08 | 4.16E-07 | 0.2 |
| ⁶⁰ Co | 2.48E-10 | 2.45E-06 | 1.14E-08 | 1.28E-07 | 2.59E-06 | 1.27 |
| ¹²⁴ Sb | 7.21E-11 | 1.95E-08 | 1.94E-09 | 2.33E-09 | 2.38E-08 | 0.01 |
| ^{110m} Ag | 7.33E-10 | 8.40E-07 | 1.57E-08 | 1.77E-08 | 8.74E-07 | 0.43 |
| ⁸³ Br | 4.34E-14 | 2.23E-14 | 2.53E-12 | 2.01E-16 | 2.60E-12 | 0 |
| ⁸⁴ Br | 4.46E-12 | 4.97E-13 | 1.11E-12 | 9.37E-32 | 6.07E-12 | 0 |
| ⁸⁵ Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ⁸⁸ Rb | 2.32E-10 | 1.82E-11 | 8.34E-11 | 7.01E-45 | 3.34E-10 | 0 |
| ⁸⁹ Rb | 3.18E-11 | 2.32E-12 | 2.67E-12 | 0.00E+00 | 3.68E-11 | 0 |
| ⁸⁹ Sr | 8.03E-15 | 2.13E-11 | 4.48E-11 | 1.84E-10 | 2.50E-10 | 0 |
| ⁹⁰ Sr | 1.24E-16 | 1.39E-10 | 3.36E-11 | 4.32E-10 | 6.05E-10 | 0 |
| ⁹¹ Sr | 2.53E-13 | 4.74E-13 | 1.63E-12 | 2.77E-13 | 2.63E-12 | 0 |
| ⁹² Sr | 1.09E-13 | 5.49E-14 | 2.23E-13 | 6.59E-17 | 3.87E-13 | 0 |
| ⁹⁰ Y | 5.56E-17 | 4.66E-15 | 5.57E-14 | 1.22E-13 | 1.82E-13 | 0 |
| ^{91m} Y | 8.69E-14 | 1.70E-14 | 1.60E-14 | 1.14E-26 | 1.20E-13 | 0 |
| ⁹¹ Y | 1.60E-15 | 2.60E-12 | 6.87E-12 | 8.28E-12 | 1.78E-11 | 0 |
| ⁹² Y | 1.77E-14 | 1.21E-14 | 1.64E-13 | 7.41E-16 | 1.95E-13 | 0 |
| ⁹³ Y | 2.28E-15 | 4.30E-15 | 1.39E-13 | 5.30E-14 | 1.99E-13 | 0 |
| ⁹⁵ Zr | 1.14E-13 | 1.05E-10 | 5.00E-12 | 3.47E-12 | 1.14E-10 | 0 |

| 核素名称 | 空气浸没 | 地面沉积 | 吸入 | 食入 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ⁹⁵ Nb | 7.78E-14 | 1.83E-11 | 1.00E-12 | 1.08E-12 | 2.05E-11 | 0 |
| ⁹⁹ Mo | 1.27E-11 | 1.88E-10 | 4.39E-10 | 3.25E-10 | 9.65E-10 | 0 |
| ^{99m} Tc | 5.22E-12 | 6.40E-12 | 7.16E-12 | 2.79E-13 | 1.91E-11 | 0 |
| ¹⁰³ Ru | 4.42E-14 | 1.21E-11 | 1.60E-12 | 1.62E-12 | 1.54E-11 | 0 |
| ^{103m} Rh | 4.70E-18 | 6.98E-18 | 6.78E-16 | 1.75E-26 | 6.90E-16 | 0 |
| ¹⁰⁶ Ru | 5.37E-14 | 2.00E-10 | 7.77E-11 | 5.71E-11 | 3.35E-10 | 0 |
| ¹⁰⁶ Rh | 4.60E-14 | 2.14E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.74E-14 | 0 |
| ^{127m} Te | 2.92E-15 | 1.06E-11 | 4.90E-11 | 5.19E-10 | 5.79E-10 | 0 |
| ^{129m} Te | 5.86E-14 | 1.63E-11 | 8.26E-11 | 2.30E-10 | 3.29E-10 | 0 |
| ¹²⁹ Te | 3.65E-14 | 9.99E-15 | 2.95E-13 | 8.16E-22 | 3.41E-13 | 0 |
| ^{131m} Te | 3.02E-12 | 1.73E-11 | 2.10E-11 | 2.91E-11 | 7.04E-11 | 0 |
| ¹³¹ Te | 2.89E-13 | 3.18E-14 | 2.34E-13 | 8.89E-38 | 5.55E-13 | 0 |
| ¹³² Te | 3.96E-12 | 7.18E-10 | 5.29E-10 | 1.14E-09 | 2.39E-09 | 0 |
| ¹³⁴ Te | 1.60E-12 | 2.68E-13 | 1.34E-12 | 5.45E-27 | 3.21E-12 | 0 |
| ¹³⁴ Cs | 1.34E-09 | 6.62E-06 | 7.79E-08 | 6.25E-07 | 7.32E-06 | 3.59 |
| ¹³⁶ Cs | 7.96E-10 | 6.90E-08 | 7.03E-09 | 2.60E-08 | 1.03E-07 | 0.05 |
| ¹³⁷ Cs | 3.87E-10 | 8.04E-06 | 9.80E-08 | 4.41E-07 | 8.58E-06 | 4.21 |
| ¹³⁸ Cs | 2.60E-10 | 3.12E-11 | 5.74E-11 | 2.10E-29 | 3.49E-10 | 0 |
| ^{137m} Ba | 4.70E-12 | 5.55E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.26E-12 | 0 |
| ¹⁴⁰ Ba | 6.24E-14 | 5.57E-12 | 1.34E-11 | 2.15E-11 | 4.05E-11 | 0 |
| ¹⁴⁰ La | 1.72E-13 | 1.24E-12 | 8.19E-13 | 1.37E-12 | 3.60E-12 | 0 |
| ¹⁴¹ Ce | 6.62E-15 | 1.57E-12 | 1.93E-12 | 1.77E-12 | 5.28E-12 | 0 |
| ¹⁴³ Ce | 8.35E-15 | 5.80E-14 | 2.43E-13 | 3.19E-13 | 6.28E-13 | 0 |
| ¹⁴³ Pr | 2.31E-17 | 2.44E-15 | 9.08E-13 | 1.31E-12 | 2.22E-12 | 0 |
| ¹⁴⁴ Ce | 9.65E-15 | 3.28E-11 | 6.32E-11 | 2.66E-11 | 1.23E-10 | 0 |
| ¹⁴⁴ Pr | 6.71E-16 | 5.66E-17 | 4.15E-15 | 0.00E+00 | 4.88E-15 | 0 |
| ³ H | 3.18E-10 | 0.00E+00 | 2.07E-05 | 1.37E-06 | 2.21E-05 | 10.83 |
| ¹⁴ C | 1.90E-11 | 0.00E+00 | 1.02E-04 | 5.54E-05 | 1.57E-04 | 77.24 |
| 总计 | 1.28E-06 | 1.91E-05 | 1.23E-04 | 6.04E-05 | 2.04E-04 | 100 |
| 份额 (%) | 0.63 | 9.35 | 60.36 | 29.65 | 100 | |

表 6.2-30 本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组各种核素经各种气态照射途径
对附近居民（儿童）所致的最大个人有效剂量

单位：mSv/a

距离：2~3km 方位：NNE

| 核素名称 | 空气浸没 | 地面沉积 | 吸入 | 食入 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ^{83m} Kr | 1.38E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.38E-12 | 0 |
| ^{85m} Kr | 1.87E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.87E-08 | 0 |
| ⁸⁵ Kr | 1.33E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.33E-08 | 0 |
| ⁸⁷ Kr | 5.84E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.84E-08 | 0 |
| ⁸⁸ Kr | 4.55E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.55E-07 | 0.03 |
| ⁸⁹ Kr | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ^{131m} Xe | 2.13E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.13E-09 | 0 |
| ^{133m} Xe | 7.30E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.30E-09 | 0 |
| ¹³³ Xe | 5.69E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.69E-07 | 0.04 |
| ^{135m} Xe | 8.32E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.32E-09 | 0 |
| ¹³⁵ Xe | 1.15E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.15E-07 | 0.01 |
| ¹³⁷ Xe | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ¹³⁸ Xe | 2.69E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.69E-08 | 0 |
| ¹²⁹ I | 9.57E-19 | 2.07E-13 | 5.40E-14 | 1.28E-11 | 1.31E-11 | 0 |
| ¹³⁰ I | 5.57E-12 | 4.77E-11 | 7.34E-11 | 1.47E-09 | 1.60E-09 | 0 |
| ¹³¹ I | 2.75E-10 | 7.27E-08 | 2.69E-07 | 3.71E-05 | 3.74E-05 | 2.87 |
| ¹³² I | 6.46E-10 | 2.05E-09 | 1.36E-09 | 1.46E-10 | 4.20E-09 | 0 |
| ¹³³ I | 2.72E-10 | 7.94E-09 | 4.05E-08 | 2.56E-06 | 2.61E-06 | 0.2 |
| ¹³⁴ I | 1.72E-10 | 5.29E-11 | 1.19E-10 | 8.68E-17 | 3.44E-10 | 0 |
| ¹³⁵ I | 4.31E-10 | 3.54E-09 | 4.83E-09 | 5.44E-08 | 6.32E-08 | 0 |
| ⁶⁵ Zn | 5.43E-11 | 5.98E-08 | 4.65E-09 | 1.32E-07 | 1.97E-07 | 0.02 |
| ⁵¹ Cr | 8.16E-12 | 1.55E-09 | 2.81E-10 | 2.22E-09 | 4.06E-09 | 0 |
| ⁵⁴ Mn | 2.40E-10 | 4.96E-07 | 9.00E-09 | 4.60E-08 | 5.51E-07 | 0.04 |
| ⁵⁵ Fe | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.51E-09 | 2.30E-08 | 2.65E-08 | 0 |
| ⁵⁹ Fe | 4.36E-11 | 1.23E-08 | 2.35E-09 | 1.81E-08 | 3.28E-08 | 0 |
| ⁵⁸ Co | 7.58E-10 | 3.60E-07 | 2.98E-08 | 1.54E-07 | 5.45E-07 | 0.04 |
| ⁶⁰ Co | 2.48E-10 | 2.45E-06 | 4.19E-08 | 1.50E-07 | 2.64E-06 | 0.2 |
| ¹²⁴ Sb | 7.21E-11 | 1.95E-08 | 6.06E-09 | 2.39E-08 | 4.95E-08 | 0 |
| ^{110m} Ag | 7.33E-10 | 8.40E-07 | 5.51E-08 | 1.60E-07 | 1.06E-06 | 0.08 |
| ⁸³ Br | 4.34E-14 | 2.23E-14 | 6.52E-12 | 2.02E-15 | 6.59E-12 | 0 |
| ⁸⁴ Br | 4.46E-12 | 4.97E-13 | 2.84E-12 | 9.65E-31 | 7.80E-12 | 0 |
| ⁸⁵ Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ⁸⁸ Rb | 2.32E-10 | 1.82E-11 | 2.07E-10 | 7.43E-44 | 4.57E-10 | 0 |
| ⁸⁹ Rb | 3.18E-11 | 2.32E-12 | 6.97E-12 | 0.00E+00 | 4.11E-11 | 0 |
| ⁸⁹ Sr | 8.03E-15 | 2.13E-11 | 1.35E-10 | 7.00E-10 | 8.56E-10 | 0 |
| ⁹⁰ Sr | 1.24E-16 | 1.39E-10 | 1.26E-10 | 3.03E-10 | 5.68E-10 | 0 |
| ⁹¹ Sr | 2.53E-13 | 4.74E-13 | 4.58E-12 | 3.78E-12 | 9.09E-12 | 0 |
| ⁹² Sr | 1.09E-13 | 5.49E-14 | 5.98E-13 | 9.29E-16 | 7.63E-13 | 0 |
| ⁹⁰ Y | 5.56E-17 | 4.66E-15 | 1.48E-13 | 1.40E-12 | 1.55E-12 | 0 |
| ^{91m} Y | 8.69E-14 | 1.70E-14 | 5.01E-14 | 1.32E-25 | 1.54E-13 | 0 |
| ⁹¹ Y | 1.60E-15 | 2.60E-12 | 2.13E-11 | 8.60E-11 | 1.10E-10 | 0 |
| ⁹² Y | 1.77E-14 | 1.21E-14 | 4.06E-13 | 8.02E-15 | 4.44E-13 | 0 |
| ⁹³ Y | 2.28E-15 | 4.30E-15 | 3.56E-13 | 5.71E-13 | 9.34E-13 | 0 |
| ⁹⁵ Zr | 1.14E-13 | 1.05E-10 | 1.55E-11 | 3.66E-11 | 1.57E-10 | 0 |

| 核素名称 | 空气浸没 | 地面沉积 | 吸入 | 食入 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ⁹⁵ Nb | 7.78E-14 | 1.83E-11 | 3.01E-12 | 1.22E-11 | 3.36E-11 | 0 |
| ⁹⁹ Mo | 1.27E-11 | 1.88E-10 | 1.20E-09 | 3.68E-09 | 5.08E-09 | 0 |
| ^{99m} Tc | 5.22E-12 | 6.40E-12 | 2.16E-11 | 3.22E-12 | 3.64E-11 | 0 |
| ¹⁰³ Ru | 4.42E-14 | 1.21E-11 | 4.83E-12 | 1.70E-11 | 3.40E-11 | 0 |
| ^{103m} Rh | 4.70E-18 | 6.98E-18 | 1.73E-15 | 1.79E-25 | 1.74E-15 | 0 |
| ¹⁰⁶ Ru | 5.37E-14 | 2.00E-10 | 2.70E-10 | 5.13E-10 | 9.83E-10 | 0 |
| ¹⁰⁶ Rh | 4.60E-14 | 2.14E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.74E-14 | 0 |
| ^{127m} Te | 2.92E-15 | 1.06E-11 | 1.55E-10 | 9.86E-10 | 1.15E-09 | 0 |
| ^{129m} Te | 5.86E-14 | 1.63E-11 | 2.48E-10 | 1.60E-09 | 1.86E-09 | 0 |
| ¹²⁹ Te | 3.65E-14 | 9.99E-15 | 7.62E-13 | 8.50E-21 | 8.08E-13 | 0 |
| ^{131m} Te | 3.02E-12 | 1.73E-11 | 7.21E-11 | 3.62E-10 | 4.54E-10 | 0 |
| ¹³¹ Te | 2.89E-13 | 3.18E-14 | 7.06E-13 | 1.16E-36 | 1.03E-12 | 0 |
| ¹³² Te | 3.96E-12 | 7.18E-10 | 1.70E-09 | 1.27E-08 | 1.51E-08 | 0 |
| ¹³⁴ Te | 1.60E-12 | 2.68E-13 | 3.77E-12 | 6.60E-26 | 5.64E-12 | 0 |
| ¹³⁴ Cs | 1.34E-09 | 6.62E-06 | 2.76E-07 | 1.68E-06 | 8.58E-06 | 0.66 |
| ¹³⁶ Cs | 7.96E-10 | 6.90E-08 | 2.03E-08 | 2.76E-07 | 3.66E-07 | 0.03 |
| ¹³⁷ Cs | 3.87E-10 | 8.04E-06 | 3.50E-07 | 1.03E-06 | 9.42E-06 | 0.72 |
| ¹³⁸ Cs | 2.60E-10 | 3.12E-11 | 1.50E-10 | 2.00E-28 | 4.41E-10 | 0 |
| ^{137m} Ba | 4.70E-12 | 5.55E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.26E-12 | 0 |
| ¹⁴⁰ Ba | 6.24E-14 | 5.57E-12 | 3.99E-11 | 2.05E-10 | 2.51E-10 | 0 |
| ¹⁴⁰ La | 1.72E-13 | 1.24E-12 | 2.30E-12 | 1.58E-11 | 1.95E-11 | 0 |
| ¹⁴¹ Ce | 6.62E-15 | 1.57E-12 | 5.68E-12 | 1.80E-11 | 2.53E-11 | 0 |
| ¹⁴³ Ce | 8.35E-15 | 5.80E-14 | 6.62E-13 | 3.78E-12 | 4.51E-12 | 0 |
| ¹⁴³ Pr | 2.31E-17 | 2.44E-15 | 2.53E-12 | 1.42E-11 | 1.67E-11 | 0 |
| ¹⁴⁴ Ce | 9.65E-15 | 3.28E-11 | 1.86E-10 | 2.35E-10 | 4.54E-10 | 0 |
| ¹⁴⁴ Pr | 6.71E-16 | 5.66E-17 | 1.03E-14 | 0.00E+00 | 1.10E-14 | 0 |
| ³ H | 3.18E-10 | 0.00E+00 | 6.47E-05 | 1.30E-05 | 7.77E-05 | 5.96 |
| ¹⁴ C | 1.90E-11 | 0.00E+00 | 3.59E-04 | 8.02E-04 | 1.16E-03 | 89.06 |
| 总计 | 1.28E-06 | 1.91E-05 | 4.25E-04 | 8.58E-04 | 1.30E-03 | 100 |
| 份额 (%) | 0.1 | 1.46 | 32.59 | 65.85 | 100 | |

表 6.2-31 本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组各种核素经各种气态照射途径
对附近居民（青少年）所致的最大个人有效剂量

单位：mSv/a

距离：2~3km 方位：NNE

| 核素名称 | 空气浸没 | 地面沉积 | 吸入 | 食入 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ^{83m} Kr | 1.38E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.38E-12 | 0 |
| ^{85m} Kr | 1.87E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.87E-08 | 0 |
| ⁸⁵ Kr | 1.33E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.33E-08 | 0 |
| ⁸⁷ Kr | 5.84E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.84E-08 | 0.01 |
| ⁸⁸ Kr | 4.55E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.55E-07 | 0.05 |
| ⁸⁹ Kr | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ^{131m} Xe | 2.13E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.13E-09 | 0 |
| ^{133m} Xe | 7.30E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.30E-09 | 0 |
| ¹³³ Xe | 5.69E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.69E-07 | 0.06 |
| ^{135m} Xe | 8.32E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.32E-09 | 0 |
| ¹³⁵ Xe | 1.15E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.15E-07 | 0.01 |
| ¹³⁷ Xe | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ¹³⁸ Xe | 2.69E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.69E-08 | 0 |
| ¹²⁹ I | 9.57E-19 | 2.07E-13 | 6.12E-14 | 1.70E-11 | 1.73E-11 | 0 |
| ¹³⁰ I | 5.57E-12 | 4.77E-11 | 2.31E-11 | 5.60E-10 | 6.36E-10 | 0 |
| ¹³¹ I | 2.75E-10 | 7.27E-08 | 1.03E-07 | 1.61E-05 | 1.63E-05 | 1.77 |
| ¹³² I | 6.46E-10 | 2.05E-09 | 4.52E-10 | 5.64E-11 | 3.20E-09 | 0 |
| ¹³³ I | 2.72E-10 | 7.94E-09 | 1.25E-08 | 8.70E-07 | 8.91E-07 | 0.1 |
| ¹³⁴ I | 1.72E-10 | 5.29E-11 | 5.15E-11 | 3.63E-17 | 2.76E-10 | 0 |
| ¹³⁵ I | 4.31E-10 | 3.54E-09 | 1.50E-09 | 2.01E-08 | 2.56E-08 | 0 |
| ⁶⁵ Zn | 5.43E-11 | 5.98E-08 | 2.57E-09 | 7.79E-08 | 1.40E-07 | 0.02 |
| ⁵¹ Cr | 8.16E-12 | 1.55E-09 | 1.28E-10 | 1.15E-09 | 2.84E-09 | 0 |
| ⁵⁴ Mn | 2.40E-10 | 4.96E-07 | 5.07E-09 | 2.95E-08 | 5.31E-07 | 0.06 |
| ⁵⁵ Fe | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.23E-09 | 1.63E-08 | 1.85E-08 | 0 |
| ⁵⁹ Fe | 4.36E-11 | 1.23E-08 | 1.52E-09 | 1.00E-08 | 2.39E-08 | 0 |
| ⁵⁸ Co | 7.58E-10 | 3.60E-07 | 1.79E-08 | 8.83E-08 | 4.67E-07 | 0.05 |
| ⁶⁰ Co | 2.48E-10 | 2.45E-06 | 2.84E-08 | 8.50E-08 | 2.56E-06 | 0.28 |
| ¹²⁴ Sb | 7.21E-11 | 1.95E-08 | 3.70E-09 | 1.19E-08 | 3.52E-08 | 0 |
| ^{110m} Ag | 7.33E-10 | 8.40E-07 | 3.52E-08 | 9.18E-08 | 9.68E-07 | 0.11 |
| ⁸³ Br | 4.34E-14 | 2.23E-14 | 3.17E-12 | 8.36E-16 | 3.24E-12 | 0 |
| ⁸⁴ Br | 4.46E-12 | 4.97E-13 | 1.32E-12 | 3.97E-31 | 6.28E-12 | 0 |
| ⁸⁵ Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ⁸⁸ Rb | 2.32E-10 | 1.82E-11 | 8.03E-11 | 3.08E-44 | 3.31E-10 | 0 |
| ⁸⁹ Rb | 3.18E-11 | 2.32E-12 | 2.94E-12 | 0.00E+00 | 3.71E-11 | 0 |
| ⁸⁹ Sr | 8.03E-15 | 2.13E-11 | 7.87E-11 | 3.40E-10 | 4.40E-10 | 0 |
| ⁹⁰ Sr | 1.24E-16 | 1.39E-10 | 8.23E-11 | 3.44E-10 | 5.65E-10 | 0 |
| ⁹¹ Sr | 2.53E-13 | 4.74E-13 | 2.05E-12 | 1.69E-12 | 4.47E-12 | 0 |
| ⁹² Sr | 1.09E-13 | 5.49E-14 | 2.61E-13 | 4.21E-16 | 4.25E-13 | 0 |
| ⁹⁰ Y | 5.56E-17 | 4.66E-15 | 6.61E-14 | 6.15E-13 | 6.86E-13 | 0 |
| ^{91m} Y | 8.69E-14 | 1.70E-14 | 2.47E-14 | 6.92E-26 | 1.29E-13 | 0 |
| ⁹¹ Y | 1.60E-15 | 2.60E-12 | 1.19E-11 | 3.80E-11 | 5.25E-11 | 0 |
| ⁹² Y | 1.77E-14 | 1.21E-14 | 1.72E-13 | 3.33E-15 | 2.05E-13 | 0 |
| ⁹³ Y | 2.28E-15 | 4.30E-15 | 1.47E-13 | 2.51E-13 | 4.05E-13 | 0 |
| ⁹⁵ Zr | 1.14E-13 | 1.05E-10 | 9.88E-12 | 1.91E-11 | 1.34E-10 | 0 |

| 核素名称 | 空气浸没 | 地面沉积 | 吸入 | 食入 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ⁹⁵ Nb | 7.78E-14 | 1.83E-11 | 1.85E-12 | 6.41E-12 | 2.66E-11 | 0 |
| ⁹⁹ Mo | 1.27E-11 | 1.88E-10 | 6.18E-10 | 1.73E-09 | 2.55E-09 | 0 |
| ^{99m} Tc | 5.22E-12 | 6.40E-12 | 1.10E-11 | 1.59E-12 | 2.42E-11 | 0 |
| ¹⁰³ Ru | 4.42E-14 | 1.21E-11 | 2.95E-12 | 8.48E-12 | 2.36E-11 | 0 |
| ^{103m} Rh | 4.70E-18 | 6.98E-18 | 8.33E-16 | 7.31E-26 | 8.45E-16 | 0 |
| ¹⁰⁶ Ru | 5.37E-14 | 2.00E-10 | 1.55E-10 | 2.42E-10 | 5.97E-10 | 0 |
| ¹⁰⁶ Rh | 4.60E-14 | 2.14E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.74E-14 | 0 |
| ^{127m} Te | 2.92E-15 | 1.06E-11 | 9.56E-11 | 4.17E-10 | 5.23E-10 | 0 |
| ^{129m} Te | 5.86E-14 | 1.63E-11 | 1.49E-10 | 6.66E-10 | 8.31E-10 | 0 |
| ¹²⁹ Te | 3.65E-14 | 9.99E-15 | 3.32E-13 | 3.46E-21 | 3.78E-13 | 0 |
| ^{131m} Te | 3.02E-12 | 1.73E-11 | 2.76E-11 | 1.66E-10 | 2.14E-10 | 0 |
| ¹³¹ Te | 2.89E-13 | 3.18E-14 | 2.72E-13 | 4.98E-37 | 5.93E-13 | 0 |
| ¹³² Te | 3.96E-12 | 7.18E-10 | 5.77E-10 | 5.22E-09 | 6.52E-09 | 0 |
| ¹³⁴ Te | 1.60E-12 | 2.68E-13 | 1.78E-12 | 2.89E-26 | 3.65E-12 | 0 |
| ¹³⁴ Cs | 1.34E-09 | 6.62E-06 | 1.78E-07 | 2.95E-06 | 9.75E-06 | 1.06 |
| ¹³⁶ Cs | 7.96E-10 | 6.90E-08 | 1.10E-08 | 1.93E-07 | 2.74E-07 | 0.03 |
| ¹³⁷ Cs | 3.87E-10 | 8.04E-06 | 2.44E-07 | 1.64E-06 | 9.92E-06 | 1.08 |
| ¹³⁸ Cs | 2.60E-10 | 3.12E-11 | 6.40E-11 | 8.59E-29 | 3.55E-10 | 0 |
| ^{137m} Ba | 4.70E-12 | 5.55E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.26E-12 | 0 |
| ¹⁴⁰ Ba | 6.24E-14 | 5.57E-12 | 2.27E-11 | 9.97E-11 | 1.28E-10 | 0 |
| ¹⁴⁰ La | 1.72E-13 | 1.24E-12 | 1.06E-12 | 7.64E-12 | 1.01E-11 | 0 |
| ¹⁴¹ Ce | 6.62E-15 | 1.57E-12 | 3.65E-12 | 8.07E-12 | 1.33E-11 | 0 |
| ¹⁴³ Ce | 8.35E-15 | 5.80E-14 | 3.29E-13 | 1.69E-12 | 2.09E-12 | 0 |
| ¹⁴³ Pr | 2.31E-17 | 2.44E-15 | 1.44E-12 | 6.36E-12 | 7.80E-12 | 0 |
| ¹⁴⁴ Ce | 9.65E-15 | 3.28E-11 | 7.83E-11 | 1.02E-10 | 2.13E-10 | 0 |
| ¹⁴⁴ Pr | 6.71E-16 | 5.66E-17 | 4.25E-15 | 0.00E+00 | 4.98E-15 | 0 |
| ³ H | 3.18E-10 | 0.00E+00 | 2.86E-05 | 9.46E-06 | 3.81E-05 | 4.14 |
| ¹⁴ C | 1.90E-11 | 0.00E+00 | 2.27E-04 | 6.10E-04 | 8.37E-04 | 91.15 |
| 总计 | 1.28E-06 | 1.91E-05 | 2.56E-04 | 6.42E-04 | 9.18E-04 | 100 |
| 份额 (%) | 0.14 | 2.08 | 27.91 | 69.88 | 100 | |

表 6.2-32 本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组各种核素经各种气态照射途径
对附近居民（成人、渔民）所致的最大个人有效剂量

单位：mSv/a

距离：2~3km 方位：NNE

| 核素名称 | 空气浸没 | 地面沉积 | 吸入 | 食入 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ^{83m} Kr | 1.38E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.38E-12 | 0 |
| ^{85m} Kr | 1.87E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.87E-08 | 0 |
| ⁸⁵ Kr | 1.33E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.33E-08 | 0 |
| ⁸⁷ Kr | 5.84E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.84E-08 | 0.01 |
| ⁸⁸ Kr | 4.55E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.55E-07 | 0.05 |
| ⁸⁹ Kr | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ^{131m} Xe | 2.13E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.13E-09 | 0 |
| ^{133m} Xe | 7.30E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.30E-09 | 0 |
| ¹³³ Xe | 5.69E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.69E-07 | 0.06 |
| ^{135m} Xe | 8.32E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.32E-09 | 0 |
| ¹³⁵ Xe | 1.15E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.15E-07 | 0.01 |
| ¹³⁷ Xe | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ¹³⁸ Xe | 2.69E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.69E-08 | 0 |
| ¹²⁹ I | 9.57E-19 | 2.07E-13 | 3.29E-14 | 1.49E-11 | 1.51E-11 | 0 |
| ¹³⁰ I | 5.57E-12 | 4.77E-11 | 9.67E-12 | 3.51E-10 | 4.14E-10 | 0 |
| ¹³¹ I | 2.75E-10 | 7.27E-08 | 4.02E-08 | 9.90E-06 | 1.00E-05 | 1.08 |
| ¹³² I | 6.46E-10 | 2.05E-09 | 2.26E-10 | 3.81E-11 | 2.96E-09 | 0 |
| ¹³³ I | 2.72E-10 | 7.94E-09 | 4.91E-09 | 5.40E-07 | 5.53E-07 | 0.06 |
| ¹³⁴ I | 1.72E-10 | 5.29E-11 | 2.58E-11 | 2.74E-17 | 2.51E-10 | 0 |
| ¹³⁵ I | 4.31E-10 | 3.54E-09 | 6.07E-10 | 1.23E-08 | 1.69E-08 | 0 |
| ⁶⁵ Zn | 5.43E-11 | 5.98E-08 | 1.49E-09 | 7.08E-08 | 1.32E-07 | 0.01 |
| ⁵¹ Cr | 8.16E-12 | 1.55E-09 | 7.20E-11 | 8.32E-10 | 2.46E-09 | 0 |
| ⁵⁴ Mn | 2.40E-10 | 4.96E-07 | 3.17E-09 | 2.43E-08 | 5.24E-07 | 0.06 |
| ⁵⁵ Fe | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.23E-09 | 7.40E-09 | 8.63E-09 | 0 |
| ⁵⁹ Fe | 4.36E-11 | 1.23E-08 | 1.05E-09 | 5.74E-09 | 1.91E-08 | 0 |
| ⁵⁸ Co | 7.58E-10 | 3.60E-07 | 1.21E-08 | 5.67E-08 | 4.30E-07 | 0.05 |
| ⁶⁰ Co | 2.48E-10 | 2.45E-06 | 2.20E-08 | 3.72E-08 | 2.51E-06 | 0.27 |
| ¹²⁴ Sb | 7.21E-11 | 1.95E-08 | 2.45E-09 | 8.56E-09 | 3.06E-08 | 0 |
| ^{110m} Ag | 7.33E-10 | 8.40E-07 | 2.35E-08 | 7.47E-08 | 9.39E-07 | 0.1 |
| ⁸³ Br | 4.34E-14 | 2.23E-14 | 1.98E-12 | 6.25E-16 | 2.05E-12 | 0 |
| ⁸⁴ Br | 4.46E-12 | 4.97E-13 | 6.36E-13 | 3.15E-31 | 5.59E-12 | 0 |
| ⁸⁵ Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0 |
| ⁸⁸ Rb | 2.32E-10 | 1.82E-11 | 4.01E-11 | 2.38E-44 | 2.90E-10 | 0 |
| ⁸⁹ Rb | 3.18E-11 | 2.32E-12 | 1.53E-12 | 0.00E+00 | 3.57E-11 | 0 |
| ⁸⁹ Sr | 8.03E-15 | 2.13E-11 | 5.18E-11 | 2.26E-10 | 2.99E-10 | 0 |
| ⁹⁰ Sr | 1.24E-16 | 1.39E-10 | 7.32E-11 | 2.27E-10 | 4.39E-10 | 0 |
| ⁹¹ Sr | 2.53E-13 | 4.74E-13 | 1.09E-12 | 1.32E-12 | 3.14E-12 | 0 |
| ⁹² Sr | 1.09E-13 | 5.49E-14 | 1.33E-13 | 3.19E-16 | 2.97E-13 | 0 |
| ⁹⁰ Y | 5.56E-17 | 4.66E-15 | 3.67E-14 | 4.06E-13 | 4.47E-13 | 0 |
| ^{91m} Y | 8.69E-14 | 1.70E-14 | 1.36E-14 | 5.23E-26 | 1.18E-13 | 0 |
| ⁹¹ Y | 1.60E-15 | 2.60E-12 | 8.12E-12 | 2.63E-11 | 3.70E-11 | 0 |
| ⁹² Y | 1.77E-14 | 1.21E-14 | 8.87E-14 | 2.35E-15 | 1.21E-13 | 0 |
| ⁹³ Y | 2.28E-15 | 4.30E-15 | 7.25E-14 | 1.74E-13 | 2.53E-13 | 0 |
| ⁹⁵ Zr | 1.14E-13 | 1.05E-10 | 7.02E-12 | 1.43E-11 | 1.26E-10 | 0 |

| 核素名称 | 空气浸没 | 地面沉积 | 吸入 | 食入 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ⁹⁵ Nb | 7.78E-14 | 1.83E-11 | 1.34E-12 | 5.05E-12 | 2.48E-11 | 0 |
| ⁹⁹ Mo | 1.27E-11 | 1.88E-10 | 3.60E-10 | 1.36E-09 | 1.92E-09 | 0 |
| ^{99m} Tc | 5.22E-12 | 6.40E-12 | 6.29E-12 | 1.18E-12 | 1.91E-11 | 0 |
| ¹⁰³ Ru | 4.42E-14 | 1.21E-11 | 2.11E-12 | 6.17E-12 | 2.04E-11 | 0 |
| ^{103m} Rh | 4.70E-18 | 6.98E-18 | 5.23E-16 | 5.42E-26 | 5.35E-16 | 0 |
| ¹⁰⁶ Ru | 5.37E-14 | 2.00E-10 | 1.13E-10 | 1.71E-10 | 4.84E-10 | 0 |
| ¹⁰⁶ Rh | 4.60E-14 | 2.14E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.74E-14 | 0 |
| ^{127m} Te | 2.92E-15 | 1.06E-11 | 6.69E-11 | 2.71E-10 | 3.49E-10 | 0 |
| ^{129m} Te | 5.86E-14 | 1.63E-11 | 9.81E-11 | 4.49E-10 | 5.63E-10 | 0 |
| ¹²⁹ Te | 3.65E-14 | 9.99E-15 | 1.88E-13 | 2.62E-21 | 2.34E-13 | 0 |
| ^{131m} Te | 3.02E-12 | 1.73E-11 | 1.30E-11 | 1.06E-10 | 1.39E-10 | 0 |
| ¹³¹ Te | 2.89E-13 | 3.18E-14 | 1.44E-13 | 3.29E-37 | 4.65E-13 | 0 |
| ¹³² Te | 3.96E-12 | 7.18E-10 | 2.75E-10 | 3.45E-09 | 4.45E-09 | 0 |
| ¹³⁴ Te | 1.60E-12 | 2.68E-13 | 9.32E-13 | 2.09E-26 | 2.80E-12 | 0 |
| ¹³⁴ Cs | 1.34E-09 | 6.62E-06 | 1.27E-07 | 4.35E-06 | 1.11E-05 | 1.19 |
| ¹³⁶ Cs | 7.96E-10 | 6.90E-08 | 7.50E-09 | 1.93E-07 | 2.70E-07 | 0.03 |
| ¹³⁷ Cs | 3.87E-10 | 8.04E-06 | 1.99E-07 | 2.41E-06 | 1.06E-05 | 1.14 |
| ¹³⁸ Cs | 2.60E-10 | 3.12E-11 | 3.36E-11 | 6.71E-29 | 3.25E-10 | 0 |
| ^{137m} Ba | 4.70E-12 | 5.55E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.26E-12 | 0 |
| ¹⁴⁰ Ba | 6.24E-14 | 5.57E-12 | 1.53E-11 | 6.54E-11 | 8.63E-11 | 0 |
| ¹⁴⁰ La | 1.72E-13 | 1.24E-12 | 5.85E-13 | 5.25E-12 | 7.25E-12 | 0 |
| ¹⁴¹ Ce | 6.62E-15 | 1.57E-12 | 2.62E-12 | 5.70E-12 | 9.90E-12 | 0 |
| ¹⁴³ Ce | 8.35E-15 | 5.80E-14 | 1.95E-13 | 1.12E-12 | 1.38E-12 | 0 |
| ¹⁴³ Pr | 2.31E-17 | 2.44E-15 | 9.58E-13 | 4.27E-12 | 5.23E-12 | 0 |
| ¹⁴⁴ Ce | 9.65E-15 | 3.28E-11 | 5.32E-11 | 7.31E-11 | 1.59E-10 | 0 |
| ¹⁴⁴ Pr | 6.71E-16 | 5.66E-17 | 2.25E-15 | 0.00E+00 | 2.98E-15 | 0 |
| ³ H | 3.18E-10 | 0.00E+00 | 1.57E-05 | 1.15E-05 | 2.72E-05 | 2.92 |
| ¹⁴ C | 1.90E-11 | 0.00E+00 | 1.78E-04 | 6.87E-04 | 8.65E-04 | 92.94 |
| 总计 | 1.28E-06 | 1.91E-05 | 1.94E-04 | 7.16E-04 | 9.31E-04 | 100 |
| 份额 (%) | 0.14 | 2.05 | 20.86 | 76.95 | 100 | |

表6.2-33 本工程2台CAP1400压水堆核电机组各种核素经液态照射途径对附近居民（婴儿）所致的最大有效剂量

单位：mSv/a

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额 (%) |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 51Cr | 1.24E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.24E-10 | 0.00 |
| 54Mn | 2.46E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.46E-09 | 0.03 |
| 55Fe | 3.90E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.90E-08 | 0.46 |
| 59Fe | 6.57E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.57E-08 | 0.78 |
| 58Co | 2.50E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.50E-08 | 0.30 |
| 60Co | 2.08E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.08E-07 | 2.46 |
| 65Zn | 2.70E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.70E-09 | 0.03 |
| 110mAg | 4.56E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.56E-09 | 0.05 |
| 124Sb | 1.21E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.21E-09 | 0.01 |
| 83Br | 8.81E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.81E-17 | 0.00 |
| 84Br | 2.94E-28 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.94E-28 | 0.00 |
| 85Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| 88Rb | 1.09E-37 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.09E-37 | 0.00 |
| 89Sr | 1.92E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.92E-12 | 0.00 |
| 90Sr | 1.21E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.21E-12 | 0.00 |
| 91Sr | 1.04E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.04E-15 | 0.00 |
| 92Sr | 1.04E-18 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.04E-18 | 0.00 |
| 90Y | 1.68E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.68E-13 | 0.00 |
| 91mY | 5.25E-25 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.25E-25 | 0.00 |
| 91Y | 1.04E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.04E-11 | 0.00 |
| 92Y | 8.82E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.82E-17 | 0.00 |
| 93Y | 2.09E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.09E-15 | 0.00 |
| 95Zr | 4.17E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.17E-11 | 0.00 |
| 95Nb | 5.80E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.80E-11 | 0.00 |
| 99Mo | 1.35E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.35E-11 | 0.00 |
| 99mTc | 9.73E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.73E-14 | 0.00 |
| 103Ru | 9.20E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.20E-13 | 0.00 |
| 103mRh | 3.36E-24 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.36E-24 | 0.00 |
| 106Ru | 5.33E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.33E-14 | 0.00 |
| 106Rh | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| 127mTe | 2.13E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.13E-10 | 0.00 |
| 129mTe | 6.50E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.50E-10 | 0.01 |
| 129Te | 2.51E-18 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.51E-18 | 0.00 |
| 131mTe | 7.33E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.33E-11 | 0.00 |
| 131Te | 1.35E-30 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.35E-30 | 0.00 |
| 132Te | 5.00E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.00E-09 | 0.06 |
| 134Te | 3.39E-23 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.39E-23 | 0.00 |
| 129I | 3.01E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.01E-15 | 0.00 |
| 130I | 1.23E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.23E-12 | 0.00 |
| 131I | 6.10E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.10E-08 | 0.72 |
| 132I | 4.48E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.48E-14 | 0.00 |
| 133I | 1.92E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.92E-09 | 0.02 |
| 134I | 2.72E-21 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.72E-21 | 0.00 |
| 135I | 1.30E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.30E-11 | 0.00 |
| 134Cs | 1.52E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.52E-08 | 0.18 |
| 136Cs | 3.00E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.00E-09 | 0.04 |
| 137Cs | 1.35E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.35E-08 | 0.16 |
| 138Cs | 6.74E-26 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.74E-26 | 0.00 |

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额 (%) |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 137mBa | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| 140Ba | 6.32E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.32E-11 | 0.00 |
| 140La | 1.55E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.55E-12 | 0.00 |
| 141Ce | 2.08E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.08E-11 | 0.00 |
| 143Ce | 4.16E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.16E-14 | 0.00 |
| 143Pr | 2.17E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.17E-13 | 0.00 |
| 144Ce | 2.88E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.88E-09 | 0.03 |
| 144Pr | 9.53E-41 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.53E-41 | 0.00 |
| 3H | 1.64E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.64E-07 | 1.94 |
| 14C | 7.84E-06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.84E-06 | 92.70 |
| 总计 | 8.46E-06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.46E-06 | 100.00 |
| 份额 (%) | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |

表6.2-34 本工程2台CAP1400压水堆核电机组各种核素经液态照射途径对附近居民（儿童）所致的最大有效剂量

单位：mSv/a

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额（%） |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 51Cr | 2.61E-09 | 6.69E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.68E-09 | 0.00 |
| 54Mn | 1.96E-07 | 3.99E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.96E-07 | 0.09 |
| 55Fe | 4.35E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.35E-07 | 0.20 |
| 59Fe | 7.74E-07 | 1.24E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.75E-07 | 0.36 |
| 58Co | 4.22E-07 | 1.94E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.41E-07 | 0.20 |
| 60Co | 2.92E-06 | 4.90E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.92E-06 | 1.35 |
| 65Zn | 7.08E-08 | 3.81E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.08E-08 | 0.03 |
| 110mAg | 2.27E-06 | 2.56E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.27E-06 | 1.05 |
| 124Sb | 1.31E-08 | 3.23E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.31E-08 | 0.01 |
| 83Br | 9.53E-16 | 2.71E-18 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.55E-16 | 0.00 |
| 84Br | 3.26E-27 | 2.28E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.28E-17 | 0.00 |
| 85Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| 88Rb | 1.61E-36 | 9.17E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.17E-15 | 0.00 |
| 89Sr | 3.45E-11 | 1.20E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.46E-11 | 0.00 |
| 90Sr | 1.38E-11 | 3.20E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.38E-11 | 0.00 |
| 91Sr | 2.89E-14 | 2.12E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.91E-14 | 0.00 |
| 92Sr | 2.96E-17 | 1.62E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.58E-17 | 0.00 |
| 90Y | 3.40E-11 | 1.34E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.41E-11 | 0.00 |
| 91mY | 1.07E-22 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.07E-22 | 0.00 |
| 91Y | 2.10E-09 | 1.05E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.11E-09 | 0.00 |
| 92Y | 1.69E-14 | 4.73E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.74E-14 | 0.00 |
| 93Y | 3.98E-13 | 2.02E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.98E-13 | 0.00 |
| 95Zr | 1.96E-08 | 2.71E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.23E-08 | 0.01 |
| 95Nb | 8.63E-09 | 1.22E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.85E-09 | 0.00 |
| 99Mo | 6.37E-10 | 3.28E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.37E-10 | 0.00 |
| 99mTc | 5.95E-12 | 1.15E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.95E-12 | 0.00 |
| 103Ru | 3.59E-09 | 4.71E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.59E-09 | 0.00 |
| 103mRh | 2.34E-21 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.34E-21 | 0.00 |
| 106Ru | 1.87E-10 | 1.05E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.87E-10 | 0.00 |
| 106Rh | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| 127mTe | 5.24E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.24E-09 | 0.00 |
| 129mTe | 1.99E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.99E-08 | 0.01 |
| 129Te | 8.24E-17 | 3.79E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.20E-16 | 0.00 |
| 131mTe | 2.87E-09 | 1.61E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.87E-09 | 0.00 |
| 131Te | 5.56E-29 | 1.56E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.56E-17 | 0.00 |
| 132Te | 1.75E-07 | 1.35E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.75E-07 | 0.08 |
| 134Te | 1.29E-21 | 6.59E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.59E-17 | 0.00 |
| 129I | 1.53E-12 | 3.77E-19 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.53E-12 | 0.00 |
| 130I | 4.38E-10 | 6.57E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.38E-10 | 0.00 |
| 131I | 2.54E-05 | 2.91E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.54E-05 | 11.77 |
| 132I | 1.49E-11 | 1.56E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.49E-11 | 0.00 |
| 133I | 7.17E-07 | 1.27E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.17E-07 | 0.33 |
| 134I | 7.72E-19 | 2.41E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.42E-16 | 0.00 |
| 135I | 4.80E-09 | 1.91E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.80E-09 | 0.00 |
| 134Cs | 1.40E-07 | 7.28E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.48E-07 | 0.07 |
| 136Cs | 2.85E-08 | 2.19E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.87E-08 | 0.01 |
| 137Cs | 1.15E-07 | 3.51E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.16E-07 | 0.05 |
| 138Cs | 5.43E-25 | 1.20E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.20E-14 | 0.00 |

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额 (%) |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 137mBa | 0.00E+00 | 3.64E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.64E-14 | 0.00 |
| 140Ba | 1.93E-09 | 2.81E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.93E-09 | 0.00 |
| 140La | 2.15E-10 | 1.53E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.16E-10 | 0.00 |
| 141Ce | 2.81E-09 | 1.58E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.83E-09 | 0.00 |
| 143Ce | 5.96E-12 | 5.47E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.96E-12 | 0.00 |
| 143Pr | 1.27E-11 | 8.64E-21 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.27E-11 | 0.00 |
| 144Ce | 3.66E-07 | 3.23E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.69E-07 | 0.17 |
| 144Pr | 4.92E-39 | 3.23E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.23E-17 | 0.00 |
| 3H | 2.47E-06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.47E-06 | 1.14 |
| 14C | 1.79E-04 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.79E-04 | 83.03 |
| 总计 | 2.16E-04 | 3.65E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.16E-04 | 100.00 |
| 份额 (%) | 99.98 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |

表6.2-35 本工程2台CAP1400压水堆核电机组各种核素经液态照射途径对附近居民（青少年）所致的最大有效剂量

单位：mSv/a

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额（%） |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 51Cr | 5.68E-09 | 3.34E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.02E-09 | 0.00 |
| 54Mn | 1.77E-07 | 1.99E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.77E-07 | 0.09 |
| 55Fe | 2.89E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.89E-07 | 0.15 |
| 59Fe | 4.07E-07 | 6.18E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.13E-07 | 0.21 |
| 58Co | 2.62E-07 | 9.68E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.59E-07 | 0.19 |
| 60Co | 1.91E-06 | 2.45E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.91E-06 | 0.99 |
| 65Zn | 5.83E-08 | 1.90E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.85E-08 | 0.03 |
| 110mAg | 1.84E-06 | 1.28E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.85E-06 | 0.96 |
| 124Sb | 7.40E-09 | 1.62E-10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.56E-09 | 0.00 |
| 83Br | 1.58E-14 | 1.35E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.58E-14 | 0.00 |
| 84Br | 5.39E-26 | 1.14E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.14E-16 | 0.00 |
| 85Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| 88Rb | 8.32E-37 | 4.59E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.59E-14 | 0.00 |
| 89Sr | 2.38E-11 | 5.98E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.44E-11 | 0.00 |
| 90Sr | 3.24E-11 | 1.60E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.24E-11 | 0.00 |
| 91Sr | 1.86E-14 | 1.06E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.96E-14 | 0.00 |
| 92Sr | 1.92E-17 | 8.12E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.00E-16 | 0.00 |
| 90Y | 2.00E-11 | 6.69E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.01E-11 | 0.00 |
| 91mY | 7.49E-23 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.49E-23 | 0.00 |
| 91Y | 1.21E-09 | 5.24E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.26E-09 | 0.00 |
| 92Y | 9.35E-15 | 2.37E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.17E-14 | 0.00 |
| 93Y | 2.33E-13 | 1.01E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.34E-13 | 0.00 |
| 95Zr | 9.32E-09 | 1.36E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.29E-08 | 0.01 |
| 95Nb | 5.66E-09 | 6.10E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.18E-08 | 0.01 |
| 99Mo | 3.92E-10 | 1.64E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.93E-10 | 0.00 |
| 99mTc | 9.52E-12 | 5.73E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.53E-12 | 0.00 |
| 103Ru | 2.34E-09 | 2.36E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.34E-09 | 0.00 |
| 103mRh | 1.28E-21 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.28E-21 | 0.00 |
| 106Ru | 1.14E-10 | 5.26E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.15E-10 | 0.00 |
| 106Rh | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| 127mTe | 3.43E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.43E-09 | 0.00 |
| 129mTe | 1.24E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.24E-08 | 0.01 |
| 129Te | 5.10E-17 | 1.89E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.40E-16 | 0.00 |
| 131mTe | 2.00E-09 | 8.03E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.00E-09 | 0.00 |
| 131Te | 3.63E-29 | 7.78E-17 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 7.78E-17 | 0.00 |
| 132Te | 1.10E-07 | 6.73E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.10E-07 | 0.06 |
| 134Te | 8.61E-22 | 3.29E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.29E-16 | 0.00 |
| 129I | 3.26E-12 | 1.88E-18 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.26E-12 | 0.00 |
| 130I | 2.76E-10 | 3.28E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.76E-10 | 0.00 |
| 131I | 1.81E-05 | 1.45E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.81E-05 | 9.41 |
| 132I | 9.51E-12 | 7.82E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.58E-12 | 0.00 |
| 133I | 4.02E-07 | 6.33E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.02E-07 | 0.21 |
| 134I | 5.34E-19 | 1.21E-15 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.21E-15 | 0.00 |
| 135I | 2.93E-09 | 9.56E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.93E-09 | 0.00 |
| 134Cs | 2.95E-07 | 3.64E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.32E-07 | 0.17 |
| 136Cs | 2.34E-08 | 1.10E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.45E-08 | 0.01 |
| 137Cs | 2.22E-07 | 1.75E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.23E-07 | 0.12 |
| 138Cs | 2.77E-25 | 6.02E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.02E-14 | 0.00 |

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额 (%) |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 137mBa | 0.00E+00 | 1.82E-13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.82E-13 | 0.00 |
| 140Ba | 1.89E-09 | 1.40E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.91E-09 | 0.00 |
| 140La | 1.81E-10 | 7.63E-12 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.89E-10 | 0.00 |
| 141Ce | 8.74E-10 | 7.91E-11 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.53E-10 | 0.00 |
| 143Ce | 1.89E-12 | 2.74E-14 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.92E-12 | 0.00 |
| 143Pr | 4.23E-12 | 4.32E-20 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.23E-12 | 0.00 |
| 144Ce | 1.09E-07 | 1.62E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.25E-07 | 0.07 |
| 144Pr | 1.49E-39 | 1.62E-16 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.62E-16 | 0.00 |
| 3H | 2.19E-06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.19E-06 | 1.14 |
| 14C | 1.66E-04 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.66E-04 | 86.15 |
| 总计 | 1.92E-04 | 1.83E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.92E-04 | 100.00 |
| 份额 (%) | 99.91 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |

表6.2-36 本工程2台CAP1400压水堆核电机组各种核素经液态照射途径对附近居民（成人）所致的最大有效剂量

单位：mSv/a

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额（%） |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 51Cr | 1.40E-08 | 1.34E-09 | 4.33E-13 | 0.00E+00 | 1.54E-08 | 0.01 |
| 54Mn | 2.81E-07 | 7.97E-11 | 7.30E-12 | 0.00E+00 | 2.81E-07 | 0.09 |
| 55Fe | 2.92E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.92E-07 | 0.10 |
| 59Fe | 5.23E-07 | 2.47E-08 | 4.76E-12 | 0.00E+00 | 5.48E-07 | 0.18 |
| 58Co | 3.12E-07 | 3.87E-07 | 2.36E-11 | 0.00E+00 | 6.99E-07 | 0.23 |
| 60Co | 1.61E-06 | 9.79E-09 | 6.79E-11 | 0.00E+00 | 1.62E-06 | 0.54 |
| 65Zn | 8.74E-08 | 7.62E-10 | 1.70E-13 | 0.00E+00 | 8.82E-08 | 0.03 |
| 110mAg | 2.48E-06 | 5.12E-09 | 2.54E-12 | 0.00E+00 | 2.48E-06 | 0.82 |
| 124Sb | 7.47E-09 | 6.46E-10 | 1.74E-12 | 0.00E+00 | 8.12E-09 | 0.00 |
| 83Br | 4.82E-14 | 5.41E-17 | 1.55E-15 | 0.00E+00 | 4.98E-14 | 0.00 |
| 84Br | 1.74E-25 | 4.56E-16 | 7.40E-14 | 0.00E+00 | 7.44E-14 | 0.00 |
| 85Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| 88Rb | 1.09E-36 | 1.83E-13 | 1.32E-12 | 0.00E+00 | 1.50E-12 | 0.00 |
| 89Sr | 2.70E-11 | 2.39E-12 | 2.89E-16 | 0.00E+00 | 2.94E-11 | 0.00 |
| 90Sr | 2.87E-11 | 6.40E-15 | 2.77E-18 | 0.00E+00 | 2.87E-11 | 0.00 |
| 91Sr | 2.55E-14 | 4.24E-15 | 3.36E-15 | 0.00E+00 | 3.30E-14 | 0.00 |
| 92Sr | 2.55E-17 | 3.25E-16 | 9.60E-16 | 0.00E+00 | 1.31E-15 | 0.00 |
| 90Y | 2.85E-11 | 2.67E-13 | 9.30E-18 | 0.00E+00 | 2.87E-11 | 0.00 |
| 91mY | 1.22E-22 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.22E-22 | 0.00 |
| 91Y | 1.73E-09 | 2.10E-10 | 7.37E-16 | 0.00E+00 | 1.94E-09 | 0.00 |
| 92Y | 1.43E-14 | 9.46E-15 | 2.02E-16 | 0.00E+00 | 2.39E-14 | 0.00 |
| 93Y | 3.48E-13 | 4.04E-15 | 3.09E-17 | 0.00E+00 | 3.52E-13 | 0.00 |
| 95Zr | 1.77E-08 | 5.42E-08 | 1.40E-12 | 0.00E+00 | 7.19E-08 | 0.02 |
| 95Nb | 8.86E-09 | 2.44E-08 | 2.51E-12 | 0.00E+00 | 3.33E-08 | 0.01 |
| 99Mo | 6.27E-10 | 6.56E-13 | 3.64E-13 | 0.00E+00 | 6.28E-10 | 0.00 |
| 99mTc | 2.63E-11 | 2.29E-14 | 2.73E-13 | 0.00E+00 | 2.65E-11 | 0.00 |
| 103Ru | 3.60E-09 | 9.43E-12 | 2.32E-13 | 0.00E+00 | 3.61E-09 | 0.00 |
| 103mRh | 2.08E-21 | 0.00E+00 | 1.20E-18 | 0.00E+00 | 1.20E-18 | 0.00 |
| 106Ru | 1.69E-10 | 2.10E-13 | 8.90E-16 | 0.00E+00 | 1.69E-10 | 0.00 |
| 106Rh | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.13E-16 | 0.00E+00 | 5.13E-16 | 0.00 |
| 127mTe | 4.00E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.00E-09 | 0.00 |
| 129mTe | 1.49E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.49E-08 | 0.00 |
| 129Te | 7.06E-17 | 7.57E-16 | 4.45E-15 | 0.00E+00 | 5.28E-15 | 0.00 |
| 131mTe | 2.33E-09 | 3.21E-13 | 7.14E-14 | 0.00E+00 | 2.33E-09 | 0.00 |
| 131Te | 4.39E-29 | 3.11E-16 | 5.50E-15 | 0.00E+00 | 5.82E-15 | 0.00 |
| 132Te | 1.33E-07 | 2.69E-11 | 2.13E-13 | 0.00E+00 | 1.33E-07 | 0.04 |
| 134Te | 1.14E-21 | 1.32E-15 | 1.38E-14 | 0.00E+00 | 1.51E-14 | 0.00 |
| 129I | 5.24E-12 | 7.54E-18 | 1.07E-19 | 0.00E+00 | 5.24E-12 | 0.00 |
| 130I | 3.34E-10 | 1.31E-14 | 3.82E-13 | 0.00E+00 | 3.34E-10 | 0.00 |
| 131I | 2.13E-05 | 5.81E-11 | 1.06E-10 | 0.00E+00 | 2.13E-05 | 7.03 |
| 132I | 1.24E-11 | 3.13E-13 | 4.88E-11 | 0.00E+00 | 6.15E-11 | 0.00 |
| 133I | 4.81E-07 | 2.53E-12 | 4.14E-11 | 0.00E+00 | 4.81E-07 | 0.16 |
| 134I | 7.77E-19 | 4.83E-15 | 2.01E-12 | 0.00E+00 | 2.01E-12 | 0.00 |
| 135I | 3.44E-09 | 3.83E-13 | 2.22E-11 | 0.00E+00 | 3.47E-09 | 0.00 |
| 134Cs | 5.64E-07 | 1.46E-07 | 6.90E-11 | 0.00E+00 | 7.10E-07 | 0.23 |
| 136Cs | 3.04E-08 | 4.38E-09 | 3.51E-11 | 0.00E+00 | 3.49E-08 | 0.01 |
| 137Cs | 4.23E-07 | 7.02E-09 | 6.87E-15 | 0.00E+00 | 4.30E-07 | 0.14 |
| 138Cs | 2.87E-25 | 2.41E-13 | 1.24E-12 | 0.00E+00 | 1.49E-12 | 0.00 |

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额 (%) |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 137mBa | 0.00E+00 | 7.27E-13 | 3.71E-11 | 0.00E+00 | 3.78E-11 | 0.00 |
| 140Ba | 2.91E-09 | 5.62E-11 | 2.81E-13 | 0.00E+00 | 2.96E-09 | 0.00 |
| 140La | 3.26E-10 | 3.05E-11 | 7.24E-14 | 0.00E+00 | 3.57E-10 | 0.00 |
| 141Ce | 1.92E-09 | 3.16E-10 | 2.88E-14 | 0.00E+00 | 2.23E-09 | 0.00 |
| 143Ce | 4.01E-12 | 1.09E-13 | 2.39E-16 | 0.00E+00 | 4.12E-12 | 0.00 |
| 143Pr | 8.27E-12 | 1.73E-19 | 1.89E-18 | 0.00E+00 | 8.27E-12 | 0.00 |
| 144Ce | 2.38E-07 | 6.47E-08 | 1.20E-13 | 0.00E+00 | 3.03E-07 | 0.10 |
| 144Pr | 3.33E-39 | 6.47E-16 | 2.51E-16 | 0.00E+00 | 8.98E-16 | 0.00 |
| 3H | 3.84E-06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.84E-06 | 1.27 |
| 14C | 2.70E-04 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.70E-04 | 88.97 |
| 总计 | 3.02E-04 | 7.31E-07 | 4.79E-10 | 0.00E+00 | 3.03E-04 | 100.00 |
| 份额 (%) | 99.76 | 0.24 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |

表6.2-37 本工程2台CAP1400压水堆核电机组各种核素经液态照射途径对附近渔民所致的最大有效剂量

单位：mSv/a

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ⁵¹ Cr | 1.39E-08 | 1.56E-09 | 5.41E-13 | 1.19E-11 | 1.55E-08 | 0.01 |
| ⁵⁴ Mn | 2.78E-07 | 9.30E-11 | 9.12E-12 | 2.01E-10 | 2.78E-07 | 0.10 |
| ⁵⁵ Fe | 2.75E-07 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.75E-07 | 0.10 |
| ⁵⁹ Fe | 4.92E-07 | 2.88E-08 | 5.95E-12 | 1.31E-10 | 5.21E-07 | 0.19 |
| ⁵⁸ Co | 2.86E-07 | 4.52E-07 | 2.95E-11 | 6.49E-10 | 7.39E-07 | 0.27 |
| ⁶⁰ Co | 1.48E-06 | 1.14E-08 | 8.48E-11 | 1.87E-09 | 1.50E-06 | 0.55 |
| ⁶⁵ Zn | 8.45E-08 | 8.89E-10 | 2.12E-13 | 4.67E-12 | 8.54E-08 | 0.03 |
| ^{110m} Ag | 2.47E-06 | 5.98E-09 | 3.17E-12 | 6.98E-11 | 2.48E-06 | 0.92 |
| ¹²⁴ Sb | 6.27E-09 | 7.54E-10 | 2.17E-12 | 4.78E-11 | 7.07E-09 | 0.00 |
| ⁸³ Br | 4.81E-14 | 6.31E-17 | 1.94E-15 | 4.26E-14 | 9.27E-14 | 0.00 |
| ⁸⁴ Br | 1.74E-25 | 5.32E-16 | 9.25E-14 | 2.03E-12 | 2.13E-12 | 0.00 |
| ⁸⁵ Br | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00 |
| ⁸⁸ Rb | 1.00E-36 | 2.14E-13 | 1.65E-12 | 3.63E-11 | 3.82E-11 | 0.00 |
| ⁸⁹ Sr | 2.56E-11 | 2.79E-12 | 3.62E-16 | 7.96E-15 | 2.84E-11 | 0.00 |
| ⁹⁰ Sr | 2.72E-11 | 7.47E-15 | 3.46E-18 | 7.61E-17 | 2.73E-11 | 0.00 |
| ⁹¹ Sr | 2.41E-14 | 4.95E-15 | 4.20E-15 | 9.23E-14 | 1.26E-13 | 0.00 |
| ⁹² Sr | 2.42E-17 | 3.79E-16 | 1.20E-15 | 2.64E-14 | 2.80E-14 | 0.00 |
| ⁹⁰ Y | 2.83E-11 | 3.12E-13 | 1.16E-17 | 2.56E-16 | 2.86E-11 | 0.00 |
| ^{91m} Y | 1.21E-22 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.21E-22 | 0.00 |
| ⁹¹ Y | 1.72E-09 | 2.45E-10 | 9.21E-16 | 2.03E-14 | 1.97E-09 | 0.00 |
| ⁹² Y | 1.42E-14 | 1.10E-14 | 2.52E-16 | 5.55E-15 | 3.10E-14 | 0.00 |
| ⁹³ Y | 3.46E-13 | 4.71E-15 | 3.86E-17 | 8.49E-16 | 3.52E-13 | 0.00 |
| ⁹⁵ Zr | 1.76E-08 | 6.32E-08 | 1.75E-12 | 3.85E-11 | 8.09E-08 | 0.03 |
| ⁹⁵ Nb | 8.79E-09 | 2.85E-08 | 3.13E-12 | 6.89E-11 | 3.73E-08 | 0.01 |
| ⁹⁹ Mo | 6.13E-10 | 7.65E-13 | 4.55E-13 | 1.00E-11 | 6.24E-10 | 0.00 |
| ^{99m} Tc | 2.61E-11 | 2.67E-14 | 3.41E-13 | 7.50E-12 | 3.40E-11 | 0.00 |
| ¹⁰³ Ru | 3.60E-09 | 1.10E-11 | 2.90E-13 | 6.39E-12 | 3.62E-09 | 0.00 |
| ^{103m} Rh | 2.07E-21 | 0.00E+00 | 1.50E-18 | 3.30E-17 | 3.45E-17 | 0.00 |
| ¹⁰⁶ Ru | 1.69E-10 | 2.45E-13 | 1.11E-15 | 2.45E-14 | 1.69E-10 | 0.00 |
| ¹⁰⁶ Rh | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.41E-16 | 1.41E-14 | 1.47E-14 | 0.00 |
| ^{127m} Te | 3.88E-09 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.88E-09 | 0.00 |
| ^{129m} Te | 1.44E-08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.44E-08 | 0.01 |
| ¹²⁹ Te | 6.85E-17 | 8.84E-16 | 5.56E-15 | 1.22E-13 | 1.29E-13 | 0.00 |
| ^{131m} Te | 2.26E-09 | 3.75E-13 | 8.93E-14 | 1.96E-12 | 2.27E-09 | 0.00 |
| ¹³¹ Te | 4.26E-29 | 3.63E-16 | 6.88E-15 | 1.51E-13 | 1.59E-13 | 0.00 |
| ¹³² Te | 1.29E-07 | 3.14E-11 | 2.67E-13 | 5.87E-12 | 1.29E-07 | 0.05 |
| ¹³⁴ Te | 1.10E-21 | 1.54E-15 | 1.72E-14 | 3.79E-13 | 3.98E-13 | 0.00 |
| ¹²⁹ I | 5.23E-12 | 8.80E-18 | 1.34E-19 | 2.95E-18 | 5.23E-12 | 0.00 |
| ¹³⁰ I | 3.33E-10 | 1.53E-14 | 4.78E-13 | 1.05E-11 | 3.44E-10 | 0.00 |
| ¹³¹ I | 2.12E-05 | 6.78E-11 | 1.33E-10 | 2.92E-09 | 2.12E-05 | 7.87 |
| ¹³² I | 1.23E-11 | 3.65E-13 | 6.10E-11 | 1.34E-09 | 1.42E-09 | 0.00 |
| ¹³³ I | 4.79E-07 | 2.95E-12 | 5.18E-11 | 1.14E-09 | 4.80E-07 | 0.18 |
| ¹³⁴ I | 7.74E-19 | 5.63E-15 | 2.51E-12 | 5.51E-11 | 5.77E-11 | 0.00 |
| ¹³⁵ I | 3.43E-09 | 4.46E-13 | 2.77E-11 | 6.10E-10 | 4.07E-09 | 0.00 |
| ¹³⁴ Cs | 4.53E-07 | 1.70E-07 | 8.63E-11 | 1.90E-09 | 6.25E-07 | 0.23 |
| ¹³⁶ Cs | 2.44E-08 | 5.12E-09 | 4.39E-11 | 9.66E-10 | 3.06E-08 | 0.01 |
| ¹³⁷ Cs | 3.40E-07 | 8.19E-09 | 8.59E-15 | 1.89E-13 | 3.48E-07 | 0.13 |
| ¹³⁸ Cs | 2.30E-25 | 2.81E-13 | 1.56E-12 | 3.42E-11 | 3.61E-11 | 0.00 |

| 核素 | 食入水生生物 | 岸边活动 | 游泳 | 划船 | 总计 | 份额 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| ^{137m} Ba | 0.00E+00 | 8.48E-13 | 4.64E-11 | 1.02E-09 | 1.07E-09 | 0.00 |
| ¹⁴⁰ Ba | 2.85E-09 | 6.55E-11 | 3.52E-13 | 7.74E-12 | 2.93E-09 | 0.00 |
| ¹⁴⁰ La | 3.25E-10 | 3.56E-11 | 9.05E-14 | 1.99E-12 | 3.62E-10 | 0.00 |
| ¹⁴¹ Ce | 1.90E-09 | 3.69E-10 | 3.60E-14 | 7.91E-13 | 2.27E-09 | 0.00 |
| ¹⁴³ Ce | 3.97E-12 | 1.28E-13 | 2.98E-16 | 6.56E-15 | 4.10E-12 | 0.00 |
| ¹⁴³ Pr | 8.08E-12 | 2.02E-19 | 2.37E-18 | 5.21E-17 | 8.08E-12 | 0.00 |
| ¹⁴⁴ Ce | 2.36E-07 | 7.55E-08 | 1.51E-13 | 3.31E-12 | 3.12E-07 | 0.12 |
| ¹⁴⁴ Pr | 3.25E-39 | 7.54E-16 | 3.14E-16 | 6.91E-15 | 7.98E-15 | 0.00 |
| ³ H | 3.38E-06 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.38E-06 | 1.25 |
| ¹⁴ C | 2.37E-04 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.37E-04 | 87.92 |
| 总计 | 2.69E-04 | 8.52E-07 | 5.98E-10 | 1.32E-08 | 2.70E-04 | 100.00 |
| 份额 (%) | 99.68 | 0.32 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |

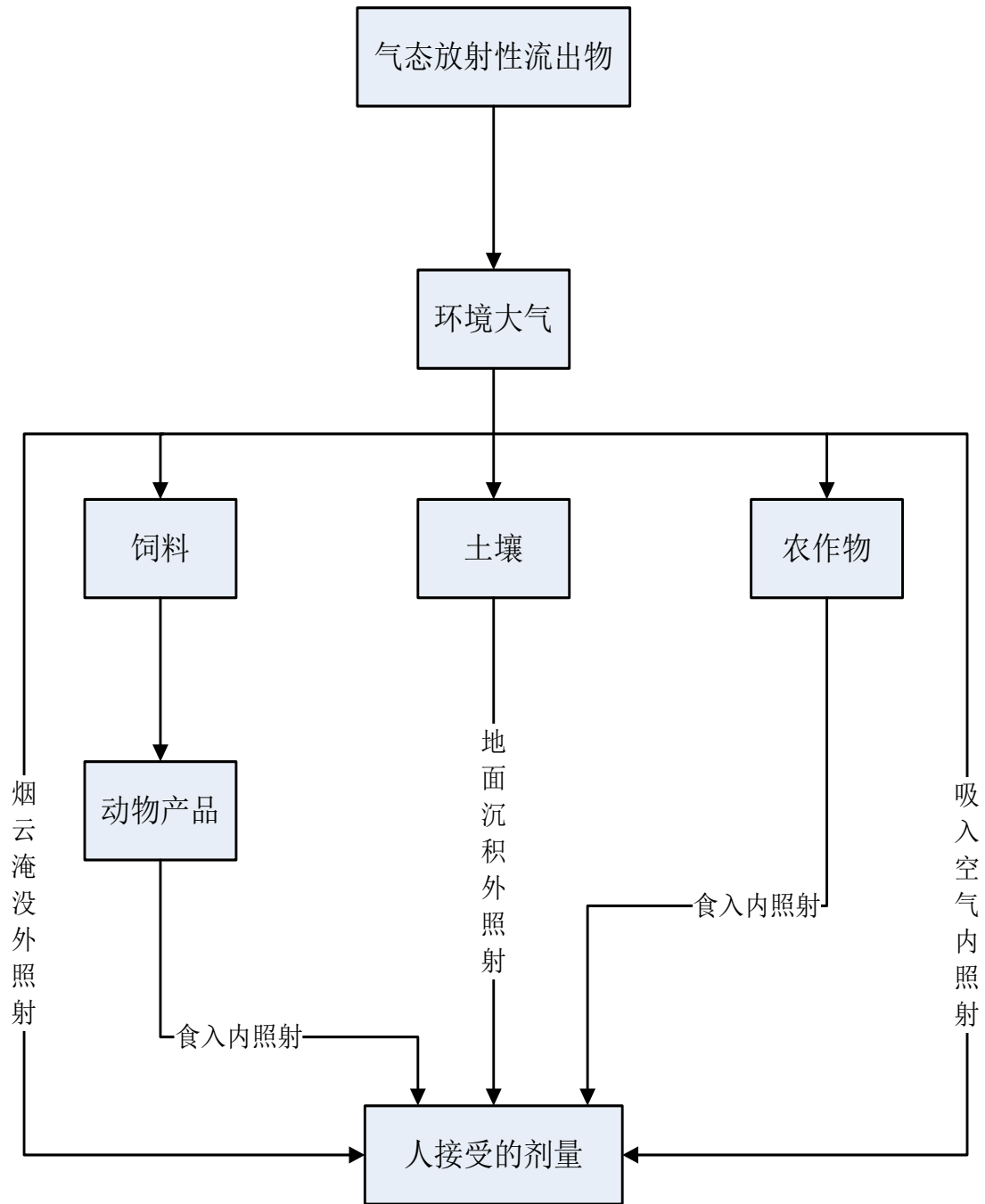


图 6.2-1 正常运行时气载流出物对人体的照射途径

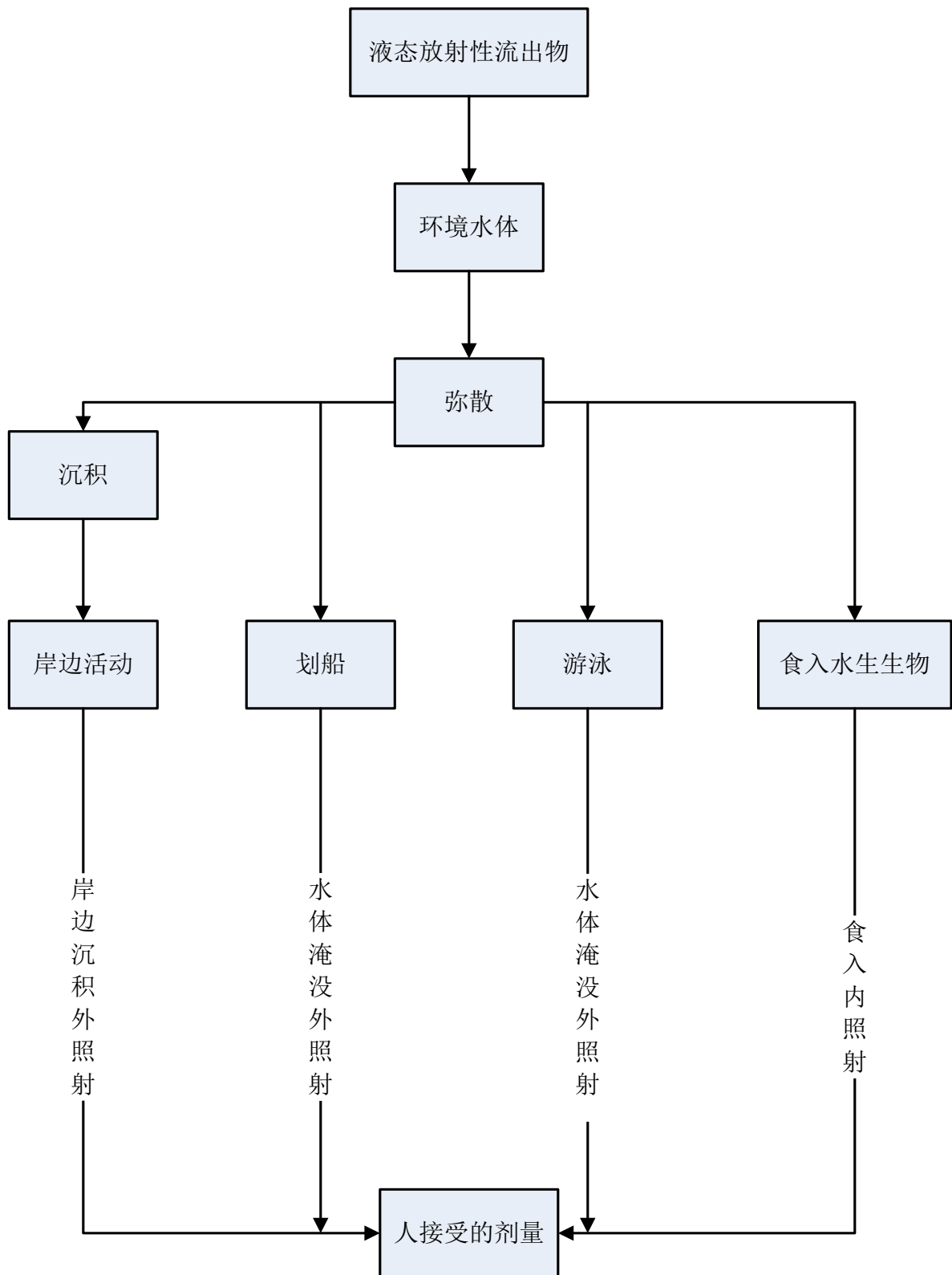


图 6.2-2 正常运行时液态流出物对人体的照射途径

6.3 其它影响

6.3.1 化学物质排放对海洋环境的影响

本工程运行对海洋环境的其它影响主要是化学物质排放引起的影响。

本工程排放的化学物质来自下列工艺过程产生的废水中：

- 工艺系统排水；
- 生活污水处理；
- 氯化处理；
- 液态放射性废物处理；
- 硼酸排放；
- 海水淡化。

6.3.1.1 工艺系统的排放水

本工程非放射性生产废水系统（WWS）根据来水水质情况分别收集来自主厂房含油废水坑的废水，第一跨中转地坑废水，变压器及电抗器区域的含油废水，柴油储罐区废水和核岛附属厂房、辅助厂房、柴油发电机房，CPS 排水以及二回路放射性超标排水等。汽机房含油废水、第一跨中转地坑废水、变压器及电抗器区域含油废水、柴油储罐区废水均排入含油废水调节池；二回路放射性超标排水、CPS 排水排入接收排放监测水箱。

本工程凝结水精处理系统在机组启停及异常运行期间能从凝结水中除去微量的离子态杂质和腐蚀产物，缩短机组启动时间，维持正常运行以及在凝汽器管材泄漏时确保在一定时间内有计划地停机。按凝结水精处理系统连续运行计算，年使用 31% 盐酸约 2435t，32% 氢氧化钠约 381t，主要用于树脂再生，再生过程产生的酸碱性和废水经过曝气中和处理后 pH=6~9，排入非放射性生产废水系统（WWS）统一排放。

本工程除盐水处理系统的功能是处理来自淡水供应系统的水，为常规岛、核岛和 BOP 等项目提供符合水质和水量要求的除盐水，处理后的除盐水输送至除盐水储存和分配系统及凝结水精处理系统。按除盐水处理系统连续运行计算，年使用 31% 盐酸约 205t，32% 氢氧化钠约 280t。主要用于树脂再生，再生过程产生的酸碱性和废水经过曝气中和处理后 pH=6~9，排入 WWS 统一排放。

本工程常规岛化学药剂供给系统将所需的化学药品注入凝结水、给水、闭式水以及蒸汽发生器排污系统，维持系统的合适水化学工况，以使这些系统腐蚀和

结垢倾向减至最低。该系统中使用的化学物质主要是 ETA/氨水和联氨，年使用 98% 乙醇胺(ETA)约 447t 或者 25%氨水约 632t, 80%联氨约 35t。乙醇胺(ETA)/氨水和联氨加入系统后随着处理工艺消耗，无外排。

本工程产生的生产废水经处理后达到《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》(DB37/3416.5-2018)中的一级标准，其与循环冷却水掺混后排放至厂址附近海域。由于循环冷却水排水量(冬季 $62.25\text{m}^3/\text{s}$)远远大于生产废水排水量，污染物的浓度在进入受纳水体前已被充分稀释；此外参考数、物模成果，在距离排放口约 1km 处的稀释因子为 0.1，约 2km 处的稀释因子为 0.05，约 10km 处的稀释因子为 0.02，因此经厂址排放口附近的海水扩散稀释后，进入受纳水体环境的排放物预计不会对厂址附近海域产生明显的影响。

6.3.1.2 生活污水处理的排放物

本工程运行期产生的生活污水主要来源于人员综合办公、食堂、各厂房卫生设施、武警消防宿舍等。核电厂运行期将采用雨污分流制，生活污水排水系统采用重力流管道收集产生的生活污水，并输送至生活污水处理设施处理。生活污水处理达标后，部分回用处理，无法回用时排放。全厂设置 3 套埋地式污水处理设施，负责处理厂址主厂区、厂前区、厂外区域(厂区大门进场道路北侧)的生活污水，处理能力分别为主厂区 $30\text{m}^3/\text{h}$ 、厂前区 $20\text{m}^3/\text{h}$ 、厂外区 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。生活污水经处理后可达到或高于《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)中的绿化、车辆冲洗用水标准以及《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》(DB37/3416.5-2018)的一级排放标准。

本工程生活污水处理过程中产生的污泥进入污泥浓缩池作浓缩处理后，由人工每年清理外运。

6.3.1.3 余氯排放

循环水加药系统采用电解海水的方式制取次氯酸钠，用以抑制藻类、贻贝的生长，保证凝汽器和热交换器良好的传热性能。该系统中使用的化学物质主要是次氯酸钠溶液，主要用于海水杀菌灭藻，为了保护循环冷却水系统不受海洋附着生物的堵塞。按循环水加药系统连续运行计算，年产生 1.6g/L 的次氯酸钠溶液约 $2.6 \times 10^6\text{m}^3$ 。

循环冷却水中注入次氯酸钠后会在水中产生下列产物：

- 次氯化物与海水中的溴盐作用，产生次溴化物离子；

- 在海水中产生少量游离溴或游离氯；
- 次溴化物或次氯化物与海洋中的含氮有机化合物作用，产生化合态的氧化物，从而造成低值氧化剂残留量。

根据法国格拉芙林核电站的研究结果，余氯浓度为 0.05mg/L 时，藻类的初生组织就开始受到影响。根据本工程附近海域的海洋生态环境调查成果，厂址附近海域污损生物较少，建设单位通过控制加药量的方式使排水口余氯的浓度小于 0.1mg/L，符合《海水冷却水排放要求》（GB/T39361-2020）。建设单位同时根据厂址附近海域的实际污损生物量尽可能减少加氯量，尽可能降低排水口处的余氯浓度。

一般认为海洋生物的余氯浓度安全阈值为 0.02mg/L，对于不同的海洋生物，其余氯浓度安全阈值各有不同。关于余氯对水生生物的影响，曾江宁¹等人对余氯造成水生生物的损伤开展了一定的研究，研究发现余氯对浮游植物的损害较大，0.2mg/L 的氯可以直接杀死水中 60~80%的藻类；0.1mg/L 的余氯会使浮游植物光合作用下降 50%；当余氯稀释到 0.03mg/L 以下时，水中初级生产力可完全恢复。浮游动物对余氯较敏感，48h 的半致死浓度乘以安全因子 0.5 可确定余氯的安全浓度。25℃时余氯对海水中浮游动物 96h 的半致死浓度(LC₅₀)为 0.062~0.267mg/L。张穗²等人则选择若干养殖经济动物进行了余氯毒性胁迫试验。以 0.5 为安全因子，余氯胁迫作用时间不超过 30min 时，游离余氯对平鲷、黑鲷仔鱼的安全容许浓度约为 0.10mg/L，对斑节对虾幼苗为 0.86mg/L；余氯胁迫作用不超过 60min 时，化合态余氯对平鲷、黑鲷仔鱼的安全容许浓度约为 0.30mg/L，对斑节对虾幼苗约为 2.86mg/L。

由于游离态余氯氧化能力强，极不稳定，衰减极快，随着潮汐和海流的运动，冷却水不断地与海区中大量的海水进行混合，残余氯得到稀释，并进一步得到消耗。本工程排水口余氯的浓度小于 0.1mg/L，根据中国水利水电科学研究院 2021 年开展的余氯数值模拟研究成果，冬、夏季半月潮情况下，本工程余氯排放大于 0.02mg/L 浓度的水体所对应的最大和平均包络面积均小于 0.01km²。

核电厂余氯的排放会造成厂址附近海域海洋渔业生物资源造成一定量的损

¹ 曾红宁等，余氯对水生生物的影响，生态学报，2005（10）：2717-2724；

² 张穗等，大亚湾核电站余氯排放对邻近海域环境的影响，海洋环境科学，2000（2）：14-18。

失，但由于厂址邻近海域较好的水体稀释扩散能力以及余氯的自身衰减，余氯的排放的影响范围有限，局限于排放口附近海域，对厂址附近海洋生态环境系统的总体影响较小，不会造成海洋生物生境的较大变化。

6.3.1.4 液态放射性废物处理系统处理的化学废水

此类废水的化学成分由两部分组成：

- 工艺水中少量化学添加剂。

按照运行规程的要求，这些化学物质的浓度通常很低，不会显著改变厂址附近海域水体中的含盐量以及水中生物量。其中，经核电厂循环冷却水掺混后的洗衣废水，其典型的非放指标，如COD、LAS等符合《流域水污染物综合排放标准第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）一级标准后排放。

- 放射性核素。

放射性核素的辐射影响已在6.2节中进行了分析，即使这些核素中有一些对环境可能是有毒的，但由于这些核素浓度甚微，对厂址附近海域的化学影响比起辐射影响可以忽略不计。

6.3.1.5 硼酸排放

调硼动作造成的化学和容积控制系统下泄流以及泄漏出的反应堆冷却剂中含有硼。由于CAP1400压水堆核电机组没有硼回收系统，这些硼将直接进入液态放射性废物处理系统，并最终随液态流出物一起与循环冷却水混合后排入厂址附近海域。

单台CAP1400压水堆核电机组每年向厂址附近海域排放的硼的总量约为3t，其质量约为17.28t，最高排放浓度为2700mg/L。该类化学物质通过一回路冷却剂下泄至放射性废液处理系统（WLS），经WLS处理后监测排放。考虑2台机组中的1台机组大修、1台机组运行的工况，该工况下仅有1台机组的循环冷却水处于正常运行状态，与核电厂循环冷却水掺混后排放至循环冷却水排放口时，排放的平均硼浓度约为1.06mg/L。（国家及山东省污染物排放标准中未对硼排放作出规定，参照上海市地方标准《污水综合排放标准》（DB31/199-2018）第二类污染物排放限值一级标准，总硼不高于2mg/L。）经海水进一步稀释后，硼在海水中的浓度甚微，对厂址附近海域环境基本不造成环境影响。

6.3.1.6 海水淡化系统的排水

海水淡化系统用于将海水转化为淡水，提供核电厂运行期间生活水、消防水、

生产正常用水等。系统采用膜法工艺，使用的化学物质有凝聚剂、助凝剂、次氯酸钠、阻垢剂、还原剂，主要用于海水预处理的絮凝、阻垢和杀菌过程，以及防止反渗透膜结垢和氧化。按系统连续运行计算，年使用 100% 凝聚剂约 245t，100% 助凝剂约 9.8t，1.6g/L 的次氯酸钠溶液约 18375m³，100% 阻垢剂约 39t，100% 还原剂约 28t。系统还使用酸、碱类药剂作为化学清洗剂，超滤、反渗透装置单次化学清洗最大产生废水量约 40m³。

凝聚剂、助凝剂、阻垢剂、还原剂加入系统后随着处理工艺消耗，无外排。系统次氯酸钠使用量不到循环水加药系统次氯酸钠使用量的 1%，其影响参见 6.3.1.3 节描述。海水淡化产生的废水经过酸碱中和处理，达到《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）的一级排放标准后排放。

系统产生浓盐水的含盐量约为 55g/L，年排放量约为 3.72×10⁶m³，考虑 2 台机组中的 1 台机组大修、1 台机组运行的工况，该工况下仅有 1 台机组的循环冷却水处于正常运行状态，单台 CAP1400 压水堆核电机组冬季冷却水排水流量为 62.25m³/s，浓盐水与冷却水参混后，循环水含盐量升高约 0.2%。浓盐水与冷却水参混后再排到厂址附近海域并经海水稀释后，海水含盐量的增加非常小，因此系统排放的含盐水对环境的影响可以接受。

系统预处理排污泥采用浓缩、离心脱水处理（含水率降至 70%），最终产生的泥饼用汽车外运处理。

6.3.2 噪声影响

核电厂的噪声主要来自核岛厂房群（包括反应堆厂房、辅助厂房、附属厂房、废物厂房等）、汽轮机厂房以及 BOP 部分的少数车间和厂房中的运转设备。

核岛厂房噪声主要来源于以下方面：

- 核岛主厂房设备噪声：包括不停高速运转的高温、高压水泵及配套电动机的噪声；安全阀，管道及箱罐等设备在执行排放或泄压功能时产生的噪声；发电机组、开式变压器和逆变器等电气系统的部分设备产生的噪声。
- 核岛通风系统噪声。包括不停运转的大型电动鼓风机组运转产生的噪声、风机产生的噪声通过固体振动和空气流动引起的噪声，通风系统中空气流动可能产生附加噪声。

- 柴油机厂房噪声：柴油机的例行试验产生的噪声。

汽轮机厂房产生的噪声主要来自以下方面：

- 高速运转的汽轮发电机组、主给水泵和凝结水泵等机械动力噪声；
- 电动机、变压器等电气设备的磁场交变运动产生的电磁噪声；
- 在甩负荷时，蒸汽通过旁路阀排入冷凝器会发出较强的噪声；
- 设备运行中其安全阀或排汽阀事故排汽时，尤其是主蒸汽管道内的蒸汽通过安全阀和泄压阀向大气排放时，会产生极强的气体动力噪声，但发生这种情况的概率非常低。
- 水泵房、压缩空气站、辅助锅炉房、除盐水系统等。

此外，核电厂开关站等也会有噪音产生。

本工程核岛、常规岛内设备噪声满足《核电厂生产厂房的噪声控制》（NB/T20190-2012）附录 A 提出的核电厂核岛、常规岛内设备噪声级要求。

为了降低噪声对环境的影响，各噪声源采用了隔声罩、厂房吸音、厂房封闭隔声等降噪措施。根据《工业场所有害物质因素 物理因素》（GBZ2.2-2007）和职业卫生噪声防护设计要求，上述设备所在厂区各单元内的噪声控制值最高为85dB。

核电厂运行期间的固定声源的具体位置见图 6.3-1。

依据原荣成市环境保护局出具的《关于国核示范电站有限责任公司大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程环境影响评价执行标准的函》，本工程运行期间厂界噪声按照《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准限值执行。厂外环境敏感点执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准。

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）的要求，本工程的评价范围为厂界向外 200m 范围内，此外，本工程 1 号机组 WSW 方位 0.84km 处的东墩村距厂址最近，为本项目的噪声敏感点。

核电厂运行期间的噪声源主要考虑核岛厂房、汽轮机厂房和循环水泵房产生的噪声影响。预测核电厂运行期间对厂界及敏感点的噪声影响时，保守只考虑几何发散引起的声级衰减，通过预测点的多声源叠加来计算厂区边界和环境敏感点（东墩村）的噪声预测值。根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）的计算方法，根据噪声源强以及声源至预测点的距离，计算出预测点位置处的噪

声贡献值（多声源叠加），再与环境噪声值叠加后得到噪声预测值。噪声预测计算参数及结果见表 6.3-1。其中，核岛厂房建筑隔声效果不小于 25dB；汽轮机厂房外围护结构隔声效果不小于 20dB；循环水泵房外墙隔声效果不小于 40dB。

由表 6.3-1 可见，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组正常运行期间，对厂界造成的噪声影响满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准限值（昼间 60dB，夜间 50dB），对厂外环境敏感点（东墩村）造成的噪声影响满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准限值（昼间 60dB，夜间 50dB）。

6.3.3 常规大气污染物排放

柴油发电机厂房每季度开展一次例行运行试验，全年共运行 12 小时。柴油发电机运行时的污染物年排放量为：SO₂ 年排放量 110.88kg/a；NO_x 年排放量 198kg/a；TSP 年排放量 25.25kg/a。

柴油驱动泵每周启动一次，每次 30 分钟，全年共运行 26 小时。柴油驱动泵运行时的污染物年排放量为：SO₂ 年排放量 1.37kg/a；NO_x 年排放量 48.95kg/a；TSP 年排放量 1.87kg/a。

6.3.4 废物处置

6.3.4.1 生活垃圾

本工程运行期间的员工人数为 1000 人，按照人均生活垃圾产生量为 1kg/（d 人），则运行期间生活垃圾的产生量为 1t/d。

生活垃圾由本工程所在地的环卫部门定期清运。

6.3.4.2 一般工业固体废物

本工程运行期间产生的一般工业固体废物临时贮存于本工程厂区内的一般工业固体废物库中，一般工业固体废物库满足《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）中的相关规定。

本工程运行期间产生的一般工业固体废物由本工程所在地的有一般工业固体废物处置专业资质的单位定期收运处置。

6.3.4.3 危险废物

本工程运行期间产生的危险废物主要包括废试剂、废油、废油漆、废涂料、

废电池等。产生的危险废物（除废油脂外）临时贮存于本工程厂区内的非放危险废物库中，非放危险废物库满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001，环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单）中的相关规定。

本工程运行期间产生的废油脂临时贮存于本工程厂区内的油脂库。

本工程运行期间产生的危险废物由本工程所在地的有危险废物处置专业资质的单位定期收运处置。

6.3.5 电磁辐射影响

本工程 500kV 主变压器的主变容量 $3\times 575\text{MVA}$ ，位于主厂房以北开关站区域内，采用 500kV 屋内 GIS 配电装置，配电装置位于开关站区域中部，500kV 配电装置西南侧为网控通信楼及 220kV 配电装置。

采用类比分析法，对相同电压等级变电站运行后电磁场分布情况进行实测，分析变电站电磁环境影响特征，类推本工程变电装置环境影响程度。

类比分析的变电站选为 500kV 常熟变电站。

6.3.5.1 类比变电站介绍

500kV 常熟变电站地处常熟市区西南部与无锡市的交界处，距常熟市区约 14km，属辛庄镇管辖。

变电站周边为河道、鱼塘、农田，西侧约 1km 为苏虞张公路，进站道路由站址北面的沈张线县道引接，长度约 700m，交通运输方便。

500kV 配电装置布置在变电站区域中部，500kV 线路往东、西出线；220kV 配电装置分别布置在南北两侧，南侧的 220kV 向南出线，35kV 配电装置居中；北侧的 220kV 东、西向出线，与 35kV 配电装置一道，位于 500kV 配电装置北侧。站前区布置于站区南部西侧，主控通信楼在站内主干道西侧，其它建构物根据各专业工艺的需要，分散布置在所内道路的两侧。

500kV 常熟变电站主要设备距围墙距离参见表 6.3-2。

500kV 常熟变电站一期工程分为北站和南站 2 个部分，共建 3 台主变，2010 年 12 月北站已建成 2 台 1000MVA 主变（2#、3#主变），2011 年 6 月南站已建成 1 台 1000MVA 主变（5#主变）。二期工程正在北站建设 1#主变（1 组 1000MVA 单相自耦无励磁调压变压器）。江苏省辐射环境监测站于 2011 年 7 月对 500kV 常熟变电站及周边居民点的工频电场强度、工频磁感应强度、无线电干扰和噪声

监测，监测结果参见表 6.3-3。

500kV 常熟变电站厂界（包含变电站 500kV 出线和 220kV 出线）工频电场强度范围为 0.041~0.766kV/m，工频磁感应强度在 0.00116~0.012mT。

6.3.5.2 类比分析

本工程 500kV 变电区在主厂房以北开关站区域建设，建设主要设施为主变压器、备用变、厂用变、500kV 屋内 GIS 配电装置、220kV 配电装置、网架构等，由于采用 GIS 配电装置，电磁场得到有效屏蔽。

主变压器、第一跨内的输电线路等高电磁场强设备产生的工频电磁场影响参考 500kV 常熟变电站，类比相似性参见表 6.3-4。

根据 500kV 常熟变电站厂界工频电磁场监测值，推论本工程 500kV 变电区的电磁辐射影响仅局限于变电区，变电区外界的常规岛厂区工频电磁场满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）要求（工频电场强度 $<4\text{kV/m}$ ，工频磁感应强度 $<0.1\text{mT}$ ），对周围环境影响很小。

表 6.3-1 噪声计算参数及预测结果

厂界西北侧

| 设施 | | 噪声级 | 厂房隔声量 | 昼间 | | | | |
|-------|--------|-----|-------|--------|--------------|-------------|--------------|------|
| | | | | 距离 (m) | 噪声贡献值[dB(A)] | 环境噪声[dB(A)] | 噪声预测值[dB(A)] | |
| 核岛厂房 | 1号机组 | 85 | 25 | 273 | 37.4 | 43.5 | 45.2 | 47.4 |
| | 2号机组 | 85 | | 282 | 37.1 | | | |
| 汽轮机厂房 | 1号机组 | 85 | 20 | 387 | 37.8 | | | |
| | 2号机组 | | | 396 | 37.6 | | | |
| 泵房 | 1、2号机组 | 85 | 40 | 821 | - | | | |

| 设施 | | 噪声级 | 厂房隔声量 | 夜间 | | | | |
|-------|--------|-----|-------|--------|--------------|-------------|--------------|------|
| | | | | 距离 (m) | 噪声贡献值[dB(A)] | 环境噪声[dB(A)] | 噪声预测值[dB(A)] | |
| 核岛厂房 | 1号机组 | 85 | 25 | 273 | 37.4 | 43.5 | 38.9 | 44.8 |
| | 2号机组 | 85 | | 282 | 37.1 | | | |
| 汽轮机厂房 | 1号机组 | 85 | 20 | 387 | 37.8 | | | |
| | 2号机组 | | | 396 | 37.6 | | | |
| 泵房 | 1、2号机组 | 85 | 40 | 821 | - | | | |

注：环境噪声为 2010 年非放射性环境本底调查结果，下同。

表 6.3-1 续 噪声计算参数及预测结果

厂界西南侧

| 设施 | | 噪声级 | 厂房隔声量 | 昼间 | | | | |
|-------|--------|-----|-------|--------|--------------|-------------|--------------|------|
| | | | | 距离 (m) | 噪声贡献值[dB(A)] | 环境噪声[dB(A)] | 噪声预测值[dB(A)] | |
| 核岛厂房 | 1号机组 | 85 | 25 | 139 | 43.2 | 48.9 | 41.2 | 49.6 |
| | 2号机组 | 85 | | 414 | 33.7 | | | |
| 汽轮机厂房 | 1号机组 | 85 | 20 | 194 | 46.7 | | | |
| | 2号机组 | | | 469 | 39.1 | | | |
| 泵房 | 1、2号机组 | 85 | 40 | 73 | 7.7 | | | |

| 设施 | | 噪声级 | 厂房隔声量 | 夜间 | | | | |
|-------|--------|-----|-------|--------|--------------|-------------|--------------|------|
| | | | | 距离 (m) | 噪声贡献值[dB(A)] | 环境噪声[dB(A)] | 噪声预测值[dB(A)] | |
| 核岛厂房 | 1号机组 | 85 | 25 | 139 | 43.2 | 48.9 | 37.2 | 49.2 |
| | 2号机组 | 85 | | 414 | 33.7 | | | |
| 汽轮机厂房 | 1号机组 | 85 | 20 | 194 | 46.7 | | | |
| | 2号机组 | | | 469 | 39.1 | | | |
| 泵房 | 1、2号机组 | 85 | 40 | 73 | 7.7 | | | |

表 6.3-1 续 噪声计算参数及预测结果

东墩村

| 设施 | | 噪声级 | 厂房隔声量 | 昼间 | | | | |
|-------|--------|-----|-------|--------|--------------|-------------|--------------|------|
| | | | | 距离 (m) | 噪声贡献值[dB(A)] | 环境噪声[dB(A)] | 噪声预测值[dB(A)] | |
| 核岛厂房 | 1号机组 | 85 | 25 | 840 | 1.5 | 9.9 | 47.7 | 47.7 |
| | 2号机组 | 85 | | 1040 | - | | | |
| 汽轮机厂房 | 1号机组 | 85 | 20 | 840 | 6.5 | | | |
| | 2号机组 | | | 1040 | 4.7 | | | |
| 泵房 | 1、2号机组 | 85 | 40 | 1300 | - | | | |

| 设施 | | 噪声级 | 厂房隔声量 | 夜间 | | | | |
|-------|--------|-----|-------|--------|--------------|-------------|--------------|------|
| | | | | 距离 (m) | 噪声贡献值[dB(A)] | 环境噪声[dB(A)] | 噪声预测值[dB(A)] | |
| 核岛厂房 | 1号机组 | 85 | 25 | 840 | 1.5 | 9.9 | 36.9 | 36.9 |
| | 2号机组 | 85 | | 1040 | - | | | |
| 汽轮机厂房 | 1号机组 | 85 | 20 | 840 | 6.5 | | | |
| | 2号机组 | | | 1040 | 4.7 | | | |
| 泵房 | 1、2号机组 | 85 | 40 | 1300 | - | | | |

表 6.3-2 类比变电站主要设备距围墙距离

| 主要设备名称 | 距围墙最近距离 (m) |
|-------------------|-------------|
| 主变压器 | 28m |
| 低压电抗器 | 8.3m |
| 低压电容器 | 31m |
| 500kV 户外 AIS 配电装置 | 18m |
| 220kV 户外 GIS 配电装置 | 12.5m |

表 6.3-3 类比变电站工频电场、工频磁感应强度监测结果

| 测点编号 | 监测点位置描述 | 工频电场 (kV/m) | 工频磁感应强度 (mT) |
|------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 东侧围墙外 5m 北端 | 1.27×10^{-1} | 2.80×10^{-4} |
| 2 | 东侧围墙外 5m 北端偏南 (有 500kV 出线) | 2.30×10^{-1} | 5.84×10^{-4} |
| 3 | 东侧围墙外 5m 中端 (有 500kV 出线) | 2.04×10^{-1} | 1.16×10^{-3} |
| 4 | 东侧围墙外 5m 南端偏北 (有 500kV 出线) | 1.48×10^{-1} | 1.91×10^{-4} |
| 5 | 东侧围墙外 5m 南端 | 2.48×10^{-1} | 1.75×10^{-4} |
| 6 | 南侧围墙外 5m 东端 | 5.47×10^{-2} | 1.73×10^{-4} |
| 7 | 南侧围墙外 5m 中端 (有 220kV 出线) | 1.33×10^{-1} | 1.68×10^{-4} |
| 8 | 南侧围墙外 5m 西端 | 4.09×10^{-2} | 2.68×10^{-4} |
| 9 | 西侧围墙外 5m 南端 | 8.80×10^{-2} | 2.13×10^{-4} |
| 10 | 西侧围墙外 5m 中端 (有 500kV 出线) | 1.88×10^{-1} | 5.21×10^{-4} |
| 11 | 西侧围墙外 5m, 进站道路上 | 2.53×10^{-1} | 7.18×10^{-4} |
| 12 | 西侧围墙外 5m 北端 | 2.83×10^{-1} | 2.07×10^{-4} |
| 13 | 北侧围墙外 5m 西端 | 2.08×10^{-1} | 1.20×10^{-4} |
| 14 | 北侧围墙外 5m 中端 (有 220kV 出线) | 6.22×10^{-1} | 4.71×10^{-4} |
| 15 | 北侧围墙外 5m 东端 | 7.66×10^{-1} | 2.78×10^{-4} |
| 标准 | | 4 | 0.1 |

表 6.3-4 变电站电磁影响相似性类比分析

| 项目 | 本工程 | 常熟变电站（类比对象） |
|----------|--|--|
| 频率 | 50Hz | 50Hz |
| 电压等级 | 500kV | 500kV |
| 主变 | 开关站无主变 变压器区域主变容量：3×575MVA，两台机设一台备用相 | 3×334MVA |
| 配电装置 | 500kV 和 220kV 均为屋内 GIS 配电装置 | 500kV 为 AIS 装置，220kV 为 GIS 装置 |
| 总平面布置 | 配电装置位于厂区北侧开关站区域内， 开关站区域距离主厂房 487m， 500kV 配电装置位于开关站区域中部， 西南侧为网控通信楼及 220kV 配电装置 | 500kV 配电装置布置在所区的中部，500kV 线路往东、西出线； 220kV 配电装置分别布置在南北两侧，南侧的 220kV 向南出线， 35kV 配电装置居中；北侧的 220kV 东、西向出线， 与 35kV 配电装置一道，位于 500kV 配电装置北侧。 |
| 500kV 出线 | 本期 4 回，远景 6 回 | 8 回 |
| 站址区地形 | 最近周庄居民与变电站西侧围墙距离大于 800m | 最近塘湾里居民距离变电站北侧围墙外 103m |
| 占地面积 | 7.47hm ² | 8.32hm ² |

6.4 退役

核电厂的退役是指为解除核电厂的部分或全部监管控制而采取的行政和技术行动。其中，核电厂退役的重点是反应堆装置的退役，其退役受多方面的制约，其中包括政治、经济、科学技术和政策法规等的影响。

本节内容根据《初步退役计划》（SNG-GX-U0H-001，2015.02）编制。辐射环境水平现状调查见本报告第3章3.1节描述。

6.4.1 退役策略

核电厂退役策略如下：

1) 立即拆除

立即拆除策略一般在核电厂永久停堆之后便立即开始着手实施一系列的退役活动。该策略目标是在较短的时间内，便可将厂址内特定放射性水平（一般指放射性解控值）以上的所有核材料全部移除，以实现所属厂址或设施的安全解控或无需任何核安全监管限制下的再利用。

采用立即拆除策略可以最大限度地利用现有的人力资源及核电厂的技术知识储备实施去污、拆除和解体等作业，但是这个策略选项无法实现核电厂辐射源的显著衰减，同时要求退役核电厂的废物及乏燃料管理设施可用。另外，由于没有缓冲期，退役资金也必须充足或得到充分保证。

2) 延缓拆除

采用延缓拆除策略策略意味着永久停堆后的核电机组完成最终处置的时间将会延后。一般采用此策略的核设施或核电厂从永久停堆到最终完成去污、拆除、解体并实现解控最长可达50年。为实现如此长时间内的安全关闭（或贮存），系统中所有的滞留液体都需及时排空、运行阶段收集和累积的废物也都必须移除。

这个策略的好处是可以使待退役核电厂的大部分放射性源有效地衰减，可以减少退役实施过程中达到辐射防护目标所需的资源，同时有利于保障作业人员的安全；另外，延缓拆除策略也可以降低对退役资金筹集的时间压力，这对拥有多个运行核电厂的业主而言尤其明显。但对于单堆核电厂采用此策略，同样也具有以下缺点：

- 在安全关闭期间，核电厂现有资质人员及待退役核电厂相关的技术和知识储备大幅度流失；

- 为降低长时间内核电厂整体风险水平，核电厂在进入长期安全关闭之前移除厂内的乏燃料；
- 在安全关闭期间建立起核电厂的监测和维护保养，并维持实体保卫。

因此，目前国际上采用此策略的核电厂主要为所在国的放射性废物管理战略尚未建立或健全、支持退役活动所需的资金尚有欠缺、或待退役核电机组所在厂址为多堆厂址。

退役策略的选择需考虑许多因素，包括但不限于：国家政策和法规、国内退役技术情况、厂址地理位置和未来使用用途、公众接受能力、退役资金、环境危害等。三种策略中，立即拆除这一选项更受国际原子能机构青睐。在有合适的最终废物处置厂址或中间废物暂存设施来处理并处置低放和其他中高放废物以及退役资金充足的条件下，本工程应实施立即拆除的退役策略。

考虑到本工程规划两台机组，两台机组同期建设，间隔 12 个月投产，考虑一号机组永久停堆后安全关闭一年，待二号机组永久停堆后同步开展退役活动，避免一号机组的退役活动对二号机组的运行造成潜在的影响。

厂址规划情况若有变化，两台机组的退役计划将根据规划情况进一步优化。

6.4.2 退役技术研究

6.4.2.1 退役进度计划

为保证核电厂退役工程顺利实施和验收，需制定退役进度计划。制定退役进度计划时应考虑如下问题：

- 退役策略和阶段目标；
- 依据的法律、法规和标准；
- 核电厂运行历史、现状及周围环境状况；
- 设计图纸、维修和改造情况；
- 现有设备条件的可利用情况；
- 放射性和非放射性物质的特性（包括类别、数量和状态）；
- 去污、拆除、环境政治技术的可得性和优化选择；
- 废物的处理、整备、贮存、运输条件和处置条件；
- 检测分析技术和设备；；
- 管理组织机构的建立和职责分工；

- 建筑物和场地使用情况；
- 费用估算和筹资方式；
- 公众反应和态度。

CAP1400 核电厂退役拆除顺序如下：

- 将乏燃料组件从堆芯及乏燃料贮存水池运出；
- 利用现有的系统及设备对一回路系统进行系统去污；
- 改造辅助厂房燃料操作区域，使其转变为一个可用于暂存、去污、处理退役设备的场所；
- 移除、拆解放射性沾污的大设备/部件；
- 移除、拆解反应堆堆内构件及压力容器；
- 切割并移除安全壳内及辅助厂房燃料操作区域内的混凝土结构；
- 拆除钢制安全壳和屏蔽厂房；
- 拆除辅助厂房；
- 拆除临时设置的废物处理设施和建筑；
- 最终将厂址恢复原貌。

6.4.2.2 退役方案

核电厂关键设备的退役方案包括：

1) 整体吊运

将反应堆压力容器、蒸汽发生器、热交换器等设备在卸出乏燃料和冷却剂、切断外部管路、封堵管口之后整体吊出，送到合适的拆卸场地或厂房进行拆卸解体，或者直接送处置场进行整体存放或掩埋处置。

整体吊运方案的设备拆卸费用较低，退役工期也较短，但是运输成本很高，放射性废物体积大，且后续解体也需要资金投入。

2) 现场切割

在现场将受到放射性污染的设备切割分解为较小的部件，根据放射性水平进行分类。中等放射性水平的部分进行打包和稳定性处理后，送到暂存库场或直接送到处置场进行暂存或掩埋处置。低放射性水平的部分可通过熔炼等退役废物处理技术回收利用。

现场切割方案产生的放射性废物较少，有利于资源回收利用，废物运输方便、成本低。现场采用机器人或水下切割的技术也将使下工作人员受到的照射大大降

低。

综合以上因素，本工程退役过程中的关键设备主要采用现场切割方案。

6.4.2.3 安全关闭

核电厂的安全关闭阶段开始于反应堆运行的最后阶段，持续时间较长，有时甚至需要数年，其目的是使设施处于安全、稳定的状态，消除或减少危害，防止放射性扩散，尽可能减少废物量。

本工程安全关闭工作内容主要包括：

1) 移除乏燃料

将乏燃料组件转运出堆芯及乏燃料贮存水池，确保移除厂房内的主要放射源（被活化的设备除外），以便后续退役活动的开展。乏燃料组件通过专用乏燃料运输容器外运，乏燃料组件可直接运往专门的暂存设施或场所、或送至乏燃料后处理厂（如有）进行处置。

2) 初步源项调查

退役活动实施前进行，包括对厂区放射性水平进行调查和评估，掌握核电厂中的放射性物质的量、主要核素种类、存在类型和主要位置分布。主要包括：

- 对核电厂有关系统、部件等的辐射水平、放射性活度及放射性污染水平等进行调查并进行源项估算；
- 对厂区和厂房内 γ 辐射水平及放射性气体和气溶胶水平进行调查；
- 对核材料操作区域、放射性废物处理区域和放射性废物暂存库进行放射性水平调查。

确定退役活动的实施边界、放射性量、放射性污染分布和放射性热点位置、废物存积情况（废物类型、数量、放射性水平）、易裂变物质的数量和存在位置、反应堆和水池中存有的乏燃料以及建筑物污染水平、厂址土壤和地下水污染情况，为制订退役方案、估算退役费用、做好辐射防护和应急准备提供依据。

3) 系统去污及净化处理

系统去污主要是利用现有的系统及设备对一回路系统进行去污。在系统去污之前，应对所利用的系统及设备的可用性进行充分评估，如有不足之处，则需进行适当的系统改造，以便系统性去污可以顺利实施。国际上诸多退役实践证明这种方法可以大大减少一回路主系统及设备中的放射性，有利于退役过程的辐射防护。

系统净化处理主要是对核电厂内剩余的放射性废液（如主系统内的反应堆冷却剂、乏燃料水池水等）及部分去污废液进行处理。该类废液的处理尽量采用核岛或厂址废物处理设施（SRTF）中已有的废物处理系统。

4) 技术研发

开展有针对目的性的研发使核电厂去污、拆除工作失败和危险的风险降低，并减轻环境影响，研发工作主要包括：

- 开发去污效果好、产生二次废物量少的去污技术；
- 开发被污染设备/设施的解体切割技术与工具；
- 减少拆除期间人员受辐照量的防护措施；
- 废物回收利用的技术实施方案。

5) 新建或改建废物处理设施

如果核岛三废处理系统和 SRTF 不能满足退役阶段的废物处理实际情况及要求，则需结合退役方案综合全厂址考虑，在安全关闭期新建或改建用于退役废物处理、去污和暂存的设施。

6) 确定适当的安全及实物保护措施

在安全关闭期，由于放射性材料等依然存在核电厂内，根据 HAD501/02 中的分级规定，退役初期的核电厂依然属于“实施一级实物保护的核设施”，按要求原有的实物保护系统应当基本保持不变，继续维持运行。

6.4.2.4 退役活动

1) 退役原则

(1) 辐射防护原则：辐射防护原则包括实践的正当性、防护的最优化、个人剂量和危险限值。核电厂退役活动实施应符合 GB18871-2002 的相关要求。

(2) 基本安全原则：遵循 IAEA 提出的适用于所有设施和活动以及设施或辐射源寿期中的所有阶段（包括规划、选址、设计、制造、建设、调试和运行以及退役）的 10 条基本安全原则，包括安全责任、政府职责、对安全的领导和管理、设施和活动的合理性、防护的最优化、限制对个人造成的危害、保护当代和后代、防止事故、应急准备和响应、采取防护行动减少现有的或未受监管控制的辐射危险。

(3) 放射性废物管理基本原则：遵循 IAEA 提出的 9 条放射性废物管理基本原则，包括保护人类健康、保护环境、超越国界的保护、保护后代、不对后代

造成负担、纳入国家法律框架、控制放射性废物的产生、兼顾放射性废物产生和管理阶段间的相依性、设施安全。

(4) 退役废物最小化原则：保持放射性废物的产生可能或实际最小；放射性废物产生的放射性的扩散最小化；尽可能再循环和再利用现有和潜在废物流中的有价值的成分；通过应用适当的技术使产生的废物量最小化。

2) 去污方法和技术的选择

核电厂退役去污对象多数为强固定性污染，但在退役过程中形成的新污染也可能是附着性污染或弱固定污染。一般来说，退役去污宜采用强去污法，亦即腐蚀性去污法，但也需要考虑防止槽罐和管道内产生沉积物、结构材料腐蚀穿孔、结构材料腐蚀变薄渗漏等问题。

去污工艺技术有多种，理想的去污工艺应有最大的去污因子、最小的二次废物、最少的人员受照和环境影响小以及低廉的成本。总体而言，系统、管路去污宜选用化学法、机械法；设备部件的去污宜选用化学法、电化学法、超声波法、溶胶、凝胶法、机械法；池、槽、箱室和建筑物墙壁的去污宜选用高压水喷射、磨料喷射、可剥离膜法；混凝土的去污宜选用机械法。具体选用何种退役去污方法应根据安全性、经济性和可实现性进行优选。

(1) 放射性沾污的设备/部件的去污

放射性沾污的设备/部件拆除并切割后，部分仅表面沾污的部分需进行去污才能进行外运。对于易清洗的表面，可在现场进行冲洗。对于不易清洗的表面，应用屏蔽容器转运至去污和热检修车间进行去污处理。

去污和热检修车间中可以对设备/部件进行去污的方式包括：高压水冲洗去污、超声波去污、干冰去污等。去污方式的选择应考虑需清洗部件的材料、尺寸、放射性等因素。必要时对单个部件采用多种去污手段进行清洗。

(2) 混凝土的去污

对于有钢面板的混凝土结构，去污工作比较简单，可以去除油漆，或者是对将钢面板进行去污工作。

对于没有保护而又可能遭到污染的混凝土结构，有必要移除混凝土的受污染部分。可行的机械技术手段有冲击破碎、机械钻孔、刮削以及高压喷水器等。激光技术目前正处于研究阶段。

3) 拆除步骤和工艺的选择

目前已退役的核设施中采用过的切割方法有很多种，主要分为冷切割和热切割两大类。

冷切割如机械切割、高压水射流切割、磨料射流切割等。机械切割工具很多，如弓锯、液压剪、手持锯、金刚石圆盘锯、金刚石丝锯、金刚石砂轮切割机、直条式锯片往复切割机、旋转切割机、冲击切割机、冲击切割机、墙壁开槽机、万能切割机、环切机等，多为常规成熟技术和设备。

热切割如氧炔焰切割、电弧切割、微波切割、等离子体弧切割、聚能爆炸切割、热反应切割、激光切割等。氧炔焰切割的切割速度慢；电弧切割的切割速度较快，常用；等离子弧切割能力强、速度快，可切割多种金属材料和大尺寸的板材、罐、桶和箱体。氧炔焰适宜切割碳钢，不宜用来切割铸铁、不锈钢和非铁金属物件。等离子弧切割速度快，切口粗糙，但对退役使用影响不大。

冷切割优点是烟尘和气溶胶污染少，操作简单，工具易得，投资小。缺点是速度慢，操作人员劳动强度大，会产生较多的固体微粒废物。热切割的优点是切割速度快，可切割厚件物体便于远距离操作。缺点是温度高，有较多的气溶胶和烟尘物释出，可能需要配置额外通风、过滤系统和防护用具。热切割的切口粗糙，不便于焊接和封口，而冷切割切口比较平整，便于焊接和封口。

放射性沾污的大设备/部件的切割，国际上采用最多的切割解体方法有等离子弧切割、射流切割和水下切割。

等离子弧切割速度快，而且易于操作，既可手工操作，又可远距离控制。可在空气中使用，也可在水下使用。缺点是只适用于导电材料，耗能高，产生烟尘、气溶胶较多，易造成污染扩散，排气要求设净化过滤。

射流切割为中速切割，适用于所有材料。关键问题是射流切割产生较多二次废物。国外经验认为金刚砂磨料射流切割是反应堆压力容器首选切割技术。磨料射流切割需要专门设计过滤器除去切屑和金刚砂磨料。金刚砂一般不循环使用。

水下切割包括水下机械切割、水下热切割、水下爆炸切割（线性聚能切割）等。水下切割有点有：降低受照射剂量；控制切割温度；抑制气溶胶扩散。但水下切割可能出现透明度变差，需要通过有效的水过滤工艺来保持水质、除去切屑和保证良好的能见度。

切割解体方案的选择，应考虑：

- 所选用的设备技术的安全性和可靠性，首选成熟的技术；

- 设备、条件、检测和技术的易满足性；
- 产生二次废物量，如气溶胶污染扩散危害；
- 工作人员受照剂量，应考虑作业时间，包括准备工作时间和维修设备时间等；
- 对相邻区域、系统的不利影响；
- 对废物管理，如包装、搬运和运输要求；
- 工业卫生和职业安全；
- 对培训和评价的要求等。

针对反应堆压力容器筒体、封头、顶盖、蒸汽发生器外壳等大型部件，应主要采用射流切割和水中切割方式；换热管应主要采用剪切方式；其余部件根据结构、材料、放射性等因素选用合适的切割技术。

4) 场址清污

根据场址调查的结果和监管机构规定的厂址开放标准，确定场址开放前所需要做的清污工作。清污的目标是在对工作人员、公众和环境的优化辐射防护下，实现场址从审管控制下开放。清污应先制定计划，确定适当目标或终点，规定工作人员和公众剂量限值 and 剂量约束值，研发适当的清污技术和监测仪表等。清污活动应该按照顺序进行，通常为：

- 场址调查，包括残留放射性物质的特性和污染水平；
- 利用所有获得的有重要影响的资料评价场址；
- 鉴别和评价清污方案；
- 确定清污目标和终点，选择最佳清污方案；
- 确定检测和验收方案。

5) 辐射监测要求

退役活动进行过程中应对工作场所的 γ 辐射水平、气载放射性水平、设备部件表面剂量率和表面污染水平以及退役作业人员的个人剂量进行监测。在某些作业场所，可根据工艺需要随时进行取样，必要时进行核素分析。在完成某退役施工作业时，对作业对象进行放射性特性调查，如 γ 剂量率测量、表面污染测量和放射性活度浓度测量，以判断施工作业是否达到预定目标值，并对退役活动进行监督。除此之外，在整个退役过程中应连续进行环境监测，对厂区周围地区的环境 γ 剂量率、大气、生物、土壤、水和沉降灰等环境样品进行分析测量。

6.4.3 废物管理措施

6.4.3.1 废物管理原则

退役废物管理是整个退役的重要活动，废物管理的成本是整个退役成本的重要部分，所以退役要高度重视废物最小化和废物优化管理。废物管理过程中，需要关注与贯彻如下原则：

- 废物最小化，严格控制气载和液体废物的非受控排放。减少流出物排放，降低对公众与环境的影响；
- 废物分类，从源头做好分类工作，防止交叉污染；
- 废物包装到位，尽量同时满足贮存、运输和处置的要求，避免重复包装；
- 退役前需要解决废物的贮存/处置场所；
- 尽可能利用原有的退役处理和贮存设施，进行处理和临时贮存；
- 分类收集处理废物，尤其是可待解控废物，以便减少最终需处置的废物量；
- 重视非放危险物品，如含石棉、汞等危险废物；
- 重视工作人员的培训和安全文化修养；

6.4.3.2 退役废物量评估

退役产生的物料和放射性废物有三条出路：

- 清洁解控允许无限制使用；
- 授权在核工业内部使用；
- 作为放射性废物贮存和处置。

一般而言，核电厂退役过程将产生大量的废物。按照德国压水堆核电厂退役实施经验，百万千瓦级压水堆核电机组退役废物总量约为 160000 吨，其中建筑废物占 92%（基本均可解控）。在 8% 的其它废物中，通过机械、化学、熔炼等途径实现循环再利用的废物占 70%，可解控的废物约占 5%，最终需要通过废物处理系统处理的放射性废物仅占 25%（总废物量的 2%，约 3200 吨）。可见，绝大多数退役活动产生的废物是可以进行豁免处理。

退役实施单位需结合核电厂固有设计特点、核电厂运行记录、拟定退役方案以及国内外核设施退役经验对退役废物量进行评估，为后续退役废物管理奠定基础。

6.4.3.3 废物处理设施的准备

1) 退役废物的产生

核电厂退役过程将产生各类放射性废物，主要是在以下活动中产生：

- 去污活动；
- 设备的切割和解体、构筑物拆除活动；
- 污染厂区（地面与土壤）和水体清污活动。

2) 废物类型及处理手段

退役废物的类型主要包括气载放射性废物、液体放射性废物和固体放射性废物。气载放射性废物主要产生于切割、去污和清洗过程产生的气溶胶和污染烟尘。液体放射性废物主要产生于去污和切割过程，特别是采用水力喷射去污或切割。退役产生的放射性固体废物种类最多，如污染的废钢铁、废电缆、工具、滤芯、建筑废物、劳保用品等。该类废物具有数量大、污染程度低、体积大、且可能含有化学毒性物质等特点。因此，在废物处理过程中，应做好合理的分类和包装，减少二次废物量。详细的废物类型及处理手段参见表 6.4-1。

3) 废物处理及暂存设施

在核电厂正常运行期间，核岛产生的放射性废物由核岛三废处理系统，包括放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性气体废物处理系统（WGS）及放射性固体废物处理系统（WSS），以及厂址废物处理设施（SRTF）共同进行处理。SRTF 提供完整、适宜的手段来处理核岛产生但无法直接处理的各类废物，SRTF 包括废物处理厂房、废物暂存库、洗衣房。

此外，全厂还设有去污和热检修车间，用于核电厂正常运行及检修期间设备和部件的去污和检修。

在全厂址统一考虑退役时，可根据上述子项的运行容量和运行条件，执行部分退役期间所需的废物处理及设备和部件的去污功能。可根据 SRTF 的废物暂存库的储存裕量，为包装后的特定退役废物提供一定的储存空间。若上述子项不满足退役阶段的废物处理实际情况及要求，则需结合退役方案综合全厂址考虑，新增专门用于退役废物处理、去污和暂存的设施。

核岛三废处理系统以及厂址废物处理设施（SRTF）描述见第四章 4.6 节。

6.4.4 退役经费安排

6.4.4.1 经费估算

足够的退役资金是完成核电厂退役的重要前提。对退役费用有直接影响的因素包括堆型、退役策略的选择和废物处置方案等等。退役费用各国处理方法不同，不同厂址之间由于不同的堆型、厂址条件等因素有所不同。国际上现在使用三个宽范的类别来估计退役费用：

1) 直接与退役活动有关的项目，如源项调查、拆卸、去污、运输和处置工作等费用；

2) 与完成退役期限有关的项目，如退役项目的工程管理、质量监督、安全保障、许可证申请等费用；

3) 特殊项目，如为退役服务的特殊设备采购等。

目前国内所有核电机组从未完成或正在进行退役，核电机组退役过程中产生的费用明细和额度尚难按以上类别准确估计，现阶段通常按核电站初始投资的一定比例来提取退役基金作为退役资金。目前国家尚未出台关于核电厂年退役基金提取标准规范，通常按国家能源局发布的标准 NB/T20048-2011 中的相关规定进行计算。

根据 NB/T20048-2011 的规定，退役基金的总额为核电厂建设工程固定资产原值的 10%，从核电厂投产后第一年开始平均提取。计算公式如下：

年退役基金=核电厂建设工程固定资产原值×年退役基金提取率

退役基金=年退役基金×评价期=核电厂建设工程固定资产原值×退役基金提取率

以本工程的可研阶段投资估算来看，其投资估算中计入固定资产原值的投资金额为 4590818 万元，评价期为 30 年，则其退役基金为 459036 万元，年提取退役基金约 15301 万元。

6.4.4.2 经费筹集及管理

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》，核设施的退役费用和放射性废物处置费用应当预提，列入投资概算或生产成本。我国在《国家核电发展专题规划（2005-2020 年）》中规定：核电厂从投入商业运行开始时，即可在核电厂发电成本中强制提取、积累核电厂退役处理费用，在中央财政设立核电厂退役专项基金账户，在各核电厂商业运行期内提取。但到目前为止，尚没有法规对核电厂退役资金提取办法、资金管理方式、资金监管使用等做出详细的规定，退役经费

由核电业主管理还是由其他独立机构（政府部门）管理、如何进行筹集及如何监管使用仍需待相关法规或规章出台后方能明确。

6.4.5 知识管理

6.4.5.1 组织管理

本工程的核电厂营运单位为了完成退役任务，应建立强有力的组织领导机构，分工明确，责任到位。退役组织机构形式多样，一般包括技术管理、计划合同、综合管理、质量管理、物资采购、现场管理等，根据需要而定。典型的组织机构分工见图 6.4-1。

保障部门主要负责人力资源和人员培训、后勤保障和维修、计划管理和协调、财会管理。

实施部门主要负责去污、切割解体、拆卸和清洗去污及相关技术的开发。

安全部门负责辐射防护和监测、核安全和核保障、工业安全和保卫、质量控制和质量保证。

废物管理部门负责废物处理和整备、废物贮存和处置、清洁解控和再利用、包装运输。

6.4.5.2 人员培训

人员培训是有效执行核设施退役计划的重要保证之一。

退役需要去污、切割、拆卸、废物处理、辐射防护、分析检测等方面的操作人员，维修人员和熟练技工，退役任务要根据退役任务进行。培训目的是为了完成退役所规定的任务。

培训种类有很多，有上岗培训、再培训、技能培训、专项培训、特种作业培训、管理培训、承包商培训等。培训方式有短期培训、定期培训、在岗培训、脱产培训等。培训内容包括：法规标准、专业技术、废物管理、安全文化、应急计划、灭火、急救、质量保证、辐射防护、风险辨识和控制。

培训要制定培训计划和培训大纲，要有培训记录。受训人员考核合格，颁发合格证。

6.4.6 记录保存

核电厂退役需要的文件和记录产生于核电厂设计、建设、营运、退役和管理

活动的全过程。

核电厂退役需要的文件和记录的主要来源有：设计和建造阶段的数据；运行维修和更新改造的数据；核电厂关闭和退役执行期间的数据。

核电厂退役期间典型的文件和记录见表 6.4-2。

核电厂应建立一套完整的文档管理系统，确保记录的数据真实有效。在退役过程中，便于检索过往的数据。存储数据的介质应具有稳定的物理和化学性质，能够长期保存且容易复制和转移。核电厂应根据选取的存储介质制定适当的控制措施，防止由于温度、湿度、光照和微生物等因素引起的损坏。

表 6.4-1 退役废物类型及预期处理方式

| 废物分类 | 废物来源 | 废物类型 | 处理手段 |
|------|--------------------|------------|---|
| 气载废物 | 切割、去污和清污 | 气溶胶和污染烟尘 | 通风系统过滤处理 |
| | 反应堆冷却剂脱气 | 工艺废气 | 核岛废气处理系统处理 |
| 液体废物 | 一回路系统疏水 | 含硼废液 | 1) 监测排放; 2) 移动式处理设备; 3) 利用现有处理设施(如 SRTF 可用)或新建合适的处理设施处理后达标排放。 |
| | 设备/地面疏水 | 设备/地面疏水 | |
| | 去污和切割产生的废液 | 去污废液 | |
| 固体废物 | 主设备、辅助设备、泵、阀及拆除工具等 | 废设备 | 1) 现场或热车间去污后切割解体或解控; 2) 降级后送处置。 |
| | 切割管道 | 金属废物 | 1) 现场或热车间去污后切割解体或解控; 2) 降级后送处置。 |
| | 拆除电线 | 废电缆 | 1) 铜芯回收利用; 2) 护套和绝缘材料作为可压实废物处理。 |
| | 拆除厂房产生的混凝土和钢筋混凝土 | 建筑废物 | 1) 达到解控水平, 送至填埋场填埋; 2) 具有再利用价值的, 由授权工厂加工回收。 |
| | 通风系统更换滤芯 | 通风过滤器 | 1) 解控; 2) 未达到解控水平, 可将滤芯转运至 SRTF 压实打包后处置。 |
| | 人防劳保用品 | 可压废物(劳保用品) | 1) 解控; 2) 送至 SRTF 洗衣房清洗去污后解控; 3) 未达到解控水平, 则运输至 SRTF 压实打包后处置。 |

表 6.4-2 核电厂退役期间典型的文件和记录

| | |
|---------------------|--|
| <p>设计和建造阶段的数据</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 厂址特征描述、地质和放射性本底基准数据 - 核电厂完整的竣工图纸和技术规格书，包括设计概算 - 有详细说明的结构图 - 结构变更的清单和图纸 - 用以识别建造过程中所用材料类型和数量的采购记录 - 工程法规 - 设备和部件的技术规格书，包括相关信息（如供应商、重量、尺寸、结构材料等） - 设施建筑材料样本 - 化学和放射性物质周转的设计总量 - 质量合格证明 - 核电厂运行的安全措施 - 环境影响说明 - 核电厂役前试验和调试记录 - 许可证审批和运行要求 - 初步退役计划 |
| <p>运行维修和更新改造的数据</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 许可证和许可证审批要求 - 安全分析报告 - 技术手册 - 向环境排放的详细记录 - 运行日志 - 核电厂和/或厂址放射性调查报告 - 运行、维修规程和记录 - 异常事件报告 - 去污计划和报告 - 技术规格书（限值和使用工况） - 设计变更报告和更新的图纸 - 有害物质总量 - 与其它单位的生产和服务接口 - 生产和服务流程 - 系统、构筑物 and 部件的检查记录 - 厂内废物管理记录 - 厂址水文和地下水污染记录 - 工作人员离岗问询记录 - 质量保证记录 - 燃料布置、燃料性能（如损坏）和核燃料衡算记录 - 中子通量及分布记录 - 废物管理策略和废物位置的记录 - 放射源及位置 - 辐照脆化的材料样本 - 相关的试验报告 |

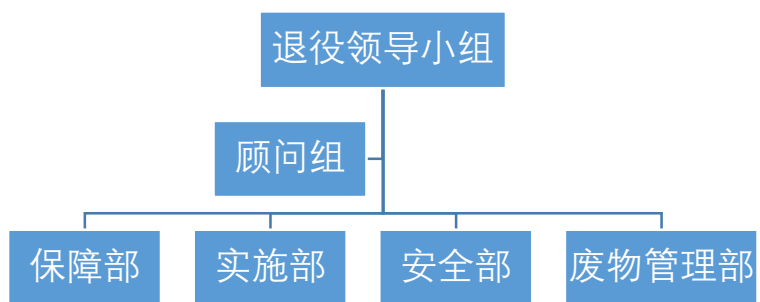


图 6.4-1 核电厂退役工程组织分工图

第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

7.1 核电厂放射性事故和后果评价

7.1.1 事故描述和事故源项

7.1.1.1 事故描述

1) 事故分类

根据国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)的规定:按可能导致对环境危害程度和发生概率的大小,将核电厂的事故分为设计基准事故和严重事故,其中设计基准事故包括稀有事故和极限事故,本节开展核电厂事故工况环境影响评价时采用设计基准事故。

(1) 稀有事故

在核电厂运行寿期内发生频率很低事故(预计为 10^{-4} ~ 10^{-2} /堆年),这类事故可能导致少量燃料棒损坏,但单一的稀有事故不会导致反应堆冷却剂系统或安全壳屏障丧失功能。

(2) 极限事故

在核电厂运行寿期内发生频率极低的事故(预计为 10^{-6} ~ 10^{-4} /堆年),这类事故的后果包含了大量放射性物质释放的可能性,但单一的极限事故不会造成应对事故所需的系统(包括应急堆芯冷却系统和安全壳)丧失功能。

2) 事故选取

根据本工程最终安全分析报告,对7类共10种具有代表性的、放射性后果为所属类型中最严重的设计基准事故进行分析,确定与不同释放时间相对应的放射性释放量,用来计算对核电厂周围人员造成的剂量。

对7类事故分类如下所示:

| 事故 | 事故类别 |
|-----------------------------|------|
| 安全壳外主蒸汽管道破裂事故(MSLB)-事故并发碘尖峰 | 极限事故 |
| 安全壳外主蒸汽管道破裂事故(MSLB)-事故前碘尖峰 | 极限事故 |
| 主泵卡转子/断轴事故-启动给水不可用 | 极限事故 |
| 主泵卡转子/断轴事故-启动给水可用 | 极限事故 |
| 弹棒事故 | 极限事故 |
| 蒸汽发生器传热管破裂事故(SGTR)-事故并发碘尖峰 | 稀有事故 |

| | |
|-----------------------------|------|
| 蒸汽发生器传热管破裂事故 (SGTR) -事故前碘尖峰 | 极限事故 |
| 安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故 | 稀有事故 |
| 燃料操作事故 | 极限事故 |
| 设计基准失水事故 (DBALOCA) | 极限事故 |

3) 事故分析保守性说明

在对核电厂进行的事故分析中,为了使结果具有代表性和包容性,在分析中作一定的假设,使结果处于合理保守的程度。主要包括以下四个方面:

(1) 失去厂外电源

这个假设对本工程事故分析的影响包括:二回路蒸汽旁排至冷凝器的导热失效,为了导出堆芯余热保证堆芯的完整性,此时蒸汽直接排向大气环境,放射性就混合于蒸汽释放,保守地考虑事故放射性后果。

(2) 最大价值棒卡在堆外

此时停堆系统引入的负反应性最小,使停堆深度最小,从反应性的角度使事故放射性后果更加保守。

(3) 仅考虑安全级设备的缓解作用

本工程为了提高整个核电厂的经济性,很多系统设计为非安全级,如:正常余热排出系统(RNS)、柴油机供电系统、二回路辅助给水系统(本工程对应为启动给水系统 SFW, Startup Feed Water)。事故分析中均保守假设这些系统在事故后失效。如果这些系统的投入反而会导致事故剂量的增加,则要分别进行计算。如主泵卡转子/断轴事故,当 SFW 可用时,蒸汽发生器传热管不裸露,则不发生一回路泄漏液在 SG 内的闪蒸,但事故将持续更长的时间,可能使最终的剂量结果比 SFW 不可用时更大,所以要对两种情况均进行分析。

(4) 假设极限的单一故障

事故后,考虑某些系统设备失效,但只选择可能导致放射性后果最严重的设备失效,而不是所有设备均失效。如 SGTR 事故,事故后放射性通过二回路蒸汽管线的阀门释放,并假设其打开后失效(卡开不能回位),此时放射性释放将持续。当二回路压力继续降到一定程度,另外一种类型的隔离阀将在低压信号下隔离该释放管线,从而终止释放。

7.1.1.2 事故源项

1) 堆芯源项及冷却剂源项

(1) 堆芯源项

采用堆芯核素放射性积存量作为堆芯源项，热功率在 4040MWt 的基础上考虑了功率测量 1% 的不确定性，增加到 4080MWt。

(2) 一回路及二回路源项

事故发生时，认为反应堆已经运行足够长的时间，一回路冷却剂源项已经达到电厂允许的最大值。计算该源项的主要参数和假设有：

- 与时间相关的堆芯放射性积存量作为输入条件之一；
- 假设堆芯存在 0.25% 的燃料包壳破损率，破损燃料棒均匀分布在整个堆芯中，该值与电厂技术规格书中一致；
- 对碘同位素的活度浓度要进行一定的修正，使得该浓度下所有碘同位素产生的剂量等效于活度浓度为 $3.70\text{E}+01\text{GBq/t}$ 的 ^{131}I 产生的剂量，与技术规格书中的规定相一致；
- 对惰性气体，活度浓度修正到 $1.04\text{E}+04\text{GBq/t}$ 剂量等效 ^{133}Xe ，与技术规格书中的规定相一致。

碘同位素活度浓度为 $3.70\text{E}+01\text{GBq/t}$ 剂量等效 ^{131}I ，惰性气体活度浓度为 $1.04\text{E}+04\text{GBq/t}$ 剂量等效 ^{133}Xe ，碱金属活度浓度对应于设计基准燃料棒破损水平。

对于二回路的源项：保守地假定事故时二回路中核素的活度浓度为一回路的 1%。

2) 分析中的假设与说明

(1) 放射性物质形态分类

本工程事故分析时，假设放射性物质释放出来后以气体和气溶胶等形态存在。对于碘核素，进一步分为三类：

| | |
|-------------------|-------|
| 粒子碘 (Particulate) | 95% |
| 元素碘 (Elemental) | 4.85% |
| 有机碘 (Organic) | 0.15% |

核素形态的划分，主要是考虑到其在迁移及释放过程中的去除机制不同。对以气体形态存在的放射性物质，如惰性气体，释放后就直接进入安全壳或外环境。对于粒子碘、碱金属和其他放射性核素假设均以气溶胶形式存在，在空气中由于

各种机制被去除。对于有机碘假设不能被去除，元素碘则会由沉积去除。

(2) 碘尖峰释放

堆芯内的燃料棒存在一定的破损，当运行出现瞬态时，由于堆芯功率、一回路压力、温度等的变化，造成破损燃料棒中的放射性在短时间内向冷却剂的释放增加，使冷却剂中碘等同位素的活度浓度大幅增加。

在事故分析中考虑以下两种情况：

● 事故并发 (accident-initiated) 碘尖峰释放

这种情况认为，事故发生时出现瞬态，使碘尖峰释放与事故同时发生。主蒸汽管道破裂事故及安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故假设碘同位素从燃料棒间隙向冷却剂的释放速率为反应堆冷却剂中放射性为 $3.70\text{E}+01\text{GBq/t}$ 剂量等效 ^{131}I 时平衡释放速率的 500 倍。蒸汽发生器传热管破裂事故，认为破损燃料棒间隙的放射性在事故后 8h 内全部释放到冷却剂中，燃料棒破损率对应于一回路冷却剂中放射性为 $3.70\text{E}+01\text{GBq/t}$ 剂量等效 ^{131}I 。

● 事故前 (pre-accident) 碘尖峰释放

考虑事故前碘尖峰时，认为在事故发生之前一回路已经发生了瞬态，使得一回路内碘同位素的浓度达到了技术规格书中规定的 $1.11\text{E}+03\text{GBq/t}$ 剂量等效 ^{131}I 。

(3) 放射性的自然去除 (natural removal)

除了衰变外，放射性核素在迁移过程中还存在其它形式的损耗。本工程在设计中，采用了“非能动”的先进理念，可通过自然的力量来减轻事故后的后果。对放射性的自然去除，本工程最大的非能动设计就是“非能动安全壳冷却系统 (PCS)”。

PCS 主要由钢安全壳和屏蔽厂房顶部的冷却水箱构成。事故后，如果安全壳出现高温高压，会触发该系统的投入。此时水箱的水就会通过重力作用流到钢安全壳的外表面，对钢安全壳起到冷却作用，以散热的方式带走事故后从堆芯释放到安全壳内的能量。而钢安全壳里面，由于事故后，大量高温冷却剂释放到安全壳大气内产生带有放射性的蒸汽。当这些高温蒸汽遇到温度较低的钢安全壳时，就会冷凝并顺着内壁流下，进入内置换料水箱，再流入地坑，然后回到堆芯，最终形成安全壳内的自然循环。与传统采用混凝土安全壳的电厂相比，这些设计的效果使得安全壳内的换热效率提高，从而加剧了事故后安全壳内流体的流动性，除了可以高效地导出热量外，还增加了对安全壳大气中放射性的去除效果。

对以气溶胶形态（粒子碘、碱金属和其它裂变产物）存在的放射性核素来说，主要有三种去除方式：

- 重力沉降（Gravitational sedimentation）

此去除机制主要是在重力的作用下，悬浮在安全壳大气中的气溶胶沉降在相关设备或构筑物的表面。

- 扩散泳（Diffusiophoresis）

此机制主要是由于气溶胶载体-气体中的蒸汽在墙壁表面上凝结而引起的。蒸汽在墙壁表面的凝结导致了墙壁附近的蒸汽浓度减低，从而形成了一个离墙壁越远浓度越大的蒸汽浓度梯度。因为浓度梯度的存在及蒸汽凝结的持续，导致气溶胶向墙壁表面流动，当气溶胶接触到墙壁时被吸附到墙壁表面上，从而对安全壳内的气溶胶起到了去除的作用。

- 热泳（Thermophoresis）

此机制是由于堆芯附近的温度高，而钢安全壳温度相对较低，在这样一个存在温度梯度的场内，气溶胶就会发生自然的定向运动，最终也是在钢安全壳内壁附着，随冷凝流经内置换料水箱回到地坑液相中。

综合考虑气溶胶的自然去除机制后，得到事故开始后 24 小时内的去除系数。对元素碘的沉积去除，计算式为：

$$\lambda_d = \frac{K_w \times A}{V} \quad (7.1-1)$$

式中：

λ_d —表面沉积的去除系数；

K_w —质量迁移系数，取4.9m/h；

A —安全壳内可供沉积的表面积， m^2 ；

V —安全壳的自由容积， m^3 。

（4）闪蒸（flashing）现象与分配系数

事故分析中假设一回路冷却剂通过破口泄漏到压力温度较低的环境时，就会发生闪蒸，液相中的放射性在汽化时释放到气相中，形成气载放射性。此时保守假设释放到气相中的放射性份额与液相汽化的份额相同，称之为“闪蒸份额（flash fraction）”，其计算式为：

$$F_{\text{flash}} = \frac{h_{f1} - h_{f2}}{h_{fg}} \quad (7.1-2)$$

式中：

F_{flash} — 闪蒸份额；

h_{f1} — 泄漏液的比焓，kJ/kg；

h_{f2} — 泄漏液进入环境的温度、压力对应的比焓，kJ/kg；

h_{fg} — 与环境温度、压力对应的汽化潜热，kJ/kg。

根据泄漏液的泄漏率和闪蒸份额，就可计算出闪蒸到气相的放射性物质的释放率。泄漏液闪蒸后剩余的液相将与泄漏进入的液相混合，然后通过蒸发继续释放放射性。

低于饱和温度的液体蒸发比闪蒸轻微得多，液相中的放射性核素向气相的转移速率也慢得多。此时放射性活度存在一个分配效应：气相与液相中有一个稳定的核素浓度之比（分配系数）。事故分析中，根据液相的活度浓度和热工水力分析得到的蒸汽释放量，就可以求出释放到气相或环境的放射性总量。分析中选取的分配系数的具体数值见各事故的参数表。

3) 事故进程及源项分析

(1) 安全壳外主蒸汽管道破裂事故 (MSLB)

主蒸汽管道大破口是“一次侧热输出增加”这类事故中最严重的反应堆冷却剂降温瞬态，计算时选择最极限的安全壳外主蒸汽管道双端断裂事故。

主蒸汽管道破裂引起的蒸汽释放，起初引起蒸汽流量快速增加，而后，随着蒸汽压力下降，蒸汽流量逐渐减小。一次侧排出热量过多导致反应堆冷却剂系统降温降压。由于存在负的慢化剂温度系数，反应堆冷却剂降温将向堆芯引入正的反应性。分析时假设反应堆初始状态为热态无负荷状态并且不考虑衰变热的影响，这是因为衰变热可缓解反应堆冷却剂降温过程，从而降低了堆芯重返功率的可能性。

分析表明主蒸汽管道破裂事故满足堆芯偏离泡核沸腾设计准则的要求。根据该准则，主蒸汽管道破裂后，堆芯偏离泡核沸腾和包壳穿孔并非不可接受。但分析表明，主蒸汽管道破裂后，在假设一束具有最大反应性价值的控制棒组件卡在完全抽出位置的工况下，堆芯没有发生偏离泡核沸腾。反应堆最终将由非能动堆

芯冷却系统停堆。

事故后的放射性释放分析假设破损回路的蒸汽发生器通过破口处在 200s 内喷放蒸干，该回路碘和碱金属全部释到环境中。同时，考虑事故期间从一回路按技术规格书中蒸汽发生器假想的设计泄漏率，泄漏到二回路的碱金属、碘（分别计算事故前碘尖峰和事故并发碘尖峰两种情况）及惰性气体。

本事故有三个释放途径：

- 假设破损回路蒸汽发生器中的二回路冷却剂以蒸汽形式从破口释放出去，冷却剂中所有碘和碱金属全部释放出去；
- 虽然完好蒸汽发生器不会蒸干，但放射性后果分析中仍保守的假设二回路冷却剂中所有碘和碱金属全部释放出去；
- 假设泄漏到破损回路蒸汽发生器的反应堆冷却剂，不考虑汽水分配效应及在蒸汽发生器内的沉积，全部直接排放到环境。

考虑放射性物质在事故过程中的衰变，一旦释放到环境后，不再考虑衰变。

（2）主泵卡转子/断轴事故

主泵卡转子/断轴事故是“反应堆冷却剂系统流量下降”这类事故中产生最严重放射性释放的事故，可以包络其他此类型事故造成的放射性后果。

该事故假设一台（一共四台）反应堆冷却剂泵转轴瞬时卡死。受影响环路的冷却剂流量迅速减小，将由冷却剂低流量停堆信号触动反应堆停堆。

随着反应堆停堆，储存于燃料棒中的热量持续传给冷却剂，这将导致冷却剂温度上升、体积膨胀。同时，故障环路蒸汽发生器传热管壳侧的传热量减少。

反应堆堆芯内冷却剂的快速膨胀以及蒸汽发生器传热量减少，将导致冷却剂的波动流量进入稳压器、整个反应堆冷却剂系统压力升高。波动流量进入稳压器压缩了蒸汽空间，将依次触动稳压器自动喷淋系统，并使得稳压器安全阀开启。基于保守考虑，分析中不考虑稳压器喷淋的降压效应。

热工水力分析表明该事故中没有燃料棒损坏，所以燃料棒包壳间隙中的放射性不会释放到反应堆冷却剂中。但放射性分析中保守假定有 10% 的燃料棒损坏。反应堆冷却剂活度考虑为事故前碘尖峰释放模式。

本事故释放到环境中的放射性包括：

- 二回路初始的碘和碱金属；
- 按技术规格书中规定的蒸汽发生器的设计泄漏率，从一回路泄漏到二回

路的碱金属、碘及惰性气体；

- 从破损燃料棒间隙中释放到反应堆冷却剂中的碱金属、碘及惰性气体，最终通过泄漏到二回路释放。

该事故释放到环境的主要放射性核素为碘、碱金属和惰性气体。

事故放射性释放中有两个途径：

- 二回路中初始的放射性随蒸汽排放而释放；
- 假设泄漏到蒸汽发生器的反应堆冷却剂与二回路冷却剂混合，来自反应堆冷却剂的放射性与二回路冷却剂混合。蒸汽释放时，冷却剂中的部分放射性碘和碱金属被排放出去，所释放的放射性份额取决于蒸汽发生器假定的闪蒸因子和分配系数。进入二回路的放射性惰性气体均释放到环境。这些释放持续到蒸汽排放结束为止。

考虑放射性核素在事故过程中的衰变，一旦释放到环境后衰变不再考虑。

(3) 弹棒事故

该事故定义为一个控制棒机构承压壳套机械损坏导致一束控制棒组件及其驱动杆弹出堆芯。这种机械损坏的后果是在堆芯快速引入正反应性并且产生不利的堆芯功率分布，可能导致局部燃料棒损坏。该事故是堆芯“反应性和功率分布异常”这类型事故中最为严重的，最有可能导致燃料棒破损甚至部分熔化，造成更大的放射性释放。其放射性后果可以包络此类型的其他事故造成的影响。

发生弹棒事故后，将导致堆芯反应性快速引入，使得中子注量率迅速增大，此时反应堆“保护和安全监测系统”将由高中子注量率停堆和中子注量率高的正变化速率停堆提供反应堆停堆保护，之后核功率激增被终止，使反应堆维持在安全状态。

通过大量的堆芯物理、热工水力分析结果表明，最不利工况下，发生燃料棒破损的份额将小于 10%，分析中保守认为最大发热点在发生弹棒前后重合。但预期发生弹棒事故不会导致燃料芯块发生熔化。放射性后果分析中仍然保守假设有 0.25% 的燃料发生熔化，燃料棒破损的份额也保守取 10%。

弹棒事故导致释放的重要放射性核素有碘同位素、碱金属及惰性气体。与部分堆芯损坏释放的裂变产物相比，初始反应堆冷却剂活度是次要的。反应堆冷却剂活度考虑为事故前碘尖峰释放模式。具体的初始源项包括：

- 二回路初始的碘和碱金属；

- 按技术规格书中规定的蒸汽发生器设计泄漏率，从一回路泄漏到二回路的碱金属、碘及惰性气体；
- 从破损燃料棒间隙中释放到一回路冷却剂中的碱金属、碘及惰性气体，最终通过泄漏到二回路释放。

释放途径：

- 一回路的放射性先从压力容器顶盖破口处释放到安全壳内，然后通过安全壳再泄漏到外环境；
- 来自一回路的放射性通过蒸汽发生器泄漏到二回路，与二回路的初始放射性混合后，再通过蒸汽管道的安全阀或者动力卸压阀释放到环境。

(4) 蒸汽发生器传热管破裂事故 (SGTR)

蒸汽发生器传热管破裂事故属于“反应堆冷却剂系统装量减少”事故中放射性后果最为严重的两个事故之一（另一个是 LOCA 事故）。事故分析中，假设一根传热管完全断裂。事故发生时处于功率运行，反应堆冷却剂含有的放射性物质处于在技术规格书规定允许的有限数量的燃料棒破损情况下连续运行时的最大平衡浓度。由于带有放射性的冷却剂经由破口流入蒸汽发生器的二次侧，这将导致二回路系统放射性增加。如果在事故期间核电厂丧失厂外电源或者冷凝器蒸汽旁排失效，放射性将通过蒸汽发生器动力卸压阀或安全阀排至大气中。这种情况将导致最大的放射性释放。

在事故分析中，假设发生单根传热管完全断裂是保守的，因为蒸汽发生器传热管的材料是一种耐腐蚀的高韧性金属。蒸汽发生器传热管更加可能的破损模式是一个或多个小裂缝。在核电厂运行期间，二次侧的放射性是连续监测的，这样的泄漏引起的放射性积累不允许超过技术规格书规定的限值。

本工程设计为 SGTR 事故提供了自动保护措施，自动保护措施包括反应堆停堆、非能动余热排出 (PRHR) 热交换器投入、启动堆芯补水箱 (CMT)、关闭稳压器电加热器、以及由蒸汽发生器 (SG) 高水位信号隔离化学和容积控制系统 (CVS) 等。这些保护措施可实现反应堆冷却剂系统 (RCS) 自动降温降压，终止破口流量和向大气的蒸汽释放，并将 RCS 长期保持在稳定状态下。这些保护系统还可防止 SG 发生满溢以使厂外放射性剂量保持在设计基准事故所允许的限值范围内。

事故发生后通过一系列报警信号，操纵员可以很容易判断 SGTR 事故的发

生，识别并隔离破损蒸汽发生器，并完成要求的恢复操作以稳定核电厂和终止一次侧向二次侧的破口流量。恢复规程必须在一定时间范围内完成，以便在破损蒸汽发生器发生满溢之前终止向二次侧的破口流量。核电厂为操纵员执行这些功能提供了足够的指示和控制。SGTR 事故后操纵员的这些操作进一步的缓解了事故的后果，使得预期的结果小于保守分析的情况。

分析中采取了下列保守假设：

- 反应堆处于满功率运行状态，并且假定一、二次侧的初始水装量为运行名义值减去允许的不确定度（使得放射性浓度更大）；
- 极限单一故障为破损蒸汽发生器大气释放阀失效，失效模式为阀门卡在开启位置，这将导致破损蒸汽发生器的不可控的降压，从而增大一次侧向二次侧的泄漏量和蒸汽向大气的排放量。假定破损蒸汽发生器的大气释放阀失效卡开发生在稳压器水位低-2 信号产生时，这将导致累计的一次侧向二次侧破口流量闪蒸量最大。随后，将由保护系统的主蒸汽低压力信号触动相关的隔离阀自动关闭，从而使该阀门隔离；
- 保守认为破口位置在传热管顶部，使可能的裸露时间更长（闪蒸更多的放射性）。

最终，堆芯的剩余热量由非能动堆芯冷却系统导出，使得主系统压力最终将会降至破损 SG 二次侧压力。破口流量将终止，并且系统将稳定在安全状态，向环境排放的蒸汽也将停止。

SGTR 事故释放的主要放射性核素为惰性气体、气载的碱金属和碘，它们作为事故后的放射性释放到环境中。具体的源项包括：

- 事故过程中通过受损蒸汽发生器破口和完好蒸汽发生器正常泄漏到二回路的一回路源项，包括碘（分别计算事故前碘尖峰和事故并发碘尖峰两种情况）、碱金属和惰性气体；
- 二回路初始的源项，主要是碱金属和碘。

只要存在通向环境的出口，泄漏进入完好蒸汽发生器和通过破口进入破损蒸汽发生器反应堆冷却剂里的放射性惰性气体立即向环境释放。碘和碱金属的释放模式一共有三种：

- 完好环路的蒸发释放，考虑碘和碱金属的分配效应；
- 通过破损环路反应堆冷却剂的闪蒸释放，不考虑覆盖水层的水洗作用

(保守假设破口位于传热管顶部);

- 破损环路的蒸发释放, 考虑闪蒸释放后余下的碘和碱金属的蒸发时的分配效应。

这些放射性最终都通过二回路的安全阀或者动力卸压阀释放到环境, 释放持续到蒸汽排放结束为止。在释放到环境之前考虑放射性核素的衰变。一旦释放到环境中, 则不考虑放射性核素的衰变。

(5) 安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故

安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道包括反应堆冷却剂系统取样管和从化学容积控制系统至放射性液体废物处理系统的排放管。这些管道仅周期性使用。安全壳外没有含有反应堆冷却剂的仪表管道。

当因硼稀释运行产生过多的一次侧冷却剂时, 化学和容积控制系统的净化流量将排至安全壳外的核岛放射性液体废物处理系统。在排出安全壳之前, 流体将经过化学和容积控制系统热交换器和除盐床。因此, 排至安全壳外时, 流体温度低于 60°C , 而且已经经过化容混床净化。这些假想的管道破口流量受到化学和容积控制系统净化流量的限制。由于流体温度低, 而且经过除盐处理后碘的放射性活度降低, 因此, 对该事件不作分析。假想的取样管破裂事故是较不利的事故工况。

安全壳内、外的取样管道隔离阀只有在取样时才开启。假设取样管破口发生在安全壳外隔离阀和取样盘之间。因为隔离阀只在取样时打开, 所以核电厂人员可根据丧失取样流量, 判定出现破口。此外, 取样管道破口也会导致放射性释放, 从而导致区域和空气辐射监测器报警。丧失冷却剂将会使稳压器水位降低, 需要对反应堆冷却剂系统进行补水。根据取样管破口指示, 操纵员将会采取操作措施, 隔离破口。

采用伯努利方程, 根据取样管内外的压力差和流体的密度, 计算出管道内流速。再根据管径得到管道内的流量, 并将该流量保守作为液体取样管线的破口流量。根据事故分析结果, 保守假设在 30min 后隔离破口。

事故后释放到环境中具有重要影响的放射性核素是碘、惰性气体和碱金属。分析假设反应堆在连续运行的条件下, 反应堆冷却剂中的碘含量达到技术规格书所允许的最高水平。另外, 事故时并发碘尖峰。反应堆冷却剂中惰性气体浓度达到平衡运行限值对应的值。反应堆冷却剂中的碱金属活度浓度达到设计基准的燃料

破损水平（0.25%）对应的值。

假设从破口处释放的反应堆冷却剂为高温高压，则大部分流体将闪蒸为蒸汽，液体中的碘就变成气载碘。

尽管预期大部分的气载碘和气载碱金属将沉积在周围建筑物的表面，但分析中假设碘、惰性气体和碱金属毫无损失地直接释放到环境。释放到环境后不再考虑放射性核素的衰变。

（6）燃料操作事故

燃料操作事故是在换料期间装卸核燃料组件时，发生组件跌落，导致燃料棒损坏，包壳间隙内的放射性释放出来。

假想的燃料操作事故可发生在安全壳内或辅助厂房的燃料操作区域。事故定义为一个乏燃料组件跌落，保守认为组件所有燃料棒包壳破损，燃料和包壳间隙中的放射性释放出来。

事故发生时，可能释放出的裂变产物活度与很多因素有关，如燃料组件的功率历史、停堆到换料操作时经过的衰变时间和核素的挥发特性等。为了使事故具有包络性，保守假定发生事故的组件中的所有燃料棒曾以最大燃料功率因子运行，即最大功率组件。根据技术规格书中的规定，燃料操作事故前裂变产物经历的衰变时间至少为 48h。

在功率运行过程中，燃料芯块中产生的一部分裂变产物会扩散到燃料棒和包壳的间隙中。间隙中裂变产物的份额由核素的扩散速率和其放射性衰变率共同决定。发生燃料操作事故时，间隙中的气体和挥发性放射核素直接释放出来，主要关注的放射性核素是惰性气体（Kr 和 Xe）与碘。如果燃料操作事故是在安全壳内发生，一旦探测到高放射性出现，安全壳净化管线就会立即隔离，终止放射性的释放。分析时保守认为该管线隔离失效，放射性继续释放，并且进一步忽略净化管线的过滤器对气载碘的去除作用。

对于发生在乏燃料水池的燃料操作事故，此时认为从乏燃料水池释放出的放射性物质直接通过厂房排风系统排向环境，而不考虑在厂房内滞留或延迟。

由于燃料操作中有许多的管理控制措施和设备操作限制，燃料操作事故的发生的可能性是很低的。分析中使用的参数和假设也是非常保守的：比如间隙份额取值较大；忽略了放射性物质在包壳内壁的附着作用；碘化铯向元素碘的转化也是瞬间完成；认为有机碘初始就存在于间隙内；操作的第一个组件就发生事故等。

(7) 设计基准失水事故 (DBA LOCA)

LOCA 是反应堆冷却剂系统压力边界管道发生破损的事故。对于本分析, 定义为总的破口横截面积大于或等于 0.09m^2 (1.0ft^2) 的破口。

事故分析表明在 LOCA 中堆芯能保持完整性, 不会发生熔化。与 NB/T20444-2017RK 相一致, LOCA 事故放射性释放分为反应堆冷却剂系统中的放射性的初始释放和堆芯间隙释放两个阶段:

● 反应堆冷却剂放射性初始释放

假设反应堆冷却剂的活度达到技术规格书中的限值。本工程为“先漏后破 (Leak-before-break)”型的电厂, 假设反应堆冷却剂向安全壳喷放 10min, 且在这 10min 内流量为常数。这段时间内释放到安全壳的放射性主要为一回路冷却剂中的碘、碱金属和惰性气体。

● 堆芯间隙释放

模型中, 碘的各形态中以非挥发性的碘化铯为主, 附带少量元素碘。此外模型中还假设元素碘和安全壳内的有机物反应生成有机碘化合物。

不考虑能动系统对安全壳内大气中放射性的去除。在安全壳内部, 放射性元素碘和气溶胶考虑自然去除作用。元素碘通过表面沉积去除。气溶胶的去除方式有重力沉降、扩散泳 (蒸汽冷凝驱动的沉积)、热泳 (传热引起的沉积) 等。有机碘假设不能去除。

事故后所有的放射性将释放到安全壳内, 通过安全壳这个唯一的途径释放到外环境。安全壳释放包括两种方式: 安全壳净化管线泄漏和安全壳正常泄漏。事故开始到安全壳隔离之前, 假设安全壳净化管线在运行, 放射性的释放将持续到净化管线阀门关闭。不考虑净化管线的过滤作用。事故发生后 24h 内的安全壳泄漏率为设计泄漏率, 此后的泄漏率为设计泄漏率的一半。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

本工程短期大气弥散因子采用下列一组地面释放轴线浓度公式计算:

$$(x/Q)_x = \frac{1}{u_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + CA)} \quad (7.1-6)$$

$$(\chi/Q)_x = \frac{1}{u_{10}(3\pi\sigma_y\sigma_z)} \quad (7.1-7)$$

$$(\chi/Q)_x = \frac{1}{u_{10}\pi\Sigma_y\sigma_z} \quad (7.1-8)$$

式中：

$(\chi/Q)_x$ —释放点下风向 x 米距离处烟羽中心线上的地面相对浓度，即大气弥散因子 (s/m^3)

u_{10} —地面上方 10m 高度处的风速 (m/s)

σ_y —烟羽水平弥散参数 (m)

σ_z —烟羽垂直弥散参数 (m)

A —反应堆建筑物最小迎风截面积 (m^2)

C —反应堆建筑物几何修正因子 (取 0.5)

Σ_y —考虑烟羽弯曲和建筑物尾流效应的烟羽水平弥散参数 (m)

在用上列诸式作大气弥散因子计算时， χ/Q 按下述条件取值：

(1) 对中性 (D) 和稳定 (E、F) 类大气稳定度，且 $u_{10} < 6m/s$ 的天气条件，考虑烟羽弯曲效应， χ/Q 由 (7.1-6) 与 (7.1-7) 两式计算结果的较大者再与 (7.1-8) 式的计算结果比较取较小者，即其取值表达式为：

$$\chi/Q = \min \left\{ \frac{1}{u_{10}\pi\Sigma_y\sigma_z}, \max \left[\frac{1}{u_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + CA)}, \frac{1}{u_{10}(3\pi\sigma_y\sigma_z)} \right] \right\} \quad (7.1-9)$$

(2) 对不稳定 (A、B、C) 类大气稳定度或 $u_{10} > 6m/s$ 的天气条件，不考虑烟羽弯曲效应， χ/Q 取 (7.1-6) 与 (7.1-7) 两式计算结果的较大者，即其取值表达式为：

$$\chi/Q = \max \left[\frac{1}{u_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + CA)}, \frac{1}{u_{10}(3\pi\sigma_y\sigma_z)} \right] \quad (7.1-10)$$

厂址的年逐时风向、风速、大气稳定度联合频率见第二章 2.4 节。用上列诸式计算释放点下风向不同距离处的逐时大气弥散因子 (χ/Q) 值，把算得的每个方位某给定距离处的所有逐时 (χ/Q) 值由大到小顺序排列，则可截取相应于某累积概率水平的 χ/Q 值。对 16 个方位的某个给定距离，可得到 16 个相应于某概率水平的小时短期大气弥散因子。取其最大者，用于短期释放 (持续时间在 1 小时以内) 的后果评价。

对持续时间长于 1 小时的事事故释放，按事故过程划分不同的时间段。各时间段的短期大气弥散因子，可由小时短期大气弥散因子与年均弥散因子对数线性内插求取。

对于设计基准事故先逐一计算非居住区边界和规划限制区边界处每个方位 95% 累积概率水平的大气弥散因子，并从对应于 16 个方位的数值中取出最大者与相应位置的全厂址 50% 累积概率水平的大气弥散因子相比较，择其大者作为评价用的短期大气弥散因子进行个人剂量评价。

表 7.1-18 和表 7.1-19 分别给出了厂址非居住区边界（0~2h）和规划限制区边界（30d）上短期大气弥散因子。

7.1.2.2 事故剂量

核电厂事故放射性释放造成的剂量后果估算主要考虑事故期间起主要作用的 3 个照射途径：

- 烟云浸没外照射；
- 吸入内照射；
- 地面沉积外照射。

剂量的计算模式如下：

放射性后果分析的目的是确定由设计基准事故造成的总有效剂量。总有效剂量包括吸入气载放射性物质造成的有效剂量、浸没在放射性烟羽中造成的有效剂量以及地面沉积所造成的有效剂量。

1) 烟云浸没外照射

假设处于半无限大烟羽中，烟云浸没外照射个人剂量由下式计算：

$$D_{im} = \sum_i DCF_i \sum_j R_{ij} (\chi/Q)_j \quad (7.1-11)$$

式中：

D_{im} —烟云浸没对个人所致的外照射有效剂量（Sv）

DCF_i —核素*i*的浸没外照射有效剂量转换因子[（Sv/s）/（Bq/m³）]

R_{ij} —核素*i*在时间段*j*内释放的放射性量（Bq）

$(\chi/Q)_j$ —时间段*j*内的大气弥散因子（s/m³）

2) 吸入内照射

吸入内照射个人剂量用下式计算：

$$D_{CEDE} = \sum_i DCF_i \sum_j R_{ij} (BR)_j (\chi/Q)_j \quad (7.1-12)$$

式中：

D_{CEDE} —吸入对个人所致的内照射有效剂量 (Sv)

DCF_i —核素i的吸入内照射有效剂量转换因子 (Sv/Bq)

R_{ij} —核素i在时间段j内释放的放射性量 (Bq)

$(BR)_j$ —时间段j内的呼吸率 (m^3/s)

$(\chi/Q)_j$ —时间段j内的大气弥散因子 (s/m^3)

3) 地面沉积外照射

由于干沉积产生的地面沉积因子如下：

$$D/Q = (\chi/Q) \cdot V_d \quad (7.1-13)$$

式中：

D/Q —地面沉积因子, $1/m^2$;

V_d —放射性物质干沉积速度, m/s (元素碘取0.01, 颗粒物和粒子碘取0.0015, 有机碘取0.0001)。

地面沉积外照射产生的剂量：

$$(D_{GE})_{dkn} = \sum_i Q_m \cdot (D/Q)_{dkn} \cdot [1 - \exp(-\lambda_i t)] \lambda_i^{-1} \cdot DF_{GEi} \quad (7.1-14)$$

式中：

$(D_{GE})_{dkn}$ —地面沉积对个人所致的外照射有效剂量, Sv;

$(D/Q)_{dkn}$ —地面沉积因子, $1/m^2$;

λ_i —核素i的放射性衰变常数, h^{-1} ;

t —地面沉积放射性积累时间, h;

DF_{GEi} —沉积在地面的核素i的有效剂量转换因子, $(Sv/h) / (Bq/m^2)$ 。

4) 总剂量 (总有效剂量)

总有效剂量是浸没于烟云浸没外照射剂量、吸入照射剂量和沉积物照射剂量之和。

7.1.2.3 事故后果评价

本工程非居住区边界为距各反应堆 16 个方位半径均为 800m 的包络面积。规划限制区范围为反应堆为中心、半径 5km 的区域。针对本工程非居住区边界和规划限制区外边界上公众进行事故放射性后果计算。

对于事故环境影响评价的标准，《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定：

核动力厂事故工况的环境影响评价可采用设计基准事故，在设计中应采取针对性措施，使设计基准事故的潜在照射后果符合下列要求：

— 在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下。

— 在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

表 7.1-20 给出了事故后果与国家标准的比较。从表中可以看出，在本节所考虑的 7 类设计基准事故工况下，均能满足国家相关标准的要求。

从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，本工程的工程安全设施的设计性能可靠，厂址周围各类边界的设置是合理的，核电厂设计基准事故导致的环境放射性后果满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的相应要求。

表 7.1-18 厂址非居住区边界 0-2 小时短期大气弥散因子

(各方位角 95%和全厂址 50%概率水平的最大值)

单位: s/m^3

| 方位 | 距离 (m) | 弥散因子 0-2h |
|-----|-----------|--------------|
| S | 800 | 1.28E-05 |
| SSW | 800 | 8.65E-06 |
| SW | 800 | 8.44E-06 |
| WSW | 800 | 1.56E-05 |
| W | 800 | 4.52E-05 |
| WNW | 800 | 7.12E-06 |
| NW | 800 | 4.91E-06 |
| NNW | 800 | 9.93E-06 |
| N | 800 | 1.35E-05 |
| NNE | 800 | 2.90E-05 |
| NE | 800 | 2.09E-05 |
| ENE | 800 | 1.16E-05 |
| E | 800 | 1.02E-05 |
| ESE | 800 | 3.90E-05 |
| SE | 800 | 6.36E-05 |
| SSE | 800 | 5.14E-05 |
| 全厂址 | -- | 4.46E-05 |
| 最大值 | -- | 6.36E-05 |

表 7.1-19 厂址规划限制区边界 30 天内短期大气弥散因子
 (各方位角 95%和全厂址 50%概率水平的最大值)

单位: s/m³

| 方位 | 距离 | 弥散因子 | | | | |
|-----|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 0-2h | 0-8h | 8-24h | 24-96h | 96-720h |
| S | 5000 | 3.99E-07 | 3.89E-07 | 3.84E-07 | 3.74E-07 | 3.59E-07 |
| SSW | 5000 | 1.54E-07 | 1.42E-07 | 1.37E-07 | 1.25E-07 | 1.11E-07 |
| SW | 5000 | 1.53E-07 | 1.42E-07 | 1.36E-07 | 1.25E-07 | 1.11E-07 |
| WSW | 5000 | 2.44E-07 | 2.23E-07 | 2.14E-07 | 1.94E-07 | 1.70E-07 |
| W | 5000 | 3.72E-06 | 2.68E-06 | 2.28E-06 | 1.59E-06 | 9.56E-07 |
| WNW | 5000 | 1.23E-07 | 1.16E-07 | 1.12E-07 | 1.05E-07 | 9.54E-08 |
| NW | 5000 | 1.21E-07 | 1.18E-07 | 1.16E-07 | 1.12E-07 | 1.07E-07 |
| NNW | 5000 | 1.35E-07 | 1.27E-07 | 1.23E-07 | 1.15E-07 | 1.04E-07 |
| N | 5000 | 4.81E-07 | 4.26E-07 | 4.00E-07 | 3.51E-07 | 2.90E-07 |
| NNE | 5000 | 2.02E-06 | 1.45E-06 | 1.23E-06 | 8.59E-07 | 5.12E-07 |
| NE | 5000 | 6.70E-07 | 5.87E-07 | 5.50E-07 | 4.77E-07 | 3.88E-07 |
| ENE | 5000 | 1.64E-07 | 1.61E-07 | 1.59E-07 | 1.56E-07 | 1.51E-07 |
| E | 5000 | 7.35E-07 | 6.52E-07 | 6.14E-07 | 5.40E-07 | 4.48E-07 |
| ESE | 5000 | 3.13E-06 | 2.29E-06 | 1.96E-06 | 1.40E-06 | 8.59E-07 |
| SE | 5000 | 6.50E-06 | 4.43E-06 | 3.66E-06 | 2.42E-06 | 1.33E-06 |
| SSE | 5000 | 4.94E-06 | 3.46E-06 | 2.89E-06 | 1.97E-06 | 1.13E-06 |
| 全厂址 | -- | 3.67E-06 | 2.75E-06 | 2.38E-06 | 1.74E-06 | 1.11E-06 |
| 最大值 | -- | 6.50E-06 | 4.43E-06 | 3.66E-06 | 2.42E-06 | 1.33E-06 |

表7.1-20 事故后果与国家标准的比较

| 事故名称 | 事故类别 | 非居住区边界 (0-2h) | | | | | |
|-------------------------------|------|---------------|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|
| | | 个人有效剂量 | | | 个人甲状腺当量剂量 | | |
| | | 计算结果 (Sv) | 限值* (Sv) | 占比 (%) | 计算结果 (Sv) | 限值* (Sv) | 占比 (%) |
| 安全壳外主蒸汽管道破裂事故 (MSLB) -事故并发碘尖峰 | 极限事故 | 1.58E-04 | 0.1 | 0.16 | 1.71E-03 | 1 | 0.17 |
| 安全壳外主蒸汽管道破裂事故 (MSLB) -事故前碘尖峰 | 极限事故 | 1.17E-04 | 0.1 | 0.12 | 1.08E-03 | 1 | 0.11 |
| 主泵卡转子/断轴事故-启动给水不可用 | 极限事故 | 7.37E-04 | 0.1 | 0.74 | 1.04E-02 | 1 | 1.04 |
| 主泵卡转子/断轴事故-启动给水可用 | 极限事故 | 2.47E-04 | 0.1 | 0.25 | 2.37E-03 | 1 | 0.24 |
| 弹棒事故 | 极限事故 | 3.74E-03 | 0.1 | 3.74 | 3.57E-02 | 1 | 3.57 |
| 蒸汽发生器传热管破裂事故 (SGTR) -事故并发碘尖峰 | 稀有事故 | 7.09E-04 | 0.005 | 14.17 | 1.02E-02 | 0.05 | 20.40 |
| 蒸汽发生器传热管破裂事故 (SGTR) -事故前碘尖峰 | 极限事故 | 1.67E-03 | 0.1 | 1.67 | 2.77E-02 | 1 | 2.77 |
| 安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故 | 稀有事故 | 4.27E-04 | 0.005 | 8.55 | 6.34E-03 | 0.05 | 12.68 |
| 燃料操作事故 | 极限事故 | 5.91E-03 | 0.1 | 5.91 | 1.06E-01 | 1 | 10.60 |
| 设计基准失水事故 (DBALOCA) | 极限事故 | 4.39E-03 | 0.1 | 4.39 | 4.41E-02 | 1 | 4.41 |

* 依据：《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)

表7.1-20 续 事故后果与国家标准的比较

| 事故 | 事故类别 | 规划限制区边界（整个事故持续期间） | | | | | |
|-----------------------------|------|-------------------|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|
| | | 个人有效剂量 | | | 个人甲状腺当量剂量 | | |
| | | 计算结果 (Sv) | 限值* (Sv) | 占比 (%) | 计算结果 (Sv) | 限值* (Sv) | 占比 (%) |
| 安全壳外主蒸汽管道破裂事故（MSLB）-事故并发碘尖峰 | 极限事故 | 3.29E-04 | 0.1 | 0.33 | 3.48E-03 | 1 | 0.35 |
| 安全壳外主蒸汽管道破裂事故（MSLB）-事故前碘尖峰 | 极限事故 | 4.80E-05 | 0.1 | 0.05 | 4.56E-04 | 1 | 0.05 |
| 主泵卡转子/断轴事故-启动给水不可用 | 极限事故 | 1.04E-04 | 0.1 | 0.10 | 1.06E-03 | 1 | 0.11 |
| 主泵卡转子/断轴事故-启动给水可用 | 极限事故 | 2.21E-04 | 0.1 | 0.22 | 2.33E-03 | 1 | 0.23 |
| 弹棒事故 | 极限事故 | 9.83E-04 | 0.1 | 0.98 | 8.10E-03 | 1 | 0.81 |
| 蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故并发碘尖峰 | 稀有事故 | 1.76E-04 | 0.005 | 3.52 | 1.74E-03 | 0.05 | 3.47 |
| 蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故前碘尖峰 | 极限事故 | 2.04E-04 | 0.1 | 0.20 | 2.24E-03 | 1 | 0.22 |
| 安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故 | 稀有事故 | 6.28E-05 | 0.005 | 1.26 | 6.48E-04 | 0.05 | 1.30 |
| 燃料操作事故 | 极限事故 | 7.83E-04 | 0.1 | 0.78 | 1.08E-02 | 1 | 1.08 |
| 设计基准失水事故（DBALOCA） | 极限事故 | 6.43E-04 | 0.1 | 0.64 | 5.82E-03 | 1 | 0.58 |

* 依据：《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）

7.2 严重事故

本工程采用第三代压水堆核电技术——CAP1400 压水堆核电机组。本工程反应堆在传统成熟的压水堆核电技术的基础上，采用“非能动”的安全系统，大大降低了事故发生的概率，安全性能得到显著提高。本工程反应堆的堆芯损伤频率安全目标 $<1.0 \times 10^{-6}$ /堆年，远低于美国核管会和美国核电用户要求文件（URD）的参考值（ 1×10^{-4} /堆年和 1×10^{-5} /堆年）。本工程反应堆的严重事故下早期大量放射性物质释放至环境的概率安全目标 $<1.0 \times 10^{-7}$ /堆年，远低于美国核管会和美国核电用户要求文件（URD）的参考值（均为 1×10^{-6} /堆年）。

7.2.1 事故描述

根据《核动力厂设计安全规定》（HAF102-2016）的定义，假想的严重事故是指严重性超过设计基准事故并造成堆芯明显恶化的事故工况。根据本工程反应堆概率安全评价结果，分析得到的功率运行内部事件堆芯损伤频率（CDF）为 $1.51E-07$ /堆年。该堆芯损伤频率值比现有压水堆相应的典型计算值低了两个数量级。前 8 类冷却剂丧失事故（LOCA）始发事件约占功率运行下本工程反应堆堆芯损伤频率的 92%。其余的始发事件约占内部事件的总堆芯损伤频率的 8%。对 CDF 贡献超过 5% 的 6 个支配性严重事故序列的累积贡献达到 60.98%。

在严重事故的初始阶段，由于堆芯丧失有效冷却，因此，燃料棒与蒸汽之间传热较差，燃料元件温度开始上升。如果反应堆冷却剂系统压力较低，则燃料棒内气体的压力上升会导致包壳膨胀。包壳膨胀会导致燃料棒之间冷却剂流道的阻塞，燃料棒的冷却将进一步恶化。在这种情况下，堆芯和堆内构件的辐射传热成为冷却堆芯的主要传热机理。如果燃料棒表面温度持续上升并超过 1300K，燃料棒锆合金包壳开始与水或水蒸汽相互作用，引起强烈的氧化反应。由于衰变热和氧化反应放热，燃料温度会持续升高，随后低熔点的控制棒材料首先熔化，并在迁移和再定位过程中引起流道进一步堵塞，造成堆芯加速升温。当堆芯温度上升至 3000K 后，二氧化铀和二氧化锆也开始熔化，堆芯侧向失效，熔融物掉落至反应堆压力容器下腔室中。

高温熔融物向下腔室掉落、迁移时引起的对压力容器的喷射、冲击可能造成下封头局部失效。堆芯熔融物掉落或迁移至下封头时，下腔室可能有残存水。这些水会因冷却剂与熔融物相互作用而产生大量蒸汽和氢气。

裂变产物随着燃料组件的解体而从燃料中释放出来，并在一回路迁移。在迁移过程中，部分裂变产物会沉积在一回路管壁等构件上，其热量可能引起一回路薄弱部件的失效。随着压力边界的失效，部分裂变产物进入安全壳，并随气体或液体扩散，并在安全壳结构壁面或气溶胶表面发生蒸发—凝结与吸收、聚合、沉积、溶解、再悬浮、再蒸发、再夹带、再挥发等现象。

本工程设计了堆芯熔融物压力容器内滞留（IVR）措施作为重要的严重事故缓解策略。在假想的严重事故期间，利用内置换料水箱（IRWST）的水淹没反应堆堆腔，并使反应堆压力容器浸于水中，这一严重事故管理策略可有效防止压力容器失效。通过将堆芯熔融物滞留在压力容器内，可防止发生某些与安全壳完整性相关且具有很大大不确定性的压力容器外的严重事故现象（如：压力容器外蒸汽爆炸、堆芯熔融物—混凝土相互作用等），以保持安全壳的完整性。

本工程设计具有改善反应堆压力容器外的冷却特性，以实现 IVR：

- 设置了可靠的多级反应堆冷却剂系统（RCS）卸压系统，在系统卸压后压力容器壁面将承受较小的应力；
- 压力容器下封头未设置贯穿件，除了压力容器壁面自身的蠕变失效外，不会发生与容器贯穿件相关的失效；
- 来自内置换料水箱的水可淹没反应堆堆腔，使反应堆容器浸没至高于反应堆冷却剂环路的标高；
- 压力容器保温层设计为水冷却压力容器和蒸汽从堆腔排出提供了一个专设流道。

由于本工程的 IVR 措施采用高度可靠的设计特性，并结合非能动事故缓解技术，使得压力容器发生失效的概率极低，有效地避免了堆外严重事故的发生。

根据本工程反应堆严重事故进程，确定了以下八个具有代表性的严重事故现象学问题：

- LOCA 事故
- 熔融物和冷却剂相互作用（蒸汽爆炸）
- 氢气燃烧和爆炸
- 混凝土结构或安全壳压力边界的熔化破坏
- 高压熔融物喷射

- 堆芯熔融物—混凝土相互作用 (CCI)
- 余热导致安全壳压力升高
- 温度升高 (设备耐受能力)

针对严重事故现象不确定性的研究是通过风险导向的事故分析方法 (ROAAM), 结合特定的展开事件树现象学评估或保守假定某些低频率严重事故现象直接导致安全壳失效进行的。根据本工程反应堆安全壳事件树的分析, 共确定了以下 6 个安全壳释放类别, 具体描述如下:

- IC: 事故中安全壳始终保持完整, 放射性物质向环境的释放量与安全壳设计基准泄漏率相关。
- BP: 裂变产物从反应堆冷却剂系统通过旁通安全壳的二回路系统和其它连接系统, 释放到环境中。安全壳在堆芯开始损伤之前失效。
- CI: 裂变产物通过那些失效的用于隔离安全壳与环境之间连接的系统和阀门释放。安全壳在堆芯开始损伤之前失效。
- CFE: 裂变产物通过失效安全壳释放, 安全壳失效由发生在堆芯开始损伤之后堆芯熔融物再就位之前的严重事故现象造成。这些现象包括: 氢气爆炸、氢气扩散火焰、蒸汽爆炸以及压力容器失效。
- CFI: 裂变产物通过失效安全壳释放, 安全壳失效由发生在堆芯熔融物再就位之后 24h 之内的严重事故现象造成的。这些现象包括: 氢气爆炸和氢气爆燃。
- CFL: 裂变产物通过失效安全壳释放, 安全壳失效由在 24h 后发生的一些严重事故现象造成的。这些严重事故现象包括: 安全壳热排出失效 (非能动安全壳冷却系统失效)。

基于一定的保守分析得到功率运行内部始发事件的二级 PSA 分析结果表明本工程反应堆总释放频率是 $1.04E-08$ /堆年。这大约是功率运行内部始发事件引起的堆芯损伤频率的 6.89%。安全壳防止发生大量放射性释放 (即安全壳的有效性) 的能力是 93.11%。这表明本工程反应堆安全壳设计在防止严重事故后大量放射性释放上具有很强的能力, 而且证明本工程严重事故带给公众的风险也是非常低的。安全壳失效频率 (大量放射性释放频率) 可以分两种类型的失效:

- 在初始阶段安全壳就失效, 安全壳完整性或者因为始发事件而丧失, 或者从事故一开始就已经丧失。

- 高能严重事故现象引起的安全壳失效。

大量放射性释放频率的支配性释放类别第一位是安全壳晚期失效（CFL），所占贡献为 66.83%；第二位是安全壳旁通（BP），所占贡献为 27.60%。这两类的总频率是 $9.82E-09$ /堆年，占内部事件大量放射性释放频率的 94.43%。接下来是安全壳隔离失效（CI）和安全壳早期失效（CFE），所占贡献分别为 2.95% 和 2.38%。安全壳中期失效（CFI）和安全壳排气（CFV）的贡献可以忽略。始发事件对大量放射性释放频率的贡献，SI-LB 对 LRF 的贡献最大，约占总 LRF 的 24.69%；SGTR 其次，约占 18.06%。大量放射性释放频率支配性序列是 LE1 后堆腔淹没失效，熔融物未能成功冷却导致安全壳晚期失效的序列所占贡献为 36.26%，其次是 6ES 后 RCS 完全降压失效导致安全壳旁通的序列所占贡献为 19.24%。

针对安全壳事件树分析确定的安全壳释放类别，使用一体化严重事故分析程序分析了本工程反应堆发生严重事故期间可能发生的许多重要的热工水力现象和裂变产物释放现象：

- 反应堆冷却剂系统（RCS）热工水力
- 燃料包壳和水反应
- 堆芯升温、熔化、迁移
- 安全壳热工水力
- 燃料-冷却剂相互作用
- 堆芯熔融物-混凝土相互作用
- 氢气燃烧
- 裂变产物释放、输运和沉降

7.2.2 事故后果

严重事故发生后，烟羽中的放射性气体和气溶胶会随着风向在大气中输运。输运过程中，放射性物质会对人体产生辐照。为全面评价潜在的事故造成的厂外剂量风险，针对每一类别的释放，均选取了一个代表性源项，作为该释放类别的包络值。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的适于紧急防护措施的通用干预水平为：

- 隐蔽：10mSv；
- 撤离：50mSv。

《核电厂应急计划与准备准则 第 1 部分：应急计划区的划分》（GB/T 17680.1-2008）规定对于压水堆核电厂，在满足安全准则的前提下，其烟羽应急计划区的区域范围，一般应考虑反应堆热功率的大小，在以反应堆为中心、半径 7km~10km 的范围内确定；烟羽应急计划区内区的范围，一般应考虑反应堆热功率的大小，在以反应堆为中心、半径 3km~5km 的范围内确定。山东石岛湾厂址包括 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组和 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，并预留核电机组扩建场地。根据《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程核电厂址区域核应急方案》及批复，高温气冷堆核电站示范工程的烟羽应急计划区内区边界 3km、外区 7km，食入应急计划区范围为 30km。考虑到厂址规划建设多种不同堆型，各堆型反应堆热功率不同，且本工程热功率较大。并考虑，业主和地方相关政府的意见，对于本工程 1、2 号机组的应急计划区范围按照《核电厂应急计划与准备准则 第 1 部分：应急计划区的划分》中推荐的范围的上限，即烟羽应急计划区内区边界 5km、外区 10km，食入应急计划区范围为 50km 考虑。针对目前的 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组和 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，推荐应急计划区如下：

— 烟羽应急计划区：以本工程 1、2 号机组各反应堆、半径 10km 范围内的区域，需做好撤离、隐蔽和碘防护准备的区域；内区为半径 5km 范围内的区域（准备撤离），外区为半径 5~10km 范围内的区域（准备隐蔽和碘防护）。

— 食入应急计划区：以本工程 1、2 号机组各反应堆、半径 50km 范围内的区域，需做好事故情况下食品和饮用水的控制。食入应急计划区包含烟羽应急计划区。

结合本厂址气象条件、地形特征及人口分布特征，计算距本工程反应堆 3~10km 各距离段、各类严重事故加权综合的个人剂量超越干预水平概率，远小于 30%。

同时结合本厂址气象条件、地形特征及人口分布特征，计算得到功率运行工况下，由于假想的裂变产物释放（堆芯损伤开始后初始 24h）造成 80km 范围内公众集体剂量总风险是 $2.64E-04$ 人 Sv/堆年。

7.2.3 严重事故预防和缓解方案

本工程采用先进非能动压水堆核电厂设计，其系统和设备采用先进、成熟和保守的设计，它满足 IAEA、美国 NRC 和中国核安全法规和标准的要求，根据 PSA 分析结果，其发生堆芯损伤的概率比美国 URD 的要求低得多。另外，在设计上它充分考虑严重事故的预防和缓解措施，其目标是缓解严重事故后果，尽可能保持安全壳完整，防止放射性物质向环境的大量释放。

主要的严重事故预防和缓解措施包括：

- 预防界面 LOCA—界面系统采用全压设计；
- 预防保护和安全监测系统（PMS）共因失效及未能实现反应堆紧急停堆的预期瞬态（ATWS）—设置多样化驱动系统（DAS）；
- 事故下堆芯应急冷却—采用非能动堆芯冷却系统设计；
- 事故下安全壳热量移出—设置非能动安全壳冷却系统；
- 防止高压熔堆—设置非能动余热排出系统和自动卸压系统；
- 缓解事故下产生的氢气—设置安全壳内氢气控制系统；
- 防止反应堆压力容器失效—采取熔融物堆内滞留策略，采用事故下淹没堆腔设计并考虑堆腔淹没系统功能，使得在事故下反应堆压力容器浸没在冷却水中，从而使堆芯熔融物保持在反应堆压力容器内；
- 防止堆外严重事故条件下安全壳失效—采用合理的堆腔设计，使其能够承受堆外严重事故现象产生的载荷；
- 防止安全壳超压失效—设置安全壳通风管道。

此外，本工程还通过对人因、应急运行规程、核电厂应急计划、可能的高级别严重事故响应、堆芯损伤后投入操作的利弊和严重事故进程及时间表的综合考虑，建立严重事故管理导则，可在严重事故下为操纵员提供技术指导。其内容主要包括如下三个部分：（1）主控室严重事故管理导则；（2）技术支持中心严重事故管理导则；（3）技术支持中心严重挑战响应导则。

下面对严重事故下的主要预防和缓解措施进行简单评价：

1) 界面系统采用全压设计

界面系统 LOCA（ISLOCA）是指反应堆冷却剂系统（RCS）压力边界在与一个低压系统的交界面处发生泄漏，RCS 冷却剂将会进入到低压系统。低压的界面系统不能承受 RCS 的高压力，在其边界（安全壳外）发生破口，从而将会

导致反应堆冷却剂直接向环境的释放。由于冷却剂直接释放至安全壳外而大量流失，从而可能直接导致堆芯损伤。

本工程最重要的 ISLOCA 途径为正常余热排出系统(RNS)入口管和出口管。

RNS 管道设计为极限破裂强度不小于 RCS 的运行压力，并且位于安全壳外的 RNS 设备设计符合抗震 I 类的要求。对于 RNS 暴露在正常的反应堆冷却剂系统压力事件中，RNS 管道发生破裂的概率极低。

2) 设置多样化驱动系统

本工程设置多样化驱动系统 (DAS) 来提供必要的仪控功能，以减少与 PMS 相关的共因失效所带来的风险。DAS 主要有以下三项功能：

- 在核电厂参数超出整定值的情况下，提供多样、备用、自动的驱动信号以使反应堆停堆，并启动选定系列的专设安全设施；
- 为反应堆停堆和选定的专设安全设施的启动提供一个多样、备用的独立手动启动能力；
- 为选定的核电厂参数提供专门独立的指示。

上述功能的目的是：

- 缓解 ATWS 的后果；
- 降低概率安全评价 (PSA) 中由于 PMS 的共因失效导致的堆芯熔化和安全壳超压事故概率。

为达到这些目标，在设计中提供以下自动和手动驱动功能：

- 自动驱动功能
 - ◇ 反应堆停堆和汽机停机
 - ◇ 启动堆芯补水箱和使主泵停运
 - ◇ 非能动余热排出系统启动和 IRWST 集水槽隔离
 - ◇ 安全壳隔离和非能动安全壳冷却系统启动
- 手动驱动功能
 - ◇ 反应堆停堆和汽机停机
 - ◇ 启动堆芯补水箱和使主泵停运
 - ◇ 非能动余热排出系统启动和 IRWST 集水槽隔离
 - ◇ 安全壳隔离和非能动安全壳冷却系统启动
 - ◇ 氢气点火器控制

- ◇ 自动卸压系统各级阀门
- ◇ IRWST 注射
- ◇ 启动安全壳再循环
- ◇ 启动 IRWST 排水至安全壳

3) 采用非能动堆芯冷却系统设计

本工程非能动堆芯冷却系统 (PXS) 包括一个非能动余热排出热交换器、两个堆芯补水箱、两个安注箱和一个 IRWST。另外的 PXS 设备还包括 IRWST 滤网、IRWST 重力注射管线、安全壳再循环管线和事故后 pH 值调节篮等。非能动堆芯冷却系统可以在事故下为堆芯提供非能动的堆芯冷却, 并可提供反应堆冷却剂系统的应急补水和硼化。PXS 可以完成如下功能:

- 应急堆芯余热排出

在设计基准瞬态、事故或丧失正常余热排出系统时, 非能动余热排出系统可提供应急堆芯冷却功能。在功率运行 RCS 条件及停堆状态下, 只要 RCS 压力边界维持完整, 其热移出功能均可用。从长期而言, 非能动余热排出系统可将 RCS 冷却至安全停堆状态。

- 反应堆冷却剂系统应急补水和硼化

在事故下, 当化学和容积控制系统 (CVS) 的正常补水不可用或不足时, 为 RCS 提供补水和硼化。

- 安全注射

对各种破口尺寸直至主管道双端断裂破口 LOCA 事故提供非能动安全注射, 从而为堆芯提供充分的冷却。

- 安全壳 pH 值控制

在事故发生后, 通过添加化学物质调节安全壳内的 pH 值, 以支持安全壳内高剂量放射性物质的包容, 并防止在长期淹没过程中安全壳设备的应力腐蚀。

4) 非能动安全壳热量移出

本工程安全壳由非能动安全壳冷却系统进行冷却, 能够将热量通过钢安全壳直接传至大气环境。在事故工况下, 安全壳外的冷却水依靠蒸发带走热量, 为安全壳提供长期冷却并限制安全壳压力。当发生概率极低的非能动安全壳冷却系统冷却水丧失事故时, 通过环形空间的空气自然对流也能持续为安全壳提供重要的冷却, 减缓安全壳升压速度, 在较长时间内防止安全壳超压。

在接收到自动触发或手动打开信号后，非能动安全壳冷却系统阀门将打开，并依靠从顶部喷淋水的自然蒸发带走热量，通过设置导流板使得流道内气体流量较大，可以有效带走热量。阀门采用并联设计并采用不同型号，防止发生共因失效，此外，还可以通过消防水源或消防车为该系统提供水源。因此，该系统热移出能力足够并且可靠性高。

5) 防止高压熔堆

本工程在设计上考虑防止高压熔堆的措施。这些措施主要包括非能动余热排出系统和自动卸压系统。非能动余热排出系统可以可靠地导出反应堆余热，自动卸压系统可以保证 RCS 系统成功卸压。

非能动余热排出系统主要依靠重力自然循环形成冷却剂流动环路，将存有大量水源的内置换料水箱作为热阱。整个系统除阀门外没有能动部件，阀门采用并联设计，由安全级电源供电。通过合理设置换热器排管数量和优化流道设计，非能动余热排出系统热移出能力足够并高度可靠。

自动卸压系统采用双列设计，各级阀门尺寸不完全相同，在丧失交流电的情况下依靠蓄电池传递信号或触动阀门即可运行。通过设置合理的时间延迟和阀门打开顺序，自动卸压系统能够快速、有效地将 RCS 系统压力降低至安全壳压力。

6) 安全壳内氢气控制

本工程由安全壳内氢气控制系统控制氢气，该系统包括氢气浓度监测器、非能动氢气复合器和氢气点火器。氢气控制系统执行如下监测和控制安全壳内氢气浓度的功能：

- 氢气浓度监测：分布在安全壳内的氢气监测器可以为操纵员提供安全壳内氢气浓度的连续指示。该监测功能可使操纵员能够监测并启动事故后的缓解措施，包括启动氢气点火器。
- 非能动氢气复合器：在设计基准事故下，氢气复合器将自动使安全壳内的整体氢气浓度维持在较低水平。对严重事故，非能动氢气复合器协助氢气点火器降低安全壳内的整体氢气浓度。
- 氢气点火器：分布在安全壳内的氢气点火器通过对局部燃烧相对较低浓度的氢气，防止氢气浓度达到可能的爆炸限值。

本工程采用纵深防御的方法，应对可能危及安全壳完整性的氢气扩散火焰。反应堆冷却剂系统的自动卸压系统第 4 级阀门作为第一层次防御，它阻止大量的

氢气释放至内置换料水箱和非能动堆芯冷却系统隔间。ADS 第 4 级阀门出口位于环路隔间，而环路隔间与安全壳壳体相互隔开，并且通过安全壳内自然循环提供稳定的氧气源。在环路隔间内，氢气以扩散火焰方式燃烧，不会危及安全壳的完整性。如果自动卸压系统第 4 级阀门失效，本工程在内置换料水箱处设计排气口，以缓解安全壳壁附近的扩散火焰。

本工程设计由于没有能直接导致氢气爆炸的足够能量，因此，燃爆转变(DDT)是唯一可能导致安全壳内发生氢气爆炸的原因。在严重事故后，当安全壳内任一区域的氢浓度达到最低可燃浓度限值不久后，安全壳氢气控制系统的氢点火器启动以促进氢气的燃烧，从而防止安全壳内氢浓度达到燃爆转变限值。

氢气控制系统在没有外电源的情况下依靠蓄电池以及非能动部件仍然可以正常运行，因而，通过合理的氢气点火器和氢气复合器布置，氢气控制系统可有效地降低安全壳内氢气浓度。

7) 防止反应堆压力容器失效

通过反应堆压力容器外水冷实现堆芯熔融物堆内滞留是本工程严重事故关键缓解措施。在假想的严重事故期间，利用内置换料水箱的水淹没反应堆堆腔，并使反应堆压力容器浸没于水中，这一严重事故管理策略可有效地防止压力容器失效。利用水冷却反应堆压力容器外表面，可防止反应堆下封头内的堆芯熔融物使压力容器失效和向安全壳迁移。通过将堆芯熔融物滞留在反应堆压力容器内，可限制发生某些与安全壳完整性相关且具有很大大不确定性的反应堆压力容器外的严重事故现象(如：反应堆压力容器外蒸汽爆炸、堆芯熔融物—混凝土反应等)，以保持安全壳的完整性。

本工程在设计上具有如下改善反应堆压力容器外的冷却特性，以实现熔融物堆内滞留：

- 设置可靠的多级反应堆冷却剂系统卸压系统，可保证在 RCS 系统卸压后反应堆压力容器壁面将承受较小的应力；
- 反应堆压力容器下封头未设置贯穿件，除了压力容器壁面自身的蠕变失效外，不会发生与容器贯穿件相关的失效；
- 来自内置换料水箱的水可淹没反应堆堆腔，使反应堆容器浸没至高于反应堆冷却剂环路；
- 反应堆压力容器外保温层设计为水和蒸汽的流动提供了一个流道，在该

流道内水大量汽化并从顶部出口喷出，在流道内形成很大的流量。

熔融物堆内滞留策略完全是非能动的，通过设计保证反应堆压力容器外壁面热流密度低于临界热流密度，可以保证熔融物堆内滞留的成功。

8) 防止堆外严重事故条件下安全壳失效

本工程熔融物堆内滞留策略的有效性极高，但为了提供更高的安全性评价，仍假设会发生堆外严重事故。对本工程构成较大威胁的反应堆外严重事故现象主要包括反应堆外蒸汽爆炸以及堆芯熔融物—混凝土相互作用。由于本工程采用非能动堆芯冷却系统设计，使得严重事故期间堆腔内存在一定量的水。通过合理设计堆腔结构，使得堆腔可以承受蒸汽爆炸产生的瞬间高压载荷。在堆芯熔融物—混凝土相互作用过程中，水的存在可以减缓熔融物侵蚀速度，在相当长时间内保持安全壳底板不被熔穿，最终熔融物非常可能被冷却并终止对混凝土的侵蚀。

9) 防止安全壳超压失效

在安全壳的设计布置中包括一条安全壳通风管道，它可用来在极不可能发生的安全壳长时间超压条件下控制安全壳压力，防止安全壳超压失效。

由于采用非能动设计，以上各个系统都可以在丧失常规电源的情况下正常工作，保证严重事故缓解措施的有效性，因此，本工程严重事故缓解措施合理可行，各个系统互不干扰且高度可信，设计裕量充分，在假想的严重事故期间能有效保证不会发生大量放射性物质向环境的释放。

10) 放射性废液滞留

(1) 安全壳内废液的有效滞留

反应堆厂房的外层结构为安全壳，其功能是事故工况下的放射性废气的包容，具有高抗震（抗震 I 类）、承压和极低泄漏的性能。在事故工况下，在钢安全壳内产生的事故废液（事故废液为一回路冷却剂与专设安全系统注水的混合液），由其在壳内维持堆芯的自然循环冷却。按照事故的正常缓解措施，反应堆堆芯衰变热将通过钢安全壳导出最终实现通过大气带走衰变热的长期自然冷却，同时安全壳也为事故废液提供滞留手段，以便后续开展事故废液的处理和冷却。安全壳内事故废液闭式循环处理的方式将大大降低事故废液的产生量，减少受沾污冷却水量，为减少事故后二次废物、降低人员辐照提供有力保障，作为本工程核电厂事故废液处理的优先处理原则。

本工程反应堆厂房 0m 以下空间能有效滞留和包容上表中所有的放射性废液，

具有高置信度。而且，通过本工程完善的严重事故缓解措施，可以保持安全壳的完整性，因此，反应堆厂房的滞留和包容时间是长期可靠的，为后续废液处理提供有利条件。

(2) 辅助厂房废液的有效滞留

核岛的核辅助厂房按照抗震 I 类设计，可以做为严重事故工况下废液的有效包容场所。

本工程辅助厂房内，仅存放有低、中放的废液储罐，不存在高放废液，因此能减少事故后处理的废物量。所有中低放的废液储罐间，均设置足够高度的门槛，保证事故工况下，房间能有效滞留和包容放射性废液，以便后续开展废液处理。而且，

本工程在中放废液储存间设置有足够高度的钢覆面，从而保证废液的有效滞留。此外，辅助厂房 0m 以下空间放射性废液滞留和包容能力超过 3000m³，远高于辅助厂房内其他可能产生的所有废水量。

另外，对于放射性水平较低的乏燃料池，池水的活度浓度为 0.1% 反应堆冷却剂活度浓度，设计中水池衬里采用不锈钢覆面以防止池水流失，并设置水池检漏措施来监测并定位修复水池的泄漏。乏燃料池的泄漏可以由安全级的低液位报警识别，池水重大泄漏也可以由辅助厂房放射性地坑液位上升来识别。

即便是乏燃料池底部发生破裂，池水泄漏也可由位于水池下方的设有水密门的废液暂存箱房间有效包容。

(3) 厂区临时贮存

本工程设置的 WLS 废液监测箱和常规岛废液排放系统三台 1000m³ 监测箱，储存水量超过 3000m³，可在严重事故下使用。而且，常规岛废液排放系统水箱所在厂房是按高于本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施，具有一定的可靠性。此外，在利用安全壳和辅助厂房有效滞留和包容措施基础上，对于厂区内已有（其它用途）但未在事故下受损的贮水箱罐，还可考虑作为以上滞留措施的补充。

本工程针对严重事故放射性废液通过多层次的可靠滞留控制措施，可在严重事故后有效实现事故废液的厂内滞留包容。

7.3 场内运输事故

核电厂在建成后首次装料前和运行过程中都涉及新燃料的运输，在运行一段时间后还需要将包括乏燃料在内的放射性废物运输至废物库暂存，或运至中低放废物处置场和乏燃料后处理厂进行处置。

放射性物质的运输包括现场运输（电厂内部不同控制区之间的运输）和厂外运输（电厂与厂外中低放废物处置场或乏燃料后处理厂之间的运输）。为此，电厂将制定详细的放射性物质专项管理程序。需要移动或运输的放射性物质应严格按照《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）和该程序进行包装和监测。整个过程中严格遵循《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号，2010.01.01）、《放射性物品运输安全许可管理办法》（第二次修正版，2021.01.08）和《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。

换料后的乏燃料组件在乏燃料水池中一直贮存到外运出厂，贮存期通常在 5 年。乏燃料水池的最大设计贮存容量能贮存运行 18 年产生的乏燃料。乏燃料在长期的贮存过程中，其剩余衰变热降到可以不必再冷却，乏燃料中短寿命放射性核素的活性衰减到可以外运。乏燃料的运输采用专门的密封屏蔽运输容器、专用的铁路和公路车辆以及配套的辅助操作工具。

根据厂址布局，新燃料和乏燃料的运输流线是由厂区北侧的应急道路进入厂区，经厂内道路由主厂房西北侧道路运至主厂区和三废区，放射性废物流线由 2 台机组的核岛厂房经主厂房西北侧的道路运至其北侧的三废区，在三废区经处理和储存一定时间后，经厂内道路和应急道路运出；而运行人员交通流线主要从厂区西南侧的进厂道路进入厂区，经厂区南侧的厂内主要道路由西向东依次到达厂前区办公楼、主厂区及 BOP 辅助设施区。综上所述，主厂房屋东南侧的运行人流与主厂房西北侧放射性物质运输流线可完全避开，减少放射性物质厂内运输对运行的辐射影响。

放射性物质运输中可能出现的事故主要是交通工具的交通事故、严重颠簸等外力撞击而导致的放射性物质包装的机械损伤。由于放射性物质的特殊性，其包装和运输都受到了国家和相关行业的重点关注，并为其制定了一系列的标准和安全要求，而且，随着技术的进步，放射性物质的包装容器、专用运输车辆的性能和可靠性已完全能满足相关标准的安全要求。本工程通过屏蔽转运容器和专用车辆处理来自核岛的各类废物流。屏蔽转运容器是可靠的转运设备，有足够的屏蔽厚度，能够实现放射性物质的完整包容。此外，厂内运输的废物流通过管理手段

保证放射性物质安全运输，保护厂区不受污染，保证运输和公众接受的辐射照射控制在合理可行尽量低的水平。

1) 可压实（如 HVAC 废过滤器滤芯）及不可压实干废物通过专用转运卡车从核岛放射性废物厂房按照厂区制定路线转运至厂址废物处理设施（SRTF）的混合废物装卸区。该废物活度水平较低，包装后的表面剂量率很低，对环境影响较小。

2) 水过滤器滤芯通过来自 SRTF 的废滤芯屏蔽转运容器从核岛辅助厂房的轨道平台/滤芯存放区按照指定运输路线转运至 SRTF 的过滤器滤芯屏蔽转运存放间。该容器在厂区内运行速度不大于 10km/h，确保运送安全。容器本身由保护装置锁紧，保证良好的密封性。

3) 放射性废树脂采用专用的废树脂屏蔽转运容器从核岛辅助厂房的轨道平台/滤芯存放区按照指定运输路线转运至 SRTF 的废树脂屏蔽转运容器存放间。废树脂屏蔽转运容器内设有检漏仪表，用于监测运输过程中可能发生的放射性废树脂泄漏。在厂区内运行速度不大于 10km/h，确保运送安全。

所以，在放射性物质运输过程中，切实遵循《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号，2010.01.01）、《放射性物品运输安全许可管理办法》（第二次修正版，2021.01.08）、《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）和《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）等标准的要求，采用合格的包装容器和运输车辆，加上合理可行的运输方案、应急措施和完善的质量保证，放射性物质的运输事故是可以避免的，即使发生了事故，其对环境的影响也是极小的。

7.4 其它事故

核电厂在建设和运行中将使用各类易燃易爆和有毒的油与化学品，如果处理不善可能出现爆炸、火灾以及危险品泄漏等事故，为此，核电厂的建设和管理部门将制定严格的管理程序，合理地运输、贮存和使用这些危险品，采用合理可行及有效的措施实现与安全相关设施的隔离，并将其发生事故的概率降至最低程度；同时设置应急防护措施，在万一出现事故的情况下也可以将事故的危害降低到最小。

7.4.1 核电厂环境风险评价

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)对核电厂化学物质贮存和使用开展环境风险评价。

1) 核电厂环境风险评价分级

核电厂使用的化学品包括盐酸、氨水、联氨、氢气、柴油、次氯酸钠等。

(1) 本项目危险物质及工艺系统危险性(P)分级如下:

本项目化学物质总量与其临界量比值(Q)计算值为40.40。

本项目为其他行业,行业及生产工艺(M)取值为5。

因此,本项目危险物质及工艺系统危险性等级判断(P)为轻度危害(P4)。

(2) 本项目环境敏感程度(E)分级如下:

大气环境:厂址半径5km范围内总人口为18067人,人口总数大于1万人,但厂址半径500m范围内无常住居民,因此本项目大气环境敏感程度为环境低度敏感区(E3)。

地下水环境:厂址周边无集中式饮用水水源准保护区及补给径流区、分散式饮用水水源地特殊地下水资源保护区及分区等环境敏感区,但化学品库、燃油贮存罐、附属厂房(辅助柴油发电机房间)、柴油发电机厂房、循环水加药厂房室外设施、凝结水精处理室外设施、海水淡化及除盐水处理厂房、汽机厂房等涉及化学品使用场所均不满足“包气带岩土分布连续稳定,岩土层单层厚度不小于0.5m,渗透系数不大于 $1E-04\text{cm/s}$ ”要求。因此本项目地下水环境敏感程度为环境中度敏感区(E2)。

因此,本项目大气环境敏感程度为环境低度敏感区(E3),地下水环境敏感程度为环境中度敏感区(E2)。

综上所述,本项目大气环境风险潜势为I类,评价工作等级为简单分析;地下水环境风险潜势为II类,评价工作等级为三级评价。

2) 核电厂大气环境风险评价

对核电厂大气环境风险评价开展简单分析。

厂址半径800m范围内无常住居民,距厂址最近的居民点是位于厂址WSW方位0.84km处的东墩,现有居民1508人,厂址半径5km范围内有44个村庄。厂址半径5km范围内无自然保护区、风景旅游区等分布。

为避免化学品泄漏,核电厂制定了《环境污染事件专项应急预案》,并采取

了一系列化学品泄漏风险防范措施，具体见 7.4.2 节。

3) 核电厂地下水环境风险评价

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)要求，参照《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)进行风险预测及分析。由于《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)未对核电厂进行项目分类，参照“其他能源发电”、“海水淡化、其他水处理和利用”分类为 IV 类，此外厂址周边无集中式饮用水水源准保护区及补给径流区、分散式饮用水水源地特殊地下水资源保护区及分区等环境敏感区，因此参照《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)无需开展地下水评价。

为避免化学品泄漏，核电厂制定了《环境污染事件专项应急预案》，并采取了一系列化学品泄漏风险防范措施，具体见 7.4.2 节。

7.4.2 核电厂环境风险防范措施

7.4.2.1 核电厂化学品泄漏风险防范措施

1) 本工程核岛生产工艺从核裂变到蒸汽发电的整个过程都是在密闭的容器和管道内进行的，除了放射性气溶胶外，主工艺过程基本不产生化学品危害。在辅助生产运行中可能使用或产生的化学品主要有硼酸、氢氧化锂和联氨等。

在设计中采取了以下措施：

(1) 硼酸、联氨和氢氧化锂等的贮存和运送都是在密闭的容器管道内进行的，加药管道采用不锈钢，连接处采用全焊接，以避免因连接不严或被腐蚀而产生泄漏。

(2) 工作人员在钢平台或者隔层上进行的加药操作，可通过漏斗进行添加，防止药品溅出。

(3) 现场使用时加强管理和个人防护，工作人员在从事相应的操作时要戴防酸碱手套、化学安全防护眼镜、防护口罩、穿防护服和防护鞋。

2) 本工程常规岛生产工艺中，凝结水精处理系统可能的化学危害来自于凝结水精处理装置再生用的浓酸、浓碱的泄露，一旦与人体接触，便会引起灼伤；针对可能存在的危害设计中采取了以下的防护措施：

(1) 酸碱储存、计量等接触酸碱的设备、部件材质均耐浓酸、碱腐蚀，以减少由于腐蚀损坏引起的泄漏。所有接触酸、碱设备的基础、地面、沟道均设有

防腐层。

(2) 酸、碱的输送采用机械化设备，除人工卸药外，凝结水精处理系统采用程序控制（PLC）加上微机监控，无需运行人员现场直接操作，可以避免遭受浓酸、浓碱等化学伤害的可能性。

(3) 酸碱储存罐及计量箱壳体设计考虑有足够的承压能力和腐蚀裕度。

(4) 在酸碱计量泵出口均装设安全释放阀，一旦超压时，排出的溶液可返回到计量泵的入口或计量箱内。

(5) 所有酸碱储存罐及计量箱均有高液位报警装置，防止溢出。

(6) 酸碱储存罐周围设有能容纳最大一台储存设备 110% 容积的耐酸碱防护围堰。

常规岛化学药剂供给系统内可对人体造成危害的化学药品为 ETA 和联氨，两种药品的泄漏或向空气中逸散可能会对人员造成危害。针对可能存在的危害设计中采取了以下的防护措施：

(1) 为防止运行人员直接与 ETA、联氨接触，将 ETA 和联氨溶液的输送采用机械化设施。加药管道采用不锈钢管，耐药液腐蚀。管道与设备的接口处采用法兰连接，便于操作。

(2) 系统中凡接触腐蚀性介质的设备、阀门、管道和排水沟、药品添加和储存区域等，在其接触或可能接触腐蚀性介质的表面均涂衬防腐层或用耐腐蚀材料。上述设备应做到严密不漏，发现损坏应及时修复，避免药品的泄漏。

(3) 各加药泵出口均装设安全释放阀，一旦超压时，排出的溶液可返回到加药泵的入口或药液箱内。

(4) ETA 储存罐、ETA 计量箱、联氨计量箱等储存设备均设有高液位报警装置，以防止药液溢出。

7.4.2.2 核电厂火灾风险防范措施

1) 防火分区

将电厂分为各防火区，以隔离潜在的火灾，使火灾的蔓延风险以及随之产生的腐蚀性气体、灭火剂、烟气和放射性污染造成的危害最小化。一些防火区再细分为防火小区，以允许可燃物、火灾探测和灭火系统类型和位置的更精确鉴别。耐火极限为 3 小时的防火屏障为多重安全停堆部件提供了完全的分隔，这些部件包括设备、电缆和仪控等。

2) 建筑和结构

电厂厂房使用不燃结构材料，主要是钢筋混凝土、石膏、砌块、结构钢、钢侧墙板、混凝土与钢复合材料。

3) 电气防火设计

为了避免和减少电气系统由于可燃物质和各种原因（如：短路、过负荷、散热失效等）产生的电火花、电弧放电或高温引起火灾的危险性，在电气设计中主要采取了下列电气防火措施：电缆设施防火、电气设备防火、通道隔离、蓄电池防火、防雷等内容。

电缆主要敷设在专用的电缆构筑物内，使用阻燃电缆。为防止电缆由于短路和长期超负荷引起火灾，电气开关设有过流和短路保护。

在电力系统中，尽量减少可燃性物质。属于不同安全通道的应急电源系统的电气设备分别布置在单独房间里，并用耐火极限为 3 小时的隔墙和楼板与其它房间隔开。

4) 通风防火设计

核岛厂房通风系统的风管穿越防火屏障时设置防火阀。在空气温度达到 165°F (73.9°C) 时，防火阀自熔关闭，限制火灾以及烟气的蔓延。风管穿越安全有关区域、烟雾敏感区域时设置防烟防火阀。防烟防火阀除了可自熔关闭，还可根据火灾探测及报警系统发出的信号联动关闭。已设置防烟防火阀的地方不再设置防火阀。防火阀、防烟防火阀的耐火极限与穿越的防火屏障的耐火极限相等。防火阀、防烟防火阀可手动或自动复位。

7.4.2.3 核电厂危险废物贮存风险防范措施

电厂运行期使用的危险废物贮存设施周边无环境敏感点，所贮存的危险废物（废树脂等）虽然具有可燃性，但贮存设施的设计提供了消除危险废物扩散的屏障（危险废物分类收集并存放入专用容器，粘贴标签并定期外运；贮存设施设有通风系统，降低设施内的有害气体浓度），业主在电厂运行期间也将制定危险品管理规程，上述措施均能降低危险废物贮存期间产生的环境风险。

7.4.2.4 核电厂氢气爆炸风险防范措施

正常运行期间，反应堆及反应堆冷却剂系统的氢气主要来自化学与容积控制系统。电站功率运行期间，通过直接注入高压氢气向反应堆冷却剂系统补充氢气，利用溶解氢气控制和除去堆芯区域由于水辐照分解产生的氧气，使燃料和一回路

系统材料表面的腐蚀降至最低。通过一回路取样系统监测反应堆冷却剂系统内的水质，若水中含氢量低于限值，则需进行加氢操作。贮存在高压氢气储气站内的高压氢气瓶内的氢气经减压后，通过化学与容积控制系统管道经注入反应堆冷却剂系统。事故后，除水辐照分解、材料腐蚀产生氢气外，锆合金包壳与水蒸汽反应、堆芯熔融物与混凝土反应等也会释放出相当数量的氢气。主要采取了如下防范措施：

- 1) 系统设计时，保证各种运行状态或事故工况引起的机械应力在规范范围内，保证压力边界的完整性。
- 2) 管道和设备安装完毕后，按规定进行水压试验和密封性试验。
- 3) 反应堆冷却剂系统的布置确保具有足够的自然循环能力（蒸汽发生器位置高于反应堆压力容器，使得在失去强制循环能力时，仍能导出堆芯余热）。
- 4) 反应堆冷却剂泵具有足够的惯性，使得失去电源后，短时间内有较高的流量通过堆芯，导出堆芯余热。
- 5) 设置仪表装置监测反应堆冷却剂系统的运行，提供稳压及超压保护。
- 6) 设置了非能动专设安全设施，如非能动堆芯冷却系统、非能动安全壳冷却系统等，缓解事故后果。
- 9) 安全壳内设置氢气监测系统，以监测安全壳内的氢气浓度。
- 10) 安全壳内的结构布置有利于通过自然循环促进安全壳大气的混合，防止氢气在局部积累。
- 11) 在设计基准事故后，由两台安全有关的非能动自催化复合器消除安全壳内产生的氢气，防止氢气浓度达到最低可燃限值。
- 12) 严重事故后，66 台分散布置在安全壳内各个隔间的点火器将在安全壳内达到最低可燃浓度限值后不久引发氢气燃烧，防止发生较高氢浓度时的事故性氢气燃烧，保证氢气燃烧期间能维持安全壳的完整性，并保证在燃烧期间或燃烧后安全有关设备能持续运行。

7.5 事故应急

国务院颁布的《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002，2011）要求新建核电厂必须在其场内和场外核事故应急计划审查批准后方可装料，《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01，2019）要求运行阶段营运单位应制

定应急预案,并作为运行申请材料之一于首次装料前与最终安全分析报告一并报国务院核安全监督管理部门审查。在首次装料前,核动力厂营运单位应完成应急准备工作,并进行装料前场内综合应急演练。

核事故应急的目的是在核电厂发生放射性物质可能向环境大量释放的事故时,使事故迅速得到控制,以防止或减少放射性物质向环境的释放,并采取防护行动保护电厂内所有人员的安全,迅速向厂外提供保护居民安全与健康的建议。

核电厂应急计划的制定和实施应遵循“常备不懈、积极兼容、统一指挥、大力协同、保护公众、保护环境”的方针,本阶段对应急计划区、应急状态、应急设施、核事故应急对策及实施应急计划的可行性给出详细论述。

由于山东石岛湾厂址包括1台200MWe高温气冷堆核电机组和2台CAP1400压水堆核电机组,并预留核电机组扩建场地。作为一个多堆厂址,将按照国家有关部门规章和相关标准要求实施统一的核电厂应急管理和环境保护管理工作。统一应急管理分工考虑详见第一章1.2节。

7.5.1 应急计划区

划分应急计划区并进行相应的应急准备的目的在于:在应急干预的情况下便于迅速组织有效的应急响应行动,最大限度地降低事故对公众和环境可能产生的影响。

确定应急计划区的大小时,既要考虑设计基准事故,也应考虑严重事故,以使在所确定的应急计划区所进行的应急准备能应对严重程度不同的潜在事故后果。对于发生概率极小的事故,在确定核动力厂应急计划区时可不予考虑,以免使所确定的应急计划区的范围过大,从而造成不合理的经济负担。除考虑各类事故源项造成的放射性后果外,还应充分考虑核电厂周围的具体环境特征(如地形、行政区划边界、人口分布、交通和通信)、社会经济状况和公众心理等因素,权衡在核电厂周围实施各种防护措施的可能性和它们的风险、困难和代价,使划定的应急计划区实际边界符合当地的实际情况,便于进行应急准备和应急响应。

根据《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程核电厂址区域核应急方案》及批复,高温气冷堆核电站示范工程的烟羽应急计划区内区边界3km、外区7km,食入应急计划区范围为30km。考虑到厂址规划建设多种不同堆型,各堆型反应堆热功率不同,且本工程热功率较大。并考虑,业主和地方相关政府

的意见，对于本工程 1、2 号机组的应急计划区范围按照《核电厂应急计划与准备准则第 1 部分：应急计划区的划分》中推荐的范围的上限，即烟羽应急计划区内区边界 5km、外区 10km，食入应急计划区范围为 50km 考虑。

《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01，2019）规定，对于多堆厂址，其应急计划区应有统一的考虑。其范围应包括针对每一反应堆机组所确定的应急计划区的范围，其边界可以是各机组应急计划区边界的包络线。因此，山东石岛湾核电厂址的应急计划区范围应综合考虑各工程应急计划区来确定。山东石岛湾核电厂址包括 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组和 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，并预留核电机组扩建场地。作为一个多堆厂址，针对目前的 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组和 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，推荐应急计划区如下：

— 烟羽应急计划区：以本工程 1 号机组反应堆为中心、半径 10km 范围内的区域，需做好撤离、隐蔽和碘防护准备的区域；内区为半径 5km 范围内的区域（准备撤离），外区为半径 5~10km 范围内的区域（准备隐蔽和碘防护）。

— 食入应急计划区：以本工程 1 号机组反应堆为中心、半径 50km 范围内的区域，需做好事故情况下食品和饮用水的控制。食入应急计划区包含烟羽应急计划区。

7.5.2 应急状态

核事故应急状态分为四级：

1) 应急待命

应急待命的基本特征是一些事件正在进展或已经发生，核电厂安全水平可能下降，但还有时间采取预防性措施以防止向更高级别的应急状态演变。在这类事件中，预期不会出现需要采取任何场外响应行动（包括进行场外辐射监测）的放射性物质释放。

核电厂安全水平可能下降主要是指超出了核电厂技术规格书中规定的运行限值条件，在这种情况下允许在规定的时间内变更运行模式。核电厂安全水平的可能下降还应包括一些重要事件的征兆（它们可能涉及一道裂变产物屏障失效、厂外电源丧失、发生可感地震等）。

进入应急待命状态的响应行动是：核电厂运行人员和应急组织有关人员启动

或处于待命状态，保证必要的初始应急响应行动得以顺利实施，保证事件或事故处理、信息传递和决策过程等有条不紊地纳入应急体系中去。

2) 厂房应急

厂房应急的特征是事件正在进展或已经发生，核电厂安全水平实际上或潜在的实质下降，或为包含因敌对行动而可能威胁现场人员生命的风险或损坏现场设备的保安事件。如有释放，预计其只相当于通用干预水平的很小部分。厂房应急时，事故的辐射后果或可能的辐射后果仅限于核电厂某些厂房内部或核电厂局部区域。确定进入厂房应急状态的目的是：使场内应急组织全面或大部分启动，使场内应急响应人员能够保证迅速有效地做出响应，并按规定向场外有关应急组织提供和报告事件或事故的信息。

3) 场区应急

场区应急的特征是事件正在进展或已经发生，导致保护公众所需的核电厂功能实际上或可能大的失效，或以下导致蓄意损坏或恶意行为的敌对行动：（1）针对现场人员或可能导致保护公众所需设备失效；或（2）阻碍有效接近保护公众所需设备。如有释放，预计场区边界以外照射水平不会超过通用干预水平。

确定进入场区应急的目的是：使场内应急组织保证及时派出环境监测人员进行环境监测；对场内非应急响应人员采取必要的防护行动；使场内应急组织按规定通过场外应急组织向公众提供必要且正确的信息；使场外应急组织保证得以及时启动。

4) 场外应急

场外应急的基本特征是事故正在进展或已经发生，堆芯即将或已经极大损坏，甚至熔化，同时安全壳完整性丧失或可能丧失。在这种应急状态下，可能从核电厂释放出大量的放射性物质，事故的辐射后果或可能的辐射后果可能使场区边界之外超过保护公众的干预水平，场内和场外均需要实施防护行动。

确定场外应急状态主要以堆芯完整性、三道屏障状态、场外环境放射性水平为依据。

进入场外应急状态的响应行动是：及时建议并启动为保护公众所预先确定的防护行动；持续评价核电站的事故状态和环境监测数据，按实际或可能的放射性释放量补充或修改公众防护行动建议；与场外应急组织协调或配合场外应急响应；按规定通过场外应急组织向公众提供必要且正确的信息。

为了迅速且恰当地确定应急状态等级，基于本工程设计和厂址特征以及相关编制导则，制定了确定应急状态等级的应急初始条件以及应急行动水平。

应急初始条件（IC）是预先确定的、触发核电厂进入某种应急状态的一类应急行动水平的征兆或标志。应急初始条件可以是超出《技术规格书》限值的参数数值或征兆，也可以是某个事件或现象，还可以是包容放射性屏障的失效。

应急行动水平（EAL）是用来建立、识别和确定应急等级和开始执行相应的应急措施的预先确定和可以观测的参数或判据。它们可以是特定仪表读数或观测值、辐射剂量或剂量率、气载、水载和地表放射性物质或化学有害物质的特定的污染水平、分析结果以及进入某个应急运行规程（EOP）的条件等。

确定核电厂各应急状态的应急初始条件和应急行动水平分为下列四种识别类型：

- （1）异常辐射水平/放射性流出物类——A类；
- （2）裂变产物屏障降级类——F类；
- （3）影响电厂安全的灾害或其他条件类——H类；
- （4）系统故障类——S类（热态）、C类（冷态）。

应急状态分级分别为应急待命（U）、厂房应急（A）、场区应急（S）和场外应急（G）。

7.5.3 应急组织

7.5.3.1 应急响应组织机构

本工程应急响应组织由应急指挥部及其领导下的运行控制组、技术支持组、运行支持组、安全保卫组、后勤保障组、公众信息组和工程协调组等7个专业组组成，应急响应组织机构如图7.5-1所示。应急响应组织的应急岗位组成如图7.5-2所示。

1) 应急指挥部

应急指挥部是本工程应急响应时的指挥核心，全面负责应急决策和指挥应急响应行动，以及与国家、地方及行业主管部门和其他应急组织的联络和协调。

应急指挥部主要由应急总指挥、生产副总指挥、工程副总指挥、生产指挥助理、应急助理、信息系统助理、文秘、应急指挥中心管理员组成。

应急指挥部各主要成员职责如下：

(1) 应急总指挥

主要职责为：

- 对应急响应工作负有全面责任；
- 确认应急待命、厂房应急、场区应急和场外应急的应急状态分级；
- 批准进入和终止应急待命、厂房应急和场区应急；
- 组织、指挥场内应急响应；
- 协调场内、外应急响应；
- 批准和签发向场外应急组织通报和报告的事故和应急信息，公众信息通告文稿和新闻稿；
- 批准现场非应急人员的集合、清点、撤离和服用稳定碘片等场内应急防护行动；
- 批准向场外应急组织提出的进入场外应急状态和采取公众应急防护行动的建议；
- 按有关规定，批准需向场外有关应急组织提供的公众信息；
- 批准大于职业照射的最大单一年份剂量限值的 2 倍的应急照射（全身有效剂量 100mSv）；
- 组织对预期全身有效剂量超过 500mSv 可能导致确定性效应的应急响应行动进行正当性分析；
- 作为严重事故策略的决策者，批准需执行的严重事故的策略；
- 批准向场外的应急支援申请，并请求国家、地方及行业主管部门应急组织和军队提供支援。

(2) 生产副总指挥

主要职责为：

- 向应急总指挥报告职责内的工作；
- 协助应急总指挥做出重大决策，包括应急状态分级、严重事故策略、应急防护行动、应急抢修、应急照射控制等；
- 组织实施安全保卫组、行政后勤组的应急响应行动，审查这两个组提交的应急报告、通告、支援申请、场外应急防护行动建议等向场外发送的文件；
- 审查向场外发送的公众信息文稿、新闻通稿；

- 在生产指挥助理的协助下，组织实施运行控制组、技术支持组和运行支持组的应急响应行动，在生产指挥助理未到岗或无法履行职责时，审查这三个组提交的应急通告、报告、支援申请、抢修方案；
- 审查应急通告、报告、支援申请、公众信息文稿、新闻通稿、场外应急防护行动建议等向场外发送的文件；
- 协助应急总指挥与场外应急组织和相关单位进行沟通协调；
- 批准预期有效剂量在职业照射最大单一年份剂量限值 1 倍与 2 倍之间的应急照射（全身有效剂量 50~100mSv），审查预期有效剂量最大职业照射最大单一年份剂量限额 2 倍的应急照射（全身有效剂量 100mSv）；
- 对预期全身有效剂量超过 500mSv 可能导致确定性效应的应急响应行动，审查其正当性分析，并在正当性分析表中填写审查意见；
- 组织相关专业组人员成立失踪人员搜寻队对失踪人员进行搜寻。

（3）生产指挥助理

主要职责为：

- 向生产副总指挥和应急总指挥报告职责内的工作；
- 协助生产副总指挥和应急总指挥做出重大决策，包括应急状态分级、严重事故策略、应急防护行动、应急抢修、应急照射控制等；
- 协助生产副总指挥实施运行控制组、技术支持组、运行支持组的应急响应行动，并审查这三个组提交的应急通告、报告、支援申请、抢修方案；
- 协助应急总指挥组织实施现场非应急人员的集合、清点、撤离等场内应急防护行动。

（4）工程副总指挥

主要职责为：

- 向应急总指挥报告职责内的工作；
- 组织实施工程协调组的应急响应行动；
- 就现场工程承包商相关重大问题向应急总指挥请示和报告；
- 在生产副总指挥的支持下，组织实施现场工程承包商人员的集合、清点、撤离等场内应急防护行动。

（5）应急助理

主要职责为：

- 向生产副总指挥报告职责内的工作，协助应急总指挥、生产副总指挥和生产指挥助理开展工作；
- 参与应急指挥部的重大决策，包括应急状态分级、应急防护行动、应急照射控制等；
- 在应急指挥部启动后，根据应急总指挥指令，编制应急指挥部启动的传真通知，并指定文秘向场内外发送传真通知，同时向场外进行电话通告；
- 应急指挥部启动后，按照应急总指挥的指令，向场外发送进入应急状态或应急状态终止的应急通告；
- 按照应急总指挥的要求编制应急指挥部信息传递表及向场外的应急报告（应急初始报告和应急后续报告除外），并交生产副总指挥审查、应急总指挥批准，并在批准后组织发送；
- 负责组织落实应急指挥部下达的场内相关通知，通知方式包括广播、警笛报警、广播车、传真、短信等；
- 在应急响应期间，负责在白板上和应急决策支持系统上对应急指挥部发生重大事件进行记录；
- 按照应急指挥部的指令，确认下一班应急人员，并组织发送启动相关通知。

（6）信息系统助理

主要职责为：

- 负责落实应急指挥室应急决策支持系统及视频会议系统的切换；
- 负责指导、操作应急指挥中心各信息类系统。

（7）文秘及应急指挥中心管理员

主要职责为：

- 负责应急指挥部应急物资（如个人剂量计、碘片等）的配发并进行登记；
- 配合后勤和交通助理开展应急期间应急食品的发放；
- 负责组织启动应急指挥中心通风过滤系统、生活水系统等确保应急指挥中心可居留性的相关系统；
- 在应急响应期间协助应急指挥部其他岗位进行文件的传递、打印、复印、扫描、收发场内外传真、对收发文件进行登记和收集及整理等文件工作。

2) 运行控制组

运行控制组在事故情况下承担事故机组和非事故机组运行控制的任务，主要职责如下：

- 初步评定应急状态，提供应急状态分级的建议；
- 组织播发应急通知和应急报警；
- 执行事故处理规程，控制和缓解事故，恢复和维持事故机组的安全状态，减轻事故的后果和影响；
- 向应急指挥部和技术支持组、安全保卫组等应急组提供事故机组事故工况的数据；
- 值班核安全工程师负责组织核安全监督相关活动；
- 组织当值运行人员履行其各自厂房内的灭火和急救的初始响应行动；
- 控制并维持非事故机组的安全状态或安全运行；
- 保持与电网调度之间的联系，确保电厂与电网的安全；
- 在应急总指挥部启动就位前，事态紧急且通信联络不通的情况下，若组长已启动到岗可暂时履行应急总指挥的职责；
- 满足严重事故管理导则（SAMG）的入口条件时宣布进入严重事故管理导则；若严重事故发生而技术支持组还没有到达就位，主控室人员首先执行 SACRG-1 或 SACRG-3；若技术支持组人员已就位，通知应急指挥部、运行控制组及其他各专业组，并准备好向主控室人员提供缓解严重事故的指导，则执行相应的 SAMG，对事故、设备和策略进行评估，最后向应急指挥部提出应执行的环节策略和措施建议。经应急指挥部批准后，主控室人员执行，以缓解严重事故。
- 在机组参数已经满足退出严重事故管理导则（SAMG）的条件时，根据签发的《严重事故管理导则（SAMG）退出申请单》。退出严重事故管理导则。

运行控制组由组长、值班核安全工程师、机组控制人员、运行处其他现场人员和化学环保处化学分析人员组成（详见图 7.5-2 所示）。

3) 技术支持组

技术支持组在事故情况下承担应急状态下对主控室和其他系统运行人员的技术支持、化学取样分析、环境监测和事故后果评价的任务，主要职责如下：

- 收集和评估电站状态的相关信息，对事故机组状态进行诊断，对控制和缓解事故的措施提供技术支持；
- 必要时组织进行化学取样分析，以提供燃料及堆芯损伤评估和事故释放源项估计所需化学分析数据；
- 对事故机组燃料及堆芯损伤评价提供技术支持，并利用专业软件进行堆芯损伤评价；
- 对事故机组的设备和系统状态诊断提供技术支持，对紧急维修和变通运行方案提出建议，分析电站回到可控稳定状态的可用策略；
- 组织严重事故管理相关活动，并组织实施技术支持中心的严重事故管理导则；
- 对非事故机组确保安全运行提供技术支持；
- 向应急总指挥推荐应急抢修或纠正行动的优先顺序；
- 组织场外辐射调查、取样、分析和评价；
- 负责进行场外辐射后果评价，以及提出场外应急防护行动建议；
- 提供机械维修、电气维修、仪控维修、维修服务相关的技术支持。

技术支持组由组长、运行分析助理、堆芯源项助理、系统设备助理、系统技术助理、后果评价和环境监测助理、化学分析助理和环境监测人员组成（详见图 5.3-3 所示）。

4) 运行支持组

运行支持组在事故情况下承担机组设备和系统机、电、仪故障的维修与抢修，保障工业计算机网络系统通畅，通信联络保障等任务，主要职责如下：

- 机组设备和系统机、电、仪故障的维修和抢修；
- 工业计算机网络系统畅通；
- 保障通信系统畅通；
- 负责生产交通运输保障（移动柴油泵和移动柴油发电机、场内物资运输车辆、环境辐射监测车、场内巡测车、救护车等）；
- 负责组织抢险和抗灾行动；
- 按照生产副总指挥的要求，实施生产性厂房内失踪人员搜寻。

运行支持组由组长、副组长、各相关专业助理以及维修或操作人员和生产车辆调度、话务员等组成（详见图 5.3-4）。

5) 安全保卫组

安全保卫组在事故情况下承担辐射安全及防护、工业安全、医疗急救、消防、保卫及出入控制、非应急人员集合清点等任务，主要职责如下：

- 负责监督和检查电厂内人员的辐射安全，为现场应急响应提供辐射防护支持，并组织实施应急照射控制；
- 组织并实施场区辐射监测，对场内污染区域进行调查、评价、划分、标记和控制，负责提出场内防护行动建议；
- 组织实施医疗急救，对沾污人员进行放射性监测与去污；
- 负责监督和检查电厂内人员的工业安全，对应急抢修活动的工业安全进行监督，包括工业安全风险分析、安全保护措施是否到位等；
- 组织适当人员、提供相关设备，支持电站应急运行和辐射防护应急响应行动，监督和控制应急工作人员的受照剂量；
- 负责电站应急状态下其他辐射防护工作；
- 负责组织实施防火与灭火行动，提供消防技术支持，必要时按照要求，对污染车辆进行洗消；
- 负责电厂保卫和出入控制、场内交通和治安管制，以及保安事件应对；
- 负责组织非应急人员的集合、清点和撤离；
- 参与抢险抗灾行动，并按照规定要求实施非生产性厂房内失踪人员的搜寻；
- 组织利用广播车沿场内主要道路向场内人员发出应急通知。

安全保卫组主要由组长、辐射防护助理、工业安全助理、职业医疗助理、安保助理、消防助理及机组当班辐射防护值班员、场区辐射监测人员、厂区医务室当值人员、安保队员、消防队员等组成（详见图 5.3-5）。

6) 后勤保障组

后勤保障组在事故情况下承担物资、后勤与交通保障等任务，主要职责如下：

- 提供物资供应保障；
- 提供生活后勤保障；
- 负责非生产运输车辆交通保障（应急值班车、非应急人员撤离车辆）；
- 负责本工程生产相关承包商及直接管理承包商的核应急响应的联络协调工作。

后勤保障组主要由组长、后勤和交通助理、物资采购助理、应急班车调度等

组成（详见图 5.3-6）。

7) 公众信息组

公众信息组在事故情况下承担公众信息相关等任务，主要职责如下：

- 收集公众、社会的反映，以便开展适当的沟通；
- 及时了解事故信息，编制需向场外有关应急组织提供的公众信息通告文稿和新闻稿；
- 按照上级核应急部门及公司应急总指挥的指令，组织人员参加上级相关部门的信息发布会，说明或回答公众和媒体关心或提出的问题；
- 收集公众与媒体的舆论，向应急指挥部提出控制谣言的措施建议。

公众信息组由组长和助理组成。

8) 工程协调组

工程协调组承担应急响应期间工程建设区域的核应急响应与处置以及与工程承包商应急响应的联络协调工作，主要职责是：

- 负责组织工程现场区域的核应急响应与处置；
- 负责与工程现场承包商的核应急响应联络协调工作；
- 为现场工程承包商人员的集合、清点、撤离等场内应急防护行动的实施提供必要的支持。

工程协调组由组长和助理组成。

7.5.3.2 应急响应组织主要岗位担当人选和待命值班制度

1) 应急响应组织主要岗位担当人选

应急响应组织主要岗位的担当人选以及应急指挥部总指挥、生产副总指挥、工程副总指挥、生产指挥助理以及各应急响应组组长等重要应急响应岗位的担当人见表 7.5-1。

2) 待命值班制度

为了在核电厂发生突发事件/事故时，保证应急响应组织能及时启动，本工程按“常备不懈”的原则建立了应急 ON-CALL 值班制度，按此制度，每周从各应急岗位的应急岗位担当人选中确定相应应急岗位的当周应急值班人员，要求这些待命值班人员在当周任何时间内（包括非工作时间）均处于随时可以启动到岗的状态。

当周应急值班人员应保持通讯工具畅通，值班期间禁止饮酒，规定所有应急

待命值班人员工作时间 15 分钟启动到岗，非工作时间满足 30 分钟启动到岗。

7.5.3.3 与场外应急组织的接口关系

根据国务院《核电厂核事故应急管理条例》，我国核事故应急管理工作实行国家、地方、营运单位三级管理体系。该管理体系中，本工程应急响应组织与场外有关部门和场外应急组织的相互关系见图 7.5-3。

核事故应急期间，本工程应急指挥部有责任和义务及时向国家核事故应急协调委员会（国家核事故应急办公室）、生态环境部（国家核安全局）、国家能源局、华东核与辐射安全监督站、山东省核事故应急协调委员会（山东省核应急委员会办公室）、国家电力投资集团有限公司核安全与核事故应急办公室等部门和单位的应急机构（组织）通报和报告，并密切予以配合，协调一致地实施应急响应行动，必要时，本工程应急指挥部可请求和获得场外支援，同时电站也将接受来自上述单位的指示。

国家核事故应急协调委员会（国家核事故应急办公室）由国务院和中国人民解放军的各有关部门的领导组成，统一协调全国的核事故应急准备和应急响应工作，日常管理工作由设在工业和信息化部所属国防科工局的国家核事故应急办公室负责。应急响应期间，国核示范将按要求向其进行应急通告和报告，必要时向其请求应急支援。

生态环境部（国家核安全局）是对全国环境保护工作实施统一监督管理的政府部门，其所属的国家核安全局，根据国家核安全监督管理条例对全国民用核设施的安全实施监督。华东核与辐射安全监督站是生态环境部（国家核安全局）驻华东地区的直属执法监督机构，对华东地区民用核设施的安全实施监督。在核事故应急情况下，本工程应急指挥部根据相关法规和要求与其核应急技术支持中心以及华东核与辐射安全监督站建立报告联系，通报事故情况和应急信息，将事故机组参数通过专用网络（失效时，通过传真）传送至其核应急技术支持中心以及华东核与辐射安全监督站，接受其监督和法规要求采取的干预手段。

国家能源局是民用核设施上级主管部门，在核事故应急情况下，本工程应急指挥部根据相关法规和要求与其建立报告联系，通报事故情况和应急信息。

山东省核事故应急协调委（山东省核事故应急指挥部）负责统一领导和协调山东省内的场外核事故应急预案与准备以及响应，该委员会由省政府下属相关部门、驻鲁部队和国有企业等组成，由山东省分管副省长任协调委主任，应急期间

作为山东省核事故应急总指挥。日常管理工作由设在省工业和信息化厅所属国防科工办的山东省核应急协调委办公室负责。山东省核事故应急协调委的响应地点位于济南市的山东省核应急指挥中心。该委员会下设辐射监测组、气象组、治安保卫组、去污洗消组、交通运输组、隐蔽撤离与安置组、医疗防护组、通信保障组、电力保障组、地震监测组、公众沟通与信息组、综合协调组等 12 个专业组。

国家电力投资集团有限公司作为国核示范的上级主管单位，按照《国家电力投资集团有限公司核电厂核事故应急支援方案》，在事故期间调配其应急资源和力量向本工程提供应急支援工作，并在平时做好领导协调本工程的核应急准备工作。在核事故应急状态下，本工程应急指挥部及时向国家电力投资集团有限公司核安全与核事故应急办公室报告事故情况和应急信息。

7.5.3.4 与有关部门和单位关系

为进一步提高本工程的应急响应能力，特别是应对严重事故的能力，本工程与场外有关部门和单位签订了应急支援协议，以确保在应急期间获取外部支援。除此之外，国家电力投资集团有限公司编制了《国家电力投资集团有限公司核电厂核事故应急支援方案》，必要时本工程可以向集团公司请求支援。

7.5.4 应急设施、设备

7.5.4.1 主控室

主控制室的职能是提供一个抗震的、可居留的和舒适的场所供一定数量的人员监视和控制核电厂所有的过程，包括应急运行。

在主控制室内执行的主要任务包括在正常、异常和应急工况下监视、监督、管理和控制与热工水力和能量转换过程相关的核电厂过程的各个方面，从而有效地发电和保护公众的健康和安全。主控制室支持操纵员的决策过程以及为操纵员与其他核电厂人员联系提供便捷的方式，且能够防止被非核电厂运行人员所干扰。主控制室提供核电厂运行人员和维修人员之间的接口资源。

1) 主控室设计的应急考虑

(1) 主控制区

主控制室的主控制区设置了操纵员控制台、值长控制台、专用安全盘、多样化驱动系统盘和大屏幕等。主控制区的职能是为操纵员有效地、可靠地监视和控制电站运行提供必需的支持设施。

操纵员控制台由六个相同的操纵员工作站组成。每个操纵员工作站为启动、操纵、停闭核电厂等提供所需的显示和控制。值长控制台设置冗余值长工作站，其配置与操纵员工作站的配置相同，正常情况下值长操作站的控制功能是闭锁的。

每个操作站提供的人机接口包括：

- 核电厂信息系统画面
- 软控制器
- 报警系统显示
- 计算机化规程显示

此外，在操纵员控制台和值长控制台上都装有与外界通信的设备。

主控制区内还设有两个专用安全盘。主专用安全盘上设置四台安全级显示器，采用的是安全级平台。主专用安全盘上还装有专用的固定位置的控制器。次专用安全盘上装有部分多重的固定位置控制器，以防误触发。专用安全盘均为安全级，满足抗震 I 类的要求。

多样化驱动系统盘上设置单独的控制器用于手动驱动反应堆停堆和选定的专设安全设施。

大屏幕信息系统提供主要的核电厂参数、系统状态和报警信息的动态显示，帮助运行人员在紧凑的控制室工作时保持团队对运行工况的关注，便于团队的协调工作。

（2）计算机化规程

计算机化规程系统帮助操纵员更有效地按照规程要求对核电厂进行控制。操纵员通过在线跟踪系统能方便合理地获取并执行规程。计算机化规程系统可应用于正常运行、异常以及应急操作规程。

计算机化规程系统指导操纵员一步一步的按照规程监视核电厂数据、处理数据、以及确定正确的动作，系统同时还显示其他必要的信息，帮助操纵员评价需要关注的核电厂其他工况。

（3）事故后监测

事故后监测功能由保护和安全监测系统（PMS）、核电厂控制系统（PLS）和数据显示和处理系统（DDS）来实现。PMS 处理 1 级、部分 2 级和 3 级变量，提供信号处理、通信和显示功能，由 1E 级直流和 UPS 系统供电。PLS 和 DDS 处理部分 2 级和 3 级变量，提供信号处理、通信和显示功能，由非 1E 级直流和

UPS 系统供电。DDS 也显示来自 PMS 的变量。

事故监测仪表分六类变量：

- 操作规程针对 DBA 规定的操纵员动作；
- 评估重要安全功能完成或维持；
- 评估三道屏障的状态；
- 评估单个安全级系统的运行；
- 确定假想放射性物质释放量和连续评估放射性物质释放；
- 在事故发生后向操纵员提供信息，用于手动驱动非安全级系统和监视非安全系统的性能以防止安全系统不必要的驱动。

PMS 提供专用的安全级显示设备，用于显示 PMS 处理的事故后监测变量。这些变量的测量、处理和显示由 1E 级直流和 UPS 系统供电，其中 B、C 序列（设备状态反馈参数除外）电池容量至少 72 小时。如果失去所有交流电源超过 72 小时，则由辅助柴油发电机或厂址其它地方的交流电源供电。

（4）应急设备室

主控制室内提供一间应急设备室，应急设备室内可存放一些应急设备，如自持式呼吸器具等。

2) 主控室可居留系统

（1）空调与通风

- 主控制室可居留系统在事故工况时 72 小时内能够维持主控制室在适当的环境条件；
- 正常运行工况下维持主控制室的温度为 19~24℃，相对湿度为 35~60%；
- 当正常主控制室 HVAC 系统（核岛非放射性通风系统）丧失时，主控制室的温、湿度 72 小时内能够维持在可接受的范围内；
- 在正常和事故工况下保持主控制室的一定正压；
- 主控制室设计中考虑最多容纳 11 人；
- 主控制室应急可居留系统和核岛非放射性通风系统能动设备的单一故障不会影响系统功能。主控制室应急可居留系统的 1E 级部件由独立的 1E 级电源供电；
- 主控制室送风放射性高时，采用新风过滤模式，当主控制室送风放射性达到高-2（3000Bq/m³）或主控制室差压 < 38Pa 持续 10min 或 24 小时蓄

电池充电器电压 $<345\text{V}$ 延时 10min, 将触发 VES, 通过压缩空气罐为主控制室供气。

(2) 防护措施

主控制室在设计基准事件范围内对下列事件提供防护措施。

● 防火

- ◇ 主控制室综合体采用防火等级至少为三小时的防火屏障与核电厂其它区域分隔;
- ◇ 通过控制、隔离和限制可燃物和点火源的数量来防止火灾;
- ◇ 主控制室设计为允许快速探测和定位火灾, 并提供灭火装置。

● 放射性防护

- ◇ 操纵员在事故期间所受的总有效当量剂量不超过《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》(HAD002/01, 2019)中规定的 50mSv 限值;
- ◇ 当探测到主控制室进风放射性高时, 将核岛非放射性通风系统隔离, 主控制室应急可居留系统投入运行。

● 地震保护

- ◇ 主控制室构筑物的抗震级别为 I 类, 能够承受 SSE 和龙卷风;
- ◇ 安全级的主控制室设备按相应的地震基准设计;
- ◇ 主控制室内其它不必保持连续运行的器材和设备, 在地震时和之后, 其故障不伤害操纵员, 不损害安全系统的功能。

3) 应急用文件、语音通信设备和器材

为主控室配备了应急主要用文件、语音通信设备和器材等。此外, 主控室还备有器材和可供数天消耗的食品及瓶装饮用水。

7.5.4.2 备控室(远距离停堆室)

在运行人员从主控制室撤离后, 远距离停堆室提供将核电厂带入安全停堆所需的人机接口资源, 其中主控制室的丧失仅考虑丧失厂外电和能动设备单一故障的叠加。

远距离停堆室内设置两个远距离停堆操作站, 由两路电源分别供电, 其设置与主控制室的操纵员操作站完全相同, 且能执行同样的功能。此外, 远距离停堆控制室还有一个远距离停堆控制盘, 设有非 1E 级的专用控制器(包括: 手动停

堆控制器、特定的系统级 ESF 驱动控制器、选定的闭锁和复位控制器等)。

通常远距离停堆室的控制功能被切断。控制能力从主控制室到远距离-停堆室的切换通过切换开关实现。这些切换开关安装远距离停堆室内。远距离停堆室和主控制室的切换将在主控制室内触发报警。

远距离停堆室与主控制室分别属于两个防火区。远距离停堆室设在抗震 I 类建筑物内，对放射性有足够的屏蔽，并有良好的飞射物防护措施。

远距离停堆室配备了应急主要用文件、语音通信设备和器材等。。

7.5.4.3 应急指挥中心

1) 功能

应急指挥中心是在应急响应期间指挥场内应急响应和与场外协调应急响应行动的场所，其在应急响应期间主要实现以下功能：

- 统一指挥核电厂内部各应急专业组和应急人员的响应行动；
- 保持核电厂与国家和地方政府有关部门、行业主管部门、国家电力投资集团公司以及场外应急组织之间的通信联系，接收和传送有关信息，协调场内外应急响应行动；
- 根据事故工况和事故释放源项，进行辐射后果评价，提出场外公众防护行动建议。

2) 位置、平面布置和主要设备

应急指挥中心位于进厂道路南侧区域中心，北向距离进场道路路缘约 25.00m，西向距离厂内道路约 9.50m，东向直线距离 1 号机组核岛厂房中心约 1100m。该建筑为一幢三层建筑，局部设地下一层，框架-剪力墙结构，长 43.70m，宽 29.80m，建筑高度 16.500m(室外地面到屋面)，占地面积 1330.21m²，总建筑面积 3250.44m² (其中地下储油罐及连廊建筑面积为 119.68m²)，室内外高差为 0.300m。地上部分建筑耐火等级为二级，地下室部分耐火等级为一级，抗震设防烈度八度，设计使用年限为 100 年，屋面防水等级为 I 级，地下室防水等级为一级。

应急指挥中心为三层建筑：

(1) 一层布置有：门厅、废水暂存间、测量间(兼保安值班室)、出入口控制间、去污洗消间、净更衣室、淋浴室、医疗救护室、电热水器间、电气设备间、储水给水设备间、消防设备间、走廊、工具仪表及防护用品储存室、调酸室、蓄电池间、UPS 间、变电所、消防控制室、通风设备间、电气设备间、日用油箱间、

油罐检修间、应急柴油发电机间。其中通风设备间、电气设备间、日用油箱间、油罐检修间、应急柴油发电机间层高为 7.000m，其余房间层高为 5.400m。

(2) 二层布置有：支援待命室、运行支持中心、上级单位休息及接待室、后勤支持室、安全保卫室、维修支持室、机械维修室、仪控维修室、电气维修室、配电间 1，文印与传真室 1、文件及资料室、应急人员休息室、男卫、女卫、开水间、餐厅、食品储藏室。二层层高为 4.500m。

(3) 三层布置有：应急指挥大厅/应急指挥部、显示设备间、广播警报及通讯控制室、应急决策室、后果评价室、应急机房、公众信息室、环境监测室、技术支持中心、通信机房、配电间 2、文印与传真室 2、男卫、女卫、开水间，三层层高为 6.300m。

(4) 局部地下一层设置有：燃油储存库、地下连廊。

应急指挥中心内用于应急决策的主要系统包括：信息系统、应急通信系统、辐射防护系统、电气系统、通风空调系统、给排水系统、消防系统、安保系统和可居留系统等,为应急指挥人员提供包括机组参数、环境监测、气象数据、事故后果评价、堆芯损伤评价等信息，以便协助应急指挥人员快速而正确地决策。该系统在应急指挥中心应急指挥大厅配备若干台终端，在后果评价室配备若干台终端，其他各个功能间每个应急组至少配备 1 台终端，除此之外，主控室、技术支持中心（含运行支持中心）、保卫控制中心、备用应急指挥中心也配有系统终端。

应急指挥中心备有必要的应急用文件、语音通信设备和器材。

3) 可居留性

应急指挥中心结构设计按照民用Ⅷ度设防抗震。在事故期间，相关人员在应急指挥中心指挥和组织实施应急响应行动，以及与厂区外的各个应急机构进行联系，指导事故处理直到结束。为保证地震等极端情况下应急指挥中心保持重要性，应急指挥中心按抗震设防烈度 8 度进行设计，隔震应急指挥中心的基本风载荷产生的总水平力均小于结构总重力的 10%，满足《建筑抗震设计规范》要求，并按照不低于厂址设计基准地震动 SL2 相当的地面加速度 0.2g 进行校核，高于《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》的相关要求。因此，必须采取响应的设计措施，保证应急指挥中心内的设计能满足可居留性要求。应急指挥中心外墙及屋顶对来自室外 γ 射线有一定的屏蔽能力；通风系统设置高效过滤器和碘过滤器，对进入室内的空气进行过滤，且室内保持正压，可减弱事故情

况下外部污染空气进入室内对人员造成照射；人员与设备出入口采用辐射防护门对室外空气进行控制；应急指挥中心生活水系统设置有独立的生活水箱，可满足 100 人 7 天的生活用水，系统还预留了外部水源补水接口；应急指挥中心还储存有可满足 100 人 7 天的应急食品和饮用水，另外还设置有休息室、餐厅和应急食品存放间等辅助生活设施；应急指挥中心内 UPS 系统能提供信息系统、应急通信系统、辐射防护系统以及其他重要系统 1 个小时的供电。应急指挥中心柴油发电机，能够提供通风系统、生活水系统、核应急决策支持系统、应急通信系统等重要设备 7 天的应急供电，应急指挥中心已预留有移动电源供电的接口，在应急柴油发电机故障和消耗殆尽的时候，可以通过预留的移动电源接口为相关系统设备供电，其可居留的时间将会更长。

因此，若应急指挥中心丧失正常交流电或者正常供水，且外部完全不向应急指挥中心提供支援，保守估计可以满足 100 人一周的居留条件，而一般在应急指挥中心内的响应人员不少于 100 人。如果能够在一周内能够向其提供各种支援，则其可居留的时间将更长。

应急柴油发电机位于应急指挥中心一层，抗震设防烈度八度，房间为整体钢筋混凝土结构，具有防飞射物性能，按照抗震 I 类设计，能够抵御设计基准地震和设计基准龙卷风的影响，同时具有良好的密封和通风性能，通风空调机组、数据服务器满足抗震 I 类设计，满足强震情况下设备的可用性和安全性，UPS 主机能够保障在失电后提供至少 1 小时的供电并保持强抗震性能，指挥中心同时配有 1 套移动电源和移动式交流发电机，以及移动式柴油机应急水泵和应急水箱，能够在强震后保持应急补水和电源保障的能力，按照抗震 I 类设计，另外在场区还设置有抗震 II 类非能动安全壳冷却辅助水箱（PCCAWST），含有一定体积的消防专用水量，可以通过非能动安全壳冷却水循环泵（可由辅助柴油机供电）为 PCCWST 进行补水，同时向抗震消防系统补水。

7.5.4.4 技术支持中心

技术支持中心在应急响应期间是供核电厂技术支持组成员工作的场所，当技术支持中心丧失可居留性时，非事故机组的技术支持中心以及应急指挥中心的应急技术支持室可作为相应的备用应急设施。技术支持中心主要能够实现以下功能：

- 对已经发生或可能发生的事故工况（包括严重事故）的分析、预测和诊断提供技术支持和指导，并利用堆芯损伤评价系统进行堆芯损伤评价；

- 对缓解事故或使机组或核电厂恢复到安全状态可采取的控制措施提供建议；
- 与主控室、应急指挥中心进行信息交流，提供技术支持。

每台机组设有一个技术支持中心，位于附属厂房主控室附近的 40403 房间，长 14m，宽 8.5m，总面积近 400m²。技术支持中心配备有四台双平板显示屏 Ovation 操作员工作站，该操作站除无控制功能外其他功能与主控室相同。另外，技术支持中心配备有核应急决策支持系统终端。

技术支持中心所在附属厂房的区域按照抗震 II 类设计，同时具有较好的密封和通风性能，核岛非放射性通风系统（VBS）为技术支持中新内的人员提供可呼吸清洁空气。

技术支持中心充分考虑了备用电源，其所在的附属厂房的照明、通风系统除正常电源外，还可由机组备用柴油发电机供电。Ovation 操作站和通讯系统除正常电源外还可由非 1E 级直流及 UPS 系统供电，而非 1E 级直流及 UPS 系统除正常电源外，还可由机组备用柴油发电机供电。按照设计备用柴油发电机可向其负荷提供 7 天供电。除此之外，技术支持中心还配备了应急灯。

应急情况下技术支持组的到岗地点为事故机组的技术支持中心，当发生的事件或事故仅涉及核电厂公用部分，或因自然灾害和保安事件等涉及两个机组的事件引发应急，或当两个机组同事发生引发应急的事件或事故时，则指定 1 号机组的技术支持中心为应到岗的事故机组的技术支持中心，若事故机组的技术支持中心功能丧失或可居留性丧失则到岗地点为应急指挥中心。

技术支持组在事故机组的技术支持中心丧失功能或丧失可居留性的情况下需转移至应急指挥中心，具体条件如下：

- （1）技术支持中心核岛非放射性通风系统（VBS）不可用；
- （2）技术支持中心失电；
- （3）技术支持中心丧失所有正常通讯手段、数据监测或监视功能；
- （4）技术支持中心因辐射超过限值（剂量率超过 0.2mSv/h 时，则认为该设置丧失可居留性）而丧失可居留性；
- （5）在进入场区应急及以上应急状态后。

技术支持组转移至应急指挥中心后的具体位置在三层的技术支持中心。在应急指挥中心为技术支持组均配置了多台核应急决策支持系统终端，可以通过核应

急决策支持系统终端获取所需机组参数，以保证其顺利开展工作。

技术支持中心配备了应急用主要文件、语音通信设备和器材。

7.5.4.5 运行支持中心

运行支持中心位于 40403 房间，与技术支持中心同在一个位置。运行支持中心是运行支持组的启动和集中地点，是用于确认系统设备运行状态、确定抢修方案、评估抢修风险、制定安全防护措施、组织协调抢修工作等。运行支持中心内配备 1 套 EDS（核电厂数据服务器）客户端、1 台打印机、2 个资料柜、14 个办公桌、15 把椅子，1 个工具柜。工具柜内存放扳手、万用表等常用机械、电仪类工具，该工具柜设置在抢修人员集合室内，方便抢修人员拿取较为常用的工具。此外在运行支持中心相距不远处的 40363 房间设置了一个核岛的工器具间，该工器具间作为满足核岛检修需要常设的一个工器具间，其工器具涵盖机械、电仪、测量、起重等主要类别，如力矩扳手、螺丝刀、钳子、丝锥板牙、测量工具、电仪表计、起重工具、气动液压工具等。若应急时，运行支持中心内工具柜中的工具不能满足需求，维修人员将到 46363 工器具间取用工具进行抢修工作、维修/工程抢险。

可居留性：运行支持中心所在附属厂房的区域按照抗震二类设计，同时具有良好的密封和通风性能，核岛非放射性通风系统（VBS）为运行支持中心内的人员提供可呼吸清洁空气。

运行支持中心充分考虑了备用电源，其所在的附属厂房的照明、通风系统除正常电源外，还可通过机组备用柴油发电机供电。按照设计备用柴油发电机可向其负荷提供 7 天供电。

应急情况下运行支持组的到岗地点为事故机组的运行支持中心，当发生的事件或事故仅涉及核电厂公用部分，或因自然灾害和保安事件等涉及两个机组的事件引发应急，或当两个机组同时发生引发应急的事件或事故时，则指定运行支持组的到岗地点为 1 号机组的运行支持中心，若 1 号机组运行支持中心功能丧失或可居留性丧失，则到岗地点为 2 号机组运行支持中心，若 2 号机组运行支持中心也功能丧失或可居留性丧失用则到岗地点为应急指挥中心。

运行支持组在事故机组的运行支持中心丧失功能或丧失可居留性的情况下需转移，具体参照技术支持组转移至应急指挥中心的条件执行。

7.5.4.6 通信系统

通信系统是核电厂重要的应急设施之一，是指挥和实施场内应急响应行动以及保持与场外应急组织联系的重要手段。

7.5.4.7 评价设施与设备

核电厂的监测和评价设施主要包括机组事故工况监测与评价设施、环境辐射监测设施以及应急决策支持设施，消防系统（包括火灾探测及报警系统）和地震监测系统，属于特殊的事件/事故监测与评价设施。

7.5.4.8 环境监测设施与设备

环境监测站位于国和一号仿真国际交流中心内，占地面积 2054.2m²，距离核电厂址 NW 方位约 10 公里，位于厂址烟羽应急计划区的边界处。

环境监测站作为核电厂辐射环境监测体系的重要组成部分，开展 ³H、¹⁴C、⁹⁰Sr、¹³¹I、总 α、总 β、部分 γ 核素等项目分析工作。环境监测站主要配备应急监测车和实验室分析仪器设备，详见第八章 8.3 节描述。

7.5.4.9 辐射防护设施与设备

包括直读式电子个人剂量计（实时监测个人剂量，并提供报警）、累积式个人剂量计（累计监测个人剂量）、全/半面罩（防护放射性粉尘、放射性气溶胶等污染物对呼吸系统的危害）。

7.5.4.10 急救和医疗设施与设备

本工程厂区驻厂医疗机构现场医务室及其所配置的设施、设备，既为非核应急状态下医学防护和医疗救护所用，同时兼容用于核应急状态下的响应。所有急救防护设备设施均由专人定期检查，确保处于随时可用状态。

7.5.5 核事故应急对策

7.5.5.1 场内非应急人员防护行动

1) 场内非应急人员防护行动的种类

场内非应急人员防护行动的种类主要包括：

- 撤离事故场所；
- 暂时隐蔽在场区建筑物内；
- 服用碘片；
- 撤离场区；
- 辐射监测和去污；

- 个人简易防护措施；
- 实施出入通道控制。

2) 场内非应急人员防护行动的确定

基于本工程的设计安全特性，场内非应急人员的防护行动一般按下述原则确定：

- 应急待命状态下，对场内所有非应急人员不必采取防护行动，但应要求他们回到各自的办公室或工作岗位。
- 厂房应急状态下，与事故处理无关的所有人员必须立即按要求撤离受事故影响的场所或区域（注意：如果受事故影响场所或区域仅为某一厂房内的局部区域，有关人员只需撤离该区域，而不必撤出该厂房），并由工作负责人在安全地点进行集合清点，如发现失踪人员应立即向当班值长或本处领导报告，并由其向应急指挥部报告。受影响人员应按照应急广播通知的要求实施应急响应。
- 场区应急状态或场外应急状态下，场内所有非应急人员尽快关闭（非工艺厂房）门窗和通风，一般应到就近核应急集合点集合并进行人员清点，根据指令服用碘片，并在作为核应急集合点的建筑物内暂时隐蔽，完成集合清点后，应尽快有序撤离。

场内非应急人员撤离的指令，由应急总指挥批准；其它场内防护行动，可根据实际情况由运行控制组组长确定并指令执行。

场内非应急人员撤离到场区以外后，其后的应急防护行动由场外应急组织负责，核电厂应急指挥部应与场外应急组织积极沟通落实，场内撤离人员按照场内应急组织安排，首先撤离至场外应急洗消点进行污染监测，必要时进行去污，之后到场外安置点按场外应急组织安排进行安置。

3) 场内非应急人员防护行动的实施

(1) 应急集合点的安排

本工程各应急集合点设有清点机，可以通过刷厂前区工作证确认相应人员被清点，安全保卫组能够根据各集合点清点的人员、人工清点的人员以及进入控制区现场的人员确定一份初步的失踪人员名单。

本工程相关承包商单位应按照各自的应急预案，在本工程厂区内或厂区附近设置各自的核应急集合点。对于发生应急时距离各自核应急集合点较远的承包商

人员，也可到任何一个就近的核电厂核应急集合点集合，服从该集合点负责人的指挥，同时向本单位通报自己所在位置。

（2）集合与清点

在厂房应急状态或发生火灾情况下，在事发场所内的非应急响应人员或不被指令参与灭火的人员，应按有关安全规定离开事发场所并撤到附近的安全区域内，或者按机组值长或工作负责人的指令撤到事发场所附近的指定安全区域内。对已撤到安全区域的人员，由工作负责人在安全地点进行集合清点，如发现失踪人员需向当班值长报告，由其向应急指挥部报告，并由运行支持组和安全保卫组进行搜寻，相关人员给予协助。

在场区应急和场外应急情况下，在听到应急广播通知和警报后，场区内所有非应急工作人员应立即到就近的应急集合点集合，并按应急程序进行人员清点。安全保卫组对场区非应急人员的集合和清点负责总体组织实施。

接到集合清点通知后，各处的集合清点负责人，督促本处非应急人员、外来参观人员和外来协助工作的人员立即到就近集合点集合，并在清点系统终端上刷卡记录，组织本处人员按照安全保卫组该集合点负责人的要求在指定位置集合。若出现本处非应急员工、外来参观人员和外来协助工作的人员当天未带员工卡或其他不能刷卡的情况，则本处集合清点负责人在核应急集合点将不能刷卡的人员信息填写完成后，提交该集合点的安全保卫组的集合清点人员。由安全保卫组组长组织相关人员在集合清点系统的辅助下，汇总所有集合点的清点结果。

（3）失踪人员搜寻

在场区应急和场外应急情况下，在安全保卫组汇总了所有集合点的人员清点结果之后，结合控制区的出入刷卡信息，即可确定失踪人员名单，并组织对失踪人员进行搜寻。一般情况下，生产性厂房内失踪人员的搜寻由运行支持组负责实施，非生产性厂房人员的搜寻由安全保卫组负责，其他专业组予以协助和配合；火灾、有毒或窒息性气体情况下的搜救，由安全保卫组消防队员提供专业搜救支持；涉及保安事件的搜救，安全保卫组保安和武警提供安保支持；进入高辐射和高污染区以及高危险区进行搜寻，须由安全保卫组予以监护；承包商单位失踪人员的搜寻，由承包商自行负责，承包商归口管理处提供必要的支持。

（4）暂时隐蔽在场区建筑物内

所有到达指定集合点的非应急响应人员，在未获知指挥部的撤离场区指令前，

必须在作为集合点的建筑物内隐蔽（注意要远离通风口）。整个隐蔽期间，未经集合点负责人许可不准离开集合点，且应分处或单位集合在一起。

（5）碘片的贮存与发放

碘片的贮存与更新由安全防护处职业健康科具体负责。碘片存放在各核应急集合点以及主控室、应急指挥中心、备用应急指挥中心、技术支持中心、运行支持中心、保卫控制中心和消防站等主要应急设施内。在进入场区应急和场外应急情况下，由安全保卫组向应急指挥部提出向非应急人员和应急人员发放碘片和服用碘片时间的建议，经应急指挥部批准后，按应急程序规定予以发放和服用。

（6）撤离

在进入场区应急或场外应急情况下，场区非应急人员的撤离由安全保卫组负责总体组织实施。

进入场外应急状态以后，由后勤保障组根据需撤离人数确定所需要的车辆，并进行车辆调配。车辆来源包括公司所有车辆和服务公司车辆，其中有 12 辆大巴，中巴车 17 辆，公交 5 辆，车辆承载能力足够分 2 批次撤离全场非应急人员。撤离人员时，车辆直达人员集合点供人员乘车。

各承包商人员的撤离用车辆则由承包商自行解决。

场区外的撤离路线主要为以下两条，通过这两条路线可撤离至凤凰湖倒班宿舍、荣成市等居住地：

撤离路线一：向西沿本工程进厂道路至县道 X034，由县道 X034 向西南方向至国道 G228 和省道 S203，向北至荣成市。

撤离路线二：向西沿本工程进厂道路至县道 X034，由县道 X034 向西南方向至国道 G228，向北至荣成市。

撤离路线三：向东沿本工程厂内应急道路，经货运兼施工道路、县道 X034、县道 X042 至国道 G228，向北至荣成市。

总的撤离时间包括：发出集合通知到所有人员都听到通知并开始行动的时间 T1（估计 10 分钟），所有人员到达应急集合点并做好撤离准备所需时间 T2（估计 35 分钟）。在不考虑任何外部车辆支援的情况下，分别考虑核电厂现场的峰值人数和谷值人数，车辆折返次数，以及恶劣天气因素等，保守估计的应急撤离时间为正常天气 3h，恶劣天气 4h。

（7）出入通道控制

在进入应急状态后，由安全保卫组织实施核电厂的出入通道控制。出入通道的相关设施主要包括核电厂出入通道控制系统、闭路电视监控系统和专用保安通信系统等。安全保卫组有关人员在保卫控制中心负责出入通道监控，当保卫控制中心丧失可居留性时，安全保卫组有关成员将撤离到应急指挥中心指挥室，其中设有一台核电厂实体保卫系统的显示终端，从该终端可获取保卫系统的完整信息。

应急状态下厂区出入通道的控制应遵循如下原则：

- 根据应急状态等级在核电厂厂区设置不同的控制区域，实施分区控制；
- 按工作人员承担的工作和应急响应任务，通过对其磁卡进行分类授权控制人员进入，既要控制与应急响应行动无关的人员进入设定的控制区域，又要保证应急响应人员和物资能够进入响应区域；
- 对承担有应急响应任务的车辆发放“应急通行证”，控制无关车辆的进入。

（8）撤离洗消

在撤离车辆撤离现场之前，由辐射防护人员对撤离车辆进行辐射水平监测，如不满足要求应由消防人员对车辆在指定的撤离洗消点进行洗消，直至满足要求或者换车。核电厂设有两个撤离洗消点，一个位于1号门岗外停车场，一个位于2号门岗停车场。

7.5.5.2 场外人员防护行动

核电厂因运行失误或事故导致核事故应急状态的可能性极小，但仍不能完全排除。为了减少核事故对公众所造成的辐射影响，根据核安全导则《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01，2019）和《地方政府对核动力厂的应急准备》（HAD002/02，1998）的要求，可能采取的应急措施包括：

- 隐蔽；
- 简单的呼吸道和体表防护；
- 服用稳定性碘；
- 撤离；
- 避迁；
- 控制食品和水；
- 控制通道；
- 地区去污；
- 人员去污。

为了快速有效地处理核事故中的问题，最大限度减少事故影响，在事故时便于执行上述应急措施，在厂址所在地区要建立包括核电厂、当地政府所辖的环保、公安、卫生、消防等部门在内的各级应急组织，设立应急监测机构并配置相应的应急响应设施。

本工程向山东省核应急指挥部提供场外公众防护行动建议的程序的主要步骤如下：

- 1) 根据本工程应急状态分级初始条件和应急行动水平，按照场内核事故应急预案和应急程序规定，由应急总指挥认定需进入场外应急状态；
- 2) 按《场外应急组织接口》程序规定，向山东省核事故应急协调委员会及时提出进入场外应急状态的建议；
- 3) 按照场外公众防护行动建议的决策逻辑流程，由核电厂应急响应组织中的技术支持组以书面方式向应急指挥部提出场外公众防护行动的初步建议；
- 4) 应急总指挥在应急指挥部其他人员的支持下，对公众防护行动初步建议予以确认或作适当调整后，由应急总指挥签字批准作为正式建议；
- 5) 对已确认场外公众防护行动的正式建议，按照核应急报告的格式和要求，上报山东省和国家核事故应急协调委员会以及有关的场外核应急组织；
- 6) 凡需对已向场外核应急组织提出的公众防护行动建议作修改或补充时，重新履行上述步骤 3 至 5。

7.5.6 实施核应急预案的可行性

按照我国核安全法规《核电厂厂址选择安全规定》(HAF101)和《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》(HAD002/01, 2019)的要求，必须考虑下述与厂址有关的因素，来评价执行应急计划的可行性：

- 地理条件、水文、地质、气象、外部自然事件等可能对采取应急防护行动或应急救援有重大影响的因素；
- 人口（包括常住人口和流动人口）及分布特征，预计的人口增长率；
- 在采取应急防护行动时需要特殊考虑的场所（如监狱、学校、医院、养老院、疗养院、旅游景点和军事基地等）情况；
- 交通路网情况；
- 通讯设施及其他可用于信息传递设施的分布和使用情况；

- 具有爆炸、火灾、有毒气体释放等潜在风险设施（如仓库、工矿企业、军事设施、机场和航线等）；
- 饮用水源、农产品收集和分配体系。

根据国家核安全法规的有关规定，对厂址实施场外核应急预案的可行性分析如下：

7.5.6.1 人口分布

1) 厂址近区人口分布

(1) 常住人口分布

本工程非居住区边界范围内没有居民居住，无需人员搬迁。

2019 年底，本工程厂址半径 5km 范围（规划限制区）内常住人口共计 18067 人，平均陆域人口密度为 571 人/km²，低于山东省同期平均人口密度 636 人/km²。厂址半径 5km 范围内的居民点有 44 个，距离厂址最近的居民点为宁津街道的东墩村，位于厂址 WSW 方位 0.84km 处，常住人口 1508 人，东墩村也是距厂址最近的的千人以上村镇。

厂址半径 5km 范围内无万人以上城镇，亦无城镇发展规划。

(2) 流动人员情况

厂址半径 5km 范围内旅游风景区包括甲子山庄，位于厂址 WNW 方位 4.65km，景区年接待十万人次，日高峰人数达 1 万余人次。宁津街道的流入人口共有 12531 人，涉及经商、打工、旅游或者求学，本工程厂区 2020 年流动人口 10312 人。

厂址半径 5km 范围内的有企事业单位 56 家，职工 399 人，涉及建筑、养殖、油气销售等，厂址半径 5km 范围内无大型工业发展规划。

(3) 特殊人群分布

厂址半径 5km 范围内无监狱，有 2 家养老院、4 所学校（中学 1 所、小学 1 所，幼儿园 2 所）和 1 家卫生院。2 家养老院共有职工 26 人，入住老人 111 人，床位 408 张；4 所学校共有学生 1885 人，职工 149 人；1 家卫生院共有医护人员人数为 50 人，床位 30 张。

与 2012 年厂址半径 5km 范围内常住总人口数 19607 人相比，本工程厂址半径 5km 范围内人口减少了 1540 人，可见厂址近区范围未出现明显的人口增长，人口变化幅度较小。建议当地政府继续按照《中华人民共和国放射性污染防治法》和《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的有关规定，采取有效措施

控制厂址半径 5km 规划限制区范围内的人口机械增长和城镇发展规模，使得厂址周围的人口分布条件不会对核电厂核应急状态下，实施应急响应行动带来不可克服的困难。

本工程核应急预案制定过程中，对厂址附近现有的流动人口和特殊人群给予专门考虑和安排，流动人口和特殊人群的分布基本不会对核应急预案的实施造成较大困难。

2) 厂址远区人口分布

2019 年底，本工程厂址半径 50km 范围内共有常住人口 1036167 人，其中有 5 个万人以上城镇（包括 2 个十万人以上城市）。距离厂址最近的城镇为位于厂址 WSW 方位 11.77km 的荣成市斥山街道办驻地，人口数 20967 人。距离厂址最近的十万人以上城市为位于厂址 NNW 方位 23.19km 的荣成市市区，人口数 104296 人。厂址半径 50km 范围内无百万人以上大城市。

本工程核应急预案制定过程中，对厂址半径 50km 范围内 5 个万人以上城镇食入应急考虑给予关注。

7.5.6.2 掩蔽和撤离条件

1) 掩蔽条件

厂址半径 10km 范围内居民的住房多为砖石结构的海草房，海草房部分房顶采用不锈钢进行覆盖保护。部分村庄为联排瓦房，砖混结构。上述房屋基本满足应急掩蔽的要求。

本工程核应急预案制定过程中，对厂址半径 10km 范围内少数住房条件较差的居民给予关注，有计划的将这些居民就近安置到其它具有掩蔽条件的场所内。

2) 撤离条件

本工程厂址半径 15km 范围内主要由以南北向的国道 G228、省道 S203、S304 和东西向的省道 S201 构成的交通运输网络，除省道 S304 为二级公路外，其余均为一级公路。厂址半径 5km 范围内有 2 条县道，分别为县道 X042（距厂址最近距离为 2.70km，二级公路）和县道 X034（距厂址最近距离为 1.37km，二、三级公路）。厂址半径 5km 范围内有 2 条乡道和 30 条村道，交通便利。其中东村道 C107 距离厂址最近距离为 1.27km。

山东石岛湾厂址内的高温堆示范工程已建设了两条不同方向的进厂道路，分别为主要进厂道路和施工兼货运进厂道路。本工程主要进厂道路由宁镇路引接，

引接段长约 1244m，路面宽度 18m，按照二级公路标准修建，已建成通车；应急道路位于厂址北侧，由华能压水堆扩建工程应急道路引接，引接段长约 344m，路面宽度 9m。场外撤离路线走向见 7.5.5 节描述。

厂址半径 5km 范围内现有的交通条件满足核事故应急撤离的要求。本工程在核事故应急撤离方面不存在不可克服的困难。

7.5.6.3 其他环境条件

1) 医疗

本工程将建立三级医疗救护体系，包括现场医疗救护机构、就近医疗救护机构和紧急医疗后援机构。各级体系的承担单位为：职业医疗科（一级）、荣成市人民医院和威海市立医院（二级）、苏州大学附属第二人民医院（三级）。

一级医疗救治（现场救护）：由荣成市人民医院在本工程现场设置现场医务室，并配备相应的医务人员，对于一级医疗单位不能处理时送就近医疗救护机构。

二级医疗救治（场外救护）：与荣成市人民医院和威海市立医院合作负责非放射性二级医疗救护工作，荣成市人民医院距厂址车程距离约 23km。

三级医疗救治（专科医治）：由苏州大学附属第二人民医院承担辐射损伤的医疗救护后援机构。苏州大学附属第二人民医院又名核工业总医院，2002 年被正式批准为国家核事故应急后援组织之一，成为国家级应急单位。

2) 通信

厂址所在荣成市拥有移动网点 18 个，移动用户 46 万，其中宁津的移动用户有 1.38 万，光缆线路的总长度 3000km，互联网总端口数 20-30 万，用户总数为 13 万。荣成市电信电话交换机数量为 0.5 万，固定电话用户 1000 户，移动电话用户 6.6 万，光缆线路总数长达 603km，互联网端口数 4 万。

荣成市规划 2035 年城区固定电话普及率 50 线/百人，话机数达到 29 万线，交换机容量为 32 万线；移动通信普及率 110 部/百人；宽带用户普及率 80%；有线电视普及率 100%。规划扩建现状端局容量 10 万门；规划新建端局 3 处，交换机容量均为 5-10 万门。

3) 消防

厂址半径 30km 范围内有 5 个消防救援站，政府专职消防员共有 110 人，执勤车辆 22 辆。峨石山路消防救援站距离厂址最近，位于厂址半径 10km 范围内，政府专职消防员为 29 人，执勤车辆为 5 辆。消防救援单位作为核电厂应急的备

用后援及支持。

4) 气象预报

本工程所在厂址已建成气象观测系统。此外荣成市有三个气象观测站，分别为荣成国家气象监测站、成山头国家气象观测站以及石岛国家气象观测站。石岛国家气象观测站位于石岛管理区，距离厂址 WSW 方向 5.3km，负责周边地区的天气预报。该气象站属于国家一般气象站（县级站）。

5) 外部人为事件

厂址半径 15km 范围内不存在会对核电厂构成潜在危害的外部人为事件。

6) 外部自然事件

厂址选择和工程设计中已对可能对核电厂构成潜在危害的外部自然事件进行了考虑。核应急预案制定过程中对外部自然事件（如台风、龙卷风、暴雨、冰冻、大雾、海啸、地震及其并发灾难）发生时对道路运输、通讯、工农业生产等造成的破坏及由此造成的人员撤离的困难给予充分考虑。

综上分析，厂址环境条件满足制定核应急预案的要求，厂址外围地带不存在妨碍制定核应急预案的根本问题。

表 7.5-1 应急响应组织主要岗位的担当人选

| 应急响应岗位 | 担当人选 | 优先级 |
|----------------------|---|-------|
| 应急指挥部 | | |
| 应急总指挥 ⁽¹⁾ | 董事长 | 担当者 |
| | 总经理 | 第一替代人 |
| | 分管或协管生产、安全的公司领导 | 替代人 |
| 生产副总指挥 | 分管或协管运行的公司领导 | 担当者 |
| | 分管或协管生产的其他公司领导、运行处处长、副处长或其他生产处室有 SRO 资格或经历的处长及以上人员 | 替代人 |
| 工程副总指挥 | 分管或协管工程的公司领导 | 担当者 |
| | 分管或协管工程、调试相关的公司领导、工程管理处、调试管理处相关处长、副处长及以上人员 | 替代人 |
| 生产指挥助理 | 运行处处长 | 担当者 |
| | 运行处副处长、运行处主任工程师、白班值长、授权的运行处科长/副科长、各生产处室具有 SRO 资格或经历的人员 | 替代人 |
| 应急助理 A | 办公室各科科长、副科长、员工 | |
| 应急助理 B | 生产计划处日常计划科科长/副科长、员工 | |
| 应急助理 C | 安全防护处应急管理科科长/副科长、员工、核安全与执照处执照科、经验反馈科科长/副科长、员工、计划控制处发展协调科科长/副科长、员工 | |
| 应急指挥中心管理员 | 安全防护处应急管理科应急设施、设备管理业务支持人员 | |
| 信息系统助理 | 信息文档处应用系统/网络技术科科长/副科长、员工 | |
| 文秘 | 各处室普通员工、业务支持人员等 | |
| 运行控制组 | | |
| 运行控制组组长 | 当班值长 | 担当者 |
| | 1、2 号机组值长（事故机组当班值长兼任，若两台机组同时发生事故，则为 1 号机组值长） | 替代人 |
| 核安全工程师 | 核安全与执照处核安全监督科安全工程师 | |
| 机组值长 | 1、2 号机组值长 | |
| 机组副值长 | 1、2 号机组副值长 | |
| 隔离经理 | 1、2 号机组隔离经理 | |
| 主控室操作员 | 1、2 号机组主控室当班核岛操作员 | |

| 应急响应岗位 | 担当人选 | 优先级 |
|-------------|----------------------------------|-----|
| 现场操作员 | 1、2号主控室当班现场操作员 | |
| 通讯员 | 主控室运行值人员 | |
| SRTF 值班人员 | SRTF 值班人员 | |
| 化学分析值班队员 | 化学倒班人员 | |
| 技术支持组 | | |
| 技术支持组组长 | 技术支持处处长 | 担当者 |
| | 技术支持处副处长、系统设备处处长、副处长、化学环保处处长、副处长 | 替代人 |
| 运行分析助理 | 培训处模拟机教员、核安全监督科安全分析人员 | |
| 堆芯源项助理 | 技术支持处燃料管理科科长/副科长、员工 | |
| 系统设备助理 | 系统设备处设备可靠性科科长/副科长、员工 | |
| 系统技术助理 | 系统设备处核岛系统科科长/副科长、员工 | |
| 后果评价和环境监测助理 | 化学环保处环境监测科科长/副科长、员工 | |
| 化学分析助理 | 化学环保处化学运行科科长/副科长、员工 | |
| 环境监测队员 | 化学环保处环境监测科业务支持人员 | |
| 运行支持组 | | |
| 运行支持组组长 | 维修处处长 | 担当者 |
| | 维修处/仪控处处长、副处长、主任工程师 | 替代人 |
| 运行支持组副组长 | 维修处、仪控处及相关科室科长或副科长 | |
| 机械维修助理 | 维修处机械维修科科长/副科长、员工 | |
| 电气维修助理 | 维修处电气维修科科长/副科长、员工 | |
| 仪控维修助理 | 仪控处维修技术科科长/副科长、员工 | |
| 维修支持助理 | 维修处维修服务科科长/副科长、员工 | |
| 通讯维修助理 | 维修处通讯维修科科长/副科长、员工 | |
| 机械维修队员 | 维修处机械维修科员工 | |
| 电气维修队员 | 维修处电气维修科员工 | |
| 仪控维修队员 | 仪控处维修技术科员工 | |
| 维修支持队员 | 维修处维修服务科员工 | |

| 应急响应岗位 | 担当人选 | 优先级 |
|----------|--------------------------------|-----|
| 通讯维修队员 | 维修处通讯维修科员工 | |
| 生产车辆调度 | 维修处生产车辆司机 | |
| 话务员 | 维修处通讯维修科业务支持人员 | |
| 安全保卫组 | | |
| 安全保卫组组长 | 安全防护处处长 | 担当者 |
| | 安全防护处副处长、主任工程师、保卫处处长、副处长及各科室科长 | 替代人 |
| 辐射防护助理 | 辐射防护科科长/副科长、员工 | |
| 工业安全助理 | 工业安全科科长/副科长、员工、业务支持人员 | |
| 职业医疗助理 | 职业健康科科长/副科长、员工、业务支持人员 | |
| 安保助理 | 保卫处保卫科、治安科科长/副科长、员工 | |
| 消防助理 | 保卫处消防科科长/副科长、员工，消防队队长 | |
| 辐射防护人员 | 辐射防护科员工、业务支持人员 | |
| 辐射防护值班人员 | 辐射防护科业务支持人员 | |
| 职业医疗人员 | 现场医务室人员 | |
| 安保队员 | 现场安保人员 | |
| 消防队员 | 消防队人员 | |
| 后勤保障组 | | |
| 后勤保障组组长 | 行政处处长 | 担当者 |
| | 行政处副处长、采购处处长、副处长 | 替代人 |
| 后勤和交通助理 | 行政处综合保障科科长/副科长、员工 | |
| 物资采购助理 | 采购处物资管理科科长/副科长、员工 | |
| 应急班车调度 | 班车司机 | |
| 公众信息组 | | |
| 公众信息组组长 | 党群工作处处长 | 担当者 |
| | 党群工作处副处长、各科科长/副科长 | 替代人 |
| 公众信息助理 | 党群工作处各科员工 | |
| 工程协调组 | | |
| 工程协调组组长 | 工程管理处处长 | 担当者 |

| 应急响应岗位 | 担当人选 | 优先级 |
|--------|----------------------------|-----|
| | 工程管理处副处长、调试管理处处长、副处长及各科室科长 | 替代人 |
| 工程协调助理 | 工程管理处施工支持科科长/副科长、员工 | |
| 工程安全助理 | 工程管理处施工安全科科长/副科长、员工 | |
| 工程调试助理 | 调试管理处各科室科长/副科长、员工 | |

注：

(1) 应急总指挥需具备 10 年以上核电厂生产相关经验。

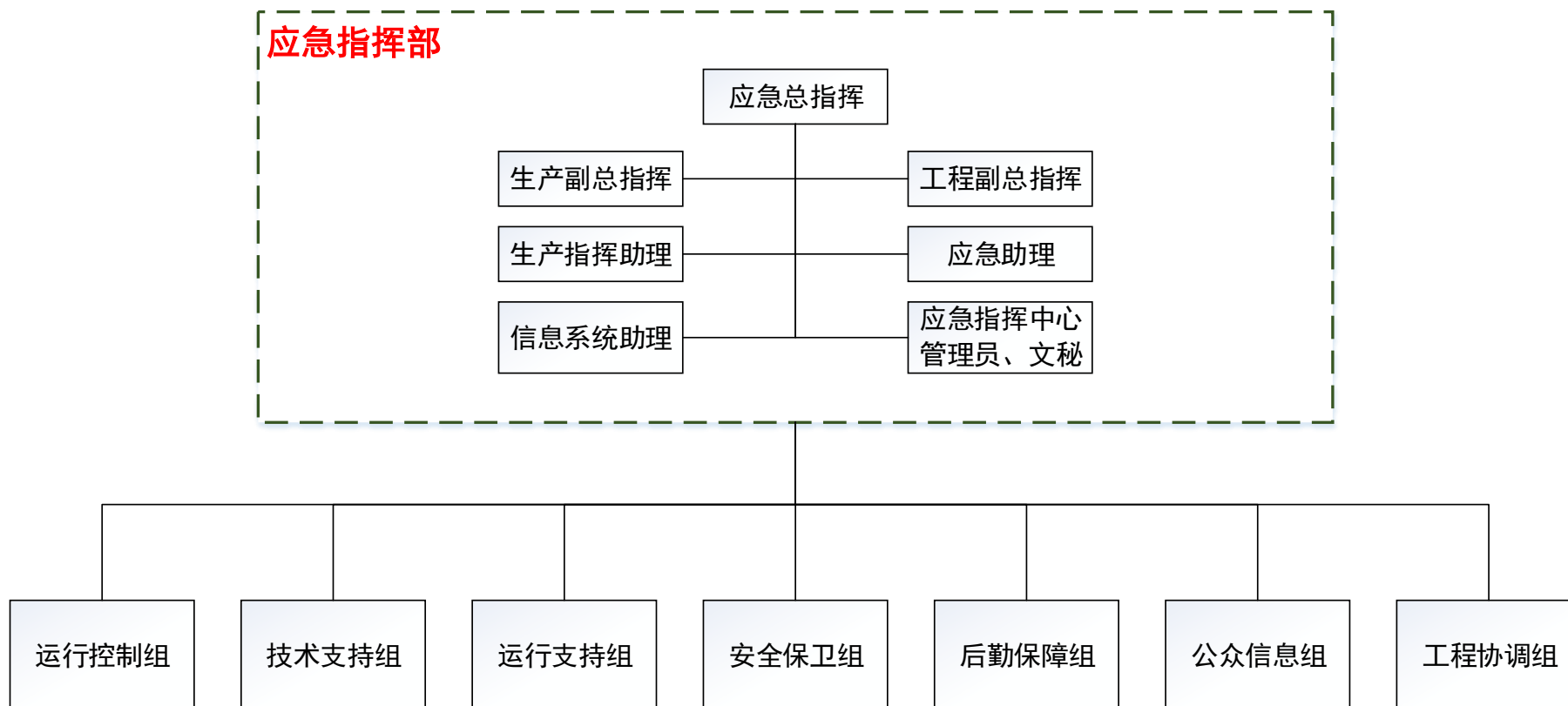


图 7.5-1 本工程应急响应组织机构图

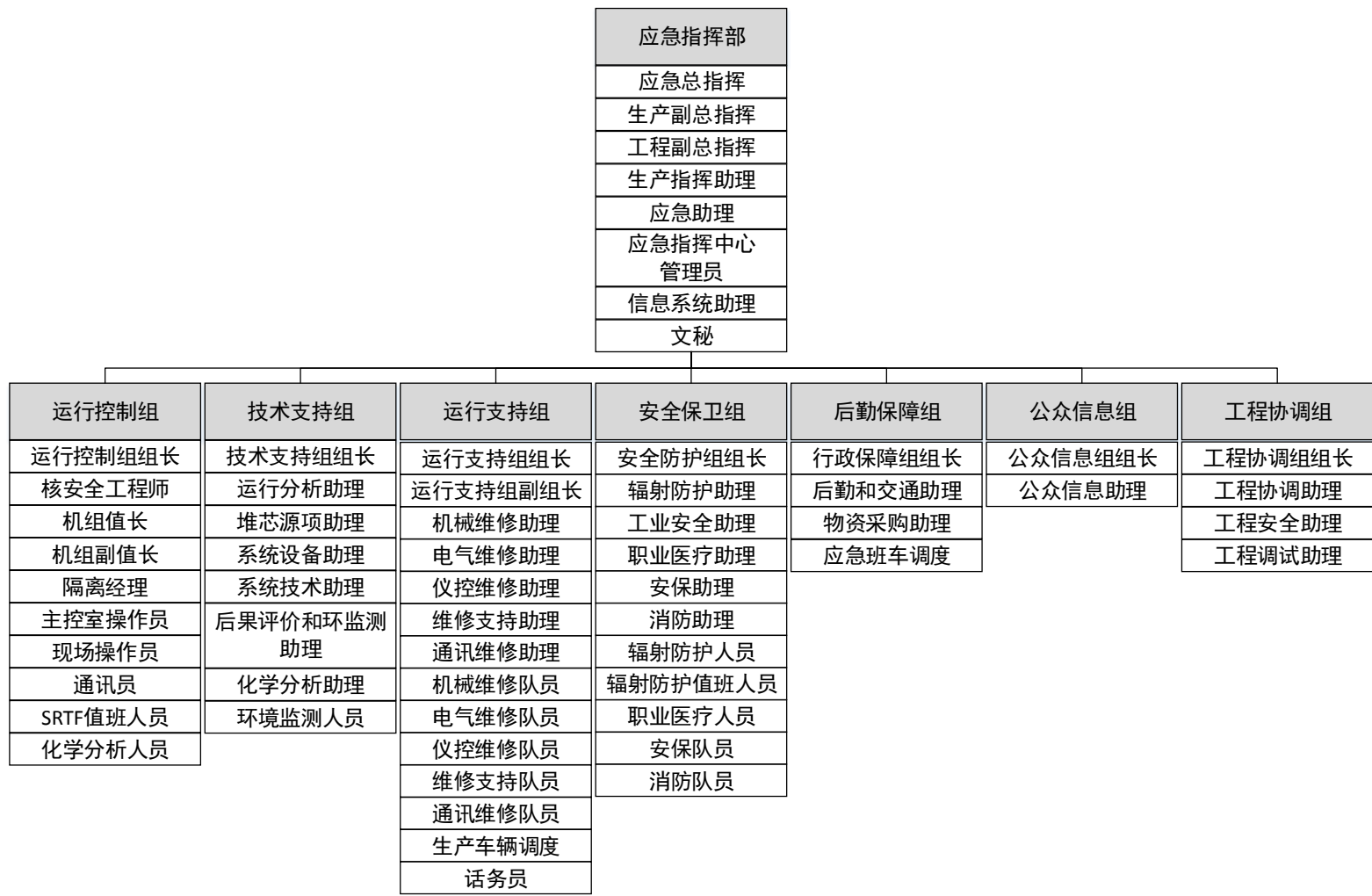


图 7.5-2 本工程应急响应组织岗位组成图

第八章 流出物监测和环境监测

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

根据《核动力厂辐射防护设计》（HAD102-12-2019）、《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）等国家法规和标准的要求，气载流出物必须经净化处理后，经由核电厂烟囱释入大气环境，液态流出物排放需采取槽式排放，排放前应对槽内液态流出物取样监测，槽式排放口应明显标志。排放管线上应安装自动报警和排放控制装置。

本工程结合CAP1400系统特点，根据流出物来源，针对不同的放射性流出物排放，制定了不同的监测项目和分析方法。

核电厂营运单位制定了运行期间的流出物监测大纲，在运行期间依据监测大纲对所有气态和液态流出物进行监测。监测内容包括排放总量、排放浓度及主要核素分析。

针对监督性流出物监测，核电厂营运单位将配合省辐射环境监测部门开展采样工作。监督性监测过程中产生的放射性废物及剩余样品，核电厂营运单位配合接收和处理。

为做好流出物监测工作，建设单位制定了《放射性流出物监测大纲》。

制定流出物监测方案的主要依据包括：

- 《核电厂辐射防护设计》（HAD102-12-2019）
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）
- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-1989）
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-1989）
- 《Sampling Airborne Radioactive Materials from the Stacks and Ducts of Nuclear Facilities》（ISO2889-2010）
- 《Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Plants》（RG1.97-2006）
- 《Clarification of TMI Action Plan Requirements》（NUREG-0737）

8.1.1.1 气载流出物辐射监测

1) 核电厂烟囱辐射监测仪

核电厂烟囱是核电厂向周围环境释放放射性物质的主要设计通道。核电厂烟囱正常量程辐射监测仪VFS-JS-01A（气溶胶探测器VFS-JE-RE101A、碘探测器VFS-JE-RE102A和惰性气体探测器VFS-JE-RE103A）、VFS-JS-01B（气溶胶探测器VFS-JE-RE101B、碘探测器VFS-JE-RE102B和惰性气体探测器VFS-JE-RE103B）和核电厂烟囱事故量程辐射监测仪VFS-JS-02A（事故量程惰性气体探测器VFS-JE-RE104A）、VFS-JS-02B（事故量程惰性气体探测器VFS-JE-RE104B）分别在正常和事故量程范围内，对核电厂烟囱中放射性活度浓度进行连续测量。核电厂烟囱辐射监测仪还用作事故后监测仪，变量定义为C类2级（C2）和E类2级（E2），满足RG1.97和NUREG-0737的要求。

核电厂烟囱辐射监测仪是离线式监测仪，由取样嘴、取样管道和监测设备组成。取样系统的设计满足ISO2889-2010，可以保证在核电厂各种运行工况期间从烟囱获取的样本都具有代表性。

核电厂烟囱辐射监测仪还具有气溶胶、碘和惰性气体的手动取样功能。此外，对经核电厂烟囱向外排放的气载流出物，RMS还分别设置了两套冗余的氡和碳-14连续取样装置，布置在核电厂烟囱辐射监测仪对应的取样回路下游。取样获取的气溶胶、碘、惰性气体、氡和碳-14等样品将定期送至流出物和化学实验室进行测量和分析。

流量计VFS-JE-FE105A和VFS-JE-FE105B布置于烟囱内，连续测量通过核电厂烟囱向环境的排风量，VFS-JE-FE105A信号送往核电厂正常量程辐射监测仪VFS-JS-01A，VFS-JE-FE105B信号送往核电厂正常量程辐射监测仪VFS-JS-01B。核电厂烟囱辐射监测仪接收流量计的信号，并计算标准状态下的放射性气体活度浓度、释放速率和流量。这些信号还用来计算在操纵员选定的时间段内的总排放量。

当探测到放射性活度浓度超过报警阈值时，辐射监测仪提供就地报警，该报警信号还送往主控制室。核电厂烟囱辐射监测仪还为核电厂流出物排放报告提供资料。

当核电厂烟囱正常量程辐射监测仪探测到放射性活度浓度超过正常量程范围时，正常量程的气溶胶、碘和惰性气体探测器将自动切换。样品中的一小部分

将通过旁路绕过正常量程探测器，进入事故量程气溶胶和碘过滤器以及惰性气体探测器进行测量。这样不仅可以防止正常量程探测器的损坏，还可以在放射性水平降低后重新使用正常量程探测器来测量正常量程探测器范围内的放射性活度浓度。

事故量程辐射监测仪VFS-JS-02A和VFS-JS-02B分别设置了两条并行固定的过滤器和气体手动取样连接器，用于收集样品中高放射性活度浓度的气溶胶和碘。

事故量程辐射监测仪每条取样回路的气溶胶、碘过滤器和气体手动取样连接器的安置、设计及制造应易于拆卸，以便送流出物和化学实验室分析。

核电厂烟囱辐射监测仪的主要参数见表8.1-1。

2) 凝汽器抽真空系统排放辐射监测仪

凝汽器抽真空系统排放辐射监测仪CMS-JS-01（探测器CMS-JE-RE001A和CMS-JE-RE001B）连续测量通过CMS通风排放管道中放射性物质活度浓度。如果通风排放管道中存在放射性，则表明蒸汽发生器传热管出现一次侧向二次侧的泄漏按照HAD102-12-2019的要求，凝汽器抽真空系统排放辐射监测仪为气载流出物的释放报告提供测量数据。该监测仪还用作事故后监测仪，变量定义为C类2级（C2）和E类2级（E2），满足RG1.97的要求。

凝汽器抽真空系统排放辐射监测仪的主要参数见表8.1-1。

3) 主蒸汽管道辐射监测仪

主蒸汽管道惰性气体辐射监测仪SGS-JS-26A（探测器SGS-JE-RE026A）、SGS-JS-27A（探测器SGS-JE-RE027A）连续测量两条主蒸汽管道中的放射性活度浓度。主蒸汽管道中存在的放射性物质来自于蒸汽发生器内一次侧向二次侧的泄漏。

主蒸汽管道惰性气体辐射监测仪还用作事故后监测仪，变量定义为C类2级（C2）和E类2级（E2），满足RG1.97的要求。

主蒸汽管道辐射监测仪是在线式监测仪，探测器布置在主蒸汽管道旁。探测器的布置便于其灵敏体积暴露在来自被测主蒸汽管道的辐射场中。当探测到放射性活度浓度超过报警阈值时，辐射监测仪提供就地报警。该报警信号还送往主控制室。

当主蒸汽安全阀或大气释放阀打开，主蒸汽管道惰性气体辐射监测仪为核电厂向环境释放放射性物质的报告提供数据。

主蒸汽管道辐射监测仪的主要参数见表8.1-1。

4) BOP子项气载流出物辐射监测

在本工程厂址废物处理设施（SRTF）厂房排风总管、洗衣房排风总管和热检修车间的排风总管中，各设置了1套等速取样装置，对排风气体中的气溶胶和碘进行连续取样，样品送往核电厂的流出物和化学实验室进行分析，以确认向环境的排放是否符合相关的要求，同时可为向环境排放的放射性物质提供数据。

8.1.1.2 液态流出物辐射监测

1) 放射性液体废物排放辐射监测仪

放射性液体废物排放辐射监测仪WLS-JS-229（探测器WLS-JE-RE229）连续测量从放射性液体废物处理系统（WLS）向环境排放的液体中放射性物质活度浓度。液体在排放前必须经过充分混合后取样分析，以便确认其排放物的放射性活度浓度和排放总量都在允许的范围。

当放射性活度浓度超过预置阈值或仪表故障时，监测仪在主控制室产生一个报警，并通过核电厂控制系统（PLS）关闭WLS的监测箱泵进气阀，洗手废液箱泵进气阀以及监测箱排放管线隔离阀，阻止放射性液体废物的排放。

根据HAD102-12-2019、GB 6249-2011的要求，放射性液体废物排放辐射监测仪为液体放射性物质的释放记录的保存提供测量数据。

放射性液体废物排放辐射监测仪的主要参数见表8.1-1。

2) 常规岛生产废水排放辐射监测仪

常规岛生产废水排放辐射监测仪WWS-JS-23（探测器WWS-JE-RE023）连续测量二回路槽式排放口的放射性物质活度浓度。当放射性活度浓度超过预置阈值或仪表故障时，监测仪在常规岛辅网、SRTF集中控制室和就地产生一个报警，并通过就地控制系统自动关闭接收排放监测箱水箱排水泵和总管隔离阀。

根据HAD102-12-2019、GB6249-2011要求，废水排放辐射监测仪为液体放射性物质的释放记录的保存提供测量数据。

常规岛生产废水排放辐射监测仪的主要参数见表8.1-1。

3) BOP子项液态流出物辐射监测

在本工程SRTF子项（全厂址共用）中放射性疏水和洗衣房废水排放、去污热检修车间子项中放射性废液的排放采用槽式监测排放，流出物实验室与核岛外放化实验室废液汇总至去污热检修车间废水收集罐统一监测排放，以满足法规的

规定。

8.1.2 辐射环境监测

为做好放射性环境监测工作，建设单位制定了《环境监测大纲》。

8.1.2.1 监测目的

运行期间辐射环境监测的主要目的是：

- 跟踪本工程气载和液态流出物所引起厂址周围环境介质变化情况，为评价环境辐射安全和估算公众所受剂量提供依据。
- 测定环境介质中放射性核素浓度或辐射剂量率的变化。
- 发现本工程周围地区放射性污染变化的异常现象，及时查找原因，鉴别污染来源，追踪污染趋势，提出环保措施建议及修正监测计划。
- 为核应急预案实施提供依据。

8.1.2.2 监测范围、布点原则及监测项目

1) 监测范围

- 厂址半径 50km 范围内环境 γ 辐射水平：陆地环境 γ 辐射空气吸收剂量率、和 γ 辐射累积剂量；
- 厂址半径 20km 范围内主要环境介质中放射性核素活度浓度，需监测的环境介质包括土壤、空气（气溶胶、空气 ^{131}I 样品、空气 ^3H 样品、空气 ^{14}C 样品、沉降物、降水）、陆地非受纳水体（地表水、地表水沉积物、地下水、饮用水、水生生物）、陆生生物等，重点监测厂址周围 10km 范围。
- 受纳水体海洋取样半径为 10km，重点在 2km 以内。需监测的环境介质包括海水、沉积物、海洋生物等。

2) 环境监测布点原则

- 重点关注关键人群组位置、关键核素和关键放射性核素；
- 充分考虑厂址的地域特征，监测方案应与厂址周围的地理特征、气候特征、社会环境以及居民生活习惯相适应；
- 考虑厂址辐射源排放途径、排放方式、照射途径等；
- 监测内容和样品的种类要覆盖厂址辐射源对公众的主要照射途径，并选择可疑浓集放射性核素指示生物，用以强化监视放射性水平变化趋势；

- 监测方案应保持相对稳定，监测点位应选择不易受自然破坏和人为干扰的固定地点；
- 采用的监测技术方法与厂址周围的特征相适应；
- 应遵循相关法律法规及标准规范的规定。

8.1.2.3 监测内容

厂址周围环境样品监测的目的核素为： ^3H 、 ^{14}C 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{131}I 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{90}Sr 等。主要的监测项目包括环境 γ 辐射、陆地介质放射性水平、海洋介质放射性水平、指示生物。见图 8.1-1。

1) 环境 γ 辐射

(1) 连续剂量率监测

固定自动环境监测站共 14 个，已建设完成 8 个，包括高温气冷堆示范工程厂区内 3 个子站（高温气冷堆示范工程核岛北部 AS13、高温气冷堆示范工程核岛西部 AS12、高温气冷堆示范工程厂前区 AS13），山东石岛湾厂址外部 5 个子站（东钱家 BS11、宁津九中 BS12、东墩村 BS13、镓铷岛 BS14、石核馨园 BS15）。正在建设 6 个，包括本工程厂区内 3 个子站（AS01、AS02、AS03），山东石岛湾厂址外部 3 个子站（编号为 BS01、BS02、BS03）。

(2) 瞬时剂量率测量

在开阔的路面与田野进行瞬时剂量率测量。按 22.5° 方位角，近密远疏原则布点，兼顾地理、地形、居民分布、交通、土地利用等因素。频度：1 次/季。采样点位 75 个。

瞬时剂量率测量点位布置见表 8.1-2 和图 8.1-2。

(3) 累积剂量测量

采用热释光剂量计，放置在有代表性的不受附近建筑物影响的空旷地区。频度：1 次/季。采样点位 29 个，累积剂量测量点位布置见表 8.1-2 和图 8.1-2。

2) 空气

包括：气溶胶、空气 ^{131}I 、空气 ^3H 、空气 ^{14}C 、沉降物、降水，布点考虑厂区边界，最大浓度落点及 10km 范围居民区。

(1) 气溶胶：总 α 、总 β 、 γ 核素，频度 1 次/月。采样点位 8 个（高温气冷堆示范工程核岛北部、高温气冷堆示范工程核岛西部、东钱家、宁津九中、镓铷岛、石核馨园、AS03 子站、BS02 子站）。

(2) 空气 ^{131}I : 频度 1 次/月。采样点位 8 个 (高温气冷堆示范工程核岛北部、高温气冷堆示范工程核岛西部、东钱家、宁津九中、镆铳岛、石核馨园、AS03 子站、BS02 子站)。

(3) 空气 ^3H : 频度 1 次/月。采样点位 8 个 (东钱家、宁津九中、东墩村、镆铳岛、石核馨园、AS01 子站、AS03 子站、BS02 子站)。

(4) 空气 ^{14}C : 频度 1 次/月。采样点位 8 个 (东钱家、宁津九中、东墩村、镆铳岛、石核馨园、AS01 子站、AS03 子站、BS02 子站)。

(5) 沉降灰: 总 β 、 ^{90}Sr 、 γ 核素, 频度 1 次/季。采样点位 8 个 (高温气冷堆示范工程核岛北部、高温气冷堆示范工程核岛西部、东钱家、宁津九中、镆铳岛、石核馨园、AS03 子站、BS02 子站)。

(6) 降水: γ 核素、 ^3H , 降雨期取样, 频度 1 次/季。取样点位 8 个 (高温气冷堆示范工程核岛北部、高温气冷堆示范工程核岛西部、东钱家、宁津九中、镆铳岛、石核馨园、AS03 子站、BS02 子站)。

3) 陆地非受纳水体

包括: 地表水、地表水沉积物、地下水、饮用水、水生生物, 布点主要考虑关键居民组及半径 10km 范围。

(1) 地表水: ^3H 、 γ 核素, 考虑丰水期和枯水期, 频度 1 次/半年。采样点位 3 个 (南夏家水库、八河水库、后龙河水库)。

(2) 地表水沉积物: ^{90}Sr 、 γ 核素, 频度 1 次/年。采样点位 3 个 (南夏家水库、八河水库、后龙河水库, 与地表水相同)。

(3) 地下水: ^3H 、 γ 核素, 频度 1 次/半年。厂址外部采样点位 2 个 (东钱家村、后海崖), 进行 ^3H 和 γ 核素分析。本工程厂区内采样点位 2 个, 高温气冷堆示范工程厂区内采样点位 2 个, 均位于反应堆机组所在的水文地质单元上下游, 进行 ^3H 分析, 若 ^3H 测量结果异常升高, 补充进行 γ 核素分析。

(4) 饮用水: 总 α 、总 β 、 ^3H 、 γ 核素, 频度 1 次/季, 采样点位 2 个 (东钱家村、后海崖)。

(5) 水生生物: 鲢鱼, γ 核素, 频度 1 次/年。采样点位 1 个 (八河水库)。

4) 土壤样品

土壤: ^{90}Sr 、 γ 核素, 频度 1 次/年。采样点位 12 个 (所东张家村、宁津街道、东墩村、后海崖村、东楮岛村、东南海村、东山街道、斥山街道、寻山街道、

大疃镇、马栏耩村、成山镇)。

5) 陆生生物样品

陆生生物样品采样点主要在以本工程 1 号机组为中心、半径 20km 范围内。重点考虑关键居民组食用产地、主导风下风向、气态食入途径剂量较大区域、作物主产区，并设置对照点。

(1) 粮食作物：小麦、玉米。

小麦： ^3H (OBT)、 ^{14}C 、 γ 核素，收获季节取样，频度 1 次/年。采样点位 2 个（东山街道龙山前村、东钱家村）。

玉米： ^{14}C 、 γ 核素，收获季节取样，频度 1 次/年，采样点位 3 个（宁津街道于家村、东山街道谭村林家村和成山镇）。

(2) 蔬菜作物：白菜、豆角。

白菜： ^3H (OBT)、 γ 核素，收获季节取样，频度 1 次/年。采样点位 2 个（东山街道谭村林家村、宁津街道马栏耩村）。

豆角： γ 核素，收获季节取样，频度 1 次/年。采样点位 1 个（宁津街道于家村）。

(3) 水果：苹果。

苹果： ^{14}C 、 γ 核素，收获季节取样，频度 1 次/年。采样点位 2 个（宁津街道、崂山街道宁家村）。

6) 海洋和海洋沉积物

海水和海洋沉积物采样点位要以厂址排水口为中心，半径 10km 范围内设置。

海水： ^3H 、 γ 核素，频度 1 次/半年。采样点位 7 个。

海洋沉积物： ^{90}Sr 、 γ 核素，频度 1 次/年。采样点位 7 个。

海洋和海洋沉积物采样点位见表 8.1-3 和图 8.1-3。

7) 海洋生物

海洋生物采样点位选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集鱼类、贝类、甲壳类和藻类，优先采集近海养殖的海洋生物。

(1) 鱼类：鲮鱼、梭鱼。

鲮鱼： γ 核素，频度 1 次/年。采样点位 2 个（弘运码头附近海域、东楮岛渔港附近海域）。

梭鱼： γ 核素，频度 1 次/年。采样点位 1 个（弘运码头附近海域）。

(2) 贝类：紫贻贝、花蛤（蚬子）。

紫贻贝： γ 核素，频度1次/年。采样点位1个（弘运码头附近海域）。

花蛤（蚬子）： γ 核素，频度1次/年。采样点位1个（宁津街道林家流村附近海域）。

(3) 甲壳类：虾、螃蟹。

虾： γ 核素，频度1次/年。采样点位2个（弘运码头附近海域、宁津街道止马滩村）。

螃蟹： γ 核素，频度1次/年。采样点位2个（弘运码头附近海域、东楮岛渔港附近海域）。

(4) 藻类：海带。

海带： ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 γ 核素，频度1次/年。采样点位2个（宁津街道东楮岛村附近海域、宁津街道宁津养殖二场附近海域）。

8) 指示生物样品

(1) 陆地指示生物：松针。

松针： ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 核素，频度1次/年，采样点位2个（宁津街道马栏耕林场、厂址施工生活区）。

(2) 海洋指示生物：牡蛎。

牡蛎： ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 核素，频度1次/年，采样点位1个（弘运码头附近海域）。

牡蛎： ^3H （OBT），频度1次/年，采样点位1个（俚岛附近海域）。

8.1.2.4 测量方法

采用的分析测量方法，均按照国家有关的规定、标准制定，分析方法及探测下限见表8.1-4。

8.1.3 应急监测

为做好应急监测工作，建设单位在《国和一号示范工程1、2号机组场内核事故应急预案》中应急监测做出了规定。

8.1.3.1 监测范围

本工程所在厂址的场外环境应急辐射监测（以下简称“场外应急监测”）的事故早期监测重点是厂址半径5km左右的范围，必要时可扩大到10km，并事先规

划好监测路线，便于为本工程所在厂址的烟羽应急计划区内未采取防护行动的区域提供早期应急防护行动决策所需的环境辐射水平输入；在事故中后期，场外应急监测组织已启动的情况下，本工程的场外应急监测资源作为其中一部分，接受场外应急组织的统一调配，监测范围将根据需要覆盖食入应急计划区。应急时的实际监测路线，将根据具体情况来选定。

8.1.3.2 监测设施与设备

本工程正常运行情况下用于环境监测的设施和设备全部可用于场外应急监测。固定环境 γ 辐射监测站、环境监测实验室内设备、应急环境监测车的数据通过环境监测网络工作站传输至环境监测网，并分别将信号传输至本工程应急指挥中心、主控室和华能高温气冷堆示范工程应急指挥中心、主控室。

1) 固定环境 γ 辐射监测站

本工程所在厂址的固定自动环境监测站共 14 个，已建设完成 8 个，包括高温气冷堆示范工程厂区内 3 个子站（高温气冷堆示范工程核岛北部 AS13、高温气冷堆示范工程核岛西部 AS12、高温气冷堆示范工程厂前区 AS13），山东石岛湾厂址外部 5 个子站（东钱家 BS11、宁津九中 BS12、东墩村 BS13、镉镎岛 BS14、石核馨园 BS15），由高温气冷堆示范工程负责运行维护。正在建设 6 个，包括本工程厂区内 3 个子站（AS01、AS02、AS03），山东石岛湾厂址外部 3 个子站（编号为 BS01、BS02、BS03），由本工程负责运行维护。

2) 环境监测站

为考虑事故时环境监测站的有效性，环境监测站建在距离本工程所在厂址 NW 方位 9.8km 处的国和一号国际仿真交流中心内，为厂址共用。环境监测站处于烟羽计划区的边界处，且避开了厂址主导风向（SSW），这有利于减小异常释放对环境监测站的影响，也将减少工作人员接受辐射的风险，能有效进行环境放射性监测工作。环境监测站还为主要的测量仪器（如高纯锗 γ 谱仪、液体闪烁计数器、低本底 α/β 计数器等）配备有 UPS 电源，在失电情况下可为其提供应急电源。

环境监测站主要功能是要完成正常运行情况下的环境介质样品的采样、制样和测量分析，以及在应急情况下利用环境监测站的部分便携式仪表和车载监测设备实施应急监测。环境监测站同时也是环境监测数据和信息集中处理、管理和汇总的地方。环境监测站计算机局域网络设在该楼的数据管理中心，可汇集有关环

境监测的所有有关数据信息。

环境监测站仪器设备由辐射测量仪器及化学测量和分析仪器组成。辐射测量仪器设备主要有：高纯锗 γ 谱仪3套（N型2套，P型1套）；热释光剂量测量系统1套；低本底 α/β 测量仪3套；低本底液体闪烁计数器2套；高压电离室型 γ 剂量率仪1台；便携式 γ 剂量率仪4台；便携式表面 α/β 污染测量仪4台等。另外监测站还配有相应的取样、制样和其他分析仪器设备。

为避免应急样品传递及分析测量过程中发生交叉污染现象，将在环境监测站内规划应急样品传送通道，并标明应急兼用的仪器设备。

3) 现场流出物分析实验室

本工程现场流出物分析实验室用于本工程的液态流出物和气态流出物样品的、处理和放射性分析项目（ γ 核素、 α/β 活度）测量等工作，以确定排放的液态和气态流出物的放射性水平，为本工程运行期间流出物排放提供支持，同时为事故期间的流出物分析提供条件。现场流出物分析实验室配备了3套高纯锗 γ 谱仪、1套碘化钠 γ 谱仪、2套液体闪烁计数器和2套低本底 α/β 测量仪等以及相应的取样、制样和其他分析仪器设备。

4) 环境监测车和环境介质采样车

本工程配有1辆环境监测车和2辆环境介质采样车。

环境监测车：由南京依维柯改装而成，应急情况下用于场外 γ 辐射水平监测、地表污染水平巡测等应急监测任务。环境监测车装配有车载通讯装置，用于环境监测车与应急指挥中心的环境监测网络系统之间的数据通讯。

环境介质采样车：1辆是大体积介质采样车，主要用于大体积环境样品取样；另1辆是小体积介质采样车，主要用于小体积环境样品取样及TLD布设与回收。应急情况下，采样车可配置便携式仪表和其它设备，执行统一的应急监测任务。

境监测车和环境介质采样车上备有的应急程序中包含有巡测线路图和常规环境监测方案中的测点标志图。应急监测中临时选定的其它测点可由车上的GPS系统定位。

5) 场内巡测仪表和物资

包括便携式 γ 剂量率仪、便携式表面 α/β 污染测量仪、工作人员防护装置（辐射防护服、防护工作鞋、防护眼镜、TLD、电子个人剂量计、防护手套和防护口罩等）和其他物资（记录用的表格、笔、手电筒等）。

8.1.3.3 应急巡测路线及巡测要求

本工程与高温气冷堆示范工程实施全厂址统一环境监测，高温气冷堆示范工程已制定的4条可供选用的陆上应急巡测路线可作为本工程的陆上应急巡测路线，见图8.1-4。

1#路线：厂区→035县道→朝阳路→东墩村→东南海村→桃园街道；

2#路线：厂区→035县道→031县道→所东张家村→东褚岛村；

3#路线：厂区→035县道→031县道→宁津街道→东山街道；

4#路线：厂区→035县道→031县道→所东张家村→所后马家→耩后杨家→马家寨。

场外应急监测开展期间，陆上应急巡测路线应当根据本工程核事故状况选择合适的应急巡测起始地点，选取处于下风向的一侧的一条或两条作为巡测路线，巡测路线根据实际情况变更。通常巡测路线中途每500m设置一个巡测点。

场外应急监测的主要监测内容包括 γ 剂量率水平和地表污染水平巡测、空气取样监测、热释光剂量计布设及回收等。相对于场内应急巡测主要关注各安保出入口、各应急设施和应急集合点的剂量水平，并根据风向优先选定巡测点，场外应急监测重点补充安排针对烟羽照射的监测以及地表沉降放射性污染物照射的监测。巡测期间，环境监测队员应按照各自应急响应行动单和助理的指示采取相应的防护行动，并注意避免交叉污染和合理可行尽量减少个人接受剂量。

若场外应急监测开展期间主导风向下风向为向海侧，需要开展海上监测时，海上应急巡测路线见图8.1-5。下述任一路线均包括排水口，进行巡测时使用GPS设备进行定位。

风向为N、NNW时，巡测路线为1-2-3-4-5-6；

风向为NW、WNW时，巡测路线为7-8-9-4-5-6；

风向为W、WSW时，巡测路线为7-8-9-10-11-12；

风向为SW、SSW时，视情况开展海上监测，巡测路线为12-11-10-15-14-13。

海上监测范围为以本工程为中心，半径1km、3km、5km与6个方位角行成的扇形海域范围内选点。监测内容主要为空气 γ 剂量率水平，必要时进行海水、海底泥等样品采集。

海上监测由环境监测队员2人实施，海上监测开展前提前准备个人防护用品、取样装置、便携式仪器等，并使用监测船只，取样/监测设备有便携式 γ 剂量率仪、

GPS设备、底泥取样器、取水桶、大口试剂瓶等。

8.1.3.4 应急环境辐射监测的组织与实施

在本工程宣布进入厂房应急及以上应急状态以后，启动实施场外应急监测。场外环境应急监测队伍由技术支持组的后果评价和环境监测助理、环境监测队员和实验室分析人员组成。

对于场外应急监测，所有监测岗位按指令开展工作，其中环境监测队员主要负责开展 γ 剂量率测量、地表污染水平巡测、空气取样、TLD布设与回收、附加环境样品取样、海上监测等，实验室分析人员负责所有应急环境样品的测量分析。后果评价和环境监测助理负责对所有场外应急监测数据的分析汇总，以及根据应急程序和已取得的监测数据向技术支持组组长提出场外防护行动建议，如有必要还需对操作干预水平进行修正。

1) 事故早期环境监测

事故早期的主要任务是尽可能多地获得烟羽特征（输运方向、高度、放射性水平以及随时间和空间的变化）。事故早期监测重点是本工程所在厂址半径5km左右的范围，必要时可扩大到10km。

监测项目主要包括：

- 环境 γ 辐射剂量的实时自动监测；
- 固定站样品（气溶胶累积样品、气载碘累积样品、大气沉降灰物累积样品等）的采集和TLD的取放；
- 环境巡测。场外巡测一般应在场区应急状态时实施。

2) 事故中期环境监测

事故中期主要对地面沉积外照射、吸入再悬浮核素内照射和食入被污染饮水的内照射等重要照射途径的监测。事故中期的监测范围主要是烟羽所致地面沉降的区域，同时应向食入应急计划区扩展。

监测项目主要包括：

- 空气介质放射性活度，取气溶胶、沉降物及空气放射性碘同位素、 ^3H 、 ^{14}C 样品，分析包括 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I 及其它 γ 核素活度；
- 地面沉积引起的辐射剂量率和地表污染水平，测量就地 γ 剂量率和TLD累积剂量；
- 便携式 γ 谱仪就地测量，分析地表沉积的 γ 核素活度、计算 γ 剂量率；

取陆地表层土样，分析 γ 核素和 ^{90}Sr 核素单位面积沉积量；

- 水体（饮用水）的污染水平，分析 ^{90}Sr 、 γ 核素活度浓度。

3) 事故后期环境监测

事故后期重点是对食入危害途径的监测，通常包括外照射剂量、表面污染水平、空气污染、其它环境介质中放射性测量，重点关注 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 等长寿命核素。事故后期监测范围包括中期监测涉及的全部范围，至少本工程所在厂址半径 50km 的区域。应根据事故大小与性质和事故后果初步评价结果，确定监测范围，制定环境辐射监测计划。

监测项目主要包括事故中期环境监测所有项目及下述项目：

- 粮食作物、蔬菜、水果及其它农作物，分析 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 、 ^{90}Sr 、 γ 核素含量；
- 与食物链有关的陆地和水生动物，分析 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 、 ^{90}Sr 、 γ 核素含量；
- 底泥，分析 ^{90}Sr 、 γ 核素含量，
- 水体（饮用水、海水），分析 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 、 γ 核素含量。

应急指挥部将根据事故情况的进展，及时调整对应急监测工作的指令。

表 8.1-1 气态和液态流出物在线监测仪表的主要参数

单位: Bq/m³

| 探测器 | 类型 | 测量对象 | 校准核素 | 量程范围 |
|-----------------|-----|---------------------|---|---|
| VFS-JE-RE101A | β | 核电厂烟囱气溶胶 | ⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs | 3.7×10 ⁻² ~3.7×10 ³ |
| VFS-JE-RE102A | γ | 核电厂烟囱碘 | ¹³¹ I | 3.7×10 ⁻¹ ~3.7×10 ⁴ |
| VFS-JE-RE103A | β | 核电厂烟囱惰性气体 (正常量程) | ⁸⁵ Kr、 ¹³³ Xe | 3.7×10 ³ ~3.7×10 ⁸ |
| VFS-JE-RE104A | β/γ | 核电厂烟囱事故量程气体 | ⁸⁵ Kr、 ¹³³ Xe | 3.7×10 ⁶ ~3.7×10 ¹⁵ |
| VFS-JE-RE101B | β | 核电厂烟囱气溶胶 | ⁹⁰ Sr、 ¹³⁷ Cs | 3.7×10 ⁻² ~3.7×10 ³ |
| VFS-JE-RE102B | γ | 核电厂烟囱碘 | ¹³¹ I | 3.7×10 ⁻¹ ~3.7×10 ⁴ |
| VFS-JE-RE103B | β | 核电厂烟囱惰性气体 (正常量程) | ⁸⁵ Kr、 ¹³³ Xe | 3.7×10 ³ ~3.7×10 ⁸ |
| VFS-JE-RE104B | β/γ | 核电厂烟囱事故量程气体 | ⁸⁵ Kr、 ¹³³ Xe | 3.7×10 ⁶ ~3.7×10 ¹⁵ |
| CMS-JE-RE001A/B | β/γ | 凝汽器抽真空系统排放 | ⁸⁵ Kr、 ¹³³ Xe | 3.7×10 ⁴ ~3.7×10 ¹⁵ |
| SGS-JE-RE026A | γ | 主蒸汽管道 | ⁸⁵ Kr、 ¹³³ Xe、 ¹³¹ I | 3.7×10 ⁹ ~3.7×10 ¹³ |
| SGS-JE-RE026B | γ | 主蒸汽管道 | ⁸⁵ Kr、 ¹³³ Xe、 ¹³¹ I | 3.7×10 ⁹ ~3.7×10 ¹³ |
| WLS-JE-RE229 | γ | 液态流出物排放 | ¹³⁷ Cs | 3.7×10 ³ ~3.7×10 ⁸ |
| WWS-JE-RE023 | γ | 废水排放 | ¹³⁷ Cs | 3.7×10 ³ ~3.7×10 ⁸ |
| RAS-JE-RE001 | γ | 厂址废物处理设施废液排放 | ¹³⁷ Cs | 3.7×10 ³ ~3.7×10 ⁸ |
| RBS-JE-RE001 | γ | 去污和热检修车间废液排放 | ¹³⁷ Cs | 3.7×10 ³ ~3.7×10 ⁸ |

表 8.1-2 环境 γ 辐射监测点位

| 序号 | 点位名称 | 方位 | 距离 (km) | 测量项目 |
|----|-----------|-----|---------|----------|
| 1 | 高温堆厂址边界 | NE | 1.8 | 瞬时剂量、TLD |
| 2 | 东钱家村 | NNE | 2.1 | 瞬时剂量、TLD |
| 3 | 晨兴育苗厂 | NE | 2.55 | 测剂量率 |
| 4 | 压水堆厂区 | / | / | 瞬时剂量、TLD |
| 5 | 压水堆厂界 | / | / | 瞬时剂量、TLD |
| 6 | 西钱家村 | N | 2.5 | 测剂量率 |
| 7 | 周庄村 | NNW | 1.7 | 测剂量率 |
| 8 | 所东张家村 | NW | 2.10 | 瞬时剂量、TLD |
| 9 | 止马滩村 | N | 4.0 | 瞬时剂量 |
| 10 | 烟羽地面最大浓度处 | SW | 0.5 | 瞬时剂量、TLD |
| 11 | 宁津街道 | NW | 2.7 | 瞬时剂量、TLD |
| 12 | 小岔河村 | NW | 2.2 | 瞬时剂量 |
| 13 | 所前王家村 | N | 3.2 | 瞬时剂量 |
| 14 | 所后卢家村 | NNW | 3.7 | 瞬时剂量 |
| 15 | 东墩村 | WSW | 0.9 | 瞬时剂量、TLD |
| 16 | 马栏耩村 | NNE | 6.0 | 瞬时剂量、TLD |
| 17 | 宁津养殖二场 | S | 1.5 | 瞬时剂量 |
| 18 | 后店子村 | N | 3.2 | 瞬时剂量 |
| 19 | 耩后杨家村 | N | 3.7 | 瞬时剂量 |
| 20 | 鞠家村 | WNW | 3.8 | 瞬时剂量 |
| 21 | 南港头村 | SW | 2.6 | 瞬时剂量 |
| 22 | 林家流村 | N | 5.8 | 瞬时剂量 |
| 23 | 黄山养殖场 | NNE | 8.0 | 瞬时剂量 |
| 24 | 东南海村 | SW | 4.8 | 瞬时剂量、TLD |
| 25 | 后海崖村 | S | 4.7 | 瞬时剂量、TLD |
| 26 | 东楮岛村 | NNE | 9.0 | 瞬时剂量、TLD |
| 27 | 东山街道 | W | 7.5 | 瞬时剂量、TLD |
| 28 | 八河姚家村 | NW | 9.0 | 瞬时剂量、TLD |
| 29 | 吕家庄村 | S | 7.0 | 瞬时剂量 |
| 30 | 八里王家村 | WNW | 8.0 | 瞬时剂量 |
| 31 | 岛西庄村 | S | 7.5 | 瞬时剂量 |
| 32 | 桃园街道 | WSW | 8.0 | 瞬时剂量 |
| 33 | 罗家庄村 | NW | 14 | 瞬时剂量 |
| 34 | 斥山街道 | WSW | 12.0 | 瞬时剂量、TLD |
| 35 | 王连街道 | W | 14 | 瞬时剂量、TLD |
| 36 | 港湾街道 | SW | 15 | 瞬时剂量 |
| 37 | 崂山街道 | NNW | 17.5 | 瞬时剂量、TLD |
| 38 | 海崖村 | NNW | 18.1 | 瞬时剂量 |
| 39 | 滕家镇 | WNW | 18.4 | 瞬时剂量 |
| 40 | 玄镇村 | SW | 17.0 | 瞬时剂量 |
| 41 | 卢家村 | N | 20.1 | 瞬时剂量、TLD |
| 42 | 荣成市 | NNW | 25 | 瞬时剂量 |
| 43 | 寻山街道 | N | 22 | 瞬时剂量、TLD |
| 44 | 上庄镇 | W | 23 | 瞬时剂量 |
| 45 | 朱口村 | SW | 24 | 瞬时剂量 |
| 46 | 人和镇 | WSW | 25 | 瞬时剂量、TLD |

| | | | | |
|----|-------|-----|------|----------|
| 47 | 大疃镇 | NW | 24.4 | 瞬时剂量、TLD |
| 48 | 城西街道 | NNW | 24.8 | 瞬时剂量 |
| 49 | 瓦屋石村 | NNE | 27.1 | 瞬时剂量、TLD |
| 50 | 虎山镇 | W | 30 | 瞬时剂量 |
| 51 | 靳家店子村 | WNW | 26.5 | 瞬时剂量 |
| 52 | 夏庄镇 | NNW | 29.0 | 瞬时剂量 |
| 53 | 俚岛镇 | N | 31 | 瞬时剂量 |
| 54 | 荫子镇 | NW | 33 | 瞬时剂量 |
| 55 | 沙窝岛村 | WSW | 32 | 瞬时剂量 |
| 56 | 崖西镇 | NNW | 35 | 瞬时剂量 |
| 57 | 大水泊镇 | NW | 35 | 瞬时剂量 |
| 58 | 侯家镇 | W | 42 | 瞬时剂量 |
| 59 | 张家产镇 | WNW | 41 | 瞬时剂量 |
| 60 | 埠柳镇 | NNW | 43 | 瞬时剂量 |
| 61 | 文登市 | WNW | 50 | 瞬时剂量 |
| 62 | 成山镇 | N | 48 | 瞬时剂量 |
| 63 | 龙须岛村 | NNE | 50 | 瞬时剂量 |
| 64 | 小河东村 | N | 1.7 | 瞬时剂量、TLD |
| 65 | 所前杜家村 | NW | 1.8 | 瞬时剂量、TLD |
| 66 | 季家村 | NNW | 1.8 | 瞬时剂量 |
| 67 | 南泊村 | SW | 1.9 | 瞬时剂量、TLD |
| 68 | 吉屯村 | NW | 4.8 | 瞬时剂量、TLD |
| 69 | 大岔河村 | WNW | 2.6 | 瞬时剂量、TLD |
| 70 | 北场村 | W | 3.5 | 瞬时剂量、TLD |
| 71 | 苑家村 | WSW | 4.3 | 瞬时剂量 |
| 71 | 后港头村 | NW | 5.5 | 瞬时剂量 |
| 73 | 东山街道 | W | 7.5 | 瞬时剂量、TLD |
| 74 | 沟王家村 | W | 8.0 | 瞬时剂量 |
| 75 | 古楼村 | WSW | 17.0 | 瞬时剂量 |

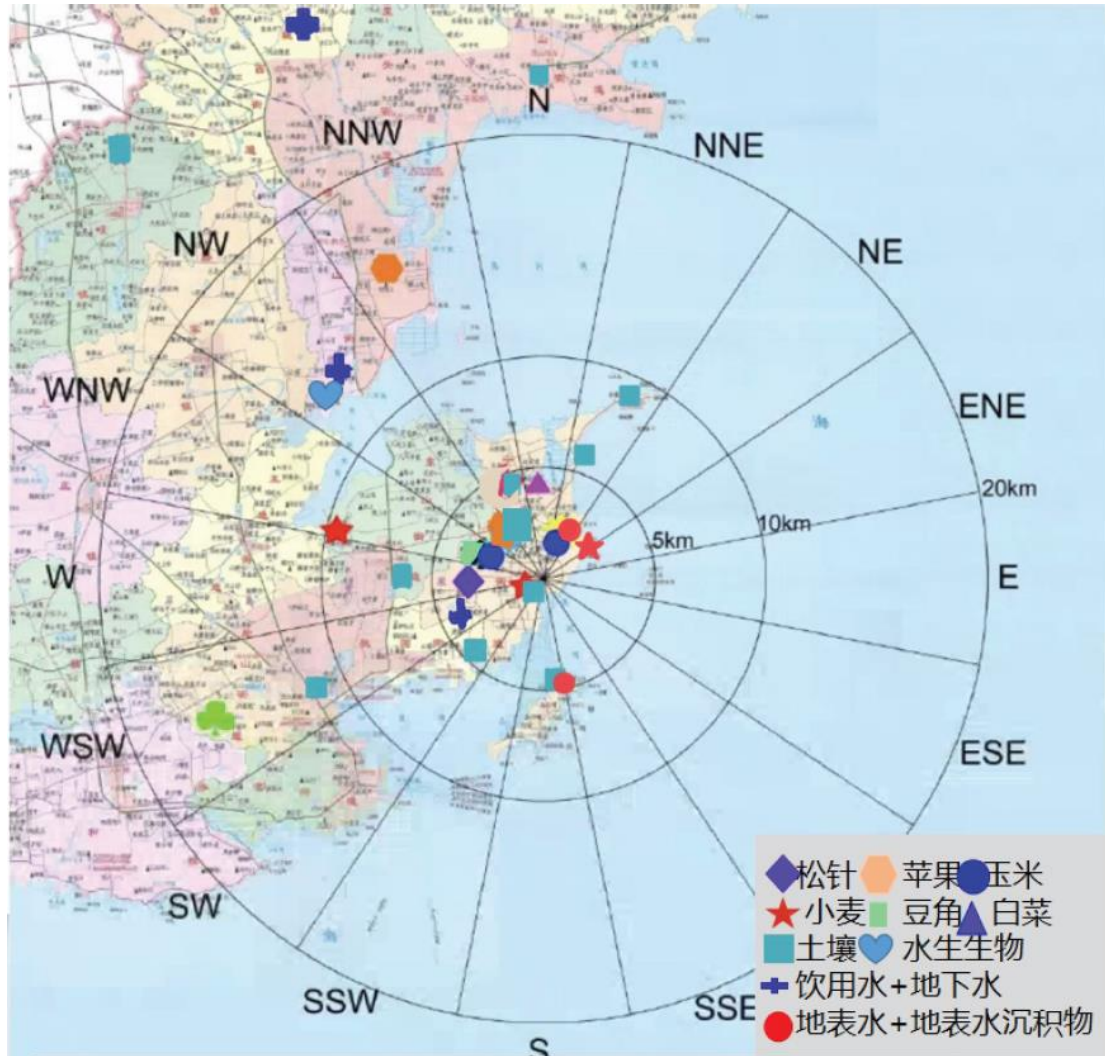
表 8.1-3 海水和海洋沉积物采样点位

| 序号 | 方位 | 距离 (km) | 备注 |
|----|-----|---------|----------------|
| 1 | N | 4.8 | 取海水和海洋沉积物 |
| 2 | NNE | 3 | 取海水和海洋沉积物 |
| 3 | NE | 2 | 取海水和海洋沉积物 |
| 4 | SSE | 2 | 取海水和海洋沉积物 |
| 5 | NNE | 7.5 | 取海水和海洋沉积物 |
| 6 | S | 6.5 | 取海水和海洋沉积物 |
| 7 | N | 48 | 成山镇, 取海水和海洋沉积物 |

注: 方位距离为相对于排水口的方位距离。

表 8.1-4 环境辐射监测各核素、方法汇总表

| 分析项目 | 对象 | 样品用量 | 分析方法（参考标准） | 测量时间 | 探测限 |
|------------------|-----------------------|-----------------------|---|---------|--|
| 总 α | 气溶胶 | 300m ³ | α 计数法 (HJ61《辐射环境监测技术规范》； EJ/T1075《水中总 α 放射性浓度的测定厚源法》) | 120min | 1.1E-5Bq/m ³ |
| | 沉降灰 | 0.25m ² *月 | | 120min | 1.1Bq/m ² ·月 |
| | 饮用水 | 1L | | 200min | 6.2E-3Bq/L |
| 总 β | 气溶胶 | 300m ³ | β 计数法 (HJ61《辐射环境监测技术规范》； EJ/T900《水中总 β 放射性测定蒸发法》) /HJ899《水中总 β 放射性的测定厚源法》) | 120min | 1.7E-5Bq/m ³ |
| | 沉降灰 | 0.25m ² *月 | | 120min | 2.1Bq/m ² ·月 |
| | 饮用水 | 1L | | 200min | 1.1E-2Bq/L |
| 氚 | 空气 | 8mL | 液体闪烁计数法 (HJ1126《水中氚的分析方法》) | 1000min | 1.0Bq/L |
| | 地表水、海水、地下水、 饮用水、降水 | 8mL | | 1000min | 1.0Bq/L |
| ¹⁴ C | 空气、生物 | 4g | 液体闪烁计数法 (EJ/T1008《空气中C-14的取样与测定方法》 GB/T37865《生物样品中 ¹⁴ C的分析方法氧弹燃烧法》) | 1000min | 0.09Bq/g碳 |
| ¹³¹ I | 空气 | 1000m ³ | γ 能谱分析法 (GB/T14584《空气中碘-131的取样与测定》) | 1440min | 5.2×10 ⁻⁵ Bq/m ³ |
| ⁹⁰ Sr | 沉降灰 | 0.75m ² *月 | 二-(2-乙基己基)磷酸酯萃取色层法 (EJ/T1035《土壤中锶-90的分析方法》) (HJ815《水和生物样品灰中锶-90的放射化学分析方法》) | 120min | 3.4E-2Bq/m ² ·月 |
| | 土壤、地表水沉积物、 海洋沉积物 | 100g | | 120min | 0.21Bq/kg |
| | 生物 | 10g灰 | | 120min | 1.0Bq/kg灰 |
| γ 核素 | 气溶胶 | 10000m ³ | GB/T11713《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》 | 1440min | ¹³⁷ Cs:6.7E-6Bq/m ³ |
| | 沉降灰 | 0.25m ² *月 | | 1440min | ¹³⁷ Cs:3.0E-2Bq/m ² ·月 |
| | 土壤、底泥、海洋沉积物 | 300g | γ 能谱分析法 (GB/T11743《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析法》) | 1440min | ¹³⁷ Cs:0.26Bq/kg |
| | 地表水、地下水、 饮用水、降水 | 20L | 蒸发制样、 γ 能谱分析法 (GB/T16140《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》) | 1440min | ¹³⁷ Cs:2.4Bq/m ³ |
| | 海水 | 100L | 二氧化锰吸附- γ 能谱分析法 (GB/T16140《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》) | 1440min | ¹³⁷ Cs:0.40Bq/m ³ |
| | 生物 | 50g灰 | γ 能谱分析法 (GB/T16145《生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析法》) | 1440min | ¹³⁷ Cs:1.8Bq/kg灰 |



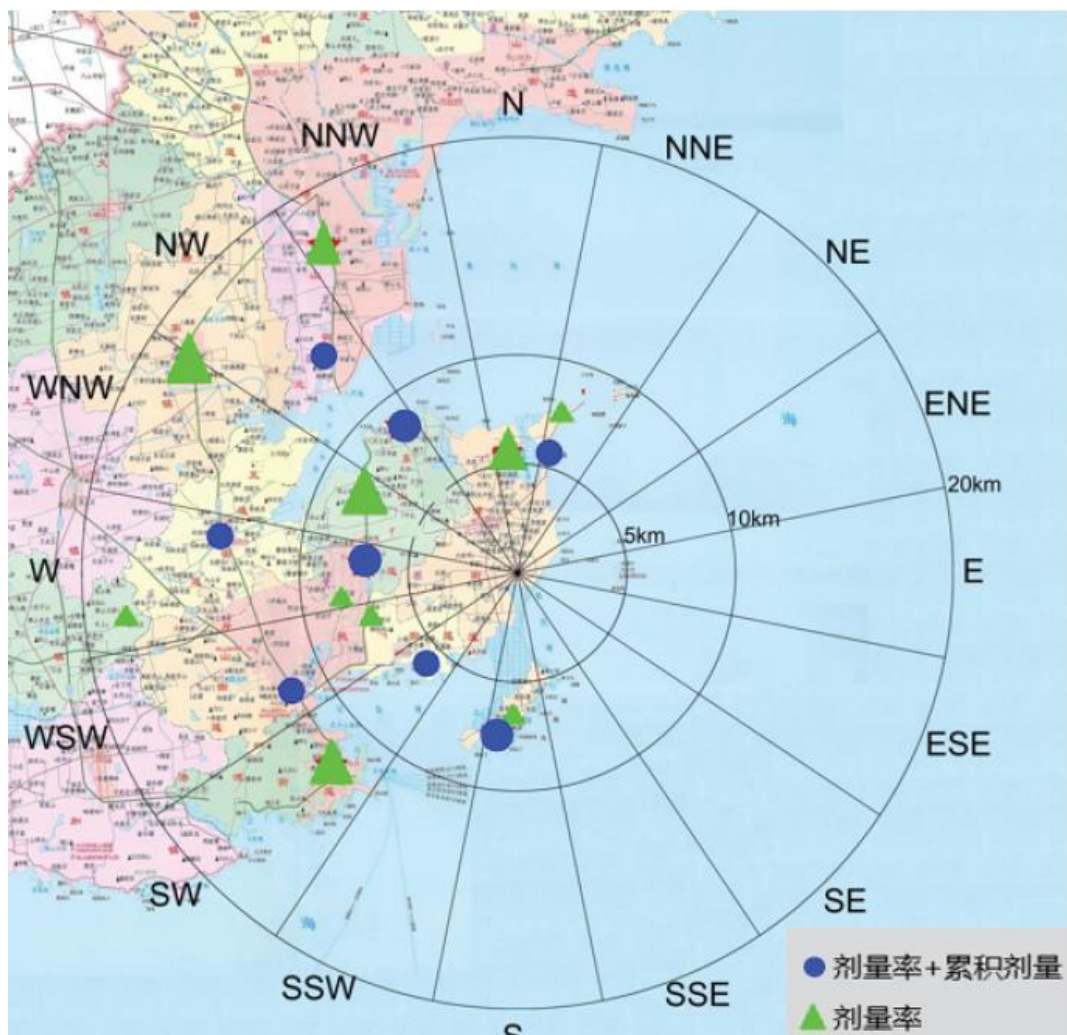
(除环境 γ 辐射、海水和海洋沉积物)

图 8.1-1 运行期辐射监测方案



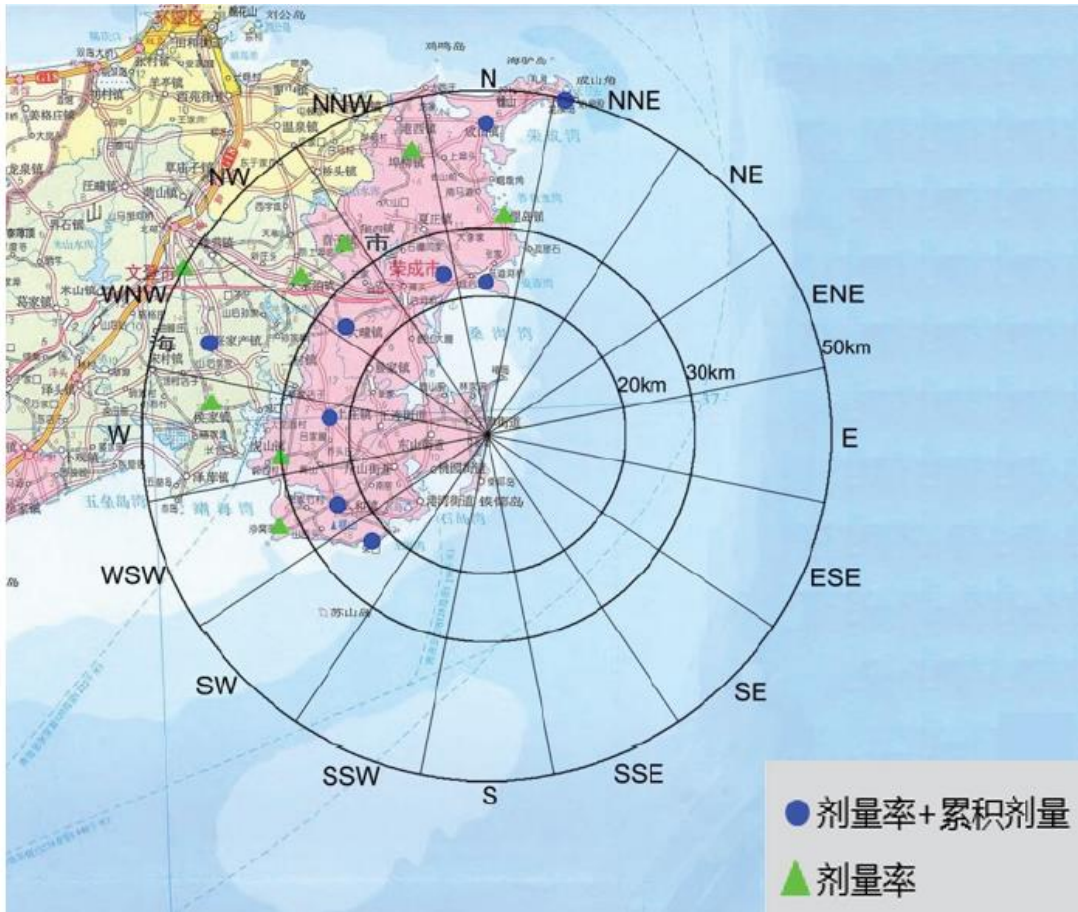
厂址半径 5km

图 8.1-2 环境 γ 辐射监测点位



厂址半径 5-20km

图 8.1-2 续 环境 γ 辐射监测点位



厂址半径 20-50km

图 8.1-2 续 环境 γ 辐射监测点位

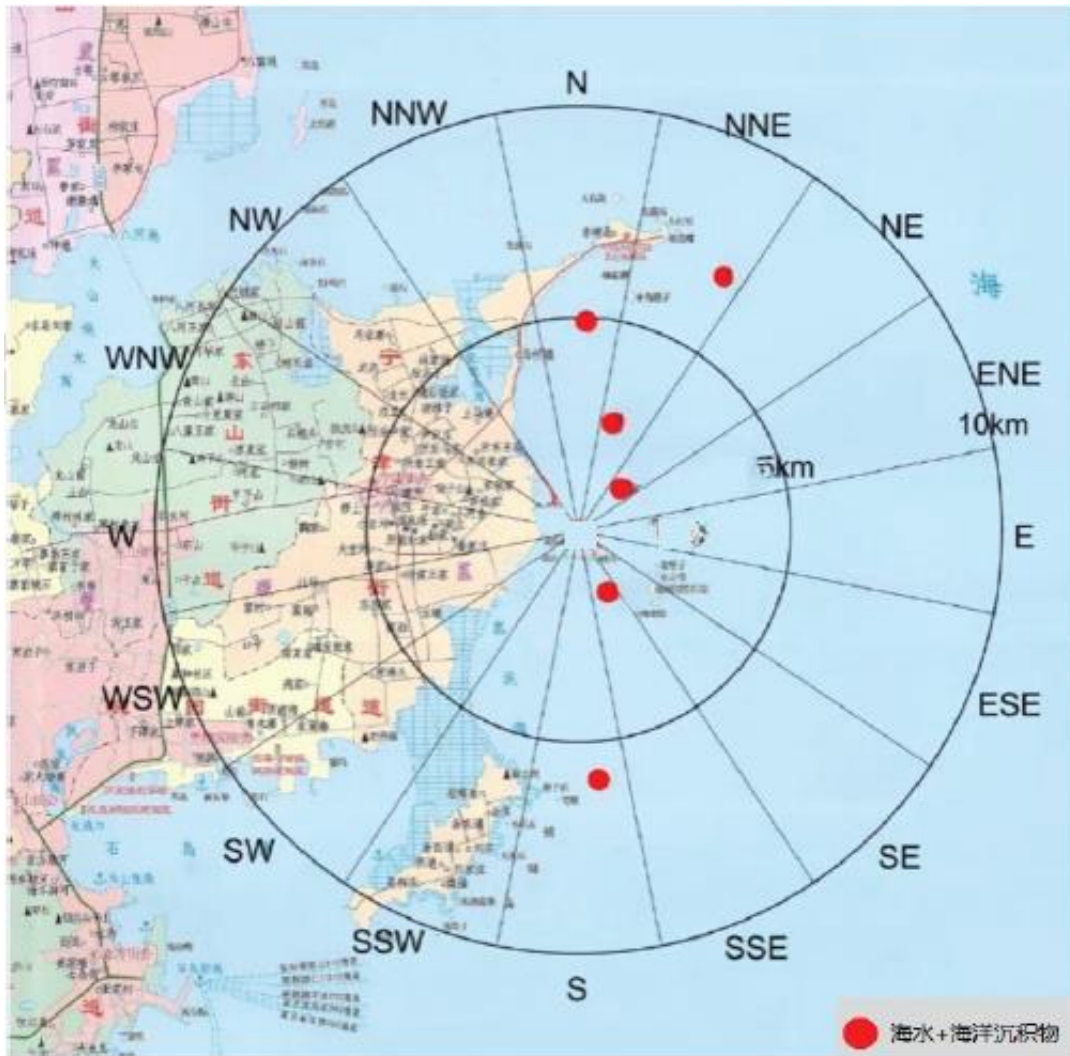


图 8.1-3 海水和海洋沉积物采样点位



注：1#、3#、4#巡测路线0.5km监测点位（-1）与图中2-1为重合监测点位；
 3#、4#巡测路线1km、1.5km、2km监测点位（-2、-3、-4）与图中2-2、2-3、2-4为重合监测
 点位。

图 8.1-4 陆上应急巡测路线

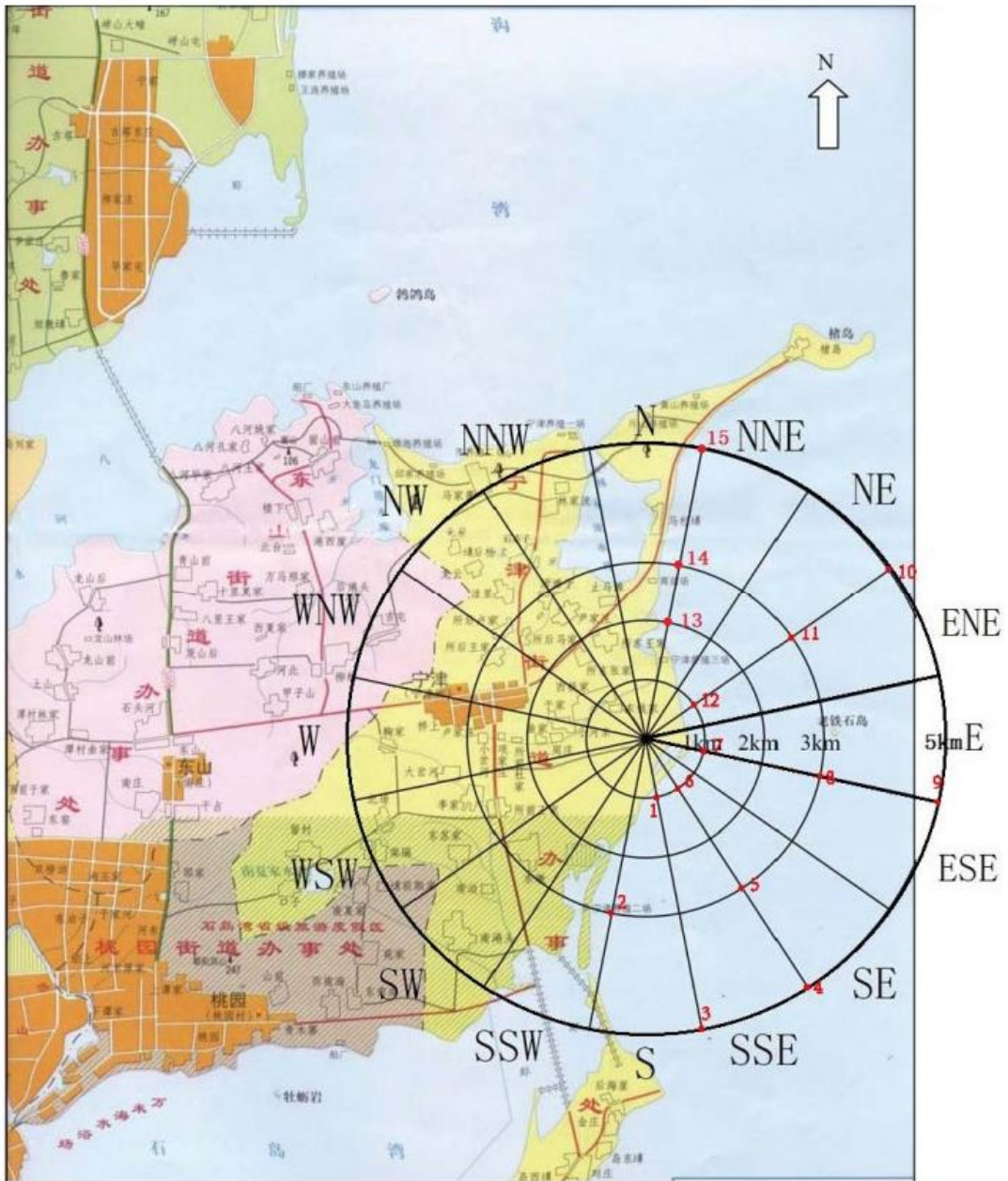


图 8.1-5 海上应急巡测路线

8.2 其他监测

8.2.1 热影响监测

本工程将在核电厂运行期间开展温排水监测，进行监测的主要目的是监测核电厂的温排水影响范围和程度和评估核电厂的温排水排放对厂址临近海域生态的影响。

本工程建设单位已委托相关单位编制获取运行前温排水影响范围内基础温度监测大纲，拟于2022年7月前完成运行前温排水影响海域基础温度监测。

本工程拟设置冷却水取水及排水温度连续监测设备。

本工程拟综合采用水体实际测量（包括航空测量和海上定点测量）、遥感测量等多种方式进行温排水影响范围的观测。遥感测量可利用热红外遥感水温反演进行测定，广东大亚湾核电站温排水水域曾采用多个时相的TM数据热红外波段影像进行水温反演；秦山核电厂曾采用航空测量温排水影响海域面积；定点测量可在核电厂排水口设置取样监测点，并在周围海域设置一定的站位进行定时温排水采集监测，温度测点的点位布置可参照厂址温排水的数、物模结果进行布设。

在进行水体实际测量时，应根据排放口处的水文条件合理布置监测点位，监测点位的布置应基本覆盖温升的包络范围，并着重考虑热扩散区。热扩散区的监测点位需综合考虑水体上、中、下层水温，其它监测点位在综合考虑排放方式和扩散距离后，可以只监测上层水温。

温排水的监测时间应覆盖至少一个潮周期，监测时刻应抓住高潮、低潮、涨急、落急等特定水流条件。监测次数应能够满足温排水影响后评价所需。

本工程运行后至少开展一次（夏季大、中、小潮）大范围 and 全潮程的水温测量，说明温排水实际影响范围。同时，采用同期水文、气象、温排水温升和流量数据进行数值模拟，根据实测结果修正数值模拟参数，建立适合本工程的温排水评价（预报）模型进行温升影响范围的后评价，也为后续机组温排水影响评价提供依据。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

主要对本工程排放的非放射性液态流出物开展常规监测。非放射性液态流出物监测包括排水口温度、水质理化参数、核电厂可能排放的化学物质的取样测量分析和生活污水排放前取样监测等。

8.2.2.1 循环冷却水及生产废水排放监测

监测点位为核电厂循环水取、排水口，其中取水口为对照点。

监测项目根据核电厂可能排放的化学物质种类，结合常规海水理化参数等确定，包括：

- pH 值、电导率、溶解氧：常规理化因子，取样频率：双周。
- 化学需氧量（COD）：取样频率：双周。
- 六价铬、总铬：取样频率：双周。
- 余氯：抗管道海生附着物用剂，工业、生活用水处理剂，取样频率：双周。
- 氨氮、联氨：常规岛化学加药系统的化学添加试剂，用于减少回路的腐蚀，取样频率：双周。
- 油类：润滑剂等，取样频率：季。
- 铁、镍：腐蚀产物，取样频率：季。
- 硫酸盐、钠：树脂再生产物，取样频率：季。
- 阴离子洗涤剂：淋浴水、洗衣水等，取样频率：季。
- 可溶性正磷酸盐：取样频率：季。
- 亚硝酸盐：设备冷却水系统中的抗腐蚀剂，取样频率：周。
- 悬浮物：按照《海水水质标准》（GB3097-1997）的要求增加，取样频率：周。
- 硼：一回路冷却水中添加试剂，用于功率补偿，取样频率：月。
- 锂：用于一回路冷却剂的酸度调节，取样频率：月。

监测点位布设示意图见图8.2-1。

8.2.2.2 生活污水排放监测

本工程产生的生活污水由生活污水处理设施处理并按照《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）中的一级标准处理达标后排放。

生活污水处理设施排放口布设监测点。监测项目包括悬浮物（SS）、化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD₅）、动植物油。监测频度为：除动植物油的监测频度为1次/季度外，其余监测项目为1次/月。

8.2.3 气象观测

气象观测系统包括1个102m的气象铁塔和1个气象地面观测站，气象观测项目包括：

- 气象铁塔：10m、30m、60m、80m、100m 五个高度处的风向、风速、温度。
- 地面气象观测站：风向、风速、温度、湿度、气压、雨量、总辐射、净辐射。

气象观测系统描述具体见2.4节。

8.2.4 水文观测

8.2.4.1 受纳水体水文观测

本工程核电厂运行期间，计划在本工程邻近海域采用海洋环境定点监测浮标进行海洋水文观测工作，海洋环境定点监测浮标定点连续自动监测，观测项目主要包括温度、湿度、气压、风速、风向、降水；水温、盐度、pH、浊度（三层）、溶解氧、水中油；表层流速、流向。海洋环境定点监测浮标位置拟位于取水口和排水口附近。

8.2.4.2 厂址区域地下水观测

地下水监测井布置范围是本工程厂区地下水可能受影响的区域。

地下水监测井点布设主要考虑本工程厂区地下水分布特征、含水层性质、地下水径流排泄特征以及本工程可能造成地下水污染的影响范围，主要布设在本工程厂区内环境敏感点及本工程厂区内地下水可能的污染源地点，监测井点的层位以可能受影响含水层为主。

根据本工程厂区水文地质条件、厂区总平面布置方案以及地下水监测目的，本工程共布置7个地下水监测井，图8.2-2。各监测井点的布置依据为：

（1）考虑到本工程运行后厂区地下水同期本底对比要求，在厂区北侧布置监测井W1，该井处的地下水不受主厂房、循环水排水管和SRTF等可能污染源的影响。

（2）本工程厂区内地下水流向自西北向东南方向排泄入海，结合厂区总平面布置方案，在主厂房区南北两侧布置监测井W2~W7，布点兼顾考虑SRTF和循环水排水管等可能的污染源位置以及环境敏感点。

厂区地下水监测井部分完成施工，部分处于施工状态，本工程投运前完成施工并投运。

8.2.5 生态监测

8.2.5.1 监测范围与点位

监测范围为本工程厂址附近海域，布点应符合近密远疏的原则。

8.2.5.2 监测项目

监测因子包括：

- 海水水质：水温、盐度、粪大肠菌群、溶解氧、pH、悬浮物、无机氮（硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮）、非离子氨、活性磷酸盐、活性硅酸盐、石油类、透明度、铜、铅、锌、镉、汞等。
- 海洋沉积物：沉积物类型、石油类、有机碳、汞、镉、铅、锌、铜、铬、砷、硫化物等。
- 海洋生物：粪大肠菌群、底栖生物、潮间带生物、叶绿素 a、浮游动物、浮游植物等。

8.2.5.3 监测频度

本工程投运后，每隔5年定期开展监测工作，监测时段为5月和8月，每个监测时段中在本工程厂址附近海域高、低潮位各进行1次监测。

8.2.6 噪声监测

本工程运行期间将开展厂界噪声监测，并在厂址附近的环境敏感点布设噪声监测点位。

8.2.6.1 监测范围与点位

沿本工程四周征地边界布设测量点，设在距核电厂主要噪声源（排水设施的取水口、厂区入口、开关站等）的最近的厂界外1m处，测量点距地面1.2m，并且距任一反射面距离不小于1m；所在征地边界处有围墙时，测点应高于围墙0.5m。

选择在环境敏感点东墩村、所前王家村、周庄各设置1个环境噪声监测点。

8.2.6.2 监测项目

包括昼间等效声级 L_d 、夜间等效声级 L_n 、最大A声级 L_{max} 和累积百分声级 L_N （ L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} ）。

8.2.6.3 监测频度

监测频度为每年2次，监测时核电厂发电负荷应大于75%。

厂界噪声测量时间分为昼间（06:00~22:00）和夜间（22:00~次日06:00）。

8.2.7 电磁环境监测

本工程运行期间将开展工频电磁场监测。

8.2.7.1 监测范围与点位

沿本工程四周征地边界布设测量点，其中至少8个测量点位于500kV变电站、220kV变电站四周区域，其余测量点沿核电厂边界布设。测量点设在核电厂厂界外（无围墙）1.0m处，离地面1.5m；或核电厂围墙以外，离围墙的距离为围墙高度的2倍，离地面1.5m。

选择在环境敏感点东墩村、所前王家村、周庄各设置1个电磁辐射监测点。

8.2.7.2 监测项目

测量厂界工频电磁场的电场强度和磁感应强度。

8.2.7.3 监测频度

厂界工频电磁场的监测频度为每年1次。

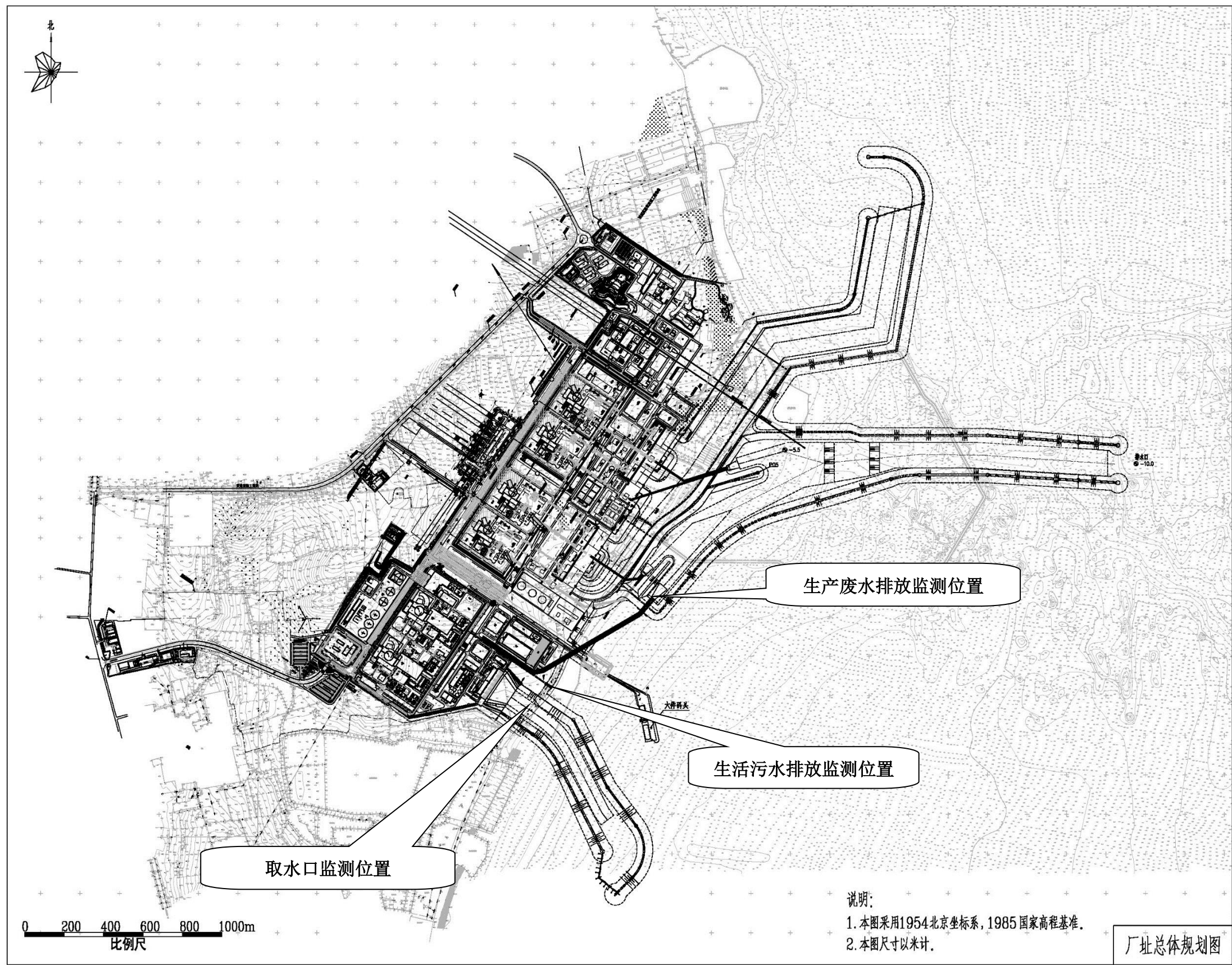


图 8.2-1 生产废水和生活污水排放监测位置示意图

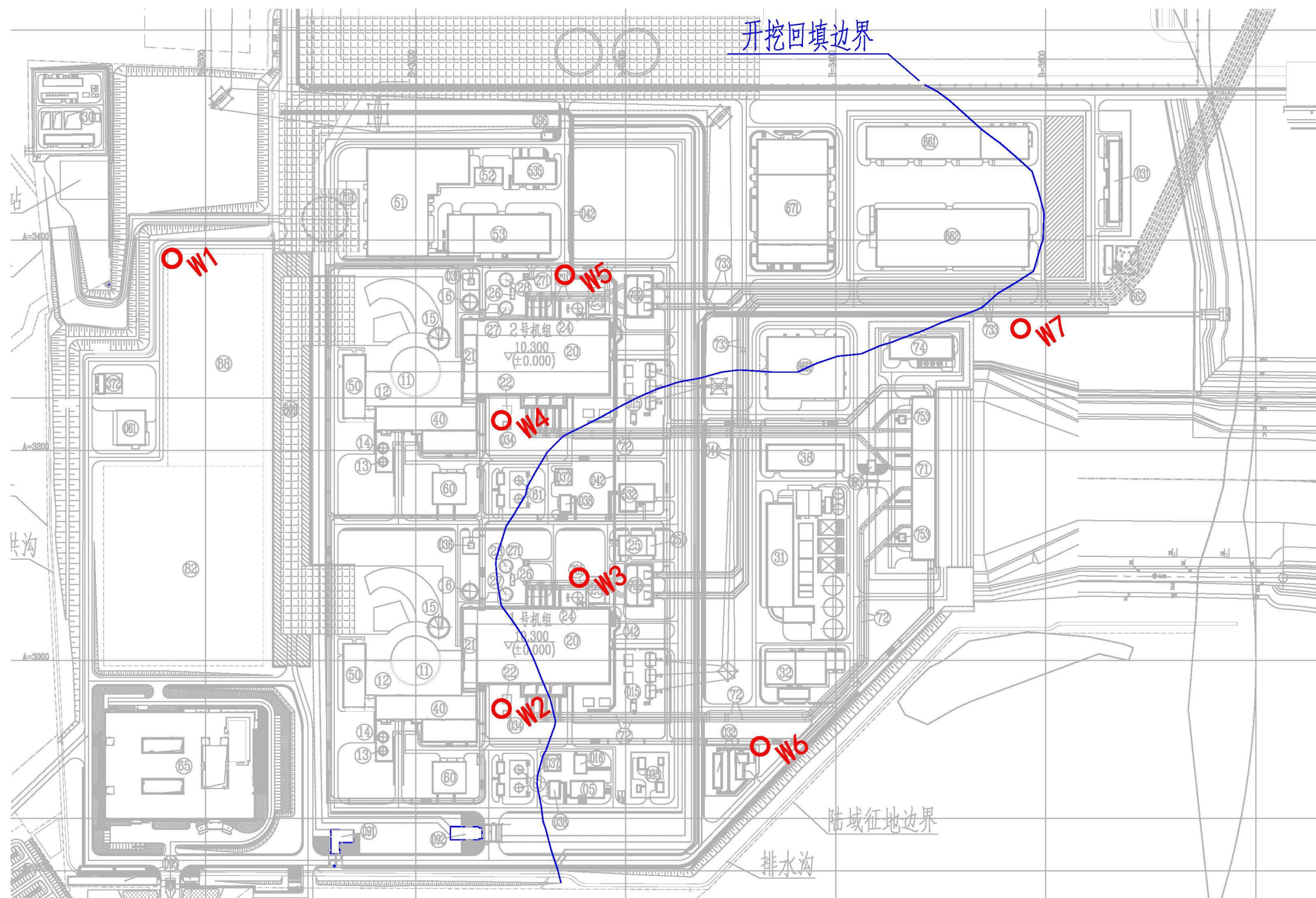


图 8.2-2 地下水监测井位置示意图

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

流出物实验室用于对核电厂的液态和气载流出物样品进行样品预处理和制备、 γ 核素分析、 α/β 活度测量等工作，以确定排放的液态和气载流出物的放射性水平，为核电厂流出物排放管理提供支持，并为编写核电厂放射性物质的年度排放报告提供数据。

本工程流出物和化学实验室是一幢地上二层、局部地下一层的钢筋混凝土框架-抗震墙结构建筑，为科学实验建筑。本建筑总长度为40.240米，宽度24.140米，建筑总高9.700米（室外地面至平屋面结构起坡点）；总建筑面积2032.26平方米，其中地上建筑面积约1866.20平方米，地下建筑面积约166.06平方米。抗震设防烈度：7度设防；屋面防水等级：I级；地下部分建筑耐火等级：一级；地上部分建筑耐火等级：二级。设计使用年限为50年。

8.3.2 环境监测系统

本工程核电厂气象和环境监测系统（MES）包括气象观测系统和环境监测系统两个分系统。气象观测系统见2.4节描述。

山东石岛湾厂址已批准建设华能高温气冷堆示范工程（1台200MWe高温气冷堆）和本工程（2台CAP1400机组）。华能高温气冷堆示范工程（以下简称高温堆）已建立了环境 γ 辐射自动监测系统，按照GB6249-2011关于全厂址统一环境监测的要求，本工程在高温堆环境 γ 辐射自动监测系统的基础上，开展本工程环境监测系统的设计和建造工作。

环境监测系统由辐射环境自动监测系统、废液采样站、环境监测车、环境监测站和环境监测网等部分组成。其中，环境实验室为高温堆与本工程共用设施，辐射环境自动监测系统由双方各自建设，并数据共享。

8.3.2.1 辐射环境自动监测系统

本工程所在厂址的辐射环境自动监测站包括8个已建监测子站和6个新建监测子站。6个新建监测子站中有3个厂内监测子站和3个厂外监测子站。每个监测子站包括部分或全部下述设备：

- 环境 γ 监测仪；
- 雨量计；

- 气溶胶及碘取样装置；
- 氚取样装置；
- ^{14}C 取样装置；
- 大气沉降灰和雨水收集器；
- 风向、风速仪；
- 通信设备；
- 供电设备。

辐射环境自动监测站的布置遵守与监督性监测站点互补的原则，保证核电厂周围16个方位的陆域都布设至少1个自动监测站房，并且在核电厂烟羽计划应急区范围内，核电厂各堆址主导风向的下风向、居民密集区、沿海方向增加布点。

辐射环境自动监测站的环境 γ 监测仪的量程范围为 $1\times 10^{-2}\mu\text{Gy/h}\sim 1\times 10^7\mu\text{Gy/h}$ ，能覆盖事故量程范围。此外，环境监测系统配置了足够数量的移动式或便携式的环境 γ 剂量率仪，在发生核事故时通过环境监测车快速布放在核电厂周围区域，从而保证现场监测数据的获取。

本工程设在各监测子站的环境 γ 监测仪采集的大气 γ 辐射信息通过有线加无线的方式实时传送到位于应急指挥中心三层应急机房内的环境监测网服务器，确保事故工况下的数据可用性。辐射环境自动监测站配置72小时UPS，自动监测中央站位于应急指挥中心内，由UPS电源和应急柴油机供电，确保事故工况下的供电可靠性。

8.3.2.2 废液采样站

本工程废液采样站在1、2号机组的引水管采样设备布置在循环水泵房，排水管道废液采样设备布置在循环水排水口处，共5套设备。

采样设备采集的样品将被送到环境实验室进行测量和分析。采样设备的失效报警信号将被传送至环境监测网。

通过对进水样品和排水样品中放射性核素的活度浓度和其他有关非放射性元素浓度分析结果的对比，可为核电厂对环境的排放评价提供部分依据。

8.3.2.3 环境监测车

本工程环境监测车内配置各种便携式仪表。在核电厂正常运行情况下，环境监测车主要用于对厂区及周围区域内的环境 γ 辐射水平进行巡测，对环境介质样品的总 α 、总 β 、总 γ 放射性活度进行测量以及进行 γ 核素分析，对各种被测对象的

α 、 β 表面放射性污染进行测量等。在核电厂发生事故情况下，环境监测车用作快速应急监测。环境监测车的测量数据可以通过车载计算机进行处理，然后通过车载通信装置传输至本工程应急指挥中心内的环境监测网服务器以及高温堆的环境 γ 辐射自动监测系统。

8.3.2.4 环境监测站

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和GB6249的要求，在核电厂运行期间，营运单位应当对核设施周围环境中所含的放射性核素的种类、浓度进行监测，并对监测数据及时分析和评价，定期上报相关生态环境行政主管部门。

为了实现上述功能，本工程核电厂设置环境监测站，属于环境监测站与会议厅子项的一部分。在核电厂正常运行期间，环境监测站主要对核电厂周围的环境样品进行测量分析，为评价核电厂对环境的影响提供依据。在核电厂发生事故的情况下，可用作对核应急取样样品进行测量分析的实验场所，为核电厂的应急计划提供必要的事事故监测手段。

环境监测站与会议厅位于崱山核电基地，距离本工程约9.5公里。环境监测站的选址避开了主导风向（SSW）的下风向，位于本工程核电厂烟羽应急计划区的边界处。

1) 环境监测站功能

环境监测站与会议厅子项由环境监测站、会议厅两个部分组成。会议厅主要供崱山教育基地内开展较大规模的会议或集会，环境监测站作为核电厂辐射环境监测体系的重要组成部分，主要功能如下：

- 通过介质采样车对核电厂所在区域的空气、陆生生物、水生生物、食物、土壤、水、沉降灰以及核电厂取排水等环境样品进行采样；
- 配置烘箱、电炉、马弗炉等设备，对采集的环境样品进行预处理和样品制备（干燥、碳化、灰化等）；
- 配置高纯锗 γ 谱仪，低本底 α/β 测量仪，低本底液闪计数器等仪器设备，对环境样品进行放射性物理测量；
- 配置各种仪器、化学试剂等对环境样品进行放射性化学分析；
- 配置原子吸收光谱仪、分光光度计等设备，对环境样品进行非放射性测量；
- 在子项内的“环境监测中央站 1”房间内设置一台环境监测网的远距离

显示和打印终端，用于对环境监测网服务器（位于本工程应急指挥中心内）中的气象和环境数据进行显示、打印和储存。

2) 环境监测站辐射监测仪表配置和主要参数

环境监测站的仪器设备由辐射测量仪器与化学测量和分析仪器组成。

环境监测站配置了两辆介质采样车，用于环境样品的采样。

3) 环境监测站建筑和仪表布置

8.3.2.5 环境监测网

环境监测网是一个局域网，由服务器、工作站、远距离显示和打印终端、交换机、网关、打印机及相应的操作系统和应用软件等组成，主要用于采集核电厂的气象观测数据和环境监测数据，并将这些数据储存在数据库内，以实现进行集中管理。

环境监测网的信息安全等级为第2级，环境监测网向DDS发送数据时，数据应经过反向认证隔离装置处理。

环境监测网的具体功能如下：

- 实时接收从1号机组时钟系统发出的时钟信息，校准本网络的时钟。
- 环境监测网从下述系统或设备中采集数据，并将这些数据储存在服务器的数据库文件中：
 - ◇ 气象观测系统：环境监测网从气象观测系统自动连续获取石岛湾厂址的气象要素数据；
 - ◇ 废液采样站：5台采样设备的失效报警信息；
 - ◇ 环境监测车：环境监测车上的环境 γ 监测仪对厂区及周围50km范围内的环境 γ 辐射水平进行巡测的测量数据和车载卫星全球定位系统的定位数据；
 - ◇ 新建辐射环境自动监测站：获取本工程新建的6个监测子站的全部测量数据、报警信息、工作参数和设备失效信息；
 - ◇ 高温堆环境 γ 辐射自动监测系统：高温堆已建的8个监测子站的大气 γ 辐射信息、报警信息、失效信息。
- 环境监测网将本工程新建的6个监测子站的大气 γ 辐射信息、报警信息、失效信息同步至高温堆环境 γ 辐射自动监测系统。
- 环境监测网的数据通过规定的接口传送到应急指挥中心的信息系统。

- 环境监测网的数据送往各反应堆的 DDS 系统，供其他系统使用。
- 环境监测网在环境实验室内设置一台远距离显示和打印终端，用于对环境监测网服务器中数据进行显示、打印和储存。
- 环境监测网具有面向责任人的实时报警功能，以便在无人值班时责任人能及时了解系统的运行是否正常。
- 环境监测网工作站可对环境监测网服务器数据库中的实时值、历史值、报警信息和各仪表的工作参数等数据进行处理，并能以图示或表格的形式进行显示和打印等。

8.3.2.6 监督性监测系统

1) 系统组成

石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统(以下简称“监督性监测系统”)由外围辐射环境监测系统和流出物监测系统组成。

2) 外围辐射环境监测系统

外围辐射环境监测系统由监测子站和前沿站构成，主要用于对环境辐射水平及相关气象参数、样品中放射性物质等进行监测和采样分析，系统设计兼顾核事故应急环境辐射监测。外围辐射环境监测系统信息送往前沿站的数据汇总中心和省级数据汇总点。

(1) 监测子站

监测子站配置辐射监测设备、气象测量设备、采样设备等，用于连续实时地监督核电厂周围环境中的辐射水平和变化趋势。当核电厂发生事故时，监测子站的测量数据可以为后果评价以及场外应急决策提供依据。

根据山东石岛湾核电厂址现场勘查的实际情况，在厂址周围16个方向10km范围内，NNE、N、NNW、NW、WNW、W、WSW、SW、SSW、S共10个方位角有陆地，另外6个方位角内为海域，根据监督性监测系统站址选择的原则和要求，结合山东石岛湾核电厂址不同核电机组环境影响评价“三关键”、厂址周边的人口、气象、交通等环境条件，选择高温堆场区边界、楮岛村、马兰耩村、林家流、耩后杨家、东钱家村、宁津街道办、东山街道办、王连街道办(前沿站)、高温堆施工生活区、东墩村和吕家庄12个点位作为监测子站站址。其中场区边界、东钱家村和东墩村的监测子站拟与核电厂环境 γ 辐射自动监测系统的监测点共址建设。

在选址过程中,各点位通过现场踏勘,均选择在地势平坦的地方,远离低洼、陡峭地势以及河流、水塘等水体,避免降雨、洪水、泥石流等对监测子站可能产生的影响。同时也对各点位的详细情况进行了了解,站址所选位置均未发生过相关自然灾害。

(2) 前沿站

前沿站内设置环境实验室、数据汇总中心,用于对核电厂周围样品采集、处理、测量分析的前沿工作场所和对监测子站及流出物在线监测数据进行汇总、处理、存储、显示以及对外传输的场所。

山东石岛湾核电厂辐射环境现场监督性监测系统前沿站位于荣成市王连镇原粮站,位于石岛湾核电厂W方向,距离石岛湾核电厂14.3km,前沿站是核电厂周围样品采集、处理、测量分析前沿工作场所,流出物实验室与前沿站共址建设。

前沿站场址形状似L型,长约133米,其宽度,长边约110米,短边约73米。该场址西侧为医院及回收站,东侧为幼儿园,北侧和南侧为一般工业厂房;其中较高的建筑(7层)分布在前沿站的西侧;基地南北两侧均有市政道路,可设置两个对外出入口,即南侧和北侧可各设置一个对外出入口。

前沿站内子项设置包括前沿站实验室、流出物实验室、车库和门卫值班室等建筑,以及标准气象观测场和监测子站(MS12,属于监督性监测系统)。

2) 流出物监测系统

流出物监测系统由流出物在线监测系统和流出物实验室构成,实现对核电厂释放到环境中气载、液态流出物进行在线连续监测和抽样监测的功能。

(1) 流出物在线监测系统

流出物在线监测系统共用核电厂自行实施的流出物在线连续监测仪表,再通过核电厂的核数据链服务器与独立配置的数据传输设备,将监测仪表的测量数据传输至位于前沿站的数据汇总中心和生态环境部现场监督单位。数据传输协议满足《辐射环境自动监测系统数据传输协议规范》(国环辐[2014]6号)的要求。

流出物在线监测系统将流出物在线监测仪表的测量数据传输至位于前沿站的数据汇总中心和生态环境部现场监督单位,在本工程应急指挥中心设置有流出物在线监测数据服务器、工作站和网络通信设备。

流出物在线监测系统主要完成下述功能:

- 获取各机组(1台高温气冷堆核电机组和2台CAP1400压水堆核电机组,

预留后续压水堆核电机组)流出物在线监测数据的实时值;

- 具有本地数据展示、日志和报表功能,可动态显示系统的实时运行状态和设备状态;
- 含超阈值报警功能,当发现异常监测数据时可自动识别;
- 具有远程数据传输功能,将获取的数据通过有线加无线的方式传输至前沿站的数据汇总中心与生态环境部现场监督单位,数据传输频率不低于1次/分钟;
- 具有就地存储三个月监测数据的功能,当本系统与监督性监测网或环保部现场监督单位发生通信中断,可在通信恢复后,将丢失的数据重新发送;
- 配置相应的数据安全措施对传输的数据进行加密,确保数据传输的安全可靠;
- 配置 UPS 不间断电源,以保证在正常供电失效时,流出物在线监测系统可正常工作 2 小时。

(2) 流出物实验室

流出物实验室是石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统前沿站的一栋建筑。位于石岛湾核电厂W方向,距离石岛湾核电厂14.3km的王连街道办事处原粮站。流出物实验室(与前沿站共址建设)为一栋两层建筑,对核电厂释放到环境中的气载、液态排放物进行抽样监测,并承担事故时应急样品的分析。

8.4 质量保证

本工程正常运行情况下需要开展流出物和环境监测，以保障公众的安全，增加公众对本工程的信心，确保本工程的运行对环境不会造成不可接受的影响。因此流出物和环境监测质量保证是至关重要的，其目的是通过有计划/system行动，对监测过程进行全面控制（如监测过程的组织管理，参与人员的素质要求与岗位培训，仪器设备的管理与维护，样品采集布点与频度的设计，分析过程的质量控制，监测数据的记录、复核与审核等），使测量结果具有适当置信度，保证测量结果的可信性、有效性和可比性。

为做好环境监测的质量保证工作，建设单位制定了《环境监测站质量管理》。

流出物和环境监测的质量保证计划依据下列法规：

- 《环境核辐射监测规定》（GB12379-1990）
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-1989）
- 《电离辐射监测质量保证一般规定》（GB8999-1988）
- 《核设施水质监测采样规定》（HJ/T21-1998）
- 《气载放射性物质取样一般规定》（HJ/T22-1998）
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
- 《水质采样样品的保存和管理技术规定》（HJ493-2009）
- 《水质采样技术指导》（HJ494-2009）
- 《水质采样方案设计技术规定》（HJ495-2009）
- 《核电厂质量保证安全规定》（HAF003-1991）

8.4.1 质量控制

1) 样品质量控制

- 采集样品时需满足相应的规范要求，符合采样规程。取样后，需及时张贴对应的样品标签，记录和标识完整、清晰。
- 采集样品量需满足测量的需求，包括质量控制样品和备样。质量控制样品包含平行样品、加标样品和空白样品。
- 采集平行样品的点位数量不低于总数的 10%。当采样点位较少时，采集平行样品的点位数量不得少于 1 个。

- 实验室应明确规定不同类型留样的保存期，保留一定比例的留样备查。
- 样品运输过程中需保证包装状态良好，以免运输过程中发生破损或洒漏。
- 样品交接过程中应按照样品类别和放射性等级分别放置，防止交叉污染，由对应实验的工作人员负责样品交接。
- 当样品是指一次观测或者是一个定性或定量的观测值时，如现场监测、 γ 辐射连续测量等，需严格遵循相关标准和规范等要求。使用前需检查测量设备本身状态，必要时进行校准或核查，保证设备性能可靠。监测人员应参与现场监测全过程，如实填写测量记录。
- 样品在采集、运输、流转、分析、贮存等过程，需满足设施环境的质量控制要求（如环境温度、湿度等）。
- 保留样品质量控制中所产生的各类记录文件等。

2) 仪器设备的质量控制

- 实验室仪器所使用的标准物质，需为有证标准物质或经过国家计量部门检定合格。
- 采用与监测目标相符的测量仪器设备，定期进行检定或校准，确保仪器设备使用有效。
- 应制定测量仪器设备的期间核查、泊松分布检验等相关操作规程，并以此开展相应的质量控制措施。
- 各种计量器具需进行定期维护、期间核查和稳定性控制，使其计量学特性维持在规定限度内。
- 仪器部件维修后，需保存相关的仪器维修记录，如有必要，重新检定或校准，或通过其他方式进行性能检验。
- 分析加标样品的仪器设备或器皿等专用，应进行标记。
- 保留仪器设备质量控制中所产生的各类记录文件，包括不限于《仪器设备校准记录表》、《仪器设备维护保养记录表》、《仪器设备期间核查记录表》等。

3) 分析测量中的质量控制

- 样品的预处理、分析测量方法必须有完备的程序文件，应采用标准方法或经过鉴定和验证的方法。严格遵循程序文件开展分析测量。
- 分析测量过程中应注意防止样品之间的交叉污染，依照监测目标对实验

室进行分区使用，禁止在实验室内开展不相关、不配套的实验。

- 分析过程中应准确配置载体和标准溶液，并确保在有效期内使用。对于开封试剂，应设置开封标签，标明使用有效期，确保不使用过期或不合格产品。
- 为了评定分析测量过程中产生的不确定度以便了解测量结果的分散性，在条件许可情况下应多分析测量质量控制样品。
- 对每个样品进行测量都要有足够的精密度，一般测量的相对标准偏差应控制在 5%-10% 左右；

3) 质量控制样品的分析要求

- 分析测量的每种质量控制样品数不低于分析测量总样品数的 10%，而且应该均匀地分布在每批样品中。若测量方法没有规定，平行样测量的相对偏差一般控制在 15% 以内，加标回收率一般应在 85%-115% 之间，参考样品测量值的 $|En|$ 值应不大于 1。
- 开展 ^{90}Sr 、 ^{131}I 等放化分析的环境样品（生物、土壤、沉积物、海水和牛奶）100% 作平行样分析。
- 开展 γ 谱核素分析的环境样品（生物、表层土、海洋沉积物、海水等）复检率 $\geq 15\%$ 。
- 其他监测项目需根据实验室内部质量保证计划、质量保证核查计划等开展相关质量控制样品的分析。

4) 数据处理质量控制

- 每个样品从采样、预处理、分析测量到数据处理过程需有清楚、详细、准确的记录，确保原始记录的完整性、充分性和可追溯性，安全储存必要的纸质、电子记录。
- 原始测量数据和监测记录，需有记录人和复核人签字确认，不能为同一人。经审查签字后，将数据和记录及时归档保存。
- 每年对电子计算表格的计算结果进行验证和检查，确保满足数据要求后方可使用。
- 对于测量检出的异常值，需及时向实验负责人报告，进行核查、复测、分析原因。异常值的剔除、修正等处理原因，应予以记录，以备查询。
- 保留分析测量质量控制中所产生的各类记录文件，包括不限于原始记录、

监测报告等。

8.4.2 质量管理

1) 组织机构

建立合适的辐射监测机构并实施管理是流出物和环境监测质量保证的重要因素。对管理和实施质量计划的人员设置及其职责、权力应有明确规定。

2) 人员的资格和培训

- 监测人员需熟悉有关生态环境保护和环境监测的法规和标准。放射性分析的监测人员需掌握辐射防护基础知识和放射性环境监测技术。
- 监测人员应经过培训、考核合格后，授权（持证）上岗，方能正式开展实验，出具有效测量结果。
- 不定期通过专业技术培训、实验监督指导、内部比对、盲样分析等方式，不断提高监测人员岗位技能和专业水平，确保监测人员达到并保持与其承担的工作相适应的水平。
- 保留人员资格与培训中所产生的各类记录文件，包括不限于《环境监测站授权申请书》、《环境监测站授权考评表》、《环境监测站授权书》等。

3) 外部质量控制

- 尽可能参加国内外机构组织的能力验证、测量审核、实验室之间比对等活动，比较鉴别本实验室的测量误差是否在合格范围内，从中发现可能存在的系统误差，及时采取措施加以改进，确保测量的准确性。
- 加强信息交流，关注国际、国内有关监测标准、规范、方法和理论概念的变化，及时使用国家和行业新的监测标准和规定。
- 加强与地方环保部门的联系，开展技术交流、文件交流等。
- 必要时可向专业监测单位进行技术咨询，外部送检部分环境样品。

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

本工程规划在山东石岛湾核电厂址建设2台CAP1400压水堆核电机组。2台CAP1400压水堆核电机组的额定功率达到了3068MW，按80%的负荷因子、年利用7000小时计算，扣除厂用电后，正常年份售电量为200.8亿千瓦时。

按山东省脱硫脱硝除尘燃煤机组标杆上网电价0.3949元/kWh测算，本工程的正常年份销售收入（不含税）为70.27亿元。本工程2台CAP1400压水堆核电机组的设计寿命为60年，在其整个商业运行寿期内，将取得显著的经济效益。

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

9.1.2.1 对周边环境的利益

本工程给环境带来的间接效益主要来自于其替代燃煤发电带来的减排效应，煤炭燃烧的主要污染物是CO₂、SO₂、NO_x以及烟尘等。本工程的建成可有效替代燃煤机组，大量减少CO₂排放量，并缓解酸雨现象。

按照CO₂减排因子为800克/kWh考虑，本工程投产后正常年份可实现CO₂减排1720万吨，CO₂减排效益按15元/吨计算，正常年份内CO₂减排可实现经济效益约2.58亿元。

9.1.2.2 对关联产业的利益

本工程投资建设对相当多产业形成了直接和间接拉动。根据国务院发展研究中心产业经济研究部所作测算，1元的核电建设投资，对关联产业的拉动作用如下：一是对42个行业门类中的37个行业产出的拉动作用超过0.01元；二是对通用、专用设备制造业等14个行业产出的拉动作用超过0.1元。核电生产运营也对相关产业产生较强的拉动，1元的核电产出将拉动主要行业的产出增长为：石油加工、炼焦及核燃料业0.11元，农业0.10元，化学工业0.08元，金融保险业0.08元。由此可见，关联面较大的核电是拉动我国经济增长、促进经济结构优化与升级的难得的驱动项目。

9.1.2.3 对区域经济的利益

本工程能够推动和促进地方经济的发展，本工程对地方财政收入的影响主要

来自于税收，包括增值税、城市维护建设税及教育费附加等，本工程投产后年均贡献7.40亿元左右的售电销售税金及附加，以及年均约5.76亿元的所得税。除此之外，本工程能够为地方创造大量的就业机会，不仅在建设期需要大量的不同层次的劳动力，而且运行期间也能直接或间接的提供大量的就业岗位。

9.1.2.4 对社会发展的利益

本工程投产后，核电厂职工的货币购房和生活消费等，将促进当地的房地产业、零售业、通讯、教育、医疗卫生及其他市政设施和社会福利事业的发展，繁荣当地经济。核电厂职工受教育水平和文化水平较高，在融入地方的过程中，也会产生积极的影响，带动整个社会发展水平的提高。

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.1.1 工程建设的经济代价

根据本工程初步设计概算，本工程工程建成价总投资折人民币4758262万元（其中人民币部分4690852万元，外币部分9531万美元），建成价单位投资15509元/千瓦（折2193美元/千瓦）。

9.2.1.2 工程运行的经济代价

本工程并网投入商业运行后，运行期间的经济代价包括：基本折旧费、摊销费、核燃料费、大修理费、运行维护费、核后处理费、退役基金、财务费用和管理费用等。

经测算本项目计算期平均发电成本为0.244元/千瓦时。

9.2.1.3 环境代价

本工程项目工程建成价总投资为4758262万元，核电厂主要环境保护设施及相关投资为123951万元，占总投资比例为2.60%。本项目的辐射环境现场监督环保费用已含在本工程总的环保费用内，见表9.2-1，其中核电厂辐射环境现场监督站的费用投入为2927万元。

本工程设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量检测系统、屏蔽防护及应急设施等，以控制并确保核电厂在正常运行和事故期间向环境释放的放射性物质低于国家标准，从而保障电厂工作人员和周围居民的安全。

为达到保护环境及人身安全的目的，必须对放射性三废进行严格的治理。因

此，核电厂专门设置了放射性废液、废气和固体废物处理和贮存设施，尽可能降低放射性废物对公众的照射。

具体的监测和应急措施包括：

1) 环境监测设施：对核电厂运行期间的环境状况进行监测，同时为检验放射性废物处理系统是否满足要求提供对照测量，包括：辐射监测设备、数据采集及试验仪表、气象设施、保安和放射性监测等。

2) 流出物监测设施：对核电厂运行期间的气载和液态流出物进行监测，用于测量流出物中放射性物质的种类和数量，为判断核电厂放射性排放是否满足国家标准限值或运行限值提供依据。

3) 应急设施：核电厂除考虑正常运行情况下的环境保护和人身安全外，还考虑了在事故状态下人员的紧急疏散和医疗措施。

9.2.2 间接代价

9.2.2.1 交通运输问题

本工程的运输包括施工期间设备、大型设备、建筑材料的运输；运行期间的换料、乏燃料、固体废物运输；正常的人员进出等，其运输量非常大，不可避免增加当地的运输负担。

为解决本工程建设和运行期间的运输问题，采取以水运为主，陆运为辅的运输方式。在陆运方面投入一定量的资金用于厂外公路的建设，包括新建、改造道路及修建桥梁。此外专门开辟应急道路。

9.2.2.2 工程建设对当地市政建设设施产生的影响

本工程的建设和运行，使厂址所在地区的人口数量有所增加，这势必造成医疗、学校、商业和基础设施如道路、供排水、供热等市政工程和生活服务设施的紧张局面，加重了当地政府的负担。

9.2.2.3 规划限制区产生的影响

山东省政府出具《山东省人民政府关于设置荣成石岛湾大型先进压水堆核电站规划限制区的批复》（鲁政字[2013]101号），同意设置半径5km（以反应堆为中心）的规划限制区，要求严格控制规划限制区内人口的机械增长进行控制，规划限制区内的新建和扩建的项目加以引导或限制。因此，规划限制区的设置对当地的流动人口等的控制及部分新、扩建的项目（例如化工类项目）的规划建设造

成一定影响，但通过合理引导、预先规划及多方沟通，可以做到本工程建设与当地的发展规划相容并互相促进。

第十章 结论与承诺

10.1 核电厂建设项目

大型先进压水堆核电站重大专项 CAP1400 示范工程位于山东省威海市所辖荣成市石岛湾镇宁津所街道办事处东南。本工程西北距烟台市约 120km，西北距威海市约 68km，西北距荣成市约 23km，西南距山东海阳核电厂址约 105km。

本工程是在山东石岛湾核电厂址已批准建设的 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组基础上，再建 2 台 CAP1400 压水堆核电机组。同时，山东石岛湾核电厂址预留了后续核电机组的扩建场地。

本工程是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020）》确定的 16 个重大科技专项之一，是我国建设创新型国家的标志性工程之一。2008 年 2 月 15 日国务院第 209 次常务会议审查并原则通过了“大型先进压水堆核电站重大专项总体实施方案”。大型先进压水堆核电站重大专项示范工程是在消化、吸收、全面掌握以非能动技术为标志的第三代核电技术 AP1000 基础上，开发的具有我国自主知识产权、更大功率的非能动大型先进压水堆核电厂示范工程。

本工程厂址半径 5km 范围内无万人以上城镇。厂址半径 15km 范围内无十万人以上城市。厂址半径 10km 范围内的固定和移动危险源不会对本工程的建设与安全带来影响。厂址所在地的土地利用规划为城乡建设用地中的允许建设区。本工程周边环境与本工程建设前相比无较大变化。

10.2 环境保护设施

本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组的放射性气体废物处理系统（WGS）、放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性固体废物处理系统（WSS）、厂址废物处理设施（SRTF）等一并构成了完整的放射性三废处理系统，其设计性能满足本工程预期放射性废物处理的要求。本工程对非放射性污染物的处理也采取了相应的环保设施及措施，如生产废水处理设施、生活污水处理设施、危险废物贮存设施、生活垃圾收集措施等，以确保本工程运营过程中产生的非放射性污染物处理达标，处置规范。本工程同时设置了环境辐射与气象观测系统。

1) 放射性气体废物处理系统（WGS）用于接收系统运行期间产生的含氢气体和放射性气体，并对其进行处理和排放，该系统采用活性炭延迟床吸附衰变工

艺进行放射性废气的处理。本工程每台CAP1400压水堆核电机组设置一套放射性气体废物处理系统（WGS），该系统包括1台气体冷却器、1台气水分离器、1台活性炭保护床和3台活性炭延迟床。

2) 放射性液体废物处理系统（WLS）用于控制、收集、处理、输送、贮存和处置正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，该系统采取过滤吸附、化学絮凝、离子交换的方式来实现放射性废液的处理。本工程每台CAP1400压水堆核电机组设置一套放射性液体废物处理系统（WLS），该系统在处理放射性废液前设置2台流出液暂存箱接收脱气后的反应堆冷却剂、放射性地面疏水、设备疏水和辅助厂房地坑收集水以及放射性固体废物处理系统的过剩排水，放射性废液经由过滤器、化学絮凝处理装置、深床过滤器和5台离子交换床处理。化学废液收集在化学废液箱，需要处理时将其送入SRTF内处理。洗涤废液收集在洗手废液箱，通常不作处理直接排放。

3) 本工程放射性固体废物处理系统（WSS）用于收集和暂存正常运行以及预期运行事件产生的放射性固体废物，放射性固体废物的稳定化处理和暂存在厂址废物处理设施（SRTF）内实现。SRTF包括废物处理厂房、洗衣房和废物暂存库。SRTF内的废物处理采用干燥、超级压实等减容技术以减少最终废物包装量。废物暂存库满足本工程2台CAP1400压水堆核电机组5年内产生的中、低放废物暂存要求。

4) 本工程设置生产废水处理设施，用于收集本工程非放射性区域设备和地漏的排水并处理达标排放。本工程设置生活污水处理设施，采用管道收集本工程运行期间产生的生活污水并处理达标排放。本工程设置危险废物贮存设施，用于贮存本工程运行期间产生的危险废物，危险废物委托具备危险废物处置资质的单位定期外送处置。

5) 本工程设计并建造厂区环境辐射与气象观测系统，并制定环境监测大纲，本工程投运后依据环境监测大纲、气象观测大纲开展环境辐射与气象观测工作。

10.3 放射性排放

本工程2台CAP1400压水堆核电机组的气载和液态流出物的槽式排放口处排放浓度和年排放量符合《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）限值要求，总排放口处5种核素浓度低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）限值要

求。

10.4 辐射环境影响评价结论

10.4.1 核电厂正常运行期间的辐射影响

1) 公众最大个人剂量

根据设计源项计算得到本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组在正常运行期间放射性物质由气载和液态途径排放所致的最大个人受照有效剂量为 $1.07\text{E}-02\text{mSv/a}$ 。考虑到已装料的高温气冷堆核电机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量不大于 0.01mSv ，因此本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组与已装料的高温气冷堆核电机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量不大于 $2.07\text{E}-02\text{mSv}$ ，占《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)规定(0.25mSv/a)的 8.28%。

2) “三关键”分析

根据现实源项计算得到本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组所致厂址附近各居民组个人有效剂量。计算结果表明：本工程在正常运行期间放射性物质由气态途径和液态途径排放所致最大个人有效剂量点位于东钱家，其中所致东钱家婴儿、儿童、青少年、成人及渔民的个人有效剂量分别为 $2.12\text{E}-04\text{mSv/a}$ 、 $1.52\text{E}-03\text{mSv/a}$ 、 $1.11\text{E}-03\text{mSv/a}$ 、 $1.23\text{E}-03\text{mSv/a}$ 和 $1.20\text{E}-03\text{mSv/a}$ 。“三关键”分析结果表明，东钱家成人为本工程的关键居民组，关键途径为食入生物途径，关键核素为 ^{14}C 。

10.4.2 核电厂设计基准事故的潜在照射后果

本工程非居住区边界范围为距核岛反应堆 16 个方位均为 800m 所构成的边界线，规划限制区边界范围为以厂址为中心、半径 5km 的圆周边界线。

对于事故环境影响评价的标准，《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)规定：

— 在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下。

— 在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限

制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

采用 CAP1400 压水堆核电机组的设计基准事故源项进行事故后果计算和评价。计算结果表明，在 CAP1400 压水堆核电机组所考虑的 7 类设计基准事故工况下，设计基准事故导致的环境放射性后果满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的相应要求。从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，本工程的工程安全设施的设计性能可靠，厂址非居住区边界和规划限制区边界的设置合理。

10.4.3 应急

山东石岛湾核电厂址包括 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组和本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组，并预留核电机组扩建场地，该厂址为多堆厂址。针对本工程所在厂址选取的烟羽应急计划区如下：以本工程 1、2 号机组各反应堆为中心、半径 10km 范围内的区域，需做好撤离、隐蔽和碘防护准备的区域；内区为半径 5km 范围内的区域（准备撤离），外区为半径 5~10km 范围内的区域（准备隐蔽和碘防护）。食入应急计划区为：以本工程 1、2 号机组各反应堆为中心、半径 50km 范围内的区域（包含烟羽应急计划区），需做好事故情况下食品和饮用水的控制。根据 CAP1400 压水堆核电机组的严重事故工况下对环境和公众的影响分析结果以及严重事故风险防范措施，本工程环境风险可接受，设置的应急计划区合理可行。

本工程制定了场内核事故应急预案。本工程所在厂址周围的人口分布特征、土地利用情况和应急道路设置等方面满足应急撤离、疏散和运输要求，不存在不可克服的实施场外核事故应急预案的困难。

10.5 非辐射环境影响评价结论

10.5.1 施工期非辐射环境影响评价结论

施工过程中产生的污染对本项目所在区域环境的影响是局部的和暂时的。在实施适当有效的防护措施后，施工过后当地的环境质量将很快得以恢复。

大气：主要来自土石方工程、场地平整以及建构物建设过程中爆破、开挖、填充、道路修建、渣土堆放以及车辆运输产生的大气污染物、扬尘和尾气。采取

路面浇洒、达标排放、及时清扫等防护措施来减轻污染。

水：主要来自于施工期间生产废水和施工人员的生活污水排放，以及取排水工程施工引起的海水悬浮物含量升高等。采取建设污水处理设施、环卫抽水外运、控制取排水工程施工作业区域等防护措施来减轻污染。

噪声：主要来自于土石方工程施工期间开挖爆破以及各类施工和运输机具所产生的噪声。采取建立隔声屏障、合理安排施工机械作业时间段等防护措施来减轻污染。

生态：主要来自于施工期永久及临时土地占用等带来的生态变化。采取厂区绿化、表土分层剥离回填、植被移植、景观恢复等防护措施来减轻污染。

水土保持：主要来自于施工期永久及临时土地占用等带来的水土流失。通过实施水土保持方案来控制因本项目建设造成的新增水土流失，恢复和重建因本项目建设而破坏的植被和水土保持设施，保护本项目所在区域及周边环境。

辐射：主要来自于密封放射源和射线装置进行无损检测时的射线泄漏。采取移动屏蔽防护、设置警示区防止误入等措施来减轻污染。

社会环境：主要来自于本项目施工建设占地、征地等带来的影响。厂址非居住区边界（距核岛反应堆 800m）范围内无常住居民，因此无搬迁人口。此外，由于本项目占地有限，因此对社会环境的影响十分有限。

根据本工程施工期陆域环境监测和施工期海洋跟踪监测结果，本工程施工期大部分时段符合施工期相关生态环境保护标准的要求，但存在部分时段缺测及部分时段部分监测项目出现超标情况，应确保施工期环保设施正常运行，环境监测结果符合环保要求。

10.5.2 运行期非辐射环境影响评价结论

1) 根据中国水利水电科学研究院完成的温排水排放数、物模综合分析工作成果，在 1 台 200MWe 高温气冷堆和本工程 2 台 CAP1400 压水堆机组投入运行时，温排水形成的 4℃温升包络区域位于《自然资源部办公厅关于华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程项目用海的函》（自然资办函[2020]1087 号）批准的温排水用海范围内，也位于《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》（鲁环函[2021]69 号）规定的混合区区域内；温排水形成的 1℃温升包络区域位于《山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函》（鲁环函[2021]69 号）规定的三类环境功能区区域内。

2) 本工程所在厂址的南取水口附近的浮游生物、仔鱼、卵等发育成长相对少, 加上取水设施采用底层取水、取水流速很低, 故对大的成鱼吸引作用不大, 即使有到拦污栅上的成鱼, 仍有逃脱的可能, 所以取水设施运行时的卷吸效应对海洋生物的影响限于局部小范围。南取水口附近无名贵鱼卵和仔鱼, 多为非经济鱼种, 因此取水对鱼类的撞击效应仅限于取水口附近且均为经济价值较低的物种。国内外有关研究资料显示, 核电厂取水对鱼、虾、贝及其他游泳生物幼体的卷吸率基本上湮没于其物种在自然条件下生长的成活率涨落范围内。因此本工程取水造成的卷吸和撞击效应是有限的。

对于本工程所在厂址附近的养殖场, 温排水引起的厂址附近海域的海水温升范围有限, 养殖区域的海水温升后的平均温度仍在各类养殖品种的适温范围内。因此, 本工程产生的温排水对养殖区的影响也较小。

3) 本工程排放的循环冷却水符合《海水冷却水排放要求》(GB/T39361-2020) 标准。本工程排放的含化学物质的各种废水因其所含化学物质数量较少, 且经处理符合《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分: 半岛流域》(DB37/3416.5-2018) 一级标准, 并经循环冷却水稀释排放海域, 因此化学物质排放不会对核电厂所在海域产生明显的不利影响。

4) 本工程厂区生活污水管道收集后送到厂区生活污水处理站, 生活污水经处理后尽可能循环利用, 用于厂区绿化和道路喷洒等, 回用符合《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2020) 标准, 无法回用的生活污水符合《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分: 半岛流域》(DB37/3416.5-2018) 一级标准后排放。

5) 本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组投运后的厂界噪声符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准, 本工程所在厂址周边居民点等环境敏感区域符合《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2 类标准。

6) 本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组投运后的电磁辐射影响符合《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 工频电场强度及工频磁感应强度限值要求。

10.6 结论与承诺

根据对本工程所在山东石岛湾核电厂址的自然条件和社会条件、本工程废物处理系统和专设安全设施的设计性能分析, 在已批准运行的 1 台 200MWe 高温

气冷堆核电机组的基础上，本工程施工建设对环境的影响、厂址环境对本工程的影响以及本工程正常运行和事故工况对环境的影响符合我国核安全及生态环境保护有关法规、标准的要求，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组的建设和运行对环境的影响是可接受的。

针对本项目的特点和评价结果，从运行期间需进一步开展的工作方面提出以下建议：

1) 山东石岛湾核电厂址已批准投运的 1 台 200MWe 高温气冷堆核电机组的运营单位是华能山东石岛湾核电有限公司，本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组的运营单位是国核示范电站有限责任公司。山东石岛湾核电厂址属于多堆型、多运营单位的核电厂址，两家运营单位在核电机组投运后进一步做好整个核电厂址的环境监测、三废处置以及应急管理等方面的统一管理工作。

2) 建议本工程 2 台 CAP1400 压水堆核电机组的运营单位国核示范电站有限责任公司在本工程投运后进一步做好陆域和海洋环境跟踪监测及评价、温排水跟踪影响监测及评价工作，定期开展后评价工作，反映本工程对环境的实际影响情况。

3) 进一步跟踪国土空间规划进展，确保本工程环境影响与规划的一致性。