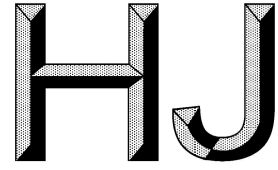


附件 2



中华人民共和国国家环境保护标准

HJ**-2025

代替 HJ/T5.1-93

环境影响评价技术导则 研究堆

Technical guidelines for environmental impact assessment-Research Reactor

(征求意见稿)

目 录

前 言	ii
环境影响评价技术导则 研究堆	1
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	3
5 环境现状调查与评价	5
6 建设项目概况/工程分析	7
7 施工建设的环境影响预测与评价	9
8 正常运行的环境影响预测与评价	10
9 事故环境风险评价	11
10 流出物监测和环境监测	12
11 结论和建议	13
12 环境影响报告书（表）编制要求	13
附录 A（规范性附录）环境影响报告书的格式与内容	15
附录 B（规范性附录）环境影响报告表的格式与内容	31
附录 C（资料性附录）研究堆最大假想事故源项分析准则	41
附录 D（资料性附录）大气弥散因子的计算	44

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》，规范和指导研究堆建设项目环境影响评价工作，防止环境污染和生态破坏，制定本标准。

本标准规定了研究堆环境影响评价的一般性原则、工作程序、内容、方法和技术要求。

— 本标准是对《核设施环境保护管理导则 研究堆环境影响报告书的格式与内容》

(HJ/T 5.1-93) 的修订。本次修订的内容主要有：

- 将标准名称调整为：环境影响评价技术导则 研究堆；
- 增加了规范性引用文件；
- 增加了术语和定义；
- 增加了评价基本任务、工作程序；
- 增加了研究堆环境影响报告书（表）的编制要求；
- 增加了研究堆环境影响评价范围；
- 增加了环境现状调查与评价；
- 研究堆环境影响报告书的格式与内容作为本标准的附录之一；
- 增加了研究堆环境影响报告表的格式与内容；

本标准的附录 A、附录 B 为规范性附录，附录 C、附录 D 为资料性附录。

本标准实施之日起，《核设施环境保护管理导则 研究堆环境影响报告书的格式与内容》(HJ/T 5.1-93) 废止。

本标准由生态环境部核电安全监管司、法规与标准司组织制定。

本标准主要起草单位：生态环境部核与辐射安全中心。

本标准由生态环境部 2025 年*月*日批准。

本标准自 2025 年*月*日起实施。

本标准由生态环境部解释。

环境影响评价技术导则 研究堆

1 适用范围

本标准规定了研究堆环境影响评价工作的一般性原则、内容、方法和技术要求。

本标准适用于陆地固定式研究堆的新建、改建、扩建和技术改造项目的环境影响评价工作。

浮动式或移动式核动力平台（即调试与装料基地）的环境影响评价工作，本标准规定的一般性原则适用。

陆地固定式小型核动力厂（单堆热功率 300MW 以下）的环境影响评价可参考本标准。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB 6249 核动力厂环境辐射防护规定

GB 8702 电磁环境控制限值

HJ 2.1 建设项目环境影响评价技术导则 总纲

HJ 2.2 环境影响评价技术导则 大气环境

HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境

HJ 2.4 环境影响评价技术导则 声环境

HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境

HJ 964 环境影响评价技术导则 土壤环境

HJ 19 环境影响评价技术导则 生态影响

HJ 169 建设项目环境风险评价技术导则

HJ 969 核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范

HJ 61 辐射环境监测技术规范

HJ 819 排污单位自行监测技术指南 总纲

HAF 201 研究堆设计安全规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

研究堆 research reactor

指核动力厂以外的其他核反应堆，是研究堆、实验堆、临界装置以及带功率运行的次临界系统等核设施或装置的统称。

研究堆包括核反应堆堆芯、辐照孔道、考验回路等实验装置，以及为支持其运行、保证安全和辐射防护的目的所设置的构筑物和系统，还包括燃料贮存、放射性废物贮存、放射性热室、实物保护系统等反应堆场址内与反应堆或实验装置有关的一切其他设施。

3.2

环境保护设施 environmental protection facilities

指为使在研究堆运行时所产生并可能对环境造成影响的物质达到回收利用标准或排放要求所需的设备和系统。

3.3

流出物 effluents

指研究堆产生的经净化处理足以满足有关标准后经预定的排放路径排入环境并可在环境中得到稀释和弥散的含放射性物质的气态流或液态流。流出物需在许可范围内排放，并应得到有效监控。

3.4

辐射环境影响 radiation environmental impact

指研究堆正常运行（研究、实验、测试等活动）向环境排放的流出物，以及放射性固体废物，可能造成的影响或后果。包括公众个人在受控源的预期运行过程中经所有照射途径所接受的年有效剂量和生物受到的辐射影响，以及对大气、地表水、土壤、地下水等环境介质可能造成的环境放射性变化或影响。

3.5

非辐射环境影响 non-radiation environment impact

指研究堆及其配套工程施工建造和运行（正常运行或事故工况下）所产生的污染物排放，可能造成的环境污染和生态影响。主要包括向环境排放的废水、废气、噪声、余热、固体废物（含危险废物）等，造成周围环境质量影响和生态影响。

3.6

最大假想事故 maximum hypothetical accident, MHA

指基于研究堆概率论、确定论及工程判断等分析，在一定可能性区间内发生的事故中，构建的对环境危害最严重的事故。该事故用以确定研究堆场址的非居住区边界。

3.7

非居住区 exclusion area

指研究堆周围一定范围内的区域，该区域内禁止有常住居民，由研究堆营运单位对这一区域行使有效的控制，包括任何个人从该区域撤离；公路、铁路、水路可以穿过该区域，但不得干扰研究堆的正常运行；在事故情况下，可以做出适当和有效的安排，管制交通，以保证工作人员和公众的安全。在非居住区内，与研究堆运行无关的活动，只要不影响研究堆正常运行和危及公众健康与安全是允许的。非居住区边界由最大假想事故确定。

3.8

堆芯损伤 core damage

指由于燃料芯块温度达到了裂变产物从燃料间隙和芯块基体释放到反应堆冷却剂系统的一种堆芯状态。

3.9

堆芯熔化 core melt

指由于核反应堆温度上升过高，造成燃料棒熔化，裂变产物从燃料芯块基体快速释放到反应堆冷却剂系统的一种堆芯状态。

4 总则

4.1 环境影响评价主要依据及工作任务

4.1.1 环境影响评价主要依据为：国家及地方生态环境保护的法律法规、政策、规划、标准以及相关的规范性技术文件。

4.1.2 环境影响评价工作任务为：通过编制建设项目环境影响评价文件，分析项目选址、规模、环境影响与相关规划和生态环境分区管控要求的符合性，判断项目选址的环境适宜性；在工程分析和环境现状调查与评价的基础上，预测和评价建设项目在施工期、运行期的环境影响；提出预防或者减缓不利影响的生态环境保护措施；分析评价建设项目环境可行性。

4.2 环境影响评价工作程序

4.2.1 第一阶段通过开展调查分析，完成项目准入判定，确定工作方案。

- a) 收集和梳理项目涉及的生态环境保护法律法规、政策、标准、规划和规范性技术文件等，作为评价依据，保证依据的时效性、真实性。
- b) 通过分析判定项目选址、工艺路线、环境影响等与所涉及的区域规划及生态环境管控要求的符合性，判定建设项目与国家及地方有关生态环境保护法律法规、政策、标准、相关规划等要求的相符性。
- c) 初步识别评价的制约因素，以及应关注的重点、难点问题，确定评价因子、评价等级、评价范围、专题等。

4.2.2 第二阶段开展环境现状调查、建设项目工程分析、环境影响预测与评价，提出预防或减缓不利影响的生态环境保护措施，制定环境监测计划，完成环境影响报告书（表）编制。

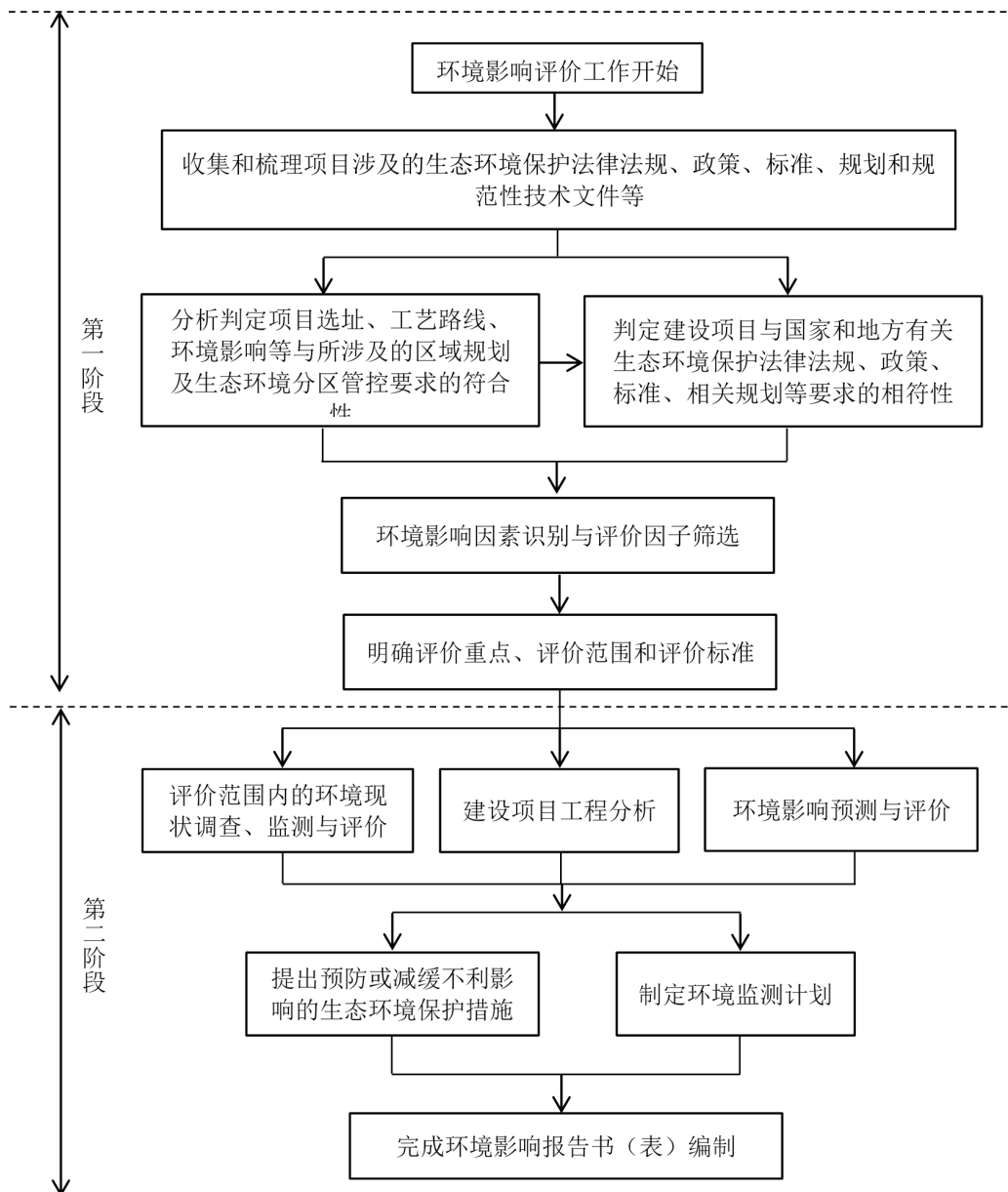


图 1 研究堆环境影响评价程序图

4.3 环境影响评价范围

4.3.1 辐射环境影响评价范围

- a) 一般取以反应堆为中心，半径 20 km。对于液态流出物排放口远离研究堆场址的情形，应以液态流出物排放口为中心适当扩大评价范围。
- b) 对于裂变产物总量有限、潜在源项小、放射性释放后果轻的研究堆（如 III 类研究堆），评价范围可以取以反应堆为中心，半径 5km。

4.3.2 非辐射环境影响评价范围

- a) 按照建设项目特点及工程组成、所在地区的环境特征,结合区域生态环境功能要求、环境保护目标的分布和保护要求,确定环境影响因素和评价因子。评价因子一般包括废气(大气污染物)、废水(水污染物)、噪声、余热、固体废物等。
- b) 按照相关环境要素的环境影响评价技术导则(HJ 2.2、HJ 2.3、HJ 2.4、HJ 19、HJ 610),确定相应环境要素的评价等级和评价范围。

4.4 环境影响评价标准

4.4.1 辐射环境影响评价标准

- a) 运行状态下公众剂量约束执行 GB 18871 的相关规定。研究堆所在核基地向环境排放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量每年不得超过 0.25mSv 的剂量约束值。
- b) 事故工况下公众剂量控制执行 GB 18871 的相关规定,满足研究堆设计的安全目标。在发生一次设计基准事故时,非居住区边界外任何个人在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应小于 5mSv。发生最大假想事故时,非居住区边界外任何个人在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应小于 10mSv。
- c) 根据研究堆的设计和排放源项,明确流出物排放的相关控制要求,包括排放总量和活度浓度等。

4.4.2 非辐射环境影响评价标准

- a) 根据环境影响评价范围内的生态环境分区管控方案和各环境要素的环境功能区划,确定各评价因子适用的环境质量和污染物排放执行标准。
- b) 生态环境分区管控要求不明确的或尚未划定环境功能区的区域,执行地方生态环境行政主管部门认可的环境质量和污染物排放标准。

5 环境现状调查与评价

5.1 一般要求

根据环境影响因素识别结果,开展相应的环境现状调查与评价。对项目所在地的人口分布,自然资源、气候气象、水文、地形地貌等,一般采用资料收集和现场调查相结合的方法。对大气、地表水、地下水、声、生态、土壤、放射性等环境要素,按照相应环境要素导则的要求开展环境现状调查与评价。

5.2 人口分布与生活习性

调查评价范围内涉及的各级行政区划(包括城市、区县、村镇)的人口总数、年龄构成、食谱和生活习性等,遵循以下原则:

- a) 半径 5km 范围内,现场调查各自然村的人口总数(常住人口和流动人口),以及学

校、医院、养老院的人数；

- b) 半径 20km 范围内，资料收集所涉及区县的人口总数；
- c) 资料收集或实地调查评价范围内居民食谱和生活习性。

5.3 生态环境敏感目标和生态现状

5.3.1 通过收集评价范围内的生态环境分区管控方案、生态环境功能区划、生态环境敏感区、生态保护红线等，明确生态环境敏感目标的地理位置（方位和距离）、服务功能、保护对象和保护要求等。

5.3.2 收集评价范围内生态现状资料，必要时开展现场生态调查，说明厂址附近陆生资源及生态概况和水产资源及生态概况，明确重点生物（如保护生物）的分布情况。

5.4 气象

通过收集场址周边代表性气象站或场址气象站的观测数据，获得环境影响评价所需的气象特征参数。按如下原则确定调查方法：

- a) 收集至少近三年内连续两年的代表性气象站（包括场址气象站）的气象观测资料。
- b) 一般通过现场大气扩散试验获得大气扩散参数，对于平坦地形也可采用 P-G 扩散曲线获得大气扩散参数。
- c) 一般可通过探空试验获得混合层高度，对于尚未开展探空试验的场址，可参考 GB/T 3840 推荐的方法或其他经论证合理的方法和资料获取混合层高度。

5.5 水文

收集评价范围内的地表水体的类型和基本特征。必要时可通过水文调查，取得水环境影响预测所需要的水文特征参数。遵循如下原则：

- a) 受纳水体为河、湖，调查受纳水体丰水期、平水期和枯水期（至少包括丰水期和枯水期）的水温、水深、水位、流量等水文参数和水动力学参数。
- b) 受纳水体为近岸海域、河口，调查排放口周围海域潮汐、潮位、潮流、余流、淤积、水温、盐度等水文参数和水动力学参数。
- c) 场址所在区域和液态流出物排放管线周围的地下水基本特征，包括地下水类型、地下水补径排条件、水位，以及地下水利用情况等。

5.6 辐射环境本底（现状）

5.6.1 对于新场址，开展场址周围辐射环境本底调查，取得至少连续两年的调查数据。

5.6.2 对于已有场址内新建研究堆，开展辐射环境现状调查，取得至少最近一年的调查数据。

5.6.3 辐射环境本底调查范围不小于辐射环境影响评价范围。调查内容和技术要求参照 HJ 969。

5.6.4 监测项目应涵盖已有核设施和建设项目向环境排放的重要放射性核素。

5.7 非辐射环境质量现状

5.7.1 基本要求

根据环境影响因素识别结果，开展相应环境要素现状调查与评价。充分收集各环境要素的例行监测、地方环境质量公报等资料数据。环境现状调查结果应能够反映区域环境质量现状及达标情况。

5.7.2 大气环境质量现状

调查范围、调查内容与方法、监测要求等，按照 HJ 2.2 中环境空气质量现状调查与评价的要求进行。

5.7.3 地表水环境质量现状

5.7.3.1 包括区域水污染源调查、受纳水体或受影响水体环境质量现状调查以及水环境保护目标调查。

5.7.3.2 受纳水体环境质量现状调查的调查范围、调查内容与方法、监测要求等，按照 HJ 2.3 中水环境现状调查与评价的要求进行。

5.7.3.3 海洋环境污染影响型建设项目开展海水水质调查、沉积物质量调查、海洋生物调查。调查内容、调查范围以及监测布点原则，参照 GB/T 12763 海洋调查规范的要求进行。

5.7.4 声环境质量现状

调查内容、调查范围以及现场监测布点原则，按照 HJ 2.4 中声环境现状调查与评价的要求进行。

6 建设项目概况/工程分析

6.1 项目基本情况

6.1.1 工程组成及总平面布置

工程组成包括主体工程（研究堆）、辅助工程、环保工程以及依托工程等。项目总体规划和场区总平面布置。改扩建项目包括现有核设施的基本情况。

6.1.2 主体工程

反应堆类型、功率，反应堆的运行模式。辐照孔道、考验回路等实验装置。实验系统和放射性热室等。

6.1.3 环保工程

环境保护设施和投资，环保投资占总投资的比例。项目配套建设的放射性废水、废气、固体废物处理系统，以及生活污水、生产废水、大气污染物处理设施等。

6.1.4 依托工程

依托工程的工艺和主要参数。依托工程的性能对于建设项目的可行性和可靠性。

6.2 源项分析/工程分析

6.2.1 基本要求

源项分析应包含：

- a) 反应堆、实验装置（如辐照孔道、考验回路等）、燃料贮存设施、放射性废物贮存设施、放射性热室等。
- b) 支持研究堆运行、保证安全和辐射防护目的所设置的不产生放射性物质的构筑物 and 设施。
- c) 研究堆涉及的科研任务、试验活动、生产活动等。

6.2.2 反应堆源项分析

- a) 明确反应堆堆芯积存量，根据反应堆堆芯核燃料和燃耗，采用合理的计算假设和模式，估算堆芯裂变产物、腐蚀产物和超铀核素的总活度。
- b) 明确反应堆主回路的源项，根据裂变产物和腐蚀产物的产生、去除机理和迁移过程，采用合理的计算假设和模式，估算主回路各裂变产物和腐蚀产物的比活度。
- c) 计算假设或计算模式可参考国内同类型反应堆项目的设计和运行经验，也可参考国外法定有效的技术文件。

6.2.3 辐照孔道/考验回路源项分析

根据辐照孔道、考验回路等实验装置的主要参数，以及辐照靶件的特性，采用合理的计算假设和模式，估算辐照孔道/考验回路的活化产物和腐蚀产物的总活度。

6.2.4 放射性热室源项分析

明确放射性热室操作的燃料源项，根据操作方式，分析裂变产物、铀和超铀核素的总活度以及固体废物产生量。

6.2.5 其他放射性源项分析

除反应堆、辐照孔道/考验回路、热室以外其他的放射性源项。

6.3 三废处理系统和流出物排放量

6.3.1 废液管理系统及排放源项

- a) 废液管理系统包括废液收集、转运、处理、监测、排放系统。
- b) 废液处理系统选择具有稳定性、可行性的处理工艺，去除效率应充分考虑设备长期持续运行状态下的参数变化。放射性废液经处理后满足相应标准限值要求。
- c) 估算放射性废液经处理后液态流出物的放射性活度浓度和排放量。

6.3.2 废气管理系统及排放源项

- a) 废气管理系统包括废气收集、处理、监测、排放系统。
- b) 废气处理系统选择具有稳定性、可行性的处理工艺，应优先采用国内有运行经验的成熟技术。废气经处理后满足相应标准限值要求。
- c) 估算放射性废气处理后气载流出物的排放量。

6.3.3 固体废物管理系统

- a) 固体废物管理系统包括固体废物收集、转运、处理和贮存系统。放射性固体废物处理系统的处理能力和暂存库的贮存能力应满足废物得到及时处理和安全贮存的要求。
- b) 选择合适的固体废物处理工艺，遵循固体废物最小化原则。
- c) 估算固体废物产生量，明确固体废物货包的活度和表面剂量率。

6.4 排放系统

6.4.1 液态流出物（可能含氚、碳-14、铯-137、钴-60 等核素）应实施槽式排放，排放系统应包括位于场区内的流出物排放槽、收集和排放管线，以及接纳水体中的排放构筑物、排放口等。对于远距离排放的情形，应明确排放管线路径。

6.4.2 含放射性（可能含惰性气体、氚、碳-14、碘-131、铯-137、钴-60 等）废气必须经净化处理后，经由各厂房通风系统汇集到排放烟囱，集中由烟囱出风口排向大气环境。

7 施工建设的环境影响预测与评价

7.1 基本要求

根据施工工程特点与环境特性、当地的生态环境保护要求，确定施工期环境影响预测与评价的时段和内容。规模小、建设周期短的项目，可以适当简化施工期环境影响预测与评价。

7.2 环境影响预测与评价

7.2.1 大气环境影响分析

按照 HJ 2.2 的规定执行。一般按照土石方开挖、土建施工、设备安装调试等工程建设时段，根据无组织排放源（扬尘、车辆尾气等），预测评价建筑施工对场界和周围环境保护目标的影响。

7.2.2 水环境影响分析

对于施工生产废水、生活污水处理后回用的情形，可简化水环境影响分析，直接给出定性结论。对于施工生产废水、生活污水排放的情形，应按照 HJ 2.3 的规定执行。

7.2.3 声环境影响分析

按照 HJ 2.4 的规定执行。一般按照土石方开挖、土建施工、设备安装调试等工程建设时段，分析施工噪声对周围声环境保护目标的影响，以及建筑施工场界噪声的达标情况。

7.2.4 固体废物影响分析

主要从弃渣、施工建筑垃圾、生活垃圾的产生和处理措施等方面进行分析。

7.2.5 生态影响分析

按照 HJ 19 的规定进行生态影响分析。

8 正常运行的环境影响预测与评价

8.1 辐射环境影响预测与评价

8.1.1 环境介质中放射性核素活度浓度

8.1.1.1 运行状态下，气载流出物通过烟囱排入大气，液态流出物通过废水排放口排入水体。

8.1.1.2 计算年均大气弥散因子、年均沉积因子，计算受纳水体稀释因子。

8.1.1.3 确定放射性核素在空气中的活度浓度分布，确定放射性核素在受纳水体中的活度浓度分布。

8.1.1.4 确定液态流出物渗漏进入土壤和地下水中的活度浓度分布。

8.1.2 公众剂量

8.1.2.1 公众照射途径有气态途径和液态途径。气态途径包括烟云浸没外照射、地面沉积外照射、吸入内照射、食入陆生产品内照射。液态途径包括食入水产品内照射、饮水内照射、岸边沉积外照射、游泳划船外照射。

8.1.2.2 根据评价范围内居民食谱和生活习性，估算气态途径和液态途径造成的公众照射剂量，并进行“三关键”分析。

8.1.2.3 根据人口分布，估算评价范围内的公众集体剂量。

8.1.2.4 核素转移系数、浓集因子、分配系数等应尽可能采用厂址相关的科学调查数据，也可采用国际原子能机构技术报告等的推荐值，放射性核素的剂量转换因子可采用 GB 18871 等的推荐值。

8.1.3 非人类物种辐射剂量

8.1.3.1 根据场址周围植物和动物的种类和分布特征，确定非人类生物的代表性物种。

8.1.3.2 采用合理的计算模式和计算参数，估算非人类生物的辐射剂量率。

8.2 非辐射环境影响预测与评价

8.2.1 基本要求

8.2.1.1 根据工程特点与环境特性、当地的生态环境保护要求，确定环境影响预测与评价的内容。

8.2.1.2 对于环境质量不符合环境功能要求或环境质量改善目标的，应结合评价范围所涉及区域的环境质量限期达标规划或环境质量持续改善规划进行环境质量变化预测，分析建设项

目环境影响与现阶段环境质量改善目标的相符性。

8.2.1.3 对于涉及生态敏感区的，应针对生态敏感区的结构、功能及主要保护对象，分析可能产生的生态影响，判断长期与短期、可逆与不可逆的影响性质以及影响程度。

8.2.2 散热系统的生态环境影响

8.2.2.1 对于直流冷却方式，预测温排水对受纳水体温升的影响范围，分析废热和余氯对水生生物的影响程度。

8.2.2.2 对于二次循环冷却方式，预测冷却塔雾羽、飘滴的影响范围，分析雾羽、飘滴对生态环境的影响。

8.2.3 其他环境影响

按照 HJ 2.2、HJ 2.3、HJ 2.4、HJ 610、HJ 24 等导则，预测评价运行期间向环境排放的废气、废水、固体废物、噪声、电磁等对大气、地表水、地下水、声、电磁环境的影响。

9 事故环境风险评价

9.1 放射性事故

9.1.1 事故描述

9.1.1.1 研究堆最大假想事故，采用概率论、确定论方法，结合工程判断方法确定研究堆的最大假想事故。最大假想事故确定原则和方法见附录 C。

9.1.1.2 研究堆设计基准事故，根据反应堆的始发事件进行分类，确定每类始发事件中的放射性后果最大的作为代表性设计基准事故。

9.1.1.3 根据实验装置、放射性热室等其他设施的始发事件进行分类，确定每类始发事件中的放射性后果最大的作为代表性设计基准事故。

9.1.1.4 研究堆严重事故，对于可能有超过设计基准事故的研究堆，应对其严重事故进行分析。

9.1.2 事故源项

9.1.2.1 根据放射性物质产生的机理和从堆芯向环境释放的过程，确定研究堆最大假想事故源项，包括放射性核素种类、形态、释放的时间特征，以及释放量。具体计算方法见附录 C。

9.1.2.2 确定研究堆设计基准事故源项，包括放射性核素种类、形态、释放的时间特征，以及释放量。

9.1.2.3 确定实验装置、放射性热室等设计基准事故源项。

9.1.2.4 确定研究堆严重事故源项计算的基本假设和主要参数，给出放射性物质释放量。

9.1.3 事故后果和评价

9.1.3.1 根据场址气象条件计算短期大气弥散因子，具体计算方法见附录 D。

9.1.3.2 事故对公众潜在影响的主要照射途径，应考虑烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射途径。

9.1.3.3 事故剂量后果计算采用的计算模式和参数，包括剂量转换因子、呼吸率、沉积速率等。

9.1.3.4 估算事故在不同释放时段、不同方位上非居住区边界的公众有效剂量。

9.1.4 事故预防和事故后果缓解

9.1.4.1 防止实际的堆芯损伤或者在发生实际的堆芯损伤时限制包容系统释放。

9.1.4.2 防止放射性废液的产生或者限制废液向环境释放。

9.1.4.3 一旦大量放射性物质释入环境，提出减小公众影响的缓解措施。

9.2 场内运输事故

根据研究堆工程设计，确定放射性物质在场内运输可能发生的事，明确应采取的事故防范措施，评价可能产生的辐射环境影响。

9.3 其他事故

根据研究堆工程设计，对研究堆建设和运行期间，使用易燃易爆化学品导致爆炸、火灾事故、危险化学品泄漏等事故，进行环境风险评价。

10 流出物监测和环境监测

10.1 基本要求

10.1.1 按照 GB 6249 的原则要求，参考 HJ 61 及其他标准规范，制定流出物监测和辐射环境监测计划。

10.1.2 按照 HJ 819 等标准的要求，制定非放射性污染物排放及环境监测计划。

10.2 流出物监测计划

10.2.1 根据排放口的设置及其排放源项、相关法规标准要求等，确定流出物排放在线连续监测系统的设计方案，以及流出物取样监测大纲（方案）。

10.2.2 根据取样监测大纲（方案）、相关法规标准要求等，确定流出物实验室的设计方案和仪器设备配备方案。

10.2.3 流出物排放在线连续监测系统设计，包括监测通道设置、监测项目、探测器类型、探测器量程范围、报警阈值等。

10.2.4 流出物取样监测大纲（方案），包括取样点、取样介质、取样监测频率、监测分析方法，以及核素探测下限等。

10.3 辐射环境监测计划

10.3.1 根据排放口设置、排放源项、环境特征、辐射环境影响评价结果、相关法规标准要求

等，提出辐射环境监测大纲（方案）。

10.3.2 根据辐射环境监测大纲（方案）、相关法规标准要求等，确定辐射环境监测设施的设置、设计、配置及仪器设备配备方案。

10.3.3 辐射环境在线连续监测系统设计，包括监测子站布设原则、探测器类型、探测器量程范围、报警阈值等。

10.3.4 辐射环境监测大纲（方案），包括辐射环境调查范围、调查内容、监测取样频次和时段、取样点位、监测分析方法，以及核素探测下限等。

10.3.5 对于关键人群组、关键核素和关键照射途径应重点关注。

10.4 其他监测计划

10.4.1 按照 HJ 819，提出生产废水和生活污水排放的监测计划，包括取样监测和在线监测。

10.4.2 按照 HJ 819、HJ 2.2、HJ 2.4，提出大气环境和场界噪声及周围敏感点噪声的监测计划。

10.4.3 提出对受纳水体温升的监测计划。

11 结论和建议

11.1 对建设项目的基本情况、环境质量现状、流出物排放量、固体废物产生量、正常运行和事故工况下辐射环境影响和公众辐照剂量、生态环境保护措施、环境管理与监测计划等内容进行概况总结，明确给出建设项目的环境影响可行性结论。

11.2 对存在重大环境制约因素、环境影响不可接受或事故辐射风险不可控的；采取的环境保护措施无法确保污染物满足长期稳定达标，应提出不可行的结论。

11.3 说明在环境保护方面存在的不足，以及拟采取的改进措施和计划。

12 环境影响报告书（表）编制要求

12.1 环境影响报告书编制要求

- a) 一般包括概述、环境现状调查与评价、建设项目工程分析、环境影响预测与评价、生态环境保护措施及其有效性论证、流出物排放管理和环境监测、环境影响经济损益分析、环境影响评价结论和附录附件等内容。格式与内容见附录 A。
- b) 工程分析应体现工程特点，源项核算的技术方法和相关参数选取应合理；环境现状调查应反映环境特征，主要环境问题应阐述清楚；影响预测方法应科学，预测结果应可信；生态环境保护措施应可行有效。

12.2 环境影响报告表编制要求

- a) 一般包括区域环境质量现状和环境保护目标、建设项目建设内容、工艺流程及产排

污环节、主要环境影响和环境保护措施等内容。格式与内容见附录 B。

- b) 通过资料调研和现场勘查，反映区域环境质量现状，明确环境保护目标；按照研究堆的设计源项，预测评价施工期和运行期的环境影响；提出合理可行的环境保护措施和环境监测方案。

附录 A（规范性附录）环境影响报告书的格式与内容

A.1 概述

A.1.1 建设项目名称和建设性质

说明建设项目名称，项目建设性质。研究堆的营运单位。

A.1.2 建设项目的规模和规划

说明研究堆类型、额定功率、实验系统，以及场址规划。

说明建设项目与场址规划之间的相互关系。

A.1.3 建设项目的建设目的

阐明建设项目的必要性和建设目的。

A.1.4 环境影响报告书的编制依据

列出编制环境影响报告书所依据的现行法律、法规、导则、标准。

列出项目所在区域的地方性法规、标准。

列出国家和地方相关部门出具的许可文件和批准文件，以及意向性文件，并提供附件，包括项目依据文件、相关技术资料（专题报告等）。

列出项目所在区域生态环境分区管控方案、生态功能区划、环境功能区划、土地利用规划、水功能区划等区域规划文件等。

给出建设项目与所在地相关规划的符合性判断结果。

A.1.5 评价标准

A.1.5.1 辐射环境影响评价标准

A.1.5.1.1 公众剂量约束

说明建设项目的公众剂量约束值。

对于多堆基地，说明场址的公众剂量约束值，并列表给出场址每个堆（源）公众剂量约束值。

A.1.5.1.2 流出物排放量和排放浓度

说明气载流出物（惰性气体、碘、粒子、氚、碳-14 等，根据研究堆的源项特点确定）的年排放量设计值。说明液态流出物（氚、碳-14、其他核素，根据研究堆的源项特点确定）的年排放量设计值。

根据研究堆的源项特点，确定液态流出物槽式排放口处放射性核素的活度浓度。

A.1.5.1.3 事故工况下的剂量控制值

说明研究堆最大假想事故的公众剂量接受准则。

说明研究堆设计基准事故的公众剂量接受准则。

A. 1. 5. 2 非辐射环境影响评价标准

说明建设项目施工建造和运行期间的评价因子。

说明建设项目所在区域的环境功能区划或地方生态环境行政主管部门对项目非辐射环境影响评价标准的认可文件。

明确建设项目非辐射环境影响评价标准，包括环境质量和污染物排放执行标准，如受纳水体的水质标准（含温升）以及大气、声、固体废物等环境质量标准，生产废水和生活污水的排放标准以及大气污染物、厂界噪声等的排放标准。

A. 1. 6 环境保护设施

明确建设项目的环境保护设施组成和建设进度。

说明配套建设的环境保护设施经费估算及占总经费比例。

A. 1. 7 评价范围

确定辐射环境影响评价的范围，一般以主要的气态流出物排放点或反应堆为中心，半径为 20km 内的区域。

辐射环境影响评价中的子区划分是在评价范围内按半径为 1km、2km、3km、5km、10km、20km 划分为同心圆，再将这些同心圆划分成 22.5° 扇形段，以正北向左右各划分 11.25° 为起始段，共分 96 个评价子区，给出评价范围子区划分图。

非辐射环境影响评价的范围按照有关环境影响评价技术导则规定的评价工作等级确定。

A. 2 场址与环境

A. 2. 1 场址地理位置

描述建设项目场址所在的地理位置（省、市、县、乡、村）；给出场址周围主要城镇的方位与距离。

给出场址半径 20km 范围内的适当比例的平面图，图上应清楚标示出研究堆场址位置、场址周围主要城镇的位置。

说明建设项目非居住区范围及其确定依据。给出适当比例的平面图，图上应清楚标示出建设项目非居住区边界和地产边界。

A. 2. 2 人口分布与饮食习惯

A. 2. 2. 1 场址半径 5km 范围内的人口分布

说明场址半径 1km 和 5km 范围内的人口分布情况，包括人口总数、陆域面积平均人口密度、自然村数量和最近自然村的位置与人口数量。

列表给出场址半径 1km 和 5km 范围内所有自然村的位置与人口数量。给出场址半径 1km

和 5km 范围内适当比例的平面图（图中应标示出 64 个子区：径向分别以 1、2、3、5km 为半径；辐向划分为 16 个方位），图上应清楚标示出所有自然村的位置。

说明场址半径 5km 范围内暂住人口与流动人口的有关情况，包括暂住人口与流动人口的数量、主要活动位置及季节性变化特点等，并结合当地发展规划，说明该范围内可能存在的人口机械增长的趋势与状况。

A. 2. 2. 2 场址半径 20km 范围内的人口分布

说明场址半径 20km 范围内的人口分布状况，包括人口总数、陆域面积平均人口密度，行政村数量、最近行政村与最大行政村位置及人口数量。列表并图示给出 20km 范围内各子区的人口分布现状。

A. 2. 2. 3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

说明场址半径 5km 和 20km 范围内居民的年龄构成、饮食习惯和生活习性，说明资料来源，实地调查的方法、过程和结果。

说明并列表给出场址半径 5km 范围内各年龄组、不同职业居民、可能的关键人群组（应考虑到 5km 范围外可能涉及到的关键人群组）的各类食物最大年消费量和人均年消费量，以及来自本子区和其它子区的份额。

说明并列表给出场址半径 5km 范围内各年龄组、不同职业居民、可能的关键人群组（应考虑到 5km 范围外可能涉及到的关键人群组）的生活习性。

说明并列表给出场址半径 20km 范围内城乡居民、各年龄组的各类食物最大年消费量和人均年消费量，以及来自本子区和其它子区的份额。

说明并列表给出场址半径 20km 范围内城乡居民、各年龄组的生活习性。

A. 2. 3 土地利用和资源概况

A. 2. 3. 1 土地和水体的利用

说明建设项目可能占用土地和水体的面积，土地类型和规划，水体类型和水环境功能区划。说明场址半径 5km 范围内的土地利用现状和水体利用现状。

说明场址半径 5km 范围内生态环境分区管控方案和国土空间规划，评价建设项目与生态环境分区管控要求和相关规划（包括生态保护红线等）的相符性。

A. 2. 3. 2 生态环境敏感目标和生态现状

说明场址半径 5km 范围内陆域和水域环境敏感区和生态敏感区的分布、功能、保护现状和规划，包括国家公园、自然保护区、风景名胜区、文化和自然遗产地、饮用水水源保护区、基本农田、重点保护野生动物栖息地，重点保护野生植物生长繁殖地、产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道等。

收集评价范围内生态现状资料，必要时开展现场生态调查，说明厂址半径 5km 范围内陆生资源及生态概况和水产资源及生态概况，明确重点生物（如保护生物）的分布情况。

A. 2. 4 气象

A. 2. 4. 1 区域气候

描述场址所在区域气候的一般特征，包括天气特征、一般气流类型、风、温度、湿度和降水特征，以及天气大尺度与当地气象条件的关系。

A. 2. 4. 2 当地气象条件

充分收集至少近三年内连续两年逐时的场址代表性气象观测台（站）或场址实测气象观测资料；描述气象要素包括温度的月平均值和极值；风速的平均值和极值、风速和风向随高度、时间的变化特征；降水的月平均值、降水小时数、各风向年降雨量、风玫瑰图、降水风玫瑰图；描述低空风场和温度场的特征。

A. 2. 4. 3 大气稳定度

给出大气稳定度特征，说明所使用的资料来源、稳定度分类方法及适用性。

A. 2. 4. 4 联合频率

给出地面上方 10 米（或气载流出物排放口高度）处不同风向（16 个方位）、风速、稳定度的三维联合频率，以及不同风向（16 个方位）、风速、稳定度和雨况（有雨和无雨两种）的四维联合频率表，并在表中给出各风速档的平均风速。

A. 2. 4. 5 混合层高度及扩散参数值

给出不稳定和中性稳定度条件下大气混合层高度的值，说明估算混合层高度的方式和资料来源。给出各类大气稳定度下适宜于表征该场址和周围环境特征的大气扩散参数值，并说明其适用性。

说明周围地形、水域及其它因素（如逆温、山谷风、海陆风环流、热力内边界层等）可能对大气弥散条件的影响。

给出为获得放射性物质大气输运和弥散规律所进行的模拟实验或其它大气扩散实验的结果。

A. 2. 4. 6 场址气象观测

描述场址代表性气象观测台（站）或场址气象观测系统。说明气象观测系统的选址依据和观测场所的环境，并在地形图上标出其位置，说明与拟建研究堆的位置关系。说明气象观测计划，包括观测项目、观测位置和高度、观测所使用的仪器和性能、定标和维修程序、整个气象观测系统的数据的联合获取率、数据的输出和记录系统及分析程序等。

A. 2. 5 水文

A. 2. 5. 1 地表水

说明评价范围内分布的地表水体的类型和基本特征。重点说明与建设项目生活、生产用水水源关联的水体。

说明接纳水体/受影响水体的水文观测等情况。

a) 对于以江、河为接纳水体的场址，应描述接纳水体丰水期、平水期和枯水期的划分；描述排放口所处位置的水温、水深、流量等水文参数和水动力学参数。描述场址上下游观测站基本情况和资料情况，场址上下游水利工程基本特征以及调度运行和下泄流量等情况。

b) 对于以湖泊或水库为接纳水体的场址，应描述接纳水体的水期划分、物理形态参数、不利水文条件特征及水文参数、出入湖（库）水量过程、湖流动力学参数、水温分层结构等；描述水库调节性能与运行调度方式。

c) 对于以海洋或河口为接纳水体的场址，应描述工程海域或河口的潮汐性质及类型、水温、潮位、潮流、余流性质及类型、海岸蚀淤变化趋势等。

A. 2. 5. 2 地下水

说明场址半径 5km 范围内和排水管线两侧的水文地质条件，包括包气带岩性、构造和厚度；含水层的岩性组成、厚度、渗透系数和富水程度；隔水层的岩性组成、厚度、渗透系数；地下水类型、地下水补给、径流和排泄条件；地下水的水位、水质、水量、水温等。说明地下水的弥散特征，包括包气带降水入渗量、有效孔隙度、密度、吸附系数；不同含水层之间的水力联系，含水层的水力坡度、渗透系数、有效孔隙度、密度、吸附系数；隔水层的特性与分布以及地下水物理化学特性等。

提供水文地质要素图，包括水文地质柱状图、地下水等水位线图和地下水水化学图等，标注并说明地下水流向、含水层的位置、厚度、岩性、渗透性、隔水层的位置、岩性和厚度等水文地质信息。

A. 2. 5. 3 洪水

说明可能对建设项目产生影响的洪水特征，以及设计基准洪水评定的主要结论性意见。

A. 2. 6 地形地貌

说明场址地形地貌特征。

A. 3 环境质量现状

A. 3. 1 辐射环境质量现状

A. 3. 1. 1 辐射环境本底（现状）调查

说明辐射环境本底（现状）的调查方案，包括调查范围、调查内容及布点原则，给出就地监测、各环境介质取样布点图（或航测路线图）。列表说明样品类型、取样量、取样位置

和频次。列表说明样品的分析核素、分析方法和标准、分析仪器、分析样品量及最小探测限。

说明环境 γ 辐射测量情况；列表给出 γ 辐射空气吸收剂量率、累积剂量的测量值。说明环境介质中核素的放射性水平；列表给出环境介质中核素的活度浓度的测量值。

说明调查方案制定、样品采集、处理和分析测量以及数据处理全过程的质量控制措施。

A. 3. 1. 2 辐射环境质量评价

根据辐射环境本底（现状）调查结果，评价场址所在区域的辐射环境质量现状，给出结论性评价意见。对于监测结果异常的情况予以必要的分析说明。

对于多堆基地后续建设的研究堆，分析近年来的流出物监测和环境监测数据，并结合场址辐射环境现状水平，分析辐射环境质量变化趋势。

A. 3. 2 非辐射环境质量现状

A. 3. 2. 1 大气环境质量现状调查与评价

说明场址半径 5km 范围内的现有大气污染源、环境空气保护目标。

说明调查期间的气象条件（主导风向、平均风速）。

列表给出监测点监测项目的质量浓度统计分析结果，说明并列表给出最大质量浓度值占相应标准质量浓度限值的百分比和超标率。

说明环境保护目标、道路、施工场地等的环境空气质量。

评价环境空气质量现状，分析存在的环境问题。

A. 3. 2. 2 声环境质量现状调查与评价

说明场址半径 5km 范围内的声环境敏感目标、地形地貌特征及噪声源情况。

说明声环境质量调查的监测时间、监测范围、监测布点原则和监测布点图。

列表给出各监测点昼间、夜间的噪声级。

说明敏感目标、进场道路和应急道路沿线、施工场地及场界的声环境质量以及占相应标准限值的百分比。如果调查区域内已有其它噪声源，收集其声环境现状监测资料。

评价不同类别的声环境功能区昼间、夜间的声环境质量现状，分析存在的环境问题。

A. 3. 2. 3 受纳水体环境质量现状调查与评价

说明受纳水体环境质量的调查时间、调查范围、调查内容及监测布点原则和监测布点图。图示给出水域环境功能区划、陆源排污口和取样点位。对于有废热排入受纳水体的建设项目，还应说明水温的监测方案。

说明环境保护目标、环境功能区的水质以及占相应标准限值的百分比。

评价不同类别的水环境功能区的水质现状，分析存在的环境问题。

A. 3. 2. 4 电磁环境现状调查与评价

说明场址区域的电磁污染源情况。

说明电磁环境调查的监测范围、监测内容、监测时间、监测布点原则。说明电磁环境监测因子和评价标准。

说明并列表给出电磁环境质量现状的监测结果。

说明场址区域的电磁环境现状，分析存在的环境问题。

A. 4 研究堆

A. 4. 1 场区规划及平面布置

A. 4. 1. 1 场区规划

说明场区规划的设计原则，说明研究堆不同功能区的规划及布置。

A. 4. 1. 2 场区平面布置

给出场区总体规划图和平面布置图。标明各类构（建）筑物，特别是反应堆、实验装置、流出物排放点、非放射性物质（如生活污水、温排水等）排放口、冷却塔、固体废物暂存库等重要设施的位置。

A. 4. 2 反应堆

A. 4. 2. 1 概述

说明研究堆的反应堆堆型、热功率，简要介绍反应堆系统的组成和堆本体的结构，提供反应堆的主要设计参数。

A. 4. 2. 2 燃料元件

概述燃料元件的结构和性能，给出有关的设计参数。

A. 4. 2. 3 安全系统

结合研究堆设计特点，描述与事故后果分析相关的专设安全设施的系统设计和性能。着重描述反应堆安全设施、裂变产物去除和控制系统等的设计目标和性能。

A. 4. 3 实验系统

简述与反应堆直接或间接有关的实验装置，如：束流孔道、热室、跑兔、堆内辐照孔道和实验回路等。说明可能影响堆芯安全的各种实验。

A. 4. 4 其他支持性系统

A. 4. 4. 1 供排水系统

说明反应堆供排水系统的组成，给出流程示意图。说明用水的来源及其流量随季节变化的情况。说明研究堆的用水系统，运行工况下日最大和平均用水量及耗水指标。给出研究堆工业用淡水的平衡图，并分析工业用水的重复利用率（包括间接冷却水循环率、设备冷却水和工艺用水等）。

A. 4. 4. 2 研究堆散热系统

说明研究堆散热系统及其相关系统的组成，并给出系统流程图，说明散热系统的散热能力，说明废热的排放方案和去向。

A. 4. 4. 3 送排风系统

说明反应堆送排风系统的组成，给出流程示意图。

A. 4. 4. 4 供电系统

简述反应堆主要的和备用的供电系统。

A. 4. 5 放射性废物管理系统和源项

A. 4. 5. 1 放射性源项

说明反应堆堆芯积存量，根据反应堆堆芯核燃料和燃耗，采用合理的计算假设和模式估算堆芯裂变产物和超铀核素的总活度。

说明反应堆主回路的源项，根据裂变产物的产生、去除机理和迁移过程，采用合理的计算假设和模式，估算主回路各裂变产物的比活度。

说明计算假设或计算模式。

说明辐照孔道/考验回路的活化产物和腐蚀产物，根据辐照孔道、考验回路等实验装置主要参数，以及辐照靶件的特性，采用合理的计算假设和模式，估算辐照孔道/考验回路的活化产物和腐蚀产物的总活度。

说明放射性热室设计特点，以及计划裂变产物、铀和超铀核素的最大日操作量。

A. 4. 5. 2 放射性废气管理系统及排放源项

描述放射性废气管理系统，包括收集、处理、贮存和排放含有放射性物质（气体/微粒）的各子系统。说明在运行状态下，系统控制、收集、输送、贮存和处理放射性气体、微粒的能力，并提供系统工艺流程及监测仪表简图。

描述放射性废气的来源和处理方式，绘制研究堆放射性废气的产生、迁移和排出的衡算简图。列表给出放射性废气的种类、性质、流量、滞留时间、去污因子和衰变因子。给出气载流出物的排放情况（包括排放口高度、排气速率、核素种类、排放量等）。

说明计算假设或计算模式。

A. 4. 5. 3 放射性废液管理系统及排放源项

描述放射性废液管理系统，包括收集、处理、贮存、输送和排放含有放射性物质（液体）的各子系统。说明在运行状态下，系统控制、收集、输送、贮存和处理放射性废液的能力，并提供系统工艺流程及监测仪表简图。

描述放射性废液的来源和处理方式，绘制研究堆放射性废液的产生、迁移和排放的衡算

简图。列表给出放射性废液的种类、性质、流量、滞留时间、去污因子和衰变因子。给出液态流出物的排放情况（包括核素种类、排放浓度、排放量等）。

说明计算假设或计算模式。

A. 4. 5. 4 放射性固体废物管理系统及废物量

描述放射性固体废物管理系统，包括收集、暂存、整备和临时贮存固体放射性废物的各子系统/厂房。说明研究堆在运行状态下，放射性固体废物处理系统的收集、减容、整备（含固化）及暂存能力。提供系统收集、处理、整备、贮存和运输的工艺及监测仪表简图。

描述固体废物的来源及处理方法。列表给出各种放射性固体废物的种类、产生量的设计值和预期值、整备后最终产生量的设计值和预期值、放射性废物（如废树脂、废过滤器芯和浓缩液等）整备前后的活度水平。

说明放射性固体废物最小化的具体措施，给出放射性固体废物最小化的管理目标值。

说明放射性固体废物最终处置的初步方案。

A. 4. 6 乏燃料贮存系统

描述乏燃料贮存系统。说明乏燃料暂存设施的贮存容量、贮存方式及安全防护措施。分析研究堆运行及换料时，乏燃料贮存系统中放射性核素的活度浓度及从乏燃料释放的气载流出物中放射性核素的释放量。给出乏燃料贮存系统的冷却净化系统和通风系统的工艺流程图。

A. 4. 7 放射性热室

明确放射性热室操作的燃料源项，根据操作方式，分析裂变产物、铀和超铀核素的总活度以及固体废物产生量。说明从热室释放的气载流出物中各放射性核素的排放量。

A. 4. 8 非放射性废物处理系统

A. 4. 8. 1 废水

说明研究堆调试及运行期间非放射性废水的来源、收集和处理情况。说明生活污水、生产废水的产生量、处理工艺及达标排放和回用等情况。

A. 4. 8. 2 固体废物

说明研究堆调试及运行期间非放射性固体废物（包括危险废物）的种类、来源、收集、处理及处置等情况。

A. 5 施工期环境影响预测与评价

A. 5. 1 陆域施工的环境影响

说明建设项目施工建设占用土地的情况，说明研究堆及相关设施占用土地的类型和面积，说明哪些是永久性占地，哪些是临时占地。说明建设项目的土地利用是否满足国家和地方土地利用规划。

分析陆域工程施工的环境影响因素，包括噪声、废气、废水、弃渣、植被破坏等，说明可能产生的影响范围和程度，重点分析施工期生产废水和生活污水的产生途径、产生量、处理方式、达标排放和回用情况。

A. 5. 2 水域施工的环境影响

说明建设项目水域工程施工活动对该区域内水体环境和水资源利用的影响，包括取排水工程以及其它工程。说明水域施工活动产生的污染物的影响范围，分析对水环境和水生态的影响。

A. 5. 3 施工影响控制

对于建设项目施工期间可能产生的环境影响，说明拟采取的环境保护措施，分析项目施工期在采取环境保护措施后对环境质量的影响，污染物是否能够达标排放，环境影响是否可以接受。

A. 5. 4 施工期环境监测

应依据建设计划和具体施工方案，有针对性地提出详细的施工期环境监测方案。

A. 6 运行期环境影响预测与评价

A. 6. 1 辐射环境影响预测

A. 6. 1. 1 流出物排放源项

采用源项分析（工程分析）中确定的流出物排放源项。

A. 6. 1. 2 照射途径

A.6.1.2.1 气态途径

从气态流出物排放源项开始，给出输送过程、输送介质、环境利用因子、照射方式，最终到人的照射途径示意图和文字描述。

描述气态流出物对公众的照射途径，至少应考虑的途径有：烟云浸没外照射、地面沉积外照射、吸入内照射、食入作物（蔬菜、粮食、水果等）和动物产品（肉、奶等）的内照射。

A.6.1.2.2 液态途径

从液态流出物排放源项开始，给出输送过程、输送介质、环境利用因子、照射方式，最终到人的照射途径示意图和文字描述。

描述液态流出物对公众的照射途径，至少应考虑的途径有：饮用水内照射、食入水生生物内照射、食入用水灌溉生长的作物（蔬菜、粮食、水果等）内照射、食入与液态排放有关的动物产品（肉、奶等）内照射、岸边沉积物外照射、水体浸没外照射（包括水上活动浸没外照射）。

A. 6. 1. 3 计算模式与参数

描述用于估算大气弥散因子、年均沉积因子、水体稀释因子、环境介质中放射性核素浓度，以及个人有效剂量的模式、假设和有关参数。如模式中考虑了放射性核素的沉积和积累等效应，其相应的模式也应加以说明。

给出公众位置、人口分布、食物生产、加工以及消费等与受照途径相关的数据。

A. 6. 1. 4 大气弥散和水体稀释

给出各子区不同类别核素（如惰性气体、碘和粒子态核素）的年均大气弥散因子和年均相对干、湿沉积因子。

给出受纳水体中各子区的水体稀释因子。

A. 6. 1. 5 环境介质中的放射性核素浓度

给出空气中以及气态途径所致食物中的主要核素浓度，确定最大值及所在子区位置。

给出受纳水体中以及液态途径所致食物中的主要核素浓度，确定最大值及所在子区位置。如为间歇性排放，应估算峰值浓度和年平均浓度。

给出液态流出物排放口下游 1000m 处河水中的总 β 和 ^3H 放射性浓度。

对于同一场址后续建造的研究堆，还应给出场址所有核设施所致的环境介质中的放射性核素浓度。

A. 6. 1. 6 公众剂量

给出气、液态途径的各子区内、各年龄组的个人有效剂量。在子区中最大个人有效剂量出现位置处，给出气、液态途径中各核素、各照射途径对各年龄组所致的个人有效剂量及其贡献份额。

确定关键人群组、关键核素和关键照射途径，说明关键人群组的位置、人数和主要特征（如年龄、职业等）。

对于同一场址后续建造的研究堆，还应给出场址所有核设施的关键人群组、关键核素和关键照射途径。

给出评价范围内公众集体剂量。

A. 6. 1. 8 非人类物种的辐射剂量

结合场址环境条件，确定具有代表性的指示生物。

描述非人类物种辐射剂量学分析方法以及评价模式和参数，估算对非人类物种的辐射剂量，并评价与相关接受准则的符合性。

对于同一场址后续建造的研究堆，还应给出场址所有核设施对非人类物种的辐射剂量。

A. 6. 1. 9 辐射影响评价

给出流出物排放对公众和非人类物种所致辐射影响的概括性分析和评价结论。

A. 6. 2 散热系统的环境影响

A. 6. 2. 1 散热系统冷却方式

描述散热系统的工程方案，给出散热系统的工程方案总平面布置图，以及工程的设计参数，包括工程的取排水量及温排水的温升等主要参数。对于采用冷却塔的二次循环冷却方式，说明冷却塔的设计参数和运行模式。

A. 6. 2. 2 散热系统的物理影响

描述温排水对受纳水体温升影响的预测方法及其模式与参数。

描述温排水引起受纳水体的温升分布，包括温升随时间和空间的变化。

对于在研究堆基地内的扩建项目或场址附近区域内已有其它热污染源的情况，分析向受纳水体排放热量的所有热污染源可能产生的叠加影响。

说明温排水所致受纳水体的温升与水体环境功能区划的相容性。

说明为减少温排水物理影响所采取的措施。

对于采用冷却塔的二次循环冷却方式，说明冷却塔环境影响预测的相关参数、计算模式和计算结果。说明减少冷却塔环境影响拟采取的措施。

A. 6. 2. 3 散热系统对生态系统的影响

从温排水导致受纳水体温升及水温稳定性改变的角度，分析温排水对水生生物以及生态系统的影响，评价所造成的影响程度，包括对保护生物的影响。论证散热系统对水生生物影响的可接受性。说明减少对水生生物不利影响的计划和措施。

分析冷却塔雾羽、飘滴对生态系统的影响，说明为减少冷却塔环境影响拟采取的措施。

A. 6. 3 非辐射环境影响

A. 6. 3. 1 废水排放的环境影响

说明建设项目生产废水和生活污水的产生、处理与排放过程，分析其对环境的影响和达标排放情况及回用情况。

A. 6. 3. 2 固体废物的环境影响

说明建设项目运行过程中产生的固体废弃物对环境的影响。

A. 6. 3. 3 噪声的环境影响

说明建设项目运行过程中产生的噪声对环境的影响。

A. 7 事故环境风险

A. 7. 1 研究堆放射性事故和后果评价

对研究堆最大假想事故的放射性后果进行分析和评价，以论证场址非居住区边界的适宜性。

对研究堆设计基准事故的放射性后果进行分析和评价,以论证研究堆专设安全设施设计性能的有效性。

A.7.1.1 事故描述和事故源项

A.7.1.1.1 事故描述

描述研究堆最大假想事故。

根据对研究堆安全特性、专设安全设施功能、裂变产物行为,以及其他设施事故释放的分析,确定潜在的初始事故谱及其发生的频率,划分事故工况并确定要进行事故评价的设计基准事故,并对评价的设计基准事故进行描述,其内容包括事故的起因、事故的过程和后果、事故进程,以及采取的工程安全措施。

对于可能有放射性释放的研究堆、实验堆的设计扩展工况,对评价的严重事故进行描述,包括事故的起因、事故的过程和后果、事故进程和可能采取的措施。

A.7.1.1.2 事故源项

描述计算事故释放源项所用的假设、参数、方法及其依据,并列表给出事故源项,包括核素名称、理化形态、释放的时间特征,以及释放的数量,和释放过程中考虑的去机制。

A.7.1.2 事故后果计算

A.7.1.2.1 事故大气弥散条件

描述计算大气弥散因子的方法、模式和参数及其适用性。提供事故工况下在不同时间间隔、不同方位上非居住区边界的大气弥散因子。

大气弥散因子计算应采用下述方法:

(1) 若场址气象观测资料(至少一个整年的逐时气象数据)可用时,事故后果分析选择全场址 95%概率水平和各方位 99.5%概率水平中较大的大气弥散因子。

(2) 若场址气象观测资料不可用时,可假定保守的气象条件计算大气弥散因子。

A.7.1.2.2 事故剂量

描述计算事故剂量采用的模式、参数及其依据,并说明计算模式的适用性。

事故向环境的释放主要考虑烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射三个途径,并计算给出各种设计基准事故在不同时间间隔、不同方位上非居住区边界外边界所致的个人有效剂量和甲状腺当量剂量。

严重事故向环境释放的照射途径主要考虑烟云浸没外照射、地面沉积外照射、吸入内照射,及污染食物和水的摄入内照射。结合事故后果评价大气弥散因子的概率水平,给出选定的严重事故在不同时段不同距离的放射性后果。

A.7.1.3 事故后果评价

将最大假想事故的剂量计算结果与研究堆环境辐射防护标准进行比较,评价事故后果的可接受性。

将设计基准事故剂量的计算结果与研究堆环境辐射防护标准进行比较,评价事故后果的可接受性。

A. 7.2 场内运输事故

描述放射性物质在场内运输可能发生的事故(包括运进研究堆的新燃料运输事故、从研究堆运出的乏燃料运输事故,以及固体废物运输事故等)。

A. 7.3 其他事故

根据研究堆建设和运行期间的实际情况,对易燃易爆化学品的爆炸、火灾、危险化学品泄漏等事故,以及可能发生的其他事故后果和环境影响进行分析和评价。

A. 8 流出物监测与环境监测

A. 8.1 辐射监测

A. 8.1.1 流出物监测

说明运行期间流出物监测的目的、原则和主要内容,提出流出物监测大纲。

说明气、液态流出物监测系统。描述每一个气、液态流出物排放口在线监测系统的设计,包括监测项目、探测器类型、标定核素、量程、报警阈值设置等。描述每一个气、液态流出物排放口取样监测的设计,包括取样点(样品来源)、样品类型、监测项目、取样方法和频度、样品的制备方法、分析的核素种类、分析测量方法及最小可探测限等。

给出标有监测点和取样点的平面示意图。说明流出物监测系统的冗余性及取样代表性。

说明流出物排放量的统计方法。

A. 8.1.2 辐射环境监测

说明运行期间辐射环境监测的目的、原则和主要内容,提出辐射环境监测大纲。说明监测范围、布点原则、对照点的设置等。对于同一场址后续建造的研究堆,还需描述环境监测方案在前期监测方案基础上所做的调整,以及运行后监测大纲定期优化计划。

列表给出监测项目、样品类型、监测频度、取样地点、分析的核素、核素分析方法和依据的标准、最小可探测限等,并提供各监测项目的布点图。

描述针对关键人群组、关键核素和关键照射途径的监测内容。

A. 8.1.3 应急监测

描述应急监测方案,以及仪器设备及其它资源的配备情况。

A. 8.2 其他监测

A. 8.2.1 废水监测

生产废水、生活污水监测方案，说明布点原则，列表给出取样地点和频度、监测分析项目、分析方法等。

A. 8. 2. 2 热影响监测

冷却水温升测量，以及受纳水体的水温监测方案和实施计划。

A. 8. 2. 3 噪声监测

场界噪声和声环境敏感目标监测，列表给出监测地点、监测频度和监测方法等，并给出布点图。

A. 8. 3 监测设施

A. 8. 3. 1 流出物实验室

描述流出物监测实验室的设计方案，包括实验室面积、功能用房设置、主要仪器设备配置（包括数量、性能参数等）等。

A. 8. 3. 2 环境监测系统

描述环境实验室的位置、面积、功能用房配置、仪器设备配置（包括数量及性能参数等）。

描述辐射与气象监测系统，包括数据收集、处理、共享中心的设置，辐射环境监测子站的布点（包括位置名称、方位、距离等），说明仪器设备配置情况，包括 γ 辐射连续监测设备、空气取样设备、气象参数测量设备等。

环境监测车的配置以及车载仪器设备的配置，其它移动监测设备的配置。

地下水监测井的设置情况。

A. 9 环境影响评价结论和建议

A. 9. 1 研究堆项目概况

用结论性语言简述研究堆建设项目的建设地点、规模、安全性和环境可接受性。

A. 9. 2 环境保护设施

对研究堆环境保护设施（包括三废治理设施，以及流出物监测设施和环境监测设施等）的设置及性能，给出结论性的评价意见。

A. 9. 3 放射性排放

对研究堆放射性排放是否符合国家相关法规标准，给出结论性评价意见。

A. 9. 4 辐射环境影响评价结论

对照国家的有关标准和规定，给出研究堆正常运行状态和事故工况下对公众的辐射影响的结论性评价意见。

给出研究堆运行对环境影响的关键人群组、关键核素和关键照射途径。

对研究堆正常运行状态下对非人类生物的辐射影响，给出结论性的评价意见。

说明事故工况下场址的适宜性。

A. 9. 5 非辐射环境影响评价结论

对照国家和地方环境保护标准,给出研究堆非辐射污染因子对环境质量影响的结论性评价意见。

A. 9. 6 建议

说明在环境保护方面存在的不足,提出相应的改进建议。

附录 B（规范性附录）环境影响报告表的格式与内容

建设项目环境影响报告表

(研究堆项目)

项目名称: _____

营运单位(盖章): _____

编制日期: _____

中华人民共和国生态环境部制

一、建设项目基本情况

建设项目名称			
项目代码			
营运单位联系人		联系方式	
建设地点	___省（自治区）___市___县（区）___乡（街道）___（具体地址）		
地理坐标	（___度___分___秒，___度___分___秒）		
国民经济行业类别		建设项目行业类别	
建设性质	<input type="checkbox"/> 新建（迁建） <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 技术改造	建设项目申报情形	<input type="checkbox"/> 首次申报项目 <input type="checkbox"/> 不予批准后再次申报项目 <input type="checkbox"/> 超五年重新审核项目 <input type="checkbox"/> 重大变动重新报批项目
项目审批（核准/备案）部门（选填）		项目审批（核准/备案）文号（选填）	
总投资（万元）		环保投资（万元）	
环保投资占比（%）		施工工期	
是否开工建设	<input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是：_____	用地（用海）面积（m ² ）	
专项评价设置情况	建设项目产生的环境影响需要深入论证的，应按照环境影响评价相关技术导则开展专项评价工作。 未设置，填写“无”。		
规划情况	建设项目所依据的行业、核基地等相关规划名称、审批机关、审批文件名称及文号。 无相关规划的，填写“无”。		
规划环境影响评价情况	未开展规划环境影响评价的，填写“无”。		
规划及规划环境影响评价符合性分析	分析建设项目与相关规划、规划环境影响评价结论及审查意见的符合性。		
其他符合性分析	分析建设项目与所在地“三线一单”及相关生态环境保护法律法规政策、生态环境保护规划的符合性。		

二、建设项目工程分析

建设内容	<p>1. 项目概况</p> <p>简述项目背景，包括立项审批情况或可行性研究报告、项目的目的和意义等。</p> <p>简述项目的主体工程及辅助工程、配套环保设施，以及依托工程或设施。</p> <p>简述项目场址地理位置，场区平面布置并附图。</p> <p>2.项目特征</p> <p>(1) 适用于基地内扩建研究堆</p> <p>说明研究堆的功率，核反应堆类型，反应堆系统的组成和堆本体的结构，运行模式。</p> <p>简述与流出物、污染物排放有关的核燃料组件、辐照、同位素生产。</p> <p>(2) 适用于现有研究堆技术改造</p> <p>说明技术改造内容。</p>
工艺流程和产排污环节	<p>1、工艺流程</p> <p>简述反应堆及相关设施（子项）设计特点。</p> <p>2、产污环节</p> <p>详细说明工艺产生的污染物，生产运行产生的污染物。</p>
与项目有关的原有环境污染问题	<p>(1) 适用于基地扩建研究堆</p> <p>说明基地的公众剂量约束。</p> <p>说明基地的流出物排放总量控制。</p> <p>说明基地现有工程或设施的液态、气态流出物排放达标情况、固体废物管理情况。</p> <p>说明基地现有工程或设施的公众剂量约束及预留公众剂量约束。</p> <p>(2) 适应于现有研究堆技术改造</p> <p>说明现有研究堆的公众剂量约束。</p> <p>说明现有研究堆的流出物排放量控制。</p> <p>说明现有研究堆的流出物排放量达标情况。</p>

三、区域环境质量现状、环境保护目标及评价标准

<p>区域 环境 质量 现状</p>	<p>1、辐射环境：引用核基地周围辐射环境监测年报资料。</p> <p>2、大气环境：常规污染物引用近3年与建设项目距离近的环境空气质量监测网数据或生态环境主管部门公开发布的质量数据等。无相关数据的选择当季主导风向下风向1个点位补充不少于3天的监测数据。</p> <p>3、地表水环境：引用与排放口距离近的生态环境主管部门发布的水环境质量数据或地表水达标情况的结论。</p> <p>4、声环境：（核基地）厂界外200米范围内声环境保护目标声环境质量现状并评价达标情况。</p> <p>重点说明与本项目排放相关的环境要素的环境质量现状。</p>
<p>环境 保护 目标</p>	<p>1、大气环境：明确厂界外1000米范围内的自然保护区、风景名胜区、居住区、文化区和农村地区中人群较集中的区域等保护目标的名称及与建设项目厂界位置关系。</p> <p>2、声环境：明确（核基地）厂界外200米范围内声环境保护目标。</p> <p>3、地表水环境：明确排放口附近1000米范围内的饮用水水源保护区和自然保护区。</p> <p>4、地下水环境：明确厂界外500米范围内的地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源。</p> <p>重点说明与本项目环境影响相关的环境保护目标。</p>
<p>污染 物排 放控 制标 准</p>	<p>1、放射性：流出物年排放量限值、液态流出物排放浓度限值（申请值）。</p> <p>2、生活污水/生产废水：执行相关的国家、地方污染物排放控制标准，污染物的排放浓度限值。</p> <p>3、噪声：执行相关的国家、地方噪声排放控制限值。</p> <p>重点说明与本项目环境影响相关的评价因子排放控制标准。</p>
<p>总量 控制 指标</p>	<p>生态环境部（国家核安全局）核定的核基地流出物总量控制值。</p> <p>没有总量控制指标的，填写“无”。</p>

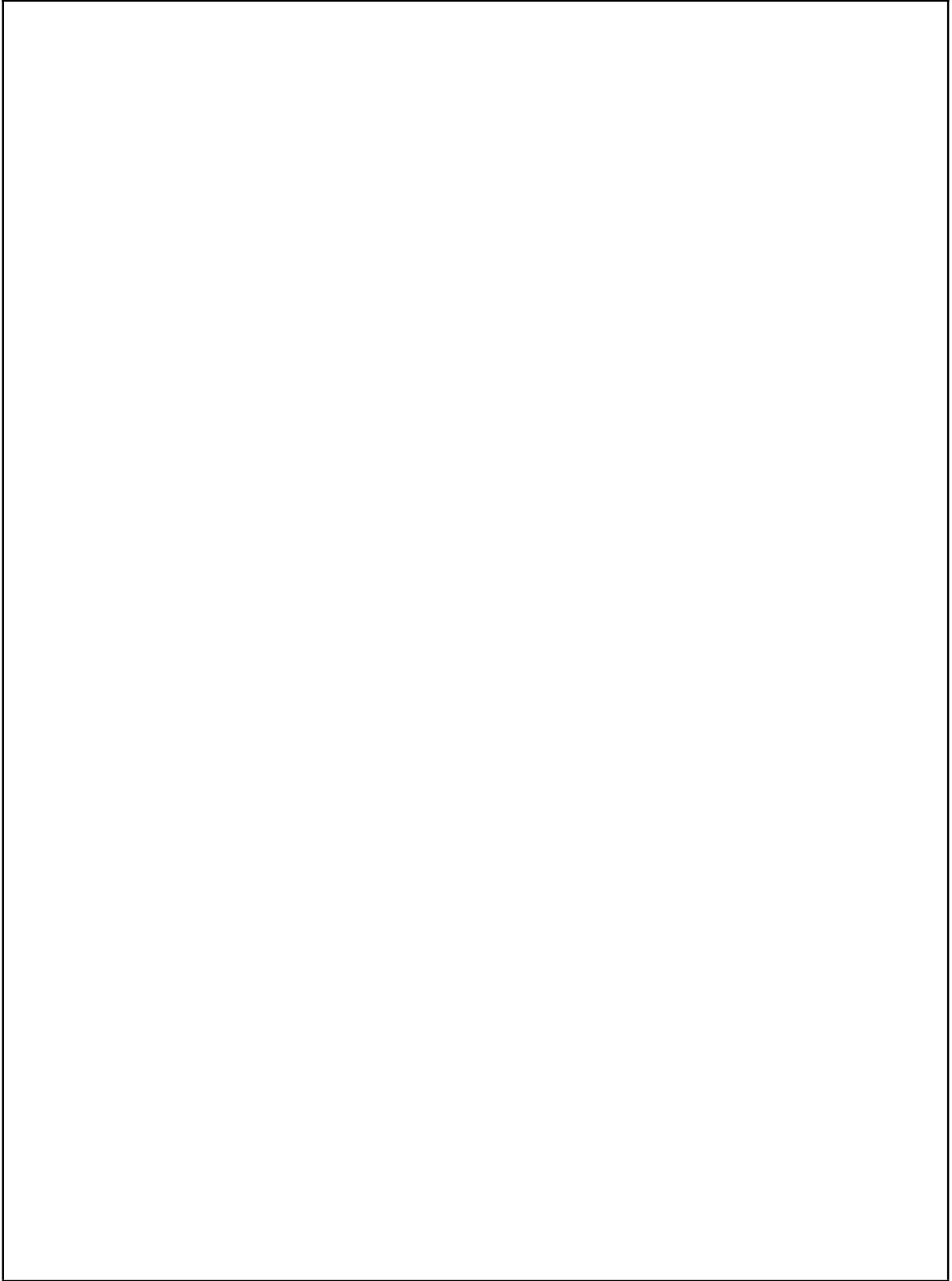
四、主要环境影响和保护措施

施工 期环 境保 护措 施	<p>说明施工期间不同阶段（土石方开挖、土建施工、设备安装调试等）产生的污染物，或环境影响因子。</p> <p>说明不同阶段所采取的环境保护措施，包括防尘降尘措施、降噪措施、水处理等。</p> <p>无建筑施工场地的项目，可填写“无”。</p>
运营 期环 境影 响和 保护 措施	<p>(1) 适用于现有研究堆技术改造</p> <p>说明技术改造前后的流出物排放量。</p> <p>按照技术改造实施后的流出物排放源项，分析预测辐射环境影响。</p> <p>按照技术改造实施后排放的污染物，分析预测对相关环境要素（大气环境、水环境、声环境等）的环境影响。</p> <p>(2) 适用于基地扩建研究堆</p> <p>按照研究堆的流出物排放源项，分析预测辐射环境影响。</p> <p>按照排放的污染物、余热，分析预测对相关环境要素（大气环境、水环境等）的环境影响。</p> <p>涉及生态敏感区生态影响的，环境风险的，应设置专题环境影响评价。</p>

五、环境保护措施监督检查清单

内容 要素	排放口(编号、 名称)/污染源	污染物项目	环境保护措施	执行标准
大气环境				
地表水环境				
声环境				
电磁辐射				
固体废物				
土壤及地下水 污染防治措施				
生态保护措施				
环境风险 防范措施				
其他环境 管理要求				

六、结论



附表

建设项目污染物排放量汇总表

分类 \ 项目	污染物名称	现有工程 排放量（固体废物 产生量）①	现有工程 许可排放量 ②	在建工程 排放量（固体废物 产生量）③	本项目 排放量（固体废 物产生量）④	以新带老削减量 （新建项目不填） ⑤	本项目建成后 全厂排放量（固体废 物产生量）⑥	变化量 ⑦
废气								
废水								
一般工业 固体废物								
危险废物								

注：⑥=①+③+④-⑤；⑦=⑥-①

编制单位和编制人员情况表

项目编号			
建设项目名称			
建设项目类别			
环境影响评价文件类型			
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）			
统一社会信用代码			
法定代表人（签章）			
主要负责人（签字）			
直接负责的主管人员（签字）			
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）			
统一社会信用代码			
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
2.主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字

注：该表由环境影响评价信用平台自动生成

附录 C（资料性附录）研究堆最大假想事故源项分析准则

C.1 最大假想事故源项确定原则

结合研究堆的设计特性和事故后果，可按照原则一或原则二确定最大假想事故源项。

原则一：

采用概率论、确定论方法，结合工程判断选择研究堆的最大假想事故。该事故应包络设计基准事故、预计发生频率 $>1.0E-7$ /堆年的事故序列。

原则二：

考虑堆芯熔化，参照大型水冷反应堆核动力厂最大假想事故源项的计算方法和参数假设确定研究堆的最大假想事故源项。

必须对研究堆的设计基准事故和预计发生频率 $>1.0E-7$ /堆年的事件序列进行分析，确定放射性物质的释放，并从中选取保守的包络性的源项作为研究堆场址选择的源项。在分析过程中，应仔细分析模型的合理性，当对放射性物质释放计值的了解还不够清楚，或者相应的数据资料还不够充分时，则必须考虑适当的保守性。

C.2 最大假想事故源项剂量接受标准

对于研究堆所有设计基准事故和预计发生频率 $>1.0E-7$ /堆年的事故序列，场外个人可能受到的有效剂量和甲状腺当量剂量分别低于隐蔽和碘防护的干预水平，在技术上应为实施场外应急简化甚至取消场外应急创造条件。

对于研究堆设计基准事故，在发生一次稀有事故时，非居住区边界外任意公众个人在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应小于 5mSv；在发生一次极限事故时，非居住区边界外任意公众个人在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应小于 10mSv。对于预计发生频率 $>1.0E-7$ /堆年的事故序列，场址边界外个人在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应小于 10mSv。

C.3 最大假想事故源项确定方法

最大假想事故源项的确定方法一般有以下几种：

（1）导则推荐的方法。基于 RG 1.183，将大型轻水堆大破口失水事故源项用于研究堆放射性事故分析，考虑研究堆设计堆芯功率更低，裂变产物量级更小等特点。该方法基本上把大破口事故替换为小破口事故。将 RG 1.183 堆芯损伤事故情景应用于小破口事故的方法是保守的，但忽略了研究堆的设计特征。

（2）机理源项法。设计人员开发一种专门针对研究堆的事故分析模型，对一级概率风险分析（PSA）确定的并导致堆芯损伤的一系列事件情景进行分析，以确定合适的堆芯放射

性物质释放份额和释放时间。

(3) 综合分析法。该方法是导则推荐的方法和机理源项法的结合，在 RG 1.183 事故进程中，增加了部分与研究堆设计特征的考虑，如瞬态响应行为（例如燃料损坏起始时间）与大型水冷堆核动力厂有较大的区别。

C.4 基本假设

C.4.1 堆芯积存量

堆芯裂变产物积存量应该根据研究堆最大功率运行、许可证批准的燃料富集度和燃耗深度来确定，并考虑功率不确定系数。

C.4.2 释放过程的时间特征

(1) 导则推荐的方法

最大假想事故源项释放分为间隙释放和压力容器内早期释放两个阶段。假设从堆芯释放的放射性核素在相应释放阶段内以线性方式增加，也可以假设放射性核素在相应释放阶段开始时瞬间释放。间隙释放阶段起始时间为 30s，持续时间为 0.5h；压力容器内早期释放阶段紧随间隙释放阶段，持续时间为 1.3h。对于采用管道破前漏技术，或类似能够极大降低管道瞬间破裂概率技术的设计，间隙释放时间可以延迟到 10min。

(2) 机理源项法或综合分析法

确定合适的堆芯放射性物质释放时间。

C.4.3 释放份额

(1) 导则推荐的方法

表 1 堆芯裂变产物总量向安全壳内释放的份额

核素	间隙释放阶段	压力容器内早期释放阶段	总计
惰性气体 (Xe, Kr)	0.05	0.95	1.0
卤族元素 (I, Br)	0.05	0.35	0.4
碱金属 (Cs, Rb)	0.05	0.25	0.3
碲金属 (Te, Sb, Se)	0.00	0.05	0.05
钡, 锶 (Ba, Sr)	0.00	0.02	0.02
贵金属 (Ru, Rh, Pd, Mo, Tc, Co)	0.00	0.0025	0.0025
锕组 (Ce, Pu, Np)	0.00	0.0005	0.0005
镧系元素 (La, Zr, Nd, Eu, Nb, Pm, Pr, Sm, Y, Cm, Am)	0.00	0.0002	0.0002

注：上述数据适用于最大燃耗低于 62WD/MTU 反应堆。

(2) 机理源项法或综合分析法

给出最大假想事故从堆芯释放的裂变产物的核素组成，以及释放份额。通常计算所考虑的放射性核素的剂量贡献不低于总剂量的 90%。

C. 4. 4 化学形态

在核电厂最大假想事故中，如果反应堆地坑水的 pH 控制在 7 或更大，则假设由反应堆冷却剂释放到安全壳的放射性碘中 95% 为气溶胶碘，4.85% 为元素碘、0.15% 为有机碘。

除了元素碘、有机碘和惰性气体以外，其余的裂变产物假设以气溶胶形态存在。

C. 4. 5 放射性核素的去除

可以考虑从堆芯内释放出后的自然过程（如重力沉降、扩散泳、热泳等）对气溶胶的去除机制。应使用经证明合理保守的方法来确定去除效率。

C. 4. 6 泄漏途径的考虑

根据包容体的设计泄漏率而定。

C. 5 环境释放源项计算模型

放射性核素从包容体向环境的释放量可由下述微分方程组给出：

$$\begin{aligned}\frac{dA_1}{dt} &= R (\lambda_T + \lambda_N + L) A_1 \\ \frac{dA_2}{dt} &= LA_1\end{aligned}$$

式中：

A_1, A_2 ——分别表示放射性核素在包容体内及环境中的放射性活度，单位为 Bq；

R ——放射性核素由堆芯向安全壳的释放速率，单位为 Bq/h；

λ_T ——核素的放射性衰变常数， h^{-1} ；

λ_N ——表示自然去除作用的去除系数， h^{-1} ；

L ——包容体的泄漏率， h^{-1} 。

附录 D (资料性附录) 大气弥散因子的计算

D.1 长期大气弥散因子

长期大气弥散因子采用高斯烟羽扇形平均公式,并按照烟囱排放口和邻近建筑物的高度关系,按以下方式确定地面释放份额:

- a) 当排放口高度低于邻近建筑物高度时,为地面释放,即地面释放份额 $E_t=1$;
- b) 当排放口高度高于邻近建筑物 2.5 倍高度时,为高架释放,即地面释放份额 $E_t=0$;
- c) 当排放口高度高于邻近建筑物高度且低于邻近建筑物的 2.5 倍高度时,为地面和高架混合释放。

在混合释放情况下,地面释放份额 E_t 可根据烟流出口速度 (W_0) 和出口高度处风速 (U_s) 之间的关系确定:

- 当 $W_0/U_s < 1$ 时, $E_t=1$;
- 当 $1 \leq W_0/U_s \leq 1.5$ 时, $E_t=2.58-1.58(W_0/U_s)$;
- 当 $1.5 < W_0/U_s \leq 5$ 时, $E_t=0.30-0.06(W_0/U_s)$;
- 当 $W_0/U_s > 5$ 时, $E_t=0$ 。

核电厂运行状态下气载放射性流出物长期大气弥散因子由式 (D.1) 给出:

$$(\chi/Q) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{m=1}^N [(1-E_{tm}) \cdot (\chi/Q)_{Hm} + E_{tm} \cdot (\chi/Q)_{Gm}] \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- (χ/Q) —— 长期大气弥散因子,单位为秒每立方米(s/m^3);
- N —— 逐时气象数据有效小时数,无量纲;
- E_{tm} —— 第 m 小时地面释放的时间份额,无量纲;
- $(\chi/Q)_{Hm}$ —— 第 m 小时高架释放大气弥散因子,单位为秒每立方米(s/m^3);
- $(\chi/Q)_{Gm}$ —— 第 m 小时地面释放大气弥散因子,单位为秒每立方米(s/m^3)。

D.1.1 地面释放大气弥散因子

地面释放条件下大气弥散因子基本公式由式 (D.2) 给出:

$$(\chi/Q)_G = \frac{2.032}{X \cdot U_G \cdot \Sigma_Z} \cdot f_{Gd} \cdot f_{Gw} \cdot f_{GR} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- $(\chi/Q)_G$ —— 地面释放条件下的大气弥散因子,单位为秒每立方米(s/m^3);
- X —— 计算点与释放点之间的距离,单位为米(m);
- U_G —— 地面10m高度风速,单位为米每秒(m/s);
- Σ_Z —— 经建筑物尾流校正后的垂直扩散参数,单位为米(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,修正方法由式(D.3)给出:

$$\Sigma_Z = \min((\sigma_Z^2 + \frac{0.5}{\pi} D_Z^2)^{0.5}, \sqrt{3}\sigma_Z) \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

D_z —— 邻近建筑物的高度, 单位为米(m)。

σ_z —— 场址垂直扩散参数, 单位为米(m);

D.1.2 高架释放大气弥散因子

高架释放应考虑混合层的反射作用, 根据 $H_e+2.15\sigma_z(x)=H_m$ 确定混合层对烟羽影响的起始距离 X_b , 并根据计算点 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, 大气弥散因子由式(D.4)给出:

$$(\chi/Q)_H = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_z} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \dots \dots \dots (D.4)$$

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, 大气弥散因子由式(D.5)给出:

$$(\chi/Q)_H = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_z} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \cdot \sum_{n=-2}^2 \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{2nH_m - H_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \dots \dots \dots (D.5)$$

当 $X \geq 2X_b$ 时, 假定烟羽在地面与混合层之间已均匀混合, 大气弥散因子由式(D.6)给出:

$$(\chi/Q)_H = \frac{2.032}{\sqrt{2/\pi} \cdot X \cdot U_H \cdot H_m} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \dots \dots \dots (D.6)$$

式中:

$(\chi/Q)_H$ —— 高架释放条件下的大气弥散因子, 单位为秒每立方米(s/m^3);

U_H —— 烟羽有效高度处的风速, 单位为米每秒(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;

H_m —— 混合层高度, 单位为米(m);

H_e —— 烟羽有效高度, 单位为米(m)。

高架释放条件下烟羽有效高度 H_e 由核电厂排放口高度 H_s 和烟羽抬升高度 ΔH 确定, 即 $H_e = H_s + \Delta H$ 。

对于大气稳定性为不稳定或中性条件, 烟羽的抬升高度 ΔH 由式(D.7)给出:

$$\Delta H = 1.44 d_i \left(\frac{W_0}{U_s}\right)^{2/3} \cdot \left(\frac{X}{d_i}\right)^{1/3} - C \dots \dots \dots (D.7)$$

式中:

d_i —— 烟羽排放口的烟囱内径, 单位为米(m);

C —— 当 $W_0 < 1.5U_s$ 时的烟羽下冲修正因子, 取 $C = 3 \times (1.5 - W_0/U_s) \times d_e$, 其中 d_e 为烟羽排放口的烟囱外径, 单位为米(m)。

此外, 还应同时按式(D.8)估算 ΔH , 并取较小值作为烟羽抬升高度:

$$\Delta H = 3 \frac{W_0}{U_s} d_i \dots \dots \dots (D.8)$$

并取(D.7)式和(D.8)式的较小值作为烟羽抬升高度。

对于大气稳定度为稳定条件,按式(D.7)计算的烟流抬升高度与以式(D.9)和式(D.10)的估算值作比较,取其中较小值作为烟羽的抬升高度:

$$\Delta H = 4 \cdot \left(\frac{F_m}{S} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (D.9)$$

$$\Delta H = 1.5S^{-1/6} \left(\frac{F_m}{U_s} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (D.10)$$

式中:

F_m —— 动量通量参数, F_m 等于 $W_0^2 \cdot (d_i/2)^2$;

S —— 稳定度参数,对于E类稳定度, S 为 8.7×10^{-4} ,对于F类稳定度, S 为 1.75×10^{-3} 。

烟羽弥散过程中的损耗

D.1.3 干沉降损耗

气载放射性流出物在大气环境的弥散过程中,部分放射性物质沉降到地面,从而导致烟羽中放射性核素浓度的降低。烟羽弥散过程中的干沉积耗减校正因子的计算由式(D.11)给出:

$$f_d = \exp \left\{ - \left(\frac{2}{\pi} \right)^{0.5} \cdot \frac{V_d}{U} \cdot \int_0^x \frac{1}{\sigma_z} \cdot \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{H_s + \Delta H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \cdot dx \right\} \dots\dots\dots (D.11)$$

式中:

f_d —— 干沉降引起的烟羽耗减校正因子,地面释放条件下为 f_{Gd} ,高架释放条件下为 f_{Hd} ,无量纲;

V_d —— 干沉降速度,单位为米每秒(m/s);

U —— 风速,分别采用地面释放的 U_G 和高架释放的 U_H 。

当为地面释放时, σ_z 应按式(C.3)对建筑物尾流修正。

D.1.4 湿沉降损耗

对湿沉降导致的烟羽损耗,采用湿沉积耗减因子对源强进行修正。湿沉积损耗因子的计算由式(D.12)给出:

$$f_w = \exp \left(- \frac{\alpha \cdot I \cdot X}{U} \right) \dots\dots\dots (D.12)$$

式中:

f_w —— 湿沉降引起的烟羽耗减校正因子,地面释放条件下为 f_{Gw} ,高架释放条件下为 f_{Hw} ,无量纲;

U —— 风速,分别采用地面释放的 U_G 和高架释放的 U_H ;

α —— 降水对烟羽的冲洗比例常数,单位为小时每毫米秒(h/(mm·s));

I —— 降水强度,单位为毫米每小时(mm/h)。

D.1.5 衰变损耗

核素在弥散过程中由于衰变导致的烟羽损耗,采用衰变耗减因子对源强进行修正。烟羽中核素衰减损耗因子的计算由式(D.13)给出:

$$f_R = \exp\left(-\lambda_i \cdot \frac{X}{U \cdot 3600}\right) \dots\dots\dots (D.13)$$

式中:

- f_R —— 核素衰变引起的烟羽耗减校正因子, 无量纲;
- U —— 风速, 分别采用地面释放的 U_G 和高架释放的 U_H ;
- λ_i —— 放射性核素 i 的衰变常数, 单位为每小时(1/h)。

D.2 长期地面沉积因子

长期地面沉积因子计算模型由式(D.14)给出:

$$(D/Q) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{m=1}^N \left\{ (1 - E_{vm}) \cdot [(\chi/Q)_{Hm} \cdot V_d + \frac{8\alpha \cdot I_m}{\pi \cdot X \cdot U_{Gm}}] + E_{vm} [(\chi/Q)_{Gm} \cdot V_d + \frac{8\alpha \cdot I_m}{\pi \cdot X \cdot U_{Gm}}] \right\} \dots\dots\dots (D.14)$$

式中:

- (D/Q) —— 长期地面沉积因子, 单位为每平方米(1/m²)。

D.3 事故短期大气弥散因子的计算模型

D.3.1 概述

本标准推荐的模式为高斯烟羽扩散模式, 该模式适用于大多数地形较为开阔平坦的场址。对于某些气象学或地形较为特殊的场址, 需要开展专门的大气扩散实验对该模式和参数进行必要的修正, 或采用其他适用的模式和参数。

D.3.2 经通风口或其他建筑物贯穿件的释放

这类释放方式包括实际上低于2.5倍邻近建筑物高度的所有释放点和释放区域。此类释放方式的大气弥散因子 χ/Q 由以下公式确定:

$$\chi/Q = 1/(\bar{U}_{10} \cdot (\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + A/2)) \dots\dots\dots (D.15)$$

$$\chi/Q = 1/(\bar{U}_{10} \cdot (3 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z)) \dots\dots\dots (D.16)$$

$$\chi/Q = 1/(\bar{U}_{10} \cdot \pi \cdot \Sigma_y \cdot \sigma_z) \dots\dots\dots (D.17)$$

式中:

- χ/Q —— 大气弥散因子, 单位为秒每立方米(s/m³);
- σ_y —— 烟羽水平扩散参数, 为大气稳定性和距离的函数, 单位为米(m);
- σ_z —— 烟羽垂直扩散参数, 为大气稳定性和距离的函数, 单位为米(m);
- U_{10} —— 地面上方 10 米高度处的平均风速, 单位为米每秒 (m/s);
- A —— 反应堆建筑物 (如果恰当的话, 可能是其他构筑物, 或者需要考虑方向才是正

确的)的最小迎风截面,单位为平方米(m²);

Σ_y ——考虑烟云弯曲和建筑物尾流效应的水平扩散参数,根据地面风速、稳定性和释放距离确定。

对于中性 D 或稳定类(E、F)大气稳定度天气,且 10m 高处风速小于 6 m/s 时, χ/Q 的值是由公式 (D.15) 和 (D.16) 求出的较大值与公式 (D.17) 的值比较,选其较小值。在非稳定(A、B 或 C)的大气稳定度情况或者 10m 高处风速大于或等于 6 m/s 时,不考虑风摆,则取公式(D.15)和公式(D.16)计算的较大值作为 χ/Q 的值。

D.3.3 烟囱释放

这类释放高度包括高度等于或大于邻近建筑物高度 2.5 倍的所有释放点和释放区域。

烟囱释放的烟羽中心地面相对浓度的方程为式(D.18):

$$\chi/Q = \exp(-h_e^2/(2\cdot\sigma_z^2)) / (\pi\cdot U_h\cdot\sigma_y\cdot\sigma_z) \dots\dots\dots (D.18)$$

式中:

U_h ——释放高度处的平均风速,单位为米每秒(m/s);

h_e ——有效烟囱高度,单位为米(m); 当 $h_t \leq h_s$ 时, $h_e = h_s - h_t$; 当 $h_t > h_s$ 时, $h_e = 0$;

h_s ——核电厂烟羽的起始高度(通常为烟囱高度),单位为米(m);

h_t ——在释放点与所要进行计算的点之间,核电厂地面上的地形最大高度,单位为米(m)。

在申请者可以证明事故期间核电厂流出物烟羽将具有垂直速度(由于浮力或机械喷射效应)的情况下,在确定有效烟囱高度 h_e 时,可以考虑此附加速度。

应计算释放点下风向不同距离处(包括非居住区边界)的小时大气弥散因子及释放点下风向不同距离处(包括非居住区边界)的年平均大气弥散因子。

应按照下列步骤确定用于环境影响评价的偏保守和(或)偏现实的大气弥散因子:

a) 确定各方位距释放点下风向不同距离处的99.5% (偏保守)或95% (偏现实)概率水平的小时大气弥散因子。对距释放点下风向的某一特定距离,应把按照C.3计算得到的各方位的所有小时大气弥散因子由大到小排列,建立一个小时大气弥散因子值的累积概率分布。应作出小时大气弥散因子与超过该值概率的图,并绘制包络曲线。从每个方位的曲线上,选取满足下列条件的小时大气弥散因子:超过该值的时间为总小时数目的 0.5% (偏保守) 或5% (偏现实)。

b) 确定场址距释放点下风向不同距离处的95% (偏保守)或50% (偏现实)概率水平的小时大气弥散因子。对距释放点下风向的某一特定距离,应把按照C.3计算得到的场址所有方位的小时大气弥散因子由大到小排列,建立一个包括所有方位的小时大气弥散因子的累积概率分布。应作出小时大气弥散因子与超过该值概率的图,并绘制包络曲线。从这条曲线上选取

满足下列条件的小时大气弥散因子：超过该值的时间为总小时数目的5% (偏保守)或50% (偏现实)。

c) 将步骤 a) 和步骤 b) 得到的小时大气弥散因子进行比较，选取较大值作为用于辐射环境影响评价的偏保守和(或)偏现实的小时大气弥散因子(0h~2h大气弥散因子)。

d) 将步骤c)得到的小时大气弥散因子与根据D.1计算得到的年平均大气弥散因子最大值通过双对数线性内插，根据事故释放时段的具体特点计算出不同时段(如2 h~8h、8 h~24h、24 h~ 96 h和96 h~720h等时段) 偏保守的和(或)偏现实的大气弥散因子。

D.4 基于 Arcon 模型的短期弥散因子计算方法

本模式适用于可能释放放射性物质的建筑物边缘 10m 之外，1200m 范围内非居住区边界大气弥散因子的计算。因假定的适用距离有限，建议采用地面释放。如使用高架(烟囱)和通风孔释放模型应进行论证。

模型采用直线高斯扩散模式，其地面释放的基本方程为：

$$\frac{\chi}{Q} = \frac{1}{\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left[-0.5\left(y/\sigma_y\right)^2\right] \quad (\text{D.19})$$

其中，

$\frac{\chi}{Q}$ = 大气弥散因子，s/m³；

σ_y, σ_z = 扩散系数，m；

U = 风速，m；

y = 与烟羽轴线的距离，m；

该方程假定释放连续恒定，持续时间足够长，并且假定污染物能被地面完全反射。扩散系数由大气稳定性和受体距释放点的距离决定，通常可用经验公式计算。扩散系数写成通用的指数形式：

$$\sigma = ax^b + c \quad (\text{D.20})$$

其中，x 是距释放点的距离，a、b、c 是与稳定性相关的系数。该系数在 0-100m、100-1000m 和 1000m 以外三个区间内分别定义。

为了考虑建筑物的尾流效应，这里采用综合扩散系数 Σ_y 和 Σ_z ，定义如下：

$$\begin{aligned}\Sigma_y &= \left(\sigma_y^2 + \Delta\sigma_{y1}^2 + \Delta\sigma_{y2}^2\right)^{1/2} \\ \Sigma_z &= \left(\sigma_z^2 + \Delta\sigma_{z1}^2 + \Delta\sigma_{z2}^2\right)^{1/2}\end{aligned}\quad (D.21)$$

其中, σ_y , σ_z 分别为正常情况下的扩散系数, $\Delta\sigma_{y1}$, $\Delta\sigma_{z1}$ 是低风速情况下的修正, $\Delta\sigma_{y2}$, $\Delta\sigma_{z2}$ 为尾流效应的修正。

低风速修正的具体形式为:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{y1}^2 &= 9.13 \times 10^5 \left[1 - \left(1 + \frac{x}{1000U} \right) \exp\left(\frac{-x}{1000U}\right) \right] \\ \Delta\sigma_{z1}^2 &= 6.67 \times 10^2 \left[1 - \left(1 + \frac{x}{100U} \right) \exp\left(\frac{-x}{100U}\right) \right]\end{aligned}\quad (D.22)$$

此处 x 为受体与释放点的距离, U 为风速。因为这些修正针对地面释放且假定受体在烟羽轴线上, 在计算过程中 x 应该采用倾斜距离。

尾流效应的修正系数形式上与之类似, 具体如下:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{y2}^2 &= 5.24 \times 10^{-2} U^2 A \left[1 - \left(1 + \frac{x}{10\sqrt{A}} \right) \exp\left(\frac{-x}{10\sqrt{A}}\right) \right] \\ \Delta\sigma_{z2}^2 &= 1.17 \times 10^{-2} U^2 A \left[1 - \left(1 + \frac{x}{10\sqrt{A}} \right) \exp\left(\frac{-x}{10\sqrt{A}}\right) \right]\end{aligned}\quad (D.23)$$

其中, A 为建筑物横截面积。

为使结果具有保守性, 设定了水平扩散参数的上限。为此假设在一个扇形区域内污染物均匀分布, 该扇形的宽度等于以受体和释放点为直径的圆的周长。水平扩散参数的上限取其标准差, 具体为:

$$\Sigma_{y\max} = \frac{2\pi x}{\sqrt{12}} \approx 1.81x \quad (D.24)$$

方程 D.19 至 D.24 适合用来计算小时长度的大气弥散因子。对于 0-8 小时以后的大气弥散因子则应该采用平均的模型。首先对高斯扩散模型计算的浓度沿横向积分, 得到积分浓度 CIC:

$$\frac{CIC}{Q'} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\pi \Sigma_y \Sigma_z U} \exp\left[-0.5 \left(\frac{y-y_0}{\Sigma_y}\right)^2\right] dy = \frac{2}{\sqrt{2\pi} \Sigma_z U} \quad (D.25)$$

然后, 将该积分浓度除以扇区的宽度就可以得到扇区平均的大气弥散因子:

$$\frac{\chi_{sa}}{Q'} = \frac{2}{\sqrt{2\pi W_s \Sigma_z U}} = \frac{0.80}{W_s \Sigma_z U} \quad (D.26)$$

在大多数情况下，该宽度对应 22.5° 扇形的宽度，且随下风向的距离变化。在近距离不稳定条件下，近距离的扇区平均浓度高于轴线浓度，扇区宽度取 $\alpha \Sigma_y$ 和 $\pi x/8$ 的较大值，其中 α 为常数 4， x 为受体和源点之间的距离。

为了与轴线浓度模型保持一致且具有较好的保守性，设定了扇区宽度的最大值，这个最大值以受体和源点为直径的圆的周长，即

$$W_{smax} = 2\pi x \quad (D.27)$$

对于 16 个下风向的每个扇区（如 N、NNE、NE、ENE），计算每个源—受体组合在 2 h ~ 30 d 的各种平均时间间隔的 95%分位点的(X/Q)值，计算每个扇区的 99.5%分位点的(X/Q)值，并应选择两个(X/Q)值中较大的一个，即扇区 99.5%分位点的最大值或全场址 95%分位点的值，以代表各时间间隔（2h~30d）内的(X/Q)值。如果申请者或许可证持有者使用其他方法来确定 99.5%分位点的最大(X/Q)值，应很好地记录该方法并提供适当的理由。