

## 附件 3

# 《核设施退役场址土壤中残留放射性水平规定（征求意见稿）》编制说明

## 1 项目背景

### 1.1 任务来源

《核设施退役场址土壤中残留放射性水平规定》是对《拟开放场址土壤中剩余放射性可接受水平规定（暂行）》（HJ53-2000）的修订。本标准的项目承担单位为生态环境部核与辐射安全中心（以下简称“核安全中心”）和中国辐射防护研究院。

### 1.2 工作过程

2014 年，核安全中心承担了原环境保护部的核安全监管课题《核设施退役终态确立及评价方法研究》，对我国早期核设施退役工程以及相应的退役终态及其确立过程进行了回顾，筛选出影响退役终态确立的主要因素以及评价方法，借鉴美、英等国家相关经验和教训的同时，给出了今后我国确立退役终态的建议。

根据生态环境部辐射源安全监管司工作安排，HJ53-2000 的修订工作被列入了工作计划。核安全中心、中国辐射防护研究院按照辐射源安全监管司的任务要求，开展了《核设施退役场址土壤中残留放射性水平规定（修改稿）》的编制工作。2021 年 6 月，承担标准修订任务的相关单位召开了 HJ53-2000 修订的启动会；7 月对标准修订稿（草案）进行了讨论；2022 年 1 月，辐射源安全监管司组织了该标准的

开题论证会，会后标准编制组根据专家意见对修订稿草稿进行了修改完善。4月，核安全中心与中国辐射防护院开展了两轮标准草稿修改的讨论会，主要对标准中具体文字进行核实、对筛选水平确定的估算过程和结果进行比对；5月，标准编制组开展专家咨询，就标准中退役终态剂量准则和筛选水平的合理性进行讨论。6月，辐射源安全监管司组织召开了该标准征求意见稿（初稿）的专家咨询会，编制单位根据专家意见对标准进行了修改，并对标准中的筛选水平进行了校核计算，形成了目前的征求意见稿。

## 2 标准修订必要性

该暂行标准发布 20 多年来，对我国核设施退役，尤其是对一些核技术应用、废物库退役等小型设施的场址评价，起到了及时且可操作性的指导作用。但同时，随着我国各种类型核设施陆续开始退役，退役情况相对复杂，暂行标准规定的残留放射性核素范围和限值已不能满足现有退役实践的需要，亟待修订该标准，满足我国现有和将来退役工程的需要。具体修订理由如下：

(1) 原标准规定了退役场址使用后公众剂量约束值应在 0.1-0.25mSv/a 之间确定，与国际原子能机构现行的《Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices》(WS-G-5.1)中要求的剂量约束值为 0.3mSv/a 和美国《Consolidated Decommissioning Guidance》(NUREG-1757)中要求的剂量约束值为 0.25mSv/a 不一致。根据辐射防护最优化原则以及国内外已有的退役实践，我国无限制开放场址终态的剂量约束值应明确为 0.25mSv/a，

剂量优化的下限应该为  $0.01\text{mSv/a}$ 。

(2) 原标准中对于有限制使用的剂量要求并未具体明确，只给出了原则性要求，不能有效指导有限制使用后的剂量约束值的确定。

(3) 2018 年发布的《土壤污染防治法》第二十条：“国务院生态环境主管部门根据土壤污染状况、公众健康风险、生态风险和科学技术水平，并按照土地用途，制定国家土壤污染风险管控标准，加强土壤污染防治标准体系建设”。从土壤的放射性污染风险管理角度出发，确保土地开发利用符合土壤环境质量的要求，需要根据不同的土地用途制定不同的放射性土壤残留水平。原标准中仅按照农业场景，考虑了保守全面的照射途径，基于  $0.1\text{mSv/a}$  给出了土壤中放射性核素残留水平。因此，需根据《土壤污染防治法》的要求，针对不同土地利用类型和照射途径，给出土壤残留放射性水平确定的原则，使得对污染场址的治理目标更科学、更精细，同时也能匹配审管部门对退役后场址的环境管理工作。

(4) 原标准只是针对无限制使用情况下，给出了基于  $0.1\text{mSv/a}$  的剂量约束值的土壤中剩余放射性水平。该过程没有对无限制使用场景的选取原则进行规定，导致在具体退役活动中使用场景的假设带来困难。

(5) 为科学规范和有效指导污染场址的治理工作，标准中应给出第一步（初步）判断治理必要性的核素筛选水平，低于该水平的场址不用治理，高于该水平的场址应开展进一步的详细调查和评估论证工作。因此，有必要对原标准进行更新，增加不同土地利用途径下核素

的筛选水平，以优化污染场址治理工作的流程，减少非必要的工作程序。

(6) 我国的食谱结构、假定条件以及某些实际参数发生了较大变化，当年导出的土壤残留水平应及时更新。

(7) 根据我国多年的退役实践，在核基地上的单个核设施的退役，需要补充对退役后的使用场景、剂量约束取值以及残留水平确定原则的相关要求。

### 3 国内外相关标准情况

#### 3.1 国内标准

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002 作为我国辐射防护的基本标准，在 11.4.3 中对放射性残存物持续照射的剂量约束提出：对于获准的实践或源退役所造成的持续照射，其剂量约束应不高于该实践或源运行期间的剂量约束，剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%-30%（即 0.1mSv/a-0.3 mSv/a）的范围之内，但剂量约束的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限。该要求对退役场址土壤残留水平的推导原则进行了明确。

HJ53-2000 中要求场址无限制开放后公众剂量约束值应在 0.1-0.25mSv/a 之间确定，未明确规定退役后场址无限制开放的剂量约束值。并且 HJ53-2000 中给出的值是特定剂量下的反推值，在具体的核设施退役治理过程中指导性不强。

《推导退役后场址土壤中放射残存物可接受活度浓度的照射情景、计算模式和参数》(EJ/T1191-2005)，该标准规定了推导退役后

场址土壤中放射性残存物可接受活度浓度的环境照射情景、照射途径、计算模式和主要参数。该标准还将场址用途分为工业用、娱乐业用、城市居民用、郊区居民用、农业居民用等几种类型，并对不同用途可能的照射情景进行了规范。可以看出影响退役场址残留水平的主要因素是土地的使用类型，HJ53-2000 中只考虑了农用地这一种类型，导致标准中给出的核素残留水平值较低，不能有效指导退役工作的开展。

## 3.2 国外标准

### 3.2.1 国际原子能机构

IAEA 以基本安全原则为基础，建立了包括安全要求和安全导则在内的完善的退役法规标准体系，在世界范围内指导了大量的退役实践。同时，结合国际上最新的研究成果和实践经验，IAEA 退役法规标准体系也在不断更新完善。关于退役终态，IAEA 在《IAEA 安全术语》（2018 年版）给出了相关定义并在《解除实践终止场址的监管控制》（WS-G-5.1）进行了详细的规定：

(1) 根据 BSS 和 ICRP 的建议，剂量约束值应当前瞻性的被应用于实践终止后残留在人类栖息地的放射性残留物的照射。场址使用标准应当在该剂量约束值的基础上进行防护最优化，同时还应考虑到对于  $10 \mu\text{Sv/a}$  量级以下照射的最优化可能违背了辐射防护的正当性。

(2) 场址从监管控制中释放后对公众的剂量约束值不应高于实践运行期间的剂量约束值，但两个阶段在照射途径方面可能存在区别（特别是关键居民组），应以此为基础对实践终止前后的剂量约束值进行等效规定。

(3) 对于场址的无限制使用，应当通过防护最优化的方法保证做到对关键居民组的有效剂量控制在剂量约束值（ $0.3\text{mSv/a}$ ）以下；而对于场址的有限制使用，应当保证在限制存在的情况下有效剂量不超过剂量约束值（ $0.3\text{mSv/a}$ ），在限制失效情况下有效剂量不超过 $1\text{mSv/a}$ 。IAEA 关于场址无（有）限制利用的剂量准则如图 3-1 所示。

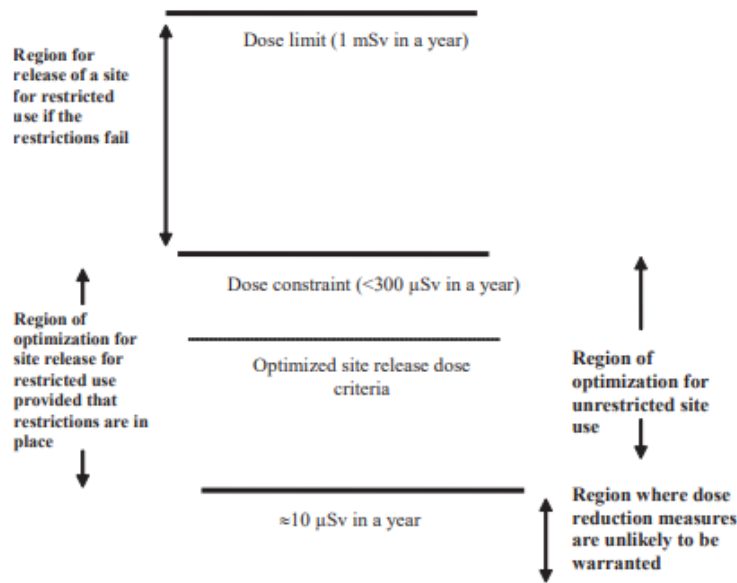


图 3-1 IAEA 关于场址无（有）限制使用的剂量准则

(4) 对于场址使用和物料解控采用不同的剂量约束值是合理且适当的。因为被解控的物料在实践的整个生命周期（包括实践终止阶段）经常发生并可能被用于广泛的潜在用途（包括贸易），应符合 $10\ \mu\text{Sv/a}$ 的解控标准；而场址开放后土壤仍留在原地且土壤潜在用途的确定性高于解控物料，应对场址开放的剂量约束值进行优化，并允许其高于物料解控。

(5) 如果场址符合开放标准，或经修复治理后经验证符合开放标准，并且该标准的设置考虑了场址未来合理的可能用途及相应的不确定性，该场址可无限制使用，这是最优选择。

(6) 如果场址修复治理后不符合开放标准，可考虑有限制使用。  
该情景下，应当设计和施加限制措施确保满足剂量约束值。

IAEA 认为退役是为全部或部分解除对场址或设施的辐射管控而采取的管理和技术行动，通常包括设施的去污和拆除以及土壤的修复治理，其目的是降低辐射风险。退役终态是退役完成后场址的最终状态，主要针对放射性和物理状态。终态包括有限制使用和无限制使用两种，两者的区别主要在于施加的限制是否以放射性为依据。无限制使用的剂量准则为  $0.3\text{mSv/a}$ ，有限制使用在限制措施失效后的剂量约束值可放宽至  $1\text{mSv/a}$ 。此外，退役后剂量约束值不应高于实践运行期间的剂量约束值，但两个阶段在照射途径和关键居民组方面可能存在区别，应进行等效规定。场址开放标准应在该剂量约束值的基础上进行防护最优化。

### 3.2.2 美国

美国以《原子能法》为核心，建立了涵盖联邦法律、联邦法规、管理导则、技术文件、标准及规范在内的完善的退役法规标准体系。关于退役终态，美国主要在《综合退役指南》(NUREG-1757)进行了详细的规定。

(1) 无限制使用的准则是，残留的放射性物质，不包含本底辐射，从所有途径导致关键居民组中单个个体受到的总有效剂量当量 (TEDE) 不超过  $0.25\text{mSv/a}$ 。

(2) 有限制使用的准则是，许可证持有者必须提供制度性控制，确保估算的剂量不超过  $0.25\text{mSv/a}$ 。此外，许可证持有者必须降低残

留放射性以确保即使这些控制失效,估算的剂量也不会超过 1mSv/a。在极少的情况下,估算的剂量可能超过 1mSv/a,但不能超过 5mSv/a,此时额外的制度性控制应当被建立以满足审管要求。

(3)美国核管会(NRC)要求残留放射性应被降低到合理可行尽量低(ALARA)的水平,许可证持有者必须尽一切合理的努力,并考虑技术和经济的情况,切实可行的减少剂量到远低于规定的限值。

(4)基于无限制使用的剂量准则,NRC分别于1998年、1999年和2000年在联邦公报中公布了关于地表土壤污染的筛选值,并阐明了有关使用筛选值的信息,以支持LTR的实施和低水平污染情况下简化退役。筛选值的使用是为满足10CFR第20部分的剂量准则提供合理的保障。除了筛选准则,NRC还建立了去污与退役程序,以证明符合10CFR第20部分E子部分的剂量准则,以及在低水平污染情况下简化退役。该程序具化了NRC关于剂量评估筛选的要求,以便许可证持有者对土壤和建筑物表面的残留放射性所致年剂量进行简单估算。

美国认为退役是降低场址残留放射性以允许(有/无)限制使用并终止核设施许可证的过程,退役终态则是退役完成后场址的最终状态,主要针对放射学状态;无限制使用的剂量准则是0.25mSv/a,有限制使用的剂量准则是1mSv/a,在极少数的情况可以放宽至5mSv/a。此外,残留放射性应被降低到合理可行尽量低(ALARA)的水平;对于简单场址,建筑物表面污染和表层土壤污染筛选值的使用,可简化管理。

#### 4 标准修订的基本原则和技术路线



#### 4.1 标准修订的原则

根据《国家生态环境标准制修订工作规则》(国环规法规〔2020〕4号)第五条的规定：“标准制修订工作以合法合规、体系协调、质量优先、分工协作为基本原则”，本次标准修订工作将遵循该基本原则。即在标准修订过程中，以国家环境保护相关法律、法规、规章、政策和规划为根据，体现国家政策与法规，做到标准工作程序的合法合规；有利于形成完整、协调的核设施退役环境保护标准体系；与我国目前核设施退役的处理能力、监管水平及经济能力相适应，具有科学性和可实施性，促进核设施退役后场址环境质量改善。项目承担单位核安全中心与中国辐射防护研究院将密切协作，发挥双方在各自相关科研方面的互补优势，共同修订 HJ 53-2000，确保标准修订质量。

#### 4.2 标准修订的技术路线

以国外相关技术导则和《推导退役后场址土壤中放射性残存物可接受活度浓度的照射情景、计算模式和参数》(EJ/T 1191-2005)中规定的土壤中放射性核素残留水平计算方法为确定本标准筛选水平的重要依据。同时，参考发达国家的具有可比性的退役场址放射性核素的筛选值，结合我国国情，对标准中的筛选水平进行适当优化调整。本标准的剂量确定原则和筛选水平确定的技术路线见图 4-1。

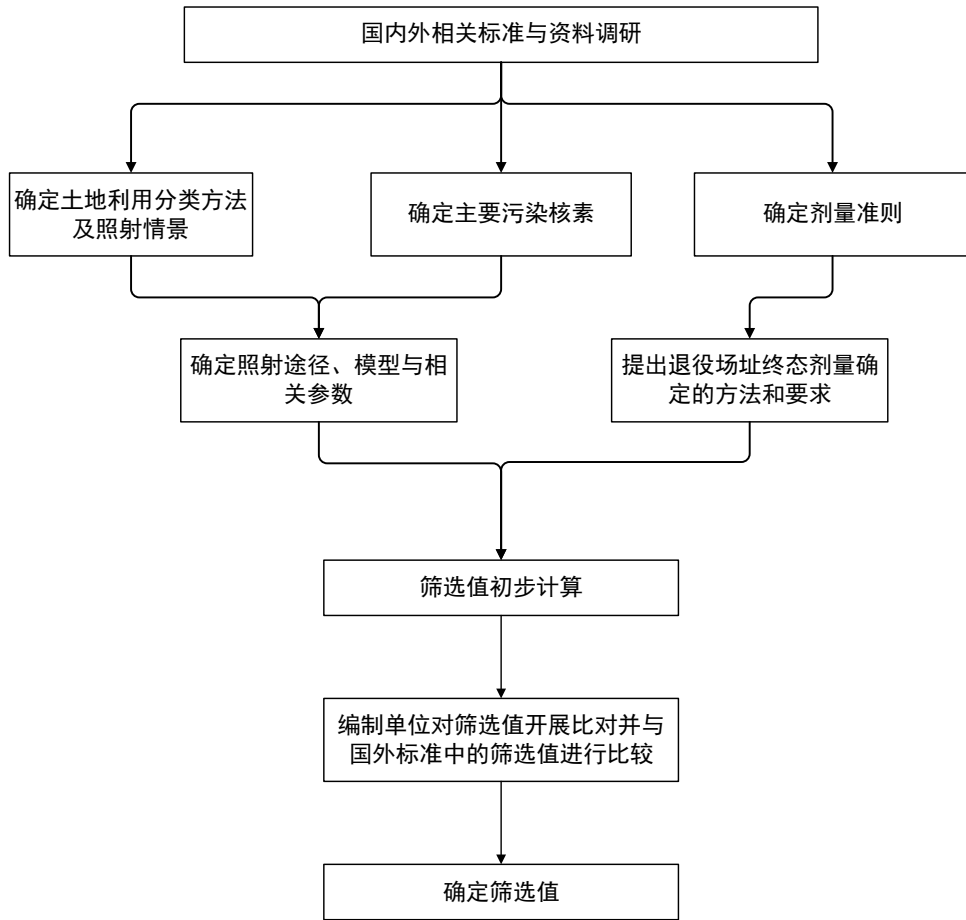


图 4-1 标准修订的技术路线图

## 5 标准主要技术内容

本标准是 HJ53-2000 的修订版。除了按《国家生态环境标准制修订工作规则》（国环规法规〔2020〕4 号）的规定对标准格式作了相应修改外，本标准作了如下主要修改：标准的题目改为“核设施退役场址土壤中残留放射性水平规定”；修改了标准的适用范围；根据 GB18871 以及国内外最新辐射防护要求，修改了退役终态的剂量准则。根据我国土地使用管理规定和退役实践，增加了主要土地利用类型下放射性核素活度浓度的筛选水平；对主要的残留放射性核素进行了筛选，增加了部分核素；增加了退役场址土壤中残留放射性水平确定的工作程序要求；增加了退役中关于非辐射危害的相关要求；增加了筛

选水平推导考虑的主要景象、照射途径和计算参数。删除了原标准中土壤剩余放射性水平推导中用到的计算模式与参数；删除了原标准中有关行政管理性的内容；标准修订的主要技术内容如下。

表 5-1 标准修订后框架结构变化

原标准	修订后
1. 适用范围	1. 适用范围
2. 污染场址开放的审管	2. 规范性引用文件
3. 土壤中剩余放射性可接受水平	3. 术语和定义
4. 确认和审批	4. 场址使用和土壤残留水平确定原则
5. 关于非辐射危害方面的管理要求	5. 土地利用分类
附录 A 土壤中剩余放射性水平推导中用到的计算模式与参数	6. 土壤残留放射性核素的筛选水平
	7. 其他要求
	附录 A 筛选水平推导选用的照射景象、照射途径以及主要参数

### 5.1 关于标准名称

为明确核设施退役土壤残留放射性核素水平的确定原则，指导放射性污染土壤治理活动，匹配场址开放后政府各部门对土壤的管理和使用，标准名称由“拟开放场址土壤中剩余放射性可接受水平规定”变更为“核设施退役场址土壤中残留放射性水平规定”。

## 5.2 关于适用范围

原标准的适用范围为“核设施（包括铀、钍矿冶设施和放射性同位素生产设施）退役场址的开放利用，对于其他从事导致天然放射性水平增高活动的场址的开放利用可参照执行”。标准修订后适用范围调整为“适用于核设施退役场址的开放使用，核技术利用设施退役场址的开放使用可参照执行”，排除了铀（钍）矿和伴生放射性矿开发利用活动场址的开放使用，主要从以下两方面考虑：

(1) 在国际原子能机构《Application of the Concept of Clearance》(DS500) 等多个文件中，明确“在经过纯化转化、浓缩、元件制造以及后处理工艺后，天然放射性核素是在授权的计划照射下产生，应按照人工核素处理”。可以看出天然放射性核素在核设施和 NORM 行业的解控原则及要求是不一样的。

(2) 在《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020) 中，9.2.4 节明确要求“土地去污整治后，任何 100m<sup>2</sup> 范围内土层中 <sup>226</sup>Ra 的平均活度浓度扣除当地本底值后不超过 0.18Bq/g，可无限制开放或使用”。该标准适用范围包括“适用于中华人民共和国境内的铀矿冶设施，钍矿或其他伴生放射性矿可参照执行”，其已经对铀矿冶和伴生放射性矿退役场址治理后无限制开放的核素残留放射性水平进行了规定。

因此，本次修订时，在 HJ53 的适用范围中将铀（钍）矿和伴生放射性矿进行了排除。

## 5.3 标准的术语与定义

本标准共有 6 个术语和定义，包括：残留放射性水平、有限制使用、无限制使用、筛选水平、农用地、建设用地。

有限制使用和无限制使用的定义是引自于国际原子能机构的《TERMINOLOGY USED IN NUCLEAR SAFETY AND RADIATION PROTECTION》(2018)；筛选水平的定义参考了《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB36600—2018)和《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB15618-2018)，将土壤非放污染治理的筛选值概念引入到土壤放射性污染治理中，以便于统一土壤污染治理工作，也便于土壤治理完成后政府各部门对土壤的管理和使用。

#### 5.4 关于土地用途分类

根据《土壤污染防治法》(2018 年)的要求，环境保护部门应按照土地用途制定土壤污染风险管控标准。我国土地用途按照用途分为农用地、建设用地和未利用地（《土地管理法》），其中未利用地不涉及人类活动，可以排除。农用地是指直接用于农业生产的土地，包括耕地、林地、草地、农田水利用地、养殖水面等；建设用地是指建造建筑物、构筑物的土地，包括城乡住宅和公共设施用地、工矿用地、交通水利设施用地、旅游用地、军事设施用地等。

农用地考虑主要照射情景为：在污染地块开展农业活动、食用污染地块生长的作物以及饮用污染地块的地下水等；建设用地的类别较多，照射情景比较复杂，核设施退役后场址继续留作建设用地的可能性也较大，因此，从居留时间、敏感人群以及暴露情况的不同出发，将建设用地分为第一类建设用地和第二类建设用地。

第一类建设用地，儿童和成人均存在长期暴露风险，主要是GB50137规定的居住用地。考虑到社会敏感性，将学校、医疗、养老相关的用地类型包括公共管理与公共服务用地中的中小学用地、医疗卫生用地和社会福利设施用地，公园绿地中的社区公园或儿童公园用地也列入第一类建设用地。

第二类建设用地主要是成人存在长期暴露风险。包括GB50137规定的城市建设用地中的工业用地，物流仓储用地，商业服务业设施用地，道路与交通设施用地，公用设施用地，公共管理与公共服务用地（A33、A5、A6除外），以及绿地与广场用地（社区公园或儿童公园用地除外）等。

GB50137规定之外的建设用地可参照上述类别划分。

## 5.5 关于退役终态的剂量要求

是否存在以放射性为目标的管控是区分有限制使用和无限制使用的主要依据。在一定的剂量之内，退役场址都可以实现无限制开放，而在此剂量之上，场址则只能选择有限制开放。

(1) 无限制开放的剂量准则为小于  $0.25\text{mSv/a}$

IAEA在《解除实践终止场址的监管控制》(WS-G-5.1)中给出了退役场址无限制开放的剂量准则为  $0.3\text{mSv/a}$ ；美国在10 CFR第20部分E子部分规定了退役场址无限制开放的剂量准则为  $0.25\text{mSv/a}$ ；我国分别在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)和《拟开放场址土壤中剩余放射性可接受水平规定(暂行)》(HJ 53-2000)给出了退役场址无限制开放的剂量准则为  $0.1-0.3\text{mSv/a}$  和

0.1-0.25mSv。

IAEA 还规定，“场址从监管控制中释放后对公众的剂量约束值不应高于实践运行期间的剂量约束值，但两个阶段在照射途径方面可能存在区别（特别是关键居民组），应以此为基础对实践终止前后的剂量约束值进行等效规定”；我国在 GB 18871-2002 也提出退役场址剂量约束不高于退役前实践或源运行的剂量约束。

通过调研我国现有各核设施基地的场址剂量约束值，梳理国内相关标准中对场址剂量约束值的要求，如《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）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/a 的剂量约束值”。可以得出，国内现有核设施基地的场址剂量约束值最大不超过 0.25mSv/a。

因此，将我国核设施退役场址无限制开放剂量上限确定为 0.25mSv/a。

(2) 有限制开放的剂量准则为 1mSv/a

IAEA 在 WS-G-5.1 中给出了退役场址有限制开放的剂量准则，“对于场址的有限制开放使用，应当保证在限制存在的情况下有效剂量不超过剂量约束值（0.3mSv/a），在限制失效情况下有效剂量不超过 1mSv/a”；我国在 GB 18871-2002 也明确，“如果不存在其他照射的可能性，并且降低照射的经济代价太大，则在这种情况下经审管部门认可，可将剂量约束值放宽到 1mSv/a”。

美国在 NUREG-1757 第 1 卷中提出了更宽松的准则，即“有限制

开放的准则是，许可证持有者必须提供制度性控制确保估算的剂量不超过 0.25mSv/a。此外，许可证持有者必须降低残留放射性以确保即使这些控制失效，估算的剂量也不会超过 1mSv/a。在极少见的情况下，估算的剂量可能超过 1mSv/a，但不能超过 5mSv/a，此时额外的制度性控制应当被建立以满足审管要求”。对此，我国也予以了考虑，并在 GB 18871-2002 中补充，“如果剂量约束已超过 1mSv/a，并且为进一步减小持续照射而采取技术性措施的经济代价太大，则在这类情况下应采用行政手段对持续照射进行有组织的控制，应对有组织控制的严格程度进行抉择，使之适应当时的情况”。

因此，将我国核设施退役场址有限制开放剂量上限确定为 1mSv/a。

### (3) 剂量约束值的确定不能取代最优化

IAEA 在 WS-G-5.1 中明确了剂量约束值的最优化，即“场址开放标准应当在该剂量约束值的基础上进行防护最优化，同时还应考虑到对于  $10\ \mu\text{Sv/a}$  量级以下照射的最优化可能违背了辐射防护的正当性”；美国在 NUREG-1757 第 1 卷中也规定，“残留放射性应被降低到合理可行尽量低（ALARA）的水平，意味着许可证持有者必须尽一切合理的努力，并考虑技术和经济的情况，切实可行的减少剂量到远低于规定的限值”；我国也在 GB18871-2002 中予以明确，“剂量约束的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限”。

因此核设施退役场址开放剂量约束值的确定应当在剂量准则之下进行最优化，但当拟开放场址对公众有效剂量低于  $10\ \mu\text{Sv/a}$  时，继续清理不具有正当性。



综上，我国核设施退役场址开放剂量准则如图 5-1 所示。

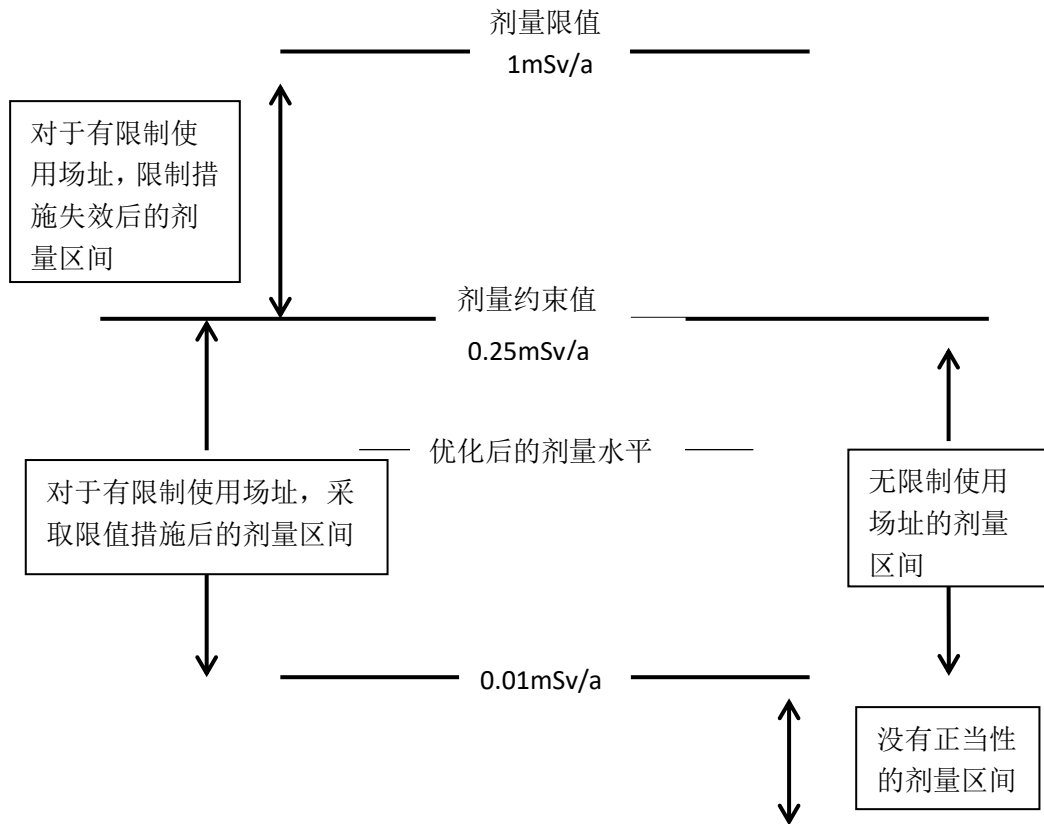


图 5-1 我国核设施退役场址开放剂量准则

## 5.6 标准中主要核素的确定过程

由于核设施种类不同，如铀纯化转化设施、铀浓缩设施、铀元件制造设施、核电厂、乏燃料后处理设施、放射性废物贮存设施和放射性废物处理设施；同类设施采用不同的工艺或操作不同的物料，如铀元件制造设施和乏燃料后处理设施使用堆后铀，压水堆和高温气冷堆使用不同的堆芯设计，放射性废物贮存和处理设施贮存和处理不同的放射性废物等，核设施退役后场址土壤中可能残留的放射性核素种类随设施的不同而不同。大致可分为以下几类：

- (1) 铀前端设施，包括铀纯化转化设施、铀浓缩设施和铀元件制

造设施（不涉及堆后铀），关键核素为 U；当涉及堆后铀，铀浓缩设施和铀元件制造设施关键核素还包括超铀核素（Np、Pu、Am、Cm）和裂变核素（Sr、Nb、Ru、Cs、碘、惰性气体（Ar、Kr、Xe））；

(2) 核电厂，关键核素为裂变核素（Sr、Nb、Ru、Cs、碘、惰性气体（Ar、Kr、Xe））、活化产物（Cr、Mn、Co、Fe、Ni、Zn、Nb、Zr、Ag、Sb）、H-3 和 C-14；

(3) 乏燃料后处理设施，关键核素为 U、超铀核素（Np、Pu、Am、Cm）、裂变核素（Sr、Tc、Ru、Cs、Eu、碘、惰性气体（Ar、Kr、Xe））、活化产物（Cr、Mn、Co、Fe、Ni、Zn、Nb、Zr、Ag、Sb）、H-3 和 C-14；

(4) 放射性废物贮存和处理设施，关键核素取决于贮存和处理的放射性废物，即与废物产生单位关键核素保持一致。

(5) 关于 U-235 的考虑，在核燃料循环系统中，涉及铀操作的物料主要有贫化铀、天然铀、低丰度铀和高浓铀。编制单位对不同丰度铀中 U-235 的比活度占比情况进行了计算，详见表 5-1。

表 5-1 不同丰度铀中 U-234、U-238 和 U-235 的比活度占比情况表

	比活度 (Bq/g)	<sup>238</sup> U (Bq/g)	<sup>234</sup> U (Bq/g)	<sup>235</sup> U (Bq/g)	<sup>235</sup> U 比活度 占比
贫化铀	1.37E+04	1.24E+04	1.15E+03	2.00E+02	1.46E-02
天然铀	2.53E+04	1.23E+04	1.24E+04	5.76E+02	2.28E-02
5%丰度铀	1.23E+05	1.18E+04	1.07E+05	4.03E+03	3.28E-02
20%丰度铀	3.85E+05	9.76E+03	3.59E+05	1.67E+04	4.34E-02
90%丰度铀	2.69E+06	1.13E+03	2.62E+06	7.16E+04	2.66E-02

结果表明，U-235 在各种丰度铀中的放射性占比范围为 1.46%~4.36%，其影响远远低于 U-234 和 U-238。因此，各种丰度铀中的主要考虑核素为 U-234 和 U-238。

(6)另外，考虑到国内已有的反应堆退役实践中，在核设施拆除活动时存在 Eu-152 和 Eu-154 的释放对土壤造成污染，因此在核素筛选中予以考虑。

2022 年 6 月，辐射源安全监管司组织召开了该标准征求意见稿（初稿）的专家咨询会。从放射性核素的产额、半衰期以及对公众的剂量贡献角度进行筛选，结合专家意见，本标准列出的主要核素，包括：U-238、Pu-238、Pu-239、Am-241、Sr-90、Cs-137、Eu-154、Co-60、Ni-63、I-129、Tc-99、H-3、C-14，在考虑场址终态时遇到其他未列出的核素，可根据具体的场址开放景象通过评价计算来确定残留值。

## 5.7 关于筛选水平

筛选水平是初步判断土壤是否需要治理的主要依据，场址污染水平若等于或低于筛选水平时可以不用治理；场址污染水平若高于筛选水平时可根据场址开放后的确定用途，通过推导计算，结合剂量准则，进一步判断是否需要治理。筛选水平确定的意义在于简化退役治理的工作程序，对于污染较轻的场址，通过对比筛选水平，可不用进行反复的迭代计算，直接做出不清理土壤的决定。

在编制过程中，核安全中心和中国辐射防护院同步开展了筛选水平的推导计算工作，在农用地、第一类建设用地、第二类建设用地情况下，按照最保守的照射途径，基于 0.01mSv/a 的剂量要求，计算三种用地类型对应的筛选水平，并对计算过程和计算结果进行了比对。同时还类比了《Consolidated Decommissioning Guidance》

(NUREG1757)(volume2)中的“通用土壤污染筛选值”、EPA与NRC备忘录《Consultation and Finality on Decommissioning and Decontamination of Contaminated Sites》中的住宅筛选值和工商用地筛选值，最终确定了本标准中三类用地类型的筛选水平。

三类用地情景下考虑的主要景象如下：

#### (1) 农用地

评价考虑的典型情景为耕地，农民在田地耕作劳动，并食用农产品。照射途径为： $\gamma$ 外照射、微尘吸入、种植食物食入、肉类食入、奶类食入、鱼类食入、土壤食入、饮水。假设人在该景象的停留时间为12h/d。

#### (2) 第一类建设用地

评价考虑的典型景象为农村宅基地，主要考虑儿童和成人存在长期暴露风险。照射途径为： $\gamma$ 外照射、微尘吸入、土壤食入、饮水。假设人在该景象的停留时间为24h/d，其中室外停留时间为12h/d。

#### (3) 第二类建设用地

评价考虑的典型景象为物流仓储用地，主要考虑成人存在长期暴露风险。照射途径为： $\gamma$ 外照射、微尘吸入、土壤食入。假设人在该景象的停留时间为12h/d，其中室外停留时间为6h/d。

编制单位采用了EJ/T1191和RESRAD软件两种方法，对不同土地利用类型下核素的筛选水平并行开展了计算。从计算结果比对可以得出，①两种计算结果的吻合性较好，不存在较大差异；②同一土地利用类型下EJ/T1191计算结果比RESRAD软件计算结果小；③从不同土

地利用类型角度对比，农用地、第一类建设用地、第二类建设用地的计算结果呈由小变大趋势。

另外，编制单位对计算过程还开展了以下专题分析工作：①I-129 计算结果差异分析；②不同方法对C-14和H-3迁移评价的差异分析；③差异性参数对计算结果的影响分析；④与NRC筛选值数据对比分析；⑤两种计算方法的保守性分析。

最后，编制单位选用了EJ/T1191中计算方法得出的结果作为标准中的筛选水平（H-3和C-14的筛选水平采用RESRAD软件计算得出的结果）。

## 6 与国内外同类标准或技术法规的对比和分析

现行标准参考国际上推荐的原则、方法和某些实例编制而成。在计算中，结合国情采用了我国的最新食谱以及某些实际参数，同时在内照射剂量转换因子上采用了当时国际上的推荐数值。本标准在技术层面上，对核设施退役场址土壤放射性核素残留水平推导采用的剂量准则进行了明确，以反映辐射防护要求的最新进展；并将土地的使用用途进一步细化，在全面考虑照射途径的基础上，结合我国当前的食谱情况计算推导出筛选水平，可以更加科学的指导核设施的退役工作。

本标准明确规定了核设施退役土壤残留水平相关的技术标准或主要参数如：

(1) 明确规定了核设施退役土壤终态的剂量准则为0.1-0.25mSv/a；

(2) 提出核设施场址退役完成后的土地利用类型主要分为农业用

地和建设用地两大类；

(3) 选用了目前国内最新的人口食谱数据，对各核素土壤残留水平的筛选水平进行了推导。

上述有关控制水平或主要参数与规范性引用文件中的 GB 18871 和 EJ/T1191 的相关规定保持一致。