

核安全导则 HAD 401/13-2021

低水平放射性固体废物贮存设施安全

国家核安全局 2021 年 5 月 22 日批准发布

国家核安全局

低水平放射性固体废物贮存设施安全

(2021 年 5 月 22 日国家核安全局批准发布)

本导则自 2021 年 5 月 22 日起实施

本导则由国家核安全局负责解释

本导则是指导性文件。在实际工作中可以采用不同于本导则的方法和方案，但必须证明所采用的方法和方案至少具有与本导则相同的安全水平。

本导则的附件为参考性文件。

目录

1 引言.....	1
1.1 目的.....	1
1.2 范围.....	1
2 目标和原则.....	1
3 低放废物贮存设施营运单位职责.....	1
4 一般要求.....	2
5 废物接收及其包装.....	3
5.1 废物接收.....	3
5.2 废物包装容器要求.....	3
6 选址和设计.....	4
6.1 选址.....	4
6.2 设计.....	4
7 建造、调试和运行.....	8
7.1 建造.....	8
7.2 调试.....	8
7.3 运行.....	8
8 退役.....	11
附件 低水平放射性固体废物贮存设施安全评价工作建议.....	12

1 引言

1.1 目的

本导则为低水平放射性固体废物贮存设施的选址、设计、建造（含调试）、运行、退役全过程管理提供指导，以满足废物安全贮存要求。

1.2 范围

本导则适用于低水平放射性固体废物贮存设施，不适用于废旧放射源贮存设施、铀矿冶废物贮存设施和伴生放射性矿开发利用的废物贮存设施。

本导则所述低水平放射性固体废物，是指长寿命放射性核素含量有限、可以在近地表处置设施处置的放射性固体废物。

2 目标和原则

废物贮存设施各类活动以人和环境安全为前提，通过技术和管理措施实现废物的安全贮存，保证公众及从业人员的个人辐照剂量低于国家限值，并保持在合理、可行和尽可能低的水平。

3 低放废物贮存设施营运单位职责

3.1 营运单位对废物贮存设施及其所贮存的废物的安全负有全面责任。

3.2 营运单位需通过设置合理的组织机构、人员配置，建立完整的管理体系，为设施的运行和退役提供充足的资源保障。

3.3 营运单位的职责通常包括：

（1）获得贮存设施的安全许可；为其他单位提供低放废物贮存服务的贮存设施，单独申请安全许可；做为配套的低放废物贮存设施纳入主体设施的安全许可；

（2）根据适用标准、规范和监管要求实施设施的营运管理，包括退役；

（3）按接收要求实施和完善放射性废物的贮存活动；

（4）按法规规定定期报告设施的运行情况；

（5）制定并实施管理体系，包括运行、监测程序；

（6）按照法规要求开展定期安全评价。

3.4 营运单位需提出包括废物接收准则、放射性物质/有害物质排放准则在内的设施运行限值和条件，并设置合理的运行管理目标值。

3.5 营运单位需在设施开始运行时提出设施的退役计划，并根据运行情况定期修订退役计划。对于新设施，在设计阶段就需考虑退役问题。

3.6 营运单位需结合设施的潜在安全危害，编制涵盖职业照射、工作场所辐射、环境监测等内容的监测方案。

4 一般要求

4.1 确保职业照射和公众照射保持在合理、可行和尽可能低的水平，个人剂量限值不超过相应标准的规定。

4.2 贮存设施、废物包装和贮存需确保放射性物质的包容和可完整回取。

4.3 需保证废物安全、有效贮存，包括：

(1) 可导出废物体释放的能量，如高完整性容器（HIC）中废树脂辐解气可排出；

(2) 采用多重屏障确保废物安全；

(3) 需设置有利于废物包贮存的环境；

(4) 尽量减少安全保障措施对于能动系统、监测维护活动和人为干预活动的需求；

(5) 设计需考虑预期自然灾害；

(6) 需设有异常事件的响应通道；

(7) 异常事件发生时，可无需人员过早干预；

(8) 确保废物检查的可达性。

4.4 需基于预期的废物类型、废物产生量等信息对贮存设施的库容进行规划。放射性废物在贮存设施内的贮存期限需符合国家相关标准要求。

4.5 贮存设施的设计和运行需尽量降低异常事件风险，减轻事件后果，降低对人员健康和环境的危害。

5 废物接收及其包装

5.1 废物接收

5.1.1 贮存设施营运单位需根据国家有关法规和标准要求制定废物接收准则，接收贮存的固体废物需符合接收准则要求。

5.1.2 接收贮存的固体废物包内游离液体的体积需小于固体废物体积的 1%。

5.1.3 接收贮存的固体废物中不含有易燃、易爆、易腐烂、易挥发、强腐蚀性和其他化学性质不稳定物质以及病原体、非放剧毒物质。

5.1.4 对于贮存周期结束后需外运处理的废物包，其特性需满足废物处理设施的接收准则；对于贮存周期结束后需外运处置的废物包，其特性需满足国家有关废物处置安全标准的要求和废物处置设施的接收准则。

5.2 废物包装容器要求

5.2.1 废物包装容器的设计和制造需保证在使用寿期内贮存、回取、转运等各类运行工况下对废物的有效包容。容器作为废物包容的主要屏障，其强度和完整性需满足所包容废物类型和核素浓度的贮存要求。

5.2.2 容器设计需考虑废物的特性及其影响，如：

- (1) 因废物和容器间化学反应造成腐蚀、污染等；
- (2) 有机废物（如纤维素、塑料）可能具有的可燃性；
- (3) 已压实的废物可能出现回弹膨胀，造成回取困难；
- (4) 部分废物可能由于辐解等反应产生腐蚀性、易燃性气体。

5.2.3 在异常事件时，废物包装容器需包容放射性废物，确保操作人员和公众的安全。

5.2.4 贮存容器的设计需考虑贮存环境（如环境温度和湿度条件）的影响。

5.2.5 需考虑废物处理和堆放所引起的动态和静态负荷。在设计阶段需考虑容器的壁厚、充装的重量和堆放的方式。

5.2.6 如贮存容器内容物可能产气，需在安全评价时关注设置排气装置的必要性。

5.2.7 在满足贮存、运输和处置要求的前提下，需优先选用体积利用率高、增容小的废物包装容器。

6 选址和设计

6.1 选址

6.1.1 独立建造的贮存设施在进行选址时需考虑地形水文地震等条件、当地社会经济发展的制约因素、贮存设施建造与运行的经济性以及贮存废物的潜在危害。

6.1.2 选址需考虑外部人为事件和自然事件对贮存设施的影响，以及贮存设施可能的放射性与有害物质的释放对公众和环境的影响，保证在设计寿期内放射性废物有良好的包容并与公众、环境有足够的隔离。

6.1.3 选址条件需考虑贮存设施的建造、运行、扩建和退役的需求。当贮存设施为核设施的配套设施时，可根据核设施的实际要求选择场地。

6.2 设计

6.2.1 通用设计要求

6.2.1.1 贮存设施需综合考虑接收废物的类型、放射性核素种类、活度水平、放射性总量、非放射性特性和预期贮存时间。

6.2.1.2 贮存设施的设计需保证满足废物接收、贮存、检查、监测和可回取的要求。

6.2.1.3 贮存设施的设计需考虑废物包和设施自身屏障的多重防护。

6.2.1.4 贮存设施的设计需考虑下列内容：

- (1) 放射性物质的包容；
- (2) 辐射防护；
- (3) 通风；
- (4) 废物包的检查和监测；
- (5) 废物包的维护；
- (6) 贮存设施的检查；
- (7) 贮存设施未来是否需要扩容；
- (8) 废物转运；
- (9) 退役。

6.2.1.5 贮存设施的设计需考虑废物对系统功能和贮存设施运行产生的影

响，并满足以下要求：

- (1) 保证设施的化学稳定性，避免外界环境引起的腐蚀；
- (2) 防止辐照损伤和热损害，避免有机材料降解和电子设备损坏；
- (3) 承受正常运行和异常事件造成的影响。

6.2.1.6 贮存设施的设计需考虑废物分类贮存、贮存区域合理分区、废物包整齐码放和提高贮存空间利用率。

6.2.1.7 贮存设施的设计需保证人员安全且尽量减少工作人员的辐照剂量，如采用自动化水平较高、可远程操作的工艺设备。

6.2.1.8 贮存设施的设计需考虑便于退役的要求。

6.2.1.9 贮存设施设计输出文件至少包括下列内容：

- (1) 厂址特性；
- (2) 设施及其主要系统、设备、部件的说明；
- (3) 操作说明；
- (4) 监测方案；
- (5) 辐射防护文件；
- (6) 安全评价（详见附件）；
- (7) 安保措施。

6.2.2 构筑物

6.2.2.1 贮存设施的设计需考虑可能造成重大放射性危害的外部灾害，如火灾、水淹等。

6.2.2.2 贮存设施的平面及空间布置需满足工艺布置要求，合理设置人流及物流通道，并充分考虑废物装卸、运输、处理及贮存等操作空间以及维修设备和工具贮存场地的需要。

6.2.2.3 贮存设施的地面设计需尽量避免放射性的沾污，且需采取措施防止室外雨水的侵入，防止贮存区进水，防止墙体和基础之间渗水。

6.2.2.4 贮存设施的结构构件，需根据承载能力极限状态及正常使用极限状态的要求，对承载力及稳定、变形、抗裂、裂缝宽度计算和验算。

6.2.2.5 需根据所处区域的地震设防等级设置合理的抗震等级，一般为当地最大地震烈度加1度。

6.2.3 屏蔽

6.2.3.1 贮存设施的设计需为运行人员和环境（公众）提供足够的屏蔽防护，规定设施内废物包、屏蔽装置/结构和设施外表面的最大允许剂量率。

6.2.3.2 设施的屏蔽设计需考虑屏蔽减弱的防护，如风管和管道的贯穿件引起的辐射场泄漏。

6.2.4 放射性包容措施

贮存设施的设计需考虑有利于废物包容的措施，包括：

- （1）使用易监测的设计和易去污的材料；
- （2）管控辐射控制区的人员出入，辐射控制区可在人员进入期间维持负压；
- （3）通风系统采取过滤措施以尽量减少对环境的放射性气溶胶释放。

6.2.5 废物转运

6.2.5.1 废物转运设备的设计需包括以下要求：

（1）在正常运行和异常事件发生时保证设备的安全运行，保证人员和环境安全；

- （2）避免损坏废物包；
- （3）预防设备沾污；
- （4）避免污染扩散。

6.2.5.2 在设施的安全评价中需考虑设施内转运系统的设计，以确保系统失效不会导致不可接受的后果。需尽量采取措施减小冲击和撞击所造成的影响，如限制货物提升高度、设备移动速度和设置专用运输路线等。

6.2.5.3 设备宜配有合适的联锁或限位措施，防止因不当操作发生危险。

6.2.5.4 远程转运设备设计需考虑检修和维护的手段（如屏蔽操作间），以使职业照射保持在合理、可行和尽可能低的水平，同时需考虑设备在发生故障或损坏时可恢复到安全状态的措施。

6.2.6 废物回取

为便于检查、修补和转移，废物回取的设计需尽可能简便，设置合适的转运通道和系统。

6.2.7 通风

6.2.7.1 通风设计需维持贮存设施环境条件（如湿度、温度）以有利于保持

废物包的完整性和运行人员的舒适性，同时需考虑防止放射性气溶胶和有害气体的局部积聚。系统设计需考虑必要的裕量。

6.2.7.2 通风系统需使气流从放射性污染可能性低的区域去往放射性污染可能性高的区域，对于放射性污染可能性高的区域可就近设置局部通风系统。

6.2.7.3 通风系统需考虑设置防爆、防火措施，预防易燃易爆等有害气体的积聚。

6.2.7.4 通风系统需考虑在正常运行和异常事件发生时，实现防止含有放射性核素的气体不受控的释放措施的功能，如对排气进行放射性监测、配置净化功能等。

6.2.8 监测

贮存设施需设置放射性监测系统，如辐射控制区出入口工作人员的表面污染水平测量、控制区辐射剂量测量、排风总管放射性气溶胶浓度测量、贮存设施辐射环境监测等。监测装置的量程需满足预期测量的要求，并定期进行试验和校准。

6.2.9 控制和仪表

6.2.9.1 工艺系统（如废物转运设备和通风系统）的控制需尽量独立于保护系统，避免运行人员混淆报警和指示信息。

6.2.9.2 影响安全且不易获取的系统状态信息需通过就地指示系统或其他方式提供给运行人员。

6.2.10 设施部件和贮存废物的检查

贮存设施的设计需便于对影响安全的构筑物、系统和部件以及贮存的废物和废物包进行检查，如贮存架周围预留足够空间。

6.2.11 预留废物贮存容量

贮存设施需预留一定的贮存容量，以应对异常事件、设施改造或翻新。

6.2.12 辅助系统和设施

6.2.12.1 建立设施废物管理信息系统，记录废物包编号、位置和内容物等信息，并对所有废物包设置唯一标识，并适当考虑与废物产生、处理、处置单位信息系统接口的兼容性。

6.2.12.2 按需设置辅助系统，如安全防范系统，确保贮存设施安全运行。

6.2.12.3 需配置充足和可靠的照明，以支持废物贮存区的操作、检查和实物

保护。应急措施应能提供必要的应急照明保障。

6.2.12.4 需提供充足的内部和外部通信措施，以满足设施运行和应急需求。

6.2.13 消防系统

消防系统的容量需与预期火灾风险相匹配，以降低放射性核素或有毒物质释放到环境的风险，同时降低设施的火灾风险。消防系统的设计需特别注意设施内未经处理的可燃废物和无氧条件下的可燃物质，还需考虑系统运行后，对可能受污染的消防灭火剂的包容和回收以及消防灭火剂与废物包装容器的相容性。

6.2.14 实物保护

需根据放射性废物贮存设施的放射性源项和周边社会与安全环境的规定，设置适当的实物保护系统，包括出入口控制系统、闭路电视检测系统和（或）库周界照明和报警系统。

7 建造、调试和运行

7.1 建造

7.1.1 贮存设施的施工需遵循现有核设施或工业设施的安全标准。

7.1.2 开工前，施工单位需制定施工技术方案、质量计划和管理体系措施，包括隐蔽工程验收、预制构件验收等质量检查点和停工待检点。

7.2 调试

7.2.1 调试和试验的需求及范围需根据设施的规模和废物类型确定，验证设备功能的有效性、设施设计和运行规程的完整性。

7.2.2 调试报告需记录所有调试数据和调试修改记录。

7.2.3 调试后需进行验收，并确定运行限值和条件。

7.3 运行

7.3.1 运行限值和条件

7.3.1.1 贮存设施营运单位需与设计单位共同编制初始运行限值和条件，确保其符合安全评价要求，并根据运行经验、设施改造、安全标准更新等方面进行及时修订。

7.3.1.2 废物贮存设施的运行限值和条件需包括：

（1）废物包装规格（废物形态、放射性核素含量和容器特性）满足贮存设

施的废物接收要求；

- (2) 对设备进行定期测试，尤其是应急设备；
- (3) 最大辐照剂量率，尤其是容器表面辐照剂量率；
- (4) 容器表面最大污染程度；
- (5) 人员培训、人员资质和最低工作人员数量；
- (6) 放射性核素总量的限制。

7.3.2 运行规程

7.3.2.1 需根据贮存设施内的废物危害水平、放射性类型及废物特性完善设施的运行规程，并满足运行限值和条件。运行规程的适用范围包括：

- (1) 运行，包括所有必要的工况和限值；
- (2) 废物管理信息系统；
- (3) 维护、检查和测试；
- (4) 培训；
- (5) 在设计、建造、调试和运行过程中的变更；
- (6) 记录、报告和事件调查；
- (7) 辐射防护和安全性能；
- (8) 异常事件的应急措施；
- (9) 安全保障和实物保护措施；
- (10) 放射性向环境排放影响控制；
- (11) 废物包的接收准则。

7.3.2.2 运行规程需能在正常运行和异常事件发生时指导贮存设施的管理和运行，任何操作的偏离均需明确责任，提供正当理由，并确定安全影响。

7.3.2.3 按照管理要求，开展运行规程的审查和批准，确保符合规定的运行限值和条件。

7.3.2.4 根据潜在危害制定相应的应急措施，需包括异常事件识别和应对、职责分配、人员安全防护等，需对运行人员开展与设施规模、接触工作危害程度等相匹配的培训和授权。

7.3.2.5 采用与危害程度相匹配的技术和管理，如：

- (1) 开展运行前的评估、培训、规划和指导以尽量减少运行和维护期间的人

员辐照；

(2) 在运行和维护时采用远程操作技术；

(3) 当废物从放射性水平较高区域转运至放射性水平较低区域时，需控制放射性污染的扩散。

7.3.3 辐射防护

7.3.3.1 制定及优化辐射防护大纲和计划，确保工作人员和公众的辐射安全。

7.3.3.2 辐射防护大纲需包括废物贮存相关的非常规活动，如清理间歇性通风区域等。

7.3.3.3 规定废物包、设施、屏蔽装置/结构外表面和标准规范要求位置的辐照剂量率限值，并定期监测，防止出现如辐照剂量过度累积或屏蔽材料老化等异常事件。

7.3.4 维护、测试和检查

7.3.4.1 在设计阶段明确定期维护、测试和检查的需求，并在运行前制定大纲。建立无损测试和检查的方案，验证其功能、性能和条件的正确性，并根据运行经验定期审查。考虑定期维护、测试和检查的系统、设备和部件包括：

- (1) 废物转运设备；
- (2) 辐射监测系统；
- (3) 仪器校准；
- (4) 通风系统；
- (5) 正常和应急电力供应系统；
- (6) 安全防范系统；
- (7) 建筑和屏蔽结构；
- (8) 消防系统。

7.3.4.2 维护、测试和检查的频率需确保设备、系统的可靠性和有效性。

7.3.4.3 由具备资质的人员负责审批维护、测试和检查大纲。

7.3.4.4 保存并定期审查维护、测试和检查活动的记录，确保系统性能趋势、系统设备和部件可靠性和大纲有效性。

7.3.5 安保和出入控制

控制废物贮存区域的进出，并提供未经授权进出的应急措施，确保废物贮存

安全和人员辐射防护。

7.3.6 延寿

贮存设施在达到设计使用寿命后经主管部门同意后可进行延寿，至少需满足以下条件：

- (1) 设计裕量较大，设施容量继续利用不妨碍对废物的安全管理；
- (2) 放射性防护未超过容许标准，有继续贮存能力；
- (3) 建筑物及其配套设备运行中维护保养好，经鉴定可继续使用。

8 退役

贮存设施在达到设计使用寿命或计划关闭时，需开展贮存设施的退役。贮存设施在退役前需做好以下工作：

(1) 运行工作总结（含贮存废物总量、放射性总量、核素种类、污染情况、运行记录、事故报告、贮存设施及设备现状等）；

(2) 制定退役计划（含关闭方案、废物处理、废物外运、进度安排、环境影响评价、管理目标和开放标准等），并获得批准。贮存设施如为独立设施，则需为其准备单独的退役计划；贮存设施如为核设施一部分，则其退役计划为核设施退役计划的一部分。

附件 低水平放射性固体废物贮存设施安全评价工作建议

低水平放射性固体废物贮存设施贮存废物所含的放射性核素活度浓度不高，衰变过程中不会产生大量的热，因此，突然发生放射性物质释放可能性较小。此外，废物贮存设施的设计通常采用安全有效的贮存方式，不依赖于复杂系统提供安全保障。基于上述考虑，对低水平放射性固体废物贮存设施开展安全评价工作提出以下建议。

1 通用要求

1.1 安全评价包括对放射性废物贮存设施的设计和运行等方面进行综合评估，确保在正常运行和异常事件下保护运行人员、公众和环境。安全评价需定期开展，反映设施运行的变化。

1.2 安全评价通常是一个迭代过程，用于确保废物贮存设施能够安全运行。需在设计早期开展安全评价，以确定可能影响设计或操作规程的危害和工况。

1.3 安全评价的分级需基于放射性危害水平，其范围与支持性文件需与潜在危害的性质和程度相匹配。

1.4 需兼顾考虑来源于设施内部和外部的，可能影响贮存设施完整性和安全性的条件、过程和事件，主要有三种类型：外部自然因素，外部人为因素和内部因素。评价需考虑厂址特定环境条件及设施特定设计与运行。

1.5 安全评价需考虑废物的类型、数量和物理化学特性。

1.6 安全评价需涵盖设施的预期运行寿命。

1.7 在废物贮存设施的安全评价中，需考虑设施寿期的不同阶段。

2 废物贮存设施的安全评价

2.1 需要针对厂址安全与设施安全采用定性/定量两种安全评定方法对废物贮存设施进行评价。

2.2 设施安全评价将包括以下步骤：

(1) 系统描述和适用规范标准；

(2) 系统性地识别正常运行、异常事件以及外部事件；

(3) 危害评估：筛选可能导致贮存设施放射性释放的条件、过程和事件的组合，以便进一步考虑如何降低风险和后果；

(4) 风险计算：通过定量分析评价危害评估中界定的放射性物质释放的概率和后果，并与监管限值进行比较；

(5) 在安全分析的基础上确定限值、条件和控制措施。按需修改设施的设计和 safety 分析内容；

(6) 安全评价文件：安全评价需确定风险的关键因素，并确定支持安全评价参数的置信水平与其重要性相称。

2.3 安全评价需包括在正常运行、异常事件以及与外部事件相关工况的风险评价，并提供厂区边界和在非限制区中潜在辐照造成的剂量，建立设施相应的排放限值。

2.4 废物贮存设施的定量安全评价可用不同的方法（如综合安全分析和概率风险评估），并考虑厂址特定信息。

2.5 废物贮存设施的安全评价过程通常需迭代分析评价。

2.6 定期安全评价是维持设施长期运行安全的重要手段，可用于处理运营单位申请在已获许可或安全评估规定的期限后继续运营设施的要求。定期安全评价为需要进行设施改造以及匹配当前标准的已老化设施的许可证延续提供基础保障。