

附件

核安全导则 HAD 401/12-2020

核设施放射性废物处置前管理

国家核安全局 2020 年 5 月 13 日批准发布

国家核安全局

核设施放射性废物处置前管理

(2020年5月13日国家核安全局批准发布)

本导则自2020年5月13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。

本导则的附录为参考性文件。

目 录

1 引言.....	5
1.1 目的.....	5
1.2 范围.....	5
2 一般要求.....	5
3 具体要求.....	6
3.1 废物产生的控制.....	6
3.2 废物表征和分类.....	6
3.3 废物预处理.....	7
3.4 废物处理.....	8
3.5 废物整备.....	10
3.6 废物贮存.....	11
3.7 废物运输.....	13
3.8 废物处置前管理设施寿期内的安全考虑.....	13
3.9 退役废物管理的考虑.....	15
4 质量保证.....	16
4.1 质保要求.....	16
4.2 质量控制.....	16
附录 A 核设施的废物管理大纲及管理程序.....	17
附录 B 放射性废物包管理应考虑的典型特性和特征.....	18
附录 C 核电厂及研究堆的放射性废物示例.....	20
附录 D 核燃料循环前段设施的放射性废物示例.....	23
附录 E 核燃料循环后段设施的放射性废物示例.....	27

1 引言

1.1 目的

本导则为核设施产生的放射性废物处置前管理提供指导，核设施包括：

- (1) 核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等核动力厂及装置；
- (2) 核动力厂以外的研究堆、实验堆、临界装置等其他反应堆；
- (3) 核燃料生产、加工、贮存和后处理设施等核燃料循环设施；
- (4) 放射性废物的处理、贮存、处置设施。

1.2 范围

1.2.1 本导则适用于核设施选址、设计和建造阶段对放射性废物处置前管理的考虑，及运行和退役阶段产生的放射性废物处置前管理。

1.2.2 本导则涵盖放射性废物处置前管理的所有步骤，包括：废物产生、预处理、处理、整备、贮存和运输。

2 一般要求

2.1 废物管理应以安全为目的，以处置为核心。

2.2 废物管理应实施对废物从产生到处置（包括排放）的全过程的管理和优化，应考虑不同步骤间的相容性和协调一致性。

2.3 应控制核设施废物的产生，采用最佳可行技术，使其在放射性活度和体积两方面保持在合理可行尽量低的水平。放射性废物最小化的具体管理要求可见《核设施放射性废物最小化》（HAD401/08）导则。

2.4 最终形成的废物包应具有固有安全性，保证其在贮存或运输期间的安全，防止废物在贮存、运输和处置期间所包含的核素向环境扩散。

2.5 应制定和实施放射性废物管理大纲以及放射性废物预处理、处理、整备、贮存和运输的管理程序。核设施的废物管理大纲和管理程序的内容参见附录A。

2.6 在废物管理的各个步骤中，应根据需要对放射性废物进行表征和分类，记录和保存有关放射性废物的产生、预处理、处理、整备、贮存和运输的信息。放射性废物包管理应考虑的典型特性和特征参见附录B。

2.7 最终废物包（废物体和废物容器）应符合废物处置设施的接收准则。每

个废物包应具有唯一的、长期有效的（直至处置）标识，并能够与相关记录关联。

3 具体要求

3.1 废物产生的控制

3.1.1 应从废物的产生开始控制，主要应考虑以下方面：

- (1) 合理选择设施的工艺，设计方案，材料，构筑物、系统和部件；
- (2) 选择合适的建造方法；
- (3) 优化调试大纲和运行规程；
- (4) 应选择有效的、可靠的技术和设备；
- (5) 应确保放射性废物的容器和包装具有完整性；
- (6) 厂房合理设置辐射分区，防止放射性污染扩散；
- (7) 应有各分区去污的规划和提供防止放射性污染扩散的设备。

3.1.2 从放射性废物中分拣出非放射性废物，以减少放射性废物产生量。

3.1.3 放射性废物经过贮存（滞留）衰变或处理后达到清洁解控水平（或排放限值）时，应及时解控（或排放），以减少放射性废物产生量。

3.2 废物表征和分类

3.2.1 废物的表征

3.2.1.1 为确定合适的废物处置前管理的方案，应考虑如下因素：

- (1) 废物的来源、类型和物理状态（固体、液体或气体）；
- (2) 放射性特性（如半衰期、放射性核素的活度浓度、剂量率、释热量）；
- (3) 其他物理特性（如尺寸、重量、可压缩性）；
- (4) 化学特性（如放射性废物的组成、含水量、溶解性、腐蚀性、可燃性、释气性、化学毒性）；
- (5) 生物特性（如与废物相关的生物危害）；
- (6) 预期的处理、贮存和处置的方法。

3.2.1.2 废物的表征内容应包括放射性特性、物理特性、化学特性和生物特性。

3.2.1.3 应根据放射性废物的类型、形态和来源，确定不同废物流的废物表征的要求、方法和结果。

3.2.1.4 应对废物的表征方法和过程进行控制，保证表征数据的可信度。

3.2.2 废物的分类

3.2.2.1 放射性废物的分类应符合《放射性废物分类》（环境保护部公告2017年第65号）的要求。

出于不同的目的，放射性废物还可以从其他角度进行分类，如根据形态、成分、处理方式进行分类。

3.2.2.2 放射性废物可根据其物理形态，分为气体、液体和固体三类废物。不同的核设施产生的放射性废物不同，各类核设施的放射性废物示例参见附录C、D、E。

3.2.2.3 放射性废气可根据其成分分类，如含氧废气和含氢废气；可根据其来源分类，如工艺废气和厂房废气。

3.2.2.4 放射性废液可根据其含有的放射性核素半衰期（如短寿命核素和长寿命核素）、活度浓度、化学成分、组分状态、处理方法进行分类。

3.2.2.5 放射性固体废物通常可分为湿废物和干废物，湿废物通常包括：树脂、泥浆、浓缩液、活性炭、沸石等；干废物包括在核设施运行和维修过程中产生的被放射性污染的固体材料（如被放射性污染的防护用品、擦拭材料、纸张、塑料、橡胶制品等），以及控制区废弃的被放射性污染的设备、零部件、工具和保温材料等。

3.2.2.6 放射性固体废物可根据废物处理方法分为可燃或不可燃、可压实或不可压实、金属或非金属和固定表面污染或非固定表面污染废物等。

3.3 废物预处理

3.3.1 预处理包括废物的收集、分拣、化学调制和去污等操作。

3.3.2 放射性废物应根据废物的放射性、物理和化学性质进行分类收集，包括：

- （1）废液、废气和湿废物通常采用贮槽进行收集；
- （2）根据放射性水平的差异，干废物通常采用不同类型的塑料袋、桶类或箱类容器进行收集，以满足后续废物搬运、处理、辐射防护等要求；
- （3）有机废液应单独收集，避免与其他废液混合。

3.3.3 应制定有关废物分拣的指导程序，在执行分拣时：

- （1）尽可能在废物产生地就近进行适当的分拣；

(2) 尽可能将非放射性废物和被放射性核素轻微污染且直接或经过贮存衰变后可清洁解控、再循环或排放的废物从放射性废物中分拣出，以减少放射性废物产生量；

(3) 根据废物运行管理要求，尽可能将不同类型的废物进行分组，如将主要含短寿命放射性核素的废物与含长寿命放射性核素的废物分开，或将可压实废物与不可压实废物分开等。

3.3.4 废旧放射源应与其他废物分开、单独存放。

3.3.5 对于含 α 核素，含有易燃、易爆、腐蚀性或其他有害物质、游离液体或压缩气体的废物，应单独收集，避免与其他废物混合。

3.3.6 采用化学调制（如pH调节等）对废物进行预处理，以适应进一步的处理。

3.3.7 采用机械、化学和电化学的方法去除表面污染时，应限制二次废物的产生量，并确保二次废物能得到有效处理。

3.3.8 在废物产生点收集废物时，应考虑废物的放射性和化学特性的相容，且符合废物管理设施（如处理、贮存或处置）的废物接收准则。收集不同化学特性的废物时，应对可能发生的化学反应进行评价，特别是放热反应，以避免不受控的或意外的反应发生，防止挥发性放射性核素或放射性气溶胶的意外释放。不同化学特性的有机废液需要采用不同的处理措施，并应与水分离。有机废液收集和贮存时应考虑足够的通风和防火措施。

3.4 废物处理

3.4.1 放射性废物的处理目的和处理方式包括：

- (1) 减小废物体积（如焚烧、压实、切割、解体等）；
- (2) 去除放射性核素（如蒸发浓缩、离子交换、过滤、反渗透、超滤、离心等）；
- (3) 改变废物的状态或组成（如沉淀、絮凝、化学氧化或热氧化、固化等）。

3.4.2 废气处理

3.4.2.1 放射性废气处理系统运行时，应考虑待处理的废气量、活度浓度、废气中含有的核素、化学成分、湿度、毒性、可能含有的腐蚀或易爆物质。

3.4.2.2 废气中的放射性颗粒和气溶胶可通过高效过滤器（HEPA）去除，碘可以通过活性炭过滤器等去除，惰性气体可进行贮存衰变或在活性炭滞留床中衰

变。废气中的化学物质、颗粒和气溶胶的去除可考虑采用洗涤器处理，对安全相关部分应考虑冗余设计。废气排放系统应设置状态监测装置，如温度监测、压差测量等。

3.4.3 废液处理

3.4.3.1应根据放射性废物的特性（如物理和化学特性、放射性核素种类和活度浓度、有机含量、含盐量、悬浮物含量、酸碱度等）和排放限值选择合适的处理工艺。同时，应考虑发生腐蚀、结垢、起泡、火灾和爆炸等风险的工艺限制条件。若废液含有易裂变材料，应通过设计和采用管理措施，在实践可行的范围内进行评估，并消除潜在的临界风险。废液浓缩后活度浓度增加，可能导致废物分类级别发生变化，应考虑合适的工艺对其进行整备。

3.4.3.2废液在排放前可通过暂存衰变的方式减少短寿命放射性核素，也可通过处理系统或其他方式去除废液中的放射性核素。经处理后达到复用要求的废水，应尽量在厂内复用，以减少排放量。

3.4.3.3废液处理后形成的液态流出物应满足排放要求。

3.4.3.4对于有机废液的管理，除需考虑放射性的影响，还应考虑化学有机成分的影响。

3.4.4 固体废物处理

3.4.4.1应根据废物特性选择合适的处理工艺，采用成熟的或经验证的先进技术。

3.4.4.2可燃废物通过焚烧可实现最大程度的减容，在选择焚烧工艺时应考虑以下内容：

（1）应根据废物特性（如化学成分、热焓、含水率、不可燃含量等）选择合理的炉型和操作条件，保证燃烧完全，防止炉内结焦、堵塞和产生有毒物或易爆物；

（2）焚烧系统的设计应考虑可能危及到操作人员安全或造成放射性核素向环境无控制排放的预期运行事件及事故工况；

（3）应设置尾气处理和放射性监测系统，确保放射性物质和非放射性危险物质排放的浓度和排放量低于规定的限值；

（4）焚烧将使灰分活度浓度增加，可能导致废物分类级别发生变化，应对产生的灰分进行安全整备。

3.4.4.3可压实废物可通过压实的方法进行减容。采用压实方法应明确和控制

待压实材料的特性和期望的减容因子。在选择、设计和实施压实作业时应考虑以下内容：

- (1) 挥发性放射性核素和放射性气溶胶释放的可能；
- (2) 污染液体的流出；
- (3) 材料在压实期间和压实后的化学反应性；
- (4) 由易燃易爆材料或带压部件引起的火灾和爆炸危险；
- (5) 含有易裂变材料的废物压实后单位体积内易裂变材料含量的增加可能引入的临界风险。

3.4.4.4 大体积废物可采用切割、解体等技术进行预处理。在技术选择和设备运行时，应考虑防止污染扩散和防火的措施。

3.4.4.5 对不可燃不可压实的固体废物，在衰变和去污效果不佳时，可考虑直接整备。废金属可考虑采用金属熔炼的方法去除其中的放射性核素，实现材料复用或清洁解控。

3.4.5 适合近地表处置的低、中水平放射性废物可采用水泥固化，高放废液可采用玻璃固化。废物固化体的特性通常应满足：

- (1) 与基质材料和包装容器有良好的相容性；
- (2) 质地均匀、密实，空隙率低，整体性好；
- (3) 放射性核素的浸出率低；
- (4) 具有足够的化学、生物、热和辐射稳定性；
- (5) 具有一定的机械强度和抗击性能。

3.5 废物整备

3.5.1 废物的整备包括将废物固定、封装在容器内，以及必要时进行外包装等操作。采用的废物容器应符合国家相关法规标准的规定，并满足贮存、运输和处置的废物接收准则的要求。

3.5.2 低、中水平放射性废物采用基材进行固定整备（如水泥固定）时，应保证废物体尽可能均匀和密实。

3.5.3 低、中水平放射性废物可在没有基材的情况下实现整备，如废过滤器芯、干燥后的产物装入高完整性容器。

3.5.4 废物整备过程中应考虑的风险包括：

- (1) 材料混合产生放热反应可能会发生火灾和（或）爆炸危险；

(2) 某些金属废物（如镁、铝、锆等）与水泥浆的碱性水或从混凝土基体扩散的水发生反应而产生氢气；

(3) 当颗粒表面积大小比例与环境条件合适时，某些金属废物（如锆）可能会易燃。

3.5.5 废物的整备应使废物成为符合后续管理步骤所要求的废物接收准则的废物包，保证搬运、运输和贮存（处置）过程中的安全。

3.5.6 对容器的辐射屏蔽性能需求取决于废物特性以及搬运、运输和贮存的方法。在选择容器的材料及外表面形式时，应考虑其易于去污。如果废物包最初设计不符合运输、贮存或处置的相关接收准则，则需要增加外包装以使其能满足接收准则，应确保废物包与外包装的兼容性符合废物接收准则和运输要求。

3.6 废物贮存

3.6.1 在废物处理的各个阶段应采用适当贮存方式，以确保隔离和保护环境。

3.6.2 贮存设施的设计应考虑放射性废物的类型、放射性特征、相关危害性及预计贮存期；应便于废物的接收、搬运、贮存和回取；应尽量减少二次废物的产生量，且不会造成不必要的职业照射、公众照射或环境影响。

3.6.3 应对贮存设施进行定期监测、检查和维护，以确保其持续的完整性；还应采取措施确保贮存设施的性能参数保持在可接受的运行和监管限值之内。必要时，应对放射性废液排放区域或放射性废物处理和排放之前的贮存区域进行限制。

3.6.4 在技术可行时，放射性废物应以固有安全状态贮存。营运单位应确保在预期的贮存期内，构筑物、设备、废物体形式和容器保持完整性；应考虑废物、容器和环境之间的相互作用（如由化学反应或电化学反应导致的腐蚀过程）；对于某些类型的废物（如腐蚀性液体废物），应采取特殊预防措施，如使用双壁容器和防渗层。

3.6.5 对于产生大量废液的设施，应设置废液收集贮槽，必要时考虑适当的屏蔽防护，并考虑废液贮槽泄漏时防止污染扩散的措施。贮槽应冗余配置并具备应急倒料条件。

3.6.6 主要含有极短寿命放射性核素的放射性废物可通过贮存衰变以达到许可排放或清洁解控的水平。

3.6.7 放射性废物应分类贮存，以便于回取后进行进一步的处理、整备、转

运到另一个贮存设施或处置场。放射性废物应与非放射性工业废物进行物理隔离分开贮存，以避免工业废物受到污染、放射性物质失控或增加操作人员或公众所受的照射。

3.6.8 贮存设施应具有良好的通风系统，必要时设排气净化系统，使放射性气溶胶经净化处理后排放，确保烟囱排出的气态流出物放射性浓度低于规定限值。防火、火灾探测和控制的措施应纳入可燃废物贮存设施的设计。

3.6.9 对于高放废物的贮存还应考虑以下内容：

3.6.9.1 高放废物贮存设施应靠近高放废物产生、处理设施，避免远距离输送；

3.6.9.2 贮存设施原则上应建在地下水位低于设施结构底板之下的位置，否则需采取工程措施以保证地下水位低于结构底板。主动式的降水措施应与最大降水发生时的地下水流量相匹配；

3.6.9.3 高放废液贮槽设计时，应全面分析影响临界的各种因素，确保临界安全，同时还需考虑：

- (1) 贮槽及其内构件应根据其内部物料的特性选用耐腐蚀金属材料；
- (2) 应设冷却装置，确保贮槽内废液温度低于安全限值；
- (3) 应设搅拌装置，防止颗粒沉降于槽底影响冷却效果；
- (4) 应设可靠的取样装置；
- (5) 应设适当的补酸系统，保证高放废液具备适当的酸度；
- (6) 应设物理和关键化学参数的监测仪表，便于贮存过程中对高放废液状态进行监测与控制。对于重要的工艺参数，如温度、液位、酸度、氢气浓度等应设置多重性或多样性的测量仪表；
- (7) 应设清洗装置，便于贮槽退役；
- (8) 应采取措施及时稀释和排出贮槽内的辐解氢气，保证贮槽内空气的氢气浓度低于控制限值。

3.6.9.4 高放废液贮槽及其带有放射性的辅助工艺设备应设置在有足够屏蔽厚度的钢筋混凝土设备室内。输送管道、阀门应布置在带屏蔽的工艺管沟及阀门室内。设备室、阀门室及工艺管沟应衬覆面，并应选择耐腐蚀、耐辐照、易去污的材料。每个设备室应设置气溶胶监测装置，以便及时发现贮槽泄漏情况。

3.6.9.5 高放废液贮存设施应设置相应的应急系统，包括应急压空系统、应急电源、独立的应急冷却系统，以确保设施安全。

3.6.9.6 采用射流或小孔元件的高放废液输送系统应设置被动或主动的破坏

真空和防止堵塞的措施。

3.6.9.7 高放固体废物应贮存于设置有冷却系统的贮存库中，直至其放射性衰变至温度达到高放废物处置设施接收准则。冷却系统应保证贮存库贮存区域土建结构材料常年温度保持在安全温度范围内。

3.6.9.8 高放固体废物贮存库设计时，应考虑：

(1) 贮存容量应与处置外运计划相匹配，合理确定其中间暂存期和容量；
(2) 贮存区排风系统应设置排气温度监测系统及连续气溶胶监测系统；
(3) 机械装置应具备故障后可移动的功能或配套装置，以便将故障设备移动至检修区域；

(4) 应设置相应的应急系统，包括应急电源、应急冷却系统、应急固体废物收集系统和贮存区域土建结构材料应急温度监测装置，以确保设施安全；

(5) 高放固体废物的转运、码放、回取应采用适当的自动屏蔽装置或在足够屏蔽的条件下实施；

(6) 应考虑高放固体废物的外运接口。

3.6.10 应制定并应用废物管理信息系统。该系统应记录废物包及其位置，并提供贮存废物的清单。废物管理信息系统（如标签和条形码）的复杂程度应根据国家总体要求和处置需求确定。

3.7 废物运输

3.7.1 废物的厂外运输必须遵照国家相关法规标准，应当采用符合国家放射性物品运输安全标准的包装容器，容器须确保必要的安全等级。

3.7.2 废物的厂内运输应根据废物包的特性和厂内运输条件考虑实施部分或全部厂外运输的基本要求。必须根据合理可行尽量低的原则使用恰当的包装和防护，使厂区人员所受照射保持最低，并且在运输事故情况下，使不可控制的释放的可能性减至最小。

3.8 废物处置前管理设施寿期内的安全考虑

3.8.1 废物处置前管理设施（包括核设施配套建设的放射性废物处置前管理设施）的构筑物、系统和部件（以下简称物项）的设计应符合相关法规标准的要求，包括物项安全等级、抗震分类、质量可靠性、内外部灾害等。

3.8.2 废物处置前管理设施设计过程中，应考虑：

- (1) 临界安全；
- (2) 废物处理和贮存区域应进行辐射分区并对出入进行控制；
- (3) 废物的回取；
- (4) 废物表征和库存控制；
- (5) 废物及其包装容器的检测；
- (6) 处理不符合要求的废物和废物包的措施；
- (7) 气液态流出物的控制；
- (8) 可引起非放射性危害的废物的管理；
- (9) 设施维护和最终退役。

3.8.3 废物处置前管理设施应与监管机构批准文件中的描述一致，并对设施加以调试，以核实物项是否达到建造（设计）的目标。

3.8.4 废物处置前管理设施应制定正常运行以及事故工况运行的操作规程和程序。

3.8.5 在正常运行过程中应严格按照放射性废物管理程序开展管理活动，有效限制或防止不必要的放射性照射，包括：

- (1) 放射性废物与厂区工作人员、公众实施隔离；
- (2) 操作和搬运废物过程中应进行放射性监测和可视检查；
- (3) 废液泄漏的检测、收集和处理；
- (4) 人员和设备的去污；
- (5) 去污活动中产生的废物的处理。

3.8.6 涉及临界风险相关的运行规程应经过严格审查，确保与设计的安全要求一致，考虑的因素包括：

- (1) 将要贮存的废物的类型和类别；
- (2) 必要时采用几何安全结构确保次临界；
- (3) 次临界对中子吸收材料的依赖；
- (4) 最佳慢化和反射的条件；
- (5) 废物体和废物包的特性；
- (6) 搬运操作；
- (7) 潜在的异常运行。

3.8.7 应系统地收集、筛选、分析和（或）审查废物管理设施以及类似设施报告的运行经验和事件，并通过适当的经验反馈机制汲取和落实结论。应关注新

的标准、法规或监管导则，以核查其对于设施安全的适用性。这种经验反馈也应用于废物处置前管理设施的设计和运行。

3.8.8 为确保废物处置前管理设施安全和可靠运行，应制定维修计划和程序，相关设备须按照预定维修计划开展维修，使工作人员受照剂量保持在合理可行尽量低的水平。通常包括以下措施：

- (1) 根据以往的经验或其他适用数据分析维修要求；
- (2) 考虑有关技能熟练人员的调用、工具和材料（包括备品）准备的工作计划；
- (3) 注意辐射防护和工业安全。

3.9 退役废物管理的考虑

3.9.1 核设施在选址、设计、建造及运行阶段应充分考虑便于退役的要求。

3.9.2 在核设施设计阶段制定初步退役计划时，应包括退役期间将产生的废物的种类和废物量及其对应的管理策略；在设施运行阶段，应定期对初步退役计划（包括废物管理策略）进行审查和更新。

3.9.3 核设施退役前，在制定详细的退役计划时，应对退役各个阶段废物的处理、运输、贮存和（或）处置制定科学、合理的方案，明确废物最小化目标和具体措施。

3.9.4 便于退役废物管理和废物最小化的措施包括：

- (1) 基于全面的厂址特性调查结果制定废物管理策略；
- (2) 在设施关闭后，尽可能及时对主工艺系统进行在线去污；
- (3) 尽可能提前策划大型设备的处理方案；
- (4) 根据可行的技术和管控要求制定废物清洁解控和安全排放的方案；
- (5) 综合考虑危险废物、混合废物和二次废物的管理方案；
- (6) 制定废物管理的备用方案，应考虑退役阶段原有废物处理设施不可用或被提前拆除时应采取的措施，如新建处理或贮存设施，或对已有贮存设施进行扩容；
- (7) 若退役产生的废物不符合处置接收准则时，应按照相关要求制定废物可能长期贮存的管理方案。

4 质量保证

4.1 质保要求

4.1.1 质量保证的目标是确保废物从产生到处置（排放）的全过程始终处于受控状态。质量保证的具体内容要求应遵照国家相关法规标准。

4.1.2 核设施的质量保证大纲应规定核设施的各个阶段（选址、设计、建造、调试、运行、关闭和退役）与放射性废物从产生到处置（排放）相关的整个管理系统综合性质量保证的内容，以确保废物管理中的各项活动及其产品均满足有关法规、标准以及审管或许可规定的要求。

4.2 质量控制

4.2.1 质量控制是放射性废物处置前管理系统综合性质量保证的一个重要组成部分，其保证废物管理活动具有足够的可靠性和可信性。

4.2.2 对于长期的放射性废物管理活动，应尽可能考虑未来的基础设施需求，并制定满足需求的计划。需求计划应考虑配套服务、备件停产、技术升级、操作改进、软件更新等，也应考虑废物贮存期间的监测程序和检测技术的发展。

4.2.3 废物管理过程中的所有记录内容应是完整的，包括放射性废物产生量和特性的统计数据、放射性废物处理和排放记录、放射性废物排放监测数据、放射性废物贮存和运输记录、管理过程中形成的各种报告及质量控制相关的记录和文件等。记录的内容符合质保要求，并可作为质量跟踪的依据。

4.2.4 应妥善保存放射性废物相关的数据档案，数据档案存储应满足监管要求，数据档案的状态应进行定期评估。

附录 A 核设施的废物管理大纲及管理程序

A.1 废物管理大纲

废物管理大纲须遵循辐射防护、环境保护、放射性废物管理等方面的法规，其内容包括：

- (1) 放射性废物管理的目的、范围、企事业单位概况、管理机构与职责、管理原则和目标；
- (2) 废物管理程序，涵盖废物源项、流出物排放、废物分拣、废物处理、废物运输、废物贮存、清洁解控、废物最小化措施等内容；
- (3) 放射性废物管理活动的质量保证要求，包括人员资质、工器具、工作环境、质量控制点、记录、规范要求、变更及不符合项处理；
- (4) 放射性废物管理活动的人员资质要求，人员培训计划（对象、内容、时间和方式）和具体的实施措施等；
- (5) 放射性废物管理活动的记录和记录的保存；
- (6) 放射性废物管理中可能存在的不符合项类型。

A.2 废物管理程序

主要的废物管理程序如下：

- (1) 放射性流出物排放程序；
- (2) 放射性废物分类程序；
- (3) 放射性废物清洁解控程序；
- (4) 放射性废物处理程序；
- (5) 放射性废物贮存程序；
- (6) 放射性废物包档案管理程序；
- (7) 放射性废物运输程序。

附录 B 放射性废物包管理应考虑的典型特性和特征

放射性废物包管理应考虑的典型特性和特征如下：

(1) 放射性数据：放射性核素的数量和类型、每种放射性核素的半衰期和活度浓度、总活度、释热量；

(2) 临界安全：易裂变材料（如 ^{233}U ， ^{235}U ， ^{239}Pu ， ^{241}Pu ）的几何构形、浓度和库存，中子毒物的存在和非临界的证明（考虑到适当的安全裕量）；

(3) 剂量率：表面及表面外1m处的中子和 γ 剂量率；

(4) 表面污染： α 和 β 污染水平；

(5) 热性能：热功率、热导率和预测的最高温度（冷却系统投运或未投运状态下）；

(6) 废物体的物理性能：密度、气孔率、抗渗透性（水和气体）、热稳定性、均匀性、废物与基材的相容性、含水率、收缩率和回复率、浸出率和腐蚀速率、拉伸强度、抗压强度和尺寸稳定性；

(7) 废物体的化学性能：pH值、主要的化学形态和化学物质、有毒物质和腐蚀性物质；

(8) 废物体和（或）废物包的重量：总重量（废物体和容器的重量）；

(9) 容器的质量：材料规格、重量、尺寸、耐腐蚀性、封盖和密封装置的特性、密封焊接质量、制造的材料认证、整備过程的质量保证记录、与废物体的兼容性；

(10) 废物包的质量：水性介质中放射性核素的扩散率和浸出率、标准大气条件下或可接受条件下的气体释放率，标准大气条件下或可接受条件下氙的扩散率，放射性核素的固定和滞留能力，密封装置的水密性和气密性；

(11) 堆码和搬运：容器堆码无变形，容器跌落试验的结果和容器吊装的要求（如吊装特征）；

(12) 包装标签：唯一的、长期有效的标识；

(13) 基质材料质量：基质材料的认证和质量保证信息；

(14) 废物体的质量分数：废物、固化基材和添加剂的质量分数；

(15) 废物包的坚稳性：温度循环下的性能，热敏性和耐火性能，长期耐辐照性能，基材对水接触的敏感性，抗微生物性能，湿介质中的耐腐蚀性（用于金属容器），孔隙度和气密性，由于内部积聚释放气体而引起的膨胀性；

(16) 外包装的稳定性：在相关气氛或水溶液中的腐蚀性能和（或）浸出性能，长期腐蚀的数据，在相关水溶液中表面的影响和放射性核素的溶解度。

注：可根据相关接收准则确定放射性废物包所需考虑的具体要素。

附录 C 核电厂及研究堆的放射性废物示例

C.1 核电厂的放射性废物

C.1.1 放射性废气

(1) 含氢废气

主要的来源：化学和容积控制系统的容积控制箱、稳压器卸压箱、反应堆冷却剂疏水箱、处理含氢反应堆冷却剂的脱气装置、含氢反应堆冷却剂的贮存容器。

(2) 含氧废气

主要的来源：在换料检修时，核辅助系统的除盐器、过滤器的排气；相关处理系统中与室内空气连通的放射性设备的排气；活化或被污染的通风排气。

C.1.2 放射性废液

(1) 化学废液

主要来源：放化实验室排水、化学清洗和去污排水等。

(2) 工艺废液

主要来源：反应堆冷却剂系统及其辅助系统排水、换料和乏燃料水池排水等。

(3) 地面及杂项废液

主要来源：控制区的地面排水、设备及管道排空水、控制区通风系统排水等。

(4) 洗涤废液

主要来源：热洗衣房排水、控制区工作人员人体污染去污水等。

(5) 其他废液

主要来源：蒸汽发生器排污水、汽轮机厂房设备的泄漏排水和其他排水（与二回路相关系统）等。在通常情况下该类废液不含放射性或放射性活度浓度极低，一般不需要进行处理，监测后可以直接排放。只有在特殊情况下，当该类废液的放射性活度浓度超过排放控制值时，才需要进行处理。

C.1.3 放射性固体废物

(1) 湿废物

(a) 废树脂

主要来源：化学和容积控制系统、硼回收系统、废液处理系统以及乏燃料贮存水池冷却和净化系统离子交换器产生的废树脂。当蒸汽发生器传热管发生泄漏而导致蒸汽发生器排污水净化系统或主蒸汽系统有明显的放射性时，蒸汽发生器

排污水净化系统和二回路凝结水精处理系统产生的废树脂也作为放射性废物处理。

(b) 泥浆

主要来源：废液处理系统废液贮槽、控制区疏水地坑、膜元件冲洗及废液离心分离装置分离出的含悬浮颗粒的淤积物。

(c) 废液过滤器芯

主要来源：化学和容积控制系统、硼回收系统、废液处理系统、乏燃料贮存水池冷却和净化系统及蒸汽发生器排污水净化系统更换下来的废过滤器芯。

(d) 浓缩废液/化学废液

主要来源：废液处理系统蒸发产生的浓缩废液、硼回收系统不合格的浓硼酸以及废液经膜处理产生的浓缩废液等。化学废液指含盐量和放射性活度浓度高的少量放化实验室排水、化学清洗和去污废液等。

(e) 废膜

主要来源：废液膜处理装置（超滤、纳滤、微滤）更换下来的废膜元件。

(f) 活性炭、沸石

活性炭主要来自废液处理系统深床过滤器。沸石主要来自废液处理系统的深床过滤器。

(2) 干废物

在核电厂运行和维修过程中产生的被放射性污染的固体材料（如被放射性污染的防护用品、擦拭材料、纸张、塑料、橡胶制品等），以及控制区废弃的被放射性污染的设备、堆芯监测仪表组件或通道、零部件、工具和保温材料等。控制区更换下来的废气处理系统、通风系统过滤器和活性炭过滤器，在存放一段时间后，如果其放射性活度浓度仍大于清洁解控水平，也属于放射性干废物。

(3) 其他废物

包括放射性废油、废有机溶剂。主要来源：控制区转动机械设备检修时产生的被放射性污染的润滑油。放射性废有机溶剂主要是设备零部件去污前进行清洗时产生。

C.2 研究堆的放射性废物

C.2.1 放射性废气

(1) 反应堆水池、冷却剂系统、辐照设施和实验设施产生的废气；

(2) 辅助设施（包括通风柜和去污区域）产生的气溶胶。

C.2.2 放射性废液

- (1) 冷却水疏水；
- (2) 一回路疏水（轻水堆）；
- (3) 除盐水系统废液；
- (4) 疏水排气系统废液；
- (5) 大型设备维修产生废水；
- (6) 洗涤废液；
- (7) 地面废液；
- (8) 试验废液。

C.2.3 放射性固体废物

- (1) 受辐照的靶容器；
- (2) 使用过的辐照支架和反应堆部件（如热电偶）；
- (3) 中子束导管；
- (4) 使用过的控制棒；
- (5) 废离子交换树脂；
- (6) 水池服务区域产生的废物；
- (7) 通风系统产生的废物（活性炭过滤器、高效过滤器（HEPA））；
- (8) 清洗材料和用过的个人防护用品；
- (9) 实验室废物（手套、薄纸、一次性玻璃器皿等）；
- (10) 维修或其他活动产生的去污物品。

附录 D 核燃料循环前段设施的放射性废物示例

D.1 铀转化设施

D.1.1 放射性废气

(1) 含铀工艺废气

主要来源：各工序产生的工艺尾气，加料、检修过程的局部排风，各类放射性液体贮槽的呼排气体等。

(2) 通风排气

主要来源：各厂房通排风系统排气。

D.1.2 放射性废液

(1) 含可溶性铀的工艺废液

主要来源：氟化工艺尾气的循环淋洗液，排风净化中心循环淋洗液，清洗过程产生的清洗液，分析过程产生的含铀废液。

(2) 含不可溶性铀的工艺废液

主要来源：还原工艺尾气鼓泡水洗产生的废液，氢氟化工艺尾气的循环淋洗液。

(3) 其他工艺废液

主要来源：萃取纯化过程萃余水精馏产生的精馏残液，萃取剂再生产生的废碱液，脱硝工艺氮氧化物回收系统产生的废液等。

(4) 有机废液

主要来源：萃取系统产生的废有机相。

(5) 事故废液

主要来源：冷凝液化工序事故喷淋水，事故状态下人员淋浴水等。

(6) 其他废液

主要来源：设备表面、地面的擦洗液，检修废液等。

D.1.3 放射性固体废物

(1) 含可回收铀的工艺固体废物

主要来源：溶解工序溶解液过滤产生的残渣，氟化反应过程产生的不挥发性氟化物残渣，氟化尾气处理产生的炭化炉残渣等。

(2) 不可回收的工艺固体废物

主要来源：氟化尾气处理产生的钠石灰渣，废水处理产生的石灰渣、蒸发浓缩物等。

(3) 棉织物

主要来源：沾污手套、口罩、工作服，擦洗设备及地面的抹布、拖布等。

(4) 废过滤部件

主要来源：报废的过滤管，过滤器芯，过滤、洗涤装置的结构材料以及各类吸附材料。

(5) 废金属

主要来源：报废的设备、管道、阀门以及其他零部件等。

(6) 其他

各厂房废弃的橡皮垫、塑料手套、胶鞋等。

D.2 铀浓缩设施

D.2.1 放射性废气

(1) 含铀工艺废气

主要来源：离心级联大厅、供取料厂房和质谱分析间等放射性操作厂房的局部排风和工艺尾气，废水处理设施各类放射性液体贮槽的呼排气体等。

(2) 通风排气

主要来源：各厂房通排风系统排气。

D.2.2 放射性废液

(1) 工艺废液

主要来源：分析产生的含铀废液，沾污设备、管道、阀门等清洗液等。

(2) 事故废液

主要来源：事故擦地水，事故状态下人员淋浴水等。

(3) 有机废液

被污染的真空泵油、特殊润滑油等。

(4) 其他废液

主要来源：设备表面、地面的擦洗液等。

D.2.3 放射性固体废物

(1) 工艺残渣

主要来源：废水处理产生的过滤渣、石灰渣等。

(2) 棉织物

主要来源：沾污手套、口罩、工作服，擦洗设备及地面的抹布、拖布等。

(3) 废过滤部件

主要来源：报废的过滤管，过滤器芯，过滤、洗涤装置的结构材料以及各类吸附材料。

(4) 废金属

主要来源：报废的设备、管道、阀门以及其他零部件等。

(5) 其他

各厂房废弃的橡皮垫、塑料手套、胶鞋等。

D.3 铀燃料元件制造设施

D.3.1 放射性废气

(1) 含铀工艺废气

主要来源：操作粉末设备和手套箱的局部排风，操作UF₆等酸性、碱性物料岗位的局部排风，转炉尾气，各类放射性液体贮槽的呼排气体等。

(2) 通风排气

主要来源：各厂房通排风系统排气。

D.3.2 放射性废液

(1) 工艺废液

主要来源：转炉尾气冷凝液、洗涤液，分析产生的含铀废液，排风净化中心淋洗液，清洗过程产生的清洗液等。

(2) 事故废液

主要来源：事故淋浴液等。

(3) 其他废液

主要来源：设备表面、地面的擦洗液等。

D.3.3 放射性固体废物

(1) 工艺残渣

主要来源：废水处理产生的过滤渣、石灰渣等。

(2) 棉织物

主要来源：沾污手套、口罩、工作服，擦洗设备及地面的抹布、拖布等。

(3) 废过滤部件

主要来源：报废的过滤管，过滤器芯，过滤、洗涤装置的结构材料以及各类吸附材料。

(4) 废金属

主要来源：报废的设备、管道、阀门以及其他零部件等。

(5) 其他

各厂房废弃的橡皮垫、塑料手套、胶鞋等。

附录 E 核燃料循环后段设施的放射性废物示例

E.1 放射性废气

(1) 溶解排气

主要来源：乏燃料元件剪切、溶解过程产生的工艺尾气。

(2) 工艺排气

主要来源：首端料液制备区的料液澄清和固体浸出过程产生的废气，废液处理过程产生的废压缩空气、鼓泡空气、真空排气，液体废物蒸发浓缩和固化处理过程中产生的废气，料液萃取、脱硝、硝酸回收等工序的工艺尾气，废物煅烧及熔化过程产生的尾气，贮槽呼排气体等。

(3) 通风排气

主要来源：各放射性厂房的通风排气。

E.2 放射性废液

(1) 含氚废液

主要来源：去污过程中产生的萃余液及其处理过程中产生的洗涤液、蒸发浓缩液、二次蒸汽冷凝液、含氚硝酸回收系统的冷凝液等，溶解料液过滤器或离心机的冲渣水。

(2) 不含氚废液

主要来源：燃料包壳去壳过程中产生的废液，铀、钚净化循环萃余液，污溶剂洗涤过程中产生的酸、碱洗涤液及去污解析液，废液蒸发浓缩时产生的浓缩液、二次蒸汽冷凝液，硝酸回收系统的冷凝液，设备清洗去污时产生的酸、碱废液，实验室、分析室废液等。

(3) 有机废液

主要来源：从工艺系统排出被沾污的有机相经急骤闪蒸回收磷酸三丁酯（TBP）和稀释剂后，得到的塔釜重馏分和塔顶轻馏分。

(4) 其他废液

主要来源：放射性厂房检修区、操作区和放射性实验室地面冲洗水，运送废物的汽车房冲洗水，洗衣房废液，淋浴水等。

E.3 放射性固体废物

(1) 固化体

主要来源：各种废物固化处理产生的固化体。

(2) 工艺过程产生的固体废物

主要来源：燃料元件脱壳产生的废包壳、乏燃料端头，废弃的离子交换树脂，料液过滤或离心分离的废渣，废过滤材料，硅胶及其他固体吸附剂等。

(3) 损坏的部件

主要来源：损坏的污染设备、仪表部件、管件及工器具等。

(4) 沾污的防护用品、包装材料、实验室废物

主要来源：沾污的工作服、手套、口罩、鞋、纸、塑料、玻璃器皿等。