

附件2

核安全导则 HAD XXX/XX-20XX

核技术利用废物最小化

国家核安全局 XXXX 年 XX 月 XX 日批准发布

(征求意见稿)

国家核安全局

核技术利用废物最小化

(201 年 月 日国家核安全局批准发布)

本导则自201 年 月 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。

目 录

1 引言	9
1.1 目的.....	9
1.2 范围.....	9
2 目标和原则	9
2.1 总体目标.....	9
2.2 主要原则.....	9
3 废物最小化大纲	10
3.1 废物最小化大纲的制定、评估与更新.....	10
3.2 废物最小化目标.....	10
3.3 废物最小化方案.....	10
3.4 管理.....	11
4 设计和建造阶段废物最小化	11
4.1 一般要求.....	11
4.2 设计优化.....	11
4.3 建筑材料的选择.....	11
4.4 潜在污染源的隔离.....	12
4.5 利于最终去污.....	12
4.6 废物操作区的污染预防设计考虑.....	12
5 运行阶段废物最小化	12
5.1 废物最小化技术分级.....	12
5.2 源项减少技术.....	13
5.3 再循环和再利用.....	14
5.4 以贮存或处置为目的的处理.....	15
6 退役阶段废物最小化	16
6.1 一般要求.....	16
6.2 去污过程中的废物最小化技术措施.....	16
6.3 退役废物管理.....	16
名词解释	17
附录 A 废物操作区的污染预防设计考虑	18
A.1 废物操作区的划分.....	18

A. 2 附属收集区.....	18
A. 3 临时集存区.....	20
A. 4 中心整备处理区.....	20
A. 5 处理贮存处置设施.....	21
附录 B 废物的分类收集.....	22
B. 1 化学不相容的废物.....	22
B. 2 放射性废物/非放射性废物.....	22
B. 3 长半衰期废物/短半衰期废物.....	22
B. 4 解控废物/非解控废物.....	22
B. 5 解控的液闪废物/非解控的液闪废物.....	23
B. 6 解控/非解控的动物尸体和动物排泄物.....	23
B. 7 放射性废物/危险废物.....	23
B. 8 放射性废物/非危险废物.....	23
B. 9 特殊危险废物/非特殊危险废物.....	23
B. 10 生物危险/非生物危险废物.....	24
附录 C 废物处理的方法.....	24
C. 1 降低危害的方法.....	24
C. 2 减少废物体积或总量的方法.....	26
C. 3 降低迁移率的方法.....	28
附录 D 去污技术示例.....	29

1 引言

1.1 目的

本导则为核技术利用单位产生的放射性废物最小化（以下简称废物最小化）提供指导，也为监管部门开展核安全审评和监督管理提供参考。

1.2 范围

本导则适用于核技术利用单位设计、建造、运行和退役过程中废物最小化的管理，主要适用于产生放射性固体废物和液体废物量较大，且废物中放射性核素的半衰期大于 100 天的核技术利用单位，如生产放射性同位素和使用放射性同位素（甲级场所）的单位，其他单位可适当参考。

2 目标和原则

2.1 总体目标

在生产、使用放射性同位素和射线装置及退役过程中，通过废物的源头控制、再循环与再利用、清洁解控、优化废物处理及强化管理，经过代价利益分析，使放射性废物量（体积和活度）减小至可合理达到的尽量低。

2.2 主要原则

2.2.1 废物最小化应开展源头控制，避免或者减少放射性废物的产生。

2.2.2 如果废物已经产生，应通过去污和贮存衰变等方法使其尽可能地再循环和再利用，或实现清洁解控。

2.2.3 对于无法再循环和再利用的废物，应尽可能做减容处理，减小待处置废物的体积，最后实行最终安全处置。

2.2.4 应科学策划并优化管理，提高运行人员的素质，避免事故的发生。

3 废物最小化大纲

3.1 废物最小化大纲的制定、评估与更新

3.1.1 产生放射性废物的核技术利用单位应制定废物最小化大纲，提出废物最小化的目标、方案及管理等内容。

3.1.2 废物最小化大纲应定期自我评估（如每年一次），内容包括趋势分析、能否达到目标、选用技术的有效性 & 经验教训，并提出可持续改进的措施。

3.1.3 如果评估结果显示趋势明显不如预期或目标难以实现，应及时更新大纲。

3.2 废物最小化目标

3.2.1 废物最小化大纲应针对核技术利用单位产生废物的不同阶段分别提出废物最小化目标。

3.2.2 目标应是明确的、具体的，根据废物产生环节来确定，并应考虑其废物流的数量和复杂性。目标的制定应考虑职业人员和公众的辐射照射水平及废物最小化活动的成本。

3.2.3 应采取切实可行的设计和管理措施，并借鉴国际经验，使放射性废物产生量可合理达到的尽量低。

3.3 废物最小化方案

3.3.1 废物最小化大纲中应说明当前的或预期的废物流及其体积、总量、物理化学等方面的特征，对废物进行准确和全面地特性鉴定。除上述信息外，废物特性鉴定还应包括输入材料、材料用法、产生工艺、监管状况、最小化和管理方法以及单位处置成本等。

3.3.2 应建立废物台账，系统收集产生和处理的废物的量化数据，确保能提供支持最小化大纲的信息。

3.3.3 应说明具有确保放射性废液达标排放、固体废物清洁解控的处理能力，或者提出可行的处理方案。

3.3.4 对于废物的产生或运输，应制定废物去向跟踪计划，提出可供选择的废物最小化方案及其优先次序，并提出推荐方案。

3.4 管理

3.4.1 核技术利用单位的各管理层应支持废物最小化大纲，并将废物最小化作为管理方针中的一部分。

3.4.2 管理层应建立有效的废物最小化策略，设定各阶段的废物最小化目标，确认废物最小化时机，树立废物最小化文化，制定培训计划，并考虑其他能促进废物最小化大纲实施的管理目标和激励手段。

3.4.3 应开展质量保证工作，以确保废物最小化大纲达到预期目标。

4 设计和建造阶段废物最小化

4.1 一般要求

4.1.1 在设计和建造过程中，应合理选择和利用原材料，采用先进的生产工艺和设备，尽量减少放射性废物的产生量。

4.1.2 应开展以废物最小化为目的的设施性能优化，以降低在设施整个寿期内与废物管理和污染控制相关的成本。

4.1.3 在设施的设计和建造过程中，应保证放射性物质的隔离和放射性物质的分类封装，以降低泄露和出现复杂情况的可能性。

4.1.4 设施的设计和建造应利于最终退役，以便能够实现与设施退役和场址整治相关的废物及其成本的最小化。

4.2 设计优化

对于新建设施，应利用系统工程学方法，对预计会产生废物的过程进行识别和优化。在设施规划过程中，应考虑在优化过程中为调整设备和系统提供所需要的空间、布局和结构特性。

4.3 建筑材料的选择

4.3.1 应尽可能避免在建设过程中使用有害材料，例如，选择不含有害溶剂的涂料，否则在清除这些材料时还需将其作为危险废物处理。

4.3.2 在可能被放射性物质污染的区域中，使用的表面和结构组件材料应是无孔的，并且不需要使用研磨剂就可以比较容易去污，否则将造成二次污染。

4.3.3 应选择经久耐用的涂料和其它材料，这将使维修或更换过程产生的废物实现最小化。

4.3.4 一般情况下，应更倾向于使用含有可回收成分的建筑材料，这样更有利于材料的回收。例如，利用回收的金属和其他轻度污染材料作屏蔽或其他用途。

4.4 潜在污染源的隔离

4.4.1 设计建筑物时，应尽可能将使用放射性物质的区域隔离，以实现污染区域的最小化。

4.4.2 应安装合适的包容系统，以包容溢出物，阻碍其向环境的潜在释放。

4.5 利于最终去污

4.5.1 有可能被污染的设备 and 建筑应是易于接近和去污的，或者可移动或更换。

4.5.2 有可能被污染区域的表面应设计成易于清洁的表面，可采用光滑、无孔的圆角结构。

4.6 废物操作区的污染预防设计考虑

在邻近放射性物质使用地点的区域可设置废物操作区，用于收集和管理所产生的废物，并根据不同功能对废物操作区进行合理划分和设计，以使得操作过程中的废物最小化。

实验室和小型研究机构废物操作区的污染预防设计考虑可参考附录 A。

5 运行阶段废物最小化

5.1 废物最小化技术分级

废物最小化技术可以分为三个层次：源项减少、再循环和再利用及处理。其中，源项减少可通过采取行动在产生废物的环节减少或消除废物；再循环和再利用可对已产生的废物或废物中特定组分进行有益利用；处理是将危险组分转化为低危险或无害材料，对必须贮存或处置的废物进行减容和固定。在整个运行阶段，对于可解控的废物及时予以解控。

5.2 源项减少技术

5.2.1 进货管理

应通过进货控制来防止放射性和其他有毒物料的不必要采购，并尽量采购可以直接使用的放射性物料，以达到源项减少的目的。

5.2.2 进料改变

应尽量识别并控制进料中可能引起重大安全和废物管理问题的杂质，并尽量使用非放射性物质来替代放射性物质。

5.2.3 技术改进

可通过对工艺、设备或技术等改进，减少废物产生量。例如，改进设备、管道系统或布局，增强自动化，改进操作设置等。

5.2.4 产品改变

在运行阶段，从事生产制造的单位可通过对其产品做出改变的方式来减少废物产生量，例如生产其它替代产品或改变产品成分。

5.2.5 良好的操作实践

5.2.5.1 活动的计划和安排

应注重使用放射性物质的活动的计划和安排，可通过在工艺和程序上的调整或合理的活动安排来避免产生或减少难以管理的废物。例如，更换下来的放射性物质操作区域排风系统的高效空气过滤器（HEPA）将作为放射性废物处理，其更换不宜用使用时间作为指标，而应以过滤器前后压差变化作为更换指标，以免频繁更换；此外，还可通过采用体积小并且易于管理的预过滤器，可使 HEPA 的使用寿命明显增加。

5.2.5.2 防止释放

通过净化、防止泄漏和挥发等措施控制可能在短时间内发生的释放，可以减少与释出物的清洁和包容过程相关的废物产生量。

5.2.5.3 废物的分类收集

（1）对废物分类收集的原则包括：①避免混淆或混合应分开管理的废物；②防止化学不相容的材料混合；③尽可能对物料进行再利用和回收；④在收集物料时应考虑其形式和组分，以便于处理；⑤应利于管理，避免要求过多的容器、分类、处理等；⑥对废物容器恰当标识，确保能表征废物并提供危险提示。

(2) 应对废物合理分类，以防止必须采用不同方法进行处理和处置的废物的混合，同时预防将无法处置的废物与可处置的或者进行去污处理的废物混合。应考虑废物的化学相容性、放射性/非放射性废物、长/短半衰期废物、解控/非解控废物、危险/非危险废物、生物危险/非生物危险废物等，详见附录 B。

5.2.6 物料操作中的污染控制

在实验、现场和设施中，污染控制程序应遵从如下原则：

- (1) 尽量避免使用一次性用品，宜使用可清洗或易于去污的物品；
- (2) 尽量使用那些易于去污的材料或设备，例如尽量避免使用多孔材料、木材及表面质地粗糙的材料和设备；
- (3) 在必须使用难以去污的多孔材料或具有复杂花纹的设备的情况下，可将这些材料或设备加以包裹或密封，以便于之后的去污；
- (4) 限制与放射性物质的接触，以避免可能发生的污染扩散；
- (5) 避免操作放射性物质和非放射性物质时共用实验室和设备；
- (6) 尽量限制实验室中使用非密封放射性物质的区域，设施的布置应避免不必要的放射性工作人员和材料的潜在污染；
- (7) 仅允许那些与直接使用放射性物质有关的人员在控制区工作，避免携带任何不必要的物品进入控制区域。

5.3 再循环和再利用

5.3.1 再利用

5.3.1.1 从环境保护角度来看，对剩余物品或废物进行直接再利用是最有效的再循环方式，这通常仅产生少量的二次废物并且仅需要最少的额外能源消耗。因此，应尽量对废物进行再利用，特别鼓励在同一单位内的再利用。

5.3.1.2 可开展以下工作以促进废物的直接再利用：

- (1) 在本单位内建立寻找其他用户的系统，对多余的未使用的放射性核素进行重新配置；
- (2) 应尽可能将多余的、未使用的放射性物质送回供货方；
- (3) 在后续的涉及放射性物质的工作中，不易去污的实验室器具和污染后的实验室应严格管理，避免污染扩散或失控；
- (4) 可以将不再需要的未使用的设备运至其他设施加以利用。

5.3.1.3 一些情况下，待处理放射性废物或混合废物可使用已有废物代替非放射性化学试剂进行处理，以减少废物总量。例如，在腐蚀性混合废物处理单元中，有时可以用酸/碱废物替代需要的化学中和剂，这样可以显著减少液态放射性废物的体积，而处理的原材料费用也会减少。

5.3.2 再循环

5.3.2.1 一些情况下，可将废物再生后返回原用途。例如，用于收集放射性废物的容器的设计应允许对其进行倾空和去污操作，以便于继续使用。

5.3.2.2 一些废物可在经过处理后回收其可用组分。例如，可将放射性废物用于制造放射源。

5.4 以贮存或处置为目的的处理

5.4.1 处理的目的

在使用所有合理可行的源项减少技术及再循环和再利用技术后，应对废物进行处理以降低其危险性、减小体积及降低生物活性，以便于贮存、运输或处置。处理过程中也可能要求对材料进行去污、再生或回收。

5.4.2 处理的目标

5.4.2.1 对不同类型废物进行处理的目标如下：

- (1) 对于放射性废物，应使放射性活度、体积最小化；
- (2) 对于混合废物，应使化学危险性、放射性活度、体积最小化；还可能需要进行处理，以实现危险化学成分与放射性成分的分离；
- (3) 对于具有多重危险属性的废物，应对传染性病原体进行灭活处理，消除医疗废物的其他危险属性，降低放射性活度、化学毒性和生物活性，并减少体积。

5.4.2.2 对混合废物和具有多重危险属性的废物，进行处理的目标通常是消除一种或多种危险属性，使这些废物可以作为单一类型的废物进行下一步处理。

5.4.3 处理的方法

废物贮存或处置前管理的方法包括降低危害的方法、减少废物体积或总量的方法及降低迁移率的方法，具体方法及其适用性见附录 C。

6 退役阶段废物最小化

6.1 一般要求

6.1.1 依据提出的退役目标和退役策略，确定最优的退役范围，例如是整体退役或是部分退役。

6.1.2 为退役措施选择最优的技术手段，通过评估确定对被污染设备和废物进行去污还是处置，最大限度地重复利用可循环材料。

6.2 去污过程中的废物最小化技术措施

6.2.1 在设施去污工程中，应综合考虑各种技术措施的有效性，以使得选用的废物最小化技术能为单个废物流或混合废物流提供经济、安全的处置方式，并尽量避免二次废物的产生。

6.2.2 去除污染的技术措施有很多，附录 D 列出了一些适用于小型设施的去污技术措施。每一项技术措施都应考虑其对具体的被污染材料或表面的适用性、总体目标及相对于其他措施的优点。在大多情况下，最好的途径是采用一系列技术措施，逐渐增加这些措施的强度，直至达到既定目标。

6.2.3 对于选用的去污技术措施，可以通过在小区域内测试或在实验装置中试用，并进行有效性评价。

6.3 退役废物管理

退役过程中产生的放射性废物的管理，参照 5.3 和 5.4 执行。

名词解释

核技术利用

核能利用以外，放射性同位素与射线装置在工业、农业、医疗、国防及科学研究等方面的应用。放射性同位素包括放射源和非密封放射性物质。射线装置包括 X 线机、加速器、中子发生器以及含放射源的装置。

放射性废物最小化

使放射性废物量（体积和活度）减小至可合理达到的尽量低的过程。

放射源

除研究堆和动力堆核燃料循环范畴的材料以外，永久密封在容器中或者有严密包层并呈固态的放射性材料。

减容

减小废物体积的行为。典型的减容方法有机械压实、焚烧和蒸发等，减容也包括通过去污（达到豁免）或避免废物的产生来减少废物的总体积。

再循环

将放射性活度浓度或表面污染水平达到国家现行标准规定水平的物料返回生产流程中使用。

再利用

将放射性活度浓度或表面污染水平达到国家现行标准规定水平的工具、设备、建筑物和场地等再次直接使用或经修复、翻新、再制造后使用。

混合废物

同时含有放射性和化学危险成分的废物，多来自研究机构。

多重危险废物

同时含有放射性、化学毒性和传染性病原体等危险成分的废物，多为医疗废物或来自研究机构的实验废物。

附录 A 废物操作区的污染预防设计考虑

以下以实验室及大多数的小型研究机构为例，给出废物操作区的污染预防设计考虑，其他核技术利用单位可供参考。

A.1 废物操作区的划分

对于实验室以及大多数的小型研究机构，一般在位于放射性物质使用地点附近的区域收集和管理所产生的废物，废物操作区域可根据不同功能划分为四个区域：附属收集区、临时集存区、中心整备处理区和处理贮存设施。

A.2 附属收集区

A2.1 这些废物收集区位于废物产生点附近，在废物产生者的直接控制之下。对于低水平混合废物，这些区域要满足一些特殊的管理要求，包括对可在这些区域集中的废物类型和总量的限制。废物从收集区移出之后，未经允许的情况下最多可以在场内堆积存放 90 天。

A2.2 应考虑收集区的数量、类型以及尺寸。为废物收集而设计的区域应允许后期扩大或缩小的可能性，或允许从中划出部分区域供各类废物使用；在允许的条件下，分类后的放射性材料和废物可以共用安全柜和其他的安全设施，以避免设备和保存空间的重复建设。实验室设计者应确定实验室运行将会产生废物的类型，以确定所需独立收集区的数量。放射性废物和化学废物应在单独的、不相邻的区域进行收集，以降低交叉污染和因疏忽造成不同类型废物混合而产生低水平混合废物的可能性。

A2.3 应将收集区受到污染的可能性降到最低。污染控制和包容系统应将产生二次废物的可能性降到最低。例如，应避免使用一次性可吸收衬垫，选用可以再利用的可清洗托盘或衬垫，以减少附加废物的产生；易挥发或易产生粉尘的放射性物质的操作应在指定的区域内进行，并配备合适的外罩、手套箱或其他包容系统。包容系统应设计成将污染物隔离在较小的区域，并应便于去污。

A2.4 应考虑液体废物容器贮存的二次包容。液态化学制品、放射性废物或低水平混合废物容器应贮存于带唇缘的托盘或可移动式二次包容系统中，该系统容器应具有大于废物容器最大容量的 10% 的包容能力。为了包容一些小容器，可

选用不渗透的、耐化学腐蚀的材料制成的安全托盘。包容单元应满足以下要求：

- (1) 具有置于收集区内的合适尺寸，不得阻碍交通；
- (2) 具有不同的尺寸，以适用于包装不同类型和尺寸的废物容器；
- (3) 采用耐化学腐蚀材料制成，这些材料是可去污、可再利用的，不建议使用含铅或其他有毒添加剂的塑料，以及 PVC 材料；
- (4) 对于不相容的废物和材料，应使用单独的托盘；
- (5) 用于接收来自连续液流设备所产生的废物的容器，在运行期间应能够观察液位，或安装有自动关闭装置以防止溢流。

A2.5 应对不同类型废物的收集区进行恰当的标识，以及对容器中放置废物的种类进行明确的识别及恰当的标注。

A2.6 装有闪烁液的废物瓶应根据闪烁液的组成将其作为低水平放射性废物或低水平混合废物收集。装有低水平混合废物的瓶应与其他废物瓶分开收集；仅含有 H-3 或 C-14 废物的瓶应与装有其他放射性同位素的废物瓶分开收集。不同类型的废物瓶应使用不同托盘分别收集。

A2.7 应建立专用的低水平放射性废物收集区，并应作出以下考虑：

- (1) 产生水溶性液体废物的实验室应使用可再生的防泄漏及抗破损的容器进行废物收集，例如塑料，在其服务期结束后可进行焚烧处理；
- (2) 只含有短寿命核素的、可进行衰变贮存的废物，应与含有长寿命核素的废物使用不同的容器收集；
- (3) 盛放低放废液的容器应置于可清洗的托盘或可移动式二次包容系统上，并应在工作台面下指定的区域配备溢出包容系统；
- (4) 低放废液收集区的地面应是无孔的、可清洗的，并且无地漏。

A2.8 低水平混合废物收集区应与收集低水平放射性废物以及非放射性化学废物的区域分开，在规划设计过程中还应注意以下事项。

- (1) 用于收集低水平混合废物的区域应具有足够的溢出包容能力，例如采用无孔且耐化学腐蚀的建筑材料，利于溢出物和溅出物的清洁。
- (2) 收集容器的数量、类型和尺寸以及包容托盘的设计应取决于所产生低水平混合废物的总量、可处理性及化学相容性。不同类别的不能贮存在同一容器中的废物，不应贮存在同一包容单元，例如酸与碱、氧化剂与易燃液体、无机氰化物与酸。

(3) 只产生少量废物并装在杯、瓶、罐等容器中的实验室，可不设置专用的低水平混合废物收集区。除易燃或腐蚀性废物外，只需将小容器分类分组放在防溢出安全托盘上；易燃或腐蚀性废物应贮存于安全柜中。

(4) 产生大量低水平混合废物的实验室，应设置专用区域，并利用大体积收集容器对废物进行收集。大体积容器，例如溶剂安全罐、25 L 桶等，应置于工作台下面的指定地面区域。

(5) 液体化学废物应贮存于托盘或其他包容装置上，这些包容装置的容纳能力，应至少大于贮存于这些装置中的最大容器总体积的 10%。

(6) 废物容器应易于从各个角度观察、监视。

(7) 贮存容器中的废物与附近其他容器中贮存的废物或其他材料化学性质不相容时，应对其进行物理隔离，或利用墙、隔板或其他装置进行保护，与其他材料隔离。

(8) 收集区的地面应是无孔的、易接近的、可清洗的，并且无地漏。

(9) 如实验室中有产生大量的或连续废物流的自动化流程或其他设备，应针对大体积收集容器设置另外的更大的收集区。

A.3 临时集存区

A3.1 临时集存区应设置在建筑物内，用于临时收集、压实及贮存废物，为废物运往设施内的中心整备处理区做准备。

A3.2 在将废物从附属集中区移出并运送至收集区或中心整备处理区之前，应由有从业资格的废物管理人员按照相应废物鉴别和标识规定对废物进行检查，以尽可能减少接受未知废物和未正确识别废物的可能性。

A3.3 可在建筑物内为危险废物和放射性废物分别设立单独的房间，作为已收集于容器中的废物的临时收集区。这些房间只用于短期贮存，并应与产生废物的源头分开。

A3.4 这些收集房间应与 A.2 所述实验室内的废物收集区具有相同的设计考虑。此外，还应满足适用于以下 A.4 所述的中心整备处理区的要求。

A.4 中心整备处理区

A4.1 中心整备处理区是一些房间或建筑物，废物在这些区域内接收、盘存、

集中、加工和处理，以便于处置或者运往场外。

A4.2 中心整备处理区的尺寸应该能为常规的以及意外条件（比如无法进行场外处置时）下的废物管理，提供足够的贮存能力，以包容废物的溢出和释放。低水平混合废物的处理区还应满足危险废物产生者相关的特殊要求。

A4.3 用于处理或贮存液体废物的区域应设置包容系统，用于收集和控制溢出和泄露。例如，在容器下方安装底座，该底座应具有足够的密封性，以防止包容物泄露或溢出，并且在检测到溢出或泄露时容易清除；该底座应具有足够的容纳能力，在其所能贮存容器最大体积的 110%和最大容器体积的 110%二者中取最大值。

A4.4 贮存和包装系统的设计应保证化学不相容的废物和具有不同处理能力的废物被隔离开。

A4.5 应为易燃的放射性液体的贮存提供安全贮存柜。

A4.6 容器之间应保留至少 0.5 m 的过道空间，以保证紧急情况下的检查以及人员、废物容器、溢出控制和防火设备的无障碍通行。

A4.7 利用耐化学腐蚀、易清洁材料建造的无开口或排水沟的地面系统，应利用凹槽区域、护沟或其他装置为溢出物提供二次包容功能。在入口处设置的护沟应允许用于移动容器的推车、台车和其他设备通行。

A4.8 这些区域或房间应实行出入控制，只有废物管理人员和应急人员才能进入。

A4.9 应为溢出控制设备、工具、打包装置、吸附剂及其他用于常规操作的材料提供存放空间。

A4.10 可为含有放射性的动物尸体及其他生物组织废物提供冷冻或冷藏贮存能力。

A4.11 低水平放射性废物的接收、加工、集存和处理应在符合相关规定并获得许可的情况下开展。

A.5 处理贮存设施

A5.1 在筹建新设施时，应评估该设施产生低水平混合废物的可能性。对于一些类型的低水平混合废物，利用商用设施进行场外处理的可能性很小，所以一旦产生这些废物，即使产生量极少，仍需要在场内贮存、处理。

A5.2 如果预计将来有进行低水平混合废物管理操作的需要，应在设施建设前提出申请。在申请中，应说明详细的规划、布局、处理过程。

A5.3 处理和贮存设施可设置在场外，在获得批准后可开展本单位的废物处理和贮存操作。

A5.4 若处置废物，包括来自本单位或其他单位的废物，须获得相应的许可证。

附录 B 废物的分类收集

B.1 化学不相容的废物

在建立废物组别时，将化学不相容的废物，例如氧化剂和有机溶剂等分开，是一个重要关注点。当化学不相容的低放混合废物混合时，有可能发生剧烈的化学反应，释放有毒气体或发生火灾或爆炸。

B.2 放射性废物/非放射性废物

对运行操作产生的固体废物进行分拣，能够大大减少需要进行场外处置的废物量。以实验室为例，相应的分类建议如下：

(1) 将已知的被污染的废物与可能没有被污染的废物分开。在实验完成之后，应对没有被污染的废物进行检查，测量其中放射性物质的含量。如果确认该废物没有被污染，则可以与普通固体废物一同处置，任何被污染的废物都必须按照放射性废物的要求管理；

(2) 可能被 C-14 或 H-3 污染的纸和塑料应视为被污染废物。由于一般情况下很难对其进行分析，所以将作为放射性废物处理。

B.3 长半衰期废物/短半衰期废物

如果可能的话，短寿命放射性核素应与长寿命放射性核素分开。对于短寿命放射性核素废物，应进行贮存衰变，在清洁解控后将其运往场外处理。

B.4 解控废物/非解控废物

应区分解控废物和非解控废物，将解控废物与普通固体废物一同处理，非解

控废物作为放射性废物进行管理。

B.5 解控的液闪废物/非解控的液闪废物

在处理非常低水平的液闪废物时，可不考虑它们的放射性。因为对于可解控的闪烁液，有更多的处理方法可供选择，应将这些废物与非解控闪烁液及其他混合废物分开收集和处理。

B.6 解控/非解控的动物尸体和动物排泄物

B6.1 由于解控的动物尸体可以作为非放射性医疗废物处置，因此，应将低于解控水平的尸体与超出解控水平的尸体进行分别的收集处理，以减少作为放射性废物处理的废物量。

B6.2 低于排放限值的动物排泄物，可直接排入生活污水处理系统。可以将动物放置在代谢笼内，以合适的方式收集排泄物后直接冲刷。

B.7 放射性废物/危险废物

B7.1 应避免危险废物与放射性废物的不必要混合，防止交叉污染，这是减少或预防混合废物产生的最重要策略。

B7.2 应建立标识系统，清楚地标明各种废物的处置场所。应在标签中说明危险化学成分的具体名称、放射性核素及其浓度，这样可以确保废物流被区分开，不会造成不必要的分类不明。

B7.3 应建立有效的筛查系统，以便被放射性污染的废物溶剂在与更大体积的危险废物一同固化之前能够被检测到。

B.8 放射性废物/非危险废物

应将危险液闪瓶与非危险瓶进行区分。将装有危险化学闪烁液的瓶与那些装有非危险闪烁液的瓶分开，非危险瓶可作为放射性废物处理，或者如果相应核素含量低于解控水平的话，可直接作为普通固体废物处理。

B.9 特殊危险废物/非特殊危险废物

含有特殊危险废物的混合废物应与那些不包含特殊危险废物的混合废物分

开收集。对于特殊废物，处理和处置的选项通常比较少，并且处置后的残留物可能仍然是危险的。

B.10 生物危险/非生物危险废物

B10.1 具有潜在传染性的物质，例如血液和体液及那些可作为医疗废物管理的物品，都应和放射性废物分开收集，这是出于对管理需要和处置价格不同的考虑。

B10.2 对由于病人接受放射性诊断或检查产生的样品和废物，应实行单独的管制，对被污染的物质和其他医疗废物进行分拣。

B10.3 对放射性动物尸体，要根据该动物是否暴露于传染性介质来确定其需要满足的管理要求。应对可能具有传染性的动物尸体和组织与没有传染性的尸体和组织进行分拣。对于可能具有传染性的尸体和组织，通常要进行场内灭活处理。

附录 C 废物处理的方法

C.1 降低危害的方法

C1.1 降低放射性活度：短寿命放射性核素的衰变

对于某些半衰期足够短的放射性核素，应采用贮存衰变的方法降低放射性活度。贮存衰变方法适用于半衰期不超过 100 天的废物，在贮存至少 10 个半衰期后，应对仅包含短寿命放射性核素的废物进行监测，确定其是否可以清洁解控。对于证明有足够贮存空间、安全容器和适当监管的单位，可以对更长半衰期的放射性废物进行贮存衰变，但须获得监管部门批准。

C1.2 降低放射性危害：去污

应尽量对废物进行去污，以降低其中的放射性危害。例如，对于受到放射性污染的铅，可采用机械去污技术或用化学试剂对其进行去污；对于放射性废液，可采用吸附和萃取技术或通过分馏或精馏流程，将放射性污染物移出。

C1.3 降低化学危险

C1.3.1 在多数情况下，应对混合废物或具有多重危险属性的废物中的危险

成分进行处理，使其化学毒性减至最小或者去除与其化学成分有关的其他危险属性（如可燃性、腐蚀性或反应性），以便于搬运、贮存和最终处置。

C1.3.2 常用于降低废物中化学危险成分的方法，包括：

（1）生物修复。该方法广泛应用于危险物质和混合废物场址的清污，可以一定程度地减小废物规模，以适应小型废物产生单位产生的多种类型有机废物流的处理；

（2）活性炭颗粒过滤。该方法可以从大量废水中有效地去除有毒的有机化学成分；

（3）氧化法。有多种化学氧化方法已经得到使用或正在开发，用于氧化放射性废物或混合废物中的危险有机化合物；

（4）紫外光催化氧化反应。该方法用于废水中有毒有机化合物的处理；

（5）蒸汽重整。该技术将用于处理有机危险废物、活性炭再生和活性炭去污。

C1.4 降低生物危险性

C1.4.1 处理带有生物危险性的放射性废物的主要目标是除去潜在的可能引起疾病的传染性生物（即传染性病原体）。处理过程可能包括不同的灭活、消毒或杀菌方法。

C1.4.2 为使废物不会再引发疾病，应提出降低生物危险性的附加处理目标或二次处理目标，包括：

（1）保存条件应能阻止细菌的生长、防止腐烂和避免产生气体；

（2）对针头、注射器或其他锐器进行破碎处理；

（3）采用焚烧或机械处理方法，去除需要作为医疗废物管理的废物属性，或去除废物中不利于处置设施接收的属性。

C1.4.3 常用于降低废物中生物危险性的方法，包括：

（1）传染性病原体灭活。对于医疗废物中经常出现的大多数具有潜在传染性的病原体，使用加热方法很容易灭活；如果灭活剂能够浸入废物并保证足够的接触时间，使用化学方法也比较容易实现灭活。值得注意的是，对于放射性废物管理设施的长期贮存或处置而言，灭活处理可能是不够的，可能还需要储存并破坏能使其作为医疗废物监管的其他特性；

(2) 化学消毒。液态化学消毒剂，如漂白剂、碘伏、季氨和酚类化合物，常用于对液态废物及无孔材料上具有生物危险性的污染物进行灭活；使用甲醛或环氧乙烷气体的去污方法也是可行的，但不常用于医疗废物的常规处理。选择消毒剂时应考虑消毒剂对于废物中传染性病原体的有效性、与废物中其他化学成分的相容性、对废物最终处置方案的考虑以及对容器的腐蚀性等；

(3) 蒸汽高压灭菌器灭菌。该方法广泛应用于医疗废物的灭菌，但应注意放射性物质的挥发和对高压灭菌器的污染，可通过使用通风过滤器和活性炭等吸附材料来减小潜在挥发性放射性核素的释放；

(4) 保存。当有必要长时间贮存可降解废物或对它们进行陆地填埋处置时，必须采取保存方法。保存方案应尽量破坏细菌生长的一种或多种必需条件，包括接种物或细菌源、水、适合生长的温度、营养物质，或存在化学抑制成分。最常用的保存方法包括冷冻、脱水、用石灰石处理以及添加化学消毒剂。

C.2 减少废物体积或总量的方法

C2.1 在对废物采用所有处理和再循环策略之后，应通过实施最小化策略减小废物长期贮存或处置的重量或体积。应对所有可行的体积减小方法进行比较，确定其中哪些技术对废物中的材料和放射性核素适用，考虑体积减少方法在废物的贮存、运输和处置能力方面所能达到的效果以及成本收益。

C2.2 压缩

在不考虑进行金属回收、去污或焚烧处理时，通过压缩来减小固体废物体积是一种广泛使用的、经济有效的方法，包括常规的压缩单元和超级压缩机等。在选择医疗废物的压缩方法时，须考虑其中包含锐器的危险性。在任何情况下，均不允许操作人员在废物容器中进行手工压缩。

C2.3 浓缩

液体废物的体积减少方法包括从大体积的惰性基体中对放射性核素或某些化学成分进行浓缩或移除。例如，蒸馏方法用于废物成分的分离或浓缩，或者使用活性炭或树脂进行吸附。

C2.4 处置前的表面去污

对于待去污的设施，移除污染表面是常用的体积减少方法。例如，对于木材和混凝土，污染仅出现在表面或近表面，将被污染的部分移除是有效的体积减少

方法。

C2.5 焚烧

焚烧方法适用于很多种类的放射性废物，如动物尸体、排泄物等生物物料和医疗废物等，能同时实现多个最小化目标，如使有毒或有机化合物完成氧化、获得高的减容比，以及一些情况下对不具有挥发性的放射性核素和有毒金属进行包容或玻璃固化。

C2.6 干燥

对于不宜进行焚烧或压缩处理的生物物料，如动物尸体，冷冻干燥是一种有效的、经济的减小废物体积的方法。该方法可以将处理后的物料作为固体废物打包后进行处置，避免二次废物的产生。其他干燥方法还包括微波法和干馏法等。

C2.7 生物降解

一些生物方法，如食腐虫，可用来减小动物尸体的体积。

C2.8 碾压和破坏

C2.8.1 在对医疗废物进行贮存或处置前，通常通过碾压来减小体积。该方法受到碾压机被放射性物质污染后难以处理、排放的危险气溶胶难以收集、机器维修工人的辐射危险等因素限制。

C2.8.2 医疗废物的处理也可使用破碎后进行化学消毒的方法。

C2.9 碱水解

含有放射性的动物组织和尸体可以使用碱水解方法来处理。水解反应和降解反应使大多数生物物料转变为可通过生活污水处理系统进行处理液态水解产物，大大减少需要作为放射性固体废物处置的废物体积。

C2.10 等离子弧

等离子弧方法是在封闭空间内使用电弧产生的极端高温对废物进行热处理的一种方法。该方法可用于处理医疗废物，并且有可能成为处理放射性废物和混合废物的替代处理方法。该方法提供了一些潜在的优点，包括：

- (1) 处理过程不属于焚烧处理，可能不需要满足对焚烧装置的许可要求；
- (2) 产生的尾气可以处理和排放，或者收集起来用作燃料；
- (3) 没有对废物性质的要求，可以接受很多类型的废物及混合性废物；
- (4) 可以实现对废物的手工操作、潜在照射、费用以及表征废物所需的时间。

间最小化；

(5) 不需要对废物进行前处理；

(6) 仅用一个处理步骤便可以同时实现有机化合物的破坏、重金属和放射性核素的稳定化；

(7) 处理的固体残渣被固化于玻璃基体中，具有耐久性和良好的防浸出性。

C.3 降低迁移率的方法

C3.1 汞齐化

汞齐化主要用于含汞废物的处理。在进行处置前，应将含液态汞的废物与铜、锌或其他金属材料一起进行汞齐化处理，使其成为半固态产品，以减小汞蒸汽的潜在排放。

C3.2 控制螯合剂

由于螯合剂可以与其他稳定化处理过程发生相互作用，并在近地表处置中可增加废物的移动性，因此，有必要通过氧化处理或其他方法对废物中的螯合剂进行降解处理，以利于后续处理或处置活动的开展。

C3.3 封装

通过使用表面涂层材料（如有机聚合物）或者由惰性有机材料制成的护罩进行封装，可以有效降低废弃物中危险成分向浸出介质表面的潜在迁移。

C3.4 稳定化

稳定化处理常用于降低废物中的危险性或放射性污染物的迁移率。通常使用普通水泥、石灰/火山灰或水泥窑粉尘等作为稳定剂，并在其中添加一些试剂如铁盐、硅酸盐和粘土等增加固化废物的耐久性 or 提高其强度。

C3.5 屏蔽

在减小贯穿辐射在贮存或处置过程中的照射方面，屏蔽是一种非常有效的方法。选择屏蔽材料时应考虑防护因子和最小化目标加以考虑。可使用回收材料制作屏蔽体，并使屏蔽体对于环境的风险最小化。

C3.6 玻璃固化

玻璃固化广泛应用于高水平放射性废物的处理。在废物的长期安全贮存和安全处置中，玻璃体可能是最稳定的形式。放射性核素和重金属离子被固定在玻璃基质的分子结构中，不易从玻璃体中浸出进入处置设施和环境。

附录 D 去污技术示例

表 D.1 列出了一些适用于小型设施的去污技术措施及其优、缺点。

表 D.1 适用于小型设施的去污技术示例

序号	去污技术	主要用途	主要优、缺点
1	使用含 NaOH 的化学凝胶	用于管道内部去污。	<ul style="list-style-type: none"> 将凝胶简单地喷射到表面就可达到去污目的。不需要充满整个管道。 操作和使用 NaOH 凝胶时，可能会产生安全问题。 使用后的凝胶需作为腐蚀性低水平混合物来管理。具有高粘性，较难中和。 将碱性腐蚀液排放至生活污水管道是禁止的。
2	利用各种介质进行稳定化处理	作为被污染残余物的涂层使用，涂层是可剥的。	<ul style="list-style-type: none"> 污染物可被固定在一个地方，而不是被清除，从而延缓废物的产生。可用的稳定介质包括液态和固态蜡、水溶性有机润滑剂（聚乙二醇）和环氧涂料薄膜。 使用涂层，尤其是环氧涂料时，会产生潜在的职业健康风险。 涂层最终需要处置。被污染物体仍然作为放射性物质被管制，不能完全退役。需要进行恰当标识作为危险警告。 使用的稳定化介质可能会妨碍处理以及最终的处置技术。
3	剥离，视污染的具体情况而进行的清除或处理	清除包含放射性污染物或有毒物质，比如铅、镉、铬和汞等的涂层	<ul style="list-style-type: none"> 这种清除通常包含反复地用手刮擦、水洗、清洗剂擦洗，或者使用可能含有易燃或有毒溶剂的涂料清洗产品。对于这种或相似的方法，可能需要制定全面计划，使用包容系统和呼吸保护系统。
4	超声波振荡清洗	振荡清洗小型的无孔表面，或者非固定污染的组件，比如疏松沉积、疏松黏附的污染物	<ul style="list-style-type: none"> 对于一些小的、很难接触到的缝隙，利用超声波清洗或者振荡器清洗非常有效。机械手、泵密封圈和过滤器等组件中经常发现非固定污染物。 整个过程通常不需使用有害清洁剂，可在封闭系统内实施。 清洁剂也需要处置。
5	低压水洗	最常用的去污方法。 包括用水，尤其是热水清洗	<ul style="list-style-type: none"> 能有效减小体积、降低危险、耗能低。可清除放射性核素和金属，破坏某些组成而不产生有毒气体。 该过程不需要使用溶剂或其他危险物质。 可能只对相对光滑且未受腐蚀表面上的水溶性或者输送黏附的污染物有效。

序号	去污技术	主要用途	主要优、缺点
		表面。 可以使用清洁剂或其他添加剂以增强清洗效果。	<ul style="list-style-type: none"> • 清洗剂可能从被清洗表面提取出有毒金属，从而使清洗液的处理处置变得复杂。 • 该过程可能产生大量需要处理的废水。 • 在进行设施和系统设计时，如果预计将来需要进行大规模的低压水洗操作，则应该考虑配备用于废水收集的污水池，以及利用树脂过滤床或机械过滤器进行过滤，以减少残留放射性。
6	高压清洗(高压喷水清洗)	用于大面积的剥离和去污。能用于清洗涂层、水泥层等。	<ul style="list-style-type: none"> • 无需使用有害添加剂。 • 需要少量的水。 • 高压水和设备可能会产生安全风险。 • 可能产生气溶胶，需要配备包容系统。产生含有大量固体物质的废水，可能需要重复利用或进行处理。
7	蒸汽清洗	对复杂形状尤其有效。	<ul style="list-style-type: none"> • 设备简单经济。 • 综合了水的溶解特性和气流的冲击效果，不会显著增加废物量。 • 可能产生气溶胶，需要配备包容系统。 • 无需使用有机溶剂或其他危险化学品物质。
8	海绵冲洗,或利用各种不同等级的泡沫清洗介质,比如用水性聚氨酯海绵来冲洗表面	在表面接触时,通过海绵膨胀和收缩达到清洗效果	<ul style="list-style-type: none"> • 海绵冲洗需要专用设备。 • 海绵随后要清洗并回收,清洗用水将蒸发。
9	二氧化碳冲洗	几种相似的去污方法之一,例如利用清洗过程中会挥发的固体去污	<ul style="list-style-type: none"> • 利用压缩空气将细小的干冰颗粒喷向待清洗表面,可穿透污染物甚至使其粉碎,从而释放出污染物。尽管该方法被证明对塑料、陶瓷制品、复合材料和不锈钢都很有效,但是对于非常牢固地黏附在基础材料上的硬涂层并不适用。 • 不需使用危险的清洁介质。 • 二氧化碳会蒸发,不会增加需要处理的残留废物量。
10	湿沙粒冲洗	一种需要用水、研磨介质和压缩空气的液体研磨去污技术。很多核	<ul style="list-style-type: none"> • 封闭的循环系统,使废物产生和喷射危险最小化。 • 使用的介质最终需要处置和更换。

序号	去污技术	主要用途	主要优、缺点
		设施采用该方法去除诸如结构钢材、部件和手持工具等金属表面的可擦除的以及固定污染物。	
11	沙粒冲洗	通常也称为沙洗或研磨喷射，作为通用的表面污染去除技术已经使用超过100年。这种技术利用水、压缩空气或者两者混合物携带研磨材料（比如矿物颗粒、小铁球、玻璃珠等）向待处理的表面喷射。	<ul style="list-style-type: none"> • 该技术不适用于会破碎的表面（比如玻璃、石棉水泥板、树脂玻璃），而且可能导致产生难以分离的额外废物。 • 过程中噪声可能很大。 • 要求系统能包容产生的灰尘。
12	尖物剥除	用于混凝土和钢铁两种表面的污染物去除。利用2 mm、3 mm或4 mm的铍铜针，反复摩擦，消除表面的污染物。	<ul style="list-style-type: none"> • 尖物剥除最适用于去除钢铁表面、管道和导管的污染物和涂层，但是表面积很大时将要耗费大量劳动力。 • 铜和铍有毒，必须事先防范以免受危险，并且需要处理污染废物。
13	碾磨	从金属或混凝土上刮削下不同厚度的材料层。金属碾磨时，利用旋转刀具刮削材料层。混凝土碾磨类似于混凝土粗琢或者切割，不同之处	<ul style="list-style-type: none"> • 可能需要昂贵的设备。 • 需要保持警惕，保护好已清除的表面，以免受到正在碾磨表面的污染。 • 可能需要采取措施控制灰尘在空气中的传播等。

序号	去污技术	主要用途	主要优、缺点
		在于它可用于更大表面积的情况。	
14	切割	用于清除受污染表面的表层直至合适的、没有污染的表面。	<ul style="list-style-type: none"> 当某设施要开放至无限制使用时，可利用切割机对其进行处理，处理后可以为新的涂层系统提供需要的轮廓。 为了得到需要的轮廓以及去除混凝土污染物，可采用粗琢切割工艺。 可能需要采取措施控制灰尘在空气中的传播等。
15	粗琢	粗琢工具配备了若干气动活塞头，可用于同时冲击混凝土表面。最适用于去除被污染混凝土和水泥薄层。	<ul style="list-style-type: none"> 对去除表面污染，尤其是在大范围、无障碍的情况很有效。 需要相应的真空附件和覆盖结构，以减少已清洁表面和被污染表面的交叉污染，防止危险气体扩散。
15	干冰清洗	用于地板砖的污染清除。	<ul style="list-style-type: none"> 适合表面去污，不需要将整个瓷砖作为废物处置。 不需使用有机溶剂，避免产生低水平放射性废物。
16	钻孔、碎裂	用于去除混凝土表面污染，无需破坏整体结构。	<ul style="list-style-type: none"> 与其他方法相比，对污染物清除控制的精度较低。 如果去除了没有被污染的混凝土，可能导致需要处置的废屑量增加。
17	分拣	非放射性固体废物与低水平放射性废物分开，并归于不同类别。	<ul style="list-style-type: none"> 可能大大地减少干性废物的量。 混合后的放射性物质和非放射性物质的分离可能需要消耗大量的资源支出，尤其是在简单的监测技术不能探测到该放射性核素的情况下。 存在严重的潜在风险，分类出错时，可能将低水平放射性废物错误地当作非放射性物质排放。 该操作可能需要进行大量的废物搬运操作，增加个人受照的可能性，从而造成辐射危险。
18	脱水	利用离心机、过滤系统等去除漂洗液和其他退役废物中的水分。	<ul style="list-style-type: none"> 降低废物中的含水量，从而减小废物量，降低处置成本。
19	催化提取	将有毒废物和低水平放射性	<ul style="list-style-type: none"> 适用于低水平混合废物和被放射性污染的金属碎片的处理。

序号	去污技术	主要用途	主要优、缺点
		废物破碎，作为再循环或再利用部件，投入金属熔炉。	<ul style="list-style-type: none"> • 为重新使用贵金属以及处理低水平放射性废物和低水平混合废物提供了一种手段。 • 需要使用相应的场外设施。
20	生物处理	通过微生物作用去除污染物或对其进行稳定化处理。该方法包括活性污泥技术、酸沥滤、延时曝气、接触稳定法、纯氧曝气，使用滴流生物滤器和旋转生物转盘。	<ul style="list-style-type: none"> • 有效性主要取决于如下因素：废物组成、污染物特性、关键组分的存在以及有助于对废物进行生物降解的有机体的生长条件。 • 可应用于大体积废物流及场址整治。