

附件 1

核安全导则 HAD 401/11-2020

# 核技术利用放射性废物最小化

国家核安全局 2020 年 3 月 10 日批准发布

国家核安全局

# 核技术利用放射性废物最小化

(2020年3月10日国家核安全局批准发布)

本导则自2020年3月10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.....	7
1.1 目的.....	7
1.2 范围.....	7
2 目标和原则.....	7
2.1 总体目标.....	7
2.2 主要原则.....	7
3 废物最小化大纲.....	8
3.1 废物最小化大纲的制定、评估与更新.....	8
3.2 废物最小化目标.....	8
3.3 废物最小化方案.....	8
3.4 管理.....	9
4 设计和建造阶段废物最小化.....	9
4.1 一般要求.....	9
4.2 设计优化.....	9
4.3 建筑材料的选择.....	9
4.4 潜在污染源的隔离.....	10
4.5 利于去污.....	10
4.6 废物操作区的污染预防.....	10
5 运行阶段废物最小化.....	10
5.1 一般要求.....	10
5.2 废物源项减少措施.....	11
5.3 再循环与再利用.....	12
5.4 以贮存或处置为目的的废物处理.....	13
6 退役阶段废物最小化.....	14

6.1 一般要求.....	14
6.2 去污过程中的废物最小化技术措施.....	14
6.3 退役废物管理.....	14
名词解释.....	15
附录 A 废物操作区的污染预防设计考虑.....	16
附录 B 废物的分类收集.....	21
附录 C 废物处理的方法.....	23

# 1 引言

## 1.1 目的

本导则为核技术利用单位的放射性废物最小化工作（以下简称废物最小化）提供指导，也为行政审批部门及监管部门开展辐射安全审评和监督管理提供参考。

附录 A、B、C 为参考性文件。

## 1.2 范围

本导则适用于生产或使用半衰期大于 100 天的放射性同位素的甲级非密封放射性物质工作场所的核技术利用单位在设计、建造、运行和退役过程中的废物最小化工作，鼓励其他核技术利用单位参照执行。

# 2 目标和原则

## 2.1 总体目标

通过源头控制、再循环与再利用、清洁解控、处理优化及强化管理，使最终放射性固体废物产生量（体积和活度）减小至可合理达到的尽量低的水平。

## 2.2 主要原则

2.2.1 应开展源头控制，避免或者减少废物的产生。

2.2.2 在已经产生或预计将不可避免地产生废物时，应考虑通过去污和贮存衰变等方法实现清洁解控的可能，或者再循环/再利用的可能。

2.2.3 对于无法清洁解控和再循环/再利用的废物，应进行减容处理，减小待处置废物的体积，实现最终安全处置。

2.2.4 应科学策划并优化废物最小化管理，提高人员认知水平，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 产生废物的核技术利用单位应制定废物最小化大纲或是在本单位废物管理文件中说明废物最小化相关内容（以下简称为废物最小化相关内容），包括废物最小化的目标、实现废物最小化的方案及管理措施等内容。

3.1.2 废物最小化大纲（废物最小化相关内容）应定期评估（每五年不少于一次），内容包括趋势分析、目标实现情况、选用技术的有效性 & 经验教训，提出可持续改进的措施；根据评估结果，及时更新废物最小化大纲（废物最小化相关内容）。

### 3.2 废物最小化目标

3.2.1 废物最小化大纲（废物最小化相关内容）应针对产生废物的不同阶段分别提出废物最小化目标。目标应是明确的、具体的。目标的制定应根据废物产生环节来确定，并应考虑废物流的数量和复杂性、工作人员和公众的辐射照射水平及废物最小化活动的成本等因素。

3.2.2 废物最小化应采取切实可行的设计和管理措施，并借鉴国内外经验，使废物产生量控制在可合理达到的尽量低的水平。

### 3.3 废物最小化方案

3.3.1 废物最小化大纲（废物最小化相关内容）中应明确当前或预期的废物流及其体积、活度、重要的物理化学特性等废物特征，对废物进行准确和全面地表征。除上述信息外还应包括输入材料、材料用法、生产工艺、监管状况、最小化技术措施和管理方法等。

3.3.2 应建立废物台账，系统收集产生和处理的废物的数据，确保能提供充分的支持信息。

3.3.3 应说明具有确保废液达标排放、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、暂存和运输，应跟踪废物去向，进行记录；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 核技术利用单位应重视废物最小化工作，树立废物最小化理念。

3.4.2 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，确认废物最小化关键环节，将废物最小化纳入培训计划，并制定促进废物最小化大纲（废物最小化相关内容）实施的管理目标及相应采取的激励手段。

3.4.3 质量保证应覆盖废物最小化工作，以确保废物最小化大纲（废物最小化相关内容）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，采用先进生产工艺和设备，以便在运行和退役阶段减少废物的产生量。

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

4.1.3 在设计和建造过程中，应考虑放射性物质隔离和分类封装，以降低泄漏和混合的可能性。

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治理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，应结合废物最小化技术发展及国内外运行经验反馈，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，基于空间、布局和结构，调整设备和系统以实现优化。

### 4.3 建筑材料的选择

4.3.1 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并

且易于去污的，或者外覆易于清理和移除的涂层或板材。

4.3.2 应选择经久耐用的涂料和其他材料，使维修或更换过程产生的废物实现最小化。

4.3.3 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。

#### **4.4 潜在污染源的隔离**

4.4.1 设计建筑物时，应尽可能将存在放射性物质的区域隔离，以实现可能被污染区域的最小化。

4.4.2 应设置合适的包容系统，限制溢出物和渗漏物向环境的潜在释放。

#### **4.5 利于去污**

4.5.1 有可能被污染的设备 and 建筑应是易于接近的、方便去污的，或者可拆卸、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，可采用光滑、无孔的圆角结构。

#### **4.6 废物操作区的污染预防**

4.6.1 可在放射性物质的生产和使用区域附近设置废物操作区，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。

4.6.2 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 一般要求**

5.1.1 在运行过程中，应通过采购管理、原材料选择、技术改进、产品替代等方式减少废物或避免废物的产生。

5.1.2 应开展以废物最小化为目的的设施性能维护，以降低设施运行和退役过程中与废物管理和污染控制相关的成本。



5.1.3 在运行过程中，宜开展剩余物料、污染物料和废物的再循环与再利用，对这些物料和废物或其中的特定成分进行有益利用。

5.1.4 在运行过程中，应对废物进行分类收集和封装，避免不同类型废物的混合和污染物的扩散；应将可解控废物及时解控。

5.1.5 对于运行过程中产生的废物，应进行必要的处理，将危险成分转化为低危险或无害成分；应对必须贮存或处置的废物进行减容和固定。

## 5.2 废物源项减少措施

### 5.2.1 采购管理

应通过采购控制来防止放射性物料的非必要采购，并尽量采购可以直接使用的放射性物料，以达到减少源项的目的。

### 5.2.2 原材料选择

应尽量识别并控制原材料中可能引起重大安全和废物管理问题的成分，并尽量使用非放射性物质来替代放射性物质或尽量使用半衰期较短的放射性物质替代半衰期较长的放射性物质。

### 5.2.3 技术改进

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

### 5.2.4 产品替代

对于生产制造单位，在可实现产品预期功能的前提下，宜通过生产制造其他替代产品来减少废物产生量。

### 5.2.5 良好的操作实践

#### 5.2.5.1 活动的计划和安排

对于使用放射性物质的活动，可通过在工艺和程序上的合理安排或调整来避免产生或减少难以管理的废物。

#### 5.2.5.2 防止释放

通过净化、防止泄漏和挥发等措施控制放射性物质的释放，可以减少因清洁和包容放射性释放物质而产生的废物。

### 5.2.5.3 废物的分类收集

废物分类收集应符合以下原则：

- (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) 宜对物料和废物进行再利用和回收；
- (4) 在分类收集时应考虑形式和组分；
- (5) 应利于管理，避免使用过多容器以及分类、处理过于复杂等；
- (6) 应对废物容器恰当标识，提供废物基本信息和危险提示；
- (7) 应根据废物的化学相容性、危险属性（放射性、腐蚀性、毒性、易燃性、感染性等）、放射性核素半衰期等进行分类。分类可参照附录 B 进行。

### 5.2.6 物料操作中的污染控制

在实验、现场和设施中，污染控制应遵从如下原则：

- (1) 在非必要情况下，尽量避免使用一次性用品，宜使用可重复利用的、易于去污的物品；
- (2) 尽量使用那些易于去污的材料或设备，例如避免使用多孔材料、木材及表面粗糙的材料和设备；
- (3) 在必须使用难以去污的多孔材料或具有复杂纹路的材料和设备的情况下，可将这些材料或设备加以包裹或密封，以便于使用之后去污；
- (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) 在非必要情况下，尽量避免放射性物质的操作和非放射性物质的操作共用实验室和设备的情况；
- (6) 尽量限制实验室中非密封放射性物质的操作区域，设施的布置应能避免不必要的工作人员和材料的潜在污染；
- (7) 仅允许那些直接操作放射性物质的人员在操作区域工作，并且避免携带任何不必要的物品进入。

## 5.3 再循环与再利用

5.3.1 应对剩余物料进行再循环/再利用。可开展以下工作以促进再循环/再利用：

(1) 在核技术利用单位内部建立放射性物料登记平台，对剩余的、未使用的放射性物料在本单位内重新分配使用；

(2) 对于 I 类、II 类、III 类放射源，应与生产单位或者出口方签订废旧放射源返回协议，按照协议规定将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方；

(3) 对于剩余的、未使用的其他放射性物质，可依法返回供应商或者转让。

5.3.2 对于有放射性沾污的工具、设备等可在去污后直接进行再利用；对于不再需要的工具、设备可以运至其他设施或单位加以利用。

5.3.3 对于一些受到放射性污染的建筑物、场地等可在去污后进行再利用，去污过程中的废物最小化参见 6.2。

5.3.4 一些情况下，可对废物中的特定成分进行再利用或回收。例如，可使用含有合适成分的待处理放射性废液代替非放射性化学试剂处理其他放射性废物，或者回收废物中的放射性成分用于制造放射源。

## 5.4 以贮存或处置为目的的废物处理

### 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与再利用技术后，应对废物进行处理以降低其危险性并减小体积，以便于其贮存、运输和处置。

### 5.4.2 处理的目标

5.4.2.1 对于放射性废物（此处指仅具有放射性而无腐蚀性、毒性、感染性等危险特性的废物），应使其放射性活度和体积最小化。

5.4.2.2 对于同时具有放射性、化学危险特性（包括腐蚀性、毒性或易燃性等）和/或感染性的废物，进行处理的目标通常是消除一种或多种危险特性，使这些废物可以作为单一类型废物进行下一步处理。包括以下两种情况：

(1) 对于混合废物，应使其化学危险性、放射性活度和体积最小化；

(2) 对于多重危险特性废物，应进行消毒，杀灭病原微生物，再降低化学危险性和放射性活度，并减小体积。

### 5.4.3 处理方法

废物贮存或处置前处理的方法包括降低危险性的方法、减小废物体积或总量的方

法及降低迁移率的方法，可参考附录 C 确定。

## 6 退役阶段废物最小化

### 6.1 一般要求

6.1.1 依据设施或场所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 选择最优的退役技术手段，并通过评估确定对被污染设备和材料是进行去污、其它处理还是直接处置，以实现最大限度地再循环与再利用。

### 6.2 去污过程中的废物最小化技术措施

6.2.1 在去污工程中，应综合考虑各类技术措施的有效性及其经济性，以使得选用的技术能为单个废物流或混合废物流提供安全、经济的处理方式，并尽量避免二次废物的产生。

6.2.2 对于每一项去污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、缺点。在大多数情况下，需综合利用多种技术措施来实现既定目标。

6.2.3 对于选用的去污技术措施，可在小区域内测试或在试验装置中试用，并进行有效性和代价-利益分析。

### 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

### 混合废物

同时具有放射性和化学危险特性（腐蚀性、毒性或易燃性等）而不具有感染性的废物。

### 多重危险特性废物

同时具有放射性、化学危险特性和感染性的废物，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

本附录内容为实验室和小型研究机构废物操作区的设计提供建议，其他核技术利用单位可根据必要性和建设条件进行调整并参考执行。

### A.1 废物操作区的划分

对于实验室和大多数小型研究机构，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，废物操作区可根据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。在这些区域应设置电离辐射标志，在放射性废物暂存期间，应严格管理，有效控制，保证人员安全和环境免受污染。

### A.2 附属收集区

A.2.1 附属收集区（以下简称收集区）位于废物产生点附近，在废物产生者的直接控制之下。对于混合废物，这些区域要满足一些特殊的管理要求，包括该区域可容纳的废物类型和总量的限制。

A.2.2 应考虑收集区的数量、类型以及尺寸。由于收集区后期可能需要扩大或缩小，或者需要从中划出部分区域供其他废物使用，因此在设计时应做出相应考虑；在允许的条件下，分类后的放射性物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。放射性废物和化学性废物应在单独的、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混合废物的可能性。

A.2.3 应将收集区受到污染的可能性降到最低。污染控制和包容装置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，以减少二次废物的产生；对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、手套箱或其他包容装置。包容装置应设计成将污染物隔离在较小的区域，并应便于去污。

A.2.4 应考虑对液体废物容器的二次包容。液态放射性废物或混合废物容器应贮

存于带唇缘的托盘或可移动式二次包容装置中，该容器应具有废物容器最大容量110%的包容能力。为了包容一些小容器，可选用不渗漏的、耐化学腐蚀的材料制成的安全托盘。包容装置应满足以下要求：

- (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，以及聚氯乙烯（PVC）材料；
- (4) 对于化学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。

A.2.5 应对不同类型废物的收集区进行恰当标识，对容器中废物种类等信息进行明确标注。

A.2.6 装有闪烁液的废物瓶应根据闪烁液的成分将其作为放射性废物或混合废物收集。装有混合废物的废物瓶应与其他废物瓶分开收集；仅含有氘或碳-14 废物的废物瓶应与装有其他放射性核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。

A.2.7 应建立专用的放射性废物收集区，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渗漏及抗破损的容器进行废物收集，例如塑料，预期不再使用时可进行焚烧处理；
- (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的二次包容装置内，并应在工作台面下指定的区域配备溢出包容装置；
- (4) 低放废液收集区的地面应是无孔的、可清洗的；如有地漏，应通向废物贮存容器。

A.2.8 混合废物收集区应与收集放射性废物和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

腐蚀的建筑材料或覆盖材料，以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混合废物的量、易处理性及化学相容性，例如酸与碱、氧化剂与易燃液体、无机氰化物与酸，不应贮存在同一包容单元；

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

(4) 产生大量混合废物的实验室，应设置专用区域，并利用大体积容器对废物进行收集。废物容器应置于工作台下面的指定地面区域；对于存放装有挥发性液体容器的区域，应安装通风橱；

(5) 液体化学废物应贮存于托盘或其他包容装置上，这些托盘或包容装置应至少具有废物容器最大容量 110% 的包容能力；

(6) 废物容器应易于从各个角度观察、监视；

(7) 容器中废物与附近其他容器中的废物或其他材料化学性质不相容的情况下，应对其进行物理隔离，或利用墙、隔板或其他装置进行保护，与不相容的容器或材料隔离；

(8) 收集区的地面应是无孔的、易接近的、可清洗的；如有地漏，应通向废物贮存容器；

(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，应针对大体积容器设置另外的更大的收集区。

### A.3 临时集存区

A.3.1 临时集存区（以下简称集存区）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。

A.3.2 在将废物从收集区移出并运送至集存区或中心整备处理区之前，应由废物检查人员按照相应废物鉴别和标识规定对废物进行检查，以尽可能减少接收未知废物和未正确识别废物的可能性。

A.3.3 可在建筑物内为危险废物和放射性废物设立单独的房间，作为已收集于容



器中的废物的集存区。这些房间只用于短期贮存，并应与产生废物的源头分开。

A.3.4 这些集存区应与 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 所述的中心整備处理区的要求。

## A.4 中心整備处理区

A.4.1 中心整備处理区（以下简称处理区）是独立的房间或建筑物，用于接收、盘存、集中、加工和处理废物，以便于废物的运输和处置。

A.4.2 处理区的尺寸应该能为常规和意外条件（比如无法进行处置时）下的废物提供足够的贮存能力，以包容废物的溢出和释放。混合废物的处理区还应满足危险废物处理的特殊要求。

A.4.3 用于处理或贮存液体废物的区域应配置包容装置，用于收集和控制溢出和泄漏。例如，在容器下方安装底座，该底座应具有足够的密封性，以防止包容物泄漏或溢出，并且在发生溢出或泄漏时容易清除。

A.4.4 贮存和包容装置的设计应能保证将化学不相容的废物分隔开。

A.4.5 应为易燃的放射性液体的贮存提供安全贮存柜。

A.4.6 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、处理以及人员、废物容器和防火设备等的无障碍通行。

A.4.7 使用耐腐蚀、易清洁材料建造的无开口或排水沟的地面，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。

A.4.8 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。

A.4.9 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。

A.4.10 可为含有放射性的动物尸体及其他生物组织提供冷冻或冷藏贮存能力。

A.4.11 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**

A.5.1 在筹建新设施时，应评估该设施产生混合废物的可能性。对于某些类型的混合废物，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，仍需要在场内处理、贮存。

A.5.2 如果预计将来有进行混合废物管理操作的需要，应在设施建设前提出方案。在方案中，应说明详细的规划、布局和处理过程。

A.5.3 处理贮存设施可设置在场外。

## 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，应将化学不相容的废物进行区分。当化学不相容的废物混合时，有可能发生剧烈的化学反应，释放有毒气体或发生火灾甚至爆炸。

### B.2 放射性废物/非放射性废物

应对固体废物进行分拣，区分放射性废物和非放射性废物，以便于减少需要进行处置的放射性废物的量。以实验室为例，分拣操作建议如下：

(1) 将已知被放射性物质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，应对可能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理，而任何被放射性物质污染且超出豁免水平的废物都必须按照放射性废物的要求管理；

(2) 可能被碳-14 或氚污染的纸和塑料应视为被放射性污染的废物。由于较难对其中放射性物质的含量进行测量分析，所以通常将其作为放射性废物处理。

### B.3 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.4 长半衰期废物/短半衰期废物

含有短寿命放射性核素的废物应与含有长寿命放射性核素的废物分开。对于含有短寿命放射性核素的废物，可考虑进行贮存衰变，在清洁解控后将其运往场外处理。

### B.5 可燃废物/不可燃废物

应将可燃废物与不可燃废物分开收集，以便于对可焚烧废物进行焚化处理，实现废物的减容。

## B.6 可压缩废物/不可压缩废物

应将可压缩废物与不可压缩废物分开收集，以便于对可压缩废物进行压实处理，实现废物的减容。

## B.7 含/不含发射 $\alpha$ 粒子的核素的废物

应将含有发射 $\alpha$ 粒子的核素的废物与其他放射性废物分开收集，以便于进行分类处理和处置。

## B.8 放射性废物/危险废物

B.8.1 应避免放射性废物与危险废物的不必要混合，防止交叉污染，这是减少或预防混合废物/多重危险特性废物产生的最重要策略。

B.8.2 应建立标识系统，在废物标签中说明危险成分的具体名称、放射性核素及其浓度、贮存场所。确保区分不同废物流，避免造成非必要的分类不明。

B.8.3 应建立有效的筛查系统，以便被放射性污染的废液在与危险废物一同固化之前能够被检测到。

## B.9 放射性废物/混合废物

如液闪瓶，应将非危险液闪瓶与危险液闪瓶进行区分，非危险瓶可作为放射性废物处理，或者如果相应核素活度浓度低于解控水平的话，可直接作为普通废物处理。

## B.10 感染性废物/非感染性废物

B.10.1 具有引发感染性疾病传播危险的废物，例如被病人血液、体液、排泄物等污染的需要作为医疗废物管理的物品，都应和放射性废物分开收集。

B.10.2 对于病人接受放射性诊断或治疗产生的标本和废物，应实行单独管理，对被放射性物质污染的废物和其他医疗废物进行分开收集。

B.10.3 对被放射性物质污染的动物组织、尸体，要根据该动物是否暴露于传染性介质来确定其所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开收集。对于可能具有传染性的尸体和组织，通常要进行消毒处理。

## 附录 C 废物处理的方法

### C.1 降低危害的方法

#### C.1.1 降低放射性活度：短寿命放射性核素的衰变

贮存衰变方法适用于所含核素的半衰期不超过 100 天的废物，在贮存不少于 10 个半衰期后，对废物进行监测，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，也可以对所含核素半衰期略长于 100 天的放射性废物进行贮存衰变。

#### C.1.2 减少放射性成分：去污

应尽量对被污染废物进行去污，以降低其放射性危害。例如，对于受到放射性污染的铅，可采用机械去污技术或使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，将放射性成分移出。

#### C.1.3 降低化学危险性

C.1.3.1 在多数情况下，应对混合废物或多种危险特性废物进行处理，使其化学危险性减至最小或者去除腐蚀性/易燃性等危险成分，以便于废物的贮存、运输和最终处置。

#### C.1.3.2 常用于降低废物中化学危险性的方法，包括：

- (1) 生物修复。该方法广泛应用于混合废物和多种危险特性废物或场址的清污，可以在一定程度上减小废物量或场址规模，可适应多种类型废物的处理；
- (2) 活性炭颗粒吸附。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) 化学氧化。该方法用于氧化放射性废物或混合废物中的危险有机化学成分；
- (4) 紫外催化氧化。该方法用于废水中有毒有机化学成分的处理；
- (5) 蒸汽重整。该方法用于处理有机危险废物和活性炭再生等。

#### C.1.4 降低感染性

C.1.4.1 处理具有感染性的放射性废物的主要目标是清除或杀灭具有引发感染性疾病传播危险的病原微生物。处理过程可能采取多种消毒或灭菌措施。

C.1.4.2 为使废物不会引发传染性疾病，应提出降低感染性的附加处理目标或二次处理目标，包括：

(1) 收集废物时使用医疗废物专用包装物或容器，保存条件应能阻止病原体的生长并避免气体的扩散；

(2) 对针头、手术刀等容易致人损伤的废物进行毁形处理；

(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那部分废物特性，或去除废物中不利于处置设施接收的特性。

C.1.4.3 常用于降低废物感染性的方法，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，也可使用灭活剂浸入废物并保证足够的接触时间来实现灭活。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，还需要破坏能使其作为医疗废物管理的其他特性；

(2) 化学消毒。液态化学消毒剂常用于对液态废物及无孔材料上具有感染性的污染物的灭活，如漂白剂、碘伏、季胺盐和酚类化合物；使用甲醛或环氧乙烷气体的消毒方法也是可行的，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病原体灭活的有效性、与废物中其他化学成分的相容性、对废物最终处置方案的适应性以及对容器的腐蚀性等；

(3) 高压蒸汽灭菌。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少潜在挥发性放射性物质的释放；

(4) 破坏微生物生存环境。对于需要长时间贮存或进行填埋处置的感染性废物，应尽量破坏微生物生存的一种或多种必需条件，包括微生物源、水、适合生长的温度、营养物质。最常用的方法包括冷冻、脱水以及添加化学消毒剂。

## C.2 减小废物体积或总量的方法

C.2.1 对于需长期贮存或处置的废物应尽量减小其体积和总量。应通过对所有可行方法的比较，确定其中哪些技术对废物中的材料和放射性核素适用，考虑这些方法在废物的贮存、运输和处置过程中能达到的效果以及成本。

### C.2.2 压缩

在不考虑进行金属回收、去污或焚烧处理时，通过压缩（包括常规压缩和超级压缩）来减小固体废物体积是一种广泛使用的、经济有效的方法。在任何情况下，均不允许操作人员进行手工压缩。

### C.2.3 浓缩

减小液体废物体积的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，用蒸馏方法对废物进行成分分离或浓缩，或者使用活性炭或树脂进行吸附。

### C.2.4 表面去污

对于待去污的设施，移除污染表面是常用方法。例如，对于木材和混凝土，只有表面或近表面被污染，将被污染的部分移除可有效减小废物体积。

### C.2.5 焚烧

焚烧方法适用于多种放射性废物的处理，如动物组织、排泄物等医疗废物。能同时实现多个最小化目标，如使有机化合物完成氧化以获得高减容比，以及对不具有挥发性的放射性核素和有毒金属进行包容或固化等。

### C.2.6 干燥

对于某些不宜进行焚烧或压缩处理的废物，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。

### C.2.7 生物降解

一些生物方法，如食腐生物，可用来减小动物尸体的体积。

### C.2.8 碾压和破碎

C.2.8.1 在对医疗废物进行贮存或处置前，通常采用碾压技术来减小体积。该方法受到一些因素的限制，如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、机器维修工人存在辐射危险等。

C.2.8.2 医疗废物的处理也可使用破碎后化学消毒的方法。

### C.2.9 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。通过水解和降解反应

后将其转变为可通过生活污水处理系统进行处理液态水解产物，大大减小需要作为放射性固体废物进行处置的废物体积。

#### C.2.10 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方法。该方法存在一些潜在的优点，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后排放，或者收集起来用作燃料；
- (3) 没有对废物性质的要求，可以处理多种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

#### C.3.1 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，以减小汞蒸气的潜在释放。

#### C.3.2 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，导致增加放射性核素在近地表处置设施中的移动性，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，以利于后续处置。

#### C.3.3 封装

使用由惰性有机材料制成的涂层或包装材料对废物或废物容器进行外部封装，可以有效限制废弃物中危险成分向浸出介质表面的迁移。



### C.3.4 稳定化

稳定化处理常用于降低废物的危险性或废物中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或提高其强度。

### C.3.5 屏蔽

在废物贮存或处置过程中，屏蔽是一种非常有效的减小贯穿辐射的方法。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，并使屏蔽体对于周围环境的风险最小化。

### C.3.6 玻璃固化

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而进入处置设施和环境。玻璃固化广泛应用于高水平放射性废物的处理。