

核安全导则 HAD 401/16-2023

# 医疗、工业、农业、研究和教学中 产生的放射性废物管理

国家核安全局 2023 年 2 月 9 日批准发布

国家核安全局

# 医疗、工业、农业、研究和教学中 产生的放射性废物管理

(2023年2月9日国家核安全局批准发布)

本导则自2023年2月9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.....	1
1.1	目的.....	1
1.2	范围.....	1
2	总体要求.....	1
2.1	一般要求.....	1
2.2	具体要求.....	2
3	放射性废物的处置前管理.....	3
3.1	放射性废物最小化.....	3
3.2	放射性废物的表征和分类.....	3
3.3	放射性废物的预处理.....	4
3.4	放射性废物的处理.....	6
3.5	放射性废物的整备.....	9
3.6	排放控制.....	10
3.7	清洁解控.....	10
3.8	事故产生的放射性废物.....	11
3.9	场内转运.....	11
3.10	放射性废物的贮存.....	12
3.11	放射性废物接收准则.....	14
3.12	放射性废物处置前管理设施.....	15
3.13	废旧放射源的管理.....	18
4	质量保证体系.....	19
4.1	一般要求.....	19
4.2	记录和报告.....	20
附录 I	用于医疗、工业、农业、研究和教学的典型放射性物质及其产生的放射性废物.....	22
附录 II	放射性固体废物管理流程图.....	30
附录 III	核医学放射性废物清洁解控流程示例.....	31
附录 IV	常见废旧放射源及其用于管理的设备和技术.....	32

# 1 引言

## 1.1 目的

本导则为医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物（包括废旧放射源）的处置前管理提供指导。

## 1.2 范围

（1）本导则适用于医疗、工业（不含核设施、铀矿冶和伴生天然放射性矿产资源的开采加工）、农业、研究和教学中所产生的放射性废物（包括废旧放射源）的处置前管理，包括预处理、处理、整备、运输和贮存等步骤。附录I给出了这些应用中使用的典型放射性物质及其产生的放射性废物。

（2）本导则考虑了含有病原体等危险物质的放射性废物管理中与辐射安全相关的问题。

（3）本导则不适用于被豁免的含放射性物质的消费品（如烟雾探测器等）的用户，但这类消费品被收集起来集中处理时，则适用本导则。

# 2 总体要求

## 2.1 一般要求

2.1.1 放射性废物管理应以安全为目的，处置为核心。

2.1.2 应通过废物的产生控制、再循环与再利用、清洁解控、优化废物处理工艺和强化管理等措施，经过代价利益分析，使最终放射性固体废物产生量（体积和活度）可合理达到尽量低。

2.1.3 在处理过程中避免或减少二次废物的产生，在选择废物处理工艺时应考虑二次废物（放射性和非放射性）的后续处理。

2.1.4 处理和整备后所形成的废物体应符合后续搬运、处理、运输和贮存要求，并满足处置接收准则，以增强安全性，消除或减少放射性、物理、化学和生物等相关风险。产生的气态和液态流出物应满足排放要求。

2.1.5 应考虑放射性废物管理各步骤间的相互关系，避免不恰当的处理对后续步骤产生不利的影

## 2.2 具体要求

2.2.1 放射性废物产生单位应完成废物的产生控制、分类收集、表征、预处理、处理和整备。

2.2.2 放射性废物产生单位可以委托有资质或有能力的单位进行废物处置前管理，如废物的处理、整备和贮存。

2.2.3 放射性废物产生单位应及时将废物送交放射性废物集中贮存单位或处置场，并满足其接收准则要求。

2.2.4 放射性废物产生和管理单位应提供足够的资金和人力资源用于放射性废物管理。

2.2.5 从事放射性废物管理的工作人员应通过辐射安全与防护考核，并接受专业操作技术培训。

2.2.6 应制订辐射防护与安全管理文件，使工作人员和公众辐射剂量在规定限值以下，并保持合理可行尽量低的水平。应对场所进行辐射监测和个人剂量监测。应考虑事故工况下的人员辐射剂量控制。对拟移出放射性工作场所控制区的设备和用品，监测后满足 GB18871-2002 附录 B2.2 要求的，才能移出。

2.2.7 放射性废物处理应确保正常运行工况下的安全，采取措施防止事件或事故的发生，制定缓解事故后果的措施。放射性废物产生单位和管理单位应根据可能发生的紧急情况和潜在的风险制订相应的应急预案并开展适当的应急演练。

2.2.8 放射性废物产生和管理单位应建立安保措施，确保废物具有可靠的安全保障。

2.2.9 I、II、III类废旧放射源应返回生产单位或原出口国，确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。IV、V类废旧放射源进行包装整备后送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

2.2.10 应依据相关规定在环境影响评价文件或安全分析材料中对废物管理进行安全评价。

2.2.11 放射性废物产生和管理单位应培育核安全文化，保持良好的核安全文化素养。

## 3 放射性废物的处置前管理

### 3.1 放射性废物最小化

3.1.1 应采取措施尽量避免或减少产生放射性废物，包括采取适当的设计和运行管理，尽可能使用短半衰期放射性核素和减少放射性物质的使用量，尽量考虑放射性物质和设备的再循环和再利用，对放射性物质的采购进行控制和优化。

3.1.2 为了减少潜在的放射性废物产生和污染扩散，无关物料（例如设备包装）不应带入放射性工作场所。应对放射性废物进行分类收集、暂存，避免交叉污染。

3.1.3 鼓励进行再循环和再利用，但应对再循环和再利用的安全性进行评价。

3.1.4 流出物排放、清洁解控、再循环和再利用应满足管理部门确定的要求和标准，同时应考虑其非放射性危害。

3.1.5 为实现放射性废物最小化，放射性废物产生单位还应满足下列规定：

- (1) 对放射性废物的收集、分类、包装和搬运制定详细的控制措施。
- (2) 在废物产生地对废物进行恰当的分类（包括对物料进行清洁解控）。
- (3) 保证放射性气体和液体废物收集和处理系统有效运行。
- (4) 采取预防措施避免物料、设备以及建筑表面的污染，以减少去污需求。
- (5) 计划和执行定期表面污染监测和设备维护时应考虑防止污染扩散措施。
- (6) 建立并保持完善的记录管理系统，从而可以定期评估减少放射性废物产生所采取措施的有效性。

3.1.6 应避免放射性废物与有毒有害的危险物料的混合，废旧放射源应单独收集存放，不得混在一般放射性废物中。

### 3.2 放射性废物的表征和分类

3.2.1 表征可以为废物处理过程控制提供废物特性相关信息，确定废物体或废物包是否满足处理、贮存、运输和处置的接收准则。应在产生源头对废物进行表征和分类。应记录表征过程中产生的数据并存档。

3.2.2 废物的表征内容包括：

- (1) 放射性特性（如半衰期、放射性核素的活度浓度、总活度、剂量率、释热量）；
- (2) 尺寸、重量和可压缩性等物理特性；

(3) 组成、含水量、溶解性、腐蚀性、可燃性、释气性和化学毒性等化学特性；

(4) 生物危害等生物特性。

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

3.2.4 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。

3.2.5 一般应将含短半衰期核素废物同含有长半衰期核素废物分开。应关注废物中的长半衰期核素，在初期进行短半衰期核素废物表征时这些长半衰期核素可能无法检测到。

3.2.6 放射性废物可能包含不同类型的射线（ $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 等）、不同半衰期的核素，废物体的物理、机械、化学和生物特性也可能不同。

3.2.7 放射性废物集中管理设施应验证废物产生单位提供的废物特性，以便选择恰当的处理和整备技术。应保持废物特性记录的更新。

3.2.8 为了确保放射性废物管理各步骤之间的协同，在制定分类方案时应考虑后续搬运、处理、运输、贮存和处置步骤的接收准则。

3.2.9 经过处理的废物应再次表征，为后续管理步骤提供所需的数据。

### 3.3 放射性废物的预处理

3.3.1 放射性废物预处理包括收集、分拣、化学调制和去污等操作，其目标是分类收集，防止混杂和调整废物的性质，为后续的处理、整备或处置提供条件。

3.3.2 放射性废物的收集和分拣应依据所确定的废物管理策略、可利用的废物管理设施或废物管理设施的接收准则进行。

3.3.3 分拣的目的是减小放射性废物的体积或降低后续废物管理步骤的成本、复杂性和风险。放射性废物产生单位应建立制度，确保分拣后的废物在分开的、适当的和有正确标识和标记的废物容器内保存。

3.3.4 放射性废物的分拣应根据分类方案进行，以便安全和充分地完成后续的处置前管理步骤。

3.3.5 应将活度较高的废物分拣出来，这有利于物料的再循环再利用，或当物料放射性污染程度低于清洁解控水平时按相关流程进行清洁解控。

3.3.6 放射性废物收集和分拣过程中使用的容器应与所容纳的废物在物理和

化学性质上相容，并且保证对废物的充分包容。应提供使工作人员免受化学、生物和物理危害或其他危害（例如被污染的尖锐物体伤害）的保护。容器所使用的材料应足够牢固，必要时（例如对于生物放射性废物）应使用双层包装材料或适当的外层容器。

3.3.7 放射性固体废物收集容器应内衬可以密封的结实塑料袋（通过塑料胶带密封或射频焊机热封）。

3.3.8 针头和其他尖锐物品应分开收集，存放在坚硬、防刺穿的容器中（如金属容器），并明确标识“尖锐物品”。

3.3.9 湿固体废物和液体废物应收集在与废物化学特性和放射性特征相适应的容器内。容器应满足盛放、搬运和贮存要求，一般采用双层包装。

3.3.10 不用的放射源应在其屏蔽容器内保存。当屏蔽容器被污染时，应进行去污或外加包装以避免污染扩散。

3.3.11 容器应进行标识，配置到预计将产生放射性废物的工作场所。应考虑废物容器的安全操作以及废物容器在后续废物管理步骤中的使用问题。废物收集容器应进行污染检测，使用前应去除非固定表面污染。

3.3.12 应记录每个废物暂存容器的以下信息：

- (1) 编号；
- (2) 所含放射性核素；
- (3) 测量（或估算）的活度和日期；
- (4) 来源（例如房间和实验室）；
- (5) 表面剂量率和测量日期；
- (6) 非放射性危害，例如化学危害和感染危害；
- (7) 废物数量（重量或体积）；
- (8) 负责人。

3.3.13 放射性废物的分拣应考虑下述主要因素：

- (1) 所含放射性核素的种类及其活度；
- (2) 所含放射性核素的半衰期；
- (3) 废物的物理和化学形态，例如可燃或不可燃、可压缩或不可压缩、含水废物、有机废物、均匀或非均匀废物（例如包括污泥或悬浮固体的废物）；

(4) 非放射性危害（例如毒性、致病性、传染性、遗传毒性、生物危害、药物危害或组合危害）；

(5) 进一步的处理、整备、贮存或处置活动。

3.3.14 在实施去污作业前应评估以下内容：

(1) 是否存在可移除层；

(2) 表面污染的范围和性质；

(3) 预计产生的放射性废物数量、活度和特性；

(4) 所用去污方法的潜在危害。

3.3.15 废物管理单位应系统地收集和记录与废物管理下一环节有关的信息。在放射性废物包装容器送交废物管理的下一个环节之前，应进行必要的放射性监测和去污。

### 3.4 放射性废物的处理

3.4.1 放射性废物处理的目标是降低废物的放射性水平或危害、减小需要处置废物的体积。

3.4.2 放射性废物处理包括减小废物体积（如焚烧、压实、切割、解体等）、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）和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）等方法。

3.4.3 应根据废物特性选择适合的方法，必须考虑处置前管理的总体工艺过程，从而确定废物处理的程度，同时应考虑待处理放射性废物的数量、活度和物理和/或化学性质，以及可利用的技术、贮存能力和处置设施。

3.4.4 如果废物包含易裂变物料，应评估临界的可能，并通过设计和安全管理措施尽可能消除。在确定废物的布置和制定操作规程时，应考虑优化慢化和反射条件。

3.4.5 放射性废物产生单位应有关于鉴定、评估和处理不满足处理工艺要求和/或不满足安全搬运、运输、贮存和/或处置要求的废物或废物包的规定。

#### 3.4.6 放射性固体废物处理

放射性固体废物处理包括产生控制、表征、分拣等步骤，具体流程见附录II。常用的处理方法和主要安全考虑如下：

(1) 废物压缩

- 不能存在可能损伤废物外包装的废物；
- 不能存在有危害的（例如传染性的）废物；
- 不能存在加压容器；
- 不能存在液体；
- 不能存在废旧放射源；
- 不能存在松散污染；
- 不能存在化学反应性物料。

## （2）焚烧

- 不能存在废旧放射源；
- 不能存在加压容器；
- 不能存在挥发性有毒物质（如果所用的焚烧炉不是为其设计的）；
- 不能存在高湿度物料；
- 控制冻结物料，保证完全燃烧；
- 对放射性焚烧灰应有后续管理措施；
- 控制活性粉尘，尤其是焚烧灰装卸过程中的灰尘；
- 所产生的废气应被处理和控制，且气载流出物在许可排放限值内排放。

### 3.4.7 液体放射性废物处理

3.4.7.1 液体放射性废物处理方法的选择取决于安全、技术和经济等因素，还取决于 pH 值和固体颗粒、盐、酸的含量，以及它们被分离的可能性与容易程度。

3.4.7.2 应分开存放化学或放射性核素组成上有很大差别的液体放射性废物流，应避免将产生热、气溶胶或沉淀物等不可控化学反应的液体放射性废物混合。

3.4.7.3 除非有特殊的理由，应避免将不同类别液体放射性废物（例如水相废物和有机相废物，含短寿命和长寿命放射性核素的废物）混合。只有评价证明混合过程可被接受，并符合批准的操作规程，才能进行液体废物的混合。

3.4.7.4 少量水相放射性废物向市政排水系统或接纳水体直接排放必须符合国家放射性污染防治标准，排放方式必须符合规定。

3.4.7.5 采用化学沉淀法时，应考虑二次废物的产生量、非均相废物流形成的可能性以及放射性沉淀物后续整备的必要性。

3.4.7.6 采用蒸发法时，应考虑二次废物的产生量、蒸发器的完整性（耐腐蚀

性)、存在挥发性有机物时潜在的火灾风险、放射性喷溅的包容以及放射性蒸残液的后续处理。

3.4.7.7 采用离子交换法时,应考虑需要特殊处理的二次废物产生量、树脂与强氧化剂(例如浓硝酸)的反应、树脂的辐射分解以及所产生的放射性废树脂的处理。

3.4.7.8 使用膜处理时,应考虑高压系统泄漏可能导致的液体废物弥散、放射性浓缩液及废膜等固体废物的后续处理。

3.4.7.9 有机废物可以使用焚烧(低闪点或挥发性有毒物质除外)、固化或吸附方法。采用焚烧方法时最少应考虑气体和颗粒物(放射性和非放射性成分)排放的环境影响,同时应考虑在放射性焚烧灰处理过程中减少气载放射性物质的产生。对于固化和吸附,应评估最终废物体的长期稳定性。

3.4.7.10 液体放射性废物处理所产生的浓缩液应通过固化形成稳定的固化体,固化体应符合相关标准,还应考虑运输、贮存和最终处置方面的安全要求。

#### 3.4.8 放射性废气处理

3.4.8.1 仅使用少量短半衰期放射性核素的实验室的气载流出物可能不需要额外处理,但必须确保放射性气载流出物的排放符合国家排放标准。

3.4.8.2 颗粒状放射性气载流出物在排放到大气以前须采用过滤、吸附等方法加以净化。所用的过滤器或其他净化介质应作为放射性固体废物处理,如果只有短寿命放射性核素沉积在过滤器或其他净化介质上,可通过衰变达到清洁解控水平。如果焚烧和回收金属熔炼设施的气载流出物经过滤可达到排放水平,可以进行排放但应进行监测以确保在允许限值内。

#### 3.4.9 生物放射性废物

3.4.9.1 生物放射性废物的管理应考虑相关的放射性危害和非放射性危害(生物和传染危害;物理、化学、可燃和爆炸的危害)。

3.4.9.2 含短半衰期放射性核素,具有感染性危害的生物放射性废物经过衰变后按具有感染性危害的一般生物废物处理。来自医疗应用的含长半衰期核素,具有感染性危害的生物放射性废物,应进行预处理,在废物贮存和处置前去除一切感染源。

### 3.5 放射性废物的整备

3.5.1 放射性废物整备的目的是把废物转变成符合后续处理步骤接收准则的废物体或废物包，保证搬运、运输、贮存和处置过程中的安全。整备过程一般包括：将废物固定、固化或封装在容器内，以及必要时进行外包装等操作。

3.5.2 选择废物整备方法应考虑：

- (1) 使用的基体物料和/或废物容器应能提高废物的安全性能；
- (2) 放射性废物应与所使用物料和方法相容；
- (3) 减少二次放射性废物的产生；
- (4) 整备产生的废物应和后续废物管理步骤（如长期贮存或处置）协调；
- (5) 满足监管部门批准的废物（处置）接收准则。

3.5.3 放射性废物的整备应确保：

- (1) 废物、基体和容器之间相容；
- (2) 废物体均匀且稳定，废物包含的液体尽量少；
- (3) 容器内自由空间小；
- (4) 废物容器耐久；
- (5) 废物体核素浸出率低；
- (6) 控制络合剂和有机化合物的使用量；
- (7) 废物体性能应满足相应的法规标准要求。

3.5.4 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。

3.5.5 每个废物包都应有牢固的编号，且有记录文件，这些文件应妥善保存，记录文件应包括以下信息：

- (1) 废物的来源；
- (2) 废物包的编号；
- (3) 废物包的型号；
- (4) 废物包的重量；
- (5) 废物包的外部尺寸和（或）体积；
- (6) 外表面和 1 m 处的最大剂量率和测量日期；
- (7) 表面污染测量结果；

- (8) 放射性核素的组成和活度；
- (9) 易裂变物料的含量；
- (10) 物理性质；
- (11) 潜在的传染性、化学和其他危害。

3.5.6 整备后的废物包应满足放射性废物运输的管理规定。

3.5.7 应对整备过程和废物包进行质量控制，以保证废物包满足处置接收准则。

### 3.6 排放控制

3.6.1 流出物中放射性核素的浓度和总量需符合国家的相关标准，并且应该尽可能对排放方案进行优化。

3.6.2 废物产生单位应进行排放控制，建立排放操作的技术程序，指定负责人员，应做好流出物监测、环境监测并保存监测记录。

3.6.3 在应急预案中应考虑事故工况下可能的环境排放。

3.6.4 在运行阶段，废物产生单位应：

- (1) 所有放射性排放应在批准限值以下并可合理达到的尽量低；
- (2) 除正常操作发生的稀释外，不得故意稀释排放；
- (3) 足够精确的监测和详细的记录放射性核素的排放量；
- (4) 对流出物监测或环境监测维持恰当的质量保证体系；
- (5) 按规定定期报告排放情况。

3.6.5 废物产生单位应总结与排放相关的运行经验，以优化防护和安全。

### 3.7 清洁解控

3.7.1 对于适合清洁解控的废物，当废物中的放射性核素含量低于清洁解控水平时，可参考附录III，按相关流程进行解控。

3.7.2 废物产生单位和管理单位应遵守以下关于清洁解控的管理规定：

- (1) 清洁解控水平应依据国家标准或相关规定；
- (2) 应建立程序制度，规定控制措施，确保遵守清洁解控方面的监管要求；
- (3) 不得故意稀释废液或废气使其适合清洁解控，正常操作中的稀释除外；
- (4) 应去除解除监管控制物料上的辐射标识；

3.7.3 应记录清洁解控物料的信息，按质量保证要求进行保管，并按要求向

监管部门报告。

3.7.4 若清洁解控废物有其他危害（例如传染性或毒性），还应满足相关的监管要求。

3.7.5 放射性废物清洁解控前需完成的工作主要包括：

- （1）确定废物的活度；
- （2）分拣出计划进行储存衰变的废物；
- （3）清洁解控前对每批废物取样。

3.7.6 实施清洁解控前，应确认核素浓度，记录废物信息。只含极短半衰期核素的废物（主要是核医学领域、放射药物研发和检定产生的放射性废物），其清洁解控流程可参考附录III实施。

### 3.8 事故产生的放射性废物

放射性物质（例如放射源）丢失或未被授权的使用可能导致工作人员和/或公众受到辐照、设施和场地受到污染等事故，同时可能产生计划之外的放射性废物。废物产生单位或废物管理单位应采取措施确保有适当的技术和组织手段处理该类废物，应有处理和贮存该类放射性废物的必要应急安排。

### 3.9 场内转运

3.9.1 放射性废物的场内转运是指废物从产生源头到废物处理、贮存场所的场内搬运、工艺流程内流动和场内运输（包括装车、卸车）等一切转移操作。

3.9.2 放射性废物包的场内转运应满足以下条件：

- （1）在容易去污的容器或包装内进行转运；
- （2）操作过程应进行必要的辐射防护；
- （3）对放射性废物包和转运工具粘贴标记；
- （4）遵守辐射防护大纲、安保程序和应急预案，以及国家相关法律法规和标准的要求。

3.9.3 在场内转运前应进行废物包表面非固定性放射性污染检测，并保存记录以备核查。放射性废物包外表面或距表面规定距离处的辐射剂量率应不超过贮存接收准则最大允许限值。

3.9.4 当放射性废物包装上出现意外污染，可能表明该废物包或附近废物包已破裂或损坏。废物产生单位应制定相应的应急预案，应对以上情况。预案最少

应包括封闭可疑废物包周围的区域、通知废物安全负责人员、执行确定污染源和确保其被包容的程序。包容污染源的最简单方法是将污染源放入二次外包装容器中。

### **3.10 放射性废物的贮存**

3.10.1 放射性废物的贮存是将放射性废物暂时放置在一个配备有适当隔离和监测手段的设施内，在规定的贮存期间内确保废物不丢失、可回取和废物容器的完好。

3.10.2 在放射性废物产生前，废物产生单位应确保具备废物贮存场所。确定贮存后进行排放、使用、清洁解控、处理和/或处置的废物类型时，应符合国家相关要求。

3.10.3 废物接收单位有责任确认所收集或接收的废物满足监管部门批准的接收准则，若废物不能满足接收准则，废物接收单位可以拒绝接收。在确定贮存设施的废物包接收准则时，废物接收单位应参考后续的放射性废物处置接收要求。

3.10.4 应对废物和贮存设施进行定期监测、检查和维护以确保废物包的持续完整性。放射性废物应尽量以固有安全状态贮存，对于长期贮存应采取措施防止废物容器的破坏。

3.10.5 放射性废物贮存设施应依据废物的类型、特性和相关危害、放射性活度总量和预期贮存期进行设计。

3.10.6 应定期检验贮存容量是否充足，应考虑正常运行和事故时预计废物产生量、贮存设施预期寿命和处置方案的可用性。

3.10.7 放射性废物的贮存应确保废物被隔离，工作人员、公众和环境受到保护，且废物能够进行后续移动、搬运、运输或处置的操作。应通过保存记录和充分标识的方法实现废物包的完全可追溯。

3.10.8 在整个放射性废物管理中，都应确保贮存的安全性。贮存未整备的放射性废物时应防止泄漏。

3.10.9 在考虑放射性废物的贮存安排时，应详细评价以下内容：

- (1) 放射性废物的类型和特性；
- (2) 废物包的原始完整性和潜在表面污染水平；
- (3) 废物包的密封措施，及其在贮存条件下的持续完整性；

- (4) 预计的贮存时间和未来延期的可能性；
- (5) 废物是否符合搬运、贮存和安保要求；
- (6) 监测的类型和必要性，例如监测贮存设施中气载放射性物质的必要性；
- (7) 识别废物包潜在损坏的可能性，以及开展纠正措施的可行性。

#### 3.10.10 放射性废物排放或清洁解控前的贮存

(1) 在研究和医疗应用中产生的含短半衰期放射性核素的废物可采用贮存衰变的方法处理。

(2) 贮存衰变期应足够长，以将放射性活度降至低于清洁解控水平。贮存衰变期取决于放射性核素的初始活度浓度和半衰期。对于每一种特定的废物，应进行计算确定适当的贮存衰变期。实践经验表明，贮存衰变适用于含有半衰期约 100 天或更短的放射性核素的所有类型的固体、液体和气体放射性废物。

(3) 从安全、技术和经济上考虑，在适用时，贮存衰变是放射性废物管理的优先选择。当废物体积相对较小、被短寿命放射性核素污染、活度总量或活度浓度适当时，应收集废物并安全贮存足够长时间，直到废物满足清洁解控或排放标准要求。

(4) 放射性废物的贮存衰变和随后的清洁解控应有严格的控制措施。采用贮存衰变的废物应与其他废物分开。每批废物解控前，应进行代表性取样和测量。在取样时，应保护工作人员免受放射性和非放射性危害。

(5) 当生物放射性废物等易腐废物采用贮存衰变时，这些废物应分拣出来进行包装，储存在冰箱或冰柜中进行衰变。除非特殊批准，不得在填埋场处置此类废物，一般可采用焚烧处理。

#### 3.10.11 放射性废物处理前的贮存

应对每个废物包进行跟踪，以便于回取并作进一步处理。应提供适当的辐射防护控制和安保措施，应限制未经整备废物的贮存时间。废物的贮存应确保：

- (1) 废物包贮存于专门的场所、建筑或设施（场内设施或集中设施）中；
- (2) 废物包符合废物贮存接收准则；
- (3) 接收废物包时对其进行控制，包括控制其完整性、表面污染以及与支持性文件的一致性；
- (4) 分开贮存不同类型的废物，依据是否含有病原体、有机物、有毒物质

或其他潜在危险物质进行分类；

(5) 废物包上有牢固的标识；

(6) 保持废物现状的持续跟踪和支持性文件的可利用性。

#### 3.10.12 放射性废物处置前的贮存

(1) 经过处理和整备的放射性废物应与未经整备的废物、非放射性原料以及维护用物料分开贮存。废物应以便于操作的方式贮存，例如放置于废物箱、货架、托盘或滑道上。贮存场所应进行规划，尽可能减少搬运；

(2) 处理完成后到向处置场运输前的贮存过程中，整备后的放射性废物应在安全并有安保措施的条件下贮存；

(3) 废物贮存的安全措施应能确保废物被充分包容和屏蔽，不会因废物包性能降低而影响搬运和处置。

### 3.11 放射性废物接收准则

3.11.1 废物接收准则规定拟进行处理、贮存或处置的废物包和未包装废物的放射性、机械、物理、化学和生物特性要求，如放射性核素含量或活度限值、产热量及废物形态和包装特性要求。

3.11.2 为了实现操作的连续性和整个废物管理过程的一致性，必须考虑放射性废物管理各步骤之间的相互依赖性。

3.11.3 每个放射性废物处置前管理设施都应在安全评价中确定其自身的废物接收准则，同时应考虑废物管理过程中其他步骤的接收准则。

3.11.4 进行处理、贮存和/或处置的废物包和未包装废物应满足安全评价确定的接收准则。

3.11.5 废物管理单位应为不同类放射性废物和废物包制定明确的废物接收准则和程序，并将其提供给废物产生单位。废物接收准则应明确规定以下内容：

(1) 根据废物需要被处理的程度，规定废物种类和包装容器形式；

(2) 液体的最大允许含量（通常不超过放射性废物总体积的 1%）；

(3) 废物体的机械、化学、结构、放射性和生物稳定性要求；

(4) 放射性限值（例如每个废物体的最大放射性活度）；

(5) 没有潜在的临界可能；

(6) 废物不自燃、不爆炸和无反应性的相关要求；

(7) 产生有毒气体的可能性；

(8) 产生热量的限值。

3.11.6 应建立适当的质量保证体系，以确保废物符合接收准则。

3.11.7 应确保即将转移至其他废物管理设施或步骤的放射性废物符合接收单位的接收准则。

3.11.8 废物接收程序必须包含废物不符合接收准则的安全管理规定，例如补救措施或退回废物的规定。

3.11.9 废物管理单位应明确废物产生单位应提供的文件，以及相关的废物包装记录。在装运之前以及在废物管理设施接收时，应检查废物包以下内容：

(1) 废物包数量及其各自的标识；

(2) 废物包的物理完整性；

(3) 表面污染水平；

(4) 废物包的外表面剂量率；

(5) 文件的完整性。

3.11.10 收到废物后，应在不损害废物包完整性的情况下对废物包所装废物进行确认。应记录来自废物产生单位的信息和接收控制过程中产生的数据。

### **3.12 放射性废物处置前管理设施**

3.12.1 应通过良好的工程和管理措施确保放射性废物处置前管理设施（主要是废物处理和贮存设施）的安全，尤其应采取纵深防御原则，针对可能由于技术原因或人为差错所引起的故障提供多重保护，包括：

(1) 由放射性核素向环境迁移途径上若干实体屏障所组成的多重屏障系统；

(2) 用于保护屏蔽完整性和有效性的技术和管理措施；

(3) 用于当发生故障或屏障损害时保护公众和环境的措施。

3.12.2 在放射性废物管理设施寿期内的各阶段（选址、设计、运行和关闭或退役），应提供下述三个方面的技术和管理措施以实现纵深防御原则：

(1) 用于防止非正常运行情况的措施；

(2) 用于防止事故和缓解后果的措施；

(3) 应急预案中的措施。

3.12.3 放射性废物处理和贮存设施的设计

3.12.3.1 在设计放射性废物处理设施时，应考虑：

(1) 将放射性废物处理系统与贮存有潜在危害物料的其他系统布置在不同的房间或建筑内；

(2) 提供辅助系统，例如取样或去污系统；

(3) 对各阶段实施放射性控制，包括对影响人员防护的废物和核素的接收控制和对工作环境的保护；

(4) 提供充分的包容和屏蔽；

(5) 对区域和人员进行适当划分，根据分级划定工作房间区域（例如用标记、绳子或其他屏障标示分界线）；

(6) 进行辐射控制（测量剂量率和表面污染）；

(7) 进行工艺技术控制，例如记录原始废物的特性和控制最终产物（放射性废物体）的特性；

(8) 合理安排设备和系统的位置及布置，为正常运行、维护和控制提供便利；

(9) 通过采用适当的搬运设备和选择简单的路径，保证废物的安全搬运；

(10) 采用容易去污的表面；

(11) 提供适当的排水和通风系统；

(12) 提供正常电源和应急电源；

(13) 提供应急设备用房；

(14) 提供防火系统；

(15) 提供安保。

3.12.3.2 废物处理和贮存设施的容量应依据放射性废物数量确定。具体布置应依据放射性废物的活度、化学与物理特性、废物数量以及可利用的废物处理技术。为满足辐射防护最优化要求和保持工作场所不受含长半衰期核素放射性废物影响，应考虑设计一个单独房间以便有序贮存废物。对许多天只产生很少量放射性废物的情况，可采用就地贮存或在工作场所附近设置容器存放。

3.12.3.3 应依据废物的化学和放射性特性、体积以及搬运和贮存的技术要求选择容器。应避免由于液体的膨胀或气体和蒸汽的产生（主要发生在有机液体操作中）而导致容器压力升高。

3.12.3.4 贮存设施的设计应考虑满足定期检查要求，包括进行辐射控制（剂量率和表面污染测量）和对废物包的目视检查，以便发现任何破损或泄漏的早期征兆。设施建造物料的寿命应与设计的贮存时间相当，并且应确保贮存条件能维持废物包的性质在整个设计贮存期内不变。贮存设施的设计应能够确保放射性废物可以从设施中移出进行后续的处理或处置，并且确保设施在将来需要时可以扩建。

#### 3.12.4 放射性废物处理和贮存设施的建造和调试

3.12.4.1 应按批准的设计建造放射性废物处理和贮存设施，并经过批准开展需要的验证实验（例如对焊缝和基础进行检验）。

3.12.4.2 设施的调试过程应按计划验证设备、结构、系统、部件和设施整体的性能。调试可以分阶段进行。

3.12.4.3 调试完成后，应编制调试报告，调试报告应记录设施竣工状态。调试报告可以为设施运行提供信息，也是将来可能的设施改动以及停运和退役的重要资料。调试报告还应记录所有的测试，并提供测试成功完成的证据，以及调试过程中对设施和程序的变更。调试报告应证明所有批复要求已经满足。应将调试报告作为运行和编制退役计划的必须文件。

#### 3.12.5 放射性废物处理和贮存设施的运行

3.12.5.1 放射性废物处置前管理设施应按相关规定和审批条件运行。运行应依据规定程序考虑设施的维护，确保其安全性能。应急方案应得到监管部门的认可。

3.12.5.2 运行限值、条件和控制值应包括在授权文件中，这些参数也可以在单独的文件中给出，在授权文件中进行引用。安全重要的运行操作和活动都应以文件的形式给出限值、条件和控制值，并由经过培训的、有能力的人员执行。

3.12.5.3 须向监管部门提交所有安全相关准则和管理部门要求的运行程序文件。这些程序应包括对安全运行重要系统（包括通风系统和排水系统）的定期维护、试验和检查方案。

3.12.5.4 对于大型或集中废物贮存设施，开始运行时应满足以下要求：

(1) 应有足够的贮存容量，以满足处理、整备和处置设施不可用时有足够的贮存空间。

(2) 贮存设施应适合废物在预计时间内的贮存。应考虑潜在的废物降解，以及地质、水文和气象条件等可能影响废物性能的场址特征，最好有被动安全特性。

(3) 废物应能被检查和监测，并在适宜的条件下保存，以便于解控或运输。

(4) 废物应进行适当的包容，设施的结构和设备应保持完整，应确保废物体和包装容器在预期的贮存期内的完整性。应考虑废物和包装容器以及贮存环境间的化学或电偶等反应引起的腐蚀。

(5) 应考虑废物的回取。

### 3.12.6 放射性废物处理和贮存设施的退役

3.12.6.1 在放射性废物处理和贮存设施寿期内的每个阶段都应考虑退役，尤其是在设施设计和后续的改扩建过程中。退役开始后，废物管理单位应确保依然有必要的行政和管理控制措施，或根据情况对原有控制措施进行修改。原则上，只有在下述工作完成后才开始设施的拆除活动：

(1) 放射性废物和其他潜在的危害物料已被移出；

(2) 要拆除的系统和部件已被去污。

3.12.6.2 在准备退役的相关活动时，应考虑以下阶段：

— 阶段 1：正当性和可行性研究，旨在确定退役目标和确定退役是否涉及全部放射性物料的移出；

— 阶段 2：放射性源项的移除，涉及所包含的放射性废物和放射性物料的移出；

— 阶段 3：去污，包括移出或降低污染，具体包括物料、物项、设施的建筑物和场区；

— 阶段 4：拆除，主要是减小设施内物体和部件的尺寸，以便于对它们进行管理（去污，搬运）和随后将其从场址移出；

— 阶段 5：终态监测，对所退役设施进行系统的辐射调查，以确保辐射防护的目标都已达到；

— 阶段 6：依据退役目标，所退役的设施可无限制使用或有限制使用。

### 3.13 废旧放射源的管理

3.13.1 废旧放射源应依据合同返回生产单位或原出口国。对于不能返回的放

射源，应送集中贮存设施。

3.13.2 废旧放射源不应被压实、破碎或焚烧。最重要的原则是放射源不能从包壳中移出，包壳也不能被破坏。在搬运和贮存可能泄漏源（例如：旧的镭源）的过程中应采取放射性泄漏预防措施，并对表面和空气进行放射性监测，这类源应贮存在有适当通风的专用场所。

3.13.3 废物产生单位和废物管理单位应维持并定期检查对废旧放射源的控制状况。

附录IV中列出了废旧放射源及其管理的设备和技术。

## 4 质量保证体系

有效的质量保证体系是确保放射性废物管理安全、保护人类健康和环境的先决条件。质量保证体系需应用于放射性废物处置前管理的所有步骤和要素，包括设施的选址、设计、建造、运行、维护、关闭和退役以及废物处理、装卸和贮存的所有方面。

### 4.1 一般要求

4.1.1 废物产生单位和废物管理单位应能够确保：

（1）放射性废物管理工作整个过程的系统性，以及系统能够按设计要求运行、维护和控制；

（2）建立、控制和保存与放射性废物管理和相关设施有关的文件和记录；

（3）在遵守辐射防护和安全的要求方面对废物管理活动进行控制；

（4）制订和实施有关放射性废物管理的内部程序、规程和计划。

4.1.2 废物产生单位和废物管理单位通过建立满足辐射安全要求的质量保证体系，实现质量管理和质量证明，并且按该体系开展工作。质量保证体系应与所从事的活动的复杂性以及废物管理计划相适应，应详细说明组织机构及职责，以及必要的培训、控制措施、执行标准和评价方法。质量保证体系应能够保证放射性废物管理中的活动和许可条件相一致，并且便于向监管部门提供信息。

4.1.3 为了建立和保持一个完整的质量保证体系，应考虑以下内容：

（1）建立人员培训系统，妥善记录和保存相关技术文件；

（2）放射性废物和管理设施所有权的保留或转让；

- (3) 技术和管理人员的培养和规划;
- (4) 相关方的持续交流和联系;
- (5) 提供充足的资金保证;
- (6) 保证记录和信息质量并具备完善的档案管理 (例如放射性废物清单的详细信息, 与设施选址、设计、调试、运行和退役相关的记录以及编写相关评价文件有关的记录);
- (7) 应有定期评估的制度, 以使质量保证体系目标能够持续实现。

4.1.4 废物产生单位和废物管理单位应定期审查其组织内质量保证体系的实施情况。当发现有偏离时, 应提出和采取纠正行动, 并记录。

4.1.5 审查应包括对程序的修订, 删除不利于许可活动安全的程序。

## 4.2 记录和报告

4.2.1 废物产生单位和废物管理单位应建立废物信息记录, 及时登记并更新废物情况; 妥善保存记录, 以确保相关信息在将来需要时可以获取。

4.2.2 废物产生单位和废物管理单位应定期检查记录系统运行是否正常, 记录系统应满足废物从收集点直到长期贮存和处置的可追溯性。

4.2.3 废物产生单位和废物管理单位应确保记录并保持以下与放射性废物特性有关的数据:

- (1) 废物来源;
- (2) 废物数量;
- (3) 辐射特性;
- (4) 物理性质和化学性质;
- (5) 按照国家废物分类办法对废物的分类;
- (6) 热性质;
- (7) 与废物相联系的任何化学危害、致病危害或其他非放射性危害, 以及危害物质的浓度。

4.2.4 放射性废物产生单位还应保存以下内容:

- (1) 放射性废物产生记录 (如产生日期、废物特征);
- (2) 放射性废物贮存记录 (包括废物的标识、来源、位置、物理和化学特性);

- (3) 清洁解控和排放记录；
- (4) 废旧放射源退回供应商的记录；
- (5) 放射性废物和废旧放射源转移记录；
- (6) 不符合项和采取的应对措施记录。

4.2.5 放射性废物的处理和贮存设施运营单位还应保存以下内容：

- (1) 接收的放射性废物和废旧放射源的有关数据；
- (2) 废物表征所需的数据；
- (3) 废物预处理、处理和整备过程的记录；
- (4) 废物包装容器采购文件。
- (5) 废物包的检查记录和每个容器和包装的审核记录；
- (6) 处理性能变化趋势；
- (7) 检查所发现的不符合废物包及采取的纠正措施；
- (8) 清洁解控或排放的有关数据；
- (9) 事件和事故的经验教训。

4.2.6 废物管理单位应提供场地平面图、工程图纸、技术要求、过程描述、运行程序以及相关安全操作规程，并保存安全系统运行和维护记录。

4.2.7 废物产生单位与废物管理单位应保存与放射性废物处置前管理设施在调试、运行、升级改造或退役期间的安全有关的信息。

4.2.8 废物产生单位和废物管理单位应按照国家生态环境主管部门的规定，定期如实报告放射性废物产生、排放、处理、贮存、清洁解控和送交处置等情况。报告最少应包括：

- (1) 清洁解控或排放的详细情况；
- (2) 已返回给供应者的废旧放射源的详细情况；
- (3) 放射性废物的当前存量清单，包括废物名称（编号）、来源、位置、物理和化学性质、核素总活度，依据情况还应包括从设施移出的放射性废物的记录；
- (4) 流出物监测和环境监测的结果；
- (5) 有关放射性废物管理安全的内部审查结果和其他需要报告的情况；
- (6) 在废物处理期间发生的紧急情况，处理紧急情况时采用的措施，以及经验教训。

# 附录 I 用于医疗、工业、农业、研究和教学的典型放射性物质及其产生的放射性废物

## 概 况

I.1 放射性物质分为放射源和非密封放射性物质。

I.2 放射性物质是为医疗、工业、农业、研究、教学和其他领域中的广泛应用而生产的。放射性物质的生产及应用中会产生各种形式的放射性废物。一般说来，这类废物包括：不再有用因而被视为废物的放射性物质；纸、塑料手套和覆盖物、计数管、玻璃器皿、洗液等被污染的物项；以及被注入放射性核素的患者的排泄物。除这类常规废物外，在涉及放射性同位素的事件或事故中也可能产生各种不同组成的废物。表 1 和表 2 列出了有关工业和研究中使用的主要非密封放射性物质和放射源。

## 同位素生产

I.3 采用粒子加速器和核反应堆生产放射性同位素。生产过程中的放射性核素是在靶和胶囊中，这些靶和胶囊需要被移出以进行同位素加工和净化。这些过程会产生少量具有较高活度的液体废物和大量低放固体废物。

## 医疗应用

I.4 在医疗中，放射性同位素用于诊断、治疗和研究，包括：

(a) 用非密封放射性物质为临床诊断和研究而进行的体外放射测定；

(b) 用非密封放射性物质为临床诊断、治疗和医疗研究而进行的放射性药物体内应用；

(c) 用植入患者体内或用于外部装置的放射源进行的放射治疗。

I.5 一些只含 kBq 数量级放射性核素的市售药盒用于放射免疫体外诊断。<sup>125</sup>I 是主要放射性核素，每次测定通常涉及很小的活度。在每次测定后以及在药盒超过有效期后，相应的放射性物质和被污染的物项一般被当作放射性废物处理。

I.6 对放射性药物体内应用，所要研究或治疗的器官决定要使用的放射性药物种类和施用量。在用于显像的放射性核素中，<sup>99m</sup>Tc 使用最多，其放射性半衰期为 6 小时。一般情况下，<sup>99m</sup>Tc 从 <sup>99</sup>Mo 制得。由于 <sup>99</sup>Mo 的半衰期为 66 小时，

需要在大约 1 周的时间内更换。标记制备  $^{99m}\text{Tc}$  产生的废物，例如报废的小瓶，注射器和棉拭，可能会受到  $^{99m}\text{Tc}$  的污染。由于  $^{99m}\text{Tc}$  的半衰期短，因此这类废物一般可以暂存后解除监管控制，作为非放射性废物处置。

I.7 使用  $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{90}\text{Y}$  和  $^{89}\text{Sr}$  等放射性核素用于治疗时，施用量的活度范围从 200MBq 到 11GBq。在治疗应用中，应注意来自患者的废物（例如排泄物和污染衣物及床单等）中所含的放射性污染。

I.8 含有  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  和  $^{137}\text{Cs}$  等其他放射性核素的放射性物质用于患者治疗：血液产品辐照。

## 研究应用

I.9 下述研究活动可能涉及使用放射性核素：

- (a) 化合物的生产和标记；
- (b) 涉及药物、杀虫剂、肥料和矿物等化合物与代谢、毒理或环境途径相关的研究，与新药制造、作物生产和环境研究等领域有关的工作；
- (c) 涉及人和动物的临床过程和药物应用所进行的开发；
- (d) 不在核燃料循环设施中进行的有关核燃料循环研究；
- (e) 物理学、材料科学和生物学领域中的基础研究。

## 工业和其他应用

I.10 放射源广泛用于各种工业应用及工艺过程控制和实验室设备的校准。

I.11 非密封放射性物质作为示踪剂评价设备和机械中的关键部件的磨损和腐蚀（例如发动机部件、炉衬和金属表面的磨损）是在工业中应用的一个实例。一般使用短寿命放射性示踪剂。放射性同位素示踪剂技术在工业应用中的规模一般大于其在实验室应用中的规模。非密封放射性物质还应用于污水处理厂监测、地下水流动研究，以及冷却水或气体流出物扩散和稀释研究。

I.12 放射源和非密封放射性物质还用于应急计划和国防方面的教学和教育。

## 废物类别

I.13 放射性废物可以是固体废物、液体废物或气体废物。液体废物可以进一步细分为水相废物和有机废液，固体废物可以进一步细分为可压缩废物和不可压缩废物，以及可燃废物和不可燃废物。

## 水相废物

I.14 在放射性同位素生产设施中，水相废物来自化学处理过程，主要是靶物料的蚀刻和溶解过程，这类废物的体积一般比较小。水相废物在化学上可能有较强的反应性，这取决于所使用的化学工艺方法。

I.15 在医院里，水相废物取决于治疗核医学和诊断核医学中所用的技术。大多数用于诊断的放射性同位素半衰期很短（半衰期短于 10 天）。

I.16 代谢路径的研究可能涉及实验动物，这些动物产生的放射性排泄物、血、尸体和垫料可能成为水相废物流的一部分。使用半衰期较长的放射性核素标记的动物尸体也可能被浸解成为水相废物。放射性标记过程产生的废物放射性浓度相对较高，不应与放射性浓度较低的洗涤溶液混合。

I.17 在放射化学中子活化分析中也会产生水相废物，其中的放射性核素一般是短寿命核素。

I.18 工作场地、被污染的设备和设施在清洁、去污和（或）灭活过程中可能产生具有相关生物危害的水相废物，其中可能含有大量用来稳定放射性污染物的络合剂。

## 有机废液

I.19 有机废液一般包括：来自分析实验室的真空泵油、润滑油和液压流体、闪烁溶液，来自溶剂萃取和铀纯化研究活动的溶剂，以及其他有机溶剂。

I.20 有机闪烁液体一般源自含有芳香有机化合物的物料中的低能 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体的测量，以及所测量的样品。

I.21 从各种操作中产生的非水溶性有机溶剂（包括四氯化碳、三氯乙烷和全氯乙烯）所构成的废物。当仅使用少量水溶性有机溶剂（例如丙酮或醇）时，一般将其作为水相废物处理。

I.22 磷酸三丁酯经常被用做萃取铀和钚的溶剂，萃取过程中，磷酸三丁酯要经过稀释（通常用煤油）形成有机废液。

## 放射性固体废物

I.23 在医学和研究实验室中产生的大部分固体废物属于可燃废物。这类废物包括卫生纸、棉拭、纸、硬纸板、塑料、橡胶手套、防护服和口罩，以及动物尸体和生物物料。

I.24 不可燃废物包括玻璃器皿、废金属，以及放射性核素使用设施退役产生

的废物。

I.25 固体废物分类和分拣的方法，取决于其压缩或焚烧可以获得的减容倍数。在医疗、工业、研究和教学中产生的废物主要是可燃废物，在没有生物危害时可分类为可压缩废物。

I.26 固体废物主要包括防护服、塑料布和塑料袋、橡胶手套和口罩、鞋套、抹布和毛巾。

I.27 废旧放射源也属于固体废物。虽然废旧放射源在废物中所占的体积很小，但是其放射性含量占比很大。

I.28 医疗和研究活动中产生的污染的物料和设备，由玻璃、金属或塑料做成，其活度随用途的不同变化很大（见表 1 和表 2）。

I.29 不可燃和不可压缩的废物还包括被活化的物料，主要包括研究反应堆中的屏蔽物料、同位素生产使用的容器。

I.30 一些可能带来生物危害和化学危害的动物尸体。

I.31 处置前废物管理设施退役产生的包含建筑物料、设备部件和土壤的固体废物。

#### **气体或气载放射性废物**

I.32 为研究肺通气功能使用  $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$  或  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  等放射性气体进行的医疗应用和  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$  等短寿命正电子发射体产生的气体或气载放射性废物。

表 1. 用于医疗和生物研究的典型非密封放射性物质（示例）

放射性核素	半衰期	主要应用	每次应用 典型活度	废物特性
<sup>3</sup> H	12.3a	放射标记 生物研究 有机合成	至多 50 GBq	溶剂, 固体, 液体
<sup>11</sup> C	20.4m	正电子扫描 肺通气研究	至多 2 GBq	固体, 液体
<sup>14</sup> C	5730a	医疗诊断 生物研究 加标记	低于 1 MBq 至多 50 GBq 至多 50 GBq	(呼出CO <sub>2</sub> ) 固体, 液体 溶剂
<sup>15</sup> O	122s	正电子扫描, 肺通气研究	至多 2 GBq	固体, 液体
<sup>18</sup> F	1.8 h	正电子扫描	至多 500 MBq	固体, 液体
<sup>24</sup> Na	15.0h	生物研究	至多 5 GBq	液体
<sup>32</sup> P	14.3d	治疗核医学	至多 200 MBq	固体, 液体
<sup>33</sup> P	25.4d	生物研究	至多 50 MBq	
<sup>35</sup> S	87.4d	医学和生物研究	至多 5 GBq	固体, 液体
<sup>36</sup> Cl	3.01E+05a	生物研究	至多 5 MBq	气体, 固体, 液体
<sup>45</sup> Ca	163d	生物研究	至多 100 MBq	主要是固体, 液体
<sup>46</sup> Sc	83.8d	医学和生物研究	至多 500 MBq	固体, 液体
<sup>51</sup> Cr	27.7d	诊断核医学, 生物研究	至多 5 MBq 至多 100 MBq	固体, 液体流 出物
<sup>57</sup> Co	271d	诊断核医学, 生物研究	至多 50 MBq	固体, 液体流 出物
<sup>58</sup> Co	70.8d			
<sup>59</sup> Fe	44.5d	诊断核医学, 生物研究	至多 50 MBq	固体, 主要是 液体
<sup>67</sup> Ga	3.3d	诊断核医学	至多 200 MBq	固体, 液体
<sup>68</sup> Ga	68m	正电子扫描	至多 2 GBq	固体, 液体
<sup>75</sup> Se	120d	诊断核医学	至多 10 MBq	固体, 液体
<sup>81m</sup> Kr	13.3s	肺通气研究	至多 6 GBq	气体
<sup>85</sup> Sr	64.8d	生物研究	至多 50 MBq	固体, 液体

续表 1. 用于医疗和生物研究的典型非密封放射性物质（示例）

放射性核素	半衰期	主要应用	每次应用 典型活度	废物特性
<sup>86</sup> Rb	18.7d	医学和生物研究	至多 50 MBq	固体，液体
<sup>82m</sup> Rb	6.2h	诊断核医学	至多 50 MBq	固体，液体
<sup>89</sup> Sr	50.5d	治疗核医学	至多 300 MBq	固体，液体
<sup>90</sup> Y	2.7d	治疗核医学， 医学和生物研究	至多 300 MBq	固体，液体
<sup>95</sup> Nb	35.1d	医学和生物研究	至多 50 MBq	固体，液体
<sup>99m</sup> Tc	6.0h	诊断核医学， 生物研究， 核素发生器	至多 100 GBq	固体，液体
<sup>111</sup> In	2.8d	临床测量， 生物研究	至多 50 MBq	固体，液体
<sup>123</sup> I	13.2h	医学和生物研究 诊断核医学 治疗核医学	至多 500 MBq	固体，液体， 偶尔蒸汽
<sup>125</sup> I	60.1d			
<sup>131</sup> I	8.04d		至多 11 GBq	
<sup>113</sup> Sn	115d	医学和生物研究	至多 50 GBq	固体，液体
<sup>133</sup> Xe	5.3d	诊断核医学	至多 400 MBq	气体，固体
<sup>153</sup> Sm	1.95d	治疗核医学	至多 8 GBq	固体，液体
<sup>169</sup> Er	9.3d	治疗核医学， 诊断核医学	至多 500 MBq	固体，液体
<sup>198</sup> Au	2.7d	治疗核医学， 诊断核医学	至多 500 MBq	固体，液体
<sup>201</sup> Tl	3.0d	诊断核医学	至多 200 MBq	固体，液体
<sup>203</sup> Hg	46.6d	生物研究	至多 5 MBq	固体，液体

注：表中“每次应用典型活度”指部分典型应用下每次的应用活度，非所有实际应用中的最大活度。

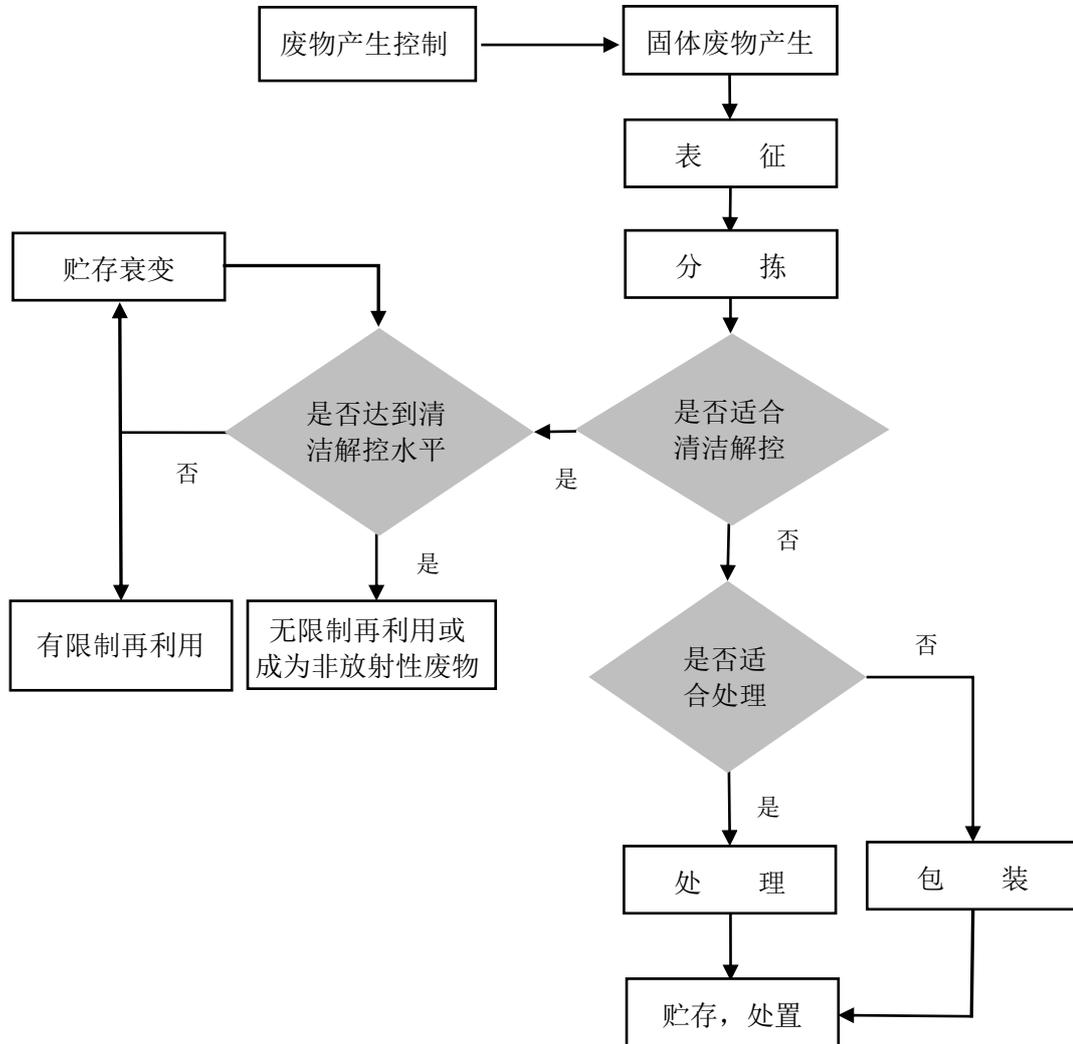
表2. 用于医疗、工业和研究的放射源

应用	放射性核素	半衰期	源活度	说明
骨密度测量	<sup>241</sup> Am	432a	1~10 GBq	移动式装置
	<sup>153</sup> Gd	242d	1~40 GBq	
	<sup>125</sup> I	60.1d	1~10 GBq	
	<sup>239</sup> Pu-Be	2.4E+04a	多种	
敷贴近距离治疗	<sup>198</sup> Au	2.7d	50~500 MBq	小的便携式源
	<sup>137</sup> Cs	30.0a	30~300 MBq	
	<sup>226</sup> Ra	1600a	50~500 MBq	
	<sup>32</sup> P	14.3d	多种	
	<sup>60</sup> Co	5.3a	多种	
	<sup>90</sup> Sr	29.1a	50~1500 MBq	
	<sup>103</sup> Pd	17.0d	50~1500 MBq	
	<sup>125</sup> I	60.1d	50~1500 MBq	
	<sup>192</sup> Ir	74.0d	200~1500 MBq	
	<sup>106</sup> Ru	1.0a	多种	
遥控后装近距离治疗	<sup>192</sup> Ir	74.0d	200 TBq	移动式装置
远距治疗	<sup>60</sup> Co	5.3a	50~1000 TBq	固定式装置
血液辐照	<sup>60</sup> Co	5.3a	50~1000 TBq	固定式装置
	<sup>137</sup> Cs	30.0a	2~100 TBq	
研究用辐照装置	<sup>60</sup> Co	5.3a	至多 750 TBq	固定式装置
	<sup>137</sup> Cs	30.0a	至多 13 TBq	
灭菌	<sup>60</sup> Co	5.3a	几十至几百 PBq	固定式装置

续表2. 用于医疗、工业和研究的放射源

应用	放射性核素	半衰期	源活度	说明
校准用源，解剖学标 记，用作仪器中的标准源	$^{63}\text{Ni}$	96.0a	<4 MBq	仪器中的固 定装置或移 动式源
	$^{137}\text{Cs}$	30.0a	<4 MBq	
	$^{57}\text{Co}$	271d	至多 400 MBq	
	$^{226}\text{Ra}$	1600a	<10 MBq	
	$^{147}\text{Pm}$	2.6a	<4 MBq	
	$^{36}\text{Cl}$	3.0E+05a	<4 MBq	
	$^{129}\text{I}$	1.6E+07a	<4 MBq	
	$^{68}\text{Ge}$	288d	<4 MBq	
测厚仪， 密度测量仪，测井， 湿度探测器， X 射线荧光	$^{22}\text{Na}$	2.6a	多种	移动式设备
	$^{55}\text{Fe}$	2.7a	至多 5 GBq	
	$^{85}\text{Kr}$	10.7a	至多 100 GBq	
	$^{90}\text{Sr}$	28.1a	至多 10 GBq	
	$^{109}\text{Cd}$	1.27a	多种	
	$^{134}\text{Cs}$	2.1a	至多 20 GBq	
	$^{137}\text{Cs}$	30.0a	至多 10GBq	
	$^{147}\text{Pm}$	2.6a	至多 2 GBq	
	$^{241}\text{Am-Be}$	432a	至多 500 GBq	
	$^{238}\text{Pu}$	87.7a	至多 5 GBq	
$^{252}\text{Cf}$	2.6a	至多 10 GBq		
静电消除器	$^{210}\text{Po}$	138d	至多 20 GBq	移动式设备
电子俘获探测器	$^3\text{H}$	12.3a	至多 10 TBq	移动式设备
	$^{63}\text{Ni}$	96.0a	至多 50 GBq	
工业射线探伤	$^{169}\text{Yb}$	32.0d	至多 1 TBq	移动式设备
	$^{170}\text{Tm}$	128.6d	至多 1 TBq	
	$^{60}\text{Co}$	5.3a	至多 15 TBq	
	$^{75}\text{Se}$	120d	至多 2 TBq	
	$^{192}\text{Ir}$	74.0d	至多 5 TBq	

## 附录 II 放射性固体废物管理流程图



备注：本流程图不适用于废旧放射源。

## 附录 III 核医学放射性废物清洁解控流程示例

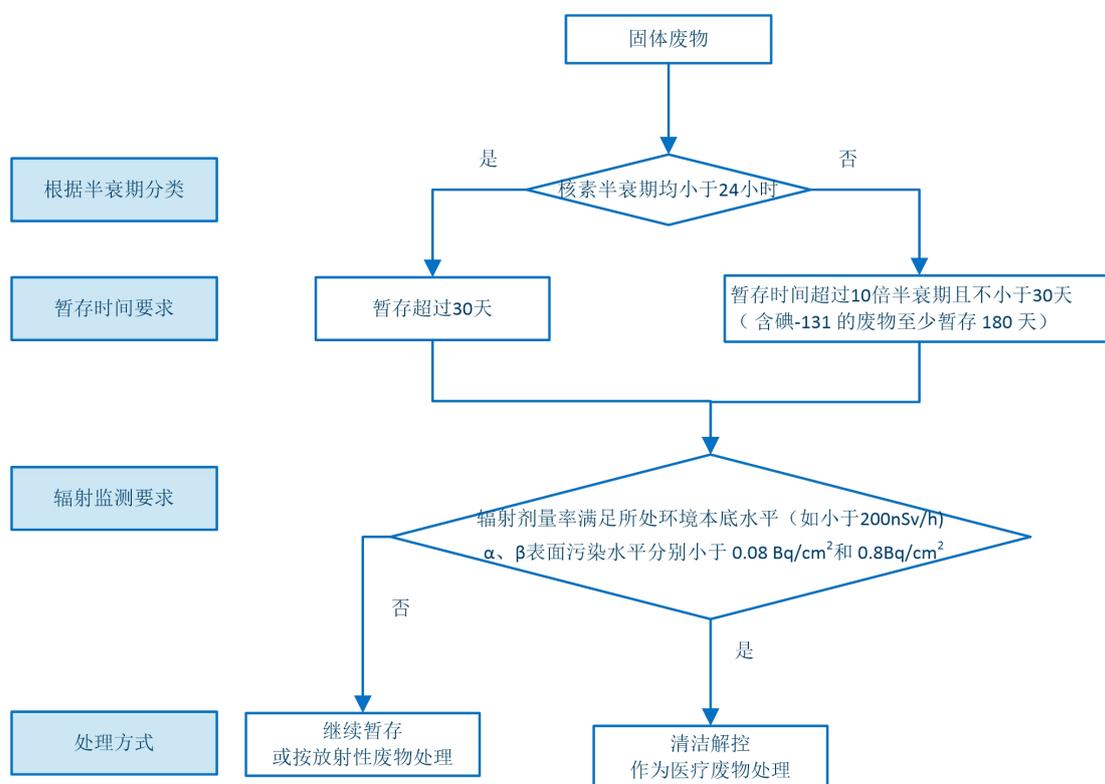


图 1 固体废物解控示例

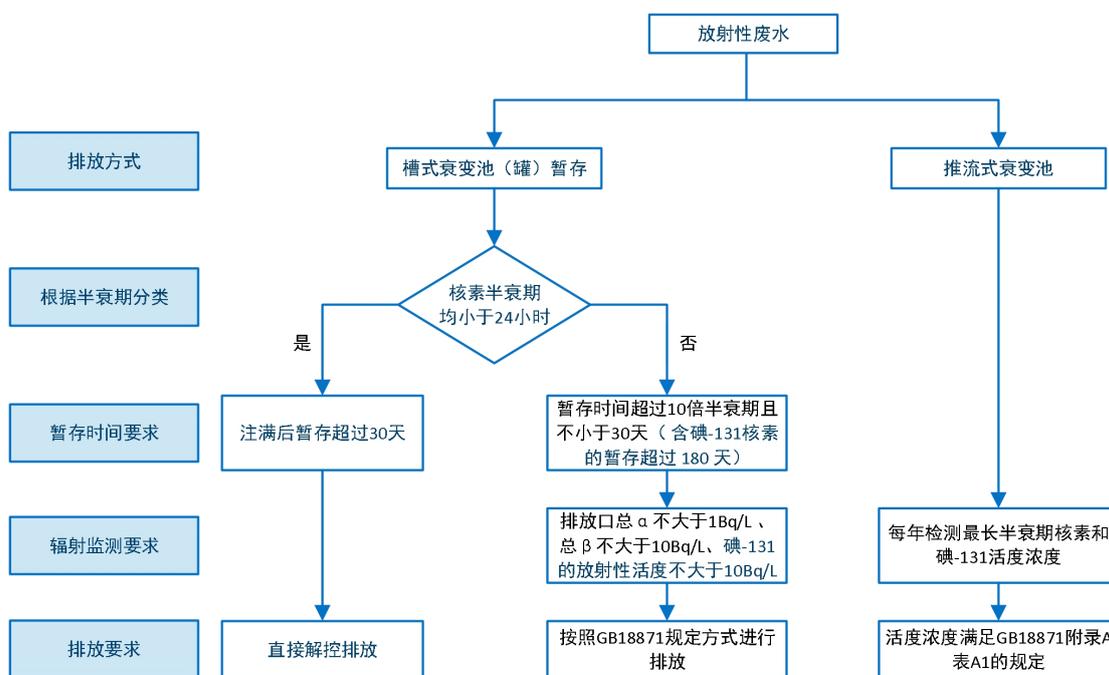


图2 废水排放示例

## 附录IV 常见废旧放射源及其用于管理的设备和技术

表 3. 常见废旧放射源实例及其用于管理的设备和技术

同位素	半衰期	应用	操作设备	监测	包装	贮存容器
低活度 $\alpha$ 源						
$^{241}\text{Am}$	432a	烟雾探测器 避雷针 静电消除器	手套箱 橡胶手套	$\alpha$ 测量	不锈钢内桶	混凝土屏蔽钢桶
$^{210}\text{Po}$	138.4d	静电消除器	橡胶手套			
$^{238}\text{Pu}$	87.7a	X射线荧光分析器	手套箱	$\alpha$ 测量	密封容器	混凝土屏蔽钢桶
$^{239}\text{Pu}$	24 181a	烟雾探测器	手套箱		密封容器	
低活度 $\alpha$ 和 $\gamma$ 源						
$^{241}\text{Am}$	432.2a	测量仪器 X射线荧光分析器 骨密度测量	夹具	$\alpha$ 测量	不锈钢内桶	混凝土屏蔽钢桶
低活度 $\beta$ 和 $\gamma$ 源						
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	29.1a	仪器校准源 近距离放射治疗		$\beta$ 测量		
$^{147}\text{Pm}$	2.6a	测量仪器	橡胶手套			

表 3. 常见废旧放射源实例及其用于管理的设备和技术

同位素	半衰期	应用	操作设备	监测	包装	贮存容器
$^{63}\text{Ni}$	96.0a	电子俘获探测器	橡胶手套			
$^{109}\text{Cd}$	1.27a	X 射线荧光分析仪	橡胶手套	$\gamma$ 测量		
$^{60}\text{Co}$	5.3a	测量仪器用源 标准源	夹具	$\beta$ , $\gamma$ 测量	铅屏蔽罐	混凝土加铅屏蔽桶
$^{137}\text{Cs}$	30.0a	测量仪器用源 标准源	夹具		铅屏蔽罐	混凝土加铅屏蔽桶
短半衰期高活度 $\beta$ , $\gamma$ 源						
$^{192}\text{Ir}$	73.8d	工业 $\gamma$ 射线探伤	铅热室 机械手	$\beta$ , $\gamma$ 测量	铅屏蔽罐	混凝土屏蔽钢桶
$^{170}\text{Tm}$	129d	工业 $\gamma$ 射线探伤	铅屏风 夹具		不锈钢篮	
$^{169}\text{Yb}$	32.0d	工业 $\gamma$ 射线探伤	铅屏风 夹具			
$^{75}\text{Se}$	120d	工业 $\gamma$ 射线探伤	铅屏风 夹具			
长半衰期高活度 $\beta$ , $\gamma$ 源						
$^{60}\text{Co}$	5.3a	工业 $\gamma$ 射线照相	铅热室	$\beta$ , $\gamma$ 测量	铅容器	带混凝土屏蔽的400L 钢桶或混凝土桶

表 3. 常见废旧放射源实例及其用于管理的设备和技术

同位素	半衰期	应用	操作设备	监测	包装	贮存容器
$^{60}\text{Co}$	5.3a	远距治疗	混凝土热室 机械手		铅容器	
$^{60}\text{Co}$	5.3a	辐照源	混凝土热室 机械手		特种容器	带混凝土和铅屏蔽的金属桶
$^{137}\text{Cs}$	30.0a	辐照源	混凝土热室 机械手		特种容器	带混凝土和铅屏蔽的金属桶
特殊源						
$^{226}\text{Ra}$	1600 a	避雷针 静电消除器	手套箱 夹具	$\gamma$ 测量	密封容器	铅屏蔽容器
$^{85}\text{Kr}$	10.7 a	测量仪器用源 避雷针 氩气体渗透剂 成像	手套箱 夹具	$^{85}\text{Kr}$ 测量		
$^3\text{H}$	12.3a	电子俘获探测器 X 射线荧光分析仪	手套箱 夹具	$^3\text{H}$ 测量	不锈钢容器	混凝土屏蔽钢桶
中子源						
$^{241}\text{Am/Be}$	432.2 a	湿度探测器 测井	中子防护	$\alpha$ 和中子探测	铅屏蔽罐	中子防护

表 3. 常见废旧放射源实例及其用于管理的设备和技术

同位素	半衰期	应用	操作设备	监测	包装	贮存容器
$^{252}\text{Cf}$	2.64 a	湿度探测器 测井 近距离放射治疗		中子防护		中子防护
$^{226}\text{Ra/Be}$	1600 a	湿度探测器、测井		中子防护		中子防护
$^{238}\text{Pu/Be}$	87.7 a	湿度探测器 校准仪器		中子防护		中子防护