

附件 2

核安全导则 HAD XXX/XX-201X

放射性物质在医疗、工业、农业、 研究和教学应用中产生的废物管理

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

放射性物质在医疗、工业、农业、 研究和教学应用中产生的废物管理

(2017年 月 日国家核安全局批准发布)

本导则自2017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 | 8 |
| 1.1 | 目的 | 8 |
| 1.2 | 范围 | 8 |
| 2 | 总体安全要求 | 8 |
| 2.1 | 管理策略 | 8 |
| 2.2 | 管理要求 | 10 |
| 3 | 放射性废物的处置前管理 | 12 |
| 3.1 | 总 则 | 12 |
| 3.2 | 废物的预处理 | 12 |
| 3.3 | 废物的处理 | 14 |
| 3.4 | 放射性废物的整备 | 16 |
| 3.5 | 场内搬运 | 17 |
| 3.6 | 放射性废物贮存 | 18 |
| 3.7 | 废物的场外运输 | 22 |
| 3.8 | 废旧密封放射源的管理 | 23 |
| 4 | 记录保持和报告 | 24 |
| 4.1 | 一般要求 | 24 |
| 4.2 | 记录内容 | 24 |
| 4.3 | 报告 | 25 |
| 5 | 质量保证体系 | 25 |
| 5.1 | 目的 | 25 |
| 5.2 | 内容 | 26 |
| 附录 I | 用于医疗、工业、农业、研究和教学的典型放射性同位素和相关的放射性废物 | 27 |
| 附录 II | 固体放射性废物管理流程图 | 37 |
| 附录 III | 生物放射性废物管理流程图 | 37 |
| 附录 III | 生物放射性废物管理流程图 | 38 |
| 附录 IV | 废旧密封放射源及其管理技术 | 39 |

1 引言

1.1 目的

本导则的目的是为放射性物质（包括放射源和非密封放射性物质）在医疗、工业、研究、农业和教学应用中产生的放射性废物（包括废旧密封放射源）的安全管理满足规定的目标、原则和要求提供指导，也为监管部门进行核安全审评和监督管理提供参考。

1.2 范围

（1）本导则适用于放射性物质在医疗、工业、研究、农业和教学应用中产生的放射性废物的处置前管理。涵盖研究机构和医院核医学科等中小型设施在放射性物质使用和设施退役中产生的少量放射性废物的管理以及在工业和研究活动中产生的少量含有天然放射性核素废物的管理。在附录 I 概述了从这些应用中产生的废物。

（2）本导则适用于少量放射性废物的暂存、场内运输以及其在集中管理设施内的安全管理，涉及放射性物质的解控和流出物向环境排放的控制。

（3）本导则对存在病原体或重金属等危险物质的放射性废物管理要考虑的辐射安全相关的问题提供指导，但不包括有关非放射性危险的建议。

（4）本导则不适用于豁免的含放射性物质的消费品（如家用烟雾探测器等）的管理。如果这类消费品被收集起来作为放射性废物处理和处置，则本导则适用。

2 总体安全要求

2.1 管理策略

2.1.1 管理方案

（1）放射性废物管理包括在废物产生单位内的就地废物管理和在废物集中管理设施内的废物管理，两者的管理应该密切的配合。

（2）废物产生单位应采取适当的就地废物管理措施，包括废物最小化、预处理（分类收集、特性鉴定、化学调节）、处理、整备和贮存等。就地废物管理至少应该完成废物最小化、分类收集、基本特性鉴定和相关的贮存。

（3）转移的废物应当满足接收方的接收标准。

2.1.2 废物产生控制

(1) 废物产生单位应当采取措施尽量避免或减少产生放射性废物，通过对设施的适当设计和运行，尽可能使用短半衰期放射性核素，尽量考虑放射性物质和设备的再循环和再利用。

(2) 无关的物料（例如设备包装）不应带入放射性工作场所。

(3) 在实践活动中，应尽可能减少放射性物质的使用量。

(4) 在放射源采购合同中，应明确使用后的放射源在使用后返回给制造者或预先确定的废物管理者，对高活度和含长寿命放射性核素的源需要特别关注该内容。

(5) 放射性物质的再利用和（或）再循环应当作为处置的一种替代办法来考虑。再循环和再利用可能涉及下述活动：

- (a) 所有者或依法转移后新的所有者对密封放射源的再利用；
- (b) 由制造者对密封放射源的再循环；
- (c) 设备和防护服之类材料的去污和（或）再利用；
- (d) 满足监管机构规定的解控材料的再循环和再利用。

(6) 废物的非放射性危险也应当减小到最低限度。应当避免放射性废物与有毒或危险材料的混合。例如，最好是利用热电偶而不是汞玻璃温度计进行温度测量，以避免含有污染汞的废物流的形成。

2.1.3 废物的特性鉴定和分类

放射性废物产生后应进行特性鉴定和分类。

特性鉴定有助于确定与特定类别废物相关的潜在危险，选定适合进行衰变贮存的废物，规定具体的处理、贮存或处置方案，以及规划和设计废物管理设施。

分类有助于选择最适当的废物管理方案，分类在很大程度上受放射性半衰期影响。含有短半衰期放射性核素的废物一般应当被优先分开，并考虑长半衰期放射性核素的存在。放射性废物分类应符合国家相关规定要求。

应记录特性鉴定过程中产生的数据，且记录应保存一段时间。

2.1.4 放射性废物管理各阶段间的相互关系

在一个阶段中管理或处理废物的方式能够对后续各阶段产生重要影响，不恰当的处理可能导致废物形式不符合有关贮存或处置的安全技术要求。进一步处理成符合要求的形式，在技术上很困难并需要昂贵的费用；或者可能导致不必要的

辐射照射。例如，不考虑随后的废物处置接收要求而对放射性废物进行处理，可能导致需要进行额外的废物整备工作。

2.2 管理要求

2.2.1 质量保证

放射性废物管理应建立放射性废物管理的质量保证体系和废物管理大纲，并在该体系内开展工作以实现良好的管理并证明质量。废物管理的质量保证体系应覆盖废物管理大纲的所有内容，如组织机构、责任和培训需求、控制措施、执行标准，以及评价方法。

2.2.2 安全文化

(1) 要求集中各方面精力确保在涉及放射性物质的使用、放射性废物产生与管理及其监管控制的一切组织中存在适宜的安全文化。这种安全文化的目的应当是在上述各种组织内的一切层面上建立一种对放射性废物适当管理所需要的必要意识，并且应当防止在相关活动的任何方面产生自满情绪。

(2) 所有有关单位都应当持续不断地探究放射性废物管理大纲的适宜性和有效性，并且总是寻求在涉及安全的安排中做出改进。

2.2.3 财政资源和人力资源

(1) 应当提供足够的财政资源和人力资源供废物产生单位和废物管理单位使用，以确保放射性废物管理程序能够安全地按照许可条件加以实施。

(2) 对放射性废物管理负有责任的工作人员应有适当的资格和经验水平，以便很好地履行职责。他们应有适当的科学和专业技术知识。

2.2.4 辐射防护

(1) 应制订辐射防护大纲，确保辐射安全。

(2) 应将受照剂量保持在规定限值以下，并考虑辐射防护最优化。

(3) 应对潜在辐射危害的场所进行必要的辐射监测和个人剂量监测。对移出放射性工作场所控制区的材料进行充分的监测。

2.2.5 排放控制和解控

(1) 放射性废物管理的优先方案是放射性核素的浓缩和包容，而不是稀释和分散到环境中。含放射性物质的流出物应在许可范围内向环境排放，并且应优化各种废物管理过程的排放。

(2) 排放限值应确保有关实践导致的个人剂量在监管机构确定的剂量限值内。在同一地区，如存在几个放射性物质用户或废物管理设施，监管机构应考虑降低排放限值，以确保个人接受若干放射源复合导致的剂量不超过剂量限值。应通过环境影响评价证明，排放不会导致对公众的剂量超过限值。

(3) 排放单位应通过排放监测和环境监测或用计算的方法证明自己遵守了排放限值方面的监管要求。应保存监测和计算结果的记录。

(4) 废物产生单位和废物管理单位应建立规章制度，以证明在解控（将放射性材料移出监管区）方面遵守了监管要求。此外，还应遵守废物在任何其他有害危险（例如传染性或毒性）方面免除监管控制的要求。

(5) 应去除免管材料上的放射性标识。同样，对于盛放免管材料的容器，也应去除其放射性标识。对于受监管控制的材料已被移出的容器，或装运或贮存放射性材料的空的干净容器，也应除去或覆盖其放射性标识。

(6) 已免除监管控制的材料信息应记录并保存，以便监管机构审查。

(7) 当建筑物和场址进入退役阶段但未解除监管控制时，任何遗留的放射性废物都应进行妥善管理、移出并转移到一个获准的贮存或处置设施。应将建筑物和场址去污到监管机构所要求的水平。

2.2.6 环境监测

(1) 废物产生单位和废物管理单位应进行必要的环境监测。

(2) 运行前应进行环境辐射本底监测，运行后应制定环境监测计划。

2.2.7 应急准备

废物产生单位和废物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计划。应急计划应包括：培训工作人员，使其有能力识别和响应紧急情况，指定有关各方的责任，以及用于确保应急工作人员防护的适当安排和装备。

2.2.8 安保

应当在产生或管理放射性废物的设施建立安保措施，以确保废物在未经许可时不会被偶然或故意地从其适当的位置移出。应当特别注意被盗或失控可能对人类健康或环境造成严重威胁的材料或设备。

3 放射性废物的处置前管理

3.1 总 则

放射性废物的处置前管理包括预处理、处理、整备、贮存、装卸和向集中的废物管理设施或处置设施的运输。

3.1.1 放射性废物的预处理、处理、整备是为消除或减小与废物相关的危险（例如放射性、物理、化学和生物方面的危险）。

3.1.2 只有在被详细特性鉴定后才可进行放射性废物的加工处理。预处理、处理、整备应确保废物满足贮存、处置和运输的接收要求或解控要求。

3.1.3 应当根据废物的特性选择加工处理方法。

3.1.4 在预处理、处理、整备的过程中应避免或减少二次放射性废物的产生。

3.1.5 在选择放射性废物加工处理方法时，应适当考虑工作人员在正常作业和事故情况下所受的辐射照射。

3.2 废物的预处理

3.2.1 预处理活动包括废物的收集、分拣、化学调节和去污。应对各种废物流在其产生源头进行分拣，应按照既定的分类方法完成恰当的废物鉴别和分类。废物管理单位应当通过例行测量或随机测量或其他手段核实废物的特征，以便证实废物产生单位提供的信息。

3.2.2 不同类别放射性废物的收集和分拣应当根据规定的战略和可利用的废物管理基础设施或放射性废物管理设施的接收要求来进行。废物分拣的目的是将废物管理后续步骤有关的废物量、管理费用、复杂性和风险减至最小。尤其是在退役过程中，应当特别注意将高活度废物分离。这将促进一些材料在工艺过程内的再循环，或当废物中存在的放射性核素数量低到足以使其能从监管设施或监管活动中排除时将其作为非放射性废物处置。

3.2.3 放射性废物收集和分拣过程中使用的容器应当在物理和化学上与所容纳的废物相容，应当保证对所容纳材料的充分包容，并且应当提供使工作人员免受化学、生物和物理危险或其他危险（例如被污染的尖锐物体伤害）的保护。所用的材料应当是牢固的，而且应当酌情（例如对于生物放射性废物）使用双层包装材料或适当的外层容器。容器应当经过适当鉴定（考虑，经过谁鉴定）和标记，并且分配到预计将产生放射性废物的工作场所。应当考虑废物容器的安全操作问题（例如通过提供带有脚踏开启机构的有盖金属废物桶），以及废物容器在以后

的废物管理步骤中的使用问题。废物一旦开始积累，用户就应记录所收集废物的信息。应记录每个废物容器的以下信息：

- (1) 识别编号；
- (2) 存在的放射性核素；
- (3) (测量或估算的) 活度和测量日期；
- (4) 来源 (例如房间和实验室)；
- (5) 现实的危险和 (或) 潜在的危险 (例如化学危险和感染危险)；
- (6) 表面剂量率和测量日期；
- (7) 废物数量 (质量或体积)；
- (8) 负责人。

3.2.4 在放射性废物的分拣过程中应当考虑下述主要因素：

- (1) 活度和存在的放射性核素；
- (2) 存在的放射性核素的半衰期：适合于衰变贮存的短寿命放射性核素 (例如半衰期不超过 100 天的放射性核素) 或长寿命放射性核素 (例如半衰期越过 30 年的放射性核素)；
- (3) 废物的物理和化学形式，例如水溶液废物或有机废物，可燃废物或不可燃废物，可压缩废物或不可压缩废物，均相废物或非均相废物 (含有残渣或悬浮固体的废物)；
- (4) 非放射性危险 (毒性、致病性、传染性、遗传毒性、生物性质、药物性质或混合性质)；
- (5) 进一步的加工、贮存或处置活动。

3.2.5 在实施去污作业前应评估以下内容：

- (1) 可移除层的存在；
- (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) 与所使用的去污方法有关的潜在危险。

3.2.6 废物管理单位应以规范化的方式收集和记录与废物管理下一步骤有关的信息。在放射性废物容器被转移到废物管理的下一个环节之前，应采取适当的预防措施 (例如放射性监测和去污)。

3.3 废物的处理

放射性废物的处理包括那些打算通过改变废物的特性来保证安全性和经济性的操作。可使用的基本处理方法是减小体积、去除放射性核素和改变组成。

3.3.1 固体放射性废物

固体放射性废物的处理有多种不同的方案（见附录 II）。通常，除了整备外，这些方案都不适用于废旧密封放射源。固体废物处理可能采取的方案和主要安全考虑如下：

（1）只有确保以下情况，才可以进行压实：

- 不存在可能损伤废物外包装的废物；
- 有害的（例如传染性的）废物已被排除（或已被消毒过），以避免发生有害释放（例如微生物释放）；
- 压力容器已被排除，以避免气体不受控制的释放或污染；
- 液体已被排除，以避免在压实过程中液体从废物外包装泄漏；
- 废旧密封放射源已被排除，以避免污染和照射的高风险；
- 松散的活性粉末已被排除，以避免污染的风险；
- 化学反应性材料已被排除，以避免不受控制的化学反应。

（2）只有确保以下情况，才可以在得到许可的焚烧炉内进行焚烧：

- 废源已被排除，以避免污染的高风险；
- 压力容器已被排除，以避免气体和（或）污染物不受控制的释放和（或）污染；
- 挥发性毒性材料已被排除（如果所用的焚烧炉不是为其设计的）；
- 高湿度材料已被控制，以确保完全燃烧；
- 对放射性焚烧灰有后续管理措施；
- 冻结材料已被控制，以确保完全燃烧；
- 已经实施了活性灰尘控制，尤其是对焚烧灰装卸过程中产生的灰尘的控制；
- 所产生的废气已被处理和控制，并且气体流出物在许可排放限值内排放。

3.3.2 液态放射性废物

（1）液态放射性废物的处理有各种不同的方案。液态放射性废物最佳处理方法的选择取决于安全、技术和费用的考虑。液体处理方法的选择还取决于 pH 值和固体颗粒、盐、酸的含量，以及他们被分离的可能性与容易程度。处理过程

中应当编制运行规程，在处理过程中还应当进行适当的安全监测。

(2) 各种液态放射性废物流如果在化学组成或放射性核素组成上有很大差别，应当加以分离。例如，几种不同化学性质的溶液如果不能直接排放，应当分开贮存。应当防止那些可能产生热、气溶胶或沉淀物的不受控制的化学反应。例如，有必要把酸性溶液与碱性溶液分离，因为 pH 值的变化或氧化还原条件的变化会导致如碘之类挥发性放射性核素的释放。

(3) 液体流合并前，必须通过安全评价，编制运行规程进行操作并进行记录。除非有特别的目的（例如中和）通常应当避免不相似的废物流（例如水相废物和有机相废物，以及含短寿命和长寿命放射性核素的废物）的混合。这样，废物流的复杂性和潜在危险会被降至最低。

(4) 水相废物和有机相废物一般采用不同的方法处理。对少量水相放射性废物，向市政排水系统或接纳水体的直接排放必须符合国家放射性污染防治标准，必须采用符合规定的排放方式。对其他水相废物可以采用化学沉淀、蒸发、离子交换和膜技术等方法进行处理。

(5) 在采用化学沉淀法时，应当考虑：二次废物的产生，非均相废物流形成的可能性，以及对所产生的放射性沉淀物随后整备的必要性。在采用蒸发法时，应当考虑：二次废物的产生，蒸发器的完整性（耐腐蚀性），存在挥发性有机物时可能的火灾风险，放射性喷射的包容，以及放射性蒸残液的随后整备。当使用离子交换法时，要考虑的问题是：需要专门整备的二次废物的产生，树脂与强氧化剂（例如浓硝酸）的反应性，树脂的辐射分解，以及所产生废树脂的整备。当使用膜技术时，需要考虑来自高压系统的、可能导致液体废物无意中弥散的泄漏，以及对浓缩液整备的后续需要。

(6) 对有机相放射性废物，可以采用焚烧（低闪点材料或挥发性有毒材料除外）、固化以及吸附方法。当采用焚烧法时，至少应当考虑放射性及非放射性组份的气体和颗粒物排放可能产生的环境影响。同样，还应考虑产生放射性物质的设施内部减少气载放射性物质的产生量，尤其在装卸焚烧灰时。并且应该考虑受污染焚烧灰的后续管理。固化法和吸附法应当评价最终废物形式的长期稳定性。

(7) 液态放射性废物处理中产生的浓缩液（二次废物）应当加以固化，以便形成一种稳定的固体废物形态。所形成的废物形态应当符合根据安全评价制订的准则，在安全评价中还需要考虑运输、贮存和最终处置方面的要求。

3.3.3 气态放射性废物

(1) 对含少量放射性物质的废气的排放必须符合国家放射性污染防治标准。使用放射性核素数量小而且主要是短半衰期核素的医学实验室和小型的研究实验室，可能不需要对这类废气作进一步处理。

(2) 含有颗粒状放射性物质的放射性废气，应在排放到大气以前用过滤器或其他手段加以净化。除非流出物只被短寿命放射性核素污染，否则所用的过滤器或其他净化介质应当作为固体放射性废物处理。如果只是短寿命放射性核素沉积在过滤器或其他净化介质上，可以使他们衰变，无需作进一步处理，并且随后可以解除监管控制。

3.3.4 生物放射性废物

(1) 生物性质的放射性废物应当通过考虑相关的放射性危险和非放射性危险（生物和传染危险；物理、化学、可燃和爆炸的危险）加以管理。对来自医疗应用的传染性生物放射性废物，应当进行预处理，以便在废物贮存和处置以前去除一切感染源。说明生物废物管理的流程图在附录 III 中给出。

(2) 用于放射性废物管理的实践通常不适合或不足以控制生物危险。同时，生物放射性废物也不能总是用与非放射性生物废物相同的方法进行处理。生物放射性废物处理可能采用若干个方案，他们涉及蒸汽灭菌、化学消毒、干热处理和辐照灭菌。焚烧、高压蒸汽处理、微波处理和干热处理等热处理方法主要用于破坏废物中存在的有机物和微生物。化学方法具有消毒作用，可以用于对生物废物去污。

3.4 放射性废物的整备

3.4.1 放射性废物的整备涉及那些将已加工过的废物转变成适合于装卸、运输、贮存和处置的废物形态的操作。这类操作可能包括：将废物固定在一中基体中，将废物放入容器中，以及提供额外的包装。在许多情况下，预处理、处理和整备相互紧密配合地进行。放射性废物的整备应当确保：废物、基体和容器之间有最大的相容性；废物体有最大的均匀性；容器内自由空间最小；废物体浸出率低；以及对络合剂与有机化合物的控制。这类操作可能包括将废物固定在基体中。有关的接收要求和接收准则应满足相应的法规标准。

3.4.2 在安全评价中，应当考虑要整备的材料，以及废物贮存和处置有关的接收要求和（或）接收准则。

3.4.3 在进行安全评价时，应将放射性废物货包看成由废物体和包装容器组

成。容器中的废物体的性质对整个废物货包的性质有重要的影响，并且能够影响废物货包在相关接收准则方面的性能。

3.4.4 每个废物货包都应当配有一个牢固的识别编号标签。应当保持每个废物货包的适当记录。所有记录都应当被安全存储，并在相当长的时期内容易查询和检索。每个单独废物货包至少应包括以下信息：

- (1) 废物的来源；
- (2) 废物货包的识别编号；
- (3) 废物货包的型式与详细设计和卸料记录；
- (4) 废物货包的质量；
- (5) 废物货包的外部尺寸和（或）体积；
- (6) 接触处和 1 m（运输指数）处的最大剂量率和测量日期；
- (7) 表面污染测量结果；
- (8) 放射性核素组成和活度；
- (9) 易裂变材料含量；
- (10) 物理性质；
- (11) 潜在的致病危险、化学危险和其他危险。

3.5 场内搬运

3.5.1 放射性废物的场内搬运包括从产生源头到加工、贮存和（或）处置场所的一切转移操作。这可能包括实体搬运、工艺流程或场内运输（包括从车辆上装载和卸载废物货包）。放射性废物的场内搬运应当满足以下条件：

- (1) 使用容易去污的容器或外包装；
- (2) 在适当的辐射防护控制下操作；
- (3) 对放射性废物货包和车辆粘贴适当标记；
- (4) 遵守场址辐射防护大纲、安保程序、安全运输和应急计划，以及国家法律规定的标准。

3.5.2 在放射性废物货包搬运以前，应当进行非固定表面放射性污染检查。检查的目的是保护搬运废物货包的工作人员，防止污染的事故性扩散，并且提供对记录保持系统的独立核对。此外，还应当规定每个放射性废物货包的表面处或距表面的规定距离处的最大允许辐射剂量率，并作为废物货包贮存接收要求的一部分。

3.5.3 放射性废物货包上放射性污染的意外存在，表明该废物货包本身或附近的一个废物货包已破损或受到实体损坏。应当预先规划和制订处理程序，并在这类事件发生后依照执行。作为最低限度的要求，应当封闭可疑废物货包周围的区域，通知废物安全负责人员，并且执行旨在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置入二次外包装容器中。

3.6 放射性废物贮存

下述情况下，放射性废物贮存是必要的：

- 在解控前使放射性核素衰变；
- 在预处理、处理和整备前；
- 在处置或转移到另一个认可的设施前。

放射性废物的贮存应当确保废物被隔离，工作人员、公众和环境受到保护，并且使废物能够进行随后的移动、搬运、运输或处置。在贮存的不同阶段中，应当通过保存记录和充分标记的方法实现的废物货包的完全可追踪性。

3.6.1 场内贮存

对任何放射性废物管理活动，应当确保贮存的安全性。场内贮存可以用来使放射性废物衰变到可解除监管控制的水平。贮存可能出于运行原因（例如，未经整备的放射性废物在随后的整备或场外转移前，可能需要进行贮存）。通常，场内贮存时间应当保持尽可能短，以确保废物的长期安全。当废物要被转移到一个放射性废物集中贮存设施时，或当废物产生设施中没有适当的长期贮存能力时，尤其应当这样做。贮存设施可能用于存放未处理的、已处理的和已整备的放射性废物。应当特别注意未整备的放射性废物的贮存，防止废物货包的泄漏。

3.6.2 在考虑放射性废物贮存安排时，应当详细评估以下内容：

- (1) 放射性废物的类型和特性；
- (2) 废物货包的原始完整性和表面污染的潜在水平；
- (3) 废物货包的封闭和（或）密封，以及废物货包在贮存条件下的持续完整性；
- (4) 预计的贮存时期和进一步（未来）延期的可能性；
- (5) 遵守搬运、贮存和安保要求的能力；
- (6) 监测的必要性和形式，例如监测贮存设施中气载放射性物质的必要性；
- (7) 对废物货包潜在损伤识别的可能性，以及开展纠正措施的可能性。

3.6.3 放射性废物排放或解控前的贮存

(1) 许多放射性核素，尤其是在研究和医疗应用中使用的放射性核素，具有从几小时到几个月的半衰期。10 个半衰期的衰变贮存，能够将活度降低到原来活度的千分之一以下。实际经验表明，衰变贮存通常适合于含有半衰期不超过 100 天的放射性核素的一切类型的放射性废物，即固体、液体和气体放射性废物。不过，具有更长半衰期的废物也可安全地贮存，以便衰变到可忽略不计的水平。应当根据实际情况考虑这类废物的贮存问题。

(2) 在适当的情况下，衰变贮存从安全和技术与经济角度考虑是首选的管理方案。应当收集被短寿命放射性核素污染的有适当放射性含量或放射性浓度的放射性废物，并安全地贮存足够长的时间，直到废物满足将材料移出监管设施和活动或进行许可排放的监管准则。也可能有例外情况，例如被污染的动物尸体，因为担心有致病或传染的危险必须进行处置。

(3) 放射性废物的衰变贮存和随后的解除监管控制，需要严格的行政控制措施。在产生场所和当衰变贮存时期结束时，应当仔细测量活度，并且应当分离废物。在每批废物被解除监管控制前，应当进行有代表性的测量，或进行取样分析。在取样过程中，应当考虑保护工作人员免受放射性危险和非放射性危险。

3.6.4 废物货包的要求

应当对每个废物货包进行贮存跟踪，以便于回取作进一步处理。应当提供适当的辐射防护控制和安保措施。未经整备的废物的贮存时间应有限制。废物的贮存应当确保：

(1) 废物货包贮存于专门指定的场所、建筑或专门建造的设施（场内设施或集中设施）中；

(2) 符合废物贮存接收准则；

(3) 一接收到废物货包便进行检查（例如检查废物货包的完整性、表面污染或与支持性文件的一致性）；

(4) 不同类型的废物（包括混合废物）按照致病性、有机性、毒性或其他性质分开贮存；

(5) 废物货包加上牢固的标记；

(6) 废物现状的跟踪和支持性文件的可利用性。

3.6.5 废物处置前贮存

(1) 经过处理和整备的放射性废物应当与未经整备的废物、非放射性原料

以及维护用材料分开贮存。经处理和整备过的放射性废物货包应当贮存在例如箱子、货架、托盘或货盘中。贮存场所应当加以规划，以便尽可能减少搬运和运输。

(2) 整备过的放射性废物在转移到处置设施之前，应当安全地并有安保措施的方式贮存。

(3) 在安全评价中应当考虑建议的贮存方案，以证明所建议的设计和运行安排的可接受性。应当能够确保贮存期间的安全目标：所贮存的废物应保持被充分地包容；有适当的屏蔽防止来自所贮存废物的辐射；所贮存的废物货包的性能不会下降也不会搬运和处置中引发问题。

3.6.6 废物处置前管理设施

3.6.6.1 应当通过使用好的工程和管理实践确保放射性废物处置前管理设施的安全。尤其应当采纳针对技术或人因差错所引起故障提供多重保护的纵深防御原则。这包括：

(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手段和组织手段；

(3) 用于当发生故障或屏障损害时保护公众和环境的措施。

3.6.6.2 在放射性废物管理设施寿期内的一切阶段（选址、设计、试运行、运行和关闭或退役），应当在下述三个方面提供应用纵深防御原则所需的技术手段和组织手段：

(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) 用于制订应急计划的措施。

3.6.7 废物加工处理和贮存设施的设计

3.6.7.1 在设计放射性废物加工处理设施时，应当考虑：

(1) 将放射性废物加工处理系统与贮存有潜在危险材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) 在各阶段实施放射性控制，包括对影响人员防护和工作环境保护的废物和元素的接收控制；

(4) 提供适当的包容（例如通风柜、滴液收集盘、密封和浸液的工作台）和屏蔽（例如铅块或混凝土块）；

- (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(剂量率和表面污染测量);
- (7) 进行工艺技术控制, 例如记录未经处理的废物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, 来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(例如通过空气过滤、空气压差和流动的考虑);
- (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。

3.6.7.2 根据要处理和(或)贮存的放射性废物的数量, 安全安排可能差别很大, 从贮存在加屏蔽的小室到专门的单独房间或设施。具体的安排在很大程度上取决于所涉放射性废物的活度和其他化学与物理特性, 以及废物数量, 同时还取决于可利用的工艺技术。辐射防护最优化的要求和尽量维持工作场所不含长半衰期核素放射性废物的倾向意味着应当考虑提供一个可按分类贮存放射性废物的单独小房间。不过, 在工作许多天只有很小量放射性废物产生的场合, 应使用一个紧靠工作场所的就近库房或小房间。

3.6.7.3 容器应当适合于具体放射性废物的安全管理, 应当按照具体废物的化学和放射特性、体积, 以及搬运和贮存的技术要求加以选择。应当避免容器压力由于液体的膨胀以及气体和蒸汽的产生(主要发生在有机液体操作中)而升高。

3.6.7.4 贮存设施的设计应进行定期检查, 包括进行辐射控制(剂量率和表面污染测量)和对废物货包的目视检查, 以便发现任何机械磨损或泄漏的早期征兆。设施建造材料的寿命应当与设想的贮存时间相当, 并且应当确保贮存条件能够维持废物货包的性质在整个设计贮存期内不变。贮存设施的设计应当能够确保放射性废物可以从设施中移出作随后的加工或处置, 并且确保设施将来需要时可以扩大。

3.6.8 放射性废物处理和贮存设施的退役

3.6.8.1 废物产生单位应当在放射性废物处理和贮存设施寿期的每个阶段都考虑其退役方面的内容。对设施设计和后续的改动尤其应当如此。此外，当退役作业开始时，应当确保必要的行政和管理控制将依然存在或将被改变以适应新的情况。原则上，只有在下述工作完成后才开始处理设施或贮存设施的拆除活动：

- (1) 放射性废物和其他潜在的危险材料已被移出；
- (2) 要拆除的系统和部件已被去污。

不过，可以预计仍存在一些在去污和拆除活动开始前并非所有废物均被移出的可接受的安全情况。

3.6.8.2 在退役安排中，有 6 个阶段应当考虑：

— 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：放射性源项的移出，涉及包容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，具体包括材料、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，以便于对他们进行管理（去污，搬运）和随后将其从场址移出；

— 阶段 5：最终辐射调查，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，所退役的设施可作无限制使用，或者在有限制和（或）监督使用。

3.6.8.3 从退役活动中产生的废物在必要时可以延长贮存。依据所要退役的废物加工或贮存设施的类型与规模、放射性废物的类别、废物管理战略，以及集中的贮存和处置设施的可利用性，退役活动所采取的阶段可以合并进行。

3.7 废物的场外运输

3.7.1 放射性废物的场外运输应遵守《放射性物品运输安全管理条例》《放射性物质安全运输规程》的要求。

3.7.2 对于密封放射源，屏蔽容器通常是原来的贮存和（或）运输废物货包的一个不可或缺的部分。屏蔽装置的尺寸和型式取决于所要运输的放射性核素和其活度。如果可能，原来的制造商的包装应当被用于运输该废旧密封放射源。废

旧密封放射源应当按照国际原子能机构的相关要求进行包装后才可以进行场外运输。

3.8 废旧密封放射源的管理

3.8.1 密封放射源活度范围变化很大，附录IV中列出了废旧密封放射源及其管理技术。对于某一特定放射源使用单位，虽然废旧密封放射源仅占所产生放射性废物体积的一小部分，但就放射性活度而言，放射源占所产生的放射性废物的主要部分。必须注意，虽然远距治疗源和其他大的废旧密封放射源的辐射输出可能已经下降到其初始目的需要的有用水平以下，但这类源造成辐射诱发损伤的潜在可能仍然很大。应当注意，铯-137 远距治疗源可能含有可弥散的铯化合物，他们的外包装被破坏会带来非常严重的危险。

3.8.2 在废旧密封放射源的安全管理方面，应当考虑以下方面：

- (1) 废旧密封放射源被其他获得许可的组织进一步经过许可的利用；
- (2) 废旧密封放射源返回给其供应者；
- (3) 在其原来的屏蔽容器中暂时贮存（例如，对于半衰期短于 100 天的放射性核素）；
- (4) 整备（例如增加外包装）；
- (5) 长期贮存（例如在专用的贮存设施中）；
- (6) 处置。

3.8.3 管理废旧密封放射源的首选方案是使他们再循环，供进一步使用，如果不可能这样做，则应尽量将其返回给供应者。对废密封放射源则应将其返回给供应者。这个方案对许多旧源并非总是适用，因为原来的供应者可能已经不知道，或可能已不存在。对短半衰期（不超过约 100 天）的废旧密封放射源，安全衰变贮存可能是首选方案。

3.8.4 除了经过 2~3 年衰变即可解控的短半衰期放射源，其他废旧密封放射源都应当整备。长寿命源一般通过封装到焊接的钢盒中进行整备，以便于未来的管理。整备方法应当经监管机构批准。

3.8.5 若放射源使用单位没有采用封装法整备废旧密封放射源的设施及能力，也没有适当的贮存设施，应当将源转移给有适当设施的持证单位。应为含有镭-226、镭-241 和其他长寿命放射性核素的废旧密封放射源的长期安全贮存建立集中贮存设施。

3.8.6 废旧密封放射源的管理可能涉及潜在的严重危险。密封放射源不应被

压实、破碎或焚烧。作为通用原则，最重要的是密封放射源不应被从原始包装容器中移出，原始包装容器也不应被物理性改动。大型辐照装置的周边部件（不直接与源相关的部件）应被移除、监测，并且进行适当的处置。对可能发生泄漏的源（例如旧的镭源）在其搬运和贮存过程中还应当采取放射性泄漏预防措施，应注意监测表面污染和气载污染物。这些源应当贮存在有适当通风的专用场所。

3.8.7 对不再使用的密封放射源，其管理的重点是维持控制的连续性。废物产生单位和废物管理单位应当维持并定期检查对这些装置和材料的控制状况。

3.8.8 应当避免放射源的被盗和丢失，应特别注意便携式射线照相装置等含有贵金属的仪器中放射源的丢失。

3.8.9 放射性物质（例如密封放射源）的丢失和误用可能引起工作人员和公众成员的辐射照射，同时也可能导致场地污染。这将产生额外的放射性废物。废物产生单位和废物管理单位都应当具备处理和贮存这类放射性废物的能力，包括技术和组织手段以及必要的应急安排。

4 记录保持和报告

4.1 一般要求

4.1.1 应当为放射性废物管理活动建立一个适当的综合记录系统。关于废物存量的信息应当妥善加以记录、更新（例如在加工过程中对废物特性的改变）、移交（废物管理阶段之间或向另一个负责组织移交）和保持，以便能够确保有关的信息必要时在将来能被获得。

4.1.2 对放射性废物管理安全负责的废物产生单位或废物管理单位应当定期检查记录系统运行是否正常。作为废物考虑的废旧密封放射源的详细安全相关历史应当包括在存量清单中。

4.1.3 记录系统应当考虑废物从收集点直到长期贮存和（或）处置的可追溯性。

4.2 记录内容

4.2.1 废物产生和管理单位应当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（体积和（或）质量）；

- (3) 辐射特性;
- (4) 物理性质和化学性质;
- (5) 按照国家废物分类法对废物的分类;
- (6) 热性质 (当适用时);
- (7) 与废物相联系的任何化学危险、致病危险或其他非放射性危险, 以及危险物质的浓度。

4.2.2 在需要时, 废物管理单位应当提供手段, 并且应当确保场地平面图、工程图纸、技术要求和过程描述以及运行程序和安全相关操作规程得到保存。为安全系统以及运行活动所做的管理计划活动的结果应当被妥善存档。

4.2.3 废物产生单位与废物管理单位还应当保存与用于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。

4.3 报告

核技术利用单位和放射性固体废物贮存单位应当按照国务院环境保护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) 已解除监管控制或已排放到环境中的物质的详细情况;
- (2) 已返回给供应者的废旧密封放射源的详细情况;
- (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, 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结论;
- (6) 在废物处理期间发生的紧急情况 (如果有的话), 处理紧急情况时使用的方法, 以及汲取的经验教训。

5 质量保证体系

5.1 目的

5.1.1 废物产生单位和废物管理单位应当建立和实施一个质量保证体系。该体系应当能够确保:

- (1) 对有关放射性废物管理的一切活动的有效组织, 以及根据设计特性对废物管理各系统的运行、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，以确保符合辐射防护和安全的要求。

5.1.2 通过建立满足监管机构认可的具有恰当的质量保证要求的正式质量保证体系，并且按该体系开展工作，以实现质量管理和质量证明。这些质量保证要求应当与所从事的活动的复杂性以及废物管理计划相适应。他们应当详细说明组织机构及责任，以及必要的培训、控制措施、执行标准和评价方法。质量保证体系应当能够保证放射性废物管理中的活动和许可条件相一致，并且便于向监管机构提供信息。

5.2 内容

5.2.1 质量保证体系应包括（但不限于）以下内容：

- (1) 组织机构和责任的规定；
- (2) 规范的工作程序的制订；
- (3) 人员培训和资格评定；
- (4) 设计控制；
- (5) 物项和服务的采购；
- (6) 文件控制和记录；
- (7) 检查、试验和维护；
- (8) 不符合项控制和纠正行动；
- (9) 评价（质量保证体系有效性——内部和外部监查）。

5.2.2 废物产生单位和废物管理单位应当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，应当提出、采取并且记录适当的纠正行动。

5.2.3 审查应当包括对程序的修订，以便去除不利于许可活动安全的程序。

附录 I 用于医疗、工业、农业、研究和教学的典型放射性同位素和相关的放射性废物

概 况

I.1 辐射源为核技术利用中的广泛应用而生产的,核技术利用通常包括医疗、工业、农业、研究、教学和其他领域。放射性同位素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、洗液等被污染的物件;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,还可能从涉及放射性同位素的事件或事故中产生各种不同组成的废物。与这种废物相关的风险和因此应当采取的预防措施,依放射性同位素的应用、所涉及的放射性核素,以及放射性核素数量的不同,变化范围很大。

I.2 放射性物质通常以两种不同的形式使用。密封放射源是以一种放射性内容物分散概率很低的形式使用的。非密封放射性物质是可分散的,尽管其中的放射性物质是与一种化学介质相结合的。表 1 和表 2 列出了有关工业和研究中使用的主要密封放射源和非密封放射物质类别的信息。

放射性核素生产

I.3 粒子加速器和核反应堆用于放射性核素生产。生产过程会产生废物,在粒子加速器和核反应堆中产生的放射性核素是在靶中和辐照盒中生产的。靶和辐照盒将分别从加速器和反应堆中移出,以便进行处理和净化。这样便会产生活度相对高的小体积液体废物和体积较大的低放固体废物。

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,其中包括:

(a) 用含有放射性核素的非密封放射物质为临床诊断和研究而进行的体外放射测定;

(b) 用含有放射性核素的非密封放射物质为临床诊断、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密封放射源进行的放射治疗。

I.5 一些只含千 Bq 数量放射性核素的市售药盒用于体外放射测定。¹²⁵I 是主

要放射性核素，而每次测定通常涉及很小的活度。在每次个别测定之后以及在药盒有效期过后，相应的放射性物质和被污染的物项一般被视为废物。

I.6 就主要的体内应用而言，所要研究或治疗的具体器官将决定要使用的放射性药物类别和患者的给入量。在用于显像工作的放射性核素中， ^{99m}Tc 使用最多，其放射性半衰期为 6 小时。 ^{99m}Tc 在正常情况下，是从含有 ^{99}Mo 核的商业供应的发生器中洗提到一个无菌环境中。由于 ^{99}Mo 的半衰期为 66 小时，发生器需要在大约 1 周的时间间隔内替换。从 ^{99m}Tc 标记的试剂制备中产生的废物，例如报废的小瓶，注射器和棉拭，可能会受到 ^{99m}Tc 的污染。不过，由于 ^{99m}Tc 的半衰期短，会很快衰变掉，因此可以解除监管控制，这种废物可以作为非放射性废物处置。

I.7 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 和 ^{89}Sr 之类的放射性核素用于治疗时，将以 200 MBq 到 11 GBq 的活度给入患者。在治疗应用中，应当适当注意来自患者的废物（例如排泄物和被弄脏的布）中所含的放射性污染物。

I.8 含有 ^{60}Co 、 ^{192}Ir 和 ^{137}Cs 之类其他放射性核素的密封放射源用于患者治疗：作为暂时的植入物；用于外部束流治疗；以及用于血液产品辐照。

表 1. 用于医学和生物研究的典型非密封放射物质

| 放射性核素 | 半衰期 | 主要应用 | 每次应用 典型活度 | 废物特性 |
|------------------|---------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| ^3H | 12.3 年 | 加放射标记，生物研究， 有机合成 | 至多 50 GBq | 溶剂，固体， 液体 |
| ^{11}C | 20.4 分 | 正电子发射断层， 肺通气研究 | 至多 2 GBq | 固体，液体 |
| ^{14}C | 5730 年 | 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_2) 固体，液体 溶剂 |
| ^{15}O | 122 秒 | 正电子发射断层， 肺通气研究 | 至多 2 GBq | 固体，液体 |
| ^{18}F | 1.8 小时 | 正电子发射断层 | 至多 500 MBq | 固体，液体 |
| ^{24}Na | 15.0 小时 | 生物研究 | 至多 5 GBq | 液体 |
| ^{32}P | 14.3 天 | 治疗核医学 | 至多 200 MBq | 固体，液体 |
| ^{33}P | 25.4 天 | 生物研究 | 至多 50 MBq | |
| ^{35}S | 87.4 天 | 医学和生物研究 | 至多 5 GBq | 固体，液体 |

| 放射性核素 | 半衰期 | 主要应用 | 每次应用 典型活度 | 废物特性 |
|-------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| ³⁶ Cl | 3.01×10 ⁵ 年 | 生物研究 | 至多 5 MBq | 气体, 固体, 液体 |
| ⁴⁵ Ca | 163 天 | 生物研究 | 至多 100 MBq | 主要是固体, 某种液体 |
| ⁴⁶ Sc | 83.8 天 | 医学和生物研究 | 至多 500 MBq | 固体, 液体 |
| ⁵¹ Cr | 27.7 天 | 诊断核医学, 生物研究 | 至多 5 MBq 至多100 MBq | 固体 主要是液体流 出物 |
| ⁵⁷ Co | 271.7 天 | 诊断核医学, 生物研究 | 至多 50 MBq | 固体, 液体流 出物 |
| ⁵⁸ Co | 70.8 天 | | | |
| ⁵⁹ Fe | 44.5 天 | 诊断核医学, 生物研究 | 至多 50 MBq | 固体, 主要是 液体 |
| ⁶⁷ Ga | 3.3 天 | 诊断核医学 | 至多 200 MBq | 固体, 液体 |
| ⁶⁸ Ga | 68.2 月 | 正电子发电断层 | 至多 2 GBq | 固体, 液体 |
| ⁷⁵ Se | 120 天 | 诊断核医学 | 至多 10 MBq | 固体, 液体 |
| ^{81m} Kr | 13.3 秒 | 肺通气研究 | 至多 6 GBq | 气体 |
| ⁸⁵ Sr | 64.8 天 | 生物研究 | 至多 50 MBq | 固体, 液体 |
| ⁸⁶ Rb | 18.7 天 | 医学和生物研究 | 至多 50 MBq | 固体, 液体 |
| ^{82m} Rb | 6.2 小时 | 诊断核医学 | 至多 50 MBq | 固体, 液体 |
| ⁸⁹ Sr | 50.5 天 | 治疗核医学 | 至多 300 MBq | 固体, 液体 |
| ⁹⁰ Y | 2.7 天 | 治疗核医学, 医学和生物研究 | 至多 300 MBq | 固体, 液体 |
| ⁹⁵ Nb | 35.0 天 | 医学和生物研究 | 至多 50 MBq | 固体, 液体 |
| ^{99m} Tc | 6.0 小时 | 诊断核医学, 生物研究, 核素发生器 | 至多 100 GBq | 固体, 液体 |
| ¹¹¹ In | 2.8 天 | 临床测量, 生物研究 | 至多 50 MBq | 固体, 液体 |
| ¹²³ I | 13.2 小时 | 医学和生物研究, | 至多 500 MBq | 固体, 液体 |

| 放射性核素 | 半衰期 | 主要应用 | 每次应用 典型活度 | 废物特性 |
|-------------------|---------|-----------------|--------------|--------|
| ^{125}I | 60.1 天 | 诊断核医学 | | 偶尔蒸汽 |
| ^{131}I | 8.0 天 | 治疗核医学 | 至多 11 GBq | |
| ^{113}Sn | 155.0 天 | 医学和生物研究 | 至多 50 GBq | 固体, 液体 |
| ^{133}Xe | 5.3 天 | 诊断核医学 | 至多 400 MBq | 气体, 固体 |
| ^{153}Sm | 1.9 天 | 治疗核医学液体 | 至多 8 GBq | 固体, 液体 |
| ^{169}Er | 9.3 天 | 治疗核医学, 诊断核医学 | 至多 500 MBq | 固体, 液体 |
| ^{198}Au | 2.7 天 | 治疗核医学, 诊断核医学 | 至多 500 MBq | 固体, 液体 |
| ^{201}Tl | 3.0 天 | 诊断核医学 | 至多 200 MBq | 固体, 液体 |
| ^{203}Hg | 46.6 天 | 生物研究 | 至多 5 MBq | 固体, 液体 |

表2. 用于医疗、工业和研究的密封放射源

| 应用 | 放射性核素 | 半衰期 | 源活度 | 说明 |
|-----------|----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|
| 骨密度测量 | ^{241}Am | 433.0 年 | 1~10 GBq | 移动式装置 |
| | ^{153}Gd | 244.0 天 | 1~40 GBq | |
| | ^{125}I | 60.1 天 | 1~10 GBq | |
| | $^{239}\text{Pu-Be}$ | 2.41×10^4 年 | | |
| 手工近距离治疗 | ^{198}Au | 2.7 天 | 50~500 MBq | 小的便携式源；逐步被淘汰 |
| | ^{137}Cs | 30.0 年 | | |
| | ^{226}Ra | 1600 年 | 50~500 MBq | |
| | ^{32}P | 14.3 天 | | |
| | ^{60}Co | 5.3 年 | 50~1500 MBq | |
| | ^{90}Sr | 29.1 年 | 50~1500 MBq | |
| | ^{103}Pd | 17.0 年 | 50~1500 MBq | |
| | ^{125}I | 60.1 天 | 200~1500 MBq | |
| | ^{192}Ir | 74.0 天 | | |
| | ^{106}Ru | 1.01 年 | | |
| 遥控后装近距离治疗 | ^{137}Cs | 30.0 年 | 0.03~10 MBq | 移动式装置 |
| | ^{192}Ir | 74.0 天 | 200 TBq | |
| 远距治疗 | ^{60}Co | 5.3 年 | 50~1000 TBq | 固定式装置；逐步淘汰，但一些装置在贮存中等待处置 |
| | ^{137}Cs | 30.0 年 | 500 TBq | |
| 全血辐照 | ^{60}Co | 5.3 年 | 50~1000 TBq | 固定式装置 |
| | ^{137}Cs | 30.0 年 | 2~100 TBq | |
| 研究 | ^{60}Co | 5.3 年 | 至多 750 TBq | 固定式装置 |
| | ^{137}Cs | 30.0 年 | 至多13 TBq | |
| 灭菌 | ^{60}Co | 5.3 年 | 至多 40 PBq | 固定式装置 |

续表2. 用于医疗、工业和研究的密封放射源

| 应用 | 放射性核素 | 半衰期 | 源活度 | 说明 |
|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------|---|
| 校准用源, 解剖学标 记用作仪器中标准的源 | ^{63}Ni | 100 年 | <4MBq | 仪器中的固 定装置或移 动式源 |
| | ^{137}Cs | 30.0 年 | <4MBq | |
| | ^{57}Co | 271.7 天 | 至多400 MBq | |
| | ^{226}Ra | 1600 年 | <10 MBq | |
| | ^{147}Pm | 2.62 年 | <4 MBq | |
| | ^{36}Cl | 3.01×10^5 年 | <4 MBq | |
| | ^{129}I | 1.57×10^7 年 | <4 MBq | |
| 厚度计, 密度计, 测井, 水分探测器 X 射线荧光 | ^{22}Na | 2.6 年 | | 移动式设备 固定在设备中 |
| | ^{55}Fe | 2.6 年 | 至多 5 GBq | |
| | ^{85}Kr | 10.7 年 | 至多100 GBq | |
| | ^{90}Sr | 28.1 年 | 至多10 GBq | |
| | ^{109}Cd | 1.27 年 | 至多 20 GBq | |
| | ^{134}Cs | 2.1 年 | 至多10 GBq | |
| | ^{137}Cs | 30.0 年 | 至多2 GBq | |
| | ^{147}Pm | 2.62 年 | 至多500 GBq | |
| | $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ | 433 年 | 至多5 GBq | |
| | ^{238}Pu | 87.7 年 | 至多10 GBq | |
| ^{252}Cf | 2.6 年 | 至多 5 GBq | | |
| 静电消除器 | ^{210}Po | 138 天 | 至多 20 GBq | 移动式设备 |
| 电子俘获探测器 | ^3H | 12.3 年 | 至多 10 TBq | 移动式设备 |
| | ^{63}Ni | 100 年 | 至多50 GBq | |
| 工业射线照相 | ^{169}Yb | 32 天 | 至多 1 TBq | 移动式设备 |
| | ^{160}Tm | 128.6 天 | 至多1 TBq | |
| | ^{60}Co | 5.3 年 | 至多15 TBq | |
| | ^{75}Se | 120 天 | 至多2 TBq | |
| | ^{192}Ir | 74.0 天 | 至多5 TBq | |

研究和教学中的应用

I.9 使用放射性核素的研究可能涉及下述活动：

(a) 化合物的生产和标记。这些活动导致含有 ^3H ， ^{125}I ， ^{14}C 或 ^{32}P 之类放射性核素的兆 Bq 活度废物的产生。放射性核素的范围通常相当窄，被标记的化合物的放射性物质含量很低。

(b) 对于与大范围的化合物（例如药物、杀虫剂、肥料和矿物）相关的代谢、毒理或环境方面路径的研究。研究工作可能与新的药物制造、作物生产和环境研究等领域有关。还可能涉及到动物，导致放射性排泄物、尸体的产生。在许多化合物及其相关的代谢路径的研究中，最常使用的放射性核素是 ^{14}C 和 ^3H ，因为他们能够容易地引入到复杂的分子中，而 ^{33}P 被广泛用作遗传学研究中的示踪剂。

(c) 为涉及人和动物的研究工作制备的化合物（例如药物）的临床方法和应用的开发。

(d) 不在核燃料循环设施中进行的有关核燃料循环研究。这种研究通常在实验室中进行，使用少量易裂变材料（铀和钚）以及一些相对长寿命的裂变产物（主要是 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr ）。所产生的废物包括含有裂变产物和易裂变材料的固体废物与废液。

(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 密封放射源广泛用于各种工业应用，包括无损检测（射线照像和测量），以及食品和其他产品的灭菌。密封放射源也被用于工艺过程控制和实验室设备的校准。源中占支配地位的核素以很浓缩的形式存在；其总活度将取决于应用的需要和来自源的发射性质。密封放射源在衰变到不再可用于原来的目的时便被视为废物，这时装入这样的源的装置已经不再使用，或是因为例行试验已经表明密封放射源正在泄漏。

I.11 非密封放射源作为示踪剂在工业中应用的一个实例是，设备和机械中的一些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）的评价。非密封放射源还应用于污水处理工厂监测、填埋处置场地性能研究、地下水运动研究，以及冷却水或气体流出物分散和稀释研究中。在大多数场合，使用短寿命放射性示踪剂。放射性同位素示踪剂技术的工业应用，其规模一般大于在实验室

中的应用。

I.12 密封放射源和非密封放射源还用于应急规划和国防方面的教学和教育。所有这些应用都产生生活度一般很低的废物。

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溶性废物和有机废物，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。

水溶性废物

I.14 在放射性同位素生产设施，水溶性废物来自化学处理过程，主要是靶材料的蚀刻和溶解过程。这种体积一般不大的废物通常被一些放射性核素杂质所污染。取决于所使用的化学工艺方法，水溶性废物在化学上可能有较强的反应性。

I.15 在医院里，水溶性废物的类别将取决于治疗核医学和诊断核医学中所用的技术。用于诊断的放射性同位素，其大多数的半衰期很短（半衰期短于 10 天）。

I.16 代谢路径的研究可能涉及实验室动物。实验室动物可能在工作不同阶段涉及，产生放射性排泄物、血、尸体和垫草。这种材料中的一些可能成为水溶性废物流的一部分，引起潜在的生物危险。在一些场合，半衰期较长的放射性核素被用来标记在这些研究中使用的一些微球。这些微球虽然是固体的，但是他们容易悬浮在液体废物中。小的动物尸体也可能被浸解成为一种适合于作为水基废物排放的液体。

I.17 水溶性废物也从放射化学中子活化分析活动中产生。这种废物虽然在化学组成上可能是极端可变的，但其中的放射性核素往往是相对短寿命的。在一些小的核研究中心，液体废物可能被短寿命放射性素和 ^{14}C 与 ^3H 之类寿命较长的放射性核素所污染。个别用户产生的液体废物数量一般不会很大。但是，来自放射性标记过程的废物可能有相对高的放射性浓度，因而一般不应与较低放射性浓度洗涤溶液相混合。

I.18 工作现场、被污染的设备和设施都可能需要净化、去污和（或）灭菌，于是产生可能具有相关的生物危险的放射性水溶性废物。这种废物可能含有大量用来稳定放射性污染物的络合剂。

放射性有机废液

I.19 液体有机放射性废物一般包括：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。这些类别的液体有机放射性废物大多产生于核研究中心。视其来源，液体有机放射性废物含有相对少量的 β 和 γ 的放射性核素。从放射性核素的应用中产生的液体有机废物数量，与其他类别的放射性废物数量相比一般较小。

I.20 有机闪烁液体一般源自含有芳香有机化合物的材料中的低能 β 和 γ 发射体的测量，以及所研究的样本。这种废物中所含的最常见放射性核素是 ^3H 和 ^{14}C ，而 ^{125}I 和 ^{35}S 则较少见。

I.21 若干种由非水混溶有机溶剂（包括四氯化碳、三氯乙烷和全氯乙烯）构成的废物可能从不同作业中产生。在使用少量水混溶有机溶剂（例如丙酮或醇）的场合，他们一般被作为水溶性废物处理。

I.22 在一些核研究中心，经常被用来萃取铀和钚的溶剂是磷酸三丁酯。为用于这种萃取过程，磷酸三丁酯要经过稀释（通常是用煤油之类的液体稀释）。包括三-和叔-胺-化合物在内的其他有机化合物可能被用来萃取重金属，尽管其用量与磷酸三丁酯的用量相比较通常很小。

固体放射性废物

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类别。这类废物包括机体组织、棉拭、纸、硬纸板、塑料、橡胶手套、防护服和面罩，以及动物尸体和生物材料。

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活动产生的废物。

I.25 这些类别的废物并不是互相排斥的。应当用于固体废物分离的这种分类方法，是以可合理预期用压实或焚化的方法达到的体积减小程度为基础的。在医疗、工业、研究和教学活动中产生的废物主要是可燃废物，并且也可以在没有生物危险的情况下分类为可压缩废物。

I.26 固体废物的碎屑部分包括防护服、塑料布和塑料袋、橡胶手套和面罩、鞋套、揩布和毛巾。这些材料大部分只受到轻微污染。这些材料虽然可能显示为没有可测量的污染，但是起初被分类为放射性废物，纯粹是因为他产生在受控制的场所中。某些个别废物物项可能受到显著污染，尤其是如果他们直接产生于高活度非密封放射源的程序或实验。

I.27 废物密封放射源视其原来的应用可能有很大的活度变化：从校准用源的几千 Bq 到远距治疗用源的几 TBq。虽然废旧密封放射源通常为某一特定营运者产生的放射性废物数量的一小份额，但是他们可能在所产生废物的放射性含量方

面占首要地位。应当注意，远距治疗用源和其他大的源的辐射输出可能已低于有用的水平，但是，这些源造成损伤的能力仍然相当大。尤其应当注意， ^{137}Cs 远距治疗用源一般含有可分散形式的铯化合物，如果他们的一次包容被破坏，可造成严重危险。

I.28 污染的材料和设备可能从医疗活动或研究活动中产生，并且可能成为被拆卸的实验装置或外科植入物的部件。他们可能由玻璃、金属或塑料做成。他们的活度随着用途的不同有很大变化（见表 1 和表 2）。

I.29 一些被活化的材料可能包括来自研究反应堆中同位素生产或材料试验的屏蔽材料和同位素罐。预期他们的活度可能取决于钢中的 ^{60}Co 和其他被活化的杂质。就以回旋加速器为基础的同位素生产而言，起主要作用的核素将是由铜产生的 ^{65}Zn 。活度是辐照和衰变时间的函数。这类物项不大可能是可燃的或可压缩的。

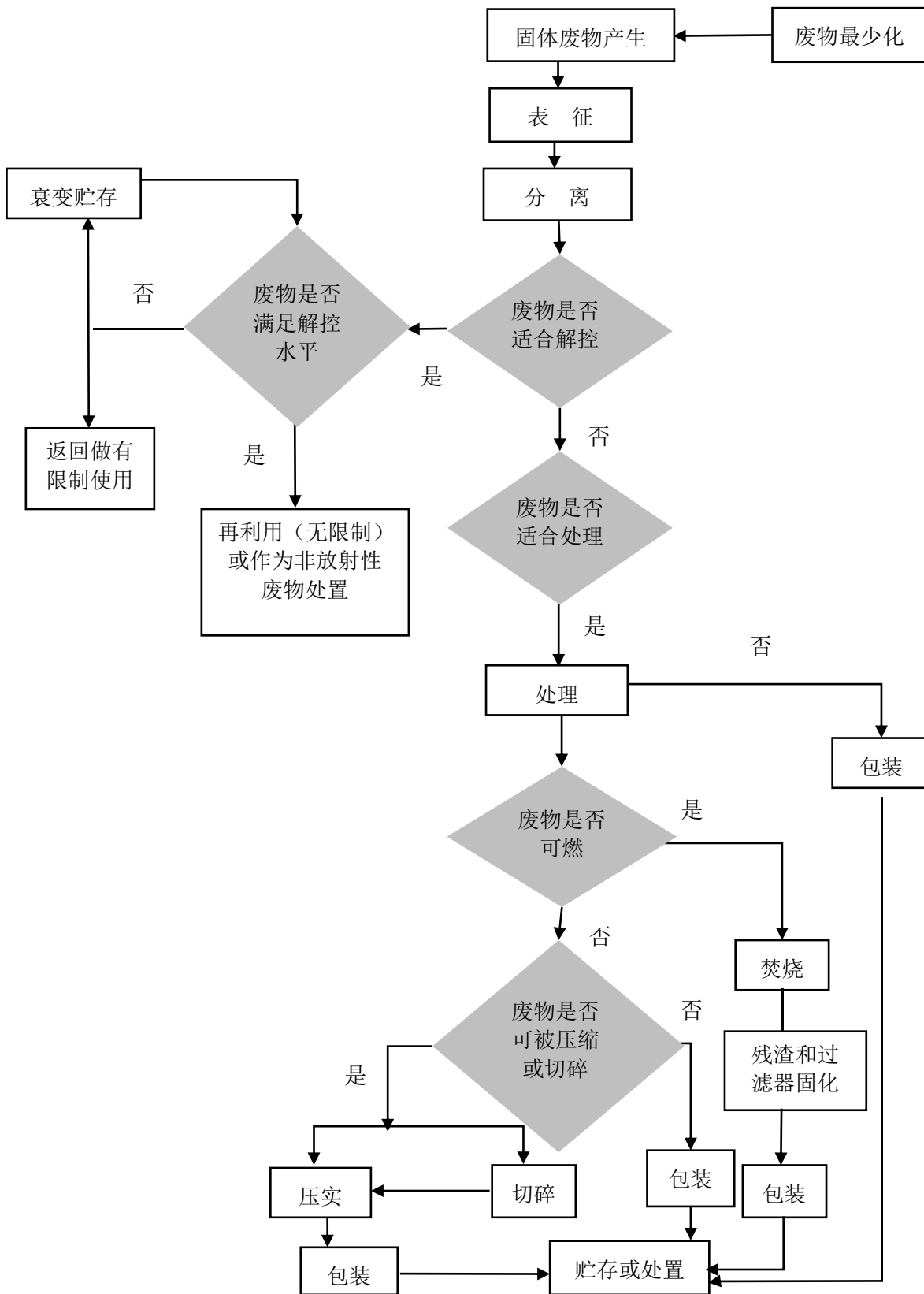
I.30 动物尸体的放射性浓度随动物种类和实验程序而变化。一些尸体如果在处置前被允许分解，可能带来生物危险和化学危险。被长寿命放射性核素污染的尸体需要特别仔细地考虑，尤其在无条件下进行焚烧时。

I.31 处置前废物管理设施的退役可能导致产生包含建筑材料、设备部件和土壤的固体废物。退役废物的主要典型特性是废物物项尺寸大和存在长寿命放射性核素。

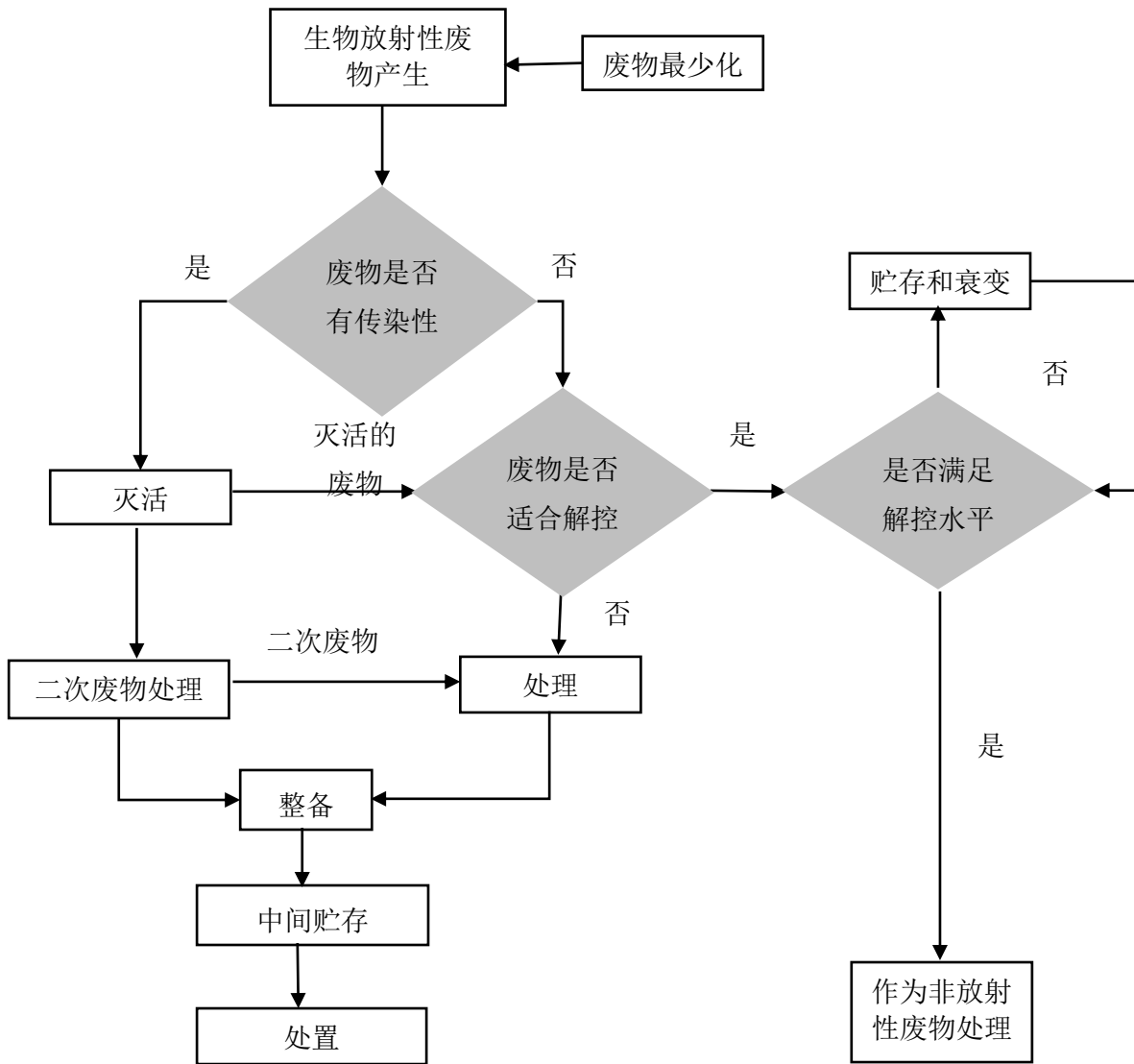
气体或气载放射性废物

I.32 气体或气载放射性废物可能从一系列核应用中产生。为研究肺通气而进行的一种特定医疗应用涉及使用 ^{133}Xe 或 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 或 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 之类的放射性气体和 ^{18}F 和 ^{11}C 之类的短寿命正电子发射体。

附录 II 固体放射性废物管理流程图



附录 III 生物放射性废物管理流程图



附录IV 废旧密封放射源及其管理技术

表 3. 常见废旧密封放射源实例及其管理技术

| 源 | | 类别 | | 应用 | | 操作设备 | | 监测 | 包装 | 贮存容器 |
|-----------------------------------|----------|----------|--------------|-----------|-----|------|--|-------------|-------|-------------|
| 同位素 | 半衰期 | | | | | | | | | |
| α | | | | | | | | | | |
| 低活度 | | | | | | | | | | |
| ^{241}Am | 432.2 年 | 烟探测器 | 避雷针 | 静电消除器 | 手套箱 | 乳胶手套 | | α 探测 | 不锈钢内桶 | 带混凝土 金属桶 |
| ^{210}Po | 138.38 天 | 静电消除器 | | | | 乳胶手套 | | | | |
| ^{238}Pu | 87.74 年 | X射线荧光分析器 | | | 手套箱 | | | α 探测 | 不漏容器 | 带混凝土 金属桶 |
| ^{239}Pu | 24 181 年 | 烟雾探测器 | | | 手套箱 | | | | 不漏容器 | |
| β, γ | | | | | | | | | | |
| 低活度 | | | | | | | | | | |
| 长或短 半衰期 | | | | | | | | | | |
| ^{241}Am | 432.2 年 | 测量仪器 | X射线荧光 分析器 | 骨密度 测量 | | 抓手 | | | 不锈钢内桶 | 带混凝土 金属桶 |
| $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ | 28.2 年 | 测量仪器 | 近距离测量 | | | 橡胶手套 | | | | |

续表 3. 常见废旧密封放射源实例及其管理技术

| | | 类别 | | 操作设备 | | 监测 | 包装 | 贮存容器 |
|-----------------|-------------------|---------|----------------|------|------|-----|-----------------------|------------------------|
| 源 | 同位素 | 半衰期 | 应用 | | | | | |
| | ^{147}Pm | 2.6 年 | 测量仪器 | | 橡胶手套 | | | |
| | ^{63}Ni | 100 年 | 电子俘获探测器 | | 橡胶手套 | | | |
| | ^{109}Cd | 462.6 天 | X 射线荧光分析器 | | 橡胶手套 | | | |
| | ^{60}Co | 5.3 年 | 测量仪器 | 校准 | 屏蔽屏 | 抓手 | β, γ 探测 | 铅屏蔽罐 带混凝土和铅 的金属桶 |
| | ^{137}Cs | 30.2 年 | 测量仪器 | 校准 | 屏蔽屏 | 抓手 | | 铅屏蔽罐 带混凝土和铅 的金属桶 |
| β, γ | 高活度 | | 短半衰期 | | | | | |
| | ^{192}Ir | 73.8 天 | γ 射线照像法 | | 铅热室 | 机械手 | β, γ 探测 | 铅屏蔽罐 带混凝土 金属桶 |

续表 3. 常见废旧密封放射源实例及其管理技术

| | | 类别 | | 操作设备 | | 监测 | 包装 | 贮存容器 |
|-----------------|-------------------|--------|----------------|-------|-----|-----------------------|-------------|-------------------|
| 源 | 同位素 | 半衰期 | 应用 | | | | | |
| | ^{170}Tm | 134 天 | γ 射线照像法 | 屏蔽屏 | 抓手 | | 不锈钢篮 | |
| | ^{169}Yb | 32 年 | γ 射线照像法 | 屏蔽屏 | 抓手 | | | |
| | ^{75}Se | 120 天 | γ 射线照像法 | 屏蔽屏 | 抓手 | | | |
| β, γ | 高活度 | | 长半衰期 | | | | | |
| | ^{60}Co | 5.3 年 | γ 射线照像法 | 铅热室 | 机械手 | β, γ 探测 | 铅容器 | 带混凝土的 400L 金属桶 |
| | ^{60}Co | 5.3 年 | 远距治疗 | 混凝土热室 | 机械手 | | 铅容器 | 或混凝土 容器 |
| | ^{60}Co | 5.3 年 | 辐照器 | 混凝土热室 | 机械手 | | 特种容器, 待定 | 特种容器, 待定 |
| | ^{137}Cs | 30.2 年 | 辐照器 | 混凝土热室 | 机械手 | | 特种容器, 待定 | 特种容器, 待定 |

续表 3. 常见废旧密封放射源实例及其管理技术

| | | 类 别 | | | 操作设备 | | 监测 | 包装 | 贮存容器 |
|-------|-----------------------------|---------|-------------|--------------|-------|----|-----------------|-------|--------------|
| 源 | 同位素 | 半衰期 | 应 用 | | | | | | |
| | ^{226}Ra | 1600 年 | 避雷针 | 静电消除器 | 手套箱 | 抓手 | γ 探测 | 不漏容器 | 铅屏蔽容器 |
| | ^{85}Kr | 10.7 年 | 测量仪器 | 避雷针 | 手套箱 | 抓手 | 空气 控制 | | |
| | ^3H | 12.3 年 | 电子俘获 探测器 | X射线荧光 分析器 | 手套箱 | 抓手 | ^3H 控制 | 不锈钢内桶 | 带混凝土 的金属桶 |
| ----- | | | | | | | | | |
| 中子 | | | | | | | | | |
| 中子 | $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ | 432.2 年 | 水分探测器 | 石油测井 | | | 中子 探测器 | | 中子防护 |
| 中子 | ^{252}Cf | 2.65 年 | 水分探测器 | 石油测井 | 近距离治疗 | | | | 中子防护 |
| 中子 | $^{226}\text{Ra}/\text{Be}$ | 1600 年 | 水分探测器 | 石油测井 | | | | | 中子防护 |
| 中子 | $^{238}\text{Pu}/\text{Be}$ | 87.74 年 | 水分探测器 | 校准仪器 | | | | | 中子防护 |