

国外放射性废物最小化丛书 NO.7

# 放射性废物的最小化和区分

## MINIMIZATION AND SEGREGATION OF RADIOACTIVE WASTES

张 威 译

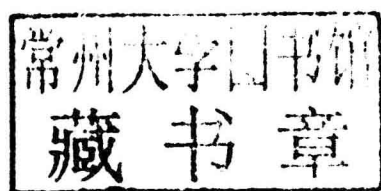


原子能出版社

国外放射性废物最小化丛书 No. 7

# 放射性废物的最小化和区分

张 威 译  
杨建文 校



原子能出版社

IAEA-TECDOC-652

# 放射性废物的最小化和区分

用于管理产生自小型核研究中心和  
医疗、研究及工业的放射性同位素使用者的  
低、中水平放射性废物的技术手册

国际原子能机构  
1992 年 7 月

## 图书在版编目(CIP)数据

放射性废物的最小化和区分/国际原子能机构著;张  
威译. —北京:原子能出版社,2010.3  
ISBN 978-7-5022-4819-2

I. 放… II. ①国… ②张… III. 放射性废物处置—研究  
IV. TL942

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 030912 号

## 内 容 简 介

本文是国际原子能机构于 1992 年出版的技术报告译文。该技术报告的目的是向没有核电计划的国际原子能机构成员国提供关于放射性废物最小化和区分的指导。报告的内容主要针对核研究、放射性同位素生产和使用中产生的数量有限和短寿命放射性为主的废物。报告涉及了废物分级、废物产生、废物管理基本结构、废物最小化、区分废物等内容。

### 放射性废物的最小化和区分

---

总 编 辑 杨树录  
责任编辑 孙凤春  
责任校对 冯莲凤  
责任印制 丁怀兰 潘玉玲  
印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司  
出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)  
经 销 全国新华书店  
开 本 787 mm×1092 mm 1/16  
印 张 2.875 字 数 72 千字  
版 次 2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5022-4819-2 定 价 15.00 元

---

网址: <http://www.aep.com.cn>

发行电话: 68452845

E-mail: [atomep123@126.com](mailto:atomep123@126.com)

版权所有 侵权必究

# 前言

放射性废物最小化是放射性废物管理的基本原则之一,主管部门和监管部门都很重视。它既涉及环境的安全也与经济效益直接相关。2009年初国家国防科技工业局下达了“放射性废物最小化战略和顶层设计研究”项目,这一计划得到环境保护部(国家核安全局)以及中国核工业集团公司、中国广东核电集团有限公司、中国电力投资集团公司和中国清原环境技术工程有限责任公司的支持。“放射性废物最小化战略和顶层设计研究”总体组由潘自强、刘森林、范仲、李俊杰、马成辉、边慧英、刘建桥、刘振河、刘振领、何文新、李忠镒、李承、陈凌、费洪澄、黄来喜、鲍家斌、程理、潘英杰等组成。

在《放射性污染防治法》中规定“第三十九条,核设施营运单位、核技术利用单位、铀(钍)矿和伴生放射性矿开发利用单位,应当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。”在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)中规定“8.5.1 注册者和许可证持有者应确保在现实可行的条件下,使其所负责实践和源所产生的放射性废物的活度与体积达到并保持最小。”这些法律和标准对放射性废物最小化提出了原则和要求。为了贯彻执行这一原则和要求,有必要进行深入的研究和分析。

为了借鉴国外放射性废物最小化的经验,项目组组织了对国外有关废物最小化文献的编译工作,并以丛书形式出版。该套丛书共分八册:第一分册《国外一些废物最小化规定与实践》;第二分册《核设施设计阶段废物最小化的考虑》;第三分册《铀尾矿管理和限定的现状》;第四分册《铀纯化、浓缩和燃料制造废物最小化》;第五分册《核电站和核燃料循环后段的放射性废物最小化》;第六分册《核设施去污和退役中放射性废物最小化的方法》;第七分册《放射性废物的最小化和区分》;第八分册《核燃料循环设施废物流中材料与部件的再循环再利用》。上述文献均系放射性废物最小化的基本材料,有些文献是20世纪90年代初出版的,但仍然有较大参考价值。文献翻译得到了国际原子能机构和有关单位的支持,在此表示衷心的感谢。

# 前言

国际原子能机构(IAEA)在近 30 年中已出版了有关放射性废物管理的技术报告系列和安全系列文献。这些文献向成员国介绍了应用于放射性废物管理的基本参考资料和“最新”技术的综合概述。

许多面临特定废物管理问题的国家需要帮助,这种需要已在 IAEA 活动中得以体现,这些活动包括技术援助项目和废物管理咨询计划(WAMAP)行动。技术报告系列和安全系列文献通常反映了:

- 基于一些国家在管理核燃料循环废物已有的经验和资源的技术方案;
- 所产生放射性废物的体积和活度要比没有核电的国家高几个数量级。

为满足成员国对废物管理问题的简便和低费用解决方案的需求,现在正在编制一套新的系列技术文献。这些文献将:

- 给出最大可能使用本土资源的指南;
- 为有效的应用技术而提供循序渐进式程序;
- 推荐可以结合在总体国家废物管理计划中的技术程序。

这套系列称为“管理产生自小型核研究中心和医疗、研究及工业的放射性同位素使用者的低、中水平放射性废物的技术手册”,该系列将作为技术援助任务专家的参考资料使用,并为成员国的技术人员提供“直接的专有知识”。目前,已确定如下手册:

- 放射性废物的最小化和区分
- 放射性废物的贮存
- 废密封源的操作、整备和处置
- 放射性废液的操作和处理
- 放射性固体废物的处理和整备
- 动物尸体和生物材料的处理和整备
- 放射性有机液体的处理和整备

— 来自于研究堆的废离子交换树脂、沉降泥浆和其他放射性浓缩物的处理和整备

— 集中式废物处理和贮存设施的设计

手册编制的顺序是基于成员国需求的优先级,在本计划实施过程中,也可能认识到还有其他领域的技术需求。基于这种考虑,只要其他手册或调整证明是必要的,本计划可以灵活调整。

本手册的目的是向没有核电计划的成员国提供关于放射性废物最小化和区分的必要指导,它是实现有效的废物管理体系的首要步骤和基础。首先是要防止不必要的材料量和放射性成分进入废物中,这具有公认的益处,并且在此之后必须进行有效的分拣,以利用最佳的处理、整备、贮存和处置方案。

IAEA 希望表达对此项目咨询人员的感谢,他们是参与本文献编写的 D. O. Dumas( E. I. Du Pont de Nemours (E. I.) and Co., Massachussetts, 美国)和 M. W. Wakerley(ANS 咨询有限公司, Epsom, 英国)。IAEA 的负责人员是核燃料循环和废物管理处的 G. R. Plumb 和 V. S. Tsyplenkov。

## 编者按

为将本资料出版,国际原子能机构工作人员将原手稿进行了装订和编页,并且注意了表述。

文中表达的观点并不一定反映主办及提供赞助的成员国政府或组织的观点。

在文中使用的国家或地区的名称并不表达出版者、IAEA 对这些国家或地区其主权或其疆界的法律地位有任何决定。

文中提及特定公司或其产品或商标并不表示国际原子能机构对它的认可或推荐。

# 国外放射性废物最小化丛书

## 编审委员会

潘自强 刘森林 刘福东 杨建文 徐勇军 崔安熙 黄 勃

## 《放射性废物的最小化和区分》

## 译校人员

翻译 张 威  
校对 杨建文

# 目 录

|                   |      |
|-------------------|------|
| <b>1 引 言</b>      | (1)  |
| 1.1 背 景           | (1)  |
| 1.2 目 标           | (2)  |
| 1.3 范 围           | (2)  |
| <b>2 废物分级</b>     | (4)  |
| 2.1 放射性分级         | (4)  |
| 2.1.1 豁免概念        | (4)  |
| 2.1.2 处置分级        | (5)  |
| 2.1.3 废物搬运和处理的分级  | (7)  |
| 2.2 物理/化学分级       | (8)  |
| 2.2.1 物理特性        | (8)  |
| 2.2.2 化学特性        | (9)  |
| 2.2.3 生物特性        | (10) |
| <b>3 废物产生</b>     | (11) |
| 3.1 废物来源          | (11) |
| 3.1.1 核研究         | (11) |
| 3.1.2 放射性同位素的生产   | (11) |
| 3.1.3 放射性同位素的应用   | (12) |
| 3.1.4 核设施的去污和退役   | (13) |
| 3.2 废物数量          | (13) |
| <b>4 废物管理基本结构</b> | (15) |
| 4.1 国家政策          | (15) |
| 4.2 立法和法规         | (15) |
| 4.3 执行和实施         | (16) |
| 4.4 国家培训计划        | (16) |
| 4.5 废物管理设施        | (16) |
| 4.6 公众知情计划        | (17) |
| <b>5 废物最小化</b>    | (18) |
| 5.1 减少源项          | (18) |
| 5.1.1 厂房设计        | (19) |
| 5.1.2 工艺控制        | (20) |

5.2 再循环和再利用..... (21)

5.3 废物处理..... (22)

**6 区分废物 ..... (23)**

6.1 一般考虑..... (23)

6.2 固体废物..... (24)

6.2.1 监测..... (24)

6.2.2 收集和包装..... (24)

6.2.3 记录..... (26)

6.3 液体废物..... (27)

6.3.1 监测..... (27)

6.3.2 收集..... (27)

6.3.3 记录..... (28)

**7 结 论 ..... (29)**

**附录 I ..... (30)**

**附录 II ..... (34)**

**参考文献 ..... (35)**

# 1 引言

## 1.1 背景

几乎在所有将利用放射性材料作为其操作过程一部分的活动中,都产生放射性废物。通常,此类活动包括核燃料循环(用于发电)以及非燃料循环活动中的所有步骤。在没有核电的成员國中,放射性同位素的生产和应用正在不断增加,因此必须要相应的建立废物管理体系。在废物管理计划的最初阶段,要采取一系列行动,以将废物转化成为符合后续管理步骤规定或接收准则的形态。一个总体废物管理方案一般包括下列步骤中的几个或全部步骤:区分、处理、整备、贮存、运输和处置。对于废物管理中的每一个步骤,包括废物安全处置在内,例如从填埋场处置、直接排放到环境直至深地质处置,都有多种可供选择的方法。

为了获得一个满意的总体废物管理策略,各步骤之间必须相互补充并且相互适应。在图1中给出了一个典型的废物管理体系示意图。

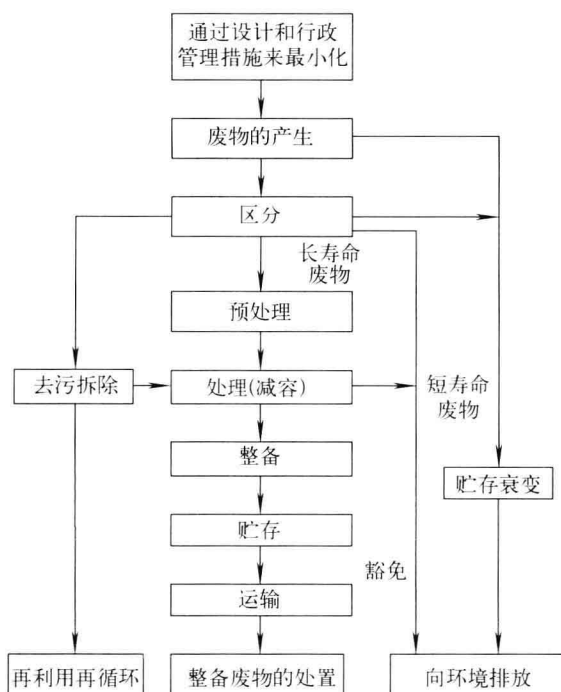


图1 一个废物管理体系的流程图

要对所有不同步骤进行评价,评价时这些步骤不仅仅是作为过程中的孤立步骤,而且还要作为步骤之间相互依赖的整个系统的一部分。这种依赖性就是为何要在所有不同步骤中有必要开展质量控制的原因。

此系统的前两个步骤是产生自辐射和核材料的应用中的放射性废物的最小化和区分,这两个步骤是非常重要的,主要是因为它们会带来:

(1) 费用减少;以及

(2) 减少剂量损害。

通常而言,完全避免放射性废物的产生是不现实的,但是可以减少:

(1) 废物的放射性活度含量;

(2) 包含放射性的废物体积;以及

(3) 定级为放射性材料的数量。

这是放射性废物管理的基本目标。在所有产生废物的设施和废物管理设施的设计和运行中,应充分考虑这些目标。

尽管使用了最好的最小化措施,包括具有高可靠性的设计特性、有效的设备和操作程序,在放射性同位素生产和应用的过程中仍不可避免地出现大量的放射性废物。随着放射性废物量的不断增加,除了保持最小化目标之外,进一步的目标,即对废物进行区分或分拣就变得十分重要,因为这利于废物的安全包容和经济的管理。

正确实施放射性废物区分还将使得:

(1) 废物处理方法和设施更为简单;

(2) 事件风险更小;

(3) 对产生的废物进行表征更为简单;

(4) 需要长期贮存和处置的放射性废物的体积更小;

(5) 回收有价值的材料以循环使用。

对于短半衰期放射性废物,一般考虑采用最小规模的处理设施,允许最简单的废物管理操作,即把对未整备的放射性废物进行贮存衰变作为唯一的处理措施,直至将废物作为豁免或极低放材料排放至环境。

在一些更大规模应用放射性同位素的国家中,其具有核研究中心和许多小的用户,长寿命放射性废物在其废物中所占的比例增加。除了通过贮存衰变来简单处理未整备废物之外,必须要对液体和固体废物进行处理,以进行减容、固化、包装,并运至长期暂存库直至处置。

对于所考虑的废物,最小化和区分策略的选择是与总体废物管理规划的选择密切相关的,它也可能是一个囊括许多废物类型的更大方案的一个部分。

## 1.2 目 标

本报告作为一系列技术手册的其中之一,目的是针对没有核电,从而不需要相关的一系列复杂的废物管理运作的国家,为其放射性同位素使用者和研究中心的工作人员提供参考资料和直接的专门知识。本报告仅考虑废物的最小化和区分,它们是最初的步骤,也是整个废物管理体系有效性所依赖的步骤。

## 1.3 范 围

本文中对最小化和区分操作的考察范围是针对来自核研究、放射性同位素的生产和使用中,数量有限和短寿命放射性占主导的废物。报告中仅考虑液体和固体废物。

气体废物最小化和处理是专门的课题,不在本报告中讨论。对低中水平放射性材料操作设施中气体流出物的处理,已作为一个主题在 IAEA 的报告<sup>[1]</sup>中进行了详细讨论。

在以前的手册<sup>[2]</sup>中已专门讨论了废密封源的管理。在考虑暂存和处置的区分安排时必须注意已经整备的密封源,它们中有极长寿命和高放射毒性的同位素,特别是镭或镅。它们不适合与其他废物一起进行浅地表填埋。

## 2 废物分级

在大多数国家,国家和/或当地政府、国家废物管理机构和集中式废物处理设施会制订一个详细的法规和要求框架,放射性废物的管理要在此框架下开展。国家法规经常与运输和处置要求相关,而处理和整备规定是由废物管理机构制订。后一种规定源于典型工艺特性和局限性,并且包括经整备废物的处置接收准则。

许多国家的运输法规是基于 IAEA 安全系列第 6 号<sup>[3]</sup>。IAEA 法规规定了包装和标识要求,根据放射性内容物(例如固体材料)定义了放射性材料运输类别,并且确定了可接受的辐射剂量水平。

对于向环境排放放射性流出物和/或处置废物,通常要对废物产生者施加一系列要求:根据废物的尺寸、物理化学组成和放射性组成对废物进行分类和包装。这些规定考虑了后续的减容过程和在源头分类的运行需要。

废物产生者必须作出一些决策,以符合上述约束并优化废物管理。

可使用各种方法对产生自核运行的各种固体和液体废物进行分级。分类可基于:

- (1) 放射性特性;
- (2) 物理化学特性;
- (3) 来源。

单个废物的特性决定了在国家和国际法规限制范围内可采用的管理方案。

### 2.1 放射性分级

#### 2.1.1 豁免概念

对于将少量极低放废物从对放射性废物处置的一般监管控制中豁免出来,在国际上对这个问题已考虑了许多年<sup>[4-7]</sup>。

长期以来已形成这样的共识:如果将含有放射性的所有废物材料都作为放射性废物进行处理和处置的话,此类材料的数量将会很大并且费用会很高。实际上许多含有少量放射性核素的物质的潜在危害是很小的。

对这种废物的监管没有好处,并且通常认为更适宜的方法是将它们进行区分,以从监管控制要求中豁免。

IAEA 与 OECD/NEA 已合作出版了一份关于将辐射源和实践从监管控制豁免的原则的安全导则<sup>[8]</sup>。确定一个实践是否能够从监管控制中豁免出来有两个特定的基本准则:

- (1) 单一风险必须足够低,以致不会引起审管关切;以及
- (2) 包括监管控制费用在内的辐射防护必须得到优化。

国际上还给出了关于处置极低水平放射性废物原则的应用指南<sup>[4]</sup>。制订豁免水平的责任归于国家主管部门。因此豁免是一种行政管理程序,在此程序中,低于某一浓度水平或数量的废物可以免除管制,并且作为非放射性废物对待。为豁免而进行的分类是减少废物处

置问题的一个重要手段。但是必须强调的是,只有低于豁免浓度的废物流,才能作为豁免废物。不能滥用豁免方案。

机构目前正在编制一份导则,内容是关于将豁免原则实际应用于医院和研究实验室放射性核素使用所产生的废物。同时,在没有关于豁免处置的具体国家法规存在的情况下,可参考 IAEA 安全系列第 70 号中给出的指导<sup>[9]</sup>。在附件 I 中转载了安全系列第 70 号的相关部分。

## 2.1.2 处置分级

不能立即作为豁免废物处置的,或者在一定合理衰变时间之后仍不能豁免的所有放射性废物,必须进行安全处置。废物处置可在一个专门的放射性废物设施中进行,或者通过经批准的向环境直接排放、扩散的方式进行。

对放射性废物处置的控制通常通过一个主管机构向处置者发布许可、许可证或授权来实现。此类许可证通常规定了各种废物的处置路线,以及以比活度和/或总活度形式的限值,以作为处置者必须遵守的条件。在发放授权时,主管部门应考虑处置者遵守其条件的能力,包括记录保持、培训安排,以及维持对处置程序的行政检查。

### 在授权内向环境排放的要求

在打算选择和设计一个废物处理系统前,应了解液体和气体废物流出物排放的约束值或限值<sup>[10]</sup>。在不同的国家,这些限值的确定是不一样的,但不管怎样都要求废物产生者和监管机构进行详细的分析,以对可接受的排放达成一致。IAEA 安全系列报告第 77 号提出了建立排放限值的基本原则<sup>[10]</sup>。报告中指出应对涉及向环境排放放射性核素的实践进行优化,也就是说,对公众和工作人员的相关辐射剂量应符合可合理达到尽量低的原则(ALARA),并且剂量要低于特定限值。评价这些辐射剂量可能会涉及使用环境模型,该模型表述了放射性核素通过大气扩散、沉积以及通过陆地和水体食物链的转移过程向人类的传输。公众成员的剂量限值是通过限制所识别的关键人群组的剂量来实现的,所谓关键人群组就是居住地、习惯等能够代表最高受照的一组人。

ICRP 规定了剂量限值,但由于一个个体可能会受照于多于一个的辐射源,因此对于任意给定的实践,只能分配全部剂量限值中的一个份额。ICRP 在其最近的建议中<sup>[12]</sup>提出了术语“剂量约束”,它是剂量限值中的一个份额,可用于单一实践。剂量约束作为优化过程的上限来使用。剂量约束值应由国家部门来制定。ICRP 规定的旧剂量限值和新剂量限值在表 1 中给出。

表 1 ICRP 推荐的有效剂量限值

mSv/a

|      | 1977 年(旧) <sup>[11]</sup> | 1991(新) <sup>[12]</sup> |
|------|---------------------------|-------------------------|
| 工人   | 50                        | 20 <sup>1)</sup>        |
| 公众成员 | 5                         | 1 <sup>2)</sup>         |

1) 5 年内平均 20 mSv/a,单一年不超过 50 mSv/a。

2) 1 mSv/a,或者在特定条件下 5 年内平均 1 mSv/a。

如果计算显示剂量大于剂量约束,则不能进行所计划的排放,除非采取一些减少排放的措施。

目前有几种管理废物流的方案,每一种方案都涉及向环境的一定排放。例如,图 2 中的直接排放、处理后排放、贮存后排放。一些最初考虑的方案可能由于非辐射防护原因而被放弃,例如出于费用或运行上的原因。

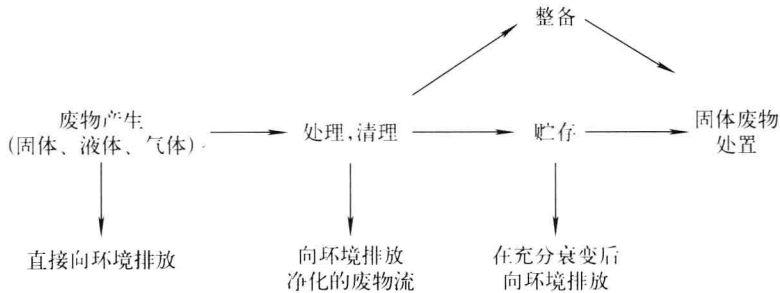


图 2 废物处置方案

下一阶段是通过选择控制方案来优化防护,为此辐射剂量要符合可合理达到尽量低的原则(ALARA),必须考虑所有方案所涉及的辐射剂量和费用。这就要评价处理和贮存设施操作人员的辐射剂量,以及排放对一般公众的辐射剂量。

一旦对于提议的废物处理方案的适用性达成一致,国家部门就会向废物产生者发放一个排放授权,其中详细规定了在排放点应满足的特定要求:

- (1) 流出物的最大允许放射性活度浓度;
- (2) 流出物的流量和总体积;
- (3) 总活度以及核素单体或核素组的每日、每月和/或每年的放射性排放量。

### 陆地处置的要求

对于不能排放到环境的放射性废物,必须要采用特定的处置设施(处置库)处置。对于放射性废物处置,最重要的放射性参数是长寿命放射性核素的浓度,特别是  $\alpha$  辐射体的浓度。

IAEA 提出过一个定性的与处置相关的放射性废物分级。考虑到特性,比如半衰期和发热能力,提出了五种类别。分类是基于废物已得到合适的整备和包装的假定。该分级在表 2 中给出<sup>[13-14]</sup>。

表 2 针对处置的废物类别的一般特性<sup>[13]</sup>

| 废物类别 |        | 重要特征 <sup>1)</sup>                                 |
|------|--------|----------------------------------------------------|
| I    | 高放,长寿命 | $\beta/\gamma$ 放射性高, $\alpha$ 放射性显著,放射毒性高,释热高      |
| II   | 中放,长寿命 | $\beta/\gamma$ 放射性中度, $\alpha$ 放射性显著,放射毒性中度,释热低    |
| III  | 低放,长寿命 | $\beta/\gamma$ 放射性低, $\alpha$ 放射性显著,放射毒性低/中度,释热不显著 |
| IV   | 中放,短寿命 | $\beta/\gamma$ 放射性中度, $\alpha$ 放射性不显著,放射毒性中度,释热低   |
| V    | 低放,短寿命 | $\beta/\gamma$ 放射性低, $\alpha$ 放射性不显著,放射毒性低,释热不显著   |

1) 特征是定性的,并且在一些情况下会有变化;

“不显著”说明其特征对于处置目的一般可以忽略。

第Ⅳ和第Ⅴ类具有不显著的 $\alpha$ 活度和释热量,以及低中水平的放射毒性,适于浅层地表处置。除了废密封源外,发展中国家产生的废物基本上在这两类范围之内。对于含有长寿命放射性核素多于特定数量的放射性废物,需要进行深地质处置。

许多发达成员国在法规中对处置废物进行量化分级<sup>[15-16]</sup>。这些法规通常对单个包装中的和废物中平均的放射性核素浓度进行限制。这些值是通过安全评估确定的,在安全评估中,要分析人类在处置库运行期间和关闭后可能受到照射的景象和途径。通常认为不可能给出 $\beta/\gamma$ 辐射体的一般适用值,因为它们会依照处置场特点而变化。当然, $\alpha$ 辐射体的限制值变化较小,国家和国际文献中已给出了相应值<sup>[17]</sup>。表3给出基于个人剂量限值1 mSv/a的 $\alpha$ 辐射体放射性核素的参考水平。

表3 在参考文献[17]中应用当前使用的准则导出的放射性核素浓度参考水平的比较

| 参考水平, $\alpha$ 辐射体放射性核素/(Bq/g) |                                  | 备 注                                                                                                           |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 美国(NRC一般限值)                    | 400                              | 未固定废物,近地表 <sup>1)</sup>                                                                                       |
|                                | 4 000                            | 固定废物,更深 <sup>1)</sup>                                                                                         |
|                                | 4 000                            | DOE对超铀、 $\alpha$ 发射体放射性核素的废物包装限值                                                                              |
| 法国(芒什处置场)                      | 400                              | 场址平均                                                                                                          |
|                                | 4 000                            | 一个容器中的最大值,埋置的废物                                                                                               |
|                                | 200                              | 一个容器中的最大值,在覆盖土中的废物                                                                                            |
| 英国                             | 4 000                            | 处置操作的一天平均值;从20 mCi/m <sup>3</sup> 转化而来,假定废物密度为0.2 t/m <sup>3</sup> (典型的未压缩低放废物);附加准则确保在Drigg的废物的实际浓度低于限值大约10倍 |
| NEA,参考[17]第3-5条                | 10~1 000                         | 对于在NRIZ填埋的废物的平均值; <sup>226</sup> Ra排除在外                                                                       |
|                                | 10 <sup>3</sup> ~10 <sup>4</sup> | 对于在低于NRIZ深度和高于20 m深度填埋的废物的平均值; <sup>226</sup> Ra排除在外                                                          |

1) 限值是单个容器,并且仅适用于 $\alpha$ 发射体、半衰期超过5 a的超铀放射性核素。

### 2.1.3 废物搬运和处理的分级

废物的放射性水平对搬运和处理操作的影响,主要是由于其所导致的屏蔽要求。IAEA建议了一个废液的分级体系,并在表4中给出<sup>[18]</sup>。

表4 液体废物分级

| 分类        | 溶积放射性混合 $\beta/\gamma$ 辐射体 <sup>1)</sup>         | 备 注                       |
|-----------|--------------------------------------------------|---------------------------|
| 低放废液(LLW) | 1 < 37 kBq/m <sup>3</sup>                        | 不需要处理;测量后排放 <sup>2)</sup> |
|           | 2 37 kBq/m <sup>3</sup> ~37 MBq/m <sup>3</sup>   | 处理,不需要屏蔽                  |
|           | 3 37 MBq/m <sup>3</sup> ~3.7 GBq/m <sup>3</sup>  | 处理,根据放射性核素组成可能需要屏蔽        |
| 中放废液(ILW) | 4 3.7 GBq/m <sup>3</sup> ~370 TBq/m <sup>3</sup> | 处理,任何情况下都需要屏蔽             |

1)  $\alpha$ 活度浓度是可以忽略的。所给出的活度可能是经过对短寿命放射性同位素适当贮存衰变后的数值。

2) 与排放速率有关,由相应主管部门进行许可。