

放射性废物最小化丛书第 8 分册

污染材料再循环再利用

刘进军 郭喜良 编著

中国原子能出版社

放射性废物最小化丛书第8分册

污染材料再循环再利用

刘进军 郭喜良 编著
崔安熙 冷瑞平 审

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

污染材料再循环再利用/刘进军,郭喜良编著. —北京:
中国原子能出版社, 2015. 2
ISBN 978-7-5022-6521-2

I. ①污… II. ①刘…②郭… III. ①放射性废物-
废物综合利用-研究 IV. ①TL941

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 035461 号

内 容 简 介

放射性废物最小化是放射性废物管理的基本原则之一,废物最小化可通过资源再利用、系统设计和设施运行等各个环节的优化管理来实现。其中,污染材料特别是轻微污染材料的再循环再利用,是实现废物最小化的有效途径之一。本书共分 7 个章节,主要从废物管理的角度出发,论述了放射性污染材料再循环再利用的几个主要问题。如对放射性废物的管理、废物最小化的要求和再循环再利用概念,以及再循环再利用相关国家政策与法规依据;放射性轻微污染材料的特性,以及污染材料再循环再利用的影响因素;国内外污染材料再循环再利用实践,国内现状和存在的问题。最后给出结论和建议。

污染材料再循环再利用

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 孙凤春

技术编辑 冯莲凤

责任印制 潘玉玲

印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 4.125 字 数 103 千字

版 次 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-6521-2 定 价 20.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

“放射性废物最小化战略 和顶层设计研究” 总体组

组 长:潘自强

副组长:刘森林

成 员:(按姓氏笔画排列)

马成辉	边慧英	刘建桥	刘振河	刘振领
李 承	李忠镒	李俊杰	何文新	陈 凌
范 仲	费洪澄	黄来喜	程 理	鲍家斌
潘英杰				

放射性废物最小化丛书 编辑委员会

主 任:潘自强

副主任:刘森林

委 员:(按姓氏笔画排列)

马成辉	毛亚虹	毋 涛	边慧英	刘振河
刘振领	刘新河	孙东辉	李 承	李 夏
李忠镒	李俊杰	杨华庭	何文新	冷瑞平
陈 凌	范 仲	罗上庚	费洪澄	黄 慧
黄来喜	崔安熙	康玉峰	程 理	

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。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 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。

核工业主管部门、监管部门和经营部门都很重视放射性废物最小化。它既涉及辐射安全、环境安全,也与经济效益直接相关。2009 年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,这一计划同时得到了环境保护部(国家核安全局)以及中国核工业集团公司、中国广核集团有限公司、中国电力投资集团公司、中核清原环境技术工程有限责任公司的支持。项目负责单位是中国原子能科学研究院,子课题负责单位是中国核电工程有限公司、中国辐射防护研究院、中国核燃料有限公司、中核金源铀业有限公司和中国原子能科学研究院。参加单位包括广东大亚湾核电环保有限公司、中核清原环境技术工程有限公司、中核新能核工业工程有限责任公司、中核建中核燃料元件有限公司、中核北方核燃料元件有限公司、中核兰州铀浓缩公司、中核四〇四有限公司、中国核电工程有限公司郑州分公司、核工业第四研究设计有限公司、中核北方铀业有限公司、湖南核工业宏华机械有限公司、中核韶关锦原铀业有限公司、中核抚州金安铀业有限公司、核工业北京化工冶金研究院、新疆中核天山铀业有限公司、中核二七二铀业有限责任公司、中国核动力研究设计院和清华大学核能与新能源技术研究院。

课题的前期工作始于 2007 年,2009 年正式立项,2011 年年底完成。研究工作分 6 个专题:放射性废物最小化战略与政策总体研究、核燃料循环前段放射性废物最小化、核电厂放射性废物最小化、核燃料循环后段放射性废物最小化、核与辐射技术利用和研究堆放放射性废物最小化以及放射性废物最小化实用专项技术研究。完成技术研究报告 13 份,废物最小化技术导则建议稿 11 份。为了让更多人了解放射性废物最小化,将其中的主要内容以放射性废物最小化丛书形式编辑出版。放射性废物最小化丛书包括:废物最小化研究总论,核电厂放射性废物最小化(第 1 分册),铀转化、浓缩、元件制造过程中放射性废物最小化(第 2 分

册),铀矿冶放射性废物最小化(第3分册),核燃料后处理放射性废物最小化(第4分册),研究堆放射性废物最小化(第5分册),核与辐射技术利用放射性废物最小化(第6分册),核设施退役放射性废物最小化(第7分册),污染材料再循环再利用(第8分册)和放射性废物分拣(第9分册)。

书中可能存在一些不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

潘自强 刘森林

2013年

分册前言

核设施运行和退役过程中会产生相当数量的放射性污染材料,其中有些污染材料本身具有进一步的利用价值,经过适当的处理和管理程序可以进入再循环再利用的环节,这一方面减少了新材料的使用量,节约了资源,有利于保护环境和核能事业的可持续发展;另一方面减少了放射性废物的产生量,有助于实现核设施运行和退役过程的放射性废物最小化。放射性废物最小化是放射性废物管理的基本原则之一,废物最小化可通过资源再利用、系统设计和设施运行等各个环节的优化管理来实现。其中,污染材料特别是轻微污染材料的再循环再利用,是实现废物最小化的有效途径之一。本书主要从废物管理的角度出发,论述了污染材料再循环再利用的几个主要问题。

本书共分7个章节,第1章为概述,包括放射性废物管理、废物最小化要求和再循环再利用概念介绍;本书的目的和意义。第2章为再循环再利用相关国家政策与法规依据。第3章为放射性轻微污染材料的特性,包括材料类型,来源及数量。第4章为污染材料再循环再利用的影响因素,包括监管控制要求、技术可行性、公众接受度、经济因素等。第5章为国内外污染材料再循环再利用实践,包括污染金属、污染混凝土、石墨、废树脂等。第6章为国内现状和存在的问题。第7章为结论和建议。本书各部分的主要执笔人是:前言刘进军、郭喜良;第1章刘进军;第2章郭喜良;第3章刘进军、郭喜良;第4章郭喜良;第5章刘进军;第6章郭喜良;第7章刘进军、郭喜良。

本书编写过程中,得到了中国工程院潘自强院士的精心指导,在此表示衷心感谢。

污染材料再循环再利用是放射性废物最小化管理具有发展前景的一个研究方向,涉及范围广,领域大。本书编写过程中对一些领域的资料收集不全,有些资料来不及全面消化,加之作者知识有限,本书难免有不足、不当和谬误之处,敬请读者批评指正。

刘进军 郭喜良

2014年8月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 放射性废物管理	(1)
1.1.2 废物最小化要求	(1)
1.1.3 再循环与再利用	(2)
1.2 目的和意义	(3)
第 2 章 国家政策与法规依据	(4)
2.1 国家政策	(4)
2.2 法规、标准要求	(4)
2.2.1 法律法规	(4)
2.2.2 标准要求	(5)
第 3 章 污染材料的特性	(9)
3.1 主要类型	(9)
3.2 来源	(10)
3.2.1 核设施建造期间	(10)
3.2.2 核设施运行期间	(12)
3.2.3 核设施退役期间	(17)
第 4 章 再循环再利用的影响因素	(21)
4.1 监管控制要求	(21)
4.2 技术可行性	(21)
4.3 公众接受度	(22)
4.4 经济因素	(22)
4.4.1 税收政策	(22)
4.4.2 优先采购	(22)
4.4.3 专项研究资金	(22)
4.4.4 废物处置费用	(22)

第 5 章 国内外再循环再利用实践	(23)
5.1 污染金属.....	(23)
5.1.1 国内外实践.....	(23)
5.1.2 熔炼技术及熔炼设施.....	(28)
5.1.3 代价—利益分析.....	(34)
5.1.4 小结.....	(35)
5.2 污染混凝土.....	(35)
5.2.1 普通废弃混凝土的循环利用.....	(35)
5.2.2 放射性污染混凝土利用实践.....	(36)
5.2.3 代价—利益分析.....	(40)
5.2.4 小结.....	(41)
5.3 其他污染材料.....	(42)
5.3.1 废水.....	(42)
5.3.2 石墨.....	(44)
5.3.3 电缆.....	(44)
5.3.4 空气/碘过滤器	(46)
5.3.5 其他材料.....	(46)
第 6 章 国内现状及问题分析	(48)
6.1 国内现状.....	(48)
6.2 问题分析.....	(48)
6.2.1 监管要求和管理体系.....	(48)
6.2.2 技术储备.....	(49)
第 7 章 结论与建议	(50)
7.1 加快法规标准体系建设.....	(50)
7.1.1 法规.....	(50)
7.1.2 标准导则.....	(50)
7.2 构建完善的监督管理体系.....	(50)
7.3 鼓励新技术的研发.....	(51)
7.4 建立经济激励政策和制度.....	(51)
7.5 完善质量保证措施.....	(52)
7.5.1 质量保证.....	(52)
7.5.2 源项统计.....	(52)
参考文献	(53)

第 1 章 概 述

1.1 引言

1.1.1 放射性废物管理

安全高效发展核电,是我国目前能源发展建设的一项重要政策。核能发电对于满足经济和社会发展不断增长的能源需求,保障能源供应的安全、保护环境,实现电力工业结构优化和可持续发展,提升我国综合经济实力、工业技术水平和国际地位,都具有重要意义^[1]。与人类其他生产活动一样,核能开发利用在给人类社会带来巨大经济效益与社会效益的同时,不可避免地产生废物,即放射性废物。放射性废物是指含有放射性核素或者被放射性核素污染,其放射性核素浓度或者活度浓度大于国家确定的清洁解控水平,预期不再使用的废弃物^[2]。放射性废物管理包括废物的产生、预处理、处理、整备、贮存运输、处置和退役相关的各种行政和技术活动^[3]。放射性废物的安全、优化管理是核能发展的重要保障。

《放射性废物安全管理条例》规定,放射性废物安全管理应坚持“减量化、无害化和妥善处置、永久安全”的原则^[2],实施该原则是《中华人民共和国放射性污染防治法》^[4]《中华人民共和国循环经济促进法》^[5]和《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》^[6]的基本要求。该原则也是放射性废物安全管理的目标和核心内容。

1.1.2 废物最小化要求

1992年,国际原子能机构出版的技术文件《放射性废物的最小化和区分》提出了放射性废物最小化的概念^[7]。1995年出版的安全系列报告《放射性废物管理原则:安全基础》中进一步提出废物最小化是放射性废物管理的九原则之一。在随后的系列技术文件和技术报告中陆续明确了放射性废物最小化的概念、内容及目标^[8-10]。

简言之,放射性废物最小化即放射性废物的量和/或放射性水平减至可合理达到的最低水平;最小化目标是通过限制放射性污染物的产生和扩散以及减少贮存和处置的放射性废物体积,达到减少对环境的影响以及降低污染材料管理成本的目的;最小化管理对象包括控制废物的产生和已产生废物的管理,这体现了废物源头控制和全过程管理的原则。最小化的最终目标可以体现在环境影响最小化和成本最优化。

废物最小化目标的实现涉及核设施的全寿期管理,即设施的设计、建造、运行、退役等各阶段,始于设施设计、终于设施退役。对于这一点已有不少探讨,其中建立废物管理经验反馈机制可以促进废物最小化战略的实施,有利于及时识别并确定可能需要改进的领域。

废物最小化包含三个要素:减少废物的产生,包括减容与防止污染的产生;废物流中有

价值材料的再循环再利用;废物管理的最优化等。放射性废物管理最小化因素的具体内容如图 1-1 所示,图中所示也体现了污染材料再循环再利用与放射性废物管理的密切关系^[10]。

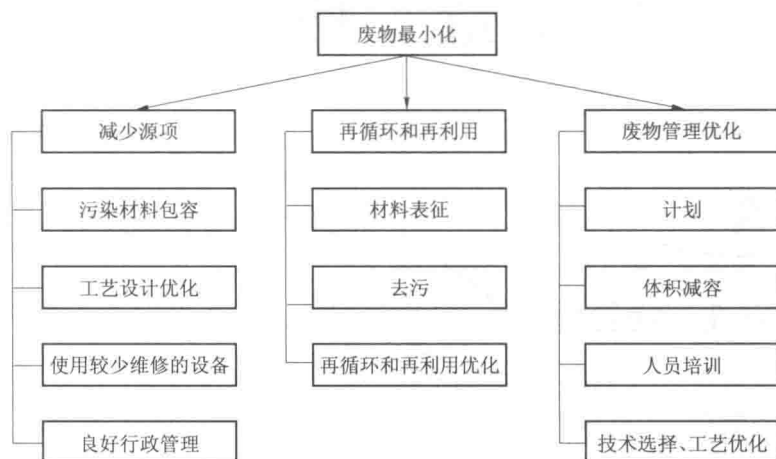


图 1-1 放射性废物最小化要素

1.1.3 再循环与再利用

实际上,绝大多数的污染材料尤其是轻微污染材料是值得回收再利用的,污染材料的再循环再利用是实现充分利用一切可利用资源的重要方式。因此,在废物最小化战略中尽最大实际可能地再循环再利用一切可利用的资源是实现废物最小化的重要途径之一。

再利用是指将废物直接或者经修复、翻新、再制造后继续作为产品使用,或者将废物的全部或者部分作为其他产品的部件予以使用^[4]。再循环是指在循环经济中,针对废物产生源头,通过废弃物回收、综合利用,将废物再次变成可用资源,再利用的过程,以减少最终废物的处理量和管理成本^[11]。对放射性污染材料再循环再利用,根据标准适用范围的不同,其定义也有差异。《核科学技术术语 第 8 部分:放射性废物管理》(GB/T 4960.8—2008)对再循环的定义为:将达到国家标准或审管部门规定水平的材料返回生产流程使用。对再利用的定义为:将放射性活度浓度或表面污染水平达到国家标准或审管部门规定水平的工具、设备、材料、建筑物和场地等进行再使用^[3]。核设施产生的钢铁、铝、镍、铜四种金属材料再循环再利用的清洁解控标准对再循环再利用的定义为:体污染等于或低于标准规定的清洁解控水平的钢铁、铝、镍和铜材料经审批并经熔炼后作为原材料利用;表面污染的上述材料,其表面污染水平等于或低于标准给出的表面污染解控水平的可按要求解控再利用^[12]。可免于辐射防护监管材料中核素活度浓度限值标准对再循环的定义为:其污染水平等于或低于国家相关标准规定的解控水平的金属,经批准熔炼后作原材料使用;或其污染水平等于或低于国家相关标准规定的解控水平的混凝土,经批准混料后作建材使用^[13]。由上可以看出,放射性污染材料再循环再利用可理解为:① 对象为有再利用价值的工器具、设备、材料、建筑物、场地等;② 表面污染或放射性活度浓度水平符合国家标准或审管部门的规定;③ 根据污染材料放射性水平的不同,可经辐射水平测量和评估后再循环再利用,或经熔炼

去污后作为原材料使用。

总体来说,再循环再利用需要根据污染材料的特性和数量制订适宜的方案,目标是在确保安全的前提下,尽量多地回收利用有价值材料,并不局限于经评估后可清洁解控的材料。例如,欧洲委员会(EC)在《放射性材料在审管核领域内的再循环再利用》报告中指出:放射性污染材料无论是无条件解控,有条件解控,还是一时难于满足释放标准只能在核领域内进行管理的材料,均可按不同的准则、标准和要求,在非受控领域或在受控领域内进行再循环再利用^[14]。对放射性污染材料再循环再利用管理提出了分级管理的策略,提出了“具体问题具体分析”或“个案处理”(case by case)的方法,这为更多污染材料得到再循环再利用提供了更大的空间^[14]。

OECD/NEA 在《废金属再循环再利用》报告中提出对放射性废金属的再循环再利用采用“多级”制管理。综合考虑材料的可能污染类型、预期的使用目的、可能的环境影响,将污染废金属再循环分为四级^[15]。

(1) A级:相当于目前提出的无条件释放水平。对A级材料管理限值包括表面污染(Bq/cm^2)和体污染(Bq/g)。对满足释放限值的,可以无条件从审管控制中释放进行再循环再利用。

(2) B级:相当于目前提出的有条件解控水平。B级材料在审管控制条件下经去污和熔炼后,有条件释放到非核商业设施进行熔炼和产品加工。B级废金属的管理限值用体污染(Bg/g)。

(3) C级:是目前提出的有条件释放的合乎逻辑的外延。C级材料在审管控制条件下经熔炼和加工后,有条件释放到指定的工业领域内使用。C级材料通常限于相对短寿命的放射性核素污染。根据在指定领域内的使用期,随着核素的衰变,该类材料将被许可不受限制地使用。

(4) D级:不属于从审管控制下释放的范畴。D级包含材料在核审管控制下的持续再循环使用,最普遍的是经熔炼、加工后作为金属废物容器。

1.2 目的和意义

自20世纪50年代我国原子能事业起步以来,已为我国国防事业和国民经济发展做出了重要贡献。与此同时,核工业发展过程中也产生了相当数量的放射性废物。已有核设施的运行或退役,以及新建核设施,特别是核电站的投入运行正在或即将产生更多废物,放射性废物的处置及其相应的环境保护面临着重大挑战。在核设施运行或退役时,通过良好的废物管理实践,对存在或仅可能存在放射性污染,具有回收利用价值的材料进行再循环与再利用,对于实现废物最小化、发展循环经济、促进核工业健康发展具有重要意义,符合科学发展、可持续发展、建立环境友好型和谐社会的国家政策要求。减少废物产生量,还可缓解废物暂存的库容压力大、降低废物运输安全风险、减少最终放射性废物处置费用及对环境的影响。

第2章 国家政策与法规依据

2.1 国家政策

作为实现废物最小化的重要途径之一,污染材料的再循环再利用有其深厚的国家政策、法律法规及标准依据。

我国正在提出建设资源节约型社会,就是指在生产、流通、消费等领域,通过采取法律、经济和行政等综合性措施,提高资源利用效率,以最少的资源消耗获得最大的经济和社会收益,保障经济社会可持续发展。

发展循环经济是实现可持续发展行之有效的方法,循环经济以资源的高效利用和循环利用为核心,以“减量化、再利用、资源化”为原则,以低消耗、低排放、高效率为基本特征,符合可持续发展理念的经济增长模式。循环经济是一种资源节约战略,是使资源尽可能得到高效利用和循环利用,从而达到提高资源利用效率和减少需处置废物量的目的。原材料利用的减量化以及废弃物的回收利用,一直是我国资源节约的主要手段,也是循环经济的重要内涵之一。

核工业是一条巨大的“产业链”,从天然铀的勘查、开采,到铀纯化、转化、浓缩并制成元件,再到核电站的使用,乏燃料后处理,直至放射性废物的处理处置,构成了一条完整的从自然界寻求资源、加工、使用、再利用,及废物处理处置的产业链。因此,建设符合循环型、“闭式”的核工业产业生态系统与当前国家大力发展循环经济、绿色经济的政策是一致的。

2.2 法规、标准要求

2.2.1 法律法规

我国已通过了多部有关资源或材料的再循环与再利用的法律规定,其中包括一部综合性环境资源保护法律、五部污染防治方面的法律、九部自然资源管理方面的法律,一部清洁生产方面的法律,一部循环经济法。这些法律、法规对于促进资源综合利用、废弃物循环利用,对于核工业发展循环经济、提高资源利用率有重要指导意义。这里将与污染材料再循环再利用的相关规定摘录如下:

(1) 1991年国务院颁布了《关于加强再生资源回收管理工作的通知》^[16],对再循环与再利用的定义是指废金属资源。

(2) 1995 年颁布的《固体废物污染环境防治法》^[6], 其中第 3 条规定了“实行减少固体废物的产生量和危害性、充分合理利用固体废物和无害化处置固体废物的原则, 促进清洁生产和循环经济发展。国家采取有利于固体废物综合利用活动的经济、技术政策和措施, 对固体废物实行充分回收和合理利用”。第 7 条规定“国家鼓励单位和个人购买、使用再生产品和可重复利用产品”。

(3) 2002 年颁布的《清洁生产促进法》^[17] 规定了企业的清洁生产进行的相关的规定。其中, 第 9 条规定了“发展循环经济, 促进企业之间在资源和废物综合利用等领域进行合作”³⁾; 第 16 条提出了政府优先采购和鼓励公众购买节能、节水、废物再生利用等有利于环境与资源保护的产品的原则; 第 35 条规定了利用废物生产产品和从废物中回收原料的增值税减免问题。

(4) 2014 年新颁布的《环境保护法》^[18] 提出了多项有关再循环再利用的环境保护政策, 第 4 条规定“国家采取有利于节约和循环利用资源、保护和改善环境、促进人与自然和谐的经济、技术政策和措施, 使经济社会发展与环境保护相协调”; 第 36 条规定“国家鼓励和引导公民、法人和其他组织使用有利于保护环境的产品和再生产品, 减少废弃物的产生”; 第 37 条规定“地方各级人民政府应当采取措施, 组织对生活废弃物的分类处置、回收利用”; 第 40 条规定“国家促进清洁生产和资源循环利用”。

(5) 2003 年颁布的《中华人民共和国放射性污染防治法》^[4] 第 4 条指出“国家鼓励、支持放射性污染防治的科学研究和技术开发利用, 推广先进的放射性污染防治技术”; 第 39 条规定“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……尽量减少放射性废物的产生量”, 从源头上减少放射性废物的产生量。

(6) 2007 年颁布的《再生资源回收管理办法》^[19] 规定的再生资源包括: 废旧金属、报废电子产品、报废机电设备及其零部件、废造纸原料(如废纸、废棉等)、废轻化工原料(如橡胶、塑料、农药包装物等)、废玻璃等。第一章总则“国家鼓励以环境无害化方式回收处理再生资源, 鼓励开展有关再生资源回收处理的科学研究、技术开发和推广”。

(7) 2008 年颁布的《循环经济促进法》^[5] 第四章规定了再利用和资源化的具体要求。对于生产过程, 规定了发展区域循环经济、工业固体废物综合利用、工业用水循环利用、工业余热余压等综合利用、建筑废物综合利用、农业综合利用以及对产业废物交换的要求。对于流通和消费过程, 规定了建立健全再生资源回收体系以及生活垃圾、污泥的资源化等具体要求。

上述几部国家法律和法规从可再循环再利用的材料范围, 废物产生的源头控制以及污染防治, 立足资源再利用的生产过程控制以及废物再生利用的经济优惠政策等方面提出了具体要求, 这些要求为废弃物的再循环再利用提供了依据。

2.2.2 标准要求

放射性污染材料对人体健康和环境安全会造成放射性危害, 除了考虑材料本身的有用价值, 必须确保这类材料的再循环再利用在安全的前提下进行, 即再循环再利用前, 应对放射性污染材料的辐射水平进行测量和评估, 评估材料辐射水平是否满足解控要求可直接再利用, 或材料需经去污后在限定范围内作为原材料使用。目前, 各国对于放射性材料的清洁解控和有条件解控的控制水平标准不尽相同。清洁解控标准、有条件解控控制水平以及在

核领域内再循环再利用规定等都是从整体最优化的角度,以剂量、危害及相关风险的合理假设为基础,以合理的照射情景、参数选取为基础,通过计算评估得出解控标准或解控控制水平。如果清洁解控标准、有条件解控控制水平过于保守,则会产生较多的污染材料作为放射性废物处理处置,最终导致增加处置成本以及环境影响;如果清洁解控和有条件解控控制标准过于宽松,则会导致部分含有放射性污染的材料失控,从而对公众和环境产生负面影响。

目前国内已发布了免于辐射水平监管的放射性核素活度浓度限值,金属材料再循环再利用的清洁解控水平,拟再循环再利用材料中辐射水平测量等相关的标准要求。国际原子能机构出台的安全导则要求也可用于指导国内放射性污染材料的再循环再利用管理工作。

国际原子能机构第 RS-G-1.7 号安全导则《排除、豁免和解控概念的适用》,规定了不受监管文件控制的被排除的照射,不受监管控制的可豁免的源或实践,规定解控是指获准的实践范围内的放射性物质或放射性物体不再受监管机构的任何进一步监管控制^[20]。该导则应用排除概念导出适用于天然放射性核素的活度浓度值;应用豁免概念导出人工放射性核素的活度浓度值。解控用活度浓度值制定的主要辐射防护依据是个人年有效剂量小于等于 $10\ \mu\text{Sv}$ 。考虑能导致较高辐射照射的低概率事件的发生使用了一项附加准则,即由此种低概率事件引起的年有效剂量应当不超过 $1\ \text{mSv}$ 。

截至目前,国内与放射性污染材料再循环再利用相关的国家标准主要有《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)^[21]、《核设施的钢铁、铝、镍和铜再循环、再利用的清洁解控水平》(GB 17567—2009)^[12]、《拟再循环、再利用或作非放射性废物处置的固体物质的放射性活度测量》(GB/T 17947—2008)^[22]和《可免于辐射监管的材料中放射性核素活度浓度》(GB 27742—2011)^[13]。下面对各标准中与放射性污染材料再循环再利用管理有关的内容进行详细描述。

GB 18871—2002 第 4.2.5 条规定:已通知或已获准实践中的源(包括物质、材料和物品),如果符合审管部门规定的解控水平,则经审管部门认可后,可对其实施解控。标准规定:除非审管部门另有规定,解控水平的确定应考虑本标准规定豁免准则;且清洁解控水平不应高于该标准规定的豁免水平,豁免水平导出的辐射防护依据是公众个人每年的有效剂量不超过 $10\ \mu\text{Sv}$ [该剂量准则与国际原子能机构(IAEA)RS-G-1.7 的规定一致];1 年集体剂量 $\leq 1\ \text{人}\cdot\text{Sv}$ 。标准 B2.2 指出:工作场所中的某些设备与用品,经去污使其污染水平降低到表 B11(表面污染控制水平)中所列设备类的控制水平的 $1/50$ 以下时,经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后,可当做普通物品使用。对于仅属于表面污染的物品,其解控限值可参照该规定执行。

GB 17567—2009 规定了核设施运行和退役中产生的钢铁、铝、镍和铜材料以及设备和工具再循环再利用的清洁解控水平。标准第 4.3 条规定:应根据拟解控材料的来源,分清其污染是表面污染还是体污染。对于确认仅属于表面污染的钢铁材料,当其表面污染水平等于或低于 GB 18871—2002 附录 B11 中关于可解控物体表面放射性污染控制水平(控制区控制水平的 $1/50$)时,可直接实施解控,作为普通物品再使用。GB 18871—2002 附录 B11 中控制区设备表面污染水平的 $1/50$ 的控制标准是:对极毒 α 为 $0.08\ \text{Bq}/\text{cm}^2$,其他 α 为 $0.8\ \text{Bq}/\text{cm}^2$; β 为 $0.8\ \text{Bq}/\text{cm}^2$ 。对确认属于体污染的金属材料,应进行核素活度浓度分析,标准表 2、表 3、表 4 和表 5 分别规定了钢铁、铝、镍、铜四种金属中包含 ^{54}Mn 、 ^{55}Fe 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{60}Co 、 ^{63}Ni 、 ^{65}Zn 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 ^{152}Eu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Pu 、 ^{241}Am 、 ^{238}U 14 种核素的材料再循环

再利用解控水平。该标准用于判定材料解控后再循环再利用的剂量准则与 GB 18871 规定的豁免水平剂量准则一致,即相关人员及公众个人受到的年有效剂量量级为 $10\ \mu\text{Sv}$ 或更低;年集体剂量不超过 $1\ \text{人}\cdot\text{Sv}$ 。

GB/T 17947—2008 规定了核设施运行、退役中产生的拟再循环、再利用或作非放射性废物处置固体物质中的放射性活度测量的原则和方法,包括辐射监测仪器的特性和性能要求;规定了辐射水平监测样品代表性的评估依据和方法。标准规定放射性固体物质解控辐射水平测量包括表面污染、活度浓度、剂量率和总活度。作为示例,标准指出表面污染解控限值: α 发射体为 $0.04\sim 0.4\ \text{Bq}/\text{cm}^2$; β/γ 发射体为 $0.4\sim 4.0\ \text{Bq}/\text{cm}^2$;剂量率范围为 $0.05\sim 1\ \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ (近表面附近高于该处本底的剂量率);根据核素不同,活度浓度范围为 $0.1\sim 10^4\ \text{Bq}/\text{g}$ 。

GB 27742—2011 规定了大于 $1\ \text{t}$ 的大批材料的生产操作、填埋或再循环再利用等活动中涉及的,可免于辐射防护监管材料中放射性核素的活度浓度限值。标准规定,对只有表面污染的材料和小于 $1\ \text{t}$ 的材料,分别参照 GB 18871—2002 中 B 2.2 和附录 A 的规定执行。该标准活度浓度限值的制定参考了 IAEA 安全导则《排除、豁免和解控概念的应用》(No. RS-G-1.7),包括免管水平制定的剂量准则,照射情景、照射途径和主要相关参数等。标准规定天然放射性核素免管水平推导的剂量准则是对公众个人的附加有效剂量(氡吸入剂量除外)不大可能超过 $1\ \text{mSv}/\text{a}$,规定天然放射性核素的免管水平均为 $1\ \text{Bq}/\text{g}$ 。对人工放射性核素免除辐射防护监管的剂量准则是个人有效剂量量级为 $10\ \mu\text{Sv}$ 或更低;附加准则是对低概率事件可能产生的有效剂量不超过 $1\ \text{mSv}/\text{a}$ 。

表 2-1 对上述的 IAEA 安全导则和国家相关标准规定的解控水平进行了汇总比较,由表可以看出,GB 27742—2011 基本参照了 IAEA 安全导则 RS-G-1.7 的剂量准则,照射情景和途径,该标准对所示关键核素的解控限值与 IAEA-RS-G-1.7 相同。GB 17567—2009 规定的解控水平高于 GB 27742—2011 的免管水平,按照 GB 27 742—2011 规定,对污染水平等于或低于国家相关标准规定的解控水平的金属,经批准熔炼后作原材料再循环再利用;对污染水平等于或低于国家相关标准规定的解控水平的混凝土,经批准混料后作为建筑材料再使用。金属再循环再利用的清洁解控水平可以按照 GB 17567—2009 执行,但是对于 GB 17567—2009 中没有给出的核素应按照 GB 27742—2011 的免管活度浓度执行。

表 2-1 关键核素清洁解控标准限值

Bq/g

活度浓度限值/(Bq/g)	IAEA RS-G-1.7	GB 18871—2002 ¹⁾	GB/T 17567—2009 ²⁾	GB 27742—2011 ³⁾
^3H	10^2	10^6		10^2
^{14}C	1	10^4		1
^{60}Co	0.1	10	0.1~2.0	0.1
^{58}Co	1.0	10		1.0
^{137}Cs	0.1	10	0.5~9.0	0.1
^{134}Cs	0.1	10		0.1
^{94}Nb	0.1	10	0.2~4.0	0.1
^{54}Mn	0.1	10	0.4~7.0	0.1
^{59}Fe	1.0	10		1.0

续表

活度浓度限值/(Bq/g)		IAEA RS-G-1.7	GB 18871—2002 ¹⁾	GB/T 17567—2009 ²⁾	GB 27742—2011 ³⁾
¹³¹ I		10	10 ²		10
¹³³ I		10	10		10
⁹⁵ Zr		1.0	10		1.0
⁵¹ Cr		10 ²	10 ³		10 ²
^{110m} Ag		0.1	10		0.1
¹²⁴ Sb		1.0	10		1.0
¹²⁵ Sb		0.1	10 ²		0.1
表面污染限值/ (Bq/cm ²)	α		极毒:0.08 其他:0.8	极毒:0.08 其他:0.8	
	β		0.8	0.8	
剂量准则		(1) 解控用活度浓度值制定的主要辐射防护依据是个人年有效剂量≤10 μSv; (2) 考虑能导致较高辐射照射的低概率事件引起的年有效剂量≤1 mSv	(1) 清洁解控水平不应高于本标准规定的豁免水平;(2) 1年公众个人有效剂量≤10 μSv;(3) 1年集体剂量≤1人·Sv; (4) 表面污染为控制区表面污染限值的1/50	(1) 1年公众个人有效剂量≤10 μSv; (2) 1年集体剂量≤1人·Sv;(3) 控制区表面污染控制水平的1/50	(1) 参照 IAEA RS-G-1.7 的剂量准则; (2) 批量小于1t的材料参照 GB 18871—2002 规定

1) 为申报豁免基础的放射性核素的豁免活度浓度,清洁解控不得低于规定的豁免值,为数量小于1t的材料;
2) 适用于核设施运行和退役中产生的钢铁、铝、镍和铜材料、设备和工具再循环再利用的清洁解控水平;
3) 为可免于辐射防护监管的材料中的放射性核素活度浓度,适用于大批量(大于1t)材料。