

放射性废物最小化丛书第 9 分册

放射性废物分拣

文富平 编著

中国原子能出版社

放射性废物最小化丛书第9分册

放射性废物分拣

文富平 编著

陈凌 杨华庭 审



中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

放射性废物分拣/文富平编著. —北京:中国原子能出版社, 2013. 11
ISBN 978-7-5022-6111-5

I. ①放… II. ①文… III. ①放射性废物-废物管理
IV. ①TL94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 281025 号

内 容 简 介

本书介绍了放射性废物分拣相关技术,包括国内外放射性废物分拣的实施现状;放射性废物分拣技术流程;放射性废物分拣案例分析及放射性废物分拣的实施建议。

本书可供管理人员及工程设计、实施和厂矿企业的技术人员参考。

放射性废物分拣

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 保定市中华美凯印刷有限公司
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 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-6111-5 定 价* 20.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

发行电话: 010-68452845

E-mail: atomep123@126.com

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	李忠镛	李俊杰	何文新	陈 凌
范 仲	费洪登	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
李忠镛	李俊杰	杨华庭	何文新	冷瑞平
陈 凌	范 仲	罗上庚	费洪登	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、中国广东核电集团有限公司、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

放射性废物最小化是放射性废物管理的基本原则之一,而放射性废物分拣则是实现放射性废物最小化的要求和重要途径。“放射性废物分拣”是“放射性废物最小化战略和顶层设计研究”的一个子项。项目组成员由文富平、涂兴明、肖文慧、潘竞舜、邵明刚、王绍林、李航、韩善彪组成。

我国在过去几十年中,核工业和非核工业科研生产活动积累了相当数量的放射性废物,来源十分广泛,包括核燃料循环、核技术利用、采矿和冶炼等不同的方面,且不同放射性废物的物理化学性质、毒性、放射性水平、半衰期、释热也不相同,构成非常复杂。这些放射性废物目前大部分贮存在各类暂存库中,随着核电的发展及核设施退役活动的进行,还将产生更多的放射性废物。对各类暂存库的调查显示:现存放射性废物中绝大部分入库前都没有经过分拣,如果能在这些废物最终处置前提出分拣建议、区分出解控废物和再循环再利用物料,减少放射性废物的最终处置量,对实现放射性废物最小化、保护环境、节省废物处置成本是非常有意义的。

本书中讨论的放射性废物分拣实际上主要限于中放固体废物中的短寿命废物和低放固体废物。对于中放固体废物中的长寿命废物、 α 废物等问题基本没有涉及,这些问题还有待深入研究。

放射性废物分拣技术研究项目组从放射性废物分拣实施国内外现状入手,对放射性废物分拣技术进行了全流程的研究,对放射性废物的分拣实例进行了深入的分析,最终提出了放射性废物分拣的建议。为了总结项目组对放射性废物分拣技术的研究成果,特编制了这本《放射性废物分拣》,在本书的编制过程中,涂兴明、肖文慧、李航、韩善彪调研了部分国内外分拣实例,潘竞舜、邵明刚调研了部分测量分拣设备,王绍林提供了部分案例分析实例,在此对他们表示衷心的感谢。

本书的编写过程中得到了潘自强院士、陈凌研究员、杨华庭研究员的精心指导,特表示由衷的敬意和感谢!

文富平

2013年7月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 开展放射性废物分拣的意义	(1)
1.2 放射性废物分拣的目标	(1)
1.3 放射性废物分拣实施的基本原则和要求	(2)
第 2 章 国内外放射性废物分拣现状	(4)
第 3 章 放射性废物分拣技术	(7)
3.1 废物来源鉴别	(7)
3.2 废物源项分析	(7)
3.3 确定废物分拣目标	(8)
3.4 分析废物分拣价值	(8)
3.5 废物分拣方法选择	(9)
3.6 废物分拣流程图	(10)
3.7 废物分拣实施前准备	(11)
3.8 分拣测量设备测试及选型	(12)
3.8.1 不同辐射类型废物分拣及对分拣测量设备的要求	(13)
3.8.2 核素种类和放射性水平对分拣测量设备的要求	(13)
3.8.3 分拣的不确定度需求对分拣测量设备的要求	(14)
3.8.4 放射性废物分拣中仪器选型总体要求	(14)
3.8.5 特殊情况下分拣对分拣测量设备的要求	(15)
3.9 废物分拣刻度	(15)
3.9.1 体污染形态废物(污染土)分拣实验刻度	(15)
3.9.2 表面污染形态废物(劳动保护用品)分拣刻度	(22)
3.10 废物分拣现场实施标准	(24)
3.11 分拣的质量保证、人员组织及环境保护	(25)
3.12 分拣实施中需要注意的事项	(25)

3.13 豁免水平放射性废物分拣探讨	(27)
3.13.1 体污染豁免水平废物分拣	(27)
3.13.2 表面污染豁免水平废物分拣	(28)
第4章 放射性废物分拣实例	(29)
4.1 某省放射性废物库放射性废物分拣	(29)
4.1.1 废物库概况	(29)
4.1.2 分拣流程	(30)
4.1.3 废物分类	(30)
4.1.4 废物分拣方法	(31)
4.1.5 分拣设备	(31)
4.1.6 分拣准备	(31)
4.1.7 分拣测量	(32)
4.1.8 分拣结果	(32)
4.1.9 分拣结果验证	(33)
4.1.10 特殊废物	(33)
4.1.11 分拣评价	(33)
4.2 原子能利用研究所放射性废物库退役中放射性废物分拣	(34)
4.2.1 项目概况	(34)
4.2.2 分拣流程	(35)
4.2.3 分类标准	(35)
4.2.4 废物分拣方法	(36)
4.2.5 分拣设备	(36)
4.2.6 现场分拣标准	(36)
4.2.7 分拣结果	(37)
4.2.8 分拣方法评价	(38)
4.3 上海某企业退役放射性废物分拣	(38)
4.3.1 放射性废物形态	(38)
4.3.2 污染源项特征及现场分拣标准	(39)
4.3.3 废物分拣	(39)
4.3.4 分拣结果	(44)
4.3.5 分拣评价	(44)
4.4 放射性废物分拣其他案例介绍	(45)

4.4.1 中国原子能科学研究院同位素生产设施劳保废物的分拣·····	(45)
4.4.2 北京市城市放射性废物库退役治理及去污废物分拣·····	(46)
4.4.3 中国原子能科学研究院一批污染渣土分拣实验·····	(46)
4.5 小结及建议·····	(47)

第5章 结论 ····· (50)

5.1 分拣是放射性废物最小化最有效的手段之一·····	(50)
5.2 放射性废物分拣的重要目标是区分出豁免废物·····	(50)
5.3 制定分拣技术导则和标准化分拣流程是必要的·····	(50)
5.4 分拣方法的选择要同时考虑技术可行性和经济可行性·····	(51)
5.5 分拣测量设备的选型要慎重·····	(51)
5.6 分拣测量刻度是分拣工作的中心环节·····	(52)

参考文献 ····· (53)

1.1 开展放射性废物分拣的意义

我国从二十世纪八十年代初开始核工业和核能生产, 随着生产规模的不断扩大, 放射性废物量也在不断增加, 而且随着核能生产规模的扩大, 放射性废物的种类和数量也在不断增加。放射性废物的产生, 给我国的环境和人体健康带来了巨大的威胁。因此, 开展放射性废物分拣工作, 对于减少放射性废物的产生, 降低放射性废物的危害, 具有重要的意义。

放射性废物分拣是指将放射性废物按照其放射性核素的种类、活度和物理化学性质等进行分类、分离和包装的过程。通过分拣, 可以将放射性废物分为不同的类别, 如高放废物、中放废物、低放废物和豁免废物等。不同类型的放射性废物, 应采取不同的处理和处置方式, 以确保其安全、有效地处置。

开展放射性废物分拣工作, 具有以下意义:

- 1. 减少放射性废物的产生: 通过分拣, 可以将放射性废物中的有用物质回收, 减少废物的产生量。
- 2. 降低放射性废物的危害: 通过分拣, 可以将放射性废物中的有害核素分离出来, 降低废物的放射性水平, 减少对环境和人体的危害。
- 3. 提高放射性废物的处理效率: 通过分拣, 可以将放射性废物按照其放射性核素的种类和活度进行分类, 提高处理效率。
- 4. 节约放射性废物的处理成本: 通过分拣, 可以降低放射性废物的处理成本。

1.2 放射性废物分拣的目标

放射性废物分拣的目标是: 在确保安全的前提下, 最大限度地减少放射性废物的产生, 降低放射性废物的危害, 提高放射性废物的处理效率, 节约放射性废物的处理成本。

第1章 绪论

放射性废物分拣是实现废物最小化(waste minimization)的要求和重要途径^[1],是放射性废物分类处理处置的需要,是实现各个环节所产生的放射性废物分类处理处置的有效手段。实施放射性废物分拣主要基于两方面因素的推动:一是国内外关于放射性废物管理的相关法规、导则对废物实施最小化的要求^[2-5];二是放射性废物分拣可以区分出豁免废物,降低废物的处理处置量,产生经济效益^[6]。

在国际原子能机构(IAEA)出版的《国际原子能机构安全术语 核安全和辐射防护系列》(2007年版)中对分拣(segregation)给出了定义:为了便于废物的操作和处理,根据各种类型废物和材料(放射性或豁免的)的放射性、化学和(或)物理特性对其进行分离或保持分离的活动。

在这里,仅限于对放射性固体废物分拣技术进行讨论,因此,书中提及的“放射性废物”“废物”等均指放射性固体废物。

1.1 开展放射性废物分拣的意义

在过去几十年中,我国核工业和非核工业科研生产活动积累了相当数量的放射性废物,它们绝大部分贮存在各类暂存库中,而且,随着核电的发展及核设施退役活动的进行,还将产生更多新的放射性废物。一方面,对各类暂存库的调查情况显示:现存放射性废物中绝大部分入库前都没有经过严格的分拣,不同放射性水平和污染类型的废物混合存放,没有实施严格的分类贮存,而这些废物中有很高比例是可以满足豁免水平(exemption level)或再循环再利用水平(reuse level)的,对这些废物开展分拣技术研究,提出分拣建议,使其在最终处置前能被有效地分拣,区分出解控废物和再循环再利用物料,减少放射性废物的最终处置量,对实现放射性废物最小化、保护环境、节省废物处置成本是非常有意义的。值得注意的是:不同处置途径的处置费用差异是很大的,把非 α 废物从 α 废物中分拣出来就可以大幅减少处置费用。另一方面,对于新产生的放射性废物,各单位对其进行分拣的措施不尽相同,分拣技术也缺乏论证,没有系统性、全流程的综合考虑。因此,对放射性废物分拣技术开展系统性的研究,科学地实施放射性废物分拣工作,将新产生的放射性废物进行合理收贮、科学分类和优化处理,具有较大的经济效益和社会效益。

1.2 放射性废物分拣的目标

在放射性废物自产生到被最终处置的整个生命周期内,各个环节都可能分拣的需要。分拣包括在放射性废物产生现场的分拣和在放射性废物暂存设施内对贮存废物进行的分

拣。一般来说,现场分拣最有效。无论哪种情况的分拣,总体目标都是为放射性废物的后续管理,如暂存、处理、处置等环节服务,具体表现在^[1]:

- (1) 为实现废物最小化,将非放射性、豁免物料从放射性废物中分离出来;
- (2) 为放射性废物处理处置等后续环节提供恰当的废物区分;
- (3) 为实现废物的再循环再利用而分拣出有价值的材料。

1.3 放射性废物分拣实施的基本原则和要求

放射性废物来源十分广泛,包括核燃料循环、核技术利用、采矿和冶炼等不同的废物源,且不同放射性废物的物理化学性质、毒性、放射性水平、半衰期、释热也不相同,构成非常复杂。但从放射性废物处置的角度来说,有两个主要的废物流向^[6]:

- (1) 豁免废物;
- (2) 在专门设计的处置库中处置的废物。

如果将含有放射性的所有物料都作为放射性废物进行处理和处置,不但数量大,而且费用也会很高。实际上许多含有少量放射性核素物料的潜在危害是很小的,因此,将含极少量放射性的物料从对放射性废物处置的监管控制中豁免出来,是放射性废物分拣的重点,也是开展放射性废物分拣的基本原则。

制定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,低于某一核素活度浓度水平或总量的废物可以免除管制,并且作为非放射性废物对待。正确区分放射性废物和豁免废物对放射性废物管理的意义重大,它可以减少放射性废物的体积,节省不必要的开支,因此,对豁免废物的区分就成为放射性废物分拣工作成功与否的关键。国际原子能机构和经济合作与发展组织核能署(OECD/NEA)合作出版了一份关于将辐射源和实践从监管控制中解控的安全导则,确定一个实践是否能够从监管控制中豁免出来有两个条件^[6]:

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

为了保证放射性废物分拣工作的顺利实施,根据放射性废物所含放射性核素以及废物的整备、处理及处置方式等制订一个分类方案是放射性废物分拣实施的前提。分类方案及分拣实施一般包含如下几项内容^[7-8]:

(1) 标签管理:对完成分拣的废物进行清楚的标识是废物测量分拣过程中一个重要的环节,之所以将废物标签管理单独提出来是因为目前国内的废物标识比较简单而且没有统一的标准。清楚、合理的标签设置可以为废物的现场分类和最终处理处置建立起通畅的途径。标签设计时就应将废物的贮存期、贮存环境及将来的处理处置方式相联系,做到项目齐全,设计合理。

(2) 人员防护与环境保护:废物测量分拣中,人员安全和环境安全是必须考虑的一个方面。合理地安排测量分拣工序,配备适当的防护设备及采取有效的环境保护措施,是测量分拣工作顺利实施的基本保障。针对废物的不同特性和辐射水平,人员防护和环境保护措施应该有所区别,同时也应考虑经济效益。

(3) 测量和分拣程序:目前的废物现场测量和分拣具有很大的随意性,没有严格的工序

要求,不利于对废物现场分拣实施严格的控制,从而使废物现场分拣工作中交叉污染、分类过于简单化等情况存在。对于不同类型放射性废物的现场分拣,实施方案中应该对分拣程序有明确的规定,实施严格按照方案进行。

(4) 工序流程图:废物分拣应具有普适性的流程图,至少包含废物现场测量分拣中的关键步骤,但不必包括所有步骤。工序流程图应对废物现场分拣有一定的指导作用。

第 2 章 国内外放射性 废物分拣现状

自 20 世纪六七十年代或更早期开始,大部分放射性废物的分拣操作相对简单,主要由人工完成,没有专用的集测量和分拣于一体的整套设备(设施),一般是将废物放入专用的容器,如桶、箱柜等(每个对应一个不同的分拣标准),并贴上标签(除放射性特性外,标签中包括影响随后处理的可燃废物、腐烂废物、生物危险废物、木材或钢等信息)。分拣的依据主要考虑废物的物理特性、放射性特性和常规(机械、化学)危害等,对于来自研究机构或医院的废物,应注意锋利物件(针、玻璃)的危险和潜在的生物、化学危害^[4]。采用便携式仪器作为小型放射性物件(如放射源、玷污衣物)的测量设备,用剑式机械手、长柄钳夹子等作为简易的分拣工具。

近些年,随着分拣技术的发展,出现了自动化分拣系统。有的是将含有放射性的物料装入废物桶、废物箱等,制成几何尺寸相同的“标准废物体”,从而实现在线测量、在线分类的分拣系统(如 RTM 640Inc 放射性废物测量系统、WM2400 大容量退役废物测量系统、WM2200 连续分段扫描分析系统、WM2900 层析扫描装置、桶装 α 废物分类检测装置等^[9-11]);有的则直接将某一类可能污染的物件作为“标准废物体”,根据其几何尺寸研制专门用于该物件分拣的自动化装置(如小物件分拣系统)。

另外,在处理一些复杂废物时,常采用多种方法相结合的方式。如先利用磁选、感应式金属监测、重力分选、风选等方式进行初步分类,再结合放射性测量装置、热点成像系统等进行最终分拣。

目前,国内外放射性废物分拣工作大多是通过人工完成的,如加拿大点莱普罗角(Point Lepreau)核电站所有的分拣操作均采用手工方式进行;其次是半自动化分拣,如法国阿格(La Hague)后处理厂分拣设施配置了可以起吊和移动废物桶的起重装置、移动成像装置、分拣操作平台、测量系统和金属结构的分拣室(配有分拣手套箱、 γ 谱仪测量系统、视频图像监测室)等。自动化分拣系统主要用于标准容器,如桶装放射性废物的分拣。

放射性废物分拣的实施可以有效地减少废物的最终处置量和处置成本,国内外很多废物处置、退役治理工程均对废物实施了分拣,通过分拣在很大程度上实现了放射性废物最小化。本章对国外一些分拣实施情况进行了介绍,对国内废物分拣实施情况进行了概述。在第 4 章将对国内放射性废物的分拣实施情况进行较为详细的介绍。

在美国能源部(DOE)的萨凡纳河场址(Savannah River Site),每一个将废物递送到废物处理设施的危险放射性废物的产生者都被要求执行废物确认计划,这一废物确认过程确保了废物按照回收设施的废物接受标准被适当地鉴别、表征、分拣、包装和运输。为了遵守这一严格的接受标准,建立了计算机化的废物管理详细目录来跟踪废物的产生和对它们的

后续处理。该系统包括一个数据库,它与为跟踪废物而设计的完整条形码技术关联。在计算机系统发展过程中,废物最小化工具被合并入程序的设计中,这些工具的使用使所产生废物的体积降低了 40% 以上,一个类似的系统已经在美国的圣地亚(Sandia)国家实验室得以应用^[12]。

加拿大点莱普罗角核电站采用了坎杜(CANDU)型重水反应堆,废物产生量为 60~100 m³/a。由于与其配套的废物贮存设施容量有限(1 500 m³),2004 年,为获取有效的存储空间,对库存废物进行了分拣、回收和解控处理。所存储的低放废物一般由纸箱包装,外面包裹一层塑料袋,每个纸箱的体积大约为 0.5 m³,废物箱采用小型起重设备从贮存库吊出,并运至指定的分拣地点。所有的分拣操作均采用手工方式进行,首先将纸箱放在工作台上切开,通过放射性测量,手工分拣出放射性废物和豁免废物。该项工作共完成了 44 箱,总计 2 125 kg,对放射性水平小于 1 000 Bq/kg(采用废物包监测仪测量)的废物进行解控,解控经过了加拿大核安全委员会的认可。通过分拣,有 92% 的废物被解控,运到场址外的垃圾填埋场掩埋。图 2-1 所示是加拿大一个简易分拣系统^[13]。



图 2-1 放射性废物简易分拣系统

法国阿格后处理厂是世界上最大的处理轻水堆燃料的后处理厂,从 1976 年到 1995 年已处理了 10 000 多吨轻水堆燃料。由于跨越时间较长,较早期产生的废物不一定适用现在的分类判定标准,因此在 1995—1996 年期间,对阿格后处理厂的废物进行了回取、分拣、放射性测量和打包,以便重新处置。分拣工作在一个金属结构的建筑中进行,建筑配置了可以起吊和移动废物桶的起重装置、移动成像装置、分拣操作平台、测量系统和金属结构的分拣室(配有分拣手套箱、 γ 谱仪测量系统、视频图像监测室等)。分拣时,首先将废物桶或废物包吊起放进铅罐中,然后打开其包装,测量完废物的 α 水平后,再被运至分拣室,在分拣室中,废物按 20 L 被重新打包,然后进行 α 和 $\beta-\gamma$ 测量,最后根据测量结果进行相应的后续处理^[13]。

2004 年,由于俄罗斯 Andreeva 湾的一处乏燃料库(俄罗斯海军的一处旧核废物场址)年久失修,已经造成污染物扩散的风险,政府决定将乏燃料转移到该场址的混凝土液体废物贮存罐中,燃料元件也需要用水泥封存于合适的地方。工作之一就是固体废物从乏燃料库中取出,经过收集和分拣,对不能豁免的放射性废物进行处理和包装,放入新的贮存库中。

废物分拣考虑 5 种分类标准:废物来源;放射性;物理-化学性质;处置方法和废物体的几何特性。具体的分拣方法如下:① 为减小废物量,首先将非放和低放废物分开。② 将长寿命废物和短寿命废物分开。③ 按照处置方式将放射性固体废物分组:填埋和非填埋;处置和非处置;低、中、高放射性等。分拣操作过程中,首先将配置有无损测量装置的废物分拣箱放进废物处理间,通过测量废物的核素组成及指定核素的放射性水平来控制废物的分类。通过对 17 510 m³ 固体废物分拣,最终分拣出 12 770 m³ 轻微污染废物,4 040 m³ 中度污染废物和 700 m³ 高放废物^[14]。

捷克的杜科凡尼(Dukovany)核电站遵循废物最小化原则对其产生的放射性废物进行处理与处置。Dukovany 核电厂的固体废物主要产生于反应堆换料和维修期间,对固体废物的处理主要包括收集、分拣以及放射性废物的打包和贮存。废物包需要根据其放射性水平进行分类。表面剂量率低于 1 μSv/h 的废物包被视为非放废物豁免,作普通垃圾处理;表面剂量率高于 100 μSv/h 的废物包被作为较强放射性废物进行贮存;表面剂量率在 1~100 μSv/h 之间的废物包,作为低放废物需进行进一步的分拣。分拣操作在专用的分拣箱中进行,通过人工操作分拣出放射性固体废物,所分拣出的放射性固体废物与之前的较高放射性废物一起处置^[15]。

国内对放射性废物分拣的实施同样与退役或治理工程密切相关。原子能利用研究所在对放射性废物临时存放库退役过程中,对该库内存放的 200 袋放射性废物进行了分拣,在确定废物主要污染核素为⁶⁰Co 和¹³⁷Cs 后,在现场将放射性废物分为四类,即中放废物、低放废物、极低放废物和普通垃圾^[16]。某省放射性废物库退役中通过分拣,共分拣出 31 t 豁免废物。国内核电站在其放射性废物管理中也有相关的放射性废物分拣要求和措施^[17-18];国内某核设施放射性废物最小化研究论文中,也提到为了减少废物量而采取的分拣测量措施^[19]。可以看出,国内在很多废物处置、退役治理的工程中对放射性废物也采取了一定程度的分拣,取得了一定的效果,与国外没有明显的差距。

第3章 放射性废物分拣技术

对放射性废物分拣技术的探讨需在国家放射性废物分类标准的框架下进行,废物特性与其将来的后续处理处置方式及成本直接相关,因此对放射性废物分拣技术的研究必须基于两个基础:国家放射性废物分类标准和放射性废物将来可能的后续处理处置方式。

按照放射性废物分拣进程中各环节发生的可能时序,放射性废物分拣主要包括以下环节:

- (1) 废物来源鉴别;
- (2) 废物源项分析(形态识别、物理性状、放射性水平、核素及半衰期、辐射类型、毒性等);
- (3) 确定废物分拣目标;
- (4) 分析废物分拣价值;
- (5) 制订废物分拣方案(分拣方法、分拣现场实施标准、分拣流程、分拣组织等);
- (6) 废物分拣准备;
- (7) 废物分拣设备选型(研制)、刻度;
- (8) 废物分拣实施;
- (9) 质量保证。

3.1 废物来源鉴别

一般来说,同一生产工艺或环节产生的放射性废物在形态、放射性类别甚至是放射性水平上具有相对的稳定性,对废物来源的识别,有助于废物分拣后续环节的实施,减少分拣难度。

3.2 废物源项分析

源项分析是放射性废物分拣工作中重要的环节,直接关系到分拣实施的必要性以及分拣方法选择的合理性,按照废物分拣的一般要求,放射性废物的源项分析一般依次包括以下环节。

(1) 物理性状分析

放射性固体废物按照不同的分类方式可分为可压缩、不可压缩;可燃、不可燃;湿、干废物等类型。固体废物即使混合堆放也能保持其各自的相对独立性,从而进行分拣。

(2) 化学毒性分析

化学毒性分析主要是对废物中可能的有毒有害化学物质进行鉴别,防止在放射性废物