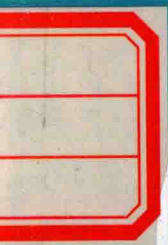


放射性废物最小化丛书

放射性废物最小化研究总论

潘自强 刘森林 等编著



中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

放射性废物最小化研究总论 / 潘自强等编著. —北京:
中国原子能出版社, 2016. 5
ISBN 978-7-5022-7297-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 110626 号

内 容 简 介

本书主要针对核燃料循环设施及其退役、核与辐射技术利用放射性废物最小化的概念、理论、技术及实践进行了系统的调查分析与研究。本书包括放射性废物最小化总论、核燃料循环前段设施放射性废物最小化、核电厂放射性废物最小化、核设施退役放射性废物最小化、研究堆与核技术利用放射性废物最小化、放射性废物分拣、污染材料的再循环再利用及放射性废物最小化管理等,并针对我国放射性废物最小化研究与实践进行了系统总结、提出了相关建议。

本书可以为核科学技术相关领域人员开展放射性废物最小化研究与实践提供技术指导,也可以为国家有关部门进行放射性废物最小化监督管理提供技术支持,同时,也可以作为高等院校相关师生的参考工具书。

放射性废物最小化研究总论

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 11.5 字 数 284 千字
版 次 2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-7297-5 定 价 56.00 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
李忠镛	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	

放射性废物最小化研究总论

编写委员会

主 任：潘自强

副主任：刘森林

委 员：（按姓氏笔画排列）

文富平	刘进军	安凯媛	严沧生	李 夏
杨华庭	吴秀花	何文新	冷瑞平	张志银
陈 凌	范 仲	罗上庚	姜子英	费洪澄
徐勇军	黄 勃	黄来喜	崔安熙	程 理
廖海涛	潘英杰	薛建新	薛海宁	

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 1887—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责任公司、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:放射性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),污染物料再循环再利用(第 8 分册)和放射性废物分拣(第 9 分册)。

本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

放射性废物最小化研究总论

前 言

本放射性废物最小化研究总论,是国家国防科技工业局批复的专题研究项目“放射性废物最小化战略和顶层设计研究”工作的系统总结。本研究工作范围主要涉及我国核与辐射相关活动过程中产生的低、中水平放射性废物的最小化,不包括废物嬗变及高放废物的最小化。

本编著主要针对核燃料循环设施及其退役、核与辐射技术利用放射性废物最小化的概念、理论、技术及实践进行系统的调查分析与研究。本编著包括放射性废物最小化研究总论、核燃料循环前段设施放射性废物最小化、核电厂放射性废物最小化、核设施退役放射性废物最小化、研究堆与核技术利用放射性废物最小化、放射性废物分拣、污染材料的再循环再利用及放射性废物最小化管理等,并针对放射性废物最小化研究与实践进行了系统总结,提出了相关建议。

本编著的研究工作同时也得到了环境保护部(国家核安全局)及中国核工业集团公司、中国广核集团公司、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人力和物力的支持,在此代表本项目总体组和本编著作者表示感谢!

本编著可能存在一些不足与缺陷,敬请广大读者提出宝贵建议和意见。

潘自强 刘森林

2016年3月

目 录

第 1 章 绪言	(1)
1.1 研究目的	(1)
1.2 项目背景	(2)
1.3 研究范围	(2)
1.4 本书的结构	(3)
第 2 章 总论	(4)
2.1 概述	(4)
2.2 国内法律法规要求	(6)
2.3 国际法律法规要求	(7)
2.3.1 美国	(7)
2.3.2 国际原子能机构	(7)
2.3.3 其他国家	(8)
2.4 放射性废物最小化概念	(8)
2.4.1 放射性废物最小化的定义	(8)
2.4.2 放射性废物最小化定期评价	(10)
2.4.3 放射性废物最小化大纲	(10)
2.4.4 放射性废物产生的最小化技术	(11)
2.5 放射性废物最小化策略	(13)
2.6 放射性废物最小化原则	(15)
2.6.1 废物最小化是放射性废物管理的基本原则	(15)
2.6.2 废物最小化原则的基本内涵	(16)
2.6.3 废物最小化原则的基本作用	(16)
2.6.4 废物最小化原则的实施要求	(16)
2.6.5 废物最小化经验	(17)
参考文献	(17)
第 3 章 核燃料循环前段设施放射性废物最小化	(19)
3.1 铀矿冶放射性废物最小化战略和顶层设计研究	(19)
3.1.1 国外铀矿冶放射性废物最小化现状	(19)
3.1.2 我国铀矿冶放射性废物最小化现状	(22)
3.2 铀转化、浓缩与元件制造设施放射性废物最小化	(39)
3.2.1 铀转化、浓缩与元件制造设施放射性废物特性	(39)

3.2.2	国外铀转化、浓缩与元件制造设施废物最小化现状	(40)
3.2.3	我国铀转化、浓缩、元件制造设施的废物最小化	(43)
3.2.4	我国铀转化、浓缩和元件制造环节废物最小化战略	(51)
3.2.5	小结	(53)
参考文献		(54)
第4章 核电厂放射性废物最小化		(55)
4.1	国外核电厂放射性废物最小化现状	(55)
4.1.1	国外核电厂放射性废物最小化政策	(55)
4.1.2	国外核电厂废物最小化管理和技术	(56)
4.2	我国核电厂放射性废物最小化现状	(64)
4.2.1	我国核电厂废物最小化政策	(64)
4.2.2	我国运行核电厂的废物最小化	(65)
4.2.3	我国新建核电厂废物最小化	(68)
4.3	我国核电厂放射性废物最小化战略	(69)
4.3.1	我国核电厂废物最小化政策研究	(69)
4.3.2	我国核电厂废物最小化设计改进与优化	(72)
4.3.3	我国核电厂运行阶段废物最小化措施	(73)
4.4	小结	(74)
4.4.1	结论	(74)
4.4.2	建议	(75)
参考文献		(75)
第5章 研究堆与核技术利用放射性废物最小化		(76)
5.1	研究堆放射性废物最小化	(76)
5.1.1	研究堆放射性废物现状	(76)
5.1.2	研究堆放射性废物最小化措施	(79)
5.1.3	发展趋势	(82)
5.1.4	小结	(83)
5.2	核技术利用废物最小化	(84)
5.2.1	核技术利用放射性废物的来源	(84)
5.2.2	核技术利用放射性废物的产生量	(85)
5.2.3	核技术利用放射性废物的特性	(86)
5.2.4	核技术利用放射性废物的管理	(88)
5.2.5	核技术利用放射性废物的最小化	(89)
5.2.6	小结	(92)
参考文献		(92)
第6章 核设施退役放射性废物最小化		(94)
6.1	核设施退役策略	(95)
6.1.1	石墨反应堆	(95)
6.1.2	后处理设施	(95)

6.2 核设施退役去污技术 (96)

6.2.1 机械去污技术 (96)

6.2.2 化学去污技术 (97)

6.2.3 电化学去污技术 (97)

6.2.4 熔炼去污技术 (98)

6.3 拆除解体技术 (98)

6.3.1 热和电热切割技术 (98)

6.3.2 切割和解体的机械系统 (98)

6.4 废物管理 (99)

6.4.1 技术措施 (99)

6.4.2 废物处理的要求 (100)

6.4.3 整备后废物的运输、贮存和处置 (101)

6.5 国外核设施退役废物最小化实践 (101)

6.5.1 美国 (101)

6.5.2 英国 (103)

6.5.3 法国 (104)

6.6 我国核设施退役废物最小化现状与前景 (105)

6.6.1 去污技术 (105)

6.6.2 拆除技术 (106)

6.6.3 废物处理/整备 (107)

6.6.4 再循环、再利用 (107)

6.7 我国核设施退役废物最小化战略 (108)

6.7.1 退役废物最小化政策研究 (108)

6.7.2 生产堆策略的分析比较 (108)

6.7.3 退役废物最小化技术研究 (109)

6.8 小结 (110)

参考文献 (110)

第7章 放射性废物分拣 (112)

7.1 概述 (112)

7.1.1 放射性废物分拣的含义 (112)

7.1.2 放射性废物分拣的意义 (112)

7.1.3 放射性废物分拣的目标 (113)

7.2 国内外放射性废物分拣情况介绍 (113)

7.3 放射性废物分拣的管理要求 (115)

7.4 放射性废物分拣技术要求 (115)

7.4.1 废物源项确认及分拣价值分析 (116)

7.4.2 分拣目标确定 (117)

7.4.3 废物分拣方法选择 (117)

7.4.4 放射性废物分拣流程 (118)

7.4.5	废物分拣实施前准备	(119)
7.4.6	分拣测量设备选择	(119)
7.4.7	废物分拣刻度	(120)
7.4.8	废物分拣现场实施标准	(120)
7.4.9	分拣实施中需要注意的事项	(120)
7.5	小结	(120)
7.5.1	结论	(120)
7.5.2	建议	(121)
	参考文献	(122)
第8章	污染材料的再循环再利用	(124)
8.1	污染物料的来源及产生情况	(124)
8.1.1	核设施运行期间	(124)
8.1.2	核设施退役期间	(127)
8.2	污染材料再循环再利用现状	(128)
8.2.1	技术标准	(129)
8.2.2	污染金属再循环再利用实践	(130)
8.2.3	污染混凝土再循环再利用实践	(132)
8.2.4	其他污染物料	(133)
8.3	影响再循环再利用的因素	(135)
8.3.1	国家政策	(135)
8.3.2	公众接受度	(135)
8.3.3	法律/责任	(135)
8.3.4	物料的数量	(135)
8.3.5	技术可行性	(136)
8.3.6	从审管控制中释放	(136)
8.3.7	成本	(136)
8.3.8	处置设施的可用性	(136)
8.4	存在的问题	(137)
8.4.1	监管要求和管理体系	(137)
8.4.2	技术储备	(137)
8.5	小结	(137)
8.5.1	强化废物最小化理念的宣传,提高从业人员对于再循环与再利用的意识	(137)
8.5.2	完善污染材料再循环与再利用的法规、导则、标准制定	(138)
8.5.3	建立核工业污染材料再循环与再利用管理体系,加强对此的监督管理	(138)
8.5.4	积极争取国家、行业的政策与资金扶持	(138)
8.5.5	积极开发污染物料再循环再利用技术	(139)
8.5.6	加强污染物料再循环再利用能力建设的建议	(140)
	参考文献	(140)

第 9 章 放射性废物最小化管理 (142)

9.1 国外放射性废物最小化管理 (142)

9.1.1 国际原子能机构有关放射性废物最小化的文件 (142)

9.1.2 美国的放射性废物最小化管理 (143)

9.1.3 法国的放射性废物最小化管理 (147)

9.1.4 日本的放射性废物最小化管理 (149)

9.2 国内的放射性废物最小化管理 (150)

9.2.1 我国废物最小化管理相关法规、标准 (150)

9.2.2 废物最小化管理组织机构和顾问组 (151)

9.2.3 工作人员培训 (152)

9.2.4 放射性废物档案及管理系统 (152)

9.2.5 废物最小化管理的效果 (155)

9.3 小结 (155)

9.3.1 结论 (155)

9.3.2 建议 (157)

参考文献 (159)

第 10 章 结论与建议 (160)

10.1 结论 (160)

10.2 建议 (161)

10.2.1 我国的放射性废物最小化战略建议 (161)

10.2.2 管理及技术措施方面的建议 (163)

第1章 绪 言

1.1 研究目的

为保护资源、保护环境、提高资源的利用率,尽一切实际可能地减少废物的产生、减少环境污染,采用最佳实用技术实现废物最小化,走可持续发展道路,已成为全人类的共同奋斗目标。走可持续发展道路、建立环境友好型社会、发展循环经济,是我国新时期社会经济发展的战略决策。

放射性废物管理尤其是放射性废物的最终处置是影响核能发电可持续发展的重要因素之一,已引起世界有核国家政府、社会、公众及有关国际组织的高度关注,因而汲取国际放射性废物管理经验,科学地控制放射性废物的产生、严格地控制放射性污染的转移扩散、积极地实施循环经济产业战略、全面地开展放射性废物最小化实践,是我国核电事业可持续发展的重要保障。我国第一个核电厂——秦山核电厂 1991 年发电以来,已经产生了约 2 万 m^3 的低、中水平放射性固体废物,大量乏燃料有待处理和处置。到 2020 年,我国核电站装机容量可能达到世界第二位,2030 年有可能达到世界第一位。大量放射性废物,特别是高水平放射性废物必将成为核能发展的一个主要问题。因此,为了“安全高效”“稳定持续”推动我国核电的建设,必须积极推动放射性废物最小化政策与战略的研究和实践。

中国核工业已经走过七十多年的历史,遗留下了大量的辐射遗产——放射性废物和亟待退役的核与辐射设施。这些设施的退役也将不可避免地产生放射性沾污设备和物料、放射性废物等。老旧设施的运行也将产生一定数量的放射性废物。因此,做好历史遗留废物和老旧设施运行废物与退役废物的最小化是一项国家任务和历史使命。

当前,我国核与辐射技术利用已广泛地渗透到我国经济、民生等各领域,安全妥善地管理核与辐射技术利用领域产生的废物,不仅可以推进核与辐射技术利用产业的健康安全发展,也可以提高核与辐射技术利用本身的社会和公众接受度。

铀矿山及非铀矿山的勘探、采冶,使大量天然存在的放射性物质(NORM)被人为地暴露于地表面,进而引起局地空气中氡气活度浓度增高、大量含天然铀或天然钍的物质堆积于地表。近年来世界各地已发生多起因人类采冶过程遗弃或抛弃含 NORM 的废渣或废石而引起当地居民集体上访游行或通告国际原子能机构(IAEA)的事件。如铀矿、稀土矿采冶过程导致大量含 NORM 的废弃物直接暴露于矿区及其周边环境,燃煤电厂的粉煤灰掺混用于制作建筑材料等。这些废弃物或废渣中天然放射性含量的特点是活度浓度通常较低但数量巨大。因此,做好 NORM 废弃物的安全管理,不仅关系环境安全、公众健康,也关系社会稳定。

放射性废物最小化政策与战略研究和实践,不仅是国家科学发展观的要求,也是企业经

济、清洁、安全和高效发展的需要。目前已经认识到:第一,废物的最终处置是一项技术难度大、时间周期长、公众接受困难、耗资大的难题。第二,走循环经济产业发展道路,降低企业的原材料消耗、减少环境排放、降低废物处置成本、提高资源利用率,是一条即有利于企业又有利于国家、社会和公民的科学发展道路。第三,采取合理可行最佳实用技术降低废物的产生,不仅可以降低废物管理风险,使其对环境和公众的辐射影响最小,而且也可以提高核能发电技术、核与辐射技术利用的公众接受度,进而促进核事业的健康安全发展。

放射性废物最小化战略与顶层设计研究和实践,不仅可以积极地推进废物最小化理念的传播,也将大力地推动我国放射性废物最小化和资源化政策、循环经济产业政策,以及可持续发展战略的有效实施。在当前形势下也将积极推动我国核电建设的安全、高效发展。

本项目研究的主要目的是,全面调查分析国际国内放射性废物最小化实践经验、政策与法律法规基础、废物最小化科学技术与工程管理,针对我国目前废物管理的实际状况,提出我国废物最小化管理的政策和策略建议、技术管理要求、行政管理要求及其实实施导则等。

1.2 项目背景

放射性废物最小化是放射性废物管理的基本原则之一,是国家废物管理政策的一项基本要求,核行业主管部门和核与辐射安全监管部門都很重视。它既直接涉及环境的安全与资源的高效利用,也与经济效益直接相关。2007年年初,中国原子能科学研究院等单位提出了“放射性废物最小化战略和顶层设计研究项目建议书”。2008年9月国家国防科技工业局科工二司[2008]614号文批复建议书。同时,该项目也得到环境保护部(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及中核集团清原环境技术工程有限责任公司的支持和资助。中国核工业集团公司组织成立了项目组。项目组由来自国内从事核燃料循环设施、核电站、研究堆等研究、设计、生产与运行的一线科技人员,包括相关科研院所、研究设计院所、放射性废物处理处置专业化工程公司、核电厂运行管理等单位的科学技术研究、高级管理人员组成。

2009年3月,中国核工业集团公司组织专家组审查并通过了项目组提出的《放射性废物最小化战略和顶层设计研究可行性研究报告》。

本项目针对我国核工业铀矿采冶、转化、浓缩、元件制造,研究堆与核电厂,乏燃料后处理以及核与辐射技术利用领域所涉及的放射性废物最小化方面的法律法规、政策制度、实用技术以及实践开展系统、全面的调查分析与研究。

2011年12月,国防科技工业局组织验收本项目,全部完成了批复规定的研究工作。

1.3 研究范围

本项目研究主要涉及我国核与辐射相关活动过程中产生的低、中水平放射性废物的最小化,不包括废物嬗变及高放废物的最小化。

放射性废物最小化中最大的问题是高放废物的最小化。高放废物最小化涉及核燃料循环发展的战略,是闭式循环还是乏燃料直接处置?我国已经明确走后处理的路线,并明确后处理路线并不等于所有乏燃料都有必要进行后处理,这里既存在经济问题也存在可行性问

题。因而必然存在相当比例的乏燃料需要长期贮存。嬗变是减小高放废物的主要途径,我国已开展了快堆嬗变的前期工作。中国科学院设置了战略性先导科技专项“未来先进核裂变能——加速器驱动(ADS)嬗变系统”。这些问题是与高放废物最小化直接相关的,但是不在本课题的研究范围内。

1.4 本书的结构

第1章 绪言。本章简要说明放射性废物最小化战略与顶层设计研究的主要内容、研究团队及研究报告的结构。

第2章 总论。本章主要论述放射性废物最小化的基本概念、放射性废物最小化的国际国内法规情况及废物最小化策略、原则和经验等。

第3章 核燃料循环前段设施放射性废物最小化。包括:铀矿冶废物最小化和铀转化、浓缩、元件制造过程中废物最小化。本章主要论述我国核燃料循环前段的废物最小化研究与实践。

第4章 核电厂放射性废物最小化。本章主要论述核电厂废物最小化的研究与实践。

第5章 研究堆与核技术利用放射性废物最小化。本章主要论述研究堆和核与辐射技术利用中放射性废物最小化研究与实践。

第6章 核设施退役放射性废物最小化。本章主要论述核设施退役过程的放射性废物最小化情况。

第7章 放射性废物分拣。本章描述放射性废物的现场分拣测量技术。

第8章 污染材料的再循环再利用。本章主要描述放射性废物的再循环再利用技术问题与管理问题。

第9章 放射性废物最小化管理。本章主要描述废物产生者的废物管理要求及其管理方法等。

第10章 结论与建议。本章简要地概述了研究中得到的主要结论,作为研究工作的重点,提出了加强我国废物最小化研究与实践的建议,包括废物最小化技术研究、废物最小化管理法规导则、促进废物最小化的政策等。

(执笔人:潘自强、刘森林)

第2章 总论

2.1 概述

放射性废物最小化的社会经济基础,是放射性废物处置成本的持续增长和企业组织的社会责任。一方面,核设施与辐射装置的运行与退役及其他核与辐射活动都会产生一定数量的废料。这些废料可以是放射性的,也可以是非放射性的。它们或者直接作为废物进行处理处置,或者经回收再循环或直接再利用,最终它们的全部或部分将进入人类赖以生存的自然生态环境而导致对环境和公众产生一定程度的潜在不利影响,因而社会和公众对放射性废物的安全处置特别关注。另一方面,尽一切努力减少环境排放、保护人类赖以生存的生态环境,是任何组织或企业的基本法律责任和义务。减少环境排放的根本途径之一就是实施废物最小化战略。因此,放射性废物最小化不仅是废物产生者的经济考虑,也是废物产生者的社会责任。

实施废物最小化战略,与“节能减排”和废物“资源化”要求是相一致的。能源生产与消费总是会不可避免地产生“废物”。因此,一方面,通过节约能源消费可以减少“废物”的产生及其相应的环境排放;另一方面,对“废物”实施资源回收、再生、循环利用,不仅可以提高资源利用率也可以实际减少最终废物处置量。

20 世纪 70 年代中期美国就正式提出了放射性废物最小化概念^[1]。在美国,20 世纪 50 年代还缺乏对放射性废物管理问题重要性的认识,没有对放射性废物处理系统的设计和建造进行专门考虑,放射性废物集中运输到联邦低放废物处置场进行处置,处置费仅有每立方米几十美元。在美国核电建设初期没有规定核电厂减少放射性废物产生量的要求,也没有投资研究开发放射性废物减容技术。1976 年 10 月,美国国会颁布了危险固体废物处置法修正案(RCRA),即《资源保护和回收法》,它是一部详尽和完整的关于固体废物管理的法规。RCRA 是以美国 1965 年颁布的固体废物处置法为基础,合并 1976 年颁布的固体废物利用法和资源保护回收法建立的。1978 年和 1980 年分别再次进行了修订。美国核管会(NRC)成立之后情况发生了显著改变,对放射性废物管理提出了明确的规定及要求,因此,营运单位不得不重视对废物处理系统的设计及废物的分类管理。20 世纪 70 年代末期,美国核电厂低放废物的处置成为一个现实问题,运输和处置费用迅速上涨,管理要求也日趋严格,因此,许多核电厂开始采用先进的减容技术,明显减少了需要临时贮存和处置的废物体积。20 世纪 80 年代,美国国会颁布了低放废物政策法,废物的处置要求更趋严格,废物的处置费用显著上涨,达到每立方米 1 万美元,这迫使美国核电厂不得不更加重视废物最小化问题。1993 年美国关闭了一个低、中放废物处置场,要求另外两个处置场有限制地接收废物。这又迫使美国核电厂更进一步重视废物减容和再循环再利用,并把可以达到清洁解控