

放射性废物

处理与处置

Treatment and Disposal
of Radioactive Wastes

罗上庚 编著



中国环境科学出版社

处理与外贸



放射性废物处理与处置

罗上庚 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

放射性废物处理与处置/罗上庚编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2007

ISBN 978-7-80209-531-1

I. 放… II. 罗… III. ①放射性废物处理②放射性废物处置 IV. TL94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 038736 号

责任编辑 杨 洁 刘大激

责任校对 刘凤霞

封面设计 康巴朗斯

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2007 年 6 月第一版
印 次 2007 年 6 月第一次印刷
印 数 1—3000
开 本 787×1092 1/16
印 张 23
字 数 510 千字
定 价 85.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

核工业是高科技战略产业，核能是能量密度最高的能源，核技术是附加值很高的技术。自 20 世纪 40 年代以来，从军用到民用，核科学技术已取得了卓越的成就，现在它正向着广度、深度发展。核科学技术是符合全面、协调、可持续发展要求的高新技术。现在，我国开始了积极发展核电的新时期，我们迎来了核能开发利用的大好形势。

核能和核技术的开发利用给人们带来巨大好处的同时，也产生了可能对人类健康和环境有负面影响的放射性废物。为降低或消除这种负面影响，从 20 世纪 60 年代以来，世界上许多科技工作者作出了很多贡献，开发了很多有效的放射性废物处理、处置技术，特别是低、中放废物的处理与处置以及高放废物处理技术。但是，对于高放废物的处置、 α 废物的处理与处置、核设施退役和污染场地清污等方面尚需加强研究、交流和合作，以便促进这方面的工艺设备和技术更加完善、安全和经济。

本书系统和全面地介绍了放射性废物处理与处置的新概念、新技术和新进展，内容丰富、实用性强。希望本书出版对推进我国放射性废物处理与处置事业起到积极作用。

潘自强

2006 年 10 月 20 日

前 言

1938 年，哈恩和斯特拉斯曼发现核裂变，打开了核宝库。近 70 年来，核能的开发利用，从军用到民用，发展迅猛。在军事上，核武器成为强大的威慑力量；在国民经济建设中，核能的利用空间越来越大。现在，世界上有 440 座核电站在发电，提供了世界总电量 16% 以上的电能。由于核能是能量密度最高的能源，且不释放二氧化碳，核电是取代化石燃料最可能的依靠对象。核能的利用从裂变能到聚变能，前程远大。同位素和核技术利用是高附加值产业，将会开发更多的市场和创造更大的效益。

我国核工业经过半个世纪的发展，取得了举世瞩目的成就，不仅为保卫国家安全和维护世界和平作出了重大贡献，同时也促进了我国科技进步和经济发展。

人类的一切生产、生活活动会产生废物，核能和核技术的开发利用过程会产生放射性废物。人们对放射性废物的认识有一个逐步深化的过程。今天，放射性废物的处理和处置，除了高放废物处置外，基本具备了安全可靠的工业化技术。比起其他工业有毒、有害废物，放射性废物管理受到最高程度的关注。国际原子能机构经过向成员国征求意见和理事会的批准，发布了放射性废物管理九条原则，要求放射性废物管理确保工作人员和公众的健康，切实保护生态环境、保护后代人的健康和不给后代带来不适当的负担。

我国政府高度重视放射性废物的治理。我国军工遗留的放射性废物的治理和核设施退役，正在积极稳妥地进行。我国核电厂放射性废气和废液得到有效净化处理，气载和液体流出物所增加的辐照剂量远低于国家限值，仅约为天然本底辐射水平的 1%。《中华人民共和国放射性污染防治法》对放射性废物管理作了许多重要法律规定，并且提出国家鼓励、支持放射性污染防治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。

放射性废物处理与处置是一门新兴的交叉学科，它涉及放射化学、放射化工、无机化学、有机化学、物理化学、分析化学、核物理、辐射防护、地质、水文地质、地球化学、环境科学等许多学科和专业。为安全和经济地处理和处

置好废物，世界上有核国家都投入了许多经费，制订法规标准、研究开发新技术和培养管理人才。

本书以科学发展观作指导，介绍放射性废物处理和处置新概念、新技术，阐述放射性废物管理发展动向，推进我国放射性废物治理，促进核能可持续发展，迎接核电发展高潮的到来和建设环境友好的社会主义和谐社会。

全书共分 13 章，全面介绍了气载、液态和固体放射性废物的处理和处置技术。本书没有对放射性废物处理、处置技术的历史发展进程作过多描述，而重在阐述当今世界关注的放射性废物管理领域的热点和难点问题。例如，废物最小化、核设施退役、放射性废源管理、极低放废物、高放废液固化、分离-嬗变和分离-整备、高放废物安全处置等。本书注意收集和介绍我国在放射性废物处理与处置方面所取得的重要成果。

本书在书后设置了 7 个附录，给出了我国和国际原子能机构所发布的放射性处理与处置相关的法规、标准和导则，以及相关出版物目录，介绍了一些国家放射性废物管理专门机构、放射性废物相关监测方法和分析标准，这些内容颇具实用价值。

中国工程院潘自强院士为本书作了序。我国放射性废物领域知名专家陈式、王显德、孙东辉、徐国庆、孙明生分别对本书诸章进行了审阅。在这里对他们的指教和支持，表示衷心的感谢。

本书附录得到了李泽研究员、金惠民研究员、张振涛研究员、肖雪夫研究员、吉艳琴博士、张华博士、潘竞舜高级工程师等的帮助，谨向他们表示谢忱。

本书覆盖面大，涉及范围宽，加上放射性废物处理与处置技术不断推陈出新，而本人知识水平和理解程度有限，书中难免存在不当或疏漏之处，敬请专家和读者批评指正。

罗上庚

2006 年 10 月

目 录

第一章 放射性废物管理内容和原则	1
第一节 放射性废物管理内容	1
第二节 放射性废物的法制管理	2
第三节 放射性废物管理的基本原则	4
第四节 放射性废物管理的重要环节	6
第五节 放射性废物管理的辐射防护与安全	8
第二章 放射性废物的分类	11
第一节 放射性废物的分类方法	11
第二节 国际原子能机构推荐的放射性分类体系	12
第三节 我国的放射性废物分类	15
第四节 介绍几个国家的废物分类体系	16
第五节 豁免、清洁解控和极低放废物	18
第三章 放射性废物的产生和废物最小化	24
第一节 核燃料循环前段废物	24
第二节 反应堆运行废物	35
第三节 核燃料循环后段废物	37
第四节 核设施退役废物	43
第五节 放射性同位素和核技术利用废物与伴生放射性矿废物	44
第六节 废物最小化	45
第四章 气载和液体低中放废物的处理	51
第一节 气载低中放废物的特点	51
第二节 气载放射性废物的处理	52
第三节 低中放废液的净化处理	58
第四节 先进净化处理工艺	72
第五节 流出物的排放	73
第六节 有机废液的处理	77
第五章 废物的减容处理——焚烧和压实	80
第一节 焚烧工艺过程和设备	81
第二节 焚烧炉的类型	85

第三节 湿法氧化	91
第四节 焚烧处理的安全问题	94
第五节 废物的压实减容	95
第六节 超级压实机减容	98
第六章 低中放废物固化技术	103
第一节 水泥固化	103
第二节 沥青固化	110
第三节 塑料固化	116
第四节 改进的低中放废物固化处理技术	118
第五节 水力压裂法	122
第六节 大体积浇注法	124
第七章 高放废液的固化与分离-嬗变和分离-整备	127
第一节 高放废液的特性	127
第二节 高放废液的贮存	128
第三节 高放废液的玻璃固化	130
第四节 玻璃固化配方和特性鉴定	140
第五节 人造岩石固化	148
第六节 分离-嬗变和分离-整备	152
第八章 放射性污染的去污	159
第一节 去污基本概念	159
第二节 去污方法选择原则	161
第三节 去污方法	163
第四节 去污技术的应用	175
第九章 核设施的退役	184
第一节 退役计划和准备	184
第二节 源项调查和监控测量	193
第三节 切割解体和场址清污	197
第四节 退役废物管理	204
第五节 退役的安全问题	207
第六节 退役活动和经验	211
第十章 低、中放和极低放废物的处置	220
第一节 近地表处置场的选址	220
第二节 近地表处置场的设计和建造	221
第三节 近地表处置场的运行	226

第四节 处置场的关闭和关闭后的监护	229
第五节 近地表处置的安全评价	232
第六节 低中放废物处置国内外状况	236
第七节 极低放废物处置	240
第十一章 高放废物处置	244
第一节 高放废物地质处置	244
第二节 处置库的选址	246
第三节 处置库的设计建造	248
第四节 高放废物处置的研究开发活动	249
第五节 核素迁移研究	262
第六节 高放废物处置的国际现状	269
第十二章 核电站废物的处理	276
第一节 核电站废物的来源	276
第二节 核电站废物的管理系统	278
第三节 核电站废物的处理方法	279
第四节 核电站流出物的排放	287
第五节 核电站的废物最小化	290
第十三章 核技术利用废物和废旧放射源的管理	294
第一节 核技术利用废物的产生和特性	294
第二节 核技术利用废物的管理	300
第三节 废旧放射源的管理	305
第四节 核技术利用放射性废物库	313
附录一 我国放射性废物相关法规、标准和导则	317
附录二 国际原子能机构发布的有关放射性废物管理标准和导则	326
附录三 国际原子能机构发布的有关放射性废物管理的出版物	330
附录四 一些国家放射性废物管理机构和相关国际公约	343
附录五 放射性废物管理相关的监测和分析方法	346
附录六 低中放废物固化体和放射性废物运输货包检验项目	353
附录七 桶装固体废物监测方法和废物固化体浸泡试验方法	355

第一章 放射性废物管理内容和原则

核能是一种高度浓缩的能源，是目前唯一可以大量替代化石燃料的能源。核技术是一种高附加值的生产技术。核能的开发利用给人类社会带来了巨大经济效益和社会效益，但是它也像人类的其他生产、生活活动一样会产生废物，这就是本书所要阐述的放射性废物，也有人称之为核废物。

放射性废物是含有放射性核素或为放射性核素所污染，其放射性核素的浓度或活度大于审管机构确定的清洁解控水平，并且预期不再使用的物质。

放射性废物以各种各样的形式存在，其物理和化学特性、放射性浓度或活度、半衰期和生物毒性可能差别很大。放射性废物与别的有害物质或一般废物不同，它的危害作用不能通过化学、物理或生物的方法消除，而只能通过自身衰变或核反应嬗变来降低其放射性水平，最后达到无害化。因此，放射性废物的管理有其特殊要求和需要专门的措施。放射性废物治理的基本方法可概括为两类：① 分散稀释；② 浓集隔离。放射性废气和废液经过净化处理之后，以气载或液体流出物排放到大气或水体中属于“分散稀释”。放射性废物经过固化、整备，把放射性核素浓集在固化体中，实行近地表处置或深地质处置，就属于“浓集隔离”。

第一节 放射性废物管理内容

放射性废物管理是包括废物的产生、预处理、处理、整备、运输、贮存和处置在内的所有的行政和技术活动。放射性废物管理应实行从“产生”到“处置”的生命周期全过程的优化管理，力求达到最佳的经济、环境和社会效益，有利于可持续发展。放射性废物管理体系可用图 1-1 来表示。

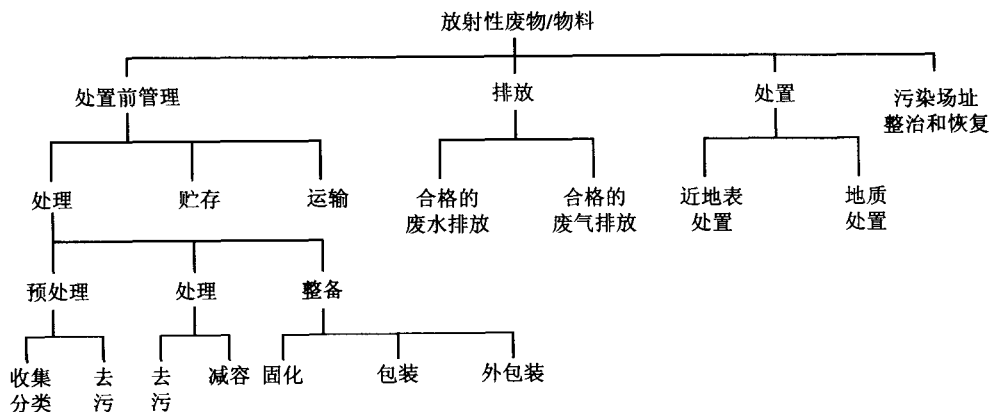


图 1-1 放射性废物管理体系图

放射性废物管理以“安全”为目的，“处置”为核心。气载和液体流出物的排放是处置的一种形式。核设施退役涉及去污、切割解体、场址清污等一系列活动，退役活动会产生许多废物，所以国际原子能机构（IAEA）把退役划分在放射性废物管理之中。

放射性废物管理要用科学发展观作指导，以优化方式进行全过程管理，实现安全处置，使当代和后代人的健康与生态环境和非人类物种免遭危害，不给后代带来不适当的负担，使核能事业持续发展。

放射性废物管理者的责任是按照国家颁发的相关法律、法规和标准，以及国际社会一致同意的放射性废物管理基本原则和辐射防护原则，安全、经济、科学、合理地处理处置好废物。废物最小化应作为放射性废物管理必须遵守的宗旨和努力目标，为此，废物管理应该把豁免的废物和物料分出来，把可再利用、再循环的物料分出来，经过适当的处理，使需要最终处置的废物可合理达到的尽可能少，经过适当处理和整备得到安全处置（图 1-2）。

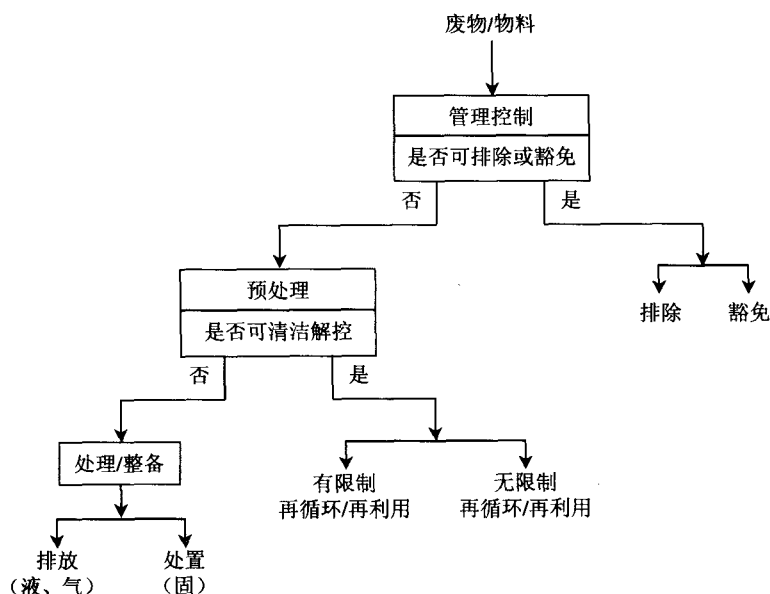


图 1-2 放射性废物管理模式

第二节 放射性废物的法制管理

我国政府高度重视环境保护，确定环境保护是一项基本国策。宪法中明确规定“国家保护和改善生活环境和生态环境，防治污染和其他公害”。《中华人民共和国环境保护法》明确提出了“经济建设与环境保护协调发展”“预防为主、防治结合、严格管理、安全第一”“全面规划、合理布局”“谁污染谁治理”“政府对环境质量负责”“依靠群众保护环境”等原则。在防治污染和其他公害方面，我国已颁布了《中华人民共和国海洋环

境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》等一系列法律、法规，形成了较完整的法律体系。

全国人民代表大会常务委员会于 2003 年 6 月 28 日通过了《中华人民共和国放射性污染防治法》^[1]，此法在总结我国几十年核能和核技术利用中的经验和教训，参照国际上成熟的通用的实践，对核设施、核技术应用，铀矿和伴生矿开发以及放射性废物管理等方面的污染防治作出了规定，确定了核设施许可证、环境影响评价、辐射环境监测、核事故应急等管理制度，对放射性污染防治实行全过程管理。放射性污染防治法规定了向环境排放放射性废气、废液必须符合国家放射性污染防治标准；低、中水平放射性固体废物在符合国家规定的区域实行近地表处置；高水平放射性固体废物和 α 废物实行集中的深地质处置；产生放射性固体废物的单位，应当按照国务院环境保护行政主管部门的规定，对其产生的放射性固体废物进行处理后，送交放射性固体废物处置单位处置，并承担处置费用；设立专门从事放射性固体废物贮存、处置的单位，必须经国务院环境保护行政主管部门审查批准，取得许可证；禁止将放射性废物和被放射性污染的物品输入中华人民共和国境内或者经中华人民共和国境内转移，等等。

我国已经建立职责分工明确和实行独立监管的组织机构。例如，国防科学技术工业委员会（以下简称国防科工委）是我国放射性废物管理的行业主管部门。国防科工委所属中国核工业集团公司是我国最大的放射性废物产生和管理部门。国家环境保护总局（国家核安全局）是我国放射性废物管理最高安全监管机构。地方环保部门参与有关放射性的监管活动，进行独立环境监测。企业内部有运营机构与监督机构之分，企业法人是安全直接责任者，承担对辐射照射达到并保持满意控制的责任^[2]。

放射环境管理实行国家和省、自治区、直辖市（下称省级）两级管理。国家环境保护总局对全国放射环境保护工作实施统一监督管理。省级人民政府环境保护行政主管部门对本辖区的放射环境保护工作实施统一监督管理，并根据本地区的实际情况加强环境管理队伍建设和组织落实。国家环境保护总局负责拟定放射环境管理的政策和法规，制定放射环境标准并监督实施；负责核设施环境影响报告的审批和指导省级环境保护行政主管部门的放射环境管理工作。放射环境管理的具体任务由省级环境保护行政主管部门负责实施^[3]。

《放射环境管理办法》《放射环境管理实施细则》《建设城市放射性废物库的暂行规定》《城市放射性废物管理办法》，以及《关于我国中低水平放射性废物处置的环境政策》等法规、条例和标准，都体现了我国放射性废物管理的实行：

- 在国家法律框架下，按法律、法规、标准办事；
- 建立审管机构，独立行使审管的执法和监督职能；
- 明确废物产生者和废物管理设施运营者的职责；
- 实行环境影响评价制度和许可制度。

在放射性废物管理方面，我国已发布了不少标准，基础性的标准如：《放射性废物管理规定》（GB 14500—2002）、《放射性废物分类标准》（GB 9133—1995，HAD401/04）、《放射性废物安全监督管理规定》（HAF 401）、《核科学技术术语 放射性废物管理》（GB/T 4960.8—1996）等。我国已发布的放射性废物相关法规、标准和导则目录详见附录一。

第三节 放射性废物管理的基本原则

放射性废物不恰当的管理会在现在或将来对人类健康和环境产生不利的影响，放射性废物管理必须履行旨在保护人类健康和环境的各项措施。国际原子能机构（IAEA）在征集成员国意见的基础上，经理事会批准，在 1995 年发布了放射性废物管理以下九条基本原则^[4]：

原则 1 保护人类健康

放射性废物管理必须确保对人类健康的保护达到可接受水平。

放射性废物引起的危害作用和某些有毒废物相类似，而且放射性废物还具有电离辐射危害作用，需要特殊的保护，必须控制工作人员和公众受到的照射在国家规定的允许限值之内，并且可合理达到的尽可能低。在确定辐射防护的可接受水平时，主要应考虑国际放射防护委员会（ICRP）和国标原子能机构（IAEA）的推荐，特别是关于正当性、最优化和剂量限值的原则。

原则 2 保护环境

放射性废物管理必须提供环境保护达到可接受水平。

放射性废物管理应使放射性废物向环境的释放实际可达到最少，优选的办法是把放射性核素浓集和包容起来，但是，也可以采取适当的控制措施，在批准的限值内释放到大气和水体中，并且也可进行复用。

放射性核素释放到环境中，除人类之外的其他生物物种也可能受到电离辐射的照射，对于这些照射的各种影响也应予以考虑。放射性废物处置可能在相当长的时间内对天然资源（如土地、森林、地表水、地下水及矿藏）未来的可用性产生不良的影响，放射性废物管理应尽可能限制这些影响。

放射性废物管理活动有可能引起非放射性环境影响，如化学污染或生物天然栖息地的变更。对于这些影响，要使放射性废物的非放射性环境影响至少达到类似的工业活动的水平。

原则 3 超越国界的保护

放射性废物管理必须考虑对人体健康和环境的超越国界可能的影响。

本原则出于道义上的考虑，放射性废物管理要使对相关国家人体健康和环境的有害影响不大于对自己国内已经判定可接受的影响。在履行这项义务时，要考虑诸如国际放射防护委员会和国际原子能机构等国际团体的建议。

在正常释放、潜在释放或放射性核素越境转移情况下，事发国应根据这一原则的精神，通过与邻国或受影响国交换信息或商议等方式达成共识。

国际原子能机构《关于放射性废物国际越境转移实践规程》规定：一个国家仅当具备符合国际安全标准的处理和处置废物所需的行政管理、技术能力及审管机构时，才可

接收另一个国家的废物进行处理或处置。

原则 4 保护后代

放射性废物管理必须保证对后代预期的健康影响不大于当今可接受的有关水平。

本原则是基于对后代健康的人道考虑。可接受水平的确定主要根据国际放射防护委员会和国际原子能机构的最新建议。

对会长时期延续影响的情况，如不能保证放射性废物的完全隔离，则应达到合理保证人类健康不会受到不可接受的影响。这一目标主要通过采用天然屏障及工程屏障构成的多重屏障体系来实现。此外，应考虑未来人类闯入隔离区域的活动或自然活动，可能会对处置设施的隔离能力产生不利影响；应考虑预测遥远未来的困难性，会造成安全评价的不确定性。

原则 5 不给后代造成不适当的负担

放射性废物管理必须保证不给后代造成不适当的负担。

本原则也是出于道义的考虑，享受核能开发利用好处的人们应承担管好其所产生废物的责任。有些活动的影响可能延续到后代，如废物处置，对处置设施应按规定进行监测和控制。对放射性废物管理，当代人有责任开发技术、建立基金体系进行有效控制和计划安排。

各类放射性废物处置的时间安排和具体实施，受科学、技术、社会和经济等因素的影响，例如，合适场址的可获得性、公众的可接受性和地方政府的配合。放射性废物处置应尽量不依赖于长期对处置场的监测和处置场关闭后对放射性废物进行回取。

原则 6 纳入国家法律框架

放射性废物管理必须在适宜的国家法律框架内进行。

国家应制订法律框架，发布放射性废物管理的法律和法规。进行放射性废物管理活动的有关部门和机构应有明确的分工。审管职能必须与运行职能分离，使放射性废物管理实现独立的审查和监督。

放射性废物管理特别是放射性废物的处置要涉及许多代人和持续非常长的时间，故现在及将来的情况都应予以考虑，应当确保职责的长期持续性和资金满足需求。

原则 7 控制放射性废物产生

放射性废物的产生量必须可实现的尽可能少。

通过适当的设计、运行和退役，使放射性废物量和活度两者都尽可能地最小。减少废物量的办法包括：优化管理、对材料的选择和控制、循环使用和复用、采用分类和减容措施，以及优化的运行程序等。

原则 8 兼顾放射性废物产生和管理各阶段间的相依性

必须重视放射性废物产生和管理的各阶段间的相互依存关系，实施全过程管理。

放射性废物管理各阶段间相互联系，某个阶段所作出的放射性废物管理的决定可能

会对后续阶段产生影响。因此要正确地识别各阶段间的相互作用和关系,使管理的安全和有效性得以平衡。例如,全面考虑废物的处理与处置、核设施的退役、放射性物质的运输、贮存和处置;整备废物及包装与处置环境的兼容;固化体品质符合接收标准和适应处置要求等。

由于放射性废物管理各阶段处于不同时期,在考虑任何一个放射性废物管理活动和做决定时,都应该考虑其对后续放射性废物管理活动的影响,尤其是对废物处置的影响。

原则 9 保证废物管理设施安全

必须保证放射性废物管理设施使用寿期内的安全。

废物管理设施的选址、设计、建造、调试、运行、退役、处置场的关闭,应优先考虑安全问题,包括预防事故和减轻事故影响的措施,尤其要重视公众问题。提供和保持适当水平的防护,限制可能的辐射影响。

放射性废物管理设施在整个寿期内,应该有适当的质量保证、人员培训和资格认证,适当评估设施的安全及环境影响。

IAEA 对放射性废物管理十分重视,成立了废物安全标准顾问委员会(WASSAC),发布了许多标准和导则(见附录二)。IAEA 还组织召开了许多放射性废物管理国际大会、专题研讨会和专家会议,发布了许多对放射性废物管理有指导意义的报告文集(见附录三)。

国际放射防护委员会(ICRP)也给放射性废物管理提供了许多指导原则。ICRP 第 26 号出版物,确定了适用于涉及辐射照射的实践剂量限制体系,确定了有效剂量当量概念。第 46 号出版物针对放射性固体废物处置,提出了个人风险限制和其他建议,发展了辐射防护三原则。第 60 号出版物,建立了实践和干预两大防护体系,还包括了豁免原则。这些为放射性废物管理及核设施退役的辐射防护标准的制定和选用提供了指导思想^[5-7]。

ICRP 提出了《固体放射性废物处置的辐射防护原则》第 46 号出版物、《潜在照射的防护:概念框架》第 64 号出版物、《放射性废物处置的辐射防护政策》第 77 号出版物、《用于长寿命固体放射性废物处置的辐射防护建议》第 81 号出版物等文件,对高放废物地质处置的安全目标和安全评价方法学提供了重要依据^[6, 8-10]。

第四节 放射性废物管理的重要环节

实现放射性废物安全管理,应重视以下环节:

(1) 安全分析和环境影响评价。应根据法规和标准的要求,对新的废物管理设施和实践或现有设施和实践的重大改变,编写深度和广度满足要求的安全分析报告和环境影响评价报告。评价报告应当分析和论证正常运行时的安全,评价事件和事故的可能影响。对于正常运行的评价,应当分析和论证放射性废物管理过程各个阶段对工作人员、公众和环境的辐射安全和非辐射安全。这些评价应以设施设计和运行过程为基础。评价还应当对放射性废物设施给人类生态、环境(土壤、水、空气和非人类物种)和自然资源的潜在的非放射学影响作出描述和分析;应当评定内部和外部事件(这种事件可能导致事

故)可能的后果,并且评价其对工作人员、公众和环境的影响。这种评价应该利用适当的模式和实验数据。

评价处置设施的长期安全性能,应考虑被包容的放射性核素的活度和废物的物理和化学特性,以及处置系统所提供的屏障的有效性。天然屏障的有效性应通过现场调查来确定。这种评价利用预测数学模型来进行,这些数学模型应是建立在实验数据基础上的。

(2) 安全文化。核安全文化是 IAEA 总结三哩岛事故和切尔诺贝利事故基础上发展起来的一种确保核电厂安全运行的完整的管理概念,现已推广到整个核领域,包括废物管理活动,成为一项基本管理原则,用以防止和减少人因错误,提高核设施的安全性。

安全文化是单位和个人对安全的认识和态度的总和。因为每个人的认识和行为都可能影响安全,所以安全文化必须植根于每个人的思想和行动,这对领导阶层尤为重要。负责放射性废物管理的领导和组织应建立和执行促进安全文化提高的制度和程序;制订和执行有关安全政策和审查程序;制订和执行强调安全重要性和个人行为要求的员工培训大纲。安全意识淡化是滋生安全隐患的重要原因之一,坚持安全文化培养和安全文化检查,使“安全第一,质量第一”深入人心,安全绩效不断提高。

(3) 质量保证。废物管理质量保证为保护人类健康和环境提供保证。质保部门应有充分的独立性,应明确规定有关人员和组织的责任和权限。质量保证管理适用于所有的放射性废物管理活动,尤其是对安全有重要影响的环节,例如,质量保证大纲应当确保处置废物的接收要求,应保证焚烧炉、玻璃固化、沥青固化等按工艺程序进行,确保安全运行等。质量保证大纲应得到审管部门的认可,在执行中应受到监督和检查。

(4) 研究和开发。《中华人民共和国放射性污染防治法》第四条指出:“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。国家支持开展放射性污染防治的国际交流与合作”。放射性废物管理要按科学发展观精神,破除因循守旧思想,提倡创新和重视培养创新型人才。放射性废物管理要加强开发研究,学习国外先进经验,不断优化工艺设备,节约资源,减少污染,实现废物最小化。建设研究开发平台对促进开发研究有重要意义。

(5) 文件化和数据库。放射性废物管理关系到公众和环境,可能影响到许多代人的健康,放射性废物管理必须文件化,要长期妥善保存,方便查阅。

数据库对提高设计、运行和管理的效率日益显得重要。放射性废物数据库、废源数据库、处置场数据库、退役数据库,已在国际上纷纷建立,发挥着重要作用,要开发和建立方便利用的软件和人机接口。

(6) 人员培训和资格认定。《中华人民共和国放射性污染防治法》指出:“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,应当对其工作人员进行放射性安全教育、培训,采取有效的防护安全措施”;“国家对从事放射性污染防治的专业人员实行资格管理制度;对从事放射性监测的机构实行资质管理制度”。应制订适当的人员培训计划,确保放射性废物的管理工作人员有必要的知识和技能,确保废物安全、经济和高效的处理与处置。培训包括上岗前的培训和再培训,培训还应包括相关者(承包商和设备供应商)的要求。资格认定还包括对某些重要放射性废物处理、处置设备制造商的资格认定。

(7) 应急计划。放射性废物管理中,如果存在对人类健康和环境有重大潜在危害因