

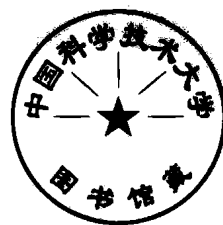
# 放射性废物概论

罗上庚 著

原子能出版社

# 放射性废物概论

罗上庚 著



原子能出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

放射性废物概论/罗上庚著. —北京:原子能出版社,2003.8  
ISBN 7-5022-2932-9

I. 放… II. 罗… III. 放射性废物-概论 IV. TL941

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 059205 号

## 内 容 简 介

本书包含放射性废物综论、处理技术、减容技术、固化技术、包装和贮存、去污和退役、最终处置、国外动态和经验及附录(基础名词术语、重要相关名词术语的英文缩略语、重要相关机构的缩略名称、原子能大事记)等九部分。本书内容广泛,既介绍了放射性废物治理的新概念、新技术,也反映了我国自己的经验和成就。

本书可供核工业、核电、核技术应用和环保部门的相关科技人员和管理干部参考,也可供有关专业的大专院校师生、研究生参考。

## 放射性废物概论

---

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)  
责任编辑 谭俊  
责任校对 李建慧  
责任印制 刘芳燕  
印 刷 保定市印刷厂  
开 本 787mm×1092 mm 1/16  
字 数 526 千字  
印 张 21  
版 次 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 7-5022-2932-9/TL 941  
经 销 新华书店  
定 价 58.00 元

---

版权所有 侵权必究

# **An Outline of Radioactive Waste**

**LUO Shangeng**

## **Brief Introduction**

This monograph includes nine parts: (1) General concepts; (2) Radioactive waste treatment; (3) Volume reduction technologies; (4) Solidification technologies; (5) Packaging and storage; (6) Decommissioning & decontamination; (7) Waste final disposal; (8) Foreign advanced technologies and developing trends; (9) Appendix. It puts emphases on the new concepts and new developments in the radioactive waste management fields, such as: radioactive waste management principles, waste minimization, exemption and clearance, very low level waste, pre-disposal of radioactive waste, new decontamination and dismantling technologies, super-compaction, metal scraps melting, spent resin and spent radiation sources treatment, natural analogue analysis, partitioning-transmutation, underground laboratory research, cold crucible melter, in-situ vitrification, etc. It also reflects the Chinese experiences in the radioactive waste management.

This monograph can be used as a reference book for scientific workers, engineers and managers who are working in the radioactive waste field, as well as for the related teachers, students and post-graduate students.

## 序

放射性废物是当今社会公众关心的热点问题。

放射性废物的安全处理与处置,不仅关系人体健康、环境安全和子孙后代的负担,而且是影响核能可持续发展的重要因素之一。

我国党和政府高度重视环境保护和废物治理。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。我们对放射性废物的治理坚持 ALARA 原则、废物最少化、优化选择等原则。秦山、大亚湾核电站运行十年多来,放射性废气和废液得到有效的净化处理,气体和液体流出物没有给周围环境造成可察觉的负面影响。

为使我国放射性废物更经济、有效、快速地治理,我们需要学习借鉴外国的先进技术,需要总结和反馈我们自己的经验,还需要进行大量的培训和宣传教育。

本书对放射性废物作了比较全面的介绍,反映了国际发展动向和我们自己的经验与成就。本书可供核工业、核电和核技术应用部门有关科技工作人员和管理干部参考;也可供高等院校相关专业的教师、研究生和学生参考。希望本书出版能有利于放射性废物治理事业的发展,有助于公众对放射性废物的正确了解和认识,促进原子能事业的可持续发展。

潘自強

# 前 言

1896年贝克勒尔发现放射性,1898年居里夫妇发现放射性元素,到1938年哈恩和斯特拉斯曼发现核裂变现象,开创了人类的原子能时代。

核能是高度浓缩的能源,放射性核素有无穷应用之地。核能的和平利用给人类社会的发展带来了莫大的好处。但是,核能的开发利用和人类的其他生产、生活和消费活动一样,它也产生废物,这就是放射性废物(也称核废物)。早年,少数核大国由于战争(第二次世界大战)和冷战需要,加上人们对放射性废物的认识不足,存在过对放射性废物轻视的做法,留下了不少隐患。但是这种现象早已被发觉并正在进行扭转与纠正。1992年在里约热内卢召开的世界环境与发展大会拟定的人类可持续发展21世纪议程中,也论及了放射性废物管理问题。今天,可以说,放射性废物比任何工业废物都受到重视和严格管理。放射性废物不仅有高灵敏仪器可以探测,而且已制订了许多法律、法规和标准,要求确保人体健康和环境安全,确保不给予子孙后代带来不适当的负担。当今低中放射性废物的处理和处置已经有了完备的、满足安全要求的处理和处置措施。高放废物的处置,从技术上来说,也已获得解决,它的安全、可靠处置也指日可待。

作者1958年免试保送进北京大学,毕业后考取徐光宪教授(中科院院士)研究生。1967年北京大学技术物理系研究生毕业后,分配到中国原子能科学研究院(当时称原子能研究所),长期从事放射性废物研究。文革后,考取首批访问学者,派往著名的德国卡尔斯鲁厄核研究中心,专攻放射性废物研究两年。此后,先后50多次,参加了国际原子能机构的顾问组会议、专家组会议、技术委员会会议、研究协调组会议和专家服务;参加了许多国际学术会议和专业考察活动;参观了许多国家的放射性废物处理处置设施;与许多国际同行专家进行了学术讨论。这些活动增长了见识,了解了许多先进技术和经验与国际发展动态。因为放射性废物是国际社会公众关注的热点,是影响核能可持续发展的重要因素,亟需加强交流讨论和宣传教育,作者在杂志报刊上发表了许多文章;在会议论坛上作过不少有关报告;并对我国放射性废物治理提出过不少建议意见。

本书选编了作者在国内期刊杂志如《核科学与工程》、《辐射防护》、《原子能科学技术》、《核技术》、《科技导报》、《科学》、《自然杂志》、《安全与环境学报》、《世界科技研究与进展》等和国内重要学术报告会上所发表的专题论文与报导性资料。在这次汇编中仅对个别地方作了小的修改。本书没有列入作者在国内外期刊杂

志所发表的科学实验论文和指导博士生、硕士生完成的论文报告。在选编本书时,作者注意了以下几点:尽量选择近年所发表的文章,多介绍新概念和新技术;尽量选择符合国内需要和感兴趣的问题;重视介绍我国自己的情况和经验。本书着重阐述了:放射性废物管理九项原则、废物最少化、豁免和清洁解控、极低放废物、放射性废物处置前、核设施退役、新型去污和切割解体技术、超高压压缩机、废钢铁熔融再利用、废树脂固化和废放射源管理、自然类比研究、分离-嬗变、地下实验室、冷坩埚技术和就地玻璃固化等内容。并在附录中列入了颇具实用价值的相关名词术语的英文缩略语、相关研究机构的缩略名称等。

放射性废物处理与处置是发展中的交叉学科,新概念和新技术不断出现,所以本书存在一些不足之处,例如有些核设施的废物产生量、核设施的运行时间和费用数据不甚一致,这因为现在各国高度重视废物最少化,废物量都在大大减少,并还将进一步减少;核设施的投产运行计划往往拖后;费用数据文献报导不一致等多种原因。

本书中有7篇文章(文后列出作者的文稿)是合作撰写的,在这里作者真诚感谢他们的合作和贡献。

放射性废物处理与处置科学技术发展迅猛,涉及学科领域众多,而本人知识有限,不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

罗上庚

2003年3月

# 目 录

## 一、综 论

核废物及其治理 .....	( 1 )
放射性废物治理对发展核电和核工业的重要性和迫切性 .....	( 5 )
核电废物处理和处置的安全分析 .....	(11)
核废物的安全和环境影响 .....	(15)
国际上核废物的处理与处置 .....	(21)
放射性废物的最少化 .....	(25)
放射性废物管理发展中值得重视的几个问题 .....	(30)
核废物处理处置的国际进展 .....	(39)
高放废物处理、处置的国际现状分析 .....	(48)
国际原子能机构的废物管理安全标准 .....	(57)

## 二、处理技术

放射性废离子交换树脂的处理技术 .....	(62)
废离子交换树脂的优化处理 .....	(70)
含氟废水的处理与处置 .....	(79)
放射性同位素应用中废物的处理 .....	(82)
压水堆核电站放射性废物的处理 .....	(90)

## 三、减容技术

放射性固体废物的压缩减容 .....	(98)
放射性废物的焚烧处理 .....	(104)
湿燃烧法处理可燃性固体 $\alpha$ 废物 .....	(109)

## 四、固化技术

水泥固化处理放射性废物 .....	(117)
塑料固化处理放射性废物 .....	(123)
玻璃固化处理强放射性废液 .....	(126)
玻璃固化技术的新发展 .....	(131)
玻璃固化国际现状及发展前景 .....	(136)
回归自然——人造岩石固化放射性废物 .....	(145)

## 五、包装和贮存

低、中放固体废物包装容器 .....	(151)
谈谈有关低、中放固体废物包装容器安全要求的若干问题 .....	(160)



对设计放射性废物库中一些问题的意见 .....	(162)
<b>六、去污和退役</b>	
放射性污染的去污 .....	(167)
化学清洗去污在原子能科学技术中的应用 .....	(176)
谈谈核设施退役 .....	(184)
核设施退役中几个值得重视的问题 .....	(192)
清洁解控和退役若干动向与新发展 .....	(199)
<b>七、最终处置</b>	
对建设低、中放废物处置场问题的探讨 .....	(205)
美国低放废物处置活动及其经验和教训 .....	(210)
低中放废物处置的持续改进 .....	(220)
高放废物的安全处置 .....	(224)
高放废物处置安全研究 .....	(228)
地下实验室——高放废物地质处置的重要研究设施 .....	(234)
自然类比研究 .....	(241)
高放废物的分离与嬗变 .....	(246)
<b>八、国外动态和经验</b>	
INIS——权威性核科学技术信息源 .....	(250)
美国军工放射性废物和场址环境污染 .....	(254)
美国的钚数量和钚废物 .....	(257)
美国萨凡纳河核基地放射性废物的管理 .....	(262)
俄罗斯的核工业和核废物 .....	(265)
法国的放射性废物管理活动 .....	(270)
日本放射性三废处理技术介绍 .....	(276)
日本动燃团沥青固化示范工厂着火/爆炸事件分析及教训 .....	(281)
比利时的放射性废物管理活动 .....	(286)
印度的核工业和核能开发利用状况 .....	(290)
韩国核废物管理活动新进展 .....	(294)
西班牙的核废物和处置活动 .....	(298)
<b>九、附录</b>	
附录 1 基础名词术语 .....	(305)
附录 2 重要相关名词术语的缩略语 .....	(311)
附录 3 重要相关机构的缩略名称 .....	(314)
附录 4 原子能大事记 .....	(324)

# 一、综 论

---

## 核废物及其治理

在核能的发展和利用中,对安全担心的主要问题是辐射对人体的危害和对环境的污染。核废物是重要辐射源和环境污染源,核废物的治理是辐射防护与环境保护的重要组成部分。

### 1 核废物的产生

人类的一切生产和消费活动都会产生目前不能再利用,或者不值得回收利用的物质,原子能的利用也不例外,一切生产、使用和操作放射性物质的部门和场所都可能产生放射性废物,其基本来源有以下7个方面。

- (1) 铀、钍矿山、水冶厂、精炼厂、铀浓缩厂、钍冶金厂、燃料元件加工厂等;
- (2) 各种类型反应堆,包括核电站、核动力船舰、核动力卫星,还有加速器的运行;
- (3) 反应堆辐照过燃料元件的后处理,提取裂片元素和超铀元素过程;
- (4) 核燃料和核废物运输与核废物处理过程;
- (5) 放射性同位素的生产 and 应用过程,包括医院、研究所及大学的有关研究活动;
- (6) 核武器生产和试验过程;
- (7) 核设施(设备)的退役过程。

### 2 核废物的处理

核废物按物理形态分为废气、废液和固体废物。

#### 2.1 废气处理

放射性废气主要来自工艺系统或厂房、实验室的排风系统,前者有较高放射性水平。放射性废气中可能含有放射性气体、颗粒物、气溶胶和非放有害气体。重要的放射性核素有氡-222,氩-85,氙-133,碘-131、129,氟,氙-41,钷-106,碳-14等。

废气净化主要办法是过滤、吸附、洗涤、滞留衰变等。一般情况,工艺废气要用综合流程、多级净化处理;厂房、实验室的排风,只要稍加处理或经过稀释就可向环境排放。

在气体衰变罐中,滞留衰变对于短寿命放射性核素是有效、经济的处理方法,在核电站中常用。氦、碘、氩、氙、钷已研究开发有效的分离吸附装置。用活性炭或浸渍活性炭制成的碘过滤器有很好净化效果。

高效粒子空气过滤器(HEPA)是常用的过滤设备,对于粒径 $<0.3\ \mu\text{m}$ 的颗粒,除去效率 $>99.97\%$ 。

净化后的气体经过监测达到允许水平后排放。为了达到最好的稀释扩散,通过高烟囱(60~150 m),选择有利地形和气象条件控制排放。排放口设置双套连续监测器,还有颗粒和碘取样器监测它们的排放量,并且可以取样进行核素分析。核电站排出气体经过这样处理,在厂址边界或以外任何一点产生的剂量率 $<5\times 10^{-5}\ \text{Sv/a}$ ,国际放射防护委员会规定公众中的个人剂量限值为 $5\times 10^{-3}\ \text{Sv/a}$ ,因此核电站的辐照只有国际限值的1%,约为天然本底的2.5%。

## 2.2 废液处理

废液的种类很多,各类废液因为它们的比活度和含盐量不同,处理方法和成本也很不一样。

研究所、大学、应用同位素的医院和工厂产生的放射性废水一般比活度较低,核素的半衰期也比较短,但通常不允许直接往工业下水道排放。如果经过稀释,保证本单位总排出口水中的放射性物质浓度低于露天水源的限制浓度,可以采取稀释排放,否则先要作适当处理,如沉淀过滤、离子交换处理等。也可以贮存在专门容器中进行衰变贮存或者送到有条件的地方去处理。

核企业和核电站产生的低放废水,一般贮存在碳钢或不锈钢大罐里,间歇性或连续性处理。常用的处理方法有絮凝沉淀、蒸发、离子交换,此外,电渗析、反渗透、磁过滤等技术也有应用。

经过处理后的废液先排进一个贮槽,取样分析合格后才排放到江湖海洋,或渗入地下或返回工艺过程再用。

高放废液有很强的放射性,强烈释热,要贮存在双壁有托盘的不锈钢大罐中。这种大罐一般安放在地下的内敷钢面混凝土室内,要设置冷却系统、搅拌系统、排气系统和监测压力、温度、密度、液面的仪表及警报装置,投资很大。

有机废液(如磷酸三丁脂废溶剂、废机油、四氯化碳、闪烁液等)一般暂存在槽罐内,待回收利用或焚烧、固化处理。

核工厂产生的洗衣水、淋浴水,含有较多洗涤剂和少量放射性,要单独处理。一般通过活性炭床吸附等简单处理,就可稀释排放。排出废液应分析 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 放射性,必要时还要测定废水同位素成分,记录存档。

## 2.3 固体废物处理

固体废物处理要尽可能减容。焚烧处理对可燃性固体废物可获得很大减容(20~60倍),焚烧后80%~90%放射性物质进入焚烧灰烬中。放射性废物的焚烧不能用一般焚烧炉,要设置良好的屏蔽措施,满足要求的尾气净化系统,方便操作的投料、卸灰系统,设备耐久,很少维修等等。焚烧动物尸体、塑料、橡胶制品和有机废液的焚烧炉还有特殊要求。

压缩方法可以减容2~8倍,随材料而定,虽然减容倍数比焚烧法小,但操作方便,设备简单,投资小,用得也很多。一般用二三十吨压力机,也有用1 000~1 500 t压力机,可压缩到理

论密度。

去污可以降低放射性水平,去污后可以使工作人员的操作受到辐照较小,使有的物质可以继续使用,有的可以当作一般废物处理,所以也减少了放射性废物体积。去污的方法很多,根据需要可采取化学去污、机械擦拭去污、高压水喷射、蒸汽喷射去污、喷砂去污、超声波去污、电解除去污等等。去污过程会产生二次废物,所以要权衡代价-利益,选用合宜的方法和先进的流程。

切割解体可使大件废物缩小体积,方便装桶和运输。对于污染强放射性的物体可采取电弧切割、等离子切割、激光切割等先进技术,实行水下切割和远距离操作。

固化是重要的处理过程,沉淀泥浆、蒸发残渣、废树脂和焚烧灰烬等物质含有相当量水分或容易弥散,必须进行固化处理。固化方法对于低中放废物有水泥固化、沥青固化和塑料固化,对于高放废液有玻璃固化。

### 3 核废物的处置

处置是核废物治理中最后一个环节。放射性核素除已经衰变掉和极少部份分散到环境中去外,大部份要转入处置库中,与人类生物圈隔离开来,直到它衰减到无害水平。为了阻止核素以有害数量进入生物圈,设计多重屏障,阻滞核素的迁移和隔水、隔气,使得核素在达到生物圈之前,就已衰减到无害水平。这种多重屏障系统从内到外是:(1)稳定的固化体形式;(2)耐腐蚀的包装容器;(3)吸附性好的回填物,或称缓冲介质(以上为人工屏障);(4)周围岩层和土层(这为天然屏障)。

#### 3.1 高放废物的处置

高放废物含有大量裂片元素,头一二百年具有极高的比活度和释热率,给处置操作带来很大麻烦。此外,高放废物还含有很多长寿命超铀核素,在几万年之后他们的危害性仍不能忽视,因此高放废物的隔离要维持几万年甚至更长。

对于高放废物的处置已经提出了多种设想,例如深地层处置、极地冰层处置、宇宙处置、海床深层处置、嬗变处置等等。在这些设想中,深地层处置是目前现实可行的办法。这就是把核废物放置在600 m以下稳定地质介质中,利用深厚地质层使废物与生物圈隔离。研究证明,花岗岩、玄武岩、凝灰岩和岩盐层等都可用于这个目的。高放废物处置库的建设是一项技术复杂、耗资大、周期长的工程,需要多学科协作,现在世界上还没有一个国家建成高放废物处置库,广泛的开发研究和国际合作活动正在进行之中。

#### 3.2 低中放废物处置

低中放废物不含或只含极少量长寿命超铀核素。例如核电站废物所要考虑的主要核素是铯-90和铯-137,隔离300~600 a就足以衰减到安全水平,因此与高放废物、超铀废物相比,低中放废物的处置要求低得多,但其数量很大,处置任务也很重。

目前国外低中放废物处置主要采用浅地层埋藏、废矿井或洞穴埋藏的方法。

(1) 浅地层埋藏 当前国外应用最普遍。浅地层埋藏一般都把废物整齐堆放在混凝土构筑物(沟壕、井穴、地下窖仓、地上墓堆或岗丘)内。以沟壕最为普遍,各国沟壕尺寸很不一致。

为了尽量减少对环境的危害,有人建议把埋藏深度提高到 10 m 以上(视地下水位而定),复土厚度 3 m 以上。美、法、英、苏、加等国实践证明,浅地层埋藏简单易行,投资少,是处置低中放废物的好方法。

(2) 废矿井或洞穴埋藏 废矿井处置在国土小、人口密度大的欧洲国家用得较多,被采用的或准备采用的废矿井有盐矿、铁矿、铀矿、石灰石矿、石膏矿等。废矿井一般深度大,人类活动和自然干扰影响小,安全性比较好。但是矿井是从开采矿石角度设计和开采,水文地质情况复杂,往往存在裂隙和地下水。原来坑道和洞室一般不宜埋藏废物,需要经过整治和安全评价论证才能使用。

洞穴处置是利用天然洞穴或人工挖掘的洞穴来埋藏低中放废物。人工洞穴根据处置场标准和规范进行设计建造,成本比较高,但安全性好。

由上不难看出,核废物的治理正在建立一套行之有效的措施,以确保公众健康和环境安全不受危害,促进核能的开发和利用,使原子能更好地为人类服务。

〔《环境科学与技术》, 3, 38(1986)〕

# 放射性废物治理对发展核电和核工业的重要性和迫切性

放射性废物是伴随开发利用核能产生的令人头痛的问题。其实,放射性废物早就产生于汽灯纱罩制造、夜光表涂料过程。但是由于其数量少,放射性水平低,过去长期没有引起人们的重视。放射性废物的来源很多,包括:铀、钍矿的开采;核燃料生产过程;反应堆;乏燃料的后处理;核设施或设备的退役;核技术和放射性同位素的生产和应用;核武器的制造和试验。对这些放射性废物能否妥善、安全地处理和处置,不仅影响公众健康与环境安全,还直接影响到核能的进一步开发和利用。

## 1 历史的教训

美国在 20 世纪 40 年代和 50 年代初花了数十亿美元生产核武器,但在这一阶段的废物处理上他们只花了几千万美元,这种轻薄的对待不久就尝到了苦头。美国汉福特,1958 年到 1973 年出现了 20 起碳钢罐泄漏事故,其中一次漏失废液 400 m<sup>3</sup>,含铯-90 14 000 Ci,含铯-137 40 000 Ci<sup>[1]</sup>。美国为解决萨凡那河双壁罐的泄漏,采取了槽内盐饼固化和流化床固化等应急措施。

美国的铀尾矿过去也长期处于无人管理的状态,有的被人作了建筑材料,铺了路,有的浇进了大坝,造成了大面积污染。这些事故迫使美国在 1978 年通过了铀尾矿排放控制法,规定要对尾矿进行覆盖处理。1970 年前美国对超铀废物没有建立标准,致使不少超铀废物混同低放废物进入简易土沟的浅地层埋藏场,现在有的埋藏场周围的土壤已经遭到污染<sup>[2]</sup>。

英国的温茨凯尔后处理厂、法国的阿格后处理厂也曾向海洋排放过量的放射性废物,造成附近海域的污染。这些事激起民众强烈的反应,一些国家的反核势力用此来大做文章,兴风作浪阻碍了核事业的顺利发展。另一方面,也促进了有关政府当局对放射性废物的治理重视了起来。瑞典和西德都将解决放射性废物的处理与处置作为批准建造和运行新核电厂的先决条件。现在瑞典正大量投资建造一个乏燃料元件贮存库(CLAB)和一个低中放废物处置库(SFR)<sup>[3,4]</sup>。美国能源部 1981 年度总预算为 83.26 亿美元,其中用于核废物管理为 6.69 亿美元,占 8.4%。美国正在建造的核电厂用于废物管理设施的投资达电厂总投资的 5%,用于废物管理运行费用达电厂运行总费用的 2%<sup>[5]</sup>。

随着科学的发展,人们对放射性三废治理的认识不断深化。今天,放射性三废的治理已由单项治理发展到综合治理;由单纯的治理发展到防治结合,以防为主;由局部的控制发展到系统控制。

## 2 我们的现状

我们是社会主义国家,党和政府高度关心人民健康,重视三废治理。我们的放射性废物治

理已经取得了相当成绩。但是,应该清楚看到,我们在放射性废物治理方面存在的问题还是不少的,面临的任务是艰巨的,主要表现如下。

(1) 当初由于急于两弹上天或强调战备等历史原因,缺乏统一的规划,在选址上偏重于防止战争,有的核设施仓促上马,质量保证不严格,特别是三废处理设施不配套,欠账甚多。例如有的废液贮槽是单壁方形槽,没有经过探伤检漏,泄漏的隐患比较大;有些废物库原是设计标准低的地坑或临时库,废物包装不善,乱倒乱放,现在已经不能回取,丢失、被盗现象常有发生,有的问题已经比较严重,急待采取措施。

(2) 处于长江上游地区的高放废液风险大,希望早日采用玻璃固化方法进行处理,任务相当艰巨。

(3) 早期建立的核设施,部分已经陆续进入退役阶段。其工作量大,产生的退役废物也很多。

(4) 我国研究和应用核辐射技术、放射性同位素的单位已有 800 家以上,同位素用户有一二千家,在用的各类辐照装置有 100 多个,增长的趋势还很大。但是由于法制不健全、管理不严格等多方面的原因,放射源丢失、被盗、洒落和污染等事故屡有发生,造成人员的伤害,影响很坏。

(5) 我国在建或待建的核电厂主要在工业发达和人口稠密、潮湿多雨的东部沿海地区。无疑,这对放射性三废治理应该提出更严格的要求和更高的标准。

(6) 我国放射性废物产生率比较高,这不仅和管理水平有关,还和核设施的设计、设备、运行状况有关。放射性废物的分类、包装、贮存也都存在不少问题。从处置着眼,考虑废物的处理、减容、包装和运输是我们必须重视的问题。

### 3 “任重而道远”

核设施、核电站正常运行时、发生事故时、退役时都会产生放射性废物。我们核工业已有 30 年历史,据 1985 年底的粗略估算如表 1 所示。

核电厂运行产生相当多的低、中放废物(参见附录 1,2)。以一座 100 万千瓦核电厂为例,按一年产生 600 m<sup>3</sup> 固体废物计,用 200 L 桶装桶,运行寿期(按 30 a 寿期算)总计会产生 9 万桶,贮存这些废物需要 18 座(64 m×12 m×8 m)贮存库。处置这些废物,要用 1~2 公顷土地。核电厂退役后还要产生 19 000 t 退役废物,这是相当可观的数字!

表 1 我国核废物积存量(退役废物不包括在内)

废 物	现 有 数	到 2000 年预测数
尾 矿 砂	2 800 万 t	4 000~4 500 万 t
固 体 废 物 (已经浅埋处理的约有几万 m <sup>3</sup> )	80 000 t	120 000~140 000 t
中 放 废 液	30 000 m <sup>3</sup>	45 000~50 000 m <sup>3</sup>
高 放 废 液	700~800 m <sup>3</sup>	1 200~1 400 m <sup>3</sup>

按秦山核电厂 1989 年投入运行,大亚湾核电站 1992 年投入运行,以后按每两年建成两座电功率为 60 万千瓦核电堆,到 2000 年建成 600 万千瓦的保守考虑估算,到 2000 年预计将累积固体废物 8 万桶(200 L/桶)。中间贮存这些废物,需要 16 座 64 m×12 m×8 m 贮存库。中

间贮存几年之后,还需要转移到处置场去永久处置。

对于核电站运行废物,含有铯-137和锶-90(半衰期都在30年左右),需要安全隔离300~600 a。对于含有钚-239的高放废物和超铀废物,则需要安全隔离几万年。因此,放射性废物的治理真可谓“任重而道远”。

## 4 设想与建设

### 4.1 核工业要全面贯彻环境保护方针

我们国家把环境保护作为立国之策,治国之策,把三同步(经济建设、城乡建设和环境建设同步规划、同步实施、同步发展)和三效益(实现经济效益、社会效益和环境效益的统一)作为环境保护的战略方针。基于上述的放射性三废治理的重要性和迫切性,我们认为需要从财政、政策、法律、科技、宣传教育等各方面采取有力的措施。要把放射性三废治理项目纳入国家经济建设计划,把诸如高放废液玻璃固化、放射性废物处置场(当前需要着手建的低中放废物处置场和将来需要建的高放废物处置场)的建造以及大型核设施和厂矿的退役等列入国家重点建设项目,这些都是投资大、建设周期长、难度大的项目(国外有关项目的投资参见附录3)。

### 4.2 改进管理体制

西方国家政府迫于社会压力,现在比较重视放射性废物的治理。在美国,总统亲自过问,指定部际调查组(IRG)全面调研核废物问题,并向国民宣布国家方针,能源部长承担核废物管理总责任。在法国、英国、瑞典、比利时、加拿大都有专门管理放射性废物的机构。

目前,我国放射性废物的管理比较混乱,体系多,各自为政,各搞一套。有的问题好几个部门都在抓,也有的问题无人抓。需要成立一个全国性放射性废物管理机构或一个跨部门的委员会,负责下述工作。

- (1) 制订废物处理、处置方针和技术路线;
- (2) 统计、预测废物量,编制规划和经费预算;
- (3) 组织制订有关法规、标准和规范;
- (4) 组织、协调放射性三废处理、处置及安全评价技术的开发研究工作;
- (5) 审批和颁发选址、建造、运行及退役的许可证;
- (6) 实施安全监督;
- (7) 组织国际交流协作活动。

实现统一领导、统筹规划,认真组织实施,充分发挥各部门的优势,分工协作、减少盲目性,避免人力、财力和物力的浪费。

### 4.3 加强法制和科学管理

放射性废物的管理应该以法规为准绳,按科学规律办事。立法和执法是加强法制的两个重要方面。目前我们的立法尚不完备,许多事情还无法可依、无章可循。执法和守法存在的问题、困难和障碍则更多。现在我国正在组织编制《原子能法》、《放射性污染防治法》、《核废物政策法》等一级法规,许多二级、三级法规必需逐步建立。我们还要制订和完善各种标准和规范,



没有标准和规范,谈不到守法或违法。在制定工作中,应该重视总结我国的实践和参考外国的经验,专家和群众相结合,使制定出来的文本,既具有权威性,又适合国情,切实可行。为了保证法规、标准和规范的实施,还要制订实施细则、质量保证措施、确立监督方法和经济法律制裁条款等。此外,还需要注意对它们的修订、更新和充实。

#### 4.4 有效利用财力和物力,加强科研和技术开发工作

放射性废物治理的基本措施有四条:一是减少废物产生量,这是最重要的。放射性废物的处理与处置是花本钱、费人力、占土地的事情,核建设要从设计、选材、建造、运行、退役各环节把关,尽量减少核废物的产生量;二是有效减容。通过焚烧、压缩、去污、切割解体等技术,把已经产生的废物体积减少到最小;三是稳定化。把放射性物质牢固地固结在固化体中;四是有效隔离,使放射性废物在衰减到无害水平前与人类生物圈安全隔离。

为了实现上述目标,一些核工业发达国家正在花大力气进行开发研究,我们的差距还比较大。我们要针对国情,抓住关键,用好有限的财力、物力和人力,扎扎实实地逐个解决问题。

建议我国以核工业放射性废物治理为重点,生产堆后处理高放废液玻璃固化为主攻方向,积极筹建低中放废物处置场(第一为西部国防核废物处置场,第二为东部核电废物处置场),着重开发研究:

- (1) 先进的固化技术(包括改进水泥固化、沥青固化和塑料固化)和社会化服务的流动装置;
- (2) 焚烧炉、压缩装置的开发和应用;
- (3) 核设施退役技术,包括先进去污技术、远距离切割解体技术、废金属熔融再利用技术等等;
- (4) 铀尾矿处理对策;
- (5) 安全、可靠的包装运输技术;
- (6) 灵敏、快速、可靠的监测、分析技术,特别是排放、处理过程的在线监控仪表和非破坏性测桶内钚量装置等。

放射性废物的处理和处置是涉及多学科的综合性的新型工程技术,应该坚持科研先行的方针,通过试验和验证,才投入工程应用。科研、设计和厂矿三者密切配合,发扬团结协作精神,克服目前所存在的互不通气,在低水平上重复,科研、设计、应用三脱节等弊病。实行承包合同制、招标和指令性任务相结合,严格按规划、计划进度要求办事,重视质量保证,切实把工作促上去。

#### 4.5 重视宣传教育,纠正不正确看法,消除社会阻力

放射性废物的处理与处置不是单纯的技术工作,它与社会关系很密切,是社会敏感问题。美国三哩岛事故余波未平,又出现苏联切尔诺贝利核电站事故,一些人又增加了恐惧感。在我国,“血疑”电视连续剧的播放也带来不小的影响。城市放射性废物库选址和低中放放射性废物处置场场址调查,有的地方来自群众和地方政府两方面的阻力都相当大,这种动向不可忽视。在国外,采取多种办法,例如举办公众听证会、报告会、展览会,利用电视、电影、广播、发放宣传小册子等等,收到了很好的效果。我们也要加强宣传教育,消除某些人的误解或偏见,以利核事业的发展。