

放射性废物管理的国际动向

罗 上 庚

(中国原子能科学研究院, 北京)

本文概述了放射性废物管理活动的国际新动向: 高度重视减少废物量, 大力开发退役和去污技术, 积极解决废物安全处置, 废物处理实行社会化服务, 重视质量保证和实现量化管理等。最后, 还对我国放射性废物管理工作提出了建议。

关键词 放射性废物管理, 放射性废物处理, 放射性废物处置。

一、引 言

世界放射性废物管理已有40多年历史, 放射性废物治理已取得了显著成绩。为了保护当代和后代人的健康, 保护环境和生态平衡, 促进原子能事业的进一步发展, 各国正在不懈努力, 开发新的治理技术, 建立更先进、科学和有效的管理制度。

二、高度重视减少废物量

随着核电发展, 放射性废物数量在许多国家正在迅速增长。例如, 到2000年, 法国将预计达到 $10 \times 10^5 \text{ m}^3$, 英国将达到 $5 \times 10^5 \text{ m}^3$, 西德将超过 $2.2 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。这样多的放射性废物不仅带来沉重的经济和环境负担, 而且还带来巨大的社会和政治压力。因此, 减少放射性废物量已受到各国普遍重视, 采取措施很多, 这里重点介绍两方面工作。

1. 推广和发展减容技术

(1) **焚烧** 焚烧可获得很大减容(10—100倍), 但由于投资大和尾气净化要求高等问题, 过去它的普遍应用受到限制。人们通过代价利益分析、综合计算运输、贮存和处置等费用之后, 认识到它所带来的减容利益是十分显著的; 另外, 多年实践证明, 使用现代科学技术, 尾气净化可完全满足环境保护要求, 因此焚烧炉的使用日趋普遍。日本核电站在80年代建造的焚烧炉就超过10座^[1]。日本原子力研究所从1960年以来, 相继建了3座焚烧炉, 它们的处理能力分别为4, 50, 100kg/h。西德卡尔斯鲁厄核中心和于利希核中心在第一座焚烧炉退役之后, 第二座固体废物焚烧炉又已投入运行, 并且还都建造了有机废液焚烧炉。它们不但焚烧本单位产生的废物, 还接受外单位送来的废物, 充分发挥焚烧炉的作用, 提高其经济效益。

1989年5月5日收到。

(2) **压缩** 尽管压缩的减容作用比较小(2—8倍),但由于操作简单,成本低,使用已相当普遍。多数采用几十吨、几百吨压力的低、中压力压缩机。近年来开发、使用几千吨压力的超高压压缩机,使200l装满废物的桶可连桶压缩,压到原体积的1/2—1/5,并使一些沾污的金属设备、部件也可获得较大的减容。

(3) **改进固化工工艺和开发高整体性容器** 包容废物量高、产品质量好的聚合物固化已经进入工程应用,但是目前国际上仍以水泥固化应用最普遍。固化工作研究开发的重点是提高废物包容量,减少废物体积和提高固化产品的质量。另一个值得重视的动向是开发高整体性容器。人们考虑现有的固化技术都需加入固化剂,这把原来非放射性物料并入到放射性物质中,一起当作放射性废物处理,无疑增加了放射性废物体积。核电站废物经过300年衰变就可降到安全水平,而设计制造一种强度大、密封性好、化学稳定性和热稳定性高,保证300年不腐蚀损坏的高整体性容器是可以实现的^[2]。日本秩父、小沢公司设计制造多层结构的高整体性容器,西德核燃料服务公司(GNS)生产的MOSAIK铸铁容器^[3],可将焚烧炉灰烬和经过沥水的废树脂装入桶内直接送去处置。核电站的含硼废液只需在这种容器内直接蒸干就可进行处置。

2. 确定豁免值或免管限值

人们认识到,对污染极低水平放射性核素的废物,花费很大代价去降低其辐射危害是不必要的。实际上,核工业系统、核研究所和同位素用户产生的三废中,有一部分废物可作为一般废水排入生活下水道,或者可作为一般废物进行焚烧和掩埋,或者经过适当去污处理,可以重复使用,如果能把这部分废物区分出来,无疑可相当大地减少废物体积,节省许多开支。

美国环境保护局在新制订的法规中,把放射性照射率低于 $40\mu\text{Sv/a}$ 的放射性废物划作为免管废物。据报道,如果这一法规生效,美国低放废物有34%可被免管,核电公司和其它产生放射性废物的单位在20年间能节省开支约6.2亿美元^[4]。其它国家和国际组织也在制定豁免标准。加拿大原子能管理局和英国国家放射防护委员会考虑以 $50\mu\text{Sv/a}$ 为限值。国际原子能机构和国际放射防护委员考虑以 $10\mu\text{Sv/a}$ 为限值^[4]。有人提出还要同时规定对皮肤年有效剂量当量限值(如 $500\mu\text{Sv/a}$)和年集体剂量当量负担(如 $1\text{man}\cdot\text{Sv}$)^[5]。我国的豁免标准正在编制中。

豁免标准是以可忽略剂量为基础的。可忽略剂量的确定基于危险度分析(如 $10\mu\text{Sv/a}$ 相当于危险度 $10^{-7}/\text{a}$)和与天然辐射本底相比较。实施具体的豁免,还需制定具体导则,确定可豁免的比活度和表面污染水平等。西德规定的废金属再使用限值示于图1^[6]。

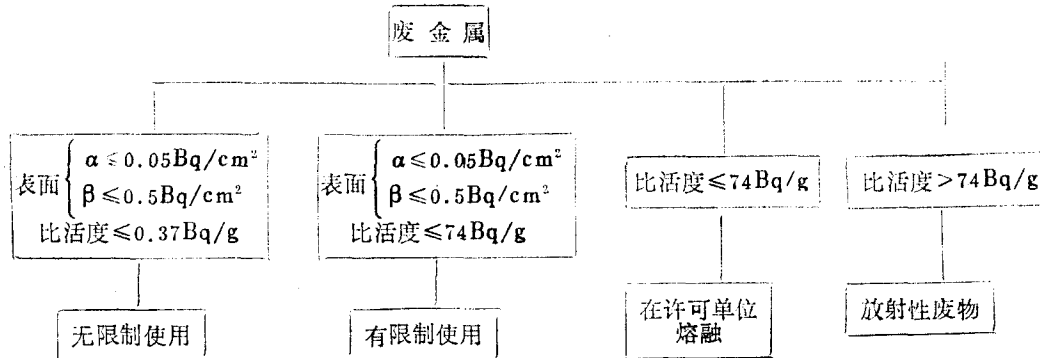


图1 西德规定的废金属再使用限值

三、大力开发退役和去污技术

世界核工业发展初期建立的核设施,早期建设的核电站都已陆续进入退役阶段。美国退役低放废物量为:1985年 3500m^3 ,2010年预计 42000m^3 (占民用低放废物的17%),2020年预计 75000m^3 (占民用低放废物的27%)^[7]。法国到2000年平均每年将有4座核电站进入退役。因此不难理解,退役和去污为什么如此受到人们的关注和重视。

核设施退役是花钱、费工的工程项目。核设施经过多年运行,受放射性核素污染或本身被活化。一般来说,辐射水平比较高,有些设备体积十分庞大,为了减少工作人员受照,需要远距离遥控操作,进行去污和切割解体。一些国家开发了操作方便、安全可靠的技术和设备,例如:可由机器人操作或水下作业的导爆技术,等离子焰切割、电弧切割、激光切割,各种专用的夹具和传送装置。近年来,开发的可剥离膜去污技术,干冰粒、氟里昂高压喷射去污技术,混凝土构件表面层小块切割、剥离技术,超铀元素污染金属的交流方波电流电抛光去污技术,冠醚化合物萃取铯、铯去污技术等等,这一切都具有二次废物量少、成本低,或去污效率高等优点。

欧洲共同体成员国已实施了核设施退役研究两个五年计划(1978—1983,1984—1988),现投资220百万法郎,选择三个反应堆(英国的温茨凯尔;西德的哥德明根;比利时的莫尔)和一个后处理厂(法国的拉·阿格)作为核设施退役的试点。法国Technicatome公司已完成了一批核设施的退役任务,取得了丰富经验^[8]。

四、积极解决废物最终处置

放射性废物治理的归宿是实现安全最终处置,把它同生物圈隔离开来,让其衰变到安全水平。当前废物处置存在两种状况。

1. 低、中放废物安全处置的初步解决

低、中放废物中,特别需要重视的核素是 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 。一般认为经过300至500年,它们就可衰变到安全水平。法国规定低、中放废物处置场从封闭之日算起,行政控制300年,300年之后场址就可无限制使用^[9]。加拿大则要求控制500年^[10]。

现在,建设低、中放废物处置场,一般都不存在经济和技术困难,阻力往往来自公众和地方当局的不予支持。经过多年实践,低、中放废物处置已形成几种模式,各国正根据本国自然条件因地制宜选用。

(1) **浅土地埋藏** 操作简单、投资低,使用较为普遍。早期的简易土沟掩埋不安全,已逐渐弃之不用。实践证明,混凝土沟壕、内敷钢面的混凝土井筒、混凝土结构地下窖仓、地面墓堆(如法国芒什处置场)都是安全的、经济的处置方式。现在改进倾向是:(a)提高埋藏深度,增加复土层厚度;(b)不同废物类型采用不同工程设施;(c)加强避水、防水和疏水措施。

(2) **废矿井和岩穴处置** 这种处置投资比较大,但埋藏深,受人和自然干扰影响小,因此在一些国家受到较大重视。西德正在改建康拉德废铁矿,这是一个1000—1200m深度干燥废矿井,预计可处置 $6.5 \times 10^5\text{m}^3$ 低、中放废物,1993年投入使用^[11]。瑞典已在东海岸

1km远的波罗的海底60m深的结晶岩中建造了一个废物处置库。第一期工程贮存容积 $6 \times 10^4 \text{ m}^3$, 1988年4月已投入运行。第二期工程贮存容积 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$, 预计2000年投入运行^[12]。芬兰正在120m深地下建造6000m³容量岩穴处置库, 预计1992年可投入运行。另一个地下岩穴处置库也正在筹划中^[13]。

(3) **海岛处置** 为避免选址来自公众和社会的阻力, 吸引人们到荒岛上去选址。我国台湾省在本岛南端东75km, 面积为45平方公里的兰屿岛上建立了浅土地埋藏场。第一期工程可贮 3.4×10^4 桶 (200l/桶) 废物, 1984年就已投入使用。第二期工程建成之后, 该场可供100年使用^[14]。

不少国家曾用海洋投弃法处置过相当多的低放废物。近年来, 由于国际舆论的强烈反对, 这些国家已被迫放弃或中止了这种处置方法。

2. 高放废物、 α 废物处置技术正在开发研究

迄今, 已经提出的高放废物(包括 α 废物, 下同)处置方案很多, 但现实可行的只有深地层处置。世界上第一个高放废物处置库(美国新墨西哥盐层)预计2003年建成。高放废物海床沉积层处置近年受到重视。经济合作发展组织的核能机构(OECD/NEA)成立了海床工作组, 美国能源部建立了海床处置研究处。乏燃料直接处置技术和安全评价正在一些国家(美国、加拿大、瑞典)进行, 但究竟采用后处理还是直接处置, 尚未在这些国家作出最终抉择。

为确保高放废物长期处置的安全性, 大量的研究活动正在进行。

(1) **实验室研究** 重点研究近场行为, 如放射性核素浸出、通过地下水进入生物圈的数量和时间过程等。

(2) **开发数学模式和计算机程序** 用实验室或现场有限时间实验获得的数据建立数学模式, 预期放射性废物处置长期影响, 并指导工程设计和环境影响评价, 已发表了不少总结^[15, 16]。

(3) **地下实验室研究** 现在世界上已在三种岩层中建立了好几个地下实验室: (a) 花岗岩层, 如瑞典Stripa, 加拿大Whiteshell, 瑞士Cedra; (b) 粘土层, 如比利时 Mol, 意大利Pasquasia (Enna); (c) 岩盐层, 如美国新墨西哥的WIPP, 西德Asse。地下实验室建立目的是测定建立处置库所需的各种数据或参数, 研究这些参数测定方法和仪器, 研究处置库施工方案和人员培训等。

(4) **自然类比试验** 研究铀矿周围核素分布以及天然玻璃体、火山喷射物在长久历史年代里的腐蚀行为等, 验证高放废物中核素的释出和迁移。澳大利亚从1981年就开展这方面工作^[17]。现在一项国际合作研究计划 (Alligator Rivers Analogue Project, ARAP) 正在国际经济发展和合作组织的核能机构(OECD/NEA)主持下由澳、美、英、日和瑞典五国合作进行^[18]。

五、废物处理实行社会服务

近年来, 辐射防护最优化已开始用于放射性废物处理和处置的决策中, 把安全、经济和社会诸因素结合起来考虑。废物管理最优化是在满足既定的安全目标的前提下尽量节约资金。例如, 人们注意到一座核电厂每年产生的废离子交换树脂只有几十立方米, 可压缩废物也只

有几百立方米,每一核电厂建立一套固化装置或压缩装置,往往设备利用率不高,人力、物力都有较大的浪费。因此,可移动式处理装置近年来获得了较大发展,这种装置就是把废物处理设备紧密布置,安装在一台大型卡车上,这样可以安全、方便地开到各地去,为用户服务。

西德、法国、美国、日本已经设计制造了许多种可移动式水泥固化装置、塑料固化装置和压缩打包机,并已在许多国家中使用。法国的Technicatom公司设计制造的环氧树脂可移动固化装置SETH-200,巡回法国各核潜艇基地去处理那里的废离子交换树脂。西德埃森核服务公司(GNS)的废物处理服务部只有几十个工作人员,他们利用一套可移动式处理设备(表1),承担了西德9座核电站、法国3座核电站、瑞士2座核电站、比利时2座核电站和荷兰1座核电站的废物处理任务。

表1 西德GNS公司的可移动处理装置

项 目	FAMA	FAKIR	FAFNIR	FAVORIT
	苯乙烯固化废树脂	超高压压缩机	水泥固化	桶内干燥含硼废液
尺寸,m ³	8×2.2×3.1	10×2.4×2.8	9×2.5×3.2	6×5.2×3.5
重量,t	22	50—60	20	20
占地,m ²	11×5	6.5×13	11×5	9×6
供电,kW	7.5		7.5	100—120
处理能力	10桶/d	30桶/h	15桶/d	100l/h

六、重视质量保证与实现量化管理

放射性废物管理的基本目标是防止放射性核素以不可接受的量释放到环境中去,安全而又有效地处理和处置废物,使辐射对职业人员和公众在现在和将来造成总的损害保持在允许水平以下和可合理达到的尽可能低的水平,从而保护人类及其环境。

为了实现上述目标,有些国家的核废物处理部门建立了质量控制和质量保证系统,以保证三废处理系统的操作达到所规定的工艺参数;保证固化产品满足运输、贮存和处置的要求;保证监测、控制、分析仪表正常工作,以获得正确、可靠的测量数据。

正确的规划和决策,依靠提供正确的统计数据 and 科学的预测分析。一些国家建立了废物数据资料库。西德卡尔斯鲁厄核中心的废物处理部(HDB/KFK)建立了专门计算机程序KADABRA^[10],它能完整记录和存储以下数据:(1)送交的废物;(2)临时贮存的位置;(3)处理工艺(预处理和处理方法,包括添加的酸、碱、水泥等);(4)比活度、密度、含盐量等;(5)包装情况;(6)运输方法;(7)辐射防护数据(如表面剂量率,1m远处的剂量率等);(8)运送和接收方式,等等。

七、结束语

我国核工业留下不少废物亟待处理,不少核设施需要退役,我国第一座核电站将在1990年投入运行,本世纪内有可能建成的核电站,总功率达6000MW(e)。因此放射性三废的治理,我们要给予充分的重视并总结国内外经验和教训。为此建议:

1. 从核电发展开始就应高度重视放射性废物的治理。对选址、制造、安装、运行、检修、退役各环节把关,努力减少放射性废物的产生量,对已产生的废物实行有效减容,推广应用压缩减容,重视开发焚烧技术,早日审批并公布执行豁免标准。

2. 重视开发研究和少量引进退役新技术、新工艺和新设备,制订有关标准和规范,满足退役需要。

3. 尽早建设低、中放废物处置场。对于我国放射性废物最终处置要有一个明确的、稳定的政策,要成立一个适当机构来负责这方面的工作。处置场的选型和选址,要从我国实际,从各地区实际出发,因地制宜,经过充分论证和对比分析。

4. 重视三废治理的质量控制和质量保证,加强管理和监督,确保长治久安。

5. 贯彻最优化原则,加强经济管理。开发应用可移动式废物处理装置,讲究经济效益。充分利用目前有限的财力和物力,扎扎实实解决实际存在的问题。

参 考 文 献

- [1] 罗上庚,核技术,1(1990)待发表。
- [2] McCoy,S.B.et al.,Waste Management '87, Tucson,AZ (USA), 1-5 March,1987.
- [3] 罗上庚等,原子能科学技术,6,692(1988)。
- [4] 元亮译,陈贻良校,国外核新闻,2,29(1989)。
- [5] IAEA-TECDOC-401,Vienna,1987.
- [6] Hempelmann,W.and Kienhöfer,M.,NGK-Bulletin, Nr. 2, November, 1987.
- [7] IAEA, Radioactive Waste Management,A Status Report,Vienna,1985.
- [8] Lourme,P.,Radioactive Waste Management Decommissioning, Spent Fuel Storage,Vol. 1,Saclay, 1986, p.108.
- [9] Nougier,H.and Marque,Y.,Proc.on Management of Low-and Intermediate-Level Radioactive Wastes 1988,Stockholm,Vol.1,1989, p. 3.
- [10] Charlesworth,D.H.and Howieson,J.,ibid,Vol. 1,1989,p.25.
- [11] Hübenthal,K.,ibid, Vol. 1, 1989,p.13.
- [12] Hedman,T., ibid, Vol. 1, 1989, p.115.
- [13] Nykyri,M.and Tusa,E.H.,ibid,Vol. 2,1989,p.171.
- [14] 辻本忠,Isotope,6,12(1983)。
- [15] IAEA Safety Series No.56,Vienna(1981)。
- [16] IAEA Safety Series No.57,Vienna(1982)。
- [17] Duerden,P.et al.,EUR-11037,1987,p.82.
- [18] Hardy,J.,Proc.of Waste Management,Tucson,Arizona, 1989.
- [19] Polster,F.J.et al.,KFK-3933,1935.

INTERNATIONAL TRENDS OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

LUO SHANGGENG

(Institute of Atomic Energy, P. O. Box, 275 Beijing)

ABSTRACT

This paper reviews the new trends of radioactive waste management in the

(下转第252页, Continued on p.252)

- [108] Palagi, S. and Larsen, R.P., *J. Radioanal. Chem.*, **80**, 141 (1983).
- [109] Okai, T. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **81**, 161 (1984).
- [110] 陈志盛, 核技术, (1), 46 (1980).
- [111] 莫素珍等, 核技术, (4), 50 (1980).
- [112] 翟鹏济, 核化学与放射化学, (1), 63 (1983).
- [113] 强亦忠等, 核化学与放射化学, (4), 230 (1986).
- [114] 陆龙根, 原子能科学技术, (2), 220 (1981).
- [115] 陆龙根, 原子能科学技术, (2), 211 (1984).
- [116] 诸洪达等, 原子能科学技术, (2), 187 (1982).
- [117] 焉文社等, 原子能科学技术, (4), 497 (1983).
- [118] 曾而康等, 核化学与放射化学, (2), 126 (1980).
- [119] 费星辉, 原子能科学技术, (1), 35 (1982).
- [120] 傅金昇, 原子能科学技术, (2), 129 (1981).
- [121] Gies, R.A. et. al, *Health Phys.*, **46**, 928 (1984).

SOME PROGRESS OF RADIOCHEMICAL ANALYSIS IN RECENT YEARS

LUO WENZONG

(Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing)

ABSTRACT

Since the last ten years, the progress of radiochemical analysis in the determination of fission yields, the determination of burn-up, and other analytical measurements are reviewed.

Key words Radiochemical analysis, Determination of fission yields, Determination of burn-up, Transuranium analysis, Environmental radioactivity analysis.

(上接第228页, Continued from p.228)

world, with focus on decreasing the amount of radioactive wastes; developing decontamination and decommissioning technology; conscientious solution for radioactive waste disposal; carrying out social services of waste treatment; and quality assurance etc. Besides, comments and suggestions are presented.

Key words Radioactive waste management, Radioactive waste treatment, Radioactive waste disposal.