

低中放(射性)废物处置的持续改进

Improvement of LILW Disposals

罗上庚

(中国原子能科学研究院,研究员 北京 102413)

目 前 状 况

世界上第一个低中放废物处置场建于 1944 年的美国田纳西州的橡树岭核基地。这是用简单的沟渠填埋没有整备(conditioning)的低放废物。这种处置方式在美国和其它国家军事核工业和核电发展初期也用过。

低中放废物处置主要有四类:(1)工程近地表处置场(Engineered Near Surface Facility,ENSF);(2)简易近地表处置场(Simple Near Surface Facility,SNSF);(3)矿穴处置库(Mined Cavity,MC);(4)地质处置库(Geological Repository,GR)。

据统计,目前全世界有 73 个处置设施在运行中,有 21 个处置设施已停运或关闭,另外有 42 个处置设施在选址或建设中(见表 1)。

表 1 各类低中放废物处置设施情况

项 目	简易近地表处置场	工程近地表处置场	简易/工程近地表处置场	矿穴处置库	地质处置库	合计
在选置中		22		1	2	25
已选定址	1	1		1		6
审批中		6		1	1	8
建设中		2		1		3
运行中	19	44	4	4	2	73
停运/关闭	6	13		1	1	21
总 计	26	91	4	9	6	136

在 136 个低中放废物处置设施中,工程近地表处置场占 67%,简易近地表处置场占 22%,矿穴处置库占 7%,地质处置库占 4%。

各国选建低中放废物处置设施,取决于国土条件、废物处置方针策略和国家社会、经济、技术条件。我国在建的西北处置场、华南处置场都是工程近地表处置场,预计 1998 年可建成。华东处置场正在选址中。国际上,工程近地表处置场的典型代表是法国拉芒什场(La Manche 1969~1994),奥布场(1'Aube,1992~),日本六个所村场(Rokkashomura,1992~),西班牙加布利尔场(El Cabril 1992~)。

洞穴处置库是建在近地表的矿穴或专门设计挖掘的洞穴中。9 座矿穴库是瑞典 1 座,芬兰 2 座,挪威 1 座,瑞士 1 座,捷克 3 座,古巴 1 座。典型的是瑞典 SFR,建立在沿海海底 60 米深的花岗岩洞中,由通道进入处置库窖仓,1988 年投入运行。芬兰 1992 年在奥尔基洛托(Olkiluoto)建成类似瑞典的

海底洞穴库,位于海底下 60~100m,有两个贮仓,一个处置低放废物,另一个贮存发热的中放废物。

地质处置库建在几百米深地下。6 座地质处置库是德国 3 座,英国 1 座,美国 1 座,罗马尼亚 1 座。典型代表是德国莫斯莱本(Morsleben),这是一个 500m 深的干盐矿,1981 年就投入应用,用来处置低放废物和中放废物。德国康拉德(Konrad)是一个干废铁矿,在 800m 深层上,准备用来处置不发热废物(低放废物),现在正在审批执照中。

发 展 动 向

1. 在选址方面

处置设施场址的难觅已成为国际普遍问题,尤其是国土窄小和工业化程度高的国家。国际上解决场址有以下两个较好方案:

(1)选在已有的核设施(核工业设施或核电厂)场址上或在其周围,这样场址条件容易满足,审批

容易通过,没有或较少公众接受的阻力。如英国的德里格(Drigg)、法国拉芒什、日本六个所村处置场都建在核工业设施旁边,芬兰的奥尔基洛托建在核电厂附近。我国在建的两个处置场实际上也是采取这方案。

(2)建造区域性多国处置库(Regional—Multi-national Repository),这对领土小的国家和地区是特别受欢迎的,也有利于减少地球上废物处置设施布点和尽可能合理布局。这样做不存在技术问题,但涉及有关国家或地区的废物接受标准,废物过境运输,合作者的责任和权利,投资和经费,安全保证等问题。许多政治、社会、经济问题需要协商解决,

IAEA正在促进此方案实现。

2. 在运行管理方面

(1)短寿命低中放废物和长寿命低中放废物用不同模式处置

放射性废物管理的核心是最终处置。IAEA 在 1994 年发布了以处置为基础的废物分类标准,将废物分为三类:免管废物、低中放废物和高放废物,低中放废物又分为短寿命低中放废物和长寿命低中放废物(见表 2)。短寿命低中放废物推荐近地表处置,长寿命低中放废物推荐采用地质处置。法国、日本、英国等都规定半衰期短于 30 年核素(包括 Cs—137, $T_{1/2}=30.17$ 年),才作近地表处置。

表 2 IAEA 废物分类

废物级别	典 型 特 性	处置方案选择
1. 免管废物(EW)	对公众成员年剂量低于 0.01mSv	无需放射学限制
2. 低中放射性(LILW)	对公众成员年剂量高于 0.01mSv,释热率低于 2kW/m ³ 。	
2.1 短寿命废物(LILW—SL)	限制长寿命核素的比活度(长寿命 α 辐射放射性核素,在单个货包中不超过 4000Bq/g,平均每个货包不超过 400Bq/g。	近地表处置
2.2 长寿命废物(LILW—LL)	长寿命放射性核素比活度高于对短寿命废物的限制。	地质处置
3. 高放废物(HLW)	释热率高于 2kW/m ³ ,并且长寿命放射性核素的比活度高于对短寿命废物的限值。	地质处置

(2)近地表处置场监护期限问题

低中放废物处置场封闭后进入监护阶段,监护阶段期限对于处置短寿命低中放废物的近地表处置场,现在国际上普遍接受 300 年。法国规定 300 年后场址能被再用,没有任何放射学约束。

在 300 年监护期内需要控制,进行维修、监测,保持记录,采取纠正措施等。主要任务是以下两方面:一是对处置场及周围进行监督、监测密封是否受到破坏;二是对排水系统收集的雨水进行监督,判断是否有放射性核素泄出和迁移。

法国放射性废物管理局(ANDRA)认为,氡的渗漏、迁移性很强,因此是监测重点,处置场的监控要重视氡的释放。

(3)加强顶盖和排水系统

废物处置场应该对工作人员和公众照射最少,对放射性核素包容最好,封闭后维修要求最少。顶盖作用十分重要,一般认为顶盖要能起到以下作用:防止人闯入;阻止生物(植物、动物)侵扰;阻止雨水和地面径流水的渗入;能把雨水和地表水汇集进集水槽和排水沟渠中。

为此要设置多层屏障顶盖结构,法国 ANDRA 采用了沥青树脂层、排水层、隔离层构成的多层结构,配置了排水网络,用于收集、控制和排除处置场的雨水。为便于雨水畅泄,覆盖层外形呈斜顶状。拉芒什处置场封顶工作于 1994 年开始,1996 年竣工。

覆盖层长 600m,宽 300m,厚 10m。法国 ANDRA 认为,处置场的顶盖层要改善氡的隔离效果。法国正在研究一种顶盖层供将来奥布处置场使用,该实验覆盖层装设探测仪,可监测密封情况及其变化。

(4)废放射源处置问题

放射性同位素生产及其在科研、教育、工业、农业和国防应用所产生的废物,经过衰变贮存之后有的已达到免管水平,有的则还需要运到处置场作最终处置。法国 ANDRA 规定,要经过整备之后,奥布处置场方可接受。

废弃的密封放射源处置是一个突出的问题。废弃的密封源必须根据其半衰期和强度分别处置,长寿命放射源(如镭源、镅源)要作地质处置,短寿命的废源可处置在近地表井筒中。俄罗斯“拉同”科工联合体(VIA“RADON”)把短寿命(≤ 30 年)的废源先换装到顶和底都设有门的特殊容器中。然后将这容器紧密座落在处置用的混凝土井筒上(5m 深,不锈钢衬里),打开此特殊容器的底盖时,废源就掉进座落在井筒里的 200l 钢桶中,然后再灌注熔融的 Pb 或 Pb—Sn 合金,这样一层一层充注在 200l 的钢桶中,使废源包复在金属基体中,获得安全处置。

关键问题是减少要处置的废物

核电厂运行和核设施退役已造成不少国家或

地区的放射性废物在暂存库容纳不下,而废物处置场场址难觅,处置费用不断上升,迫使人们高度重视减少要处置的废物。

1. 持续减容策略

持续废物减容已成为各国废物管理重要目标,一方面要尽可能减少废物的产生,另一方面要对已产生的废物实行有效减容。重要的减容措施有焚烧、高压压缩、轻度污染金属的熔炼再用等,加之科学的、严格的管理,这方面不少国家的收效已十分显著。如法国,1985 年低中放废物为 $360\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{台机组}$,1996 年低中放废物为 $112\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{台机组}$ 。

另一个值得重视的减容措施是采用高度减容的玻璃固化代替增容的水泥固化。 1m^3 浓缩废液水泥固化,产生水泥固化体 1.7m^3 ; 1m^3 浓缩废液玻璃固化,产生玻璃固化体 0.25m^3 。

玻璃固化体体积只是水泥固化体体积的 $1/8$,用生命周期分析,综合计算包装容器、贮存、运输和处置费用,玻璃固化处理低中放废物的经济性是十分明显的。并且,玻璃固化体安全性显著优于水泥固化体(核素浸出率低 $1\sim 3$ 个量级),因此玻璃固化低中放废物已成为受青睐的技术,一种称为冷坩埚法的玻璃固化新技术已进入验证阶段。

2. 把免管废物和极低放废物分拣出来,这类废物不必送到工程结构近地表处置场去处置

在瑞典,对极低放废物(VLLW)采用土丘埋藏处置。法国估计极低放废物有 $15 \times 10^4\text{t}$,采用土堆和土沟处置,控制期小于 100 年。关于免管废物和极低废物的标准和推荐处置方案 IAEA 正在编制标准和导则。

3. 核电站的废物相当部分产生于换料和检修过程,应适当延长这一过程的时间

据法国经验每台机组一年产生运行废物 60 多 m^3 ,换料检修产生废物 40 多 m^3 。法国 1300MWe 压水堆,通过使用 4%U-235 燃料,换料时间将由 12

个月延长到 18 个月。加深燃耗,延长换料时间,不仅大大增加发电效益,而且也显著减少废物量。

意见和建议

1. 我国西北处置场、华南处置场正在建设中,华东处置场正在选址中。我国处置场的建设是参照 IAEA 标准和法国经验建设的,应该说安全性是充分的。针对我国具体条件,华南处置场和华东处置场处在东南沿海地区,必须充分考虑强台风和大暴雨的侵袭作用,应加强顶盖、护坡和排水系统。

2. 应该区分长寿命低中放废物和短寿命低中放废物,这对核电厂废物,不存在问题,但对后处理厂废物是不可忽视的。短寿命低中放废物可处置在近地表处置场中,长寿命低中放废物因为目前我国还没有地质处置库,只能继续进行贮存。

3. 我国已有 24 个城市放射性废物库,实行集中管理城市放射性废物。城市放射性废物一般半衰期短、毒性低、数量少,经过一定时期贮存就可衰变到免管水平,但是也有少数长寿命废物和一些废放射源需要作最终处置。因此需要开发研究或引进先进技术,将它们送到近地表处置场处置(对于半衰期很长的废物还可能要地质处置),以免长期贮存之后造成包装容器腐蚀破损不可回收,以及贮存铅罐失盗造成的风险。

4. 我国军工已遗留不少放射性废物,今后要大力发展核电,还会产生不少放射性废物,必须从战略、战术上重视减少放射性废物。应从全成本核算认识减少废物货包所节省的开支,以及从长远观点认识废物减容(如焚烧、压缩、熔融)和提高废物固化体品质(如玻璃固化)所带来的环境效益、社会效益和经济效益。积极采用减容新技术,以保证核电和核工业的持续发展。(责任编辑 刘先曙)

(上接第 26 页)

蛋白基因、血友病甲(FVIII)和 Marfan 综合症等基因突变与疾病的关系及血管紧张素 I 转换酶(ACE)基因、脂蛋白脂酶(LPL)基因和载脂蛋白 E(ApoE)基因与 II 型糖尿病并发症易感性的关系研究方面有所发现。

3. 该重大项目集合了国内一批优秀的科研群体,初步在我国建立起人体基因组研究的协作体系,形成了样品收集保存的基地和一批研究(技术)中心和人才实力,具备自行开展基因组多样性研究、自行定位、克隆人类疾病基因和功能基因、进行较大规模 DNA 测序,以及开发利用基因组数据库的能力。在人类基因组多样性研究、疾病研究及功能基因分离以及基因功能研究与临床治疗紧密联系等方面已形成一定的特色。在基因组多样性和疾病基因及功能基因的定位克隆、

结构和功能研究方面取得较大进展,所建立的技术方法,获取的标本、数据和资料,积累的经验以及培养的人才,为我国人类基因组研究的深入发展奠定了基础。

人类基因组项目是生命科学领域中一项投资规模巨大的基础性研究项目。已受到全球的普遍关注,一些国家除政府投入经费外,许多大型企业也纷纷投巨资(估计在 300 亿美元以上)进行研究,期望抢占制药、疾病治疗等领域的制高点。当前,国际上几乎每克隆出一个与疾病相关的基因都会立刻被专利化。预计今后的几年内,将会全部克隆出这些基因,为此已展开了十分激烈的竞争。

(国家基金委供稿;责任编辑 刘先曙)