

放射性废物处置:全球的经验和挑战

一些国家借鉴低、中放废物处置方面的大量经验正在
迎接新的挑战

自 1944 年在美国田纳西州橡树岭世界首次处置放射性废物以来,已在该领域获得了大量的经验。这第一个用于处置“放射性污染的破碎玻璃器皿或未经充分清洁不能用于其他工作的材料”的处置场,只不过是一条位于橡树岭场址的简易地沟,填满了未经整备的废物。在核动力发展的初期阶段,美国和其他国家的其他核设施和废物产生设施都采取了与此类似的方法。

今天,世界低中放废物(LILW)处置场包括从近地表设施到专设地质处置库。在 IAEA 成员国中有 100 多座 LILW 处置设施正开始运行或已运行多年,有 42 座以上的处置库正处于开发的某一阶段。(见第 38 和 39 页表)

取得这些进展的同时,在推行放射性废物处置方案的一些国家里也陆续出现了许多问题和挑战。在全球一级,IAEA 一直在设法通过促进技术转让尤其是向发展中国家的技术转让在这些方面帮助他们。这项工作

需要收集、总结和传播不断更新的技术资料和支持特定技术方面的协调研究计划。本文在这个意义上,概括地介绍陆基 LILW 处置系统方面的国际经验,并指出现在一些国家在这一领域所面临的新生问题和挑战。

Kyong Won Han, Jorma Heinonen 和 Arnold Bonne

实践和趋势

选址。放射性废物处置设施选址系指选择一个必须考虑技术和其他因素的合适场地的过程。技术因素包括一长串内容:地质学、水文地质学、地球化学、构造学和地震活动性、地面变化过程、气象学、人为诱发事件、废物输运、土地使用、人口分布和环境保护。现今,另外一个重要因素是公众接受,尤其是在工业化国家,当地的“别在我家后院”的态度妨碍着所有类型的工业废物设施的选址,而并不仅仅妨碍放射性废物场的选址。这使规划者在选址过程的初期将更多的注意力放在社会因素上。在一些场合,处置库与已有核设施共处同一场址;例如,英国的德里格、法国的芒什中心、日本的六个所和芬兰的奥尔基洛托。一些国家还谈论过选定一个地区性多国用处置库场址的想法

Bonne 先生是 IAEA 核动力和燃料循环处废物技术科科长,Heinonen 先生和 Han 先生是该处职员。

(稍后做详细讨论)。不过,由于政治因素和公众关注,一直未能在世界上开发任何地区性(多国用)处置库。

目前在世界上若干国家中,至少已有 17 个新 LILW 处置库场址被选定,其中一些已获得许可证或正在建造中,与此同时,在 17 个国家中有 25 个以上的场址正在进行(场地)调查。其中包括中国,中国正计划开发 4 座 LILW 处置库,并已为其西北和南部地区选了两个场址。西北处置场址位于干旱的、人烟稀少的戈壁沙漠地区。美国自 1980 年通过《低放废物政策法》以来一直没有建造任何新的低放废物商业处置库。在美国的 8 个州中,选址过程处于进展的某个阶段。已经由内布拉斯加州(中部州际协定)、北卡罗来纳州(东南协定)、加利福尼亚州(西南协定)和得克萨斯州(在得克萨斯协定期间)选定了 4 个场址,这些场址现处于办理许可证过程中。

在解决公众接受问题方面,一些国家正在采取若干种步骤。在澳大利亚,全面的公众磋商过程是专设 LILW 处置库选址过程的一个特征。在加拿大,由于社区反对拖延了一座用于处置镭和铀精制活动产生的废物的处置设施的选址,政府停止了这第一个选址过程,并建立了一个包括 5 个阶段的合作计划,由一个独立的选址工作小组执行。该工作组与参与社区的市政委员会以及作为沟通一般公众的信息渠道而建立的社区联络组密切合作。在匈牙利,两次选址尝试受阻后,匈牙利原子能委员会(AEC)于 1992 年启动了国家 LILW 处置选址计划。AEC 采用自愿参加的方式,找到了自愿作这些场址东道主的社区,并且已在这些社区内选定了 6 个场址。这些社区目前将参与详细的场址调查工作。美国也已开始采用类似的一些方式。例如,在起初遇到公众阻力的康涅狄格州,这一过程的采用使得公众更多地参与“选择和控制”两个方面的工作,这也许会极大地影响人们认识和接受选址过程的

方式。

设计因素。最终选定的处置库的类型取决于各国的地质条件、具体的处置要求和监管方案。所有这些元素都与设施的设计有关。总的来说,设计的目标是限制污染物或放射性核素向生物圈的释放;将对工人和公众的辐射照射量减至最小;尽可能减少关闭后一段时间内的维护工作。这些目标可以通过诸如废物包装、工程结构、场址本身或这些因素的组合等技术部分来实现。

设计中的一些显而易见的趋势与废物处置领域中的技术进步和公众对安全的关注有关。一个总的趋势是,越来越倚重包容废物的多重专设工程屏障系统。这一系统包括混凝土处置室、回填材料、化学屏障以及排气、排水和设置缓冲带等措施。

在世界范围内,已设计出几种不同类型的 LILW 设施。大约 62% 的 LILW 处置库被设计成距地表约 10 米以内的近地表设施,18% 为更加简易的近地表设施,7% 为采矿洞穴,以及 4% 为地质处置库。最终选定和设计的设施的类型取决于废物本身及场址的特性和国家战略及社会和经济因素。下面对不同设计作些简要介绍:

简易近地表设施。这类设施的例子有美国的巴恩韦尔和南非的瓦尔普斯,这两个设施都得益于场址的低渗透性粘土层和/或低降水率。巴恩韦尔的处置系统由许多处置沟组成,处置沟底板略微倾斜并覆盖着一层砂石以利于将渗透水汇集到排水沟中。排水沟尽头是一个受到监测的集水池。废物装在箱子、桶和罐中,堆垛在处置沟内。较高活度的废物用混凝土、沥青或其他低浸出性材料转形或放入高度完整的容器中以保证结构的稳定性。废物容器之间的空隙用干土充填,然后用粘土和土壤将处置沟覆盖。瓦尔普斯的处置沟又长又宽,近 8 米深,用若干层压实的粘土及本地砂石和植被覆盖。

专设近地表处置设施。这类设施的例子有英国的德里格设施。德里格设施取消了简

易处置沟概念,而采用专设处置室。该设施专用于接收 LLW 废物包,废物经高度压实后包以钢壳并放入废物容器中,然后用铲车铲起放入混凝土处置室。这些处置室设在地面上或地下,由混凝土地基和室壁组成,下面和/或壁外铺设排水层。对从处置室中或处置室下面排出的任何水分别加以监测并且将其引入现场水管理系统,然后再经通向海洋的管道排放。

一些场址正在采用按箱式设计的混凝土处置室,这些场址有法国的芒什和奥布,西班牙的埃尔卡博里,印度的特朗贝和日本的六个所。每个场址都有其独到的设计特征。在芒什,装有放射性较高的短寿命 LILW 的桶置入混凝土覆壁的巨块基岩中,装有放射性较低的 LILW 的桶堆垛在最上面,然后覆盖。法国第二座处置库,奥布,利用了这一经验。在那里,所有废物被隔离放在钢筋混凝土处置室(宽 30 米、长 30 米、高 8.5 米,壁厚 30 厘米)中。处置室建在最高地下水位之上,且有防止雨水渗入的附加设计特征。还开发工人可以选距离操作的废物包搬运系统,从而减少了对他们的辐射照射量。在以前经验的基础上,创建了高度自动化的记录管理系统。

西班牙的埃尔卡博里采用了类似的处置概念,但纳入了废物包的潜在可回取性;此外,它还有废物整备和表征设施。印度有 6 座 LILW 处置库在运行,设计上的特色是针对不同类型的废物采用钢筋混凝土处置沟处置或砖砌孔处置。在特朗贝,钢筋混凝土处置沟是防水的并用钢筋混凝土覆盖;此外,还使用防水布防止季节水的任何浸入。大约 4 米深的圆形砖砌孔用来处置比允许在钢筋混凝土处置沟处置的废物的放射性更高的废物和贮存/处置 α 污染的废物。

在前苏联的一些国家,LILW 处置设施一般建于 60—70 年代,一直用来处置含各种放射性核素的废物。东欧国家也曾建造了类型相似的处置库。标准设计要求这些处置

设施要位于地下水位之上至少 4 米。俄罗斯谢尔吉沃波萨德处置库的混凝土处置室刚好建在地面之下一点。它们由含沥青层的双层混凝土墙建成。废物包置入一个个单元中,随后用水泥和低放液态废物调成的泥浆填充。当一个单元填满后,用一层混凝土及钢筋混凝土板、两层沥青和粘质土盖层将废物覆盖上。

日本的六个所村处置库采用了混凝土坑,由于该处置库位于地下水位之下,所以在每两个混凝土坑之间均安装一个排水系统作为专设屏障。一个坑可以容纳大约 5000 个桶。处置坑一旦装满,就进行回填并用土壤覆盖,覆盖厚度至少 4 米。

在加拿大,从事废物处置的工程技术人员设计了称为“防闯入地下构筑物”或 IRUS 的处置库,其特征包括一个混凝土模块,模块上部为一层厚厚的混凝土盖层,下部为可渗透性底板,它将建在地下水位之上的砂岩建造中。设计可渗透性底板目的是最大限度地减少水与废物的接触。因为废物中将含有低浓度的甚长寿命放射性核素,所以工程技术人员已就混凝土因长期老化而使水最终渗入情形进行了规划:任何水都很容易地通过底板引流而排出,该底板由两层砂、粘土和天然沸石的混合层构成。这两层混合层的吸附性质将限制放射性核素随排放水一起释放。

采矿洞穴。举例来说,采用这一概念的国家有捷克共和国、瑞典、芬兰和挪威。捷克共和国理查德 I 世矿的地下 70—80 米深处的洞穴,有一部分被用作处置公共机构的放射性废物(多数为短寿命废物)的处置库。目前,这个矿山干燥,其地质环境为泥灰质灰岩和硬泥灰岩。瑞典最终处置库(SFR)建在海底之下大约 60 米深处的结晶岩中,进出口在陆地,其岩石硐室的布置适合于各种类型的短寿命 LILW、其放射性含量、组分及搬运要求。筒仓状洞穴深 50 米,带有混凝土壁、膨润土缓冲区和气体通风系统,用来处

置含放射性水平最高的废物包。芬兰的奥尔基洛托处置库与SFR相似,但只有两个筒仓——一个用于处置低放废物,另一个用于处置释热的中放废物——建在地下60—100米深处。破碎和磨细的主岩用作回填材料,主要的含水断裂带用混凝土塞密封。

地质处置库。LILW地质处置库的例子有德国的莫尔斯莱本和康纳德处置场以及英国计划建造的NIREX处置库。莫尔斯莱本处置场建在地下大约500米深处的十分干燥和稳定的盐矿中,处置废物能力为40000立方米。ILW在一个大的洞穴内处置,然后层层回填屏蔽;LLW堆垛在挖掘的硐室中。康纳德处置场以前是一个特别干燥的铁矿,易于开采,比较稳定且为其他地层所封闭,并覆盖着大约400米厚的粘土。根据安全评价结果,水从该处置库迁移到地表的时间为380000年,供处置不释热废物用的水平处置坑道将建在大约800米深处,而两个竖井和坑道将用于运输。

许可证审批。由于各国之间的立法和监管体制及要求不同,许可证审批过程因而也不一样。例如,在德国,一个单独的许可证审批过程就涵盖处置库的建造、运行和关闭,而在其他国家则需要几个许可证审批步骤。一般地,许可证申请的基础是特定场址的处置库设计和安全评价,必须证明拟建的设施符合监管要求。许可证审批一般涉及复杂的法律和政治程序,审管部门的广泛技术审查以及公众对话。

瑞士尼瓦尔登州的韦伦伯格场址在经过深入的调查后,于1993年6月被宣布为是适合进行LILW处置的潜在场址。瑞士许可证审批程序包括联邦的、州的和社区的处置库建造许可证及后来的运行许可证。此外,必须得到该州赋予的特别开采特许权。1994年6月向瑞士联邦政府提交了一般许可证,政府的决定必须得到联邦议会的核准。与此同时,1994年场址所在社区沃尔芬希森的全体居民和社区大会投票支持该工

程。不过,1995年6月该州对开采特许权的表决结果却有些消极。

在德国,1976—1982年对下萨克森州的康纳德矿进行了调查,以确定它作为放射性废物处置库的适宜性。在调查完成后,提出了关于开始处置库建造的许可证申请。尽管通过了联邦一级的各道关卡,但是地方政府尚未就该许可证申请做出决定。在美国,4个州(加利福尼亚、内布拉斯加、北卡罗莱纳和得克萨斯)分别于1989年底,1990年7月,1993年12月和1992年3月提交了许可证申请。迄今只有加利福尼亚获得了许可证,它是由加利福尼亚卫生服务部(DHS)于1993年9月颁发的。不过,该许可证以DHS拥有建场址土地所有权为条件。1994年6月1日,加利福尼亚州高级法院命令DHS重新考虑其对该许可证的批准。DHS正在对法院的命令进行上诉。在内布拉斯加,负责选址工作的美国生态公司于1995年6月15日提交了第8版也是最后一版安全分析报告及与此许可证申请有关的各种其他文件。在北卡罗莱纳州,由于政治原因,此申请在2000年2月以前将不会得到该州环境、卫生和自然资源部辐射防护处的批准。

关闭。处置设施一旦装满或由于其他原因停止运行,就进入了所谓的“关闭”和“关闭后”过程。关闭过程包括为确保设施安全所采取的若干步骤,如覆盖或密封处置区,编纂文件和进行安全评价。在许多国家,预计设施关闭后制度上的控制要持续数百年。必要的话,这可能包括进入控制、维护、场址监测、记录保持和纠正措施。

在法国,芒什中心1994年6月接收了其最后一批废物包,现正采取措施准备关闭该设施。设施运营者法国国家放射性废物管理局(ANDRA)已申请制度上控制阶段许可证。一旦获得许可证,该场址将继续由ANDRA负责。该许可证预期将于1997年第二次公众听证会后颁发,此次听证会将提供包括主动和被动监护在内的制度上控制活

动方面的指导性意见。

新生问题和挑战

许多新生问题已经出现,正引起国家一级和全球一级的密切关注。它们包括与下述方面有关的问题:

天然产生的放射性物质(NORM)。地球环境中天然产生的放射性核素(包括钾-40和碳-14)以及铀和钍衰变系产生的放射性重元素。它们存在于人们从地球提取天然物质或加工这些物质(例如采矿或石油和天然气生产)等任何活动中产生的残留物或废物中。烧煤也会导致放射性核素浓集在灰渣中以及放射性的大量气载释放。因废物产物中的 NORM 而产生的放射学危害主要来自镭及其子核,有关的辐射剂量也许并非无足轻重,而且实际上常常高于为控制涉及放射性物质的使用和应用实践中的辐射而规定的放射学标准。

这些关注已促使监管人员考虑与处置 NORM 废物有关的潜在危害。目前在一些国家,这类废物中有一些象管理放射性废物一样被管理着,尽管控制的水平差别很大。最近的一次调查表明,石油/天然气加工管道中的放射性核素浓度可能接近这样一些水平,即高于这些水平对于放射性废物近地表处置来说将被认为是不可接受的。在一些国家,石油/天然气生产和加工过程中产生的一些副产物已当作低放废物来管理,而在其他一些国家却依旧未得到控制。

甚低水平的废物(VLLW)。尽管这类废物有时产生体积很大,但潜在危害很低。它之所以成为问题,是因为它在 LILW 处置库中处置既不可行,作为工业废物处置也不可接受。目前,国际上对 VLLW 尚无一致的定义,这一问题的解决取决于监管准则的制定以及其他因素。

在瑞典,每座核电站场址上都有几座处

置 VLLW 的土堆设施在运行。这种处置只适用于要求放射学控制时间少于 100 年的这类废物。在法国,大部分 VLLW 被送至奥布处置库,而其余部分则留在场址。总之,法国工业官员估计 VLLW 的总量约为 1500 万吨,寻找更满意的方案处置这种废物的工作已经加强。一个工业工作组在最近进行的一次研究中考虑了 4 种类型的 VLLW 处置设施,3 种为在坟墓结构中处置,一种为在地下处置。许可证审批机关正对这些设计进行审议。在日本,日本原子能研究所(JAERI)实施了一项验证 VLLW 近地表处置安全性的计划。在示范项目中要处置的废物类型主要是日本示范动力堆用于屏蔽反应堆的混凝土块和沾污的构件,其所含的放射性核素低于法定限值几个数量级。在获准建造这种试验设施后,在该反应堆场址挖了一个坑,从 1995 年 11 月至 1996 年 3 月该坑已接纳 1700 吨这种废物。该处置坑已用厚厚的填土覆盖,并在上面种植草坪,将对该处置场实施控制约 30 年。

废密封辐射源(SRS)。50 多万个密封辐射源广泛用于医学、研究、农业和其他领域。这些辐射源一经用毕或报废,就需要在安全处置前进行细心管理。在管理废 SRS(长寿命辐射源的处置除外)各个步骤方面已取得了一定经验。不过,并非所有国家都拥有实施现有方法的能力。

如果近地表设施选址合适、建造正确和运行无误的话,那么它可以用来安全地处置绝大多数废 SRS,但镅-241 和镅-226 以及远距放射治疗或辐照设施中使用的大型辐射源除外。某一给定处置库的废物接收要满足若干指标,后者包括废物包中不同放射性核素或放射性核素组的浓度限值及总活度等。

许多国家只产生少量的包括废 SRS 在内的放射性废物,每年至多几立方米,因此建造地区性多国用处置库对这些国家来说是有利的。其他一些拥有运行中的处置库的

各国的低、中放废物处置设施现状,1996 年

国家	处置库(开放/关闭日期)	处置库概 念	国家	处置库(开放/关闭日期)	处置库概 念
处于选址过程中的			匈牙利	RHFT 皮斯珀克斯兹拉盖(1976—)	ENSF
澳大利亚		ENSF	印度	特朗贝(1954—)	S/ENSF
比利时		ENSF		塔拉普尔(1968—)	ENSF
巴西		ENSF		拉贾斯坦(1972—)	ENSF
保加利亚		ENSF		卡尔帕卡姆(1974—)	ENSF
加拿大(历史上的 LLW)		-		纳罗拉(1991—)	ENSF
中国(东部)		-		卡克拉帕尔(1993—)	ENSF
(西南部)		-	伊朗	卡维尔高姆沙漠(1984—)	SNSF
克罗地亚		-	以色列	内盖夫沙漠	SNSF
古巴		MC	日本	六个所(1992—)	ENSF
厄瓜多尔		ENSF			
匈牙利		-	哈萨克斯坦	阿尔摩提	ENSF
印度尼西亚		ENSF		库尔恰托夫(1996—)	ENSF
大韩民国		-		乌尔巴(1996—)	ENSF
巴基斯坦		-	吉尔吉斯斯坦	殊吉(1965—)	ENSF
斯洛文尼亚		-	拉托维亚	巴尔多恩(1961—)	ENSF
土耳其		ENSF	墨西哥	马基斯科(1972—)	SNSF
联合王国		GR	摩尔多瓦	基什尼奥夫(1960—)	ENSF
美国(康涅狄格州)		-	巴基斯坦	卡努普(1971—)	SNSF
(伊利诺州)		ENSF		PINSTECH(1969—)	SNSF
(马萨诸塞州)		-	波兰	鲁然(1961—)	ENSF
(俄亥俄州)		ENSF	罗马尼亚	拜塔比柯尔(1985—)	GR
(密歇根州)		ENSF	俄罗斯 ²	莫斯科地区	
(新泽西州)		-		谢尔吉沃波萨德(1961—)	ENSF
(纽约州)		ENSF		列宁格勒地区索斯诺维波尔	ENSF
(宾夕法尼亚州)		ENSF		塔塔尔斯坦卡桑	ENSF
选定场址的				伏尔加格勒	ENSF
中国	广东大亚湾	ENSF		奈恩伊诺夫格洛德	ENSF
塞浦路斯	阿尔法默	SNSF		伊尔库茨克	ENSF
埃及	因萨斯	ENSF		萨迈拉	ENSF
墨西哥	拉古纳维尔德	ENSF		新西伯利亚	ENSF
秘鲁	拉斯科	ENSF		罗斯托夫	ENSF
罗马尼亚	切尔纳沃达	ENSF		萨拉托夫	ENSF
瑞士	韦伦伯格	MC		艾卡特林博格	ENS
许可证审批中的				巴什克尔土斯坦乌法	ENSF
加拿大	乔克河	ENSF		车里雅宾斯克	ENSF
德国	康纳德	GR	南非	哈巴拉夫斯克	ENSF
挪威	希达伦	MC		佩林达巴(1969—)	SNSF
斯洛伐克共和国	莫霍夫采	ENSF	西班牙	瓦尔普斯(1986—)	SNSF
美国	加利福尼亚沃德河谷	ENSF	瑞典	埃尔卡博里(1992—)	ENSF
	内布拉斯加博伊德县	ENSF		SFR(1988—)	MC
	北卡罗来纳韦克县	ENSF		奥斯卡港核电厂(1986—)	SNSF
	得克萨斯法克兰奇	ENSF		斯图斯维克(1988—)	SNSF
在建的				福什马克核电厂(1988—)	SNSF
中国	甘肃戈壁	ENSF	联合王国	灵哈尔斯核电厂(1993—)	SNSF
芬兰	洛维萨	MC		唐瑞(1957—)	SNSF
运行中的				德里格(1959—)	S/ENSF
阿根廷	埃塞萨(1970—)	ENSF	乌克兰	第聂伯罗彼得罗夫斯中心	ENSF
阿塞拜疆	巴库(60 年代—)	ENSF		利沃夫中心	ENSF
澳大利亚	沃尔顿山东部(1992—)	ENSF		敖德萨中心	ENSF
白俄罗斯 ¹	明斯克地区埃克里斯(1964—)	ENSF		哈尔科夫中心	ENSF
巴西	阿巴迪亚德高亚斯(1996—)	ENSF	美国	多尼特斯克中心	ENSF
捷克共和国	理查德 I 世(1964—)	MC		RWMC, INEEL(1952—)	S/ENSF
	布拉特斯特韦(1974—)	MC		SWSA6, ORNL(1973—)	S/ENSF
	杜库凡尼(1994—)	ENSF		LANL G 处置区(1957—)	SNSF
芬兰	奥尔基洛托(1992—)	MC		巴恩维尔	
法国	奥布中心(1992—)	ENSF		南卡罗来纳(1971—)	SNSF
德国	莫尔斯莱本(1981—)	GR		汉福特 200 东区埋藏区(40 年代—)	
				西部 200 米处	SNSF
				汉福特 200 西区埋藏区(1996—)	SNSF
				华盛顿里奇兰(1965—)	SNSF
				萨凡纳河场址(1953—)	SNSF

国家	处置库(开放/关闭日期)	处置库概念	国家	处置库(开放/关闭日期)	处置库概念
格鲁吉亚	塔比里斯(60年代—)	ENSF			
乌兹别克斯坦	塔什干(60年代—)	ENSF	匈牙利	绍伊马尔(1960—1976年) ³	ENSF
越南	大叻(1986—)	ENSF	日本	JAERI 东海(1995—1996年)	SNSF
			墨西哥	彼德罗拉(1983—1984年)	ENSF
停止运行或正在关闭的					
亚美尼亚	埃里温	ENSF	挪威	凯勒(1970—1970年) ⁴	ENSF
保加利亚	诺维汉(1964—1994年)	ENSF	立陶宛	梅什哥拉(70年代—1989年)	ENSF
爱沙尼亚	塔米库(1964—1996年)	ENSF	美国	内华达比蒂(1962—1992年)	ENSF
法国	芒什中心(1969—1994年)	ENSF		肯塔基麦可希弗拉兹(1963—1978年)	SNSF
德国	阿瑟(1967—1978年)	GR		ORNL SWSA1(1944—1944年) ³	SNSF
俄罗斯联邦 ²	摩尔曼斯克	ENSF		ORNL SWSA2(1944—1946年)	SNSF
	切切尼亚格罗兹尼	ENSF		伊利诺谢菲尔德(1967—1978年)	SNSF
塔吉克斯坦	贝什科克	ENSF		纽约西谷(1963—1975年)	SNSF
乌克兰	基辅中心(—1992年)	ENSF			
已关闭的					
捷克共和国	霍斯季姆(1953—1965年)	MC			

表 注

缩写: SNSF=简易近地表设施 MC=采矿洞穴 ENSF=专设近地表设施 GR=地质处置库 S/ENSF=SNSF 和 ENSF

¹ 有 77 座建造的处置库,用以处置切尔诺贝利事故产生的废物。

² 俄罗斯联邦的处置库从 1961 年开始运行直至 1967 年。

³ 废物被移至别的处置库(分别为:从绍伊马尔移至 RHFT 皮斯珀克斯兹拉盖;和从 ORNL SWSA-1 移至 ORNL SWSA-2)。

⁴ 当希达伦新处置库建成后废物将移至那里。

部分术语的定义

低中放废物(LILW), IAEA 的定义为,所含放射性核素的浓度或量高于监管机构确定的清洁水平,但放射性核素含量和热功率低于高放废物的相应值(即大约 2 kW/m^3) 的放射性废物。LILW 常常分为短寿命废物和长寿命废物。LILW 产生于核电厂的运行($\sim 500 \text{ m}^3/\text{GWe} \cdot \text{年}$)和其他燃料循环设施的运行(后处理: $\sim 90 \text{ m}^3/\text{GWe} \cdot \text{年}$; 铀采矿和水冶: $\sim 60000 \text{ m}^3/\text{GWe} \cdot \text{年}$)、这些设施的退役(一座 1 MW 电站: $5000—10000 \text{ m}^3$),以及放射性同位素应用。这些废物需要通过处理和整备以及最终通过处置进行恰当管理。

处置系指在不打算回取的情况下将废物置放于一个经批准的专门设施中。处置还可以包括经批准的向环境直接排放废液以及随后的弥散(本文不考虑这方面)。还有就是采用封闭和隔离的处置,它包括陆地处置、海洋倾倒(在《伦敦倾倒公约》禁止海洋倾倒之前一些国家曾施用于这种处置方式),以及其他处置方式。(本文重点在于陆地处置,这是目前常见的普遍采用的处置方法。)在这一方面,处置的目标是提供充分的废物隔离以保护人类和环境并且不给后代增加任何过分的负担。这可以在考虑处置系统中所涉及的各单元之间的互相独立性(即系统方案)的前提下,通过对处置系统实施多重保护措施来实现。保护措施需要若干水平的保护和多重屏障以便将废物隔离和限制放射性材料的释放,以及确保可能导致重大放射学后果的失效或失效并发的可能性是非常低。

近地表设施系指位于地表或距地表几十米内的用于废物处置的核设施。这些类型的设施包括处置沟和专设处置室。

采矿洞穴系指构筑在矿井和洞穴内的近地表设施。

地质处置库系指位于地下(通常在地表之下上千米)稳定的地质建造中的、可使放射性核素与生物圈长期隔离的用于废物处置的核设施。

国家正面临着与废 SRS 有关的各种关注。例如,在俄罗斯,长寿命废 SRS(例如镅源)被贮存起来以待将来地质处置,其他的则处置在浅地层中的混凝土处置室中或浅钻孔中。钻孔概念是 50 年代末 60 年代初由前苏联提出的,涉及将废 SRS 通过一螺旋装料管道放入地下 5 米深处的不锈钢容器中,容器放置在一个用混凝土衬里的钻孔中。由于安全原因,从 1986 年开始,根据废 SRS 的活度水平和半衰期,用金属基质或聚合物复合材料充填容器内的自由空隙。自 1995 年以来,不断地对这些钻孔进行监测以评价其性能。美国将废 SRS 分为不同类别,它们中不是所有的都适于近地表处置。因此,正在考虑诸如地质处置库或深挖掘孔等比较保守的处置方案。不管所采用的技术如何,对这种处置方式而言废 SRS 的体积可能还没有大到足以证明与开发这样一个独立设施有关的经济或设立费用是合理的程度。

改进现有的处置设施。一些已具有处置系统的国家正在改进其处置设施的运行或对这些设施进行补救,以提高其保护能力或满足新的法规。补救工作包括废物回取,废物的就地固化,就地去污,以及就地包封(如设立覆盖帽,隔离墙或底板屏障)。包括德国、印度、保加利亚和东欧其他国家在内的许多国家,安全评价作为总体评价现有处置设施性能的一部分,已经进行或行将进行。

例如,在德国的莫尔斯勒本处置库,安全评价结束后,根据评价结果制订了新的废物接收要求和质量保证程序。在匈牙利,皮斯珀克斯兹拉盖处置库过去一直接收一些未整备的废物及包装的废物,现已制定了一项准则,即从 1997 年开始只接收用 200 升钢桶包装的废物。在英国,德里格处置库在 80 年代末经历了重大改进。将原先的简易处置沟关闭,建造了一个混凝土处置室,用于处置新型的废物包,还安装了隔离墙以限制水流进和流出现有处置沟。挪威对原先的一座长寿命废物近地表处置设施实施了补救

行动计划,包括挖出所有的废物包,并将其贮存存在一个地表的中间设施中,将来把它们移至将建在希达伦的岩洞贮存和处置设施中。

长期贮存。在一些国家,放射性废物长期贮存方案正开始产生。该方案推迟了关于废物最终处置的决定,目的是获得公众对实施处置运行的信心。不过,这一方案可能需要对监管问题和技术问题作进一步考虑。

在挪威已计划建造的希达伦处置场,预计用水平坑道处置短寿命的 LILW,用隔离坑道贮存含钚的废物,其运行期约为 30 年,在此期间,不对贮存的废物进行回取。在处置库关闭时,将根据运行经验对该场址的废物处置做出决定。在瑞士也可见到类似方案,那里的公众对将在计划建造的韦伦伯格处置库处置的废物的不可回取性很关注。该国主管部门正在考虑下述情况的可能性,即在关于处置库的关闭决定做出以前,让该设施保持开放并控制两代或两代人以上的时期。

处置费用。随着处置设施在技术上变得越来越先进,处置费用也大大增加。在一些国家,有一种普遍的明显趋势,即尽可能减少放射性废物的产生已成为减少费用努力的一部分。此外,正如前面所指出的,正在寻求有关以较少费用处置 VLLW 的方案。

最近,与经济合作与发展组织核能机构成立了一个有关 LILW 处置的费用问题工作组。该工作组将鉴定费用的组成,分析影响处置费用的因素并考虑处置费用对核电厂总的发电价格的影响。

公众认可问题。如前面所指出的,公众认可问题已严重影响到放射性废物管理和处置的过程。在许多国家,尤其是在工业化国家,正在做出更大的努力来解决非常消极的公众认识。这些努力包括加强旨在改进与当地社区和一般公众对话的宣传活动,以及更加明确地证明在处置库选址和运行方面采用成熟科技、保护环境和保证长期安全

性。

在一些国家,对接受废物处置场的社区提供财政鼓励。不过,这种补偿不应被视为一种风险补偿,在就补偿问题开始任何讨论以前必须讨论和解决安全问题。财政鼓励的例子包括支付现金以及免费供电和提供更多的就业机会。

地区性多国用处置库。一些国家表示对建立地区性多国用处置库感兴趣,由设在东道国的场址接收来自其他国家的放射性废物。这一方案尤其对处于相同地理区域的国家具有某些经济、技术和安全利益。采取这种方案的一个前提是在相关国家和地区之间实现共识,尤其是在放射性废物的跨国界运输方面。IAEA 最近就这种地区性方案引起的各种问题对在感兴趣国家间建立共识过程中涉及的一些重大因素进行了评价。

原则上,地区性多国用处置库涉及的基本问题与国家项目涉及的问题没有多大差别。但是在下述方面却有一些质的不同:所接收的废物的特性,合作国的责任,责任的划分,任何所需要的核保障的实施以及废物材料的所有权和转让。

这种地区性处置库将以放射性废物管理方面的最佳国际实践为基础,可以使一些国家不用建造其自己的国家处置场,从而减少世界范围内的处置库的总数。此外,它们还可以为那些在选择其自己的处置场方面没有有利条件的国家提供一种选择。不利因素包括地区性处置库可能使运输活动增加这一事实。或许也很难建立这样一种持久的体系,它能经受住不断变化的政治或制度局面并确保所有合作国的长期协作。与这种方案有关的最具挑战性任务之一是,协商一些有关向合作国家提供关于将全面履行技术、政治和财政义务保证的协定。

国际合作

低中放废物的处置以已证明的和充分论证的技术为基础。如果处置库的选址、建造和运行恰当,以及废物的放射性核素含量受到控制和限制,那么长期安全性可以得到令人满意的保证。这可以通过实施包括专设的和天然的屏障,以及运行和制度控制等多重保护性措施来实现。

在 IAEA 成员国内,正更多地依赖多重专设屏障来保证安全、保护环境以及建立公众信任。此外,正在将重点放在针对废物包的远距离搬运、防护和跟踪的安全可靠的运行系统上。与此同时,正在寻求安全处置含放射性很低但体积很大的这类废物的合理办法。还将注意力更多放在与下列方面有关的问题上:含天然放射性材料的废物的安全处置、废密封辐射源的管理和处置、处置费用、公众认可、现有处置场的改进或补救、废物的长期安全贮存以及地区性多国用处置库建造的可能性。

总之,一些国家尤其是工业化国家在发展新的处置库时,在选址和许可证审批方面进展缓慢。这些步骤一般包括由监管机构进行的广泛技术审评,公众听证会以及复杂的监管和法律程序。

在发展中国家却是另外一种情形。它们中有许多国家尽管没产生大量的放射性废物,但需要技术援助和指导,以建立安全管理和处置废物的充分的基础设施和能力。IAEA 通过其各种技术和研究计划,正在支持面向这些目标的合作项目和活动。随着世界范围内更多的放射性废物处置设施投入运行,向发展中国家传播技术和专门知识帮助它们建立起在这一领域中的能力将仍然是至关重要的。□