

# 放射性废物管理安全

## 实现国际上可接受的解决办法

ABEL J. GONZÁLEZ

像显著的指纹一样，我们留下的废物表征着我们的文明。它们表明我们生活的方式，以及我们是如何照管周围世界的。

过去一个世纪，放射性废物已成为利用核技术和辐射技术所不可避免的、可察觉的而且在某些方面有争议的副产物。值得现代社会称赞的是，和平利用核能所产生的放射性废物总的说来受到了比对其他类型废物严格得多的控制。安全和技术指导原则是无与伦比的——不是把高放废物加以稀释和散布到环境中去，而是把它们封装起来、装入容器并加以隔离。这种独特的办法有利于建立和平核应用所产生的放射性废物的良好安全记录。

不过，还有一些问题和挑战有待解决。它们主要与过去的实践和未来处置计划的不确定性有关。

其一，存在着由于处理冷战期间军事活动所产生的放射性废物而引起的不确定性。已报道的一些事件是严重的，代价很高，而且表明可能存在更大的问题。这些事件不可否认地给所有类型的放射性废物贮存和处置蒙上大的阴影，而且令人遗憾地

歪曲了对于民用活动的废物管理安全记录的看法。

其二，围绕高放废物最终处置问题存在着不确定性，这些废物需要将来隔离几千年之久。由于种种原因，各国政府一直不能就高放废物的最终处置作出明确决定——尽管技术解决方案被认为是现成的，而且中间试验设施也表明了前进的方向。这种状况影响了公众对继续发展核能的认识和态度。

给人希望的是，国际上正就前进方向达成新的一致意见。种种行动能否被采取，要看能否更显而易见地论证放射性废物处置的解决办法，并加强国际上确保安全管理所有类型放射性废物的框架。这是一种对放射性废物管理复杂问题决定过程所涉公众、决策者和所有其他有关各方（即所谓的“利害关系者”）的需要和要求更加敏感的框架。

如今，IAEA 意识到自己处在这个不断变化且富于挑战的环境的前沿。机构及其成员国通过各种计划，对更有效的国际合作行动起着催化作用。本文回顾最近一些决定放射性废物管理安全和核能发展未来的关键时期的事态发展。

甚至在有里程碑意义的 1992 年联合国环境与发展大会提出“可持续发展”的口号之前，环境问题就开始成为国际议程上的首要问题。但是，里约热内卢大会标志着明显的变化，各国做出了新的承诺，公众对需要做的事情的期望值增加。

大会上，各国政府通过了 21 世纪行动计划——即《21 世纪议程》——这是基于管理地球资源的社会、经济和环境发展之间相互动态联系而提出的。这是一项推动政府、个人和组织均来参加实现可持续地解决共同问题的议程。

《21 世纪议程》具有深远的影响，尤其是社会如何确保为了子孙后代而不让废物危及大气、渗进河流、水库和海洋或污染肥沃的土地。筛选出的需采取优先行动的近 40 个问题中，有 3 个问题与危险废物管理有关。在放射性废物领域，IAEA 被视为起着国际领导作用。

尽管和平核活动产生的放射性废物管理已取得良好的安全记录，但需要做更多的工作来满足新世纪更高的

---

González 先生是 IAEA 辐射和废物安全处处长。

## 放射性废物的天然来源

听说放射性废物的一大产生者是自然界本身,许多人感到惊奇。巨大的原始放射性物质的矿床分布在地表和地壳下面。诸如火山喷发、矿水喷泉,侵蚀和沙迁移等自然过程能把部分放射性物质带进人类居住地。

在加蓬的奥克洛,18 亿年前在一个富铀矿床发生的自发裂变过程产生了与核电站所产生的同样类型的放射性废物。

**天然存在放射性物质(NORM)的开采、水冶和加工** 诸如矿物生产之类的工业活动伴随自然过程一起发生,这些工业活动从地球中提取原始的放射性物质,使用其中部分放射性物质,而留下其余部分放射性物质作为残留物。天然存在放射性物质的开采、水冶和工业利用涉及广泛的矿物资源和工业活动。主要工业活动包括元素磷生产,磷酸生产,肥料生产,原铁和钢生产,煤焦油加工,焦炭生产,燃煤和燃气发电站,煤、泥类、石油和天然气开采,水泥生产,陶瓷工

业,矿砂,钛颜料生产,铀和钍开采等。这些工业过程的某些过程中,产品或废物中放射性物质的浓度比矿石中放射性物质的浓度还高得多(见第 38 和 39 页方框)。

自然过程积累的和工业处理 NORM 过程产生的放射性废物的世界存量,基本上是不清楚的。然而,已知的这种天然放射性废物数量是惊人的,而且没有引起像对人类活动产生的放射性废物那样程度的关注。即使某些天然废物所引起的公众辐射照射比人类活动产生的放射性废物而建立的国际安全标准所规定的限值高 2 个数量级,情况也是如此。

世界许多地方,天然屏障已使 NORM 隔离了相当长时期。例如,在加拿大的雪茄湖铀矿,封隔如此有效,以致在地表既没有矿石沉积的化学迹象也没有放射性迹象。在澳大利亚的阿利盖特河铀矿,虽然矿体处在地下水流速较快的地质岩层之中,但铀及其衰变产物仅从矿体移动了几十米。

期望和要求,以及更加明确无误地宣传自 100 多年前发现放射性以来已完成的工作。

现今主要的挑战是加强放射性废物管理安全的国际体制。在 IAEA 的领导下,这个体制正在成长。加强该体制意味着:更广泛的合作,以便交流经验和技能;加强工作协调,确保执行解决办法;更广泛的对话,以保持公众的信任与支持。

这个行动是对国际发展和放射性废物管理与处置问题范围扩大的及时反应。

### 挑战的方方面面

根据我们生活在什么地方,我们可能正在可归类为“放射性废物”的地面上漫步。实际上所有物体都含有天然放射性元素。环境中这种天然放射性的水平在世界各地是不同的,在某些地方

可能很高。

一般说来,不把地球上的天然放射性作为世界废物议程的一部分。不过,通过建立评价标准,在风险管理和为保护公众健康、安全和环境应如何管理放射性废物的更大范围内,天然放射性起着重要作用(见第 6 和 7 页方框)。

自然界一直是放射性废物的一个主要产生者。例如,估计海洋中天然放射性量约

## 自然界的放射性物质

### ■ 自然水域中的镭-226

这幅地图显示伊朗伊斯兰共和国拉姆萨尔市附近的里海地区,在这里富含镭-226的泉水喷出,并沉积沉降物的“尾渣”;这些尾渣的放射性水平会对居民造成高剂量辐射照射,可能达到适用于放射性废物处置的国际照射限值(现为1毫希/年)的100倍以上(来源:第5次国际高水平天然辐射会议,2000年,慕尼黑)。



### ■ 海岸地区的独居石

砂 巴西里约热内卢和圣埃斯皮里图地区的砂沉积

物造成的辐射照射平均可达国际限值的3.6倍,某些情况下高达30倍以上。印度喀拉拉邦和泰米尔纳德邦同类型沉积物可能造成的辐射照射平均为国际限值的9倍,某些情况下高达30倍以上。

### ■ 火山沉积物

巴西米内阿斯、杰拉斯和戈亚斯地区的火山沉积物可能造成的辐射照射平均为国际限值的13倍,某些情况下高达80倍以上。纽埃岛同样类型的沉积物可能造成5倍于国际限值的辐射照射量。

■ 含钍碳酸盐 肯尼亚蒙巴萨地区的沉积物可能引起高达国际限值30多倍的辐射照射量。

为10 000 艾贝可(EBq)。(这是一个大数字,用放射性国际单位或贝可(Bq)表示时,有22位数。1Bq是极小的放射性活度,因此显著的量需用多位大数字表示。)天然放射性废物随时在产生,最近是由处理天然存在放射性物质(NORM)的工业产生的,不可能简单地量化(单是在塔吉克斯坦的契卡洛夫斯克和塔博尔沙地区,过去采矿与水冶活动残留下来的废矿

渣估计达5000万吨,长寿命放射性的总量达0.001EBq)。世界上其他地方存在数千个这样的尾矿堆。

公众担心主要集中在“人造”放射性源所产生的废物,换句话说,就是人类活动所产生的废物。民用核活动,包括世界范围的核发电,产生的放射性废物只占全世界放射性废物的一小部分。大部分是由军用核计划,包括

冷战时期大气层核武器试验,所产生的。最先开始受到较多国际关注的那些严重的问题源于过去的废物管理实践(见第8和9页方框,以及《国际原子能机构通报》Vol. 40, No. 4, 1998)。

按照联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)估计,作为冷战时期核武器试验的后果,1000多EBq的放射性废物被随便地排放到大气中;其中绝大部分是短

## 冷战的放射性废物遗产

过去 10 年,军用领域放射性废物管理已受到越来越多的注意。冷战期间,全世界特别是在美国和前苏联的许多场址积累了大量受军事管辖的放射性废物。许多报告和研究列举了军用废物管理活动所引起的问题,以及为克服这些问题正在采取的步骤。

核武器生产、大气层和地下核试验、大规模辐射事故、在海洋中处置放射性废物等军事活动,使大量放射性废物进入环境中。特别是在初始阶段,发生了几起灾难性事故,致使放射性废物被排放到环境里。在前苏联,排放物进入捷恰河,后来又进入卡拉恰湖及车里雅宾斯克地区的其他露天水库;克拉斯诺亚尔斯克附近的叶尼塞河,以及托木斯克附近的托木河。事故包括 1957 年在马亚克装有放射性废物的大罐爆炸,1967 年在车里雅宾斯克地区放射性尘埃从卡拉恰湖边随风扩散,以及 1993 年托木斯克一座后处理厂发生爆炸。

**美国计划** 在美国,正动用大量财政资源用于国防活动所产生的放射性废物的管理。美国能源部(DOE)环境管理计划(EMP)负责处理核武器研究、生产和试验以及 DOE 资助的核能研究和基础科学研究所遗留的放射性废物和乏燃料(见下页方框)。这些活动产生了大量核材料、乏燃料、放射性废物及危险废物,使全国 113 个场址的设施、土壤和地下水被污染。

EMP 处理世界任何环境计划中最具挑战性和最复杂的一些工作。尽管 EMP 工作任务繁重又复杂,但已完成了对 113 个场址中 69 个场址的放射性清理。1997 年以来,EMP 一直在从事一项场址关闭活动,以期改进计划管理,加速和完成清理,到 2006 年关闭尽可能多的场址或部分场址。这项举措的费用十分巨大,可能高达几千亿美元。从 1989 年这项计划开始到 1996 年财政年度,EMP 已花费约 350 亿美元,EMP 还面临艰巨的任务,到整个计划完成可能还需花费 1680 亿至 2120 亿美元。

**俄罗斯联邦计划和合作计划** 在大西洋的另一面,国际应用系统分析研究所(IIASA)已建立生

物圈辐射安全(RAD)项目,旨在对前苏联留下的放射性废物所带来的问题进行一系列研究。在俄罗斯联邦,正在所谓的“1996—2005 年放射性废物和乏燃料的管理、利用和处置”的俄罗斯联邦计划框架内处理这一辐射遗产问题。国际科学与技术中心(ISTC)的生物圈辐射安全子项目(Radleg)将对这项计划作出重要贡献。IIASA 是这个项目的发起者和它的主要客户。Radleg 项目的成果将为 RAD 项目提供主要的输入。

此外,为促进俄罗斯联邦放射性废物管理领域的国际合作,1995 年建立联络专家小组。一份旨在促进为高度优先的项目提供财政支持的文件即“俄罗斯联邦放射性废物和乏燃料管理的总体战略”,现在接近完成。某些优先的乏燃料贮存和废物处理活动的财政安排业已完成(见第 64 页文章)。

在前苏联,核综合企业的结构包括钚生产堆和铀生产堆;反应堆核燃料制造;高浓铀(HEU)生产;生产堆乏燃料(SNF)后处理,以回收钚;核武器的 HEU 部件和钚部件生产;核弹头及有关装置的设计与制造的工厂和研究所;海军船舶推进堆(SPR)核燃料的生产厂和乏燃料后处理设施;核动力堆,研究堆,民用核船舶推进堆,核燃料制造厂和乏燃料后处理厂;供国民经济使用的放射性同位素和电离辐射源的生产设施;放射性废物处理和处置企业(钍专门企业)。一般说来,为军用和民用目的生产原始核材料是在普通工业设施中进行的。苏联核综合企业的主要设施是车里雅宾斯克地区的马亚克工业公司,托木斯克地区的西伯利亚化学联合企业,克拉斯诺亚尔斯克的采矿与化学联合企业。俄罗斯联邦继承了前苏联 80% 以上的核工业能力和放射性废物。在俄罗斯联邦领土上积累的总量估计为 6 亿立方米放射性废物和 8700 吨乏燃料的放射性废物和乏燃料,有待最终处置(见下页表)。此外,还有大量采矿和水冶活动产生的残留废物。按照 IIASA 的看法,这些放射性废物“正以一种不完全符合现行国际辐射安全标准的方式进行管理”。

## 美国防务活动产生的放射性废物和乏燃料的量

在美国,防务活动产生的放射性废物的管理涉及:

- 对近 10 太升被污染的地下水采取补救措施,这个量约相当于美国水日消费量的 4 倍;
- 对 4000 万立方米被污染的土壤和碎石采取补救措施,这些土壤和碎石足够铺设 17 个专业露天体育场;
- 安全贮存和保卫 18 吨多武器可用的钚,这些钚足够制造数千枚核武器;
- 管理 2000 吨以上强放射性的乏燃料;
- 贮存、处理和处置放射性废物和危险废物,包括 160 000 立方米目前贮存中的废物和约 5 亿升液体高放废物;
- 对大约 4000 个现在任务不再需要的设施进行去活化和/或去污;
- 为接收和安全管理从外国研究堆返回的含有武器可用高浓铀的乏核燃料执行至关重要的核不扩散计划;
- 对估计 109 个场址在清理之后进行长期照管和监测,可能需持续几百年之久。

## 俄罗斯联邦积累的放射性废物和乏燃料的量

部,局和组织机构	液 体		固 体		乏燃料	
	m <sup>3</sup>	Bq	m <sup>3</sup>	Bq	吨	Bq
俄罗斯联邦原子能部(Minatomb) 铀矿开采和处理,铀浓缩,核燃料制造, 核动力生产,乏燃料后处理,核武器 材料生产	4.0×10 <sup>8</sup>	6.3×10 <sup>19</sup>	2.2×10 <sup>8</sup>	8.14×10 <sup>18</sup>	8700	17.02×10 <sup>19</sup>
俄罗斯联邦国防部(海军) 核舰船和潜艇的运行和利用	1.4×10 <sup>4</sup>	4.44×10 <sup>12</sup>	1.3×10 <sup>4</sup>	29.6×10 <sup>12</sup>	30	5.55×10 <sup>17</sup>
俄罗斯联邦经济部国防工业局 核舰船和潜艇的建造、修理和利用	3.2×10 <sup>3</sup>	18.5×10 <sup>10</sup>	1.5×10 <sup>3</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	*	*
俄罗斯联邦运输部 核破冰船的运行和利用	4.4×10 <sup>2</sup>	5.5×10 <sup>13</sup>	7.3×10 <sup>2</sup>	3.7×10 <sup>16</sup>	10	17.39×10 <sup>17</sup>
氢专门企业 医疗、科学研究、工业等使用的放射性 材料的处理和处置	—	—	2.0×10 <sup>5</sup>	7.77×10 <sup>16</sup>	—	—
<b>总计</b>	<b>4.0×10<sup>8</sup></b>	<b>6.29×10<sup>19</sup></b>	<b>2.2×10<sup>8</sup></b>	<b>8.51×10<sup>18</sup></b>	<b>8740</b>	<b>17.39×10<sup>19</sup></b>

\* 100 多艘核动力潜艇及其乏燃料等待退役。



寿命废物,只有大约 1%是相对长寿命废物。此外,仅仅在一个核武器国家里,为生产武器材料的军事活动就留下了约 1000 EBq 残留废物,其大部分处于靠不住的封隔中。再则,1946 年至 1993 年期间,由于“正常”倾倒活动,大约 0.1 EBq 放射性废物被倾倒进北大西洋、太平洋和北冰洋里。由于“事故与丢失”,包括许多核潜艇沉没(最近一次是 2000 年 8 月“库尔斯克”号潜艇沉没)以及核动力卫星坠落到地球上,事实上使更多的放射性废物倾倒进全世界的海洋里。

和平利用核能所产生的废物往往会成为公众审视的最大对象,即使这些废物得到适当的管理、包容,其放射性水平与其他未加妥善管理的辐射源的放射性水平相同。最近半个世纪全世界核动力生产所累积的废物放射性活度也在 1000 EBq 数量级;并以每年约 100 EBq 的速度增长。

民用放射性废物的体积并不很大。到目前为止,积累的全部高放废物(虽然放射性很强)用一个约 1 英亩或相当于城市的一个小街段的大型仓库就能容纳。这是由于核燃料效率高以及民用核工业采取严格的废物浓集与

限制战略的结果。运行一座 1000 兆瓦电的核动力厂每年只需用约 27 吨燃料。而同样容量的化石燃料发电厂每年需消耗约 260 万吨煤(或每天用 5 列载重各 1400 吨的火车运煤)或 200 万吨油(或每年 10 艘超级油船油)。毫不奇怪,这些差别在所产生的废物数量方面也可以看出。上述容量的核电站每年将产生约 27 吨高放废物,310 吨中放废物和 460 吨低放废物,而同样容量的燃煤电站将向环境中释放 600 万吨温室气体,244 000 吨二氧化硫,222 000 吨氮氧化物,320 000 吨灰尘(其中含 400 吨有毒重金属)。这些灰尘含有大量浓集的 NORM。这些 NORM 使人类受到的集体剂量高于同样容量核电站排放进环境中的废物所造成的集体剂量。

确实,自然的本身过程和核弹的辐射遗产使放射性废物管理问题复杂化。它们总是引起有关核动力生产和其他和平核应用所产生的废物如何被处理以及过去 40 年这一领域国际合作的程度怎样的问题。在公众看来,放射性废物由哪儿产生的远不及其安全处理和处置重要,因此在各种问题被作为一个整体加以处理并在广泛支持的基础上令人满意地解决之

前,这些问题永远不会完全消失。

**放射性废物管理** 这个概念一般用来描述一系列操作过程,从放射性废物产生开始,到放射性废物的贮存(即废物的暂时保存)和最终处置(即丢弃废物,不打算再回取)。就核动力而言,放射性废物管理过程包括核反应堆乏燃料的管理,以不能用的放射性物质的安全处置而结束。不能用的放射性物质包括废弃辐射源,它是核能的副产品,在医疗、工业和其他领域有着有益的应用。在涉及使用放射性物质的活动结束之后,在场址及其周围可能还留下一些放射性废物,通常称之为放射性残留物。把放射性废物流出物释放到环境中通常称为放射性排放。

国际放射性废物管理范围扩大到这些涉及诸多方面的活动。许多重要问题倍受关注:

- 核反应堆乏燃料的管理;
- 高放废物的处置;
- 辐射源的管理和处置;
- 国际上就实现放射性废物管理和处置安全的办法可能达成的一致意见。

**乏燃料管理** 一些国家认为核反应堆乏燃料是高放



废物；另外一些国家则把乏燃料视为财富，因为经后处理可把有用的材料再用作新的反应堆燃料，把分离和浓集的废物固化在稳定持久的玻璃里。

IAEA 估计，目前全世界运行中的 433 座核动力堆每年卸出约 10 000 吨乏燃料。过去 40 年里，全世界卸出的乏燃料到 1999 年底累计达 220 000 吨。其中约 145 000 吨存放在安全贮存设施里，其余约 75 000 吨进行了后处理。预计到 2015 年乏燃料累计量超过 340 000 吨（见本页图）。

预计的乏燃料数量增加将带来一些问题，因为一些国家的贮存设施已接近满载。但是，就世界范围而言，为满足未来反应堆的需求，足够的贮存能力已经可供使用或已被计划。一些国家已计划建造乏燃料地质处置库。

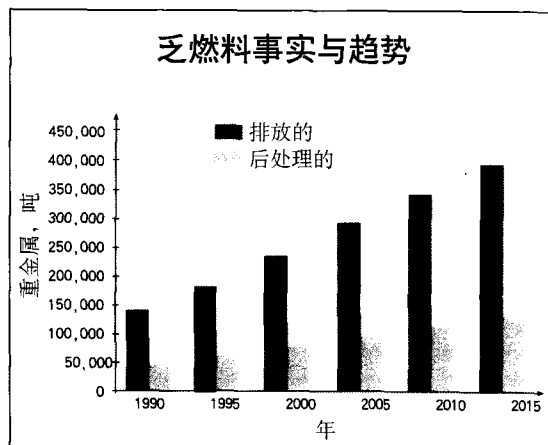
核研究堆也产生乏燃料。IAEA 的数据表明，58 个国家（其中 40 个为发展中国家）共有 293 座研究堆在运行，还正在建造 15 座研究堆。卸出的燃料组件大部分还贮存在研究堆现场，其中一些已贮存了 30 多年。粗略估计，有 63 000 个燃料组件贮存着，23 000 个燃料组件在反应堆堆芯里。就贮存的

燃料组件而言，46 000 个组件在工业化国家，17 000 个组件在发展中国家。核心问题是在原来进口核燃料的发展中国家里乏燃料组件的最终处置问题。进口协议要求乏燃料将来要返回供应国，但在许多情况下具体的安排还有待谈判。

乏燃料的其他来源是生产核武器材料的生产堆、民用和军用核动力船舶。军用乏燃料的管理日益受到关注。

**放射性废物处置** 各种核应用产生不同类型的放射性废物。就体积而言，大部分是“低放废物”，可在地表下的设施中进行处置。全世界已建成 100 多个浅处置设施，正在开发 30 多个浅处置设施。这些设施接受核动力堆、研究堆及医疗、工业和研究活动所产生的低放废物。

高放废物（乏燃料或乏燃料后处理所产生的废物）的情况有所不同，必须将其安全隔离几千年。科技界一般认为，在地表以下几百米处的古盐丘之类的稳定地质岩层或花岗岩洞穴中可以处置体积相对较小的高放废物。多重天然屏障和专设屏障可以防止人类闯入并保证长期包封。但是，至今没有任何国家批准长期处置商用高放废物的方案。



去年，经济合作与发展组织核能机构发表了一份关于地质处置进展的国际评估报告。该报告强调指出，地质处置在技术上是安全的，为了令人信服地证实可以进行地质处置，有必要向一些处置设施发许可证，使其投入运营。

论证地质处置方案的一个重要步骤是 1999 年 3 月美国开放废物隔离中间试验设施（WIPP）。WIPP 是世界上第一个经批准用于处置长寿命放射性废物的地质处置库，设在地下 700 米深处的盐岩中。该处置库已被许可接受美国国防有关的废物，但未被准许进行高放废物处置。

在美国、芬兰、法国、瑞典和其他一些国家，高放废物地质处置的研究与规划工作正在一些方面取得进展。但是，在许多情况下都面临着主要是与公众的接受、选址和安全性论证有关的、不

## 放射性残留物:重点在环境恢复



### 含放射性残留物环境恢复国际学

术会议 (1999年11月29日至12月3日,美国弗吉尼亚州阿灵顿)研究了由人类活动和天然源所产生的放射性残留物的有关问题。专家们发表的数据说明人类活动引起的问题范围大,而天然存在的放射性残留物所引起的问题

范围更大,而且可能更广泛。一个结论是显然有必要以一致的方式协调天然残留物和人为残留物的表征,以便能按共同的理解来处理风险管理和场址恢复问题。与会者进一步强调指出,有必要促进公众对这些问题有更多的了解,并让利害关系者参与恢复的规划工作。这次会议的文集可从IAEA获得。

容忽视的问题。

核燃料循环的技术发展可能有助于处理一些问题。例如,在法国阿格后处理厂,新的减容技术可以把乏燃料中的废物转变成固化的固体高放废物。如果全世界一年产生的乏燃料能被后处理并用此技术减容,那么所得到的固化物估计只有1000立方米,即每年全世界核能生产所产生的废物只有边长为10米的立方体那么大的体积。

**废辐射源的处置** 废物管理正面临着的一个问题是医疗、农业、工业及其他领域所用辐射源引起的问题。这些辐射源不再能用时,必须加以安全处置。但是,许多

“废”辐射源没有得到适当管理,有时仍是离开监管控制的“孤儿”。有几个国家发生了严重事故,丢失和遗弃的辐射源造成人员死亡和伤害,事后才被收回。针对这些问题,IAEA启动了一项行动计划,帮助各国提高其确保安全控制和处置辐射源的能力(见第60页文章和《国际原子能机构通报》Vol. 42, No. 3, 1999年)。

### 对今后方向的新共识

**放射性废物管理安全的国际框架** 就放射性废物管理安全达成国际共识是一项令人望而生畏的挑战,它涉及复杂的科学、技术和道德

问题,对这些问题的专业看法往往不一致。加强国际框架的倡议基本上是基于使各种方法协调一致的必要性,并为增加公众对各种废物管理解决办法的接受程度奠定基础。

已提出的一些问题包括:

■ 对天然来源放射性废物的控制是否应像对人类活动所产生放射性废物那样严格?

■ 考虑到将来子孙后代可能受到我们这一代留下的废物所造成的人为辐射的照射,应当用什么道德标准指导废物处置安全的决策?

■ 预计良好管理的放射性废物会引起低水平辐射照射,那么什么健康效应可归因于低水平辐射照射?(见第13页方框)。

■ 放射性废物管理决策是否应取决于新技术发展或运用现今最好的可利用的技术?就时机而言,这个阶段就开始放射性废物最终处置还是等着瞧今后技术如何发展,哪种办法好些?

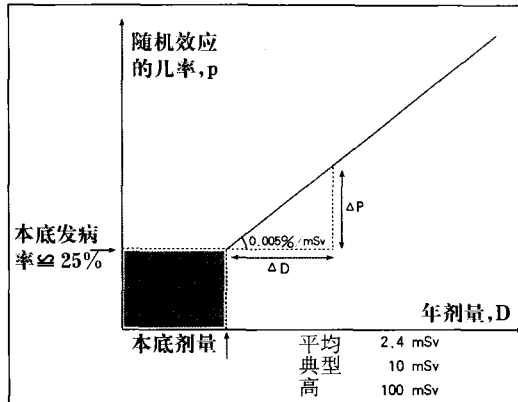
■ 鉴于问题和解决办法可能有超越国界的影响,那么废物处置安全纯粹是国家决策还是国际关心的事项?

回答这些问题是不容易的。重要的是,在国际会议上、专业团体中和通过IAEA



## 监管放射性废物:实际的问题和感觉出的问题

放射性废物受到适当管理时,预计只会对人造成极低水平辐射剂量的照射。然而,对作为低辐射剂量照射监管基础的一些假设的令人迷惑的专业辩论,可能误导公众的认识。学术辩论集中于所谓的“线性无阈值”或 LNT 假设。此假设表现出国际上(包括联合国系统)对辐射照射的健康效应的压倒共识。LNT 通常用简化方式表述如下:辐射照射使人致癌的可能性与辐射剂量的水平成正比,不存在安全的辐射剂量阈值,无论辐射剂量多小都如此。然而,国际上的提法更加深奥莫测。它可表述如下:超过原有本底辐射剂量水平(平均为 2.4 毫希沃(mSv),一般为 10 mSv,最高为 100 mSv)后,随着辐射照射剂量增加,癌症发病率在原有发病率(据知相当高,西方国家约 25% 的人死于癌症)的基础上成正比地增加。本页图示出这种情况。



辐射照射剂量低于本底剂量的范围内癌症发病率与照射剂量关系曲线形状是一个有兴趣的学术问题,但没有任何监管影响。监管者必须考虑超过不可避免的本底水平的辐射剂量对健康效应的可信性;而且,由于辐射无所不在,应该适当根据典型最高的(而不是最低的)本底辐射水平来考虑问题。值得特别指出的是,即使在这些条件下,可归因于辐射照射剂量增加的癌症发病率

增加的可能性也是相当小的。目前,联合国原子辐射效应委员会估计,每 mSv 辐射照射剂量的癌症发病率为 0.005%;预计良好的放射性废物管理对公众造成的照射剂量仅为 1 mSv 的一小部分。

多年来,LNT 的争论一直在放射学家、监管者及其他人员之间进行,其中某些人对于低水平辐射照射所引起的风险持相当极端的见解。难以驾驭的争论更加增添了放射性废物及其低水平辐射剂量监管问题。此争论所产生的一个不希望看到的结果是,使公众认识更模糊而不是更明白。另一个不幸的结果是使低放废物的监管不一致。在一些情况下,监管过程给社会带来了严重的惩罚,而且不知不觉地阻碍了核和辐射的有益应用。

关于放射性废物管理安全计划中的各项活动,通过交换看法而提出这些问题并开展争论。最近几项国际发展有助于确定前进方向。

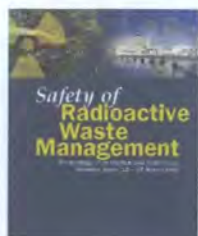
国际放射防护委员会(ICRP)最近发表了放射性

废物管理的新建议。它们是 ICRP 等 77 号出版物《放射性废物处置的放射防护政策》; ICRP 第 81 号出版物《适用于长寿命固体放射性废物处置的放射防护建议》; 及 ICRP 第 82 号出版物《长

时间辐射照射情况下公众的防护》(见第 21 页文章)。此外,国际核安全咨询组也发表了一份新报告——《辐射源的安全管理:原则与战略》(见第 19 页文章)。

IAEA 最近又组织了一

## 科尔多瓦会议



今年初举行的一次重要国际会议的成果,正在强烈影响放射性废物管理新议程。

2000年3月13日至17日在西班牙科尔多瓦举行的**国际放射性**

**废物管理安全会议**由IAEA与经济合作与发展组织核能机构及世界卫生组织合作组织,由西班牙政府主办。55个成员国和6个国际组织的300多名高级官员和科学家参加了会议。

这次会议的主要目的是使科学界人士、产生放射性废物的设施的代表、负责放射性废物管理的机构及核监管机构的官员以及有关公众团体的代表之间能进行公开对话。会议为决策者提供了采取政治行动的基础,而且证明是设法就放射性废物管理取得国际一致意见的重要步骤。

这次会议得出以下结论:因为放射性废物已经存在,对其无所作为不是可持续的办法,我们这一代的任务是避免给子孙后代增加不应有的负担,并为安全管理(包括最终处置)放射性废物设计并实施切实可行的解决办法。在每个国家,议会和政府的责任都是为执行国家放射性废物管理政策建立必要的立法框架并作出政治决定。

这次会议建议,国家放射性废物管理

政策应反映下列考虑:

- 放射性废物产生者对放射性废物的安全管理负有主要责任,为了履行这个责任,他们应提出合适的方案,并保证有必要的经济资源。

- 应以“整体论”观点处理放射性废物管理问题,以便避免为解决暂时性问题而采取的行动制约未来的决策。

- 由于安全管理放射性废物的各种方案都存在其固有的不确定性,不仅是科学和技术方面,而且还有法律和政策方面的不确定性,必须采取在未来广泛可能的情况下都可接受的健全的管理方法。

- 安全性问题应该独立地加以处理,以确保符合为考虑科学和技术的发展可能需要定期修订的条例与正式规定的标准。

- 为有效执行处置方案,要在国家一级明确规定渐进和透明的方法,以便使有关各方,包括公众和公众团体,能够参与决策过程。

在几乎所有技术会议中,都讨论了使所有有关的利害攸关者参与放射性废物管理的决策过程的必要性。在这方面,IAEA提出的建立一个特别国际论坛的倡议受到欢迎。

这次会议涵盖广泛的课题,并为加强放射性废物管理各关键领域的国际共识铺平道路。会议文集可向IAEA出版处索取。

些重要的国际会议,使专家、决策者、安全专家和其他“利害攸关者”再次聚会。其中一次是放射性残留物环境恢复

国际学术会议,就被残留放射性废物污染的人类居住地的恢复这一棘手问题接近达成一致意见(见第12页方

框)。最近而且是最大规模的一次论坛是2000年3月13日至17日在西班牙科尔多瓦举行的国际放射性废物管

理安全会议(见第 14 页方框)。

## 科尔多瓦会议:新的议程

科尔多瓦会议的与会者就影响未来国际发展方向的广泛议题达成了重要结论。通过他们的技术评论、结论和建议,他们强调了对一些关键议题的看法。这些重要议题包括:

■ **放射性废物管理设施选址** 这次会议强调了获取公众信任的重要性,这是放射性废物处置库选址取得成功进展的一个十分重要的因素。在选址过程中为有关各方提供机会及早参与明确而且透明的过程,将会增加成功的可能性。

与公众保持有效联系是建立信任、保持信心和对决策过程作出有意义贡献的重要因素。技术专家必须使用简明而且能为所有有关各方理解的语言来阐述复杂的废物管理问题。传媒能够很好地帮助这方面的努力,但是会议认识到新闻工作者的工作受到自身的压力。

■ **低放废物处置** 这次会议注意到,核动力厂低放和中放废物近地表处置库已在许多国家里得到使用,并被政治上和公众接受。在这种情况下,有理由期望在废

物的放射性绝大部分衰减掉之前有限的时间内,通过有组织的控制可以防止人类闯入。

铀矿开采和水冶(以及处理 NORM 的其他工业)产生的天然放射性废物的量很大,因此唯一经济上可行的处置方案就是在地表或近地表处置。采矿和水冶产生的废物虽然放射性浓度不高,但其中放射性核素的寿命极长,因此这类废物的近地表处置设施需要实行“永久”有组织的控制,以防人类闯入。

对于废物处置大多数类型来说,有组织的控制是纵深防御系统的一个组成部分;在地质处置的场合下,有组织控制的主要目的将是提供再保证,而不是提高安全性。对于采矿和水冶的废物来说,有组织的控制可能是为未来而设的唯一切实可行的防线。这类问题远远超出了纯技术阶段,需要与更广泛的人员开展进一步讨论,以发展更切实可行的能够得到广泛支持的解决办法。

■ **地质处置** 这次会议特别讨论了高放废物的深地质处置,认识到它引起了许多安全和道德问题。现在和将来都必须安全地处理它,现在这一代人必须牢记子孙后代的需要和安全。要考虑的关键问题包括:论证深地

质处置长寿命放射性废物的安全性,并力争公众接受和对公众作出安全承诺;长期地表贮存的安全性和可持久性;处置之前采取可回取地下贮存的安全问题;国际的或地区的处置设施对帮助小国和限制处置场址数目的好处。

处置库选址问题具有地方、国家和国际特性。在地方和国家一级,应提供处置需要的说明以及有关的准则和程序要求。在任何处置库选址过程中,提高地方一级公众的信任都是一个重要措施。

处置库审批的一个关键问题是检验安全的标准,即什么是确保该处置库长期满足安全标准这一“合理的保证”。现在除了作出判断似乎没有替代办法。

这次会议承认已经做了大量研究与开发工作,包括地质实验室,已具有足够的技术知识,使我们这一代能够安全管理和处置放射性废物;然而,在国际上实际提供地质处置库方面没有什么进展。有所进展的那些事例都表明公众参与整个决策过程的好处。现在已充分认识到与公众保持联系和公众直接参与的好处。

还有必要就地质处置安全性的标准和准则达成国际

一致意见。这将要与磋商过程并行发展。

■ **长期贮存** 这次会议强调指出,放射性废物长期贮存并不是一种可持续的做法,不能解决未来的问题;而是放射性废物综合管理的一个中间步骤。虽然今后几十年里可以实现放射性废物有监测的、可回取的和无源安全的贮存,但必须在发展处置方面取得进展。

决不能把贮存当成无止境“等着瞧”的办法;总能够等待未来的发展,但如果失去向处置方向前进的积极性和决心,不采取有效的管制,就会使贮存设施安全性能降低,对环境造成危害。与会者进一步指出,长期贮存不是一个简单的或花费少的过程,将要由具有必要知识、技能和财政资源的机构实行有组织的控制。研究表明,如果坚持有组织的控制,长期贮存可以保证几十年安全。然而,即使技术进步使安全贮存长期可行,坚持有组织的控制问题可能是一个制约因素。

■ **已处置废物的可回取性** 这次会议较详细地讨论了已处置的放射性废物的可回取性这个有争论的问题。现在广泛认为,在地质处置的设计和implement中,比较明确

地规定废物可回取性是一个重要方法,它能增强公众对巧妙保存放射性废物并避免妨碍子孙后代作选择的能力的信心。

然而,达到可回取性决不应以降低处置库的长期安全性为代价,而且不应该在开始存放废物之前就放弃对处置库的长期安全性和适宜性进行评估的要求。重要的是要认识到,只要保持可回取性,为保护公众和环境,有组织的控制就将是必要的。这种控制应规定对存放有乏燃料或其他易裂变材料的处置库实施必要的核保障。

■ **国际处置库** 国际处置库最终能使那些自己领土上没有合适地层的国家有可能实现放射性废物地质处置。也可以使那些只有少量废物的国家有机会集中一起使用经济和技术资源,而不必每个国家都实行自己的处置库计划,而且这种合作有助于就废物安全问题取得有更广泛基础的一致意见。

然而,这次会议得出结论说,在某些国家的地质处置库论证成功之前,国际处置库计划为公众所接受似乎希望不大。此外,现在推进这个方案还可能产生相反效果,因为它可能削弱国家处置库计划。

### ■ **辐射源的安全管理**

这次会议建议,安全处置废辐射源基本上是国家责任。如果长期贮存这类辐射源,将增加失控的可能性。辐射源的采购价格也许应该包括最终用于处置的若干费用。

对于没有处置设施的国家来说,安全处置通常意味着把废源转移到另一个具有安全处置废源基础设施的国家——按惯例返回供应国。一种可能的替代办法是发展花钱不多的安全处置废源的方法。正在开发的替代办法是所谓的“钻孔概念”。

关于把废源返回供应国的可能性,这次会议着重指出,在许多情况下,供应商与原来的制造商并不是同一实体。某些供应商受其国家法律制度阻碍而不接受或已明确表示不愿意承诺接受返回的废源。如果把注意力集中于废源分类中属于最危险的废源,并设法作出至少接受这类废源返回的承诺,这个问题或许能得到缓解。如果供应商退出商务,有关国家需要提供“后盾”,保证不由于这个原因而使废源失控。

这次会议表示,支持IAEA的辐射源安全与放射性材料保安的行动计划,并对这个领域正在制订的国际



行为准则感兴趣。

### ■ 放射性废物跨界运输

这次会议讨论了放射性废物跨界运输问题,即放射性废物从其产生国管辖下转移到目的地国家管辖之下。这种转运往往要经过一个或几个过境国或经过公海。因此,在放射性废物转运的不同阶段应适用不同的法律体制。这就要求国际上在这方面达成广泛的协调一致。

在核领域,这种协调程度是比较高的,一些国际上已达成一致意见的文件(例如 IAEA《放射性物质安全运输条例》)已证明这一点。就海上运输放射性物质来说,遵守这些国际标准的责任落在船旗国身上,虽然预计国际海事组织(IMO)不久将使这类标准的履行成为强制性规定。

这次会议注意到,对于经过沿海国领水进行的放射性废物运输,是否应征得该沿海国批准,国际法没有一般要求,只要采取必要的安全预防措施即可。目前,责任在很大程度上是由国际私法规定的,因此给潜在的受害者带来一些不定因素。考虑到这些不定因素在促使反对放射性废物国际运输方面所起的作用,更广泛地加入国际核责任体制将有助于使公

众更多地接受这种运输。放射性物质的国际运输具有很好的安全记录;然而,在这方面,公众的看法与现实之间存在着很大差距。有必要与利害攸关者进行建设性的公开对话,向其解释放射性物质(包括废物)国际运输体制(尽管有时是难懂的)及安全记录。

■ 放射废物管理安全的国际体制 这次会议的一项主要成果是它支持 IAEA 的放射性废物管理安全国际体制(见第 18 页方框),即:(i)《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》,这是一份以缔约国高水平承诺安全管理放射性废物为前提的鼓励性法律文件;(ii)已制订的国际安全标准;(iii)为确保适用这些国际安全标准而建立的国际机制。

《联合公约》对国家承诺推进国际商定的安全目标作出了有约束力的规定,并以国际同行评审为后盾,因而提供了一个提高对国家计划的信心的机制。

这次会议注意到,建立国家安全管理放射性废物的立法和监管框架,现在已具备为人们所承认和充分理解的基础。经济全球化增加了国际协调一致的安全标准的潜在好处。但是,采用这类标

准的前景是有限的,因为某些国家认为采用这类标准可能有损其国家主权。国际协调一致与国家主权之间的已被觉察的矛盾是一个政治问题,超出了技术界的范畴。

### 展望:解决难题

放射性废物处置以及核能的未来,是国际议程上的主要问题。IAEA 在寻求国际社会长期求之不得的共识方面,能够起到催化剂的作用。

美国常驻 IAEA 代表 John B. Ritch III 大使在科尔多瓦会议上的主旨发言中指出,在核能领域,我们需要进行两个意义上的广泛讨论。我们必须有广泛的人员参与,包括政府、营运者、工业界、监管者、非政府组织、德高望重的专家及民间团体等各界人士,更确切地说应包括公众意见的任何及所有接纳者或制造者。我们还需要有广泛的主题事项,这样可以扩大公众对话的范围,而不局限于在什么地方处置和如何处置废物之类有争论的问题。我们的辩论必须是全面的,包括就各种能源方案进行全面而现实的讨论,尤其是为核动力及其副产品确定的一个合理而又可接受

## 放射性废物管理安全的国际制度

在 IAEA 的主持下,放射性废物管理安全的国际制度正在形成。该体制包括三个主要组成部分:使各国加入具有法律约束力的国际公约;建立全球同意的国际废物安全标准;及为这些标准的适用作准备。

■ **使各国加入具有法律约束力的国际公约** 近几年来,各国作出的承诺对改善核安全、辐射安全和废物安全起到关键作用。IAEA 在帮助改善安全的进程,办法是促进缔结这类协定,在协定生效后向缔约方履行各种职能。这些职能包括作为缔约方的秘书处,并应缔约方请求向其提供服务;在废物安全方面,一个这类协定是《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》。

■ **建立国际废物安全标准** IAEA 为满足成员国的需求,已制订并印发 200 多项辐射和核安全标准,包括放射性废物管理安全标准。在 IAEA 成立后几年内,就发表了

第一份针对放射性废物的安全标准。到 20 世纪 80 年代,IAEA 制订了一套题为“放射性废物安全标准”(RADWASS)的非常严谨的专门标准。这套丛书的一份重要文件《放射性废物管理原则》于 1995 年发表,并成为《联合公约》的技术基础(见第 24 页方框)。

■ **为这些安全标准的适用作准备** IAEA 确保 RADWASS 标准得到适用的战略以下列 5 个主要活动领域为重点:

- 促进废物安全相关信息的系统交流,
- 促进废物安全教育和培训,
- 支持和协调废物安全相关研究与开发活动,
- 为运用废物安全标准提供协调和援助计划,
- 应请求,向成员国提供有关服务。

国际社会可利用这个国际制度作为工具,以实现放射性废物的安全管理,并促进有关问题的解决。

的作用。

他使用一个恰当的比喻来描述形势。他回顾说,在希腊神话中,一位神使说能解开戈尔迪打的难解的结的人将统治全亚洲。按照传说,亚历山大国王挥利剑斩开这个结,并获得所预言的光荣。用这个故事来比喻以快速而巧妙的办法解决难题是很贴切的。如今,在我们面临着从放射性废物管理和和平核发展的争论中取得一致意见的

挑战时,没有垂手可得的答案。

正如 Ritch 大使所得出的结论,既然我们必须掌握我们的命运并理性地指导我们自己去满足迫切的生产更多、更清洁能源的需要,我们便不能指望一斧头下去就解决问题。障碍是不能超越和忽视的。我们必须明智地、很好地使用我们所有的资源和民主机构,仔细认真地解开这个戈尔迪结。

IAEA 能够提供一个极需的利害攸关者论坛,以推进所有有关各方达成可能导致为所有类型放射性废物找到可接受的解决办法而且经得住时间考验的共识。 □

——在 2000 年 9 月 IAEA 大会期间,放射性废物管理问题科学论坛使来自各组织和机构 130 个成员国的专家和决策者会聚一堂。