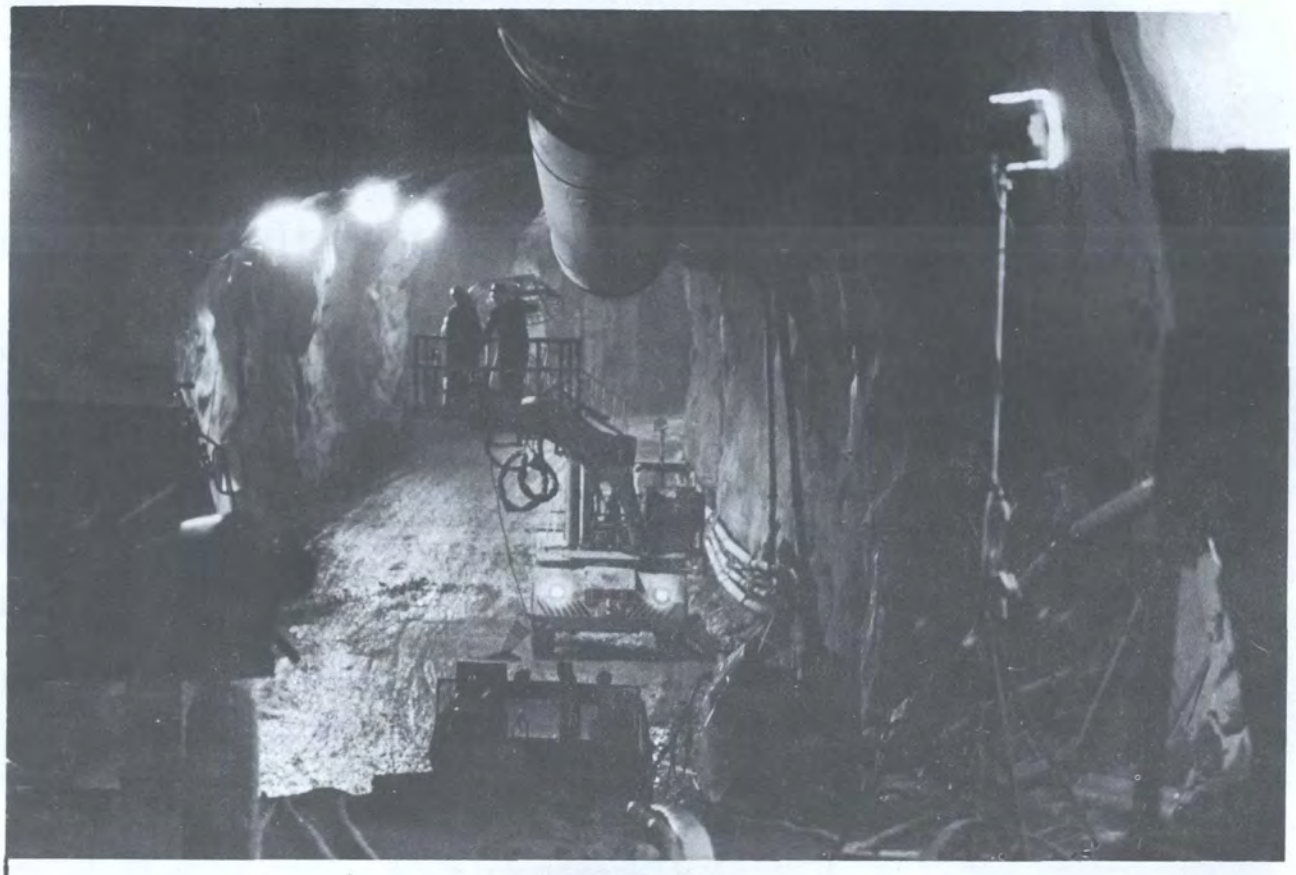
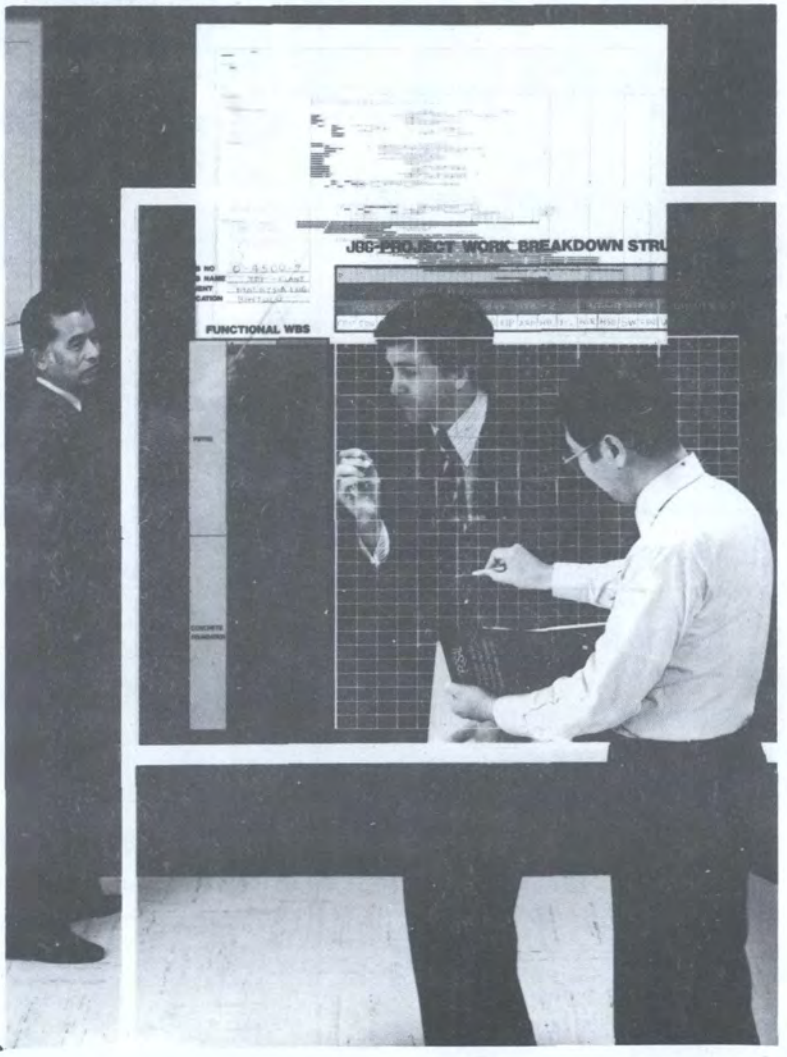
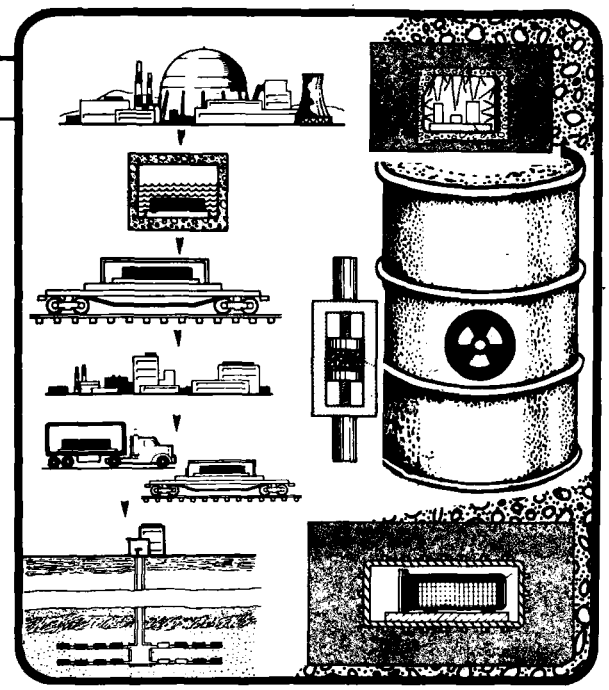




许多国家的各级项目小组都在实施安全而有效地贮存与处置放射性废物的计划。图为日本的一个管理小组和在计划建造的瑞典废物处置库（位于福斯马克）的挖掘工人。（来源：JGC，SKB）



世界放射性废物管理现状

进展很大，有些问题仍待解决

Donald E. Saire

利用原子为人类造福已有40多年的历史了，现在原子能的利用可以认为是一种成熟中的技术。然而，同其他技术的情况一样，核能的利用给人类带来了利益，但也存在一些问题。不但核电厂运行和其他燃料循环活动会产生放射性废物，而且放射性同位素在医学、工业和研究方面的应用，以及一些非核活动（即磷酸盐处理和金矿开采）也会产生放射性废物。

因此，原子能机构112个成员国中，几乎每个成员国都产生一定数量必须加以收集、处理和安全处置的放射性废物。开展这些工作时应该考虑对这一代和后代可能受到的电离辐射有害辐照的安全防护。虽然核能产生的放射性废物的实际数量比其他工艺或工业（例如，烧煤电站）要少，但人们关心它主要是因为放射性废物在很长时间里对人类及其环境有威胁。因此，该领域目前正在受到必要的注意，以便确保有关问题及时地得到解决。的确，如果核能，更确切地说是核动力，要继续增长，而且要对人类作出充分的贡献，那么废物管理问题就一定要解决，以使科学界和公众都满意。

本文概述了机构成员国为确保放射性废物安全管理而正在进行的活动，讨论了一些与本课题有关的悬而未决的问题。*

成员国的活动和实践

在利用核技术的最初几年里，常常把放射性废物视作很一般的问题，几乎没有考虑对废物进行适当的处理和调整。与其他燃料循环活动比较，有关放射性废物管理的研究和发展工作微乎其微，仅仅采取了一些相当简单的临时措施。对低中放废物通常稍作处理或调整后即浅地层埋藏，而有些国家则采用海洋处置的方法。含α的废物（也叫超铀污物、钚污染物，或简称“α废物”）通常被贮存起来，以待将来处理。高放液态废物收集在大型碳钢或不锈钢罐内，这些贮罐被放在地面上或刚好埋在地面下。

七十年代初，人们增加了对放射性和环境问题的关切，使许多国家更加重视放射性废物的管理，并开始了大量的研究和开发工作。最初，这些工作的重点是对高放废物的处理和处置，因为大部分的放射性都在这种废物流中。但是，由于核电厂和非燃料循环设施产生着大量低放废液和固体废物，使得这类废物的研究活动也迅速开展。

对低中放废物处理（减容）、调整（固化废物）和处置的有关活动现状的评论，充分显示了目前对这个领域的重视。（参见附表，一些成员国正在进行的或建议的活动。）人们把重点放在以减容为目的的低放废物的处理上，这样不但便于操作和进一步处理，而且能减少最终处置所需的空间。

对低放液态废物来说，已从其他工业引入蒸发、离子交换和化学沉淀的传统工艺流程，并按放射性废物处理系统的要求做了修改。目前许多国家都在使用这些流程，它们的工艺简单，而且能够安全有效地使放射性废物的体积减少到原来的1/10—1/100。

目前在固态低中放废物的处理方面所做的工作见附表。现在正在采用的技术有压实、焚烧，有时将这两种技术结合起来，这取决于固体废物的性质、产生的数量和该国选择的最终处置方法。

Saire先生是机构核燃料循环处废物管理科高级职员。本文发表的观点反映了他的一些看法，机构不一定赞同。

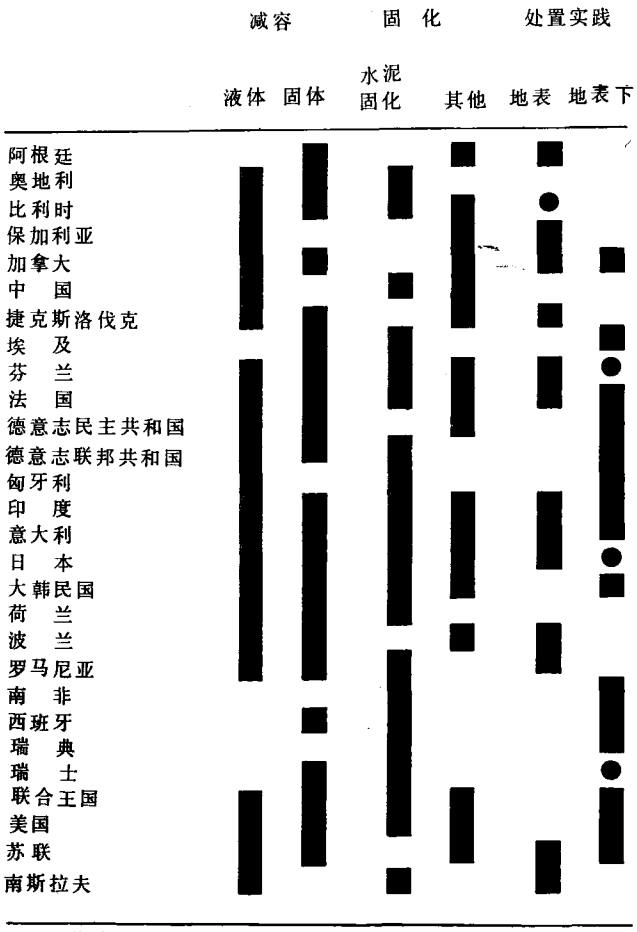
* 国际原子能机构出版物《放射性废物管理：现状报告》（1985年8月），刊登了有关该领域的更全面的综合评论，目前只有英文本。

压实技术通常可将体积减小到原来的1/5—1/10。焚烧固体废物技术可将体积减小更多（减小到不足原来的1/20），但这种技术通常限于在那些产生大量可燃低放废物的国家使用。具有一些大的核研究中心和（或）核电站的国家大多数采用固化低中放废物的方法。液态和固态废物的固化通常是在减容处理之后。成熟的水泥固化技术的使用已经许多年了，但有些国家采用了其他一些固化基质，例如沥青和聚合物，并仍在积极研究中。

所有固化低中放废物的流程都提供必要的固体废物块，来防止在建造的贮存设施中处置最终固化废物产物时，放射性核素在早期释放到环境。处理过的或固化后的低中放废物的处置取决于一个国家可利用的地块、地质建造和水文学情况。

在核能利用的最初几年里，有人认为，海洋倾倒是一种适宜的处置方法，其低的放射性后果是人们可以接受的。但是，鉴于舆论和管理不善，这种方法已禁止在今后一段时间实施。目前大多数机构成员国都在地表或近地表的设施内处置低中放废物，这些设施建有适当的安全屏障。一些国家（例如，德意志民主共和国、德意志联邦共和国以及美国等）也采用废矿井地质处置法和深井注入法（水力压裂岩石法）。

一些国家的活动：低中放（短寿命）废物



■= 指实际应用
●= 指建议的实践

来源：引自国际原子能机构出版物《放射性废物管理：现状报告》（1985年8月）。

高放废物和α废物管理战略

高放废物管理的国家战略通常取决于一个国家对燃料循环的决策，即对乏燃料是进行后处理还是把它们贮存起来。这在某种程度上也适用于α废物，尽管这些废物可能是在研究活动中产生的。（参见附表，若干成员国α废物和高放废物管理现状摘要。）

α废物的处理技术正在发展，并在许多国家得到了实施。使用了一些年的减容技术有废物的酸煮、焚烧和热解。其中可燃α废物的焚烧技术已受到人们很大的关注，专为处理α废物而设计的新的焚烧炉装置现在正在美国和其他一些国家运行。

α废物的固化技术主要是把废物包容在水泥和沥青内。α废物的处置取决于废物的活度水平和国家有关处置的管理标准。大多数成员国都是在地表或近地表建成的处置设施内对经过处理或调整的α废物进行受控制的中间贮存。将来，期望超过地表埋藏限度的α废物，将在深地质处置库进行处置，这种处置库类似于美国目前建造中的废物隔离中间试验装置（WIPP）。

选择燃料后处理的一些国家的高放废物管理计划是建立在固化高放废物的基础上的，即形成整块的固体形式。七十年代末八十年代初，人们对一些可供选择的高放废物形式进行了大量的研究，这些废物的基质材料有脱硝的煅烧物、玻璃和结晶陶瓷。

在过去的几年里，许多国家的看法日趋一致：从目前情况看玻璃似乎可以最好地兼顾所希望的废物形式的性质、制造简便和材料的长期使用经验。许多国家一直在进行晶态废物玻璃形式的研究和发展工作，硼硅酸盐玻璃现在已是国际公认的高放废物基准形式。

关于用硼硅酸盐玻璃或其他介质固化高放废物的技术基础，一些成员国正在从事的活动范围很广，即从适中规模的冷研究和发展工作到实际的全尺寸高放废物玻璃固化装置（参见附表）。

调整过的乏燃料

虽然大多数有核燃料循环的国家正在打算对乏燃料进行后处理，但是一些国家正在从事一次通过燃料循环研究，并把调整过的乏燃料作为最终高放废物的形式。这种概念至少有六个机构成员国在进行研究，

一些国家的活动：α 废物和高放废物

	α 废物		高放废物	α 和高放废物的处置	
	减容	固化	固 化	中间贮存	地质处置
阿根廷			R&D		
奥地利			CPP		
比利时	■	■	R&D		●
加拿大			R&D		
中 国			R&D		
法 国	■	■	HF(o)		●
德意志联邦共和国	■	■	HF(o)		●
印 度	●		HF(o)		●
意大利	●	■	CPP		●
日 本	●		HF(c)		●
联合王国	●	■	HF(c)		●
美利坚合众国	■	●	HF(c)		●
苏维埃社会主义共和国联盟	■	■	CPP		●

说明：
■ = 现在的活动
● = 建议的活动
R&D = 研究和发展
CPP = 冷中间工厂
HF(o) = 热设施运行
HF(c) = 热设施建造

来源：引自国际原子能机构出版物《放射性废物管理：现状报告》（1985年8月）

它们是加拿大、芬兰、西班牙、瑞典、瑞士和美国。

由于承认了这种方案，为了把乏燃料包括在内，机构最近已扩大了新确定的协调研究计划的范围。该研究计划是关于评价处置库条件下的固化高放废物形式和工程屏障的。把调整过的乏燃料作为高放废物形式的方案，无疑将会受到更多的关注，因为燃料再循环的经济性越来越有限，而且一些成员国权衡了将高放废物转变成废物固化体所需的附加技术的复杂性和操作步骤的利弊。

虽然从玻璃固化厂出来的高放废物产物和调整过的乏燃料看来肯定要永久地贮存在地质处置库里，但是现在还没有选定这样的国家场地。然而，规划和研究活动已经开始。因为高放废物产物和乏燃料可在地面设施内安全贮存数十年，所以这些废物的永久处置库不大可能需要在21世纪前几十年投入使用。

一些争论和未解决的问题

在讨论放射性废物管理的现状时，我们不能不涉及围绕这个领域的一些争论和未解决的问题。机构以及其他的国家和国际团体已在许多场合声明，从技术上说，人类完全能够安全地管理核废物，使这一代和后代不受危害。

事实上，机构于1983年5月主办的国际放射性废物管理会议的一个主要结论是，对于“安全地长期隔离”放射性废物，“已有适当的技术，并且可以在深地层选择合适的地质建造”。*虽然这个领域内的大多数知名人士会同意这个结论，但仍然存在一些相当敏感的方面。在人们能继续进行最后几个阶段的工作以前，这些敏感方面需要各个负责的国家与国际团体之间互相谅解和共同采取谨慎行动。下述有些争论所需要采取的行动和活动方式，通常不是技术工作者所能做到的。

政府政策和舆论

尽管废物管理已引起科学界的热烈讨论和兴趣，但是现在它仍是许多国家和地方团体关注的核心问题。虽然已开发的和在很大程度上已得到证实的技术表明，放射性废物不论现在和将来都可以安全管理，但许多国家的废物处置计划不取决于技术因素，而是取决于公众和地方政府的看法。因为这些看法是根据核工业的活动和实践提出来的，因此国际核团体应在可靠的技术基础上切实有效地规划全部废物管理活动。这些技术基础在实施这些活动以前，已充分考虑了人类和环境的安全性。

如果技术上的可靠性和资料的公开化成为一项取得公众承认的计划的主要特色，那么与公益组织配合才可能是有利的。值得注意的是，在瑞典，它的核燃料安全计划（KBS）已成功地满足了“条法”的要求，该“条法”规定废物处置计划不取得进展，就禁止新建反应堆装料。瑞典对公众完全开放资料的态度和完整

* 引自原子能机构总干事汉斯·布利克斯在1983年5月16—20日华盛顿州西雅图国际放射性废物管理会议上的讲话。参见《国际原子能机构通报》第25卷第4期（1983年12月）有关该会议的一篇报道。

一些重要的高放废物和乏燃料处置设施

机构的一些成员国建造和运行高放废物（HLW）和（或）乏燃料处置设施的现行国家计划概况。大多数计划中的设施都与高放废物玻璃固化和产品废物形式的贮存有关。

国家	设施	现状*	国家	设施	现状*
阿根廷	● HLW玻璃体处置库	1984 **	印度	● HLW和其他后处理废物固化厂（塔拉普尔）	1983
比利时	● α废物处置库	90年代中期	日本	● HLW玻璃固化厂（东海厂）	1991
	● AVB-现有欧化液态HLW玻璃固化厂	项目审批未定			
加拿大	● 乏燃料处置库	2010或更晚些时候		● HLW玻璃体贮存（东海）	1992
				● 商业HLW玻璃固化厂	1997
芬兰	● HLW或乏燃料处置库	2020		● HLW玻璃体处置库	2020
			西班牙	● 乏燃料处置库	2005/2010
法国	● 阿格玻璃固化厂（阿格）	1987/1989	瑞典	● 乏燃料和HLW玻璃体离堆贮存设施CLAB	1985
德意志联邦共和国	● 离堆乏燃料贮存室（戈尔勒本）	1984		● HLW/乏燃料 处置库	2020
	● 废物处置库（戈尔勒本）	1995	瑞士	● 乏燃料、HLW玻璃体和其他后处理废物离堆贮存设施	1992
				● HLW或乏燃料地质处置库	2020以后
			联合王国	● 温斯克尔HLW玻璃固化厂（塞拉菲尔德）	1988
			美国	● 西谷HLW玻璃固化厂	1988
				● 萨凡纳河HLW玻璃固化厂	1989
				● 第一个HLW或乏燃料处置库	1998
				● WIPP（国防α废物示范处置库）	1989

* 除注明者外，现状指起用时间(年)。

** 指完成场地特性调查研究。

的技术概念，应该看作是取得公众承认废物处理和处置计划的一种重要的引导方法。

国际合作

虽然一般公认，废物管理活动在某种程度上不可能局限于各个国家境内，但关于需要一个国际场合进行讨论和做出决策的问题并未取得什么进展。尽管原子能机构和其他与和平利用原子能有关的国际组织在一些全球性的废物管理问题上起到了促进作用，但有关国际废物处置设施的问题没有取得什么进展。

一个特别值得关心的问题是，规定一些国家和国际团体对具有小型核能规划和（或）具有有限或没有合适陆地供处置核电厂废物的某些国家，应该承担的义务。尽管出售国向一些国家销售核电站在经济上得益，但如果购买者不具备隔离核电厂废物的技术和合适的地质建造，那么出售国是否要对安全与最终处置这些废物承担义务呢？这个问题一定会在不久的将来由国际团体提出，因为已建有或计划建造核电厂的一些国家最终将面临废物处置问题，这些问题要在国境内解决可能是不可行的或不实际的。

废物产物的地质处置

乏燃料和（或）固化高放废物包装物的深层地质处置技术正在不断地发展，但仍有几个方面的问题需作进一步的研究：怎样才能适当验证未来的安全性，如何才能使这一代人和后代的放射性剂量都减至最小？还有，在整个废物处置系统（废物基体、容器、工程屏障、回填材料和主岩）的哪一点上能取得有效的平衡？

科学和社会的论据最终肯定会支持这样的概念，即为确保这一代和后代所受的放射性危害都达到容许水平而将多层屏障废物封隔系统的每个组成部分都最优化到“第n 级”，是不可行的，甚至是不可取的。相反，必须达到一致的是，该系统每个组成部分可接受的屏障能组合成一个总的“故障安全系统”。

最后，无疑值得指出放射性废物管理方面取得的进展程度。利用原子能的国家的废物管理技术和实践是安全的，并合理地满足了保护人类及其环境免受放射性危害的需要。现在已有对放射性废物进行必要的处理和隔离的技术。难道我们不能把力量联合起来，将放射性废物管理遗留的问题予以彻底解决吗？正是这些问题延缓了我们的进展，妨碍人类获得原子的全部利益。