

放射性废物海洋处置现状

正在进行的许多研究旨在
更充分地评估海洋处置的影响

Dominique P. Calmet

几百年来，海洋一直是处置人类活动所产生废物的场所。虽然尚未在海洋处置高放废物 (HLW)，但数量不等的桶装低放废物 (LLW)* 已被倒入大西洋北部和太平洋北部的 50 余处倾倒地。1946 年，在东北太平洋离加利福尼亚海岸约 80 公里处的一个倾倒地，进行了第一次海洋倾倒地作业。已知的最后一次倾倒地，是 1982 年在离大西洋的欧洲大陆架约 550 公里处的一个海区进行的。(见第 48 页地图。)

在这两个日期之间，估计总共在海洋处置了 63 PBq (1.7 MCi)** 的放射性废物。这些废物来自研究、医学和核工业的各种活动，一般都已装入内部用混凝土或沥青作基体的金属桶中，其中包括 1950—1960 年期间处置的一些非桶装废物和液态废物。 β - γ 辐射体占这些废物中放射性物质总量的 99% 以上，它们都是裂变产物和活化产物，如铯-90m、铯-137、铁-55、钴-58、钴-60、碘-125、碳-14 和氚等。在倒入东北大西洋倾倒点的废物中，这些产物的放射性活度约占废物中总放射性活度的三分之一。在被处置的废物中，还含有少量的 α 辐射体核素，其中的 96% 是钚和镅。

Calmet 先生是 IAEA 核燃料循环和废物管理处工作人员。

* 低放废物的含义是：由于其放射性核素含量低，因而在正常的操作和运输期间不需加屏蔽的废物。

** 1 PBq = 10^{15} 贝可，1 MCi = 10^6 居里。



一些国家的和国际的监督计划的实施，增进了人们对放射性废物深海处置潜在影响的了解。本图示出一种即将沉入海底的新型“沉积物取样器”，它能采集海床沉积层上部 30 米范围内的样品。(来源：CEA / DPT)

这些倾倒地作业都是在有关的国家主管部门或由经合组织核能机构 (NEA / OECD) 成员国组成的“多边协商和监视机构”的管制下进行的。NEA 在 1977 年还为它的倾倒地制订过一个“协调研究和环境监视计划” (CRESP)。从那时起，每年都要检查一次东北大西洋的这个倾倒地。对太平洋和西北大西洋的一些倾倒地，也不时地进行放射性检查。迄今，除了在倾倒地金属桶附近这种特定场合下采集的某些样品曾测出较高含量的铯和钚外，从各个倾倒地采集的海水、沉积物和深海有机体样品中的放射性核素含量，都从未超出来自核武器试验落下灰的相应含量。

这些结果是与深海放射性废物处置的主要目标相一致的。这个目标就是把放射性废物与人类的周围环境隔离足够长的一段时间，以致即使从长期的角度看，随后从倾倒地释放的放射性核素也不会产生不可接受的放射学风险。尽管人们当初曾把海洋看成是一个能确保放射性在这种环境中的浓集速率较低的大

全世界用于处置低放废物的海洋倾倒点的分布



稀释体，然而，放射性核素在世界海洋中可能弥散一事，已使一些人担心可能损害海洋资源。这些担心主要来自那些未享受到核能利益的国家，并已写入1958年4月29日在日内瓦通过的《公海公约》第25条中。该条款建议，“每个国家都应考虑主管国际组织或许会制订的任何标准和法规，采取相应措施以防止海洋受到放射性废物倾倒的污染”。

因此，为了评价“放射性废物海洋处置”的安全性，曾于1957年举行了旨在设计评价方法的首次会议；从那时以来，IAEA已提出了一些导则和建议，以确保放射性废物的海洋处置不致于使人类健康和海洋有机体受到不可接受的伤害，不致损害海洋的舒适性，或妨碍海洋的其他合理利用。

IAEA 保护人类和海洋环境的建议

虽然从本质上来说，海洋倾倒是一种弥散/稀释战略而不是一种封隔战略，但IAEA仍然建议要精心设计废物包，以确保废物包下沉期间和撞击海底时废物的封隔性不被破坏，并使随后向海洋释放的放射性核素尽量减少到可合理达到的程度。对于放射性核素从废物基体和废物容器释放出来的情景，这些核素

在海洋生态系统中弥散的情景，和它们向周围的人类环境转移的情景，人们都一一作过设想。由于预计的放射性核素在各种海洋组分中的浓度很低，所以放射性核素从深海返回人类的情况不可能用监测的方法确定，过去是利用数学模型估计的，今天仍然如此。后来新开发出的一些数学模型，以及在放射性核素在海洋环境中的行为所涉及的海洋学、地球化学和生物学过程方面获得的新数据，已使人们有可能使放射性废物海洋倾倒对人类和海洋环境影响的评价不断精确。

《伦敦倾废公约》

自从《防止倾倒废物及其他物质污染海洋公约》（简称《伦敦倾废公约》或LDC）于1975年生效以来，废物的倾倒已在全球基础上得到管制。LDC特别规定禁止倾倒高放废物；要求低放废物的倾倒只有在发给许可证以后才能进行。

LDC缔约国在其第7届协商会议（1983年）上，对这些附件提出了一项禁止在海洋倾倒一切放射性废物的修正案，并通过了一项要求在对放射性废物海洋倾倒的科学基础复查完以前暂停一切倾倒的决

在东北大西洋倾倒地 4700 米深处，利用金属和混凝土桶处置低放废物。由于混凝土桶（下图）的密度高，因而倒入海底后它的一半能埋在沉积物中。在桶的附近能见到有生物存在的迹象。



议。1984 年，一个独立的专家组审议了与所建议的修正案有关的科学和技术考虑。他们在第 8 届 LDC 协商会议（1985 年）上提出的结论是，“当把国际上公认的辐射防护原则适用于放射性废物处置时就会发现，那种不把海洋倾倒地方案与现有的其他处置方案同等对待的观点，是没有任何科学根据或技术根据的”。

1986 年，由于放射性影响评价方法学的不断改进，IAEA 就不适宜海洋倾倒地的高放废物的技术规定和管理桶装低放废物倾倒地作业的推荐意见，提出了它的第三个修订本。* 尽管有了这份新资料，第 10 届 LDC 协商会议（1986 年）仍然同意成立一个政府间专家组，以研究与低放废物海洋倾倒地有关的一些更加广泛的政治、法律、经济和社会问题。在这些新研究得出结论以前，废物的暂停倾倒地期顺延。同时要求 IAEA 就未解决的科学技术问题，向缔约国提供特别的咨询服务。下面介绍请求 IAEA 在这方

面进行的两项研究。

相对风险的研究

各种工业废物的处置，使海洋环境中出现了许多化学物质，其中的一些已被确认为人类的致癌物。对于人类受到的来自各种海洋源的电离辐射照射，我们已掌握了大量的知识；相反，对于海洋中非放射性化学物质对人类居住环境的影响，我们还知之不多。为了填补这个空白，在 IAEA 的支持下成立了一个专家组，以便将估计出的由放射性废物的海洋倾倒地所带来的风险，与其他有潜在危害的物质的应用、处置和扩散所带来的风险相比较。

1986 年，IAEA 提供了有关陆地处置方案和海洋倾倒地方案的比较方法和有关这些方案的费用和风险问题的导则。废物管理系统的最佳化，涉及到一系列参数的评议问题，而这些参数是和废物特征、场址环境、可利用资源，以及国家、社会和政治方面的种种因素有关的。目前，IAEA 正在以 LDC 的名义对已发表的某些研究成果进行评议，这些研究成果涉及到不同类型固态低放废物各种处置方案的环境和安全性方面的对比性评价。

* *Definition and Recommendations for the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and other Matter*. IAEA Safety Series No. 78 (1986 edition).

IAEA 在《伦敦倾废公约》 方面的责任

海洋是许多资源的源泉，是一个国际性的区域，海水的运动是不分国界的。这些事实意味着若要防止和减轻全球性的海洋污染，国际合作是至关重要的。1958年，联合国海洋法大会特别建议：“IAEA应当在控制放射性物质向海洋排放或释放方面，在颁布标准和起草国际上可接受的法规方面，从事各种有助于满足成员国需要的研究并采取必要的行动，以防放射性物质对海洋的污染达到危害人类及其海洋资源的程度”。

1972年斯德哥尔摩联合国人类环境大会之后，当《防止倾倒废物及其他物质污染海洋公约》（《伦敦倾废公约》）于1975年生效时，污染预防概念开始被采用。《伦敦倾废公约》委托 IAEA 具体负责规定那些高放废物不适宜海洋倾倒，和向国家主管部门就如何发放海洋倾倒低放废物特许证问题提出推荐意见。IAEA 被授权对这些规定和推荐意见经常进行复查，以限制倾倒作业的影响。

关于倾倒和排入海洋的放射性废物清单

LDC 已多次要求 IAEA 编制一份从一切来源进入海洋环境的放射性废物清单。迄今，已建立了一个临时的计算机数据库，库中存有日期、地点、深度、数量、重量、容器类型，以及已倾倒放射性核素的数量等信息。目前正在考虑把在受控和经批准的情况下从核设施排入海岸水域的液态废物的信息也包括在这份清单中。

编制这份清单的根本目的，在于建立一个能够提供比较准确的数据的资料库，供评价放射性废物海洋倾倒作业的影响时使用。这样一份清单还可用来限制不同国家在同一海洋盆地中处置各种废物的总量，使其不超过该盆地的推荐值。

海床处置

深海的海床是地球上最稳定的和可预测的地质建造之一，因此已被认为是潜在的可替代高放废物陆地深地质处置的一种解决办法。如果选择海床处置方案，就能够用穿透器或钻孔技术把桶装高放废物埋入沉积物中。废物包就位以后，可以把废物封闭 500 至

1000 年。沉积物的阻挡性质可使废物被封隔数万年之久。

1984 年，缔约国商定，LDC 协商会议是讨论高放废物海床处置的科学问题和法律问题的适宜场所。缔约国还商定，直到证明高放废物的海床处置在技术上和环境上是可接受的，包括确实证明这类废物能被有效地与人类和海洋环境隔离以前，不宜进行这种处置作业。

1988 年，NEA / OECD 的海床工作组得出结论，高放废物的海床下掩埋在技术上是可行的；但它补充说，在该方案被采用以前，还需进一步研究它的长期安全评价问题，以减少种种不确定性。

展望未来

根据自愿暂停决定，自 1982 年以来，一直未进行过倾倒作业。不过，在 LDC 缔约国作出最后决定以前，这种处置方案仍然是一种可考虑的方案，而且在原则上被认为是一种可替代陆地处置方案的概念。

通过 NEA / OECD 海床工作组的工作以及协调研究和环境监测计划的实施，继续在东北大西洋和西北太平洋的许多海域，积累了对放射性核素的输运和弥散有影响的地球化学、物理海洋学和深海海洋生物学过程方面的科学数据。这些数据，加上放射性核素向海洋有机体和人类输运过程的数学模型方面的研究活动，使人们能够更好地评价已倒入海洋的放射性核素的影响。1990 年，NEA 辐射防护和公共卫生委员会，将对东北大西洋 NEA 处置桶装低放废物的倾倒点的适宜性进行复查。* 其目的是要确保新的科学数据不致同以往对该倾倒点的评价结论相抵触。

1988 年，一个 IAEA / NEA 专家组，就哪些类型的辐射源和实践因其辐射危害轻微而可免除规章判别的标准问题，达成一致意见。现在必须明确地将这些标准用于海洋环境的废物处置，以便制订一些条例和实施细则，用于判别哪些类型的低放废物就海洋处置而言可被视为非放射性的。

目前正在进行的关于考察海洋倾倒风险的研究，和把这些风险同陆地处置风险及其他类型有害废物海洋处置风险进行比较的研究，可以对海洋倾倒的实际影响作出更中肯的评价。

* 按照 1977 年 OECD 多边协商和监视机构的要求，此种复查每 5 年进行一次。