深海处置：

控制污染的科学基础

国际原子能机构和核能机构关于技术工作的情况报告

Amelia Hagen 和 B. Ruegger

在放射性废物海洋处置方面，国际原子能机构（IAEA）和经济合作与发展组织核能机构（OECD/NEA）都起了重要的作用。

根据1972年防止海洋由于倾倒废物和其他物质而污染的公约（简称伦敦倾倒公约或 LDC），IAEA 对防止海洋污染负有特殊的责任。根据 NEA 多边协商和监督体制，NEA 负责监督在大西洋东北部的废物倾倒 *。

根据 LDC，IAEA 的责任是：

- 定义禁止倾倒的高放废物；
- 提出对倾倒其他放射性废物的建议。

IAEA 现已完成定义和建议的修订本，这个修订本在1985年9月得到机构理事会批准。NEA 也完成了一次对倾倒场地的再审查（按照多边协商和监督体制，要求每5年重新审查一次），该次再审查发现，从放射学观点看，在今后5年内，按规定速率倾倒的情况下该场地仍然适用。

这两者的实践，都要求作大量科研工作，以保证它们的完成有一个合理的基础；但常常感到，还要进行一些补充的实践，而且为达到补充实践目标的资金也在不断增加。曾安排了一系列的科学会议，还曾请求科学小组（海洋污染科学问题专家联合小组 GESAMP），就计算高于禁止海洋倾倒的放射性核素浓度的适宜模型，向它提供意见 *。核能机构已于1981年4月制定了一项与最初4年海洋处置有关的协调研究和环境监督规划（CRESP）。

改进科学基础

- 改进模型。1978年，在定义和建议修订之后不久，为确保今后的修订有一个更合理的科学基础，原子能机构着手实施一项工作计划。这项工作最重要内容之一，是改进用于计算不适宜海洋倾倒的放射性核素浓度的模型。

海洋污染科学问题专家联合小组报告推荐的模型

近场：
- 简单的有限海洋扩散模型（附录Ⅳ）
- 针对有限源大小和净化作用做了修正的模型（附录Ⅶ）
- 近场大小超过其中以扩散为主的 KH/U 标度时的羽解（plume Solutions）（附录Ⅳ）

远场：
- 混合良好的箱式模型（对于留停时间长的污物）
- 附录Ⅵ和Ⅸ的一维净化模型
- 有净化作用的简单三维扩散模型（附录Ⅶ）
- 适中分辨能力箱式模型
- 二维或三维有限差模型。

Hagen 女士系国际原子能机构核燃料循环处的工作人员；Ruegger 先生系经济合作与发展组织核能机构（巴黎）人员。

* 在进一步研究期间，世界总计、现暂停放射性废物海洋倾倒，

* GESAMP 系国际海洋组织（IMO）、粮农组织（FAO）、联合国教科文组织（UNESCO）、世界气象组织（WMO）、世界卫生组织、联合国（UN）、联合国环境规划署（UNEP）和国际原子能机构（IAEA）在海洋污染科学方面的专家联合小组。

在原子能机构要求下，GESAMP 第11次会议同意成立一个“深海处置废物弥散的海洋学模型”工业组。GESAMP 曾推荐一些用于近场（倾倒地点附近的海区，那里的放射性核素浓度大大超过海洋平均值）和远场（海洋其余部分）模型*。（见附表）

在审议 NEA 的再审查报告时，机构使用了两个 GESAMP 模型：一个计算近场浓度（附录 Ⅷ），另一个计算远场浓度（附录 Ⅵ）**。一般公认，可能存在这样一些情况，即用附录-Ⅶ模型预测的水中核素浓度可能低于用附录-Ⅵ模型预测的水中核素浓度。因此人们决定，将用预测每种核素最高浓度的模型来计算核素释放速率的限值。

必须着重指出，机构使用的都是一般性模型。无论是所用的模型还是参数值，都不一定适用于一些特定的倾倒场地。

·沉积物/水/生物群浓集。所用的两种模型都要求一些涉及沉积物/水相互作用的参数。在一些较早期的模型中，地球化学过程未被充分描述，仅在计算时引用了大致近似的参数。对所选定的放射性核素在沉积物与水之间的分配系数值，或放射性核素在海岸沉积物和生物物质中的浓集因子，都几乎未给出说明文件。一份最近的原子能机构报告提供了一种依据稳定元素丰度计算浓集因子的方法，并为了随时可能根据现场数据选择海洋生物物质中放射性核素最恰当的浓集因子，校订了有关的文献***。（该报告的编写得到了 NEA 的支持，在重新审查场地适用性所用模型中采用的数据，本文后面有所描述）。

·环境评价。机构还发表了一个报告，以便对环境值评价的准备和计算工作提供补充指导，环境估价涉及到依据伦敦倾倒公约附件Ⅰ发放倾倒放射性废物的特别许可证问题****。该报告描述了由国家主管当局制订的评价工作内容，以帮助他们在决策过程中确定如何在环境、技术、社会和经济方面将海洋处置方案与其它处置方案相比较，以及建议的海洋处置方案的影响是否可接受。

争论要点

在原子能机构为修订 LDC 定义和建议而作准备期间，提出的几个争论要点如下：

·剂量限值。关于在推导定量定义时应该采用的剂量限值究竟是5毫希沃特/年，还是1毫希沃特/年，进行过许多讨论。此外，对于该定义是否应当以这种实践的剂量上限为基础(即一些低于1或5毫希沃特/年的值）来实施，也进行过许多讨论。一致的意见是，上限概念属于建议性质，因为该定义给出的是一个超过它废物就不允许倾倒的水平，并没有涉及什么废物可以倾倒。（选择1毫希沃特/年为剂量限值，这是与国际放射防护委员会（ICRP）最近的建议一致的。）

·倾倒周期。为推导定量定义必须假定的倾倒周期也是一个引起争论的问题。分别针对40000年和1000年的倾倒周期进行了计算。采用40000年的周期是由于它是较早一些计算的基础*。选择1000年的周期，是因为它与假定的核电使用延续时间更一致——例如，联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）最近的报告已假定核电使用时间为500年。这样的时间也是足够长的，以致于即使按定义中给出的速率倾倒几百年也只会占到海洋吸收放射性物质容量的非常小的部分。所用的模型不适用于某些专家提出作为该定义基础的较短周期（100到300年）。

·释放速率和浓度。人们利用各种模型来计算与剂量限值相应的释放速率限值，然后假定总倾倒速率为10^8千克每年，再把释放速率限值换算成废物中放射性核素浓度的限值。在进行修订的整个准备过程中，人们对于释放速率限值和浓度限值是否应当包含在定义之内，有过争论。对如何包含释放速率限值提出过各种建议。由于按照释放速率限值进行讨论要比按照浓度限值进行论证困难得多，因此人们赞成定量定义应当以浓度限值为依据。这些浓度限值和总倾倒速率限值一起，限定某一单个海域内每年能够倾倒的放射性总量。

·平均质量。1978年给出的平均质量为1000吨。在讨论中有人提出一些比此值小的数值，其范围为从标准废物包装质量平均值到100吨。也有人提出更大的数值，从海洋倾倒废物的一次标准交运规模（几千吨）到100000吨。补充一条定性定义——禁止处置通常认为的高放废物(乏燃料和后处理-循环废物)——后达成的一致意见是，没有任何基本的理由去改变1000吨

* *An Oceanographic Model for the Dispersion of Wastes Disposed of in the Deep Sea.* IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution - GESAMP, Reports and Studies No. 19, IAEA (1983).

** *The Oceanographic and Radiological Basis for the Definition of High-Level Wastes Unsuitable for Dumping at Sea,* IAEA Safety Series No. 66 (1984).

*** See *Sediment K_ds and Concentration Factors for Radionuclides in the Marine Environment,* IAEA Technical Reports Series No. 247 (1985).

**** *Environmental Assessment Methodologies for Sea Dumping of Radioactive Wastes,* IAEA Safety Series No. 65 (1984).

* INFCIRC/205/Add.1/Rev.1 (1978).

的平均质量。

·源的上限。人们就建议中应该使用的剂量上限水平，提出过各种各样的意见*。没有选择剂量上限特定值，其主要原因是，国际上还没有任何讨论或协议涉及到，在为任何使世界居民受到照射的源确定上限时，应该使用的原则。应该加以考虑的源的类型有来自研究机构和核燃料循环设施的常规排出物。尤其是向海洋和大气排放的全球弥散性长寿命放射性核素，例如碳-14和碘-129。人们认为，一般应在着手为海洋倾倒制订全球性上限之前，就将用于确定和应用全球上限的原则，取得一致意见。

协调研究和环境监督规划及核能机构的考察

最近核能机构的场地适用性的审查工作，是从协调研究和环境监督规划（CRESP）延伸出来的。这项工作在参与国和国际原子能机构代表组成的执行小组指导下，于1981年开始进行。再审查工作涉及5个领域：模型发展、物理海洋学、地球化学、生物学和放射性监督。

·模型发展。模型任务小组按其目的必须为计算倾倒场地的放射性弥散发展场地专用模型。在协调研究和环境监督规划以内发展了若干模型，并考虑了应将模型用于放射性评价的方法（见模型结构附图）。该小组的工作，尤其是关于沉积过程的工作，受到了海洋污染科学问题专家联合小组报告的影响。为了将两个箱式模型与海洋污染科学问题专家联合小组报告提出的“海洋盆地”简单模型进行比较，进行了基准计算。计算表明，设有一个模型在全部时间内对所有放射性核素都始终如一地给出较高值或较低值。

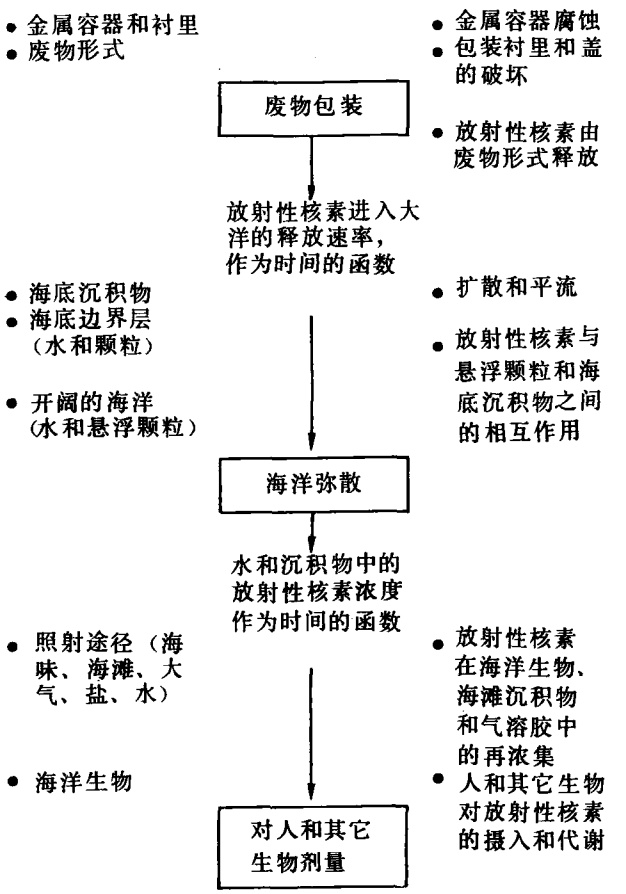
·物理海洋学与地球化学。物理海洋学和地球化学两个任务小组因互为补充已被合并起来，核能机构已出版了大量新著作**。现时测量结果是在倾倒场地内和大西洋东部取得的，并已开始进行一项深海随遇漂浮浮筒实验，为了测量天然和人工示踪物浓度及海洋底雾状层颗粒浓度，已搜集了水样。为了研究沉积物组成，颗粒-水的相互作用和生物扰动过程，已采集了沉积物芯样。

·生物学。生物学任务小组的主要目的是鉴定放射性核素返回人体及海洋生物体的生物学途径。查明了场地深海生物学的许多情况。这些情况表明，那里的生物与北大西洋其他部分不一样。模拟（非放射性的）金属筒移殖现象的实验研究，以及对调查船回收的金属筒的检查，至今均没有表明有任何的放射性迹象。该小组还研究了放射性沿理论食物链进行转移的可能性（见下页的图）。

·放射学监督。放射学监督任务小组搜集了指示剂物质，尤其是沉积物和生物群体。参与了低放样品分析实验室间的比对工作；为沿海渔场提供了捕捞统计数字；并且研究了黑安哥拉带鱼渔场（捕捞深度达1500米）。

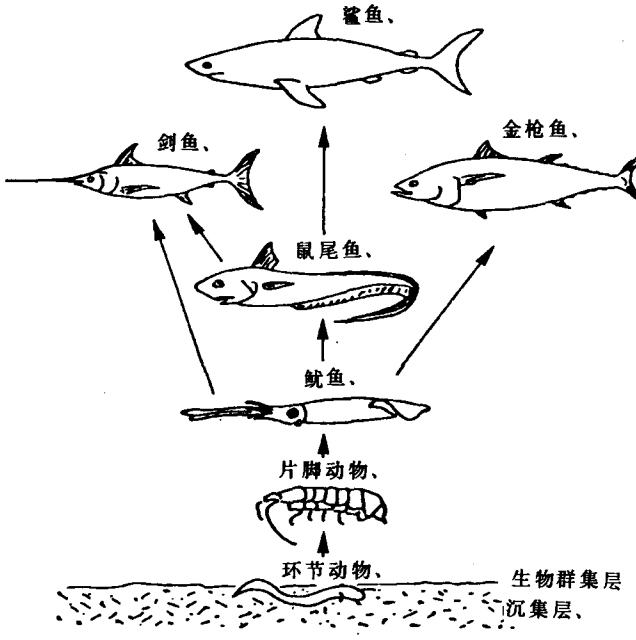
·场地适用性审查。通过协调研究规划完成的工作，大大地改善了数据库，更好地了解深海动力学和输运，以及得到了更全面的、专用的人和生物群剂量计算模型。这项工作构成了场地适用性审查的科学基础。本次审查的结论是，从辐射防护观点看，按不超过1978-82年平均速率10倍的速率，现在的场地在今后5年仍适合继续倾倒放射性物质。

放射学评价的模型结构图



* 建议的最低值是0.01 m Sva^{-1}，最高值是0.5 m Sva^{-1}。这方面的范围也许不是这样大，因为有些剂量水平是按照世界范围实际倾倒的限值而建立的，而其他一些指的则是在单个场地或单个海洋盆地的倾倒。

** *Interim Oceanographic Description of the Northeast Atlantic Site for the Disposal of Low-Level Radioactive Waste*, Vol. 2, OECD/NEA (1985), and *Review of the Continued Suitability of the Dumping Site for Radioactive Waste in the Northeast Atlantic*, OECD/NEA (1985).



小组为研究放射性转移的可能性而考察的理论食物链

国际规定及其作用

1972年伦敦废物倾倒公约（ LDC ）规定了关于海洋处置各种污染物（化学的和放射性的）的严格条例和禁止倾倒包括高放废物在内的一系列污染物。其他物质的倾倒是允许的，但须持有国家主管当局预先发给的特别许可证或一般许可证，并必须遵守 LDC 的条款。倾倒未被禁止的放射性废物，需要特别许可证。

颁发许可证时，当局必须听取原子能机构的建议，LDC 授权原子能机构对认为不适合于海洋倾倒的高放废物作出规定，并且对可能发生的其它放射性废物的倾倒条件提出建议。（这种规定和建议是1947年制订的，并定期进行了修订，1985年 9 月原子能机构理事会通过了最新的修订文本。）

该建议规定了在倾倒前作出详细的生态学及环境方面的评价，还陈述了对于倾倒地点选择、废物的调整和包装以及船运本身的要求。还规定了由船上的随行官员对这些作业进行监督。

为了推进 LDC 目标，但又独立于 LDC ，经济合作与发展组织（ OECD ）于1977年建立了放射性废物海洋倾倒协商和监视机构。该机构的任务是：（1）在有关海洋倾倒工作的科学、技术、环境和作业方面确定标准、准则和建议。（2）就国家当局对某次倾倒工作提出的具体条件，要事先在参与国之间进行磋商，以查明该次倾倒是否遵守已经建立的规定。（3）要对倾倒工作进行国际监督，由核能机构（ NEA ）特别指定的代表和国家随行官员合作履行其职责。（4）对执行各项作业的细节进行国际检查和提出适当改进。

最近几年，一些 LDC 缔约国通过了一些非约束性决议，要求在进一步进行科学研究期间，暂停放射性废物的海洋倾倒。

——材料引自《 NEA *Newsletter* 》（1985 · 秋）