

## 摩纳哥报道:

# 废物管理和海洋

## 国际原子能机构国际海洋放射性实验室的环境研究和发展工作

R. Fukai

海洋约占地球表面的70%，由此人们认为，保护海洋对人类生存具有极其重要的意义。与此同时，海洋也被认为是很多人为产物的最终一个“渗坑”。这些人为产物包括直接倾入海洋、释放于陆地或进入大气的人工放射性核素。

当要进行与海洋有关的废物处置工作时，极为重要的是，应获得关于放射性核素在海洋环境中复杂行为和最终结果的资料，以便预测和评价放射性核素对人类的影响。由于绝大部分海洋属于国际性的，因此在这方面的国际性合作是必不可少的。

### 环境监测方法

就任何一项科学研究计划的实施来说，最基本的要求是要有一些可用来进行实现计划目标所需的那些必要测量的适当方法。这对某些长寿命放射性核素的环境监测尤其重要。例如只是在 $\alpha$ 能谱法用于环境样品中钚同位素测量以后，人们才真正认识到钚的各种同位素在与海洋废物处置有关的辐射防护方面有极其重要的意义。

很多放射性核素在海洋环境中的行为仅根据实验室中获得的实验结果是很难预测的，因为控制它们的行为的那些过程太复杂，不可能在实验室进行模拟。进行这种预测最好途径是分析环境样品，并根据分析结果建立适当的模型。由于样品中人工放射性核素的浓度一般较低（除某些特殊区域外），因而必须发展一些足够灵敏的方法。

10多年来，摩纳哥实验室一直在发展一些用于测量以低含量存在于环境样品中的超铀元素和其他长寿命核素的分析方法。例如，70年代后期，摩纳哥实验

室曾发展了一种用于海水、海洋沉积物和生物物质中镅-241的低含量测量方法。这种方法已用于取自太平洋、地中海、波罗的海、北冰洋等样品的分析。根据这些测量结果，该实验室工作人员便可预测这种同位素在不同海域中的行为。

至今，摩纳哥实验室仍是能对环境样品中低含量镅-241进行可靠测量的少数几个实验室之一。在这项工作的基础上，该实验室还发展了一种测定钚-241的方法。实践证明，这种方法可用来确定某些地区海洋环境中的钚同位素来源。

近年来，摩纳哥实验室已从事于发展其他低含量长寿命放射性核素的测量方法，包括镅-99（半衰期为 $2.1 \times 10^5$ 年）以及镭-237（半衰期为 $2.14 \times 10^6$ 年）。尽管这些放射性核素自50年代起一直存在于海洋环境中，但以前由于没有相应的测量方法，它们的存在和行为并没有引起重视。

至于镅-99，它的测量方法已应用于不同海洋水域的环境样品。结果表明，放射性核素镅-99明显地浓集于棕色海藻中，而且英国的塞拉菲尔德工厂排放的放射性物质已影响到5000公里以外的挪威海岸或格陵兰地区。

此外，摩纳哥实验室还发展了一种用来测量天然放射性核素，尤其是镭同位素的顺序逼近法。测量结果表明，这种方法有利于对溶解和颗粒形成等地球化学过程的理解。

未来计划规定发展用于测定来源于核设施退役操作的镭-63（半衰期为100年）和来源于废物后处理的碘-129（半衰期为 $1.51 \times 10^7$ 年）等长寿命放射性核素的方法。

### 保证测量的准确性

在与设在奥地利的机构的塞伯斯多夫实验室紧密合作下，摩纳哥实验室1968来一直从事一项确保成

Fukai 先生是摩纳哥王国海洋博物馆中国际原子能机构海洋放射性实验室的负责人。



在船上准备往下放置沉积物收集器。

员国国家实验室环境测量结果质量的计划。由于绝大部分海洋是国际性的，因而保证海洋环境样品测量的准确性在科学上和政治上都有重要意义。

这项计划包括两个方面：(1)方法比对工作的组织、评价及报道；(2)分发标准参考物质。在实践中，这两个方面是紧密相关的：制备大量放射性核素浓度未知的均匀海洋环境物质，首先分配给那些有兴趣参加比对工作的实验室。然后，对这些实验室提出的特定放射性核素测量结果进行统计分析，并计算出放射性核素最可几浓度。这些数值被认为代表样品所含放射性核素真实浓度的最佳估计值。这种样品的剩余部分可作为标准参考物质，其中若干种放射性核素的最可几浓度是已知的。

这项计划是摩纳哥实验室对各成员国有关研究单位最直接的贡献。该计划实施以来，已分发了约20种标准参考物质，其基体包括海水、海洋沉积物及海洋生物样品。铯-238、铯-239、镭-241、钴-60、锶-90、钡-137及其他一些天然放射性核素都已有相应的标准参考物质。

#### 技术转让和人员培训

摩纳哥实验室另一直接贡献是在放射性核素测量和示踪剂实验方面，对发展中国家的科学工作者进行培训。在与机构的技术援助和合作处的合作下，该实

验室自1981年以来一直接受培训金，承担对成员国派来的人员进行在职培训的任务。每年平均接受两名学员，培训时间一般为一年。已接受培训的，有希腊、匈牙利、菲律宾、葡萄牙、西班牙、土耳其等国的学员。这些科学工作者通过与该实验室工作人员一起完成特定的课题，来掌握他们原来不熟悉的实验技术和分析方法。在很多情况下，该实验室工作人员还对学员的本国研究所进行咨询访问，以保证有关实验技术与分析方法在那里得到有效的应用。

#### 环境影响评价

为了解某些放射性核素在海洋水柱中不同水平上的行为和分布，研究的重点放在放射性核素的“垂直迁移通量”。这项研究的主要目的，是定量评价放射性核素和其他人为污染物通过水域上层产生的下沉生物体颗粒（如排泄物、蜕皮、遗骸等）的向下垂直通量。为了测定垂直通量，分析了放置在海洋不同深度处的沉积物捕集器中收集的物质。为预测下沉生物体颗粒对放射性核素清除作用，可将沉积物捕集器上收集的物质测定结果与水面上生物体颗粒源项测定的结果进行比较。

该项研究结果表明，垂直下沉生物体颗粒含有较高浓度的放射性核素，因此它们的垂直迁移有使各种放射性核素及其他污染物质，从海洋表面向海洋深处移动的作用\*。

#### 生物动力学和通过食物链的转移

摩纳哥实验室在利用放射性示踪剂测量各种类型海洋有机体（包括浮游植物、浮游动物和软体动物等）对放射性核素的摄取和排出方面已取得丰富的经验。最近，该实验室已把力量集中在长寿命超铀元素和其他核素的生物动力学和食物链转移的研究上面。在这些研究中应用的放射性示踪剂有钨-95、镎-235、钚-237、镅-241、镅-244及铯-252等。

这些研究的结果是重要的，它们有助于估计超铀元素和其他放射性核素在各种海洋有机体中的浓集因数，理解这些核素在特定食物链转移中的生物动力学。尤其是，放射性核素在各种海洋有机体中的浓集因数对评价释入海洋的任何放射性核素对人体的影响是必不可少的。鉴于这一重要性，国际原子能机构的核燃

\* 在这项计划实施过程中，摩纳哥实验室还以提供专门知识的方式参与了一些国家计划（例如美国的 VERTEX 计划和法国的 ECOMARGE 计划）。这种活动扩大了该实验室的事业范围，因为该实验室这样做便有机会将其建立的各种研究方法应用到太平洋和地中海中的不同水体中去。

料循环处和一个顾问小组已准备把现有的浓集因子数值汇编成册。该实验室也通过提供在工作中获得的放射性核素浓集因子数据，参与了这一工作。

除使用人工放射性核素进行实验研究外，还对天然放射性核素的分布和食物链转移进行了研究，这样做主要是因为海洋有机体的组织内发现了高浓度的钚-210。有了这方面的数据，便可对天然本底造成的照射剂量与释入海洋环境的人工放射性核素进行比较。

### 比较研究

比较从各地区收集的各种样品的放射性核素测量结果，可以推断释入不同海洋水域的某些放射性核素的特定行为。已与加拿大、丹麦、德意志联邦共和国、芬兰、法国和瑞典等国的一些国家研究所密切合作进行了多项比较研究。它们涉及北大西洋、北冰洋、波罗的海、北海和地中海的一些海域。

此外，从各地区广泛收集了海水、沉积物和海洋生物样品，并测量了它们的铯-90、锝-99、铯-134、铯-137、钷-238、钷-239、钷-240和镭-241的含量。

从这些测量结果可以看到几个有趣的现象。例如，尽管释入地中海和波罗的海的钷-239和钷-240的数量是相同的，但地中海钷的表面浓度比波罗的海的约高5倍。释入地中海的钷有60—80%仍保留在水柱中，而在波罗的海中，99%的钷已进入沉积物中。这种明显的差别可解释为两个海洋的平均深度不同。（这些研究还表明，对于水载放射性核素迁移的研究来说，锝-99是一种极好的示踪剂。）

### 沉积物中的放射性核素

很多释入海洋环境的放射性核素，已经与陆生颗粒和生物体颗粒联系在一起。由于这些颗粒受重力场作用而下沉，这些放射性核素也随着下移，迟早到达海底。假如这些颗粒沉入海底后不再移动，那么这将是这些同位素废物处置的一种理想的办法。然而在各种因素（例如放射性核素的化学特性、沉积物的性质、水的运动和海底动物区系等）影响下，这些放射性核素可能重新移动和重新进入地球化学和生物化学的过程，这种过程发生在沉积物中和水与海床界面处。这次研究的目的是要系统地了解这些过程。

迄今为止，已针对不同类型的海洋沉积物，研究了各种放射性核素的地球化学分配过程。同时，已在一系列实验室实验中，测定了沉积物-动物的转移因子。另外也着手进行一些单项的研究，它们涉及生物扰动对某些天然放射性核素在海洋沉积物中的分布以及间隙水中钴-60和镍-63金属放射性核素等的化学状态。由于涉及的过程性质复杂，所以实验室实验中获



从格陵兰的图勒海岸水域收集海藻。

得的结果只能在有限程度上反映原地发生的过程。由此要使研究工作切题而实用，应该针对该领域各种研究项目的正确选定，继续提供指导。

### 海洋放射性核素存留量

目前摩纳哥实验室也在进行有关进入海洋环境放射性核素的评价和数据汇编工作\*。这项任务包括计算放射性核素进入海洋环境的输入通量和离开这个环境的输出通量，以及由环境测量数据推断出海洋中放射性核素的存留量。在接着研究的工作中，应确定这些存留量是否与计算得到的通量一致，并且确定相应的误差。

首先，摩纳哥实验室将根据顾问小组的建议调查下列放射性核素：碳-14、铯-134、铯-135和铯-137；铀-238衰变系中的放射性核素，尤其是钚-210、铅-210和镭-226；以及钷同位素。

\* 这项工作是以实验室的科学评论委员会1984年3月所提建议为基础的。1985年7月一个顾问小组复审了这项建议，它的结论是，这项任务有利于国际原子能机构和其他科学团体，而且有助于联合国原子辐射效应科学委员会今后将做的一项评论工作。

### 协调研究计划

1986—1988年间，摩纳哥实验室将组织一个有关海洋水域中放射性核素释放监测方法和战略的协调研究计划，其重点是生物指示剂的使用。发展中国家的若干研究所也将参与这项计划。通过这个协调研究计划，可获得、收集和出版评价放射性核素释入海洋环境造成的环境影响所需的科学数据\*。

### 其他国际合作

除与机构的废物管理计划直接有关的科学活动

外，摩纳哥实验室在海洋环境污染监测和研究方面还与其他国际组织进行合作。这些组织包括联合国粮农组织（FAO）、联合国环境规划署（UNEP）和联合国教科文组织的国际海洋学委员会（IOC/UNESCO）。

尤其是，摩纳哥实验室很长时间以来一直通过提供科学和技术专门知识来支持联合国环境规划署有关海洋和沿海地区的计划。援助的内容包括：发展和检验有关污染物的测量方法，并出版这方面的导则和参考资料；协助进行污染物测量；组织对比工作和培训科学工作人员。工作的范围包括地中海地区、科威特、西非、中非和东非。摩纳哥实验室在海洋放射性研究方面所做的类似工作中取得了这项援助所需的专门知识。

\* 由摩纳哥实验室组织的其他协调研究计划有“超铀元素在海洋环境中的循环行为”（1978—1981年）和“与放射性废物深海处置有关的长寿命放射性核素的行为”（1981—1984年）。同时，也参加了由机构的其他处组织的两项协调研究计划：“波罗的海水域放射性物质的研究”和“沉积物在水域放射性核素迁移和积累中的作用”。

### 摩纳哥实验室

国际原子能机构承担为各种能够保护人类环境的国际上可以接受的废物管理实践，建立导则和做出推荐的义务。考虑到这一任务，机构根据与摩纳哥政府和摩纳哥海洋学研究所的三方协议，于1961年在摩纳哥建立了国际海洋放射性实验室。自那以后，曾几次修改协议，以使该实验室能够继续实施它的计划。国际原子能机构和摩纳哥政府可望在最近的将来，签订一个为双方在这方面的合作奠定更加坚实基础的新协议。

实验室的科研计划，定期由海洋放射性研究方面有资格的高级专家组成的一个小组审查。计划的修改就是基于他们的建议。最新的专家组在1984年3月举行了会议。

实验室的工作继续集中在与海洋环境放射性废物处置的辐射防护方面密切相关的研究课题。与机构总的废物管理计划相关的那些科研计划部分，包括为海洋放射性监测和研究工作提供技术援助的活动，以及

为评价放射性核素释入海洋的环境影响而收集资料的活动。

实验室所在地：摩纳哥海洋博物馆。

