

# 海洋科学家调查北极海洋： 将放射学资料形成文件

IAEA-MEL正在帮助评估喀拉海和巴伦支海的放射学情况

1992年之前，国际社会对于在北极海洋进行的废物倾倒入海的放射性水平所知不多。但近三年来，主要由于俄罗斯、挪威和国际原子能机构(IAEA)设在摩纳哥的海洋环境实验室(IAEA-MEL)三方科学家的共同努力，这种情况有了改变。

1992年，IAEA-MEL应俄罗斯和挪威两国政府的邀请，决定参加对喀拉海的调查巡航和协助实施与在喀拉海和巴伦支海处置放射性废物有关的评估计划。后来在国际北极海洋评估项目(IASAP)范围内组织的这一IAEA-MEL计划，包括下述内容：

- 1992—1994年间，参加由俄罗斯—挪威联合专家组和由俄罗斯科学院组织的四次赴喀拉海的考察活动；

- 协助进行喀拉海放射性核素浓度的现场及实验室辐射测量；

- 组织各参加实验室间的分析质量保证比对活动；

- 给IASAP项目提供建立中心数据库的设备条件，该数据库收集与北极海洋过去和现在的放射性浓度有关的一切已知数据；以及

- 促进按当地、区域和全球三种尺度建立已倾倒入海所释放放射性核素的潜在分散的计算机模型这一国际计划，并促进对相关放射学影响进行评估。

Baxter先生是IAEA设在摩纳哥的海洋环境实验室主任，Povinec先生是辐射测量科科长，Osvath女士是物理学家。

## 赴喀拉海考察

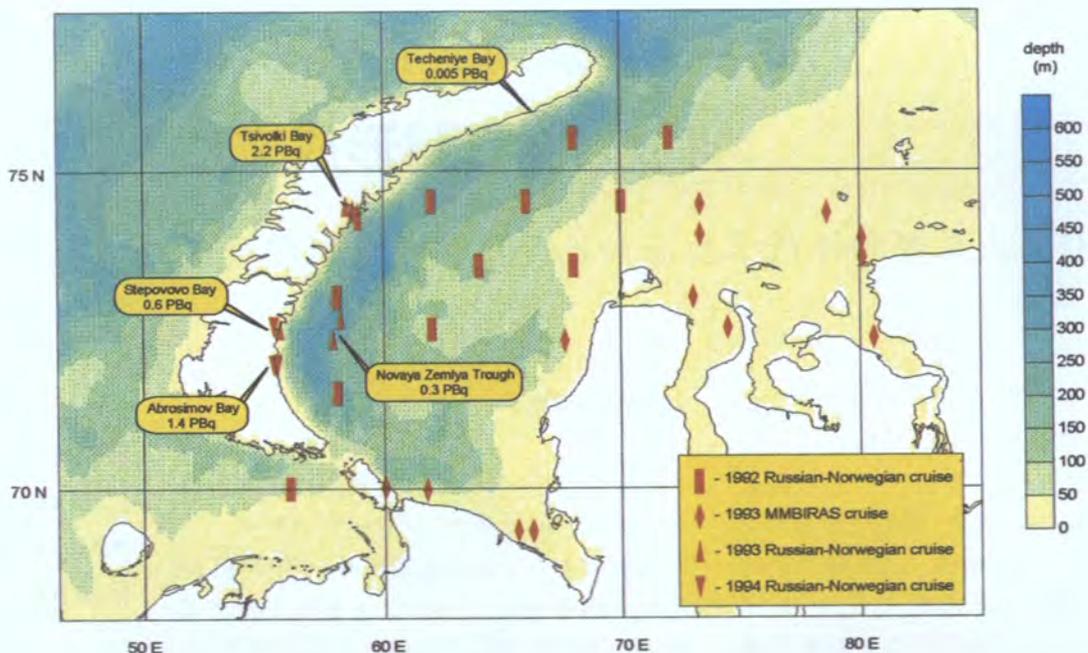
在1992年之前公开发表的描述喀拉海放射性水平的文献中，只有极少的数据。原有的数据主要是美国和俄罗斯60年代和80年代的调查结果。1992年，在宣布了过去曾在新地岛外的浅水区倾倒入海放射性废物之后，俄罗斯和挪威政府组织了赴巴伦支海和喀拉海的第一次联合考察，这样的考察共三次，IAEA应邀参加了这三次考察。(见下页地图。)

第一次巡航考察的任务是调查喀拉海公海海洋环境的放射性污染情况，目的是查明和量化当地污染源造成的污染。1993年，有关废物倾倒入海的官方资料发表后，俄罗斯和挪威以此为基础制订了1993年和1994年的联合考察计划。这两次考察的任务是在齐沃利基湾、斯捷波沃伊湾和阿布罗西莫夫湾以及新地岛海沟中的倾倒入海点，以便确定其位置和查明已倾倒入海的物体、描述其状态以及测量其所在环境的放射性水平。使用拖曳式声纳系统、水下摄谱仪和远距离操纵的运载工具检查了这些倾倒入海点。

在三个海湾进行的搜索活动是成功的。取得了有关下列诸项的详尽资料：已倾倒入海的装有固体废物的反应堆舱、货船及油船；斯捷波沃伊湾的液态金属冷却潜水艇；以及大量固体废物罐。这三次巡航考察都在现场和船上进行了辐射测量分析，并带回了若干套供评估废物倾倒入海的环境和健康影响用的环境样品和数据。

Pavel  
Povinec,  
Iolanda Osvath  
和 Murdoch  
Baxter

1992—1994年在喀拉海巡航考察期间取过样的点及各处置点的放射性核素总量估计值



注：放射性核素总量是指1994年的估计值，并只与在主要倾倒点处置的船用反应堆有关。数据来源于IASAP工作文件。

取样方案是为达到下述目的安排的：

- (1) 提供已倾倒废物是否泄漏的证据；
- (2) 评价这些污染源的分散情况并绘制放射性核素在海底沉积物中的分布图；
- (3) 估算各种因素在放射性核素总量中所占的份额；
- (4) 评估生物群的污染情况、放射性核素的转移情况和处置点特有的浓集因子；以及
- (5) 调查放射性水平随时间的变化规律。

采集了海水及海底沉积物剖面样品、海洋生物群样品，并在1994年巡航考察中采集了各海湾沿岸的土壤、淡水和植被样品，以便更加详细地进行放射性核素分析。分析工作主要是在俄罗斯和挪威的实验室及IAEA-MEL中完成的。为了保证分析数据的质量，IAEA-MEL组织参与上述分析工作的实验室进行了若干次有关沉积物、水和海藻中放射性核素分析结果的比对活动。

喀拉海中人工放射性核素总量的一个重要来源是鄂毕河和叶尼塞河流域的一些陆基源。因此，IAEA-MEL还参加了1993年由俄罗斯科学院组织的调查喀拉海南部

放射性的国际考察(MMBIRAS考察计划)。

IAEA-MEL正在分析这四次考察带回的大约300个样品。利用从喀拉海带回的材料进行的有关放射性核素在北极特定环境下的生物动力学及其与沉积物相互作用方面的实验室实验也已开始。

### 辐射测量调查

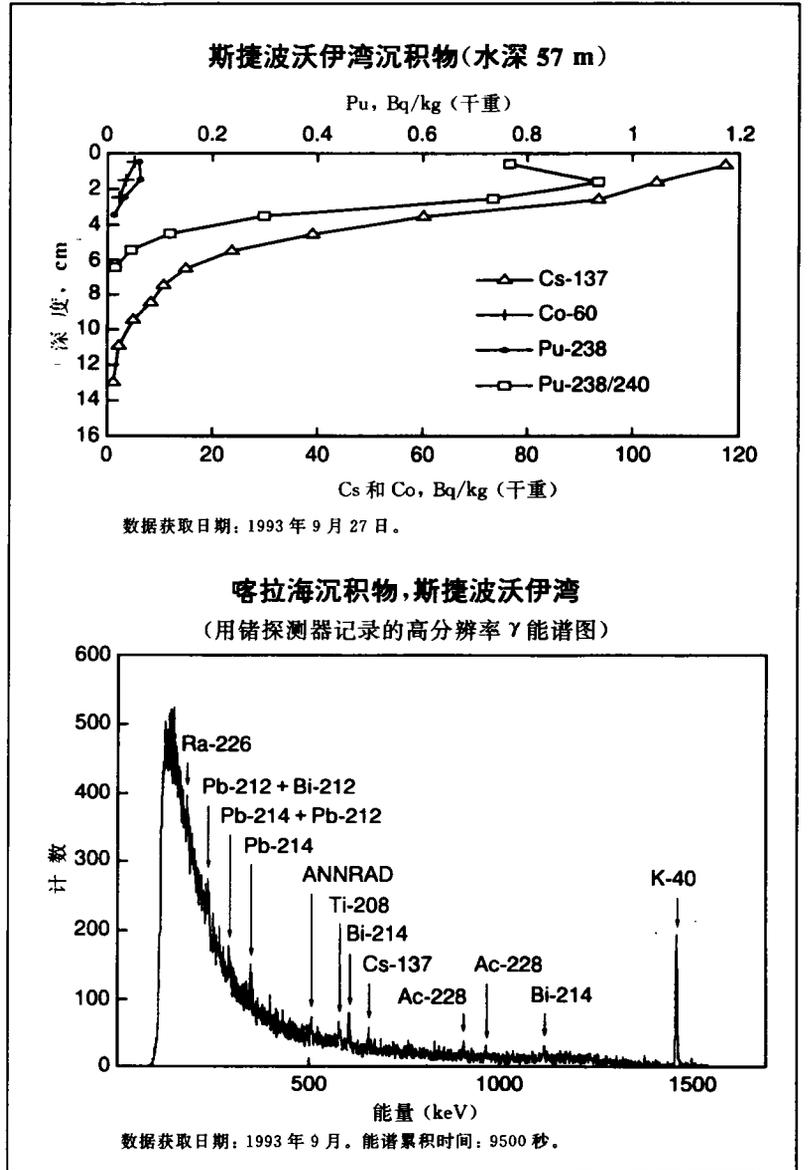
对考察喀拉海期间采集的样品进行的放射性核素分析的结果清楚地表明，已处置放射性废物迄今尚未发生重大泄漏。能证实这一结论的最具有说服力的依据，或许是IAEA-MEL对斯捷波沃伊湾倾倒点表面沉积物所做的 $\gamma$ 辐射调查。利用IAEA-MEL新型水下巡测系统(使用带冷却的HP锗探测器)测得的 $\gamma$ 能谱，是迄今在现场记录的第一批高分辨率海洋 $\gamma$ 能谱之一。这一系统于1993年夏季在塞拉菲尔德核设施附近的爱尔兰海成功地进行了首次试用。

一眼便能看出该能谱以天然存在的(本底)放射性核素(即K-40及铀和钍衰变系)

γ 谱线为主。唯一可辨认出的人工放射性核素为 Cs-137,但其浓度也远低于天然放射性核素的浓度。尽管附近有已倾倒入核反应堆和过去的很多核武器试验场,但是人工放射性核素的浓度仍比较低,低于地球上其他的许多海域。(见右图。)

在实验室中对喀拉海沉积物进行的辐射分析也已清楚地表明,目前喀拉海沉积物中的人工放射性较低。这些放射性主要来自以下几个方面:核武器试验全球落下灰的直接沉积和汇流;西欧和前苏联后处理厂排放的废水;切尔诺贝利事故放射性落下灰;以及在新地岛进行的核试验产生的局部放射性落下灰。不过,在新地岛岸边的阿布罗西莫夫湾、斯捷波沃伊湾和齐沃利基湾中的一些大型倾倒入点,已发现有些地方的 Cs-137 和 Co-60 浓度已升高。(见右图。)这些结果表明,已倾倒入低放废物的泄漏已造成局部污染,但在倾倒入点外未探测到这种污染。

我们的研究以及俄罗斯和挪威同行所做的工作都表明,倾倒入喀拉海的反应堆舱和其他废物均未发生大的泄漏。喀拉海海水和沉积物中的放射性核素浓度过去普遍很低,现在仍然很低。因此,这些处置活动的主要遗留问题不是迄今已发生了什么,而是将来可能发生什么。主要科学难题是如何预测已倾倒入反应堆和其他核废物将来可能发生的泄漏的规模、核素组成、分散、转移以及放射学后果。



**放射性数据库**

IAEA-MEL 在 IASAP 框架内的另一项贡献是借助其全球海洋放射性数据库 (GLOMARD) 计划实现的。在收集和综合一切与海洋放射性 (即海水、沉积物和生物群中的放射性) 有关的数据方面,该实验室起中心实验室的作用。这一数据库保存的科学资源旨在为几项重要功能 (提供与放射性水平有关的近期的和最新的资料、生成关于给定时间和给定地点已进行活动的抽点打印件、调查随时间的变化、以及查明现有资料中的空白等) 提供服务。

该数据库与 IAEA-MEL 室内分析质量

管理数据库有联系。这使人们可以快速核对实验室分析结果。具体到北极海洋,该数据库将提供可供进行下述活动用的输入:评价该地区的环境放射性水平;及评估将给海洋生物群和当地的、区域的和全球居民带来的辐射剂量。该数据库在北极海洋评估计划中的一些应用是即时性的。它们包括估计核素比、调查随时间的变化趋势、计算放射性总量、估算剂量和验证模型。

**喀拉海辐射测量调查结果**

**建立计算机模型及放射学评估**

按照当地、区域和全球三种地理尺度开



IAEA-MEL 的科学家已经参加了 4 次巡航考察，调查喀拉海中的放射学情况。考察有时是在恶劣的海洋条件下进行的。这些科学家除了采集新地岛上的土壤样品外，还采集喀拉海水体中的生物群样品和其他样品。(来源：I. Osvath, IAEA-MEL)

始建立分散和放射学模型的工作已开始。正在进行的这项工作的目的,是要预测对居住在这些处置点附近的居民、乃至整个世界可能造成的后果。为了在全球范围内模拟放射性污染物的分散情况,IAEA-MEL 已开发了若干个分模型并已实际使用。

这一等级的模型尤其适合长期(大于100年)评估使用,且在此之前已用于其他计划(如核能机构的 CRESP 计划和欧洲委员会的 MARINA 计划)。这类模型所得出的结果的准确度,与放射学评估所要求的详尽程度也非常相配。

本文报道的工作基于其结构已针对北极地区增强的、含有16个逻辑单元的 ARCTIC-2 模型。该模型能令人满意地准确预测塞拉菲尔德的 Cs-137 在北方海域的分散情况。

全球居民将接受的剂量(释放后300年内的待积有效集体剂量)和假设的关键人群将接受的最大个人剂量率,是依据摄取海洋鱼类的途径计算的。该模型海洋学部分的输出是放射性核素浓度数据。其放射学部分利用 IAEA 推荐的浓集因子,把海水中放射性核素的浓度换算成鱼类中的相应浓度。捕捞量则根据联合国粮农组织和 ICES 的水产统计数据导出。假定总捕捞量的50%被人类正常消费(北极海洋例外,假设那里的这个值达到80%),则人类摄入的放射性核素量就可求得。认为捕捞量在所关心的时期内保持不变,而且不考虑捕捞与消费之间的时间滞后。利用载于国际放射防护委员会的 ICRP-60 的成人剂量换算因子最终完成向剂量的转换。

根据有关核废物(包括倾倒在北极海洋的反应堆)的现有资料,设想了一系列的源项情景。已完成的计算有20种长寿命放射性核素在倾倒时和倾倒后500年的情况。

就处置于喀拉海的含乏燃料的船用反应堆在倾倒后20年内逐渐释放的 Cs-137 而言,该模型预测按整个西喀拉海底部水体平均的最高浓度约为  $10 \text{ Bq/m}^3$ 。这一数值低于海水天然放射性的1%。空间分辨率增强的当地模型和区域模型将用于定位和定

量较小范围的最大值。

根据现有的资料简单地评价了在最坏情景下可能造成的放射学影响。以已倾倒入喀拉海的反应堆中的放射性存量的最大估计值为基础,计算了剂量。结果表明,如果在倾倒时瞬时释放,则待积有效集体剂量将达到约  $10 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ 。这一剂量的70%以上是 Cs-137 引起的,其余部分大多由活化产物(Co-60 和 C-14)引起。这些计算值以假设喀拉海的捕鱼量约为20000吨/年为基础。

不过,核素瞬时释放的假设是极不现实的。对于大部分放射性来说,其释放机理一般是先腐蚀后释放,而前者要长达数百年甚至数千年。尤其是,Co-60 能够在该核素这么短的平均寿命(约7.6年)内从钢材和其他结构部件中分离出的量是微乎其微的。因此,从反应堆衍生放射性核素的快速释放的角度看,Cs-137 确实是直接处置区以外区域所接受剂量的主要提供者。至于放射性核素的滞后释放,例如,包容500年之后的释放,由食用鱼类引起的剂量负担的99%将由 C-14 造成。

为了在区域范围内评估这种影响,正在使用汉堡大学开发的三维循环和分散模型。为检验模型预测值而进行的初步计算表明,若每年在阿布罗西莫夫湾连续释放1TBq 的 Cs-137,则该海湾入口处的 Cs-137 平均浓度可达到  $2 \text{ kBq/m}^3$ 。

#### 将放射学资料形成文件

IAEA-MEL 为 IASAP 所做的辐射测量和初步的模拟计算,至今已产生重要的结果。这些结果表明,这些倾倒活动的放射学影响只在区域和当地范围内或许是有意义的。过去在北极海洋进行的废物倾倒活动的全球放射学影响,类似于(或小于)来自其他的人工和天然放射源的影响。

IAEA-MEL 的科学家们将继续积极从事与这一重要的国际项目有关的多项工作,以调查过去在北极海洋进行的放射性废物倾倒活动的健康和环境影响,并将其结果形成文件。 □