

# 波罗的海不断变化的水体

## IAEA 项目帮助评估该海的海洋环境

IOLANDA OSVATH, MASSOUD SAMIEI, L. VALKUNAS 和 JOZEF ZLATNANSKY

在 IAEA 的各种计划中, 环境保护的重要性日益增加, 尤其是在欧洲地区。该地区的许多国家正在忍受严重的环境退化带来的痛苦。着重于解决环境问题的 IAEA 技术合作项目几乎占到针对欧洲的总计划的 15%。

根据其成员国的要求, IAEA 参与了一些与欧洲几个地区的陆地、大气和海洋环境评估以及恢复和补救活动有关的重大项目。它们的重点是:

- 能力建设;
- 在与切尔诺贝利事故以及其它核设施风险相关的各种污染物中, 优先评估放射性核素可能造成的污染;
- 促进与国际环境项目的协调和参与这种项目。

波罗的海地区一直不是例外, 多年来一直受到

IAEA 的关注。与此同时, 波罗的海国家对波罗的海环境状况的了解和担忧也在不断增加。波罗的海环境状况, 在过去 30 年中已成为一个重大问题。

波罗的海是世界上最大的微咸(低盐)水体, 几乎为陆地环抱。它通过众多的河流, 接纳来自占欧洲总面积 1/5 的地区的水。波罗的海通过浅而狭窄的丹麦海峡与北海相连。它们之间的水交换很慢, 使得水在波罗的海的停留时间长达 25~40 年。这为污染物的积累提供了便利条件。

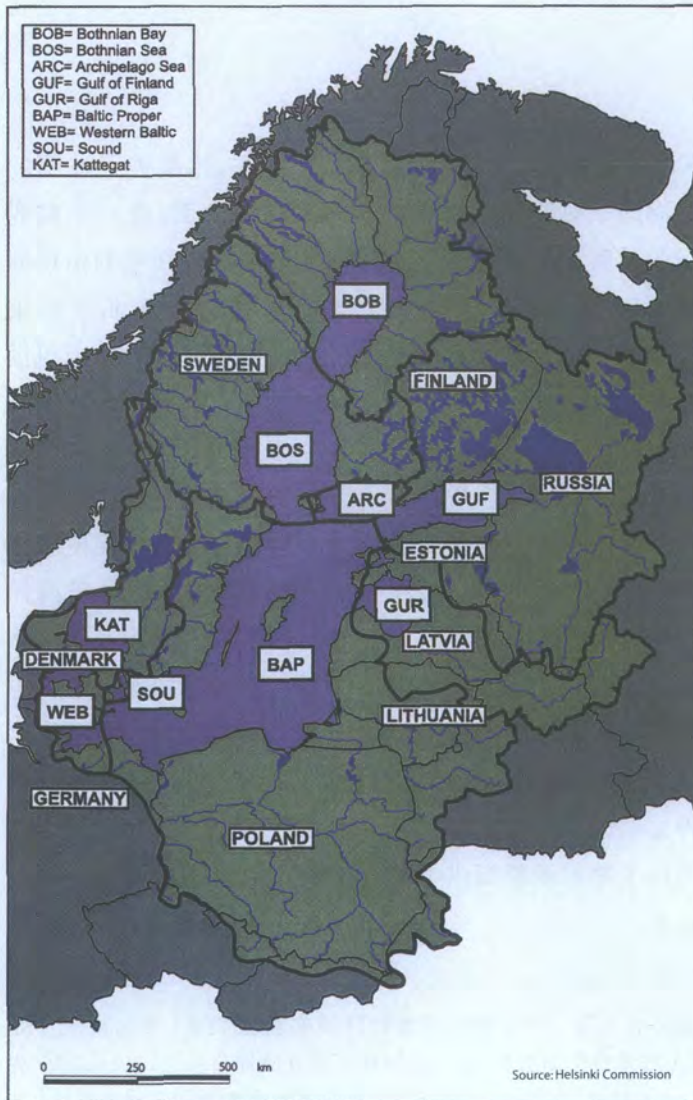
冬季, 冰覆盖了波罗的海大部分海面, 进一步减弱了本来就比较缓慢的由风驱动的水循环, 并降低了污染物分散的可能性。由于与世界海洋其它部分的水交换有限以及淡水大量流入, 使波罗的海一直保持着特定的水文条件。这种条件促使水体底部持续缺氧, 不利于海洋生物的生存。与较浅的水体以缓慢但持续的速度进行更新相反, 波罗的海最深的水体仅定期更新, 其变化频率取决于复杂的气象过程。20 世纪, 北海水约每隔 11 年大量流入波罗的海一次, 但

---

Osvath 女士是 IAEA 摩纳哥海洋环境实验室职员。Samiei 先生是 IAEA 技术合作司欧洲、拉丁美洲和西亚处欧洲科科长, Zlatnansky 先生是该科职员。Valkunas 先生是立陶宛维尔纽斯物理研究所所长。致谢: 本文部分信息取自赫尔辛基委员会出版物, 例如《波罗的海地区海洋环境保护公约》、《波罗的海联合环境行动综合计划》、《波罗的海污染负荷汇编》以及《波罗的海放射性报告, 1984~1991 年》(BSEP 61, 1995)。

## 波罗的海及其集水流域

波罗的海是一个半封闭式的浅海,面积为 415 000 km<sup>2</sup>,最大深度 460 m,其流域面积超过 170 万 km<sup>2</sup>。平均每年有 480 km<sup>3</sup> 淡水注入波罗的海,其中约 50% 的流入量来自 7 条最大河流:涅瓦河、维斯图拉河、道加瓦河、涅曼河、凯米河、奥德河和约塔河。



的深海生物或较高级生命形式的“死底”区域可能出现,有时可能覆盖海底总面积的 1/3。

人为影响加在这种自然脆弱性上,导致环境进一步改变和退化。有 1600 多万人生活在波罗的海沿岸,约 8000 万人生活在其集水流域。濒临波罗的海的国家有 9 个:丹麦、爱沙尼亚、芬兰、德国、拉脱维亚、立陶宛、波兰、俄罗斯和瑞典。不过,其集水流域还延伸到白俄罗斯、捷克共和国、挪威、斯洛伐克共和国和乌克兰的部分地区。工业和农业废物以及各个社区产生的经过很少甚至未经处理的废水通过其支流或直接被排放到波罗的海中,造成波罗的海许多区域的环境状况严重恶化。

船舶和船舶事故、与捕鱼和鱼类养殖相关的活动造成的污染,以及更重要的是通过大气输入的污染物,也进一步干扰了波罗的海的生态平衡。有害或有毒的持久性物质(例如多氯联苯(PCB)、二氯二苯三氯乙烷(DDT)、多环芳烃(PAH)、多氯化物、杀虫剂、水银)、营养素(造成富营养化的含磷和含氮化合物)、重金属、放射性核素以及碳氢化合物,已成为担忧的主要原因。

是这个周期在过去的几十年中已发生变化。在两次水体更新期间,波罗的海的近底水体可能发生缺氧现象,导致对有机体有害的硫化氢的形成。因此,不存在任何形式

到达波罗的海的污染物类型和数量以及受影响区域的范围随着时间而变化。但专家在 20 世纪 90 年代初就已经认识到,波罗的海的污染已对其生活资源造成威胁,并将最终威胁到依靠其资源生活的人群的健康和福利。

## 地区合作

仿效 1972 年的联合国人类环境会议,波罗的海沿岸各国政府于 1974 年签署了《波罗的海海洋环境保护公约》即《赫尔辛基公约》。该公约于 1980 年生效,指导机构是赫尔辛基委员会——波罗的海海洋环境保护委员会 (HELCOM)。其缔约方包括波罗的海沿岸 9 国和欧共体。

1990 年于罗纳比(瑞典)召开的波罗的海环境会议上,在总理一级通过了《波罗的海宣言》。它规定了确保波罗的海环境恢复并保持其生态平衡的长期目标。2 年后,波罗的海地区海洋环境保护外交会议通过了《波罗的海环境宣言》。该宣言赞同《波罗的海联合行动综合计划》的战略方案和原则。

包括 IAEA 在内的许多国际组织和金融机构应邀作

为观察员出席了 1992 年召开的这次重要的外交会议。本次会议还签署了新的《赫尔辛基公约》。该公约在经所有缔约方批准后于 2000 年初生效。该公约新增了以下内容:缔约方的内部水体和预防原则、最好的环境实践以及最好的可利用技术的概念。它表明了各缔约方确保波罗的海生态恢复的坚定决心,认识到有效地完成保护和改善波罗的海地区的海洋环境的任务不能仅靠国家的努力,而且靠密切的地区合作。

该公约为采取防止和消除污染的法律、行政及其它相关措施以恢复和促进波罗的海地区的生态平衡建立了框架。行动计划通过确定波罗的海集水流域内所有国家中的问题和需采取的优先行动,来处理这些问题。行动计划包括旨在促进波罗的海环境可持续利用的预防性行动和旨在恢复由点源和扩散源造成的环境退化的补救行动。该战略基于下述 5 点:制订适当的环境政策和法律;改革规章制度;采用经济刺激的方法,来鼓励使用环境友好的技术;加强机构能力和人力资源;以及增加当地为环境措施提供资金的能力。计划包括支持应用研究

以及环境宣传和教育等内容。

环境监测和评估在地区合作中起重要作用。它为 HELCOM 提供了可靠数据,使该委员会能够制订环境政策,并对减轻污染的措施的有效性进行评估。前不久已启动一个广泛的监测和评估计划。HELCOM 定期发表有关波罗的海海洋环境的综合报告和污染负荷汇编。《第 4 次有关波罗的海海洋环境状况的定期评估,1994~1998 年》已经定稿,将于近期发表。

在 2001 年 3 月的一次新闻发布会上,HELCOM 报告了其最近的研究成果。它说,研究虽然表明波罗的海国家所采取的海洋环境保护行动正在沿着正确方向前进,但是仍需继续并加大力度,而且要特别注意可持续的经济增长。

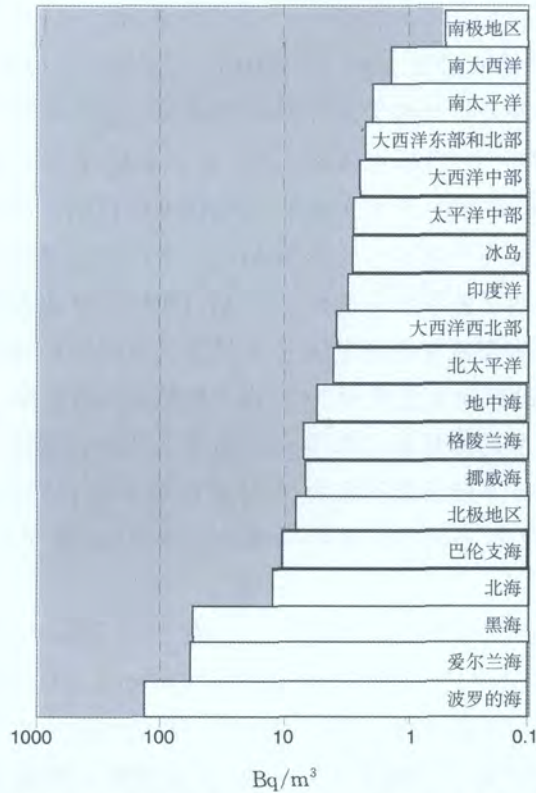
## 波罗的海放射性研究

波罗的海的人为放射性核素的主要来源是核武器试验所产生的全球落下灰、塞拉菲尔德后处理厂(联合王国)和阿格后处理厂(法国)的释放物以及 1986 年切尔诺贝利事故产生的落下灰。

比较而言,来自波罗的



表层海洋水中铯-137的平均浓度  
(对数尺度, 1990年)



来源:IAEA 有关“海洋环境中的放射性来源及其对来自海洋放射性的总剂量的相对贡献——MARDOS”的协调研究计划给出的估计值。IAEA-TECDOC-838(1995年)公布的结果。

海集水流域内的 9 座核电厂以及研究中心、医院和其它设施的污染物极少。位于西拉马耶 (Sillamäe) (爱沙尼亚) 的前海岸露天垃圾场是用于处置含有铀钍矿渣的场所, 后来被扩大成废物处置场。对它的评估表明, 其放射学影响可忽略不计。其它相对不重要或可能的释放源包括已公开报道的由瑞典 (IAEA - TECDOC - 1105,

1999年)和前苏联(《Yablokov 报告》, 1993年)以前进行的小规模倾倒活动, 以及帕尔迪斯基(爱沙尼亚)前苏联海军训练基地退役后经允许的液体排放。迄今为止, 波罗的海最重要的人为放射性核素污染源是 1986 年发生的切尔诺贝利事故。最显著的污染来自铯-137和铯-134。由于已经证实这两种核素在切尔诺贝利落下灰中的初始同

位素比约为 2:1, 所以比较容易量化和跟踪。切尔诺贝利事故后, 水中的铯-137 存量从 1985 年的 325 TBq 增加到 1986 年的 4300~5000 TBq。

在污染后数日和数月内, 还在海洋环境中探测到其它短寿命放射性核素。但是, 这些短寿命放射性核素和铈-90 或钷的长寿命同位素都被认为不会对海洋环境产生重要影响, 因为这些物质或者很快衰变, 或者水平极少升高。

铯-137 在波罗的海海面的分布是不均匀的。主要原因是, 当放射性烟羽在事故后的最初几日经过海面时, 切尔诺贝利落下灰直接沉降; 以及来自邻近污染区河流的径流污染。1986 年 5~6 月, 水中铯-137 浓度的变化范围跨越了 2 个数量级, 从南部的 50 Bq/m<sup>3</sup> 以下到芬兰湾中的超过 5000 Bq/m<sup>3</sup>。

1989 年和 1994 年的调查表明, 测得的最大值仍是在表层水中。但是, 污染已经明显渗透到深层, 存量的大部分已转移到沉积物中。调查表明波的尼亚海和北波罗的海为浓度最高区域, 尽管其水平在事故发生后 8 年已下降到 140 Bq/m<sup>3</sup>。虽然这些水平不会造成辐射问题, 但



相对而言,波罗的海仍然是世界上铯-137 浓度最高的海洋环境(见第 12 页图)。

波罗的海放射性的测量和评估已经成为该地区关注的问题,且已经成为许多国家和国际研究计划的主题。IAEA 早在 1980 年就启动了名为“波罗的海放射性物质研究”的协调研究计划(CRP),以评价进入波罗的海的放射性核素的长期行为,包括它们向人体的转移。1981~1984 年,来自波罗的海沿岸所有国家和 IAEA 摩纳哥海洋环境实验室(当时的名称是国际海洋放射性实验室)的科研人员参与了该计划的实施,获得了有关波罗的海的人为放射性核素水平及其最终去向的有价值数据,并提供了切尔诺贝利事故之前的重要基线评估。

1985 年初,HELCOM 决定继续实施这项由 IAEA 启动的工作,并组建了波罗的海放射性物质监测专家组(MORS)。IAEA 通过提供强化的质量保证计划继续参与这项工作。MORS 已发表有关下列内容的综合报告:海水、沉积物和生物群中人为放射性核素的水平及其变化趋势、海水中放射性核素的存量、集水流域内核装置的排放、放射性核素迁移的模



拟以及海洋照射途径对人类的放射剂量评估。

通过欧洲委员会的 MARINA BALT 项目(1996~1998 年),这些问题也得到详细评价。该项目的重点是估计波罗的海的放射性对欧洲共同体人群的放射照射。

### IAEA 技术合作

1998 年,立陶宛政府请求 IAEA 提供支持,以建立

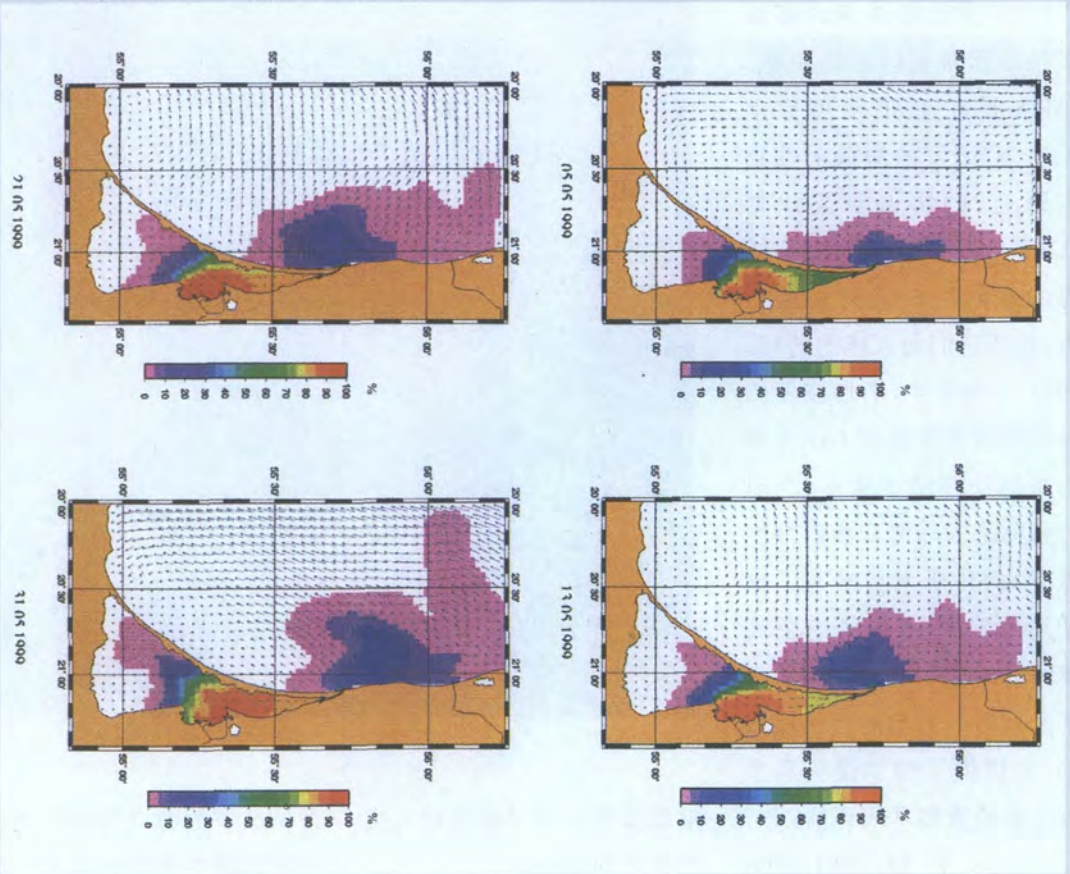
评估波罗的海立陶宛所属部分的放射性所需的能力。具体地说,要了解的是海洋环境中与输入源有关的以及与波罗的海地区特有的重要海洋学过程有关的放射性核素浓度的变化。其最终目的是优化监测计划和基于确认的模型建立可靠的预测能力。

照片:连接科罗尼安泻湖和波罗的海的克莱佩达海峡景色。(来源:Valkunas/立陶宛)



## 波罗的海河流流入跟踪

下列各图示出用模型模拟的在涅曼河口以恒定速率持续释放的一种保守性示踪剂的浓度随时间变化的情形。它对影响波罗的海的跨界污染研究具有特殊意义。数值实验是在1999年4月1日~6月1日期间进行的。这些标有日期的“快照”示出示踪剂的路径,并指明流的方向和速度。(来源:L. Davulienė)



这涉及开发和建立高分辨率三维流体动力循环模型、确认的扩散模型以及确认的剂量计算模型。

1999年,设计了一个预算为36万美元的技术合作项目,以开发用于评估波罗的海立陶宛所属部分、涅曼河和科罗尼安泻湖支流水体中放射性核素分散情况的模

型,并辅以现场监测。该项目得到政府的有力支持,并被宣布为优先取得IAEA在2001~2002年技术合作计划框架内提供的援助的一个国家项目。

对该项目与其他有关波罗的海的国家和国际项目的关系进行了很好的协调。与4家立陶宛研究机构合作开

展了这项研究:物理研究所、Vilnius Gediminas工业大学、环境部实验室和地球科学研究所。此外,来自立陶宛卫生部辐射防护中心的工作人员也参与了这项工作。

这些对应方与IAEA合作,规划该项目和确定工作计划。自项目启动以来,由来自丹麦里索国家实验室和德

国联邦海事和水文机构 (FMHA) 的专家组成的工作组提供了许多建议。这些长期参加波罗的海放射性研究和 MORS 计划的研究所,还接待了立陶宛专业人员的 8 次进修培训和科学访问。培训的主要目的是提高其放射分析和建模的技能。在德国卡尔斯鲁厄的先进技术和环境培训中心举办的一个 IAEA 培训班,还讨论了在环境中应用核分析技术的质量保证管理问题。通过提供取样和辐射测量设备以及帮助组织科学巡查,为该项目的实施提供了进一步支持。

在项目的第一阶段,开始深入研究涅曼河对波罗的海立陶宛所属部分的影响。涅曼河通过科罗尼安泻湖和克莱佩达海峡流入波罗的海,是其第三大支流(见照片)。

在跨界污染评估方面,立陶宛特别关注涅曼河,因为该河的上游河段及其约 60% 的流域面积在立陶宛境外。该河也同样引起波罗的海各国的较广泛关注,因为其 45% 以上的流域面积在 HELCOM 范围外,因此不受该委员会环境政策的管辖。

波罗的海周围有许多污染工厂(食品加工、纺织品和制革厂、炼油厂、化工厂、纸

浆和造纸厂),且污水处理设施和工业废物向城市污水系统的排放引起人们担忧。

由于涅曼河水带来了白俄罗斯的污染物,由切尔诺贝利事故引起的落下灰放射性核素的流入也引起人们的关注。流入波罗的海的污染物在科罗尼安泻湖区域的淡水和盐水混合区中,一般要发生一系列转化。与水文学、水化学和地球化学方法的测量结果相结合,有关环境放射性核素的数据能够被用于跟踪这些过程以及核实或确认迁移和传递模型。

参加该示范项目的立陶宛各研究所联合在沿海地区和科罗尼安泻湖实施了 2 次取样巡查和几次现场考察。通过这些活动,收集了水和沉积物的样品,并送到实验室进行分析。对取样、样品处理和放射分析方法都进行了评价和协调。各研究所间对所获得的最终数据进行了相互比较,以确保其可比性。

从 FMHA 水域规模的运行循环模型开始,已开发出针对波罗的海立陶宛所属部分和科罗尼安泻湖的高分辨率(网格间距为 1 海里)模型。对该模型进行了灵敏度研究,以实际输入数据进行了诊断模式测试,并使用不同时间段的测量结果进行了验

证。通过向涅曼河输入一种保守的示踪剂,模拟了各种不同情景,并研究了示踪剂在几个月的时段内的分散情况(见第 14 页图)。

在 MORS 和 HIROMB (波罗的海的高分辨率运行模型)的小组会议上,介绍了项目的计划和成果。鉴于污染物分散预测模型的多种潜在用途,立陶宛主管机构对它们表示了极大兴趣。

正在进一步开发循环模型,并将研究的区域扩大到包括 1 条以上的重要河流(道加瓦河)的流入以及大气输入。IAEA 项目的第二阶段涉及一系列相关联的主题:调查涅曼河口、呈扇形的近海克莱佩达海峡、科罗尼安泻湖浅水区;培养分析其它放射性核素的技能;开发铯-137 和锶-90 的分散模型;以及评估剂量。

通过评价放射性核素的分散和迁移以及开发正常和事故条件下的预测模型,预计该项目将会有助于波罗的海环境的综合评估。通过支持正在进行的国家和国际计划,还可以预计该项目将获得可靠的数据和资料,从而为立陶宛作出波罗的海环境管理决策、提高该地区的环境质量、健康水平和安全水平提供良好的基础。