

亚北极到西北冰洋航线表层海水中 N₂O 源汇特征



海洋 N₂O 研究的意义：

N₂O 是一种重要的温室气体，其温室效应约为 CO₂ 的 300 倍（按分子计算）；同时也是目前排放率最大的消耗臭氧层物质。海洋是大气中重要的 N₂O 来源，约占全球 N₂O 的 21%；自 Craig 和 Gordon（1963）首次对海洋 N₂O 进行研究以来，海洋 N₂O 的研究得到广泛关注。极区海洋由于现场气候条件恶劣，科学研究受限，也是当前 N₂O 研究工作开展较少的区域之一，有研究显示，亚北极北大西洋区域存在全球目前唯一确认的 N₂O 汇区，而南大洋则是 N₂O 重要源区。因此，相关研究工作是气候变化认识中的重要内容，不容忽视。



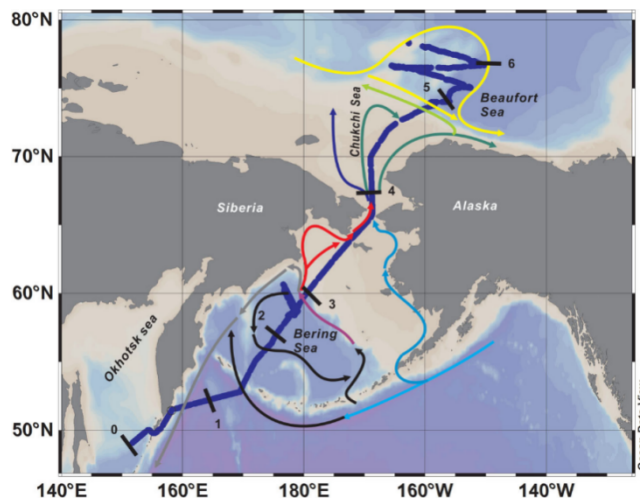
技术创新对相关研究的推动作用

技术创新往往是研究取得突破的关键，早期 N₂O 的研究工作主要应用气相色谱法。电子捕获检测器的应用极大的优化了该化合物的检出能力。随着温室气体的激光分析技术成功商业化应用，观测的精确度和分辨率得到了极大的提升，为海洋 N₂O 的研究工作的突破拓宽了空间。该技术在海洋研究的应用目前已经有少量报道。自然资源部第三海洋研究所在该领域也取得阶段性的进展。在中国第七次北极科学考察期间，相关研究团队应用自主集成的，基于激光衰荡技术的温室气体走航观

测系统，从白令海、楚科奇海到加拿大海盆，首次开展自动高分辨率 N_2O 观测，系统测量了表层海水中的 N_2O ，并测量了表层水的 CO_2 分压、溶解氧、盐度、温度和海冰覆盖率等相关参数。

勘测行程与仪器使用：

在 2016 年 7 月上旬至 9 月下旬进行的第七次北极科学考察期间，测量了沿走航路径在 $49^\circ N$ 至 $78^\circ N$ 之间的表层海水中 N_2O 浓度和 CO_2 浓度。研究区域如下图所示，走航路线用蓝线标记。雪龙号于 7 月 16 日离开鄂霍次克海，经阿留申弧线进入白令海，并于 7 月 24 日经白令海峡离开白令海进入楚科奇海。在楚科奇海海台进行站位采样后，这项工作中使用的数据收集工作于 8 月 2 日完成。



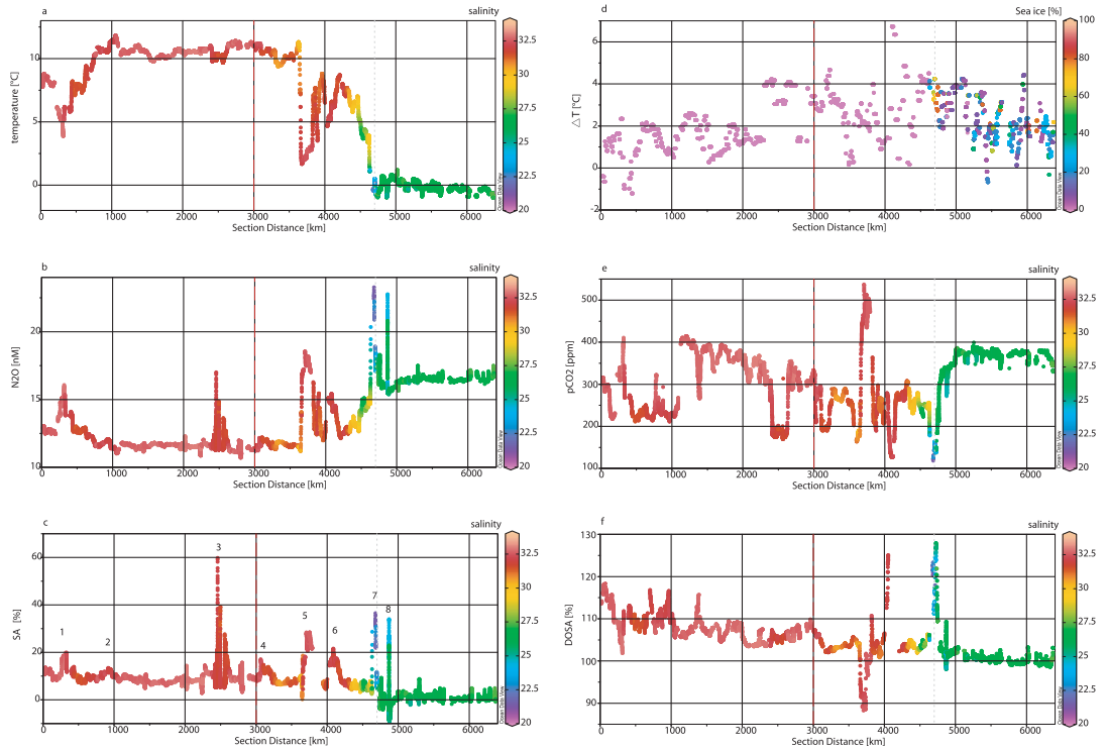
在仪器选择上采用的是美国 Picarro 公司 G5101-i N_2O 同位素分析仪和 G2131-i CO_2 同位素分析仪组成的自动进样系统连续测量空气和表层海水中的 N_2O 和 CO_2 数据。仪器的设置如 Zhan 等人所述 (2018)。简而言之，对自动进样系统进行了编程，可以自动切换测量水汽平衡器的顶空、大气气体样品，并进行自动校正，两瓶工作标气在实验室中利用 NOAA 标气进行标定。



从海平面下 4.5 m 处的进水口抽出表层海水，流速约 500 ml/min，水汽平衡器中闭路气体管路中样品气流速同样是 500 ml/min。样品气以质量流量控制器控制的流速流经两个分析仪，以满足分析仪所需的流速，分析仪并联连接。将 N_2O 测量结果与在陆地实验室使用气相色谱仪 (GC) 获

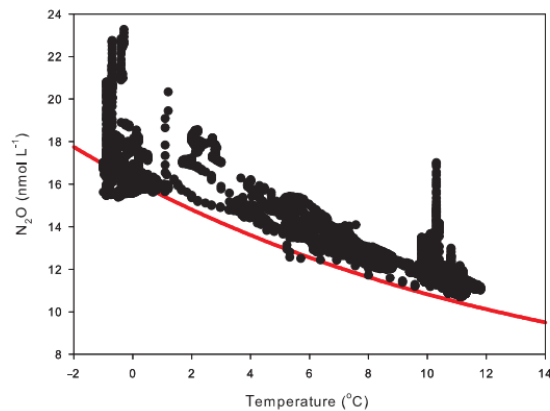
得的结果进行了比较，结果表明，进行中的系统数据与通过 GC 获得的数据相差不到 3%，表明这两种方法是彼此一致的。该方法的精密度优于 0.5%。

结果与讨论：



不同的参数随沿走航距离绘制出的变化图：a.表层海水温度；b.表层海水 N_2O 浓度；c.饱和度异常（SA）沿航线有八个最大值；d.由 AVHRR 数据得到的 6 月与 7 月表层海水温度差异；e.表层海水 CO_2 分压；f.溶解氧饱和度。

除了在整个走航航迹上有几个最大值外， N_2O 浓度呈现出从 11.0 到~ 16.5 nM 增加的趋势，这是由于随着海温的降低，气体溶解度增加的结果。



上图表示的是表层海水中 N_2O 浓度与表层海水温度之间的关系，红线是沿着航迹表层海水的 N_2O 溶解度。走航航迹表现出 N_2O 来源的整体特征，走航航迹显示了整个 N_2O 源的特征，走航航

迹中几乎所有的表层海水都表现出 N₂O 过饱和，特别是在高、低温端。在低温端可以观察到不饱和现象。

在这项研究中，整个航行过程中的表层海水总体上是 N₂O 主要来源，结果发现了几处 N₂O 过饱和区域和一处明显的不饱和区域（约 90% 的饱和度），这可能是由于融冰稀释造成的。导致这些 N₂O 饱和度异常以及响应机制如下：（1）某些水文结构，例如辐聚，辐散和海洋锋面结构的存在将导致表层海水 N₂O 饱和度波动；（2）大陆架上的对流，将富含 N₂O 的底层水带至表层，导致 N₂O 呈现过饱和现象，与此相对应，可观察到 CO₂ 分压增加，DO（溶解氧）浓度值降低；（3）可能近表层水产生的 N₂O。海冰边缘区可能存在 N₂O 未知形成过程，但其机制有待进一步研究。海-气通量评估结果表明，大陆架呈现出沿走航航线最高的海气 N₂O 通量，这可能与上升流或垂直对流带来的富含 N₂O 的深水有关。白令海和楚科奇海大陆架可能是大气中重要的 N₂O 来源，而北冰洋开阔海域由于海冰融化和随后的水层分层，在研究期间总体上没有显示出源汇特征。

如对该文章或此类应用有兴趣，欢迎联系我们：

chenxf@cen-sun.com

James@cen-sun.com

该文第一作者为自然资源部第三海洋研究所詹力扬研究员。

论文链接：<https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lno.11604>