

张介霞, 詹力扬, 陈立奇. 南大洋  $N_2O$  研究进展及测量新技术展望[J]. 地球科学进展 2013 28(11): 1 201-4 208. [Zhang Jiexia, Zhan Liyang, Chen Liqi. Review on researches of nitrous oxide in the Southern Ocean and relative new technologies [J]. Advances in Earth Science 2013 28(11): 1 201-4 208.]

## 南大洋 $N_2O$ 研究进展及测量新技术展望\*

张介霞<sup>1 2</sup>, 詹力扬<sup>2</sup>, 陈立奇<sup>2\*</sup>

(1. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361005;

2. 国家海洋局海洋—大气化学与全球变化重点实验室, 国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 氧化亚氮( $N_2O$ ) 是大气最重要的温室气体之一, 能在大气滞留 120 年, 其增温潜势是  $CO_2$  的 310 倍。工业革命以来, 大气中  $N_2O$  浓度已增加了 20%, 但海洋仍然是大气  $N_2O$  重要的自然源, 占总自然源的 1/3 左右。南大洋是全球海洋系统重要组成部分, 具有独特的水文特征。模式研究表明其是大气  $N_2O$  的重要源。然而, 受制于恶劣的海况条件, 南大洋航次观测数据至今十分稀少。简单综述了南大洋  $N_2O$  研究的重要性、研究进展及现场观测技术和模型应用的结果及其存在的问题。强调稳定同位素方法的运用将为海洋  $N_2O$  形成机制研究提供新的强有力手段, 另外, 研发高精度的走航观测技术也是今后  $N_2O$  研究取得突破的必须努力方向。展望激光光谱技术的运用对南大洋  $N_2O$  研究的突破以及海冰中  $N_2O$  浓度测量技术的发展, 将对评估海冰在形成和融化过程中可能存在的源汇提供直测证据。

**关键词:** 氧化亚氮; 温室气体; 南大洋; 新技术

中图分类号: P734; P76

文献标志码: A

文章编号: 1001-8166(2013)11-4201-08

### 1 引言

氧化亚氮( $N_2O$ ) 是一种重要的温室气体 (GHG) 之一, 虽然其辐射效应只占 6%, 但其温室效应是同等浓度下二氧化碳 ( $CO_2$ ) 的 310 倍左右<sup>[1]</sup>。同时  $N_2O$  还能在平流层中通过光化学过程与臭氧反应, 从而消耗大气中的臭氧<sup>[2]</sup>。氟氯烃化合物 (CFCs) 被禁止使用后,  $N_2O$  成为年排放量最大的大气臭氧破坏物质<sup>[3]</sup>。自工业革命以来, 人类活动 (如氮肥的使用、农业的发展等) 不断改变着全球氮 (N) 循环模式<sup>[4]</sup>。大气中  $N_2O$  浓度迅速升高, 目前以 0.26% 的速率稳定增长, 预计到 2100 年, 该浓度值将超过  $400 \times 10^{-9}$ <sup>[5]</sup>。

长期观测研究认为海洋是大气中  $N_2O$  净源, 其自然源占总源的 22% ~ 25%, 是全球自然源的 1/3<sup>[6]</sup>, 其中大部分源于沿岸上升流<sup>[7]</sup> 和缺氧区<sup>[8, 9]</sup>, 如大洋东边界和阿拉伯海等区域<sup>[10, 11]</sup>。研究显示, 在海洋次表层, 存在  $N_2O$  来源的区域可通过涡动扩散过程, 将  $N_2O$  输送到混合层, 形成大气的源。对于开阔大洋区域, 表层海水与大气  $N_2O$  平衡。然而, 由于表层温度的季节性变化迅速, 可能导致表层海水表现为暂时性的源或汇特征<sup>[5]</sup>。Nevison 等<sup>[12]</sup> 根据表层  $N_2O$  分压, 在北大西洋观察到  $N_2O$  汇。对于表现为弱汇的海区<sup>[13]</sup>, 深层水的形成又可能将大气中的  $N_2O$  输送到深层水中, 但从千年尺度来看, 海洋热盐环流最终会将其输送到大气中。然

收稿日期: 2013-05-13; 修回日期: 2013-09-16.

\* 基金项目: 中国极地科学战略青年基金项目“普里兹湾  $N_2O$  分布特征及可能形成机制”(编号: 20120310) 资助。

作者简介: 张介霞 (1986-), 女, 四川乐山人, 博士研究生, 主要从事海洋 N 循环研究. E-mail: zhangjiexia1986@sina.com

\* 通讯作者: 陈立奇 (1945-), 男, 福建晋江人, 研究员, 主要从事海洋大气化学与全球变化科学研究. E-mail: lqchen@soa.gov.cn

而,全球海洋  $N_2O$  收支估算的不确定性高达 50%<sup>[5]</sup>,这主要是由于:①运用模型的方法不同;②采用不同海—气交换参数;③对沿岸区域的划分不同。

海洋中  $N_2O$  被认为主要由细菌硝化和反硝化过程<sup>[14]</sup>产生,在低溶解氧条件下,很大程度是由硝化菌反硝化过程(nitrifier-denitrification)中  $NO$  还原产生,很小程度上是氨氧化过程的中间产物羟氨和传统的反硝化过程产生<sup>[15]</sup>。然而,在最近的研究中指出<sup>[16,17]</sup>,古菌不仅能产生  $N_2O$ ,而且氨氧化过程主要是由古菌而非细菌执行的,该发现很大程度上改变了过去对海洋硝化过程的认识。由于共同利用  $NO$ 、 $NO_2^-$  等中间物质,不同生物过程可能重叠或相互作用<sup>[18~20]</sup>,因此硝化菌和反硝化菌对  $N_2O$  的产生都很重要,难以区分。到 20 世纪末期,稳定同位素方法引入到海洋  $N_2O$  研究中,该方法以生物活动过程对稳定同位素<sup>15</sup>N- $N_2O$  和 <sup>18</sup>O- $N_2O$  的分馏<sup>[21,22]</sup>为基础,为揭示  $N_2O$  形成机制及全球  $N_2O$  收支提供了有用的新信息,但仍无法定量区分硝化反硝化机制的贡献<sup>[23,24]</sup>。Toyoda 等<sup>[25]</sup>对稳定同位素质谱仪进行了改装,使稳定同位素异构体的<sup>15</sup>N<sup>14</sup>NO 和<sup>14</sup>N<sup>15</sup>NO 的测定可以被区分开。迄今为止,海洋中  $N_2O$  的形成机制一直是学者们讨论的焦点。

随着海洋脱氧(deoxygenation)及海洋酸化等<sup>[26,27]</sup>全球变化过程受到关注,有关  $N_2O$  与溶解氧之间关系的研究进一步深入,Bianchi 等<sup>[28]</sup>根据获得溶解氧的数据对海洋脱氧过程进行模拟,结果显示反硝化过程增强,而  $N_2O$  的产量没有变化。海洋酸化对海洋  $N_2O$  可能产生的影响也开始引起人们的关注。Beman 等<sup>[27]</sup>提出海洋酸化可能减弱海洋硝化过程而最终导致  $N_2O$  产量下降;Gehlen 等<sup>[29]</sup>则持与 Beman 相反的观点。尽管目前还没有大量的实测数据,但海洋  $N_2O$  循环过程势必对全球变化过程产生某种程度的响应和反馈,与此相关的问题也将成为海洋  $N_2O$  研究的重要内容。

南大洋是地球系统的重要组成部分,影响着全球气候变化和生物地球化学以及生态循环<sup>[30]</sup>。随着气候变暖、极区海域区域性变暖<sup>[31,32]</sup>、局部海冰和冰架的迅速变化<sup>[33~35]</sup>,南大洋上下水层结构分支的变化需要重新审视<sup>[32]</sup>。近期研究对南大洋  $N_2O$  源强的评估不断下调,其贡献从早期的 1.7 Tg N/a<sup>[36]</sup>下调到 0.9 Tg N/a<sup>[37]</sup>左右。同时,也有相关研究观察到南大洋  $N_2O$  不饱和现象<sup>[38,39]</sup>,但由于这些现场数据只是在局部海区发现,因此科学家们仍坚

持南大洋为全球  $N_2O$  源的主流说法。南大洋海域受物理和生物耦合过程影响较大,加强南大洋  $N_2O$  温室气体的研究,可更好地揭示南大洋在全球  $N_2O$  循环过程中扮演的角色。

## 2 南大洋 $N_2O$ 研究进展

南大洋占全球海洋面积的 1/6,是极具研究价值的洋区之一。从水文学角度来看,这个洋区是温盐环流(Thermohaline Circulation, THC)的调控枢纽中心<sup>[40]</sup>;从生物地球化学角度来看,南大洋的营养盐在全球海洋生物过程中扮演着极为重要的角色<sup>[41]</sup>;研究表明,南大洋对全球 C、N 循环过程也具有极为重要的调控作用,因此精确观测和准确评估温室气体对南大洋源汇是十分重要的<sup>[41]</sup>。

遗憾的是,由于南大洋及南极海域的极端环境使其成为地球大洋最难以接近和到达的海域,因此时至今日在南大洋进行过的  $N_2O$  调查研究工作十分有限。Prisco 等<sup>[42]</sup>对 Ross 冰架水体(Ross Ice Shelf, RIS)  $NH_4^+$  和  $N_2O$  开展研究工作,结果显示 RIS 水体中  $N_2O$  含量和大气基本持平,即非大气  $N_2O$  的源区也非汇区。Weiss 等<sup>[43]</sup>对南印度洋进行调查发现近南极某些区域表层海水具有较高的  $N_2O$  饱和度;Rees 等<sup>[38]</sup>在德雷克海峡观察到表层海水  $N_2O$  分压与大气平衡;别林斯高晋海表层海水在季节融冰水稀释的作用下,略呈不饱和状态。根据这一研究结果,Rees 等<sup>[38]</sup>认为,Bouwman 等<sup>[36]</sup>提出的南大洋每年向大气释放  $N_2O$  占海洋总源 45%左右的源强可能需要重新评估。Law 等<sup>[44]</sup>在南大洋施铁肥试验中(SOIREE) 49°~61°S 范围内调查了水体中  $N_2O$  分布,结果显示调查区域表层海水  $N_2O$  分压和大气平衡,在施放铁肥后观测到水深 80 m 处  $N_2O$  浓度显著升高。然而,Walter 等<sup>[45]</sup>对大西洋扇形区域南大洋的施铁肥试验中得出与 Law 等不同的结论。Zhan 等<sup>[46]</sup>对南大洋印度洋和普里兹湾表层海水进行调查,提出物理因素为南大洋表层海水  $N_2O$  分布主控因素。Chen 等<sup>[39]</sup>近期的研究模拟了近岸融冰过程对表层海水  $N_2O$  分布的影响,提出融冰水过程可能是南大洋近岸水体  $N_2O$  不饱和现象的主要原因。虽然目前有关南大洋  $N_2O$  现场调查工作屈指可数,但是这些有限的研究成果还是为之后的研究提供了重要的线索。

模型研发和运用使大尺度评估取得进展。Nev-ison 等<sup>[47]</sup>利用现场调查的 60 000 个数据估算得到全球大洋的表层海水大气  $\Delta pN_2O$ ,并利用美国国家

大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR) 获得的气象数据估算海气传输系数(gas transfer coefficient), 最后得到 4 Tg N/a 的大气海洋年通量数据(范围在 1.2 ~ 6.8 Tg N/a 之间)。运用海洋综合环流模型(Ocean General Circulation Model, OGCM) 结合海洋中  $\Delta N_2O$  和 AOU 关系随深度的变化, 对 N<sub>2</sub>O 在海水中的垂直分布进行模拟, 得到与 Nevison 相类似的结果, 得出全球海气通量值为 3.85 Tg N/a(范围为 2.7 ~ 8 Tg N/a)<sup>[20]</sup>, 其中, 南大洋的释放通量占全球海洋总通量的 43% 左右。在他们的研究中, 均提出南大洋是全球 N<sub>2</sub>O 强源区。然而, Nevison 等<sup>[37]</sup> 对塔斯马尼亚岛大气观测数据分析得出南大洋 N<sub>2</sub>O 源强为 0.9 Tg N/a, 较之前的估算值低。Suntharalingam 等<sup>[20]</sup> 的研究也提出模型结果可能高估了南大洋对全球 N<sub>2</sub>O 收支的贡献。Hirsch 等<sup>[48]</sup> 和 Huang 等<sup>[49]</sup> 分别对全球 N<sub>2</sub>O 释放通量进行评估, 模拟结果均显示南大洋区域对大气 N<sub>2</sub>O 储库的贡献在 0 ~ 4 Tg N/a 范围内。由此可见, 模型通过数据外推, 在估算大面积的海洋 N<sub>2</sub>O 通量时, 仍存在很大的不确定性, 其中包括交换系数计算的不确定性、年际异常气候引起的不确定性(如 ENSO 事件)、根据热点研究区域获取的数据外推引起的不确定性, 尤其对强烈变化的近岸和快速融冰的高纬度区域影响较大等<sup>[47]</sup>。因此, 高分辨率现场数据的获取仍尤为重要。

Zhan 等<sup>[46]</sup> 利用中国第 22 次南极科学考察航渡对南大洋和普里兹湾表层海水进行现场采样。Chen 等<sup>[39]</sup> 根据表层温盐以及 N<sub>2</sub>O 饱和度异常对普里兹湾表层水进行区域性划分, 认为不同水体除受融冰水的稀释影响外, 还受阳光辐射的影响。根据历史研究, 可以推测夏季普里兹湾生物生产力高, 有机物再矿化过程使次表层海水中 N<sub>2</sub>O 增加, 但实际并非如此, 普里兹湾表层海水中 N<sub>2</sub>O 浓度大多只接近大气水平甚至不饱和, 这可能与海冰稀释和海水强烈的分层作用有关。整个南大洋表层海水南向呈现 N<sub>2</sub>O 不饱和度加剧的趋势, 根据实时气象数据计算结果显示, 夏季南大洋可能是全球 N<sub>2</sub>O 潜在的汇区, 粗略估算实时通量为  $(-3.44 \pm 1.17) \mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ <sup>[39, 46, 50]</sup>。这些现象与早期的研究结果相类似<sup>[38]</sup>, 虽然覆盖范围零散, 且均在夏季进行, 尚不能肯定该现象是否出现在整个南大洋或其他季节, 然而, 这也说明南大洋是大气 N<sub>2</sub>O 重要源区的观点需要更为谨慎的评估。

海洋 N<sub>2</sub>O 的产生和消耗受微生物活动的影响,

而生物活动的进行与水体中溶解氧浓度的高低密不可分<sup>[6-8]</sup>。南大洋混合层以下水体溶解氧浓度较高<sup>[50]</sup>, 不太可能存在强烈的 N<sub>2</sub>O 产生和消耗过程。此外, Walter 等<sup>[13]</sup> 的研究结果显示, 北大西洋水体中 N<sub>2</sub>O 浓度较低, 不存在高值现象, 这可能与低温环境下 N<sub>2</sub>O 产生的生物过程受到抑制有关, 如果这种现象同样存在于低温的南大洋水体, 那么, 南大洋高纬度地区的 N<sub>2</sub>O 可能主要源于如绕极深层流等的外来输入贡献。

综上, 可以看见, 南大洋 N<sub>2</sub>O 研究存在以下现状: ①由于南大洋恶劣的现场条件, 研究相对缺乏, 研发和应用具有更高的数据精度和分辨率的稳定同位素光谱分析的走航在线观测技术, 成为今后 N<sub>2</sub>O 研究取得突破必须努力的方向, 是南大洋 N<sub>2</sub>O 深入研究的重要手段; ②从现象上可以猜测南大洋 N<sub>2</sub>O 形成速率较低, 进一步的研究可以从其他角度区分南大洋 N<sub>2</sub>O 的生物过程, 从而证实生物形成机制对南大洋 N<sub>2</sub>O 形成机制的贡献是否可以忽略。

以下将对 N<sub>2</sub>O 研究技术进行综述和展望。

### 3 海洋 N<sub>2</sub>O 新测量技术展望

#### 3.1 走航技术展望

自 20 世纪以来, 大气中 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 等温室气体的浓度以史无前例的速度持续上升, 被认为是引起全球变暖的主要原因<sup>[6]</sup>。为了提高海洋对大气化学组成和气候影响的认识, 海洋对温室气体(如 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) 的调控作用已成为科学家们关注的焦点。目前国际上多数研究者采用气相色谱法对海洋 N<sub>2</sub>O 进行走航观测<sup>[43, 44, 51]</sup>, 表层海水管路连接 Weiss 等<sup>[43]</sup> 制作的水汽平衡器, 利用 GC-ECD 或 GC-MS 进行检测。但对于盛行西风的南大洋来说, 长时间的颠簸震动可能影响气相色谱的稳定性, 因此船载气相色谱的稳定性和安全性存在不确定性。除此之外, 南大洋复杂的水文动力学特征, 使得各系统中水体的稳定性存在显著不同, 导致海水中微生物的分布以及空间运移存在差异, 直接影响海水中 N<sub>2</sub>O 的形成和分布。南大洋季节性融冰水的稀释作用, 使得表层海水略不饱和, 整个海区的源汇特征受物理水文特征的影响较大<sup>[38, 46]</sup>。早期的走航技术单样分析时长为 6 ~ 10 min<sup>[52]</sup>, 该分析周期可以满足开阔大洋的研究, 但对于快速融冰的南大洋来说, 无法高效地捕获南大洋表层海水 N<sub>2</sub>O 的独特特征, 难以清晰描述调查区域 N<sub>2</sub>O 的分布特征和通量。20 世纪末, 傅里叶红外分析仪的运用使 N<sub>2</sub>O 的连续观测

成为可能,但其运行条件较为苛刻(需液氮制冷),分析精确度也相对较差,仪器基线漂移严重<sup>[53]</sup>。陆续采用的离散或半连续等研究方法,在时空分布的分辨率上仍较低<sup>[47,54]</sup>。由于上述原因,直至目前尚未有相关文献报道。

近期,研究者利用激光光谱技术<sup>[55,56]</sup>(离轴积分腔积分光谱,OA-ICOS)结合水汽平衡器,实现连续测量大气和海水中的 $N_2O$ 。该类仪器分析精度可达到 $0.3 \times 10^{-9} \text{ Hz}^{-1/2}$ ,响应时间为2 min左右,最高采样分析频率为1 Hz,可分辨小尺度的变化,且基线漂移十分微小,易于维护校正,实现长时间序列自动观测,如此高的分析精度是气相色谱法难以企及的。若将该仪器运用到了南大洋 $N_2O$ 的现场观测,对南大洋的研究来说将会是突破性的进展。

### 3.2 稳定同位素方法的运用展望

20世纪80年代初,根据稳定同位素分馏原理,氮同位素比值引入海洋 $N_2O$ 研究,该分析方法的提出为 $N_2O$ 形成机制的研究提出新的途径<sup>[21]</sup>。 $^{15}N-N_2O$ , $^{18}O-N_2O$ 和 $^{18}O-O_2$ 等参数分析方法的建立将 $N_2O$ 形成机制的研究推到新的台阶。但由于 $N_2O$ 中的同位素组成依赖于基底物质,因此对形成机理的区分仍比较模糊。20世纪末 Toyoda等<sup>[25]</sup>对稳定同位素质谱仪进行了一定的改装,使稳定同位素异构体的 $^{15}N^{14}NO$ 和 $^{14}N^{15}NO$ 可以被区分。这一惊人的突破在区分硝化机制和反硝化机制中具有相当的优势<sup>[57]</sup>。此外,结合稳定同位素异构分析方法的最新实验室模拟实验<sup>[58]</sup>提出与Goreau等<sup>[59]</sup>报道不尽相同的结论,即低氧环境下氨氧化 $N_2O$ 的增量没有原先预计的高。Santoro等<sup>[17]</sup>将该技术与实验室生物培养技术结合,提出古细菌是海洋中 $N_2O$ 的主要生物来源。相继的培养实验发现不同过程产生的优势位点值(Site Preference, SP)之间存在明显的差别,证明了新测量技术的价值<sup>[57,60]</sup>。

南大洋整个洋区生产力水平较低,大部分海区都是典型的高营养盐、低叶绿素(HNLC)海区<sup>[61]</sup>。但与开阔大洋相比,在高生产力的陆架区,并没有观察到高 $N_2O$ 浓度分布特征<sup>[39,46]</sup>,由于南极高纬度海区水团混合复杂,单纯地根据溶氧、硝酸盐、水文特征等参数探讨形成 $N_2O$ 的驱动机制仍受到限制。因此稳定同位素方法在南大洋的运用,可为南大洋 $N_2O$ 生物机理的研究提供更好的证据。

随着技术的发展,轻便型的高精度稳定同位素异构体的光谱分析仪器的现场应用,不仅可以实现

现场走航,还可以测定海水中 $N_2O$ 的分压, $^{15}N-N_2O$ , $^{18}O-N_2O$ 以及 $^{15}N-N_2O$ 稳定同位素异构体位置优势参数( $15N^{\alpha}$ , $15N^{\beta}$ )。该种仪器分析除了分析精度最高可达 $0.05 \times 10^{-9}$ 外,稳定同位素比值分析精度也优于1‰,可更好地量化 $N_2O$ 的源汇。与稳定同位素异构体分析技术相比,该仪器弥补了分析过程中 $N_2O$ 标准制备差异的问题<sup>[62]</sup>。尽管其精度略逊于稳定同位素质谱仪,但其现场原位观测、高采样频率和无损检测的特点使该类仪器独具优势,尤其是在条件恶劣的南大洋,该方法在南大洋现场工作中的运用势必为 $N_2O$ 研究提供更多令人振奋的新成果。

### 3.3 海冰中 $N_2O$ 浓度测量技术

海冰是南大洋特殊的环境因素之一。过去30年,南大洋海冰平均变化范围为 $2.0 \times 10^6 \sim 14.6 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,是全球海洋海冰覆盖面积最广的洋区<sup>[63]</sup>。海冰被认为是阻碍海洋—大气物质交换的屏障,但目前已有研究证明气体物质可在海洋—海冰—大气之间进行交换<sup>[64]</sup>。然而测定海冰中 $N_2O$ 浓度定量研究过程中很少涉及这个问题。早期相继有研究者对海冰中的 $CO$ <sup>[65]</sup>, $O_2$ 以及 $CO_2$ <sup>[66]</sup>进行测量,直到2012年Randall等<sup>[67]</sup>首次实现了对北极海冰中 $N_2O$ 的测量。样品用氦气在70℃的管内吹出,通过冷凝除水,由于海冰中 $N_2O$ 浓度较低,使用检测器为脉冲式火焰光度检测器(PFPD)。研究发现海冰中 $N_2O$ 浓度相当低(约6 nmol/L),是表层海水饱和度的40%,大气的30%,证明了海冰融化对表层海水起到稀释作用<sup>[67]</sup>。而当海冰形成时,部分 $N_2O$ 同盐卤水一起被排挤出,此时 $N_2O$ 可能通过海冰释放到大气中,或者在海冰形成过程中直接释放,因此海冰在形成和融化过程中可能是一种潜在的源或汇<sup>[67-69]</sup>。这对南北极区域 $N_2O$ 研究来说是一个新的突破,同时也是了解南大洋 $N_2O$ 循环行为的一个重要参数。其将为早期研究的猜测提供更为直接的证据。

## 4 结 语

自Craig等<sup>[70]</sup>1963年首次对海洋中溶解态 $N_2O$ 开展研究以来,海—气 $N_2O$ 通量观测和评估研究一直受到人们的关注<sup>[71-73]</sup>。但是到20世纪90年代中期为止,相关研究主要集中在太平洋、大西洋和北印度洋<sup>[10,13,18,19,70,74-84]</sup>等区域。国内研究起步较晚,在2000年后,相关文章陆续发表,且研究重点主要集中在近岸水体<sup>[85-89]</sup>。

分析检测技术的发展通常是科学研究发展的重

要驱动力。海洋 N<sub>2</sub>O 研究方法也经历了一系列的突破。Craig 等<sup>[70]</sup>开创了海洋 N<sub>2</sub>O 研究,其后 20 年间,溶解态 N<sub>2</sub>O 的分析方法不断改进<sup>[74, 76, 90]</sup>。Zhan 等<sup>[91]</sup>利用 CTC 自动进样器,将该方法的效率进一步提高,在保证分析精确度的前提下,极大地缩短了样品分析所需的时间,同时极大地减少了水汽对样品分析的干扰。稳定同位素和稳定同位素异构体分析方法的运用<sup>[25]</sup>则为 N<sub>2</sub>O 形成机制的研究提供新的科学工具,极大地推动了相关研究的进展。

然而,时至今日,由于某些限制因素,相关研究仍然存在值得进一步深入探讨的问题,如历史数据覆盖范围不足所引发的问题。极区在大洋环流过程中扮演着源头和驱动力的角色<sup>[40, 92]</sup>,其对大洋能量和物质的输运均起至关重要的作用,对 N<sub>2</sub>O 在其深层水体的分布循环过程进行研究是准确了解水体中 N<sub>2</sub>O 循环过程的关键内容。

模型研究显示,南大洋是大气 N<sub>2</sub>O 潜在源区<sup>[47]</sup>。由于南大洋极端的环境,使得 N<sub>2</sub>O 相关研究相对其他洋区滞后。高精密度稳定同位素异构体检测技术的发展可满足南大洋 N<sub>2</sub>O 研究更高的数据精度和分辨率的要求,同时获取稳定同位素数据,探讨南大洋 N<sub>2</sub>O 形成机制。另外,海冰的存在和季节性变化是南大洋的重要特征之一,海冰在形成和融化过程中可能是一种潜在的源或汇<sup>[67-69]</sup>,研发海冰 N<sub>2</sub>O 测定技术将有助于改善对南大洋 N<sub>2</sub>O 的源汇评估的不确定性。

#### 参考文献 (References):

- [1] Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing [J]. *Climate Change*, 2007, 20: 129-234.
- [2] Portmann R, Daniel J, Ravishankara A. Stratospheric ozone depletion due to nitrous oxide: Influences of other gases [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2012, 367(1593): 1256-1264.
- [3] Ravishankara A R, Daniel J S, Portmann R W. Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century [J]. *Science*, 2009, 326(5949): 123-125.
- [4] Galloway J N, Townsend A R, Erisman J W, et al. Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions [J]. *Science*, 2008, 320(5878): 889-892.
- [5] Freing A. Production and Emissions of Oceanic Nitrous Oxide [D]. Germany: Christian-Albrechts-Universität, 2009.
- [6] Denman K L, Brasseur G, Chidthaisong A, et al. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry [M] // Solomon S, Qir D, Manning M, et al. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 541-584.
- [7] Nevison C D, Lueker T J, Weiss R F. Quantifying the nitrous oxide source from coastal upwelling [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, 18(1): doi: 10.1029/2003gb002110.
- [8] Codispoti L A. Interesting times for marine N<sub>2</sub>O [J]. *Science*, 2010, 327(5971): 1339-1340.
- [9] Naqvi S W A, Bange H W, Farías L, et al. Marine hypoxia/anoxia as a source of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O [J]. *Biogeosciences*, 2010, 7(7): 2159-2190.
- [10] Pierotti D, Rasmussen R A. Nitrous oxide measurements in the eastern tropical Pacific Ocean [J]. *Tellus*, 1980, 32: 56-72.
- [11] Naqvi S W A, Noronha R J. Nitrous oxide in the Arabian Sea [J]. *Deep Sea Research Part I*, 1991, 38(7): 871-890.
- [12] Nevison C, Butler J H, Elkins J. Global distribution of N<sub>2</sub>O and the ΔN<sub>2</sub>O-AOU yield in the subsurface ocean [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17(4): doi: 10.1029/2003GB002068.
- [13] Walter S, Bange H W, Breitenbach U, et al. Nitrous oxide in the North Atlantic Ocean [J]. *Biogeosciences*, 2006, 3(4): 607-619.
- [14] Poth M, Focht D D. <sup>15</sup>N kinetic analysis of N<sub>2</sub>O production by *Nitrosomonas europaea*: An examination of nitrifier denitrification [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1985, 49(5): 1134-1141.
- [15] Lam P, Kuypers M M. Microbial nitrogen cycling processes in oxygen minimum zones [J]. *Annual Review of Marine Science*, 2011, 3: 317-345.
- [16] Löscher C R, Kock A, Könneke M, et al. Production of oceanic nitrous oxide by ammonia-oxidizing archaea [J]. *Biogeosciences*, 2012, 9(7): 2419-2429.
- [17] Santoro A E, Buchwald C, McIlvin M R, et al. Isotopic signature of N<sub>2</sub>O produced by marine ammonia-oxidizing archaea [J]. *Science*, 2011, 333(6047): 1282-1285.
- [18] Cohen Y, Gordon L I. Nitrous oxide in the oxygen minimum of the eastern tropical North Pacific: Evidence for its consumption during denitrification and possible mechanisms for its production [J]. *Deep Sea Research*, 1978, 25(6): 509-524.
- [19] Elkins J W, Wofsy S C, McElroy M B, et al. Aquatic sources and sinks for nitrous oxide [J]. *Nature*, 1978, 275(5681): 602-606.
- [20] Suntharalingam P, Sarmiento J L, Toggweiler J R. Global significance of nitrous-oxide production and transport from oceanic low-oxygen zones: A modeling study [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2000, 14(4): 1353-1370.
- [21] Yoshida N, Hattori A, Saino T, et al. <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N ratio of dissolved N<sub>2</sub>O in the eastern tropical Pacific Ocean [J]. *Nature*, 1984, 307: 442-444.
- [22] Ostrom N E, Russ M E, Popp B, et al. Mechanisms of nitrous oxide production in the subtropical North Pacific based on determinations of the isotopic abundances of nitrous oxide and di-oxygen [J]. *Chemosphere-Global Change Science*, 2000, 2(3): 281-290.

- [23] Yoshinari T, Altabet M A, Naqvi S W A, *et al.* Nitrogen and oxygen isotopic composition of  $N_2O$  from suboxic waters of the eastern tropical North Pacific and the Arabian Sea—Measurement by continuous-flow isotope-ratio monitoring [J]. *Marine Chemistry*, 1997, 56(3/4): 253-264.
- [24] Naqvi S W A, Yoshinari T, Jayakumar D A, *et al.* Budgetary and biogeochemical implications of  $N_2O$  isotope signatures in the Arabian Sea [J]. *Nature*, 1998, 394: 462-464.
- [25] Toyoda S, Yoshida N. Determination of nitrogen isotopomers of nitrous oxide on a modified isotope ratio mass spectrometer [J]. *Analytical Chemistry*, 1999, 71(20): 4 711-4 718.
- [26] Stramma L, Johnson G C, Sprintall J, *et al.* Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans [J]. *Science*, 2008, 320(5 876): 655-658.
- [27] Beman J M, Chow C E, King A L, *et al.* Global declines in oceanic nitrification rates as a consequence of ocean acidification [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, 108(1): 208-213.
- [28] Bianchi D, Dunne J P, Sarmiento J L, *et al.* Data-based estimates of suboxia, denitrification, and  $N_2O$  production in the ocean and their sensitivities to dissolved  $O_2$  [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2012, 26(2), doi: 10.1029/2011GB004209.
- [29] Gehlen M, Gruber N, Gangstø R, *et al.* Biogeochemical consequences of ocean acidification and feedbacks to the Earth system [M]// Gattuso J P, Hansson L, eds. *Ocean Acidification*. Oxford: Oxford University Press 2011: 230-248.
- [30] Meredith M P, Schofield O, Newman L, *et al.* The vision for a southern ocean observing system [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013 5: 1-8.
- [31] Gille S T. Decadal-scale temperature trends in the Southern Hemisphere Ocean [J]. *Journal of Climate*, 2008, 21(18): 4 749-4 765.
- [32] Böning C W, Dispert A, Visbeck M, *et al.* The response of the Antarctic circumpolar current to recent climate change [J]. *Nature Geoscience*, 2008, 1(12): 864-869.
- [33] Jacobs S S, Jenkins A, Giulivi C F, *et al.* Stronger ocean circulation and increased melting under Pine Island Glacier ice shelf [J]. *Nature Geoscience*, 2011, 4(8): 519-523.
- [34] Pritchard H, Ligtenberg S, Fricker H, *et al.* Antarctic ice-sheet loss driven by basal melting of ice shelves [J]. *Nature*, 2012, 484(7 395): 502-505.
- [35] Turner J, Comiso J C, Marshall G J, *et al.* Non-annular atmospheric circulation change induced by stratospheric ozone depletion and its role in the recent increase of Antarctic Sea ice extent [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(8), doi: 10.1029/2009GL037524.
- [36] Bouwman A F, Van der Hoek K W, Olivier J G J. Uncertainties in the global source distribution of nitrous oxide [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(D2): 2 785-2 800.
- [37] Nevison C D, Keeling R F, Weiss R F, *et al.* Southern ocean ventilation inferred from seasonal cycles of atmospheric  $N_2O$  and  $O_2/N_2$  at Cape Grim, Tasmania [J]. *Tellus Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 2005, 57(3): 218-229.
- [38] Rees A, Owens N, Upstill-Goddard R. Nitrous oxide in the Bellingshausen sea and drake passage [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1997, 102(C2): 3 383-3 391.
- [39] Chen L, Zhan L, Xu S, *et al.* Multiple processes affecting surface seawater  $N_2O$  saturation anomalies in Tropical Oceans and Prydz Bay, Antarctica [J]. *Advance in Polar Science*, 2012, 23(2): 87-94.
- [40] Carter L, McCave I, Williams M J M. Circulation and water masses of the Southern Ocean: A review [J]. *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 2008 8: 85-114.
- [41] Marinov I, Gnanadesikan A, Toggweiler J, *et al.* The southern ocean biogeochemical divide [J]. *Nature*, 2006, 441(7 096): 964-967.
- [42] Priscu J C, Downes M T, Priscu L R, *et al.* Dynamics of ammonium oxidizer activity and nitrous oxide ( $N_2O$ ) within and beneath Antarctic sea ice [J]. *Marine Ecology Progress Series Oldendorf*, 1990, 62(1): 37-46.
- [43] Weiss R F, Van Woy F A, Salameh P K, *et al.* Surface Water and Atmospheric Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Observations by Shipboard Automated Gas Chromatography: Results from Expeditions between 1977 and 1990 [R]. ORNL/CDIAC-59, Oak Ridge National Laboratory, TN (United States). Carbon Dioxide Information Analysis Center, 1992.
- [44] Law C S, Ling R D. Nitrous oxide flux and response to increased iron availability in the Antarctic Circumpolar Current [J]. *Deep Sea Research Part II*, 2001, 48(11): 2 509-2 527.
- [45] Walter S, Peeken I, Lochte K, *et al.* Nitrous oxide measurements during EIFEX, the European iron fertilization experiment in the subpolar South Atlantic Ocean [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(23): L23613.
- [46] Zhan L, Chen L. Distributions of  $N_2O$  and its air-sea fluxes in seawater along cruise tracks between  $30^\circ S$ - $67^\circ S$  and in Prydz Bay, Antarctica [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, 114(C3): 1-14.
- [47] Nevison C D, Weiss R F, Erickson Iii D J. Global oceanic emissions of nitrous oxide [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 1995, 100(C8): 15 809-15 820.
- [48] Hirsch A, Michalak A, Bruhwiler L, *et al.* Inverse modeling estimates of the global nitrous oxide surface flux from 1998-2001 [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2006, 20(1): GB1008, doi: 10.1029/2004GB00243.
- [49] Huang J, Golombek A, Prinn R, *et al.* Estimation of regional emissions of nitrous oxide from 1997 to 2005 using multinet network measurements, a chemical transport model, and an inverse method [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113(D17): 148-227.
- [50] Zhang Jiexia. The Distribution of  $N_2O$  along the Cruise Tracks and Prydz Bay during the China 27th Antarctic Expedition [D]. Xiamen: Third Institution of Ocean, State Oceanic Administration 2012. [张介霞. 中国第 27 次南极考察航线和普里兹湾  $N_2O$  分布特征研究 [D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所,

2012. ]
- [51] Butler J, Elkins J, Brunson C, *et al.* Trace Gases in and over the West Pacific and East Indian Oceans during the El Niño–Southern Oscillation Event of 1987 [R]. Washington DC: Superintendent of Documents, U. S. G. P. O., 1988.
- [52] Butler J H, Elkins J W. An automated technique for the measurement of dissolved N<sub>2</sub>O in natural waters [J]. *Marine Chemistry*, 1991, 34(1): 47–61.
- [53] Esler M, Griffith D, Turatti F, *et al.* N<sub>2</sub>O concentration and flux measurements and complete isotopic analysis by FTIR spectroscopy [J]. *Chemosphere-Global Change Science*, 2000, 2(3): 445–454.
- [54] Stubbins A, Uher G, Kitidis V, *et al.* The open-ocean source of atmospheric carbon monoxide [J]. *Deep Sea Research Part II*, 2006, 53(14): 1 685–1 694.
- [55] Arévalo-Martínez D. A new method for continuous measurements of oceanic and atmospheric N<sub>2</sub>O, CO and CO<sub>2</sub>: Performance of off-axis integrated cavity output spectroscopy (OA-ICOS) coupled to non-dispersive infrared detection (DNIR) [J]. *Ocean Science Discussions*, 2013, doi: 10.5194/osd-40-1281-2013.
- [56] Kaiser J, Grefe I, Wager N, *et al.* Continuous Measurements of Nitrous Oxide, Carbon Monoxide, Methane and Carbon Dioxide in the Surface Ocean with Novel Laser-absorption Analysers [C]. EGU General Assembly Conference Abstracts, 2013, 15: 13 401.
- [57] Sutka R L, Ostrom N E, Ostrom P H, *et al.* Distinguishing nitrous oxide production from nitrification and denitrification on the basis of isotopomer abundances [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72(1): 638–644.
- [58] Frame C H, Casciotti K L. Biogeochemical controls and isotopic signatures of nitrous oxide production by a marine ammonia-oxidizing bacterium [J]. *Biogeosciences*, 2010, 7(9): 2 695–2 709.
- [59] Goreau T J, Kaplan W A, Wofsy S C, *et al.* Production of NO<sub>2</sub><sup>-</sup> and N<sub>2</sub>O by nitrifying bacteria at reduced concentrations of oxygen [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1980, 40(3): 526.
- [60] Sutka R L, Ostrom N E, Ostrom P H, *et al.* Nitrogen isotopomer site preference of N<sub>2</sub>O produced by *Nitrosomonas europaea* and *Methylococcus capsulatus* Bath [J]. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2003, 17(7): 738–745.
- [61] Chisholm S W, Morel F M. What Controls Phytoplankton Production in Nutrient-rich Areas of the Open Sea? [M]. California: American Society of Limnology and Oceanography, 1991: U1 507–U1 511.
- [62] Kaiser J. Stable Isotope Investigations of Atmospheric Nitrous Oxide [D]. Mainz: Universitätsbibliothek Mainz 2002.
- [63] Cavalieri D, Parkinson C. Antarctic Sea ice variability and trends, 1979–2006 [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 2008, 113(C7), doi: 10.1029/2007JC004564.
- [64] Loose B, McGillis W R, Schlosser P, *et al.* Effects of freezing, growth, and ice cover on gas transport processes in laboratory seawater experiments [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(5), doi: 10.1029/2008GL036318.
- [65] Song G, Xie H, Aubry C, *et al.* Spatiotemporal variations of dissolved organic carbon and carbon monoxide in first-year sea ice in the western Canadian Arctic [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 2011, 116(C11), doi: 10.1029/2010JC006867.
- [66] Rysgaard S, Glud R N, Sejr M, *et al.* Inorganic carbon transport during sea ice growth and decay: A carbon pump in polar seas [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 2007, 112(C3), doi: 10.1029/2006JC003572.
- [67] Randall K, Scarratt M, Lavoisier M, *et al.* First measurements of nitrous oxide in Arctic Sea ice [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 2012, 117(C5), doi: 10.1029/2011JC007340.
- [68] Delille B, Jourdain B, Borges A V, *et al.* Biogas (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dimethylsulfide) dynamics in spring Antarctic fast ice [J]. *Limnology and Oceanography*, 2007, 52(4): 1 367.
- [69] Rysgaard S, Bendtsen J, Pedersen L, *et al.* Increased CO<sub>2</sub> uptake due to sea ice growth and decay in the Nordic Seas [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 2009, 114(C9), doi: 10.1029/2008JC005088.
- [70] Craig H, Gordon L I. Nitrous oxide in the ocean and the marine atmosphere [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1963, 27(9): 949–955.
- [71] Junge C, Hahn J. N<sub>2</sub>O measurements in the North Atlantic [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1971, 76(33): 8 143–8 146.
- [72] Hahn J. Nitrous oxide in the oceans [M] // Delwiche C C, ed. Denitrification, Nitrification and Atmospheric Nitrous oxide. New York: John Wiley & Sons Inc, 1981: 191–277.
- [73] Hahn J. The North Atlantic Ocean as a source of atmospheric N<sub>2</sub>O [J]. *Tellus*, 1974, 26(1/2): 160–168.
- [74] Yoshinari T. Nitrous oxide in the sea [J]. *Marine Chemistry*, 1976, 4(2): 189–202.
- [75] Cicerone R J, Shelter J D, Liu S C. Nitrous oxide in Michigan waters and in US municipal waters [J]. *Geophysical Research Letters*, 1978, 5: 173–176.
- [76] Singh H B, Salas L J, Shigeishi H. The distribution of nitrous oxide/N<sub>2</sub>O/ in the global atmosphere and the Pacific Ocean [J]. *Tellus*, 1979, 31(4): 313–320.
- [77] Hahn J, Thrush B, Nash T. The cycle of atmospheric nitrous oxide [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A*, 1979, 290(1 376): 495–504.
- [78] Cohen Y, Gordon L I. Nitrous oxide production in the ocean [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 1979, 84(C1): 347–353.
- [79] Naqvi S W A. N<sub>2</sub>O production in the ocean [J]. *Nature*, 1991, 349: 373–374.
- [80] Naqvi S W A, Jayakumar D A, Nair M, *et al.* Nitrous oxide in the western Bay of Bengal [J]. *Marine Chemistry*, 1994, 47(3/4): 269–278.
- [81] Lal S, Patra P K. Variabilities in the fluxes and annual emissions of nitrous oxide from the Arabian Sea [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1998, 12(2): 321–327.

- [82] Patra P K , Lal S , Venkataramani S , *et al.* Seasonal and spatial variability in  $N_2O$  distribution in the Arabian Sea [J]. *Deep Sea Research Part I* , 1999 , 46( 3) : 529-543.
- [83] Kock A , Schafstall J , Dengler M , *et al.* Sea-to-air and diapycnal nitrous oxide fluxes in the eastern tropical North Atlantic Ocean [J]. *Biogeosciences* , 2012 , 9( 3) : 957-964.
- [84] Walter S , Bange H W , Wallace D W R. Nitrous oxide in the surface layer of the tropical North Atlantic Ocean along a west to east transect [J]. *Geophysical Research Letters* , 2004 , 31( 23) : L23S07 , doi: 10. 1029/2004GL019937.
- [85] Zhang Guiling. Studies on Biogeochemistry of Dissolved Methane and Nitrous Oxide in the Coastal Waters of China [D]. Qingdao: Ocean University of China 2004. [张桂玲. 中国近海部分海域溶解甲烷和氧化亚氮的生物地球化学研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学 2004. ]
- [86] Xu Jirong , Wang Youshao , Zhang Fengqin , *et al.* Studies on formation mechanism and distribution of nitrous oxide in northeastern South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography* , 2006 , 25( 4) : 66-74. [徐继荣, 王友绍, 张凤琴, 等. 南海东北部海水中  $N_2O$  分布与产生机制的初步研究 [J]. 热带海洋学报 , 2006 , 25( 4) : 66-74. ]
- [87] Zhang G L , Zhang J , Liu S M , *et al.* Nitrous oxide in the Changjiang ( Yangtze River) Estuary and its adjacent marine area: Riverine input , sediment release and atmospheric fluxes [J]. *Biogeosciences* , 2010 , 7( 1) : 3 505-3 516.
- [88] Zhang G , Zhang J , Xu J , *et al.* Distributions , sources and atmospheric fluxes of nitrous oxide in Jiaozhou Bay [J]. *Estuarine , Coastal and Shelf Science* , 2006 , 68( 3/4) : 557-566.
- [89] Zhan Liyang , Chen Liqi , Zhang Jiexia , *et al.* Distribution of  $N_2O$  in the Jiulongjiang River Estuary and estimation of its air-sea flux during winter [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* , 2011 , 30( 2) : 189-195. [詹力扬, 陈立奇, 张介霞, 等. 冬季九龙江河口表层水体  $N_2O$  分布特征及海气通量的初步研究 [J]. 台湾海峡 , 2011 , 30( 2) : 189-195. ]
- [90] Rasmussen R A , Krasnec J , Pierotti D.  $N_2O$  analysis in the atmosphere via electron capture-gas chromatography [J]. *Geophysical Research Letters* , 1976 , 3( 10) : 615-618.
- [91] Zhan L Y , Chen L Q , Zhang J X , *et al.* A system for the automated static headspace analysis of dissolved  $N_2O$  in seawater [J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* , 2013 8: 828 - 842.
- [92] Orsi A H , Whitworth T , Nowlin W D. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current [J]. *Deep Sea Research Part I* , 1995 , 42( 5) : 641-673.

## Review on Researches of Nitrous Oxide in the Southern Ocean and Relative New Technologies

Zhang Jiexia<sup>1 2</sup> , Zhan Liyang<sup>2</sup> , Chen Liqi<sup>2</sup>

( 1. Ocean and Earth Science College of Xiamen University , Xiamen 361005 , China;  
2. Key Laboratory of Global Change and Marine-Atmospheric Chemistry of State Oceanic Administration ( SOA ) , Third Institute of Oceanography , SOA , Xiamen 361005 , China)

**Abstract:** Nitrous oxide is an important greenhouse gas , which has a long lifetime of about 120 years and has a 310 times greenhouse effect than  $CO_2$ . Since the industrial revolution , the atmospheric  $N_2O$  concentration has increased significantly by 20%. Ocean is a net source , about 1/3 of total oceanic source. Southern Ocean is an important part of the global ocean system , has a unique hydrological characteristics. So far it is regarded as a significant natural source to the global  $N_2O$  flux according to the model studies. However , the field work is very limit , due to the fierce in situ conditions. The importance of  $N_2O$  researches of Southern Ocean , progresses of nitrous oxide researches , especially new technologies applied to underway  $N_2O$  measurements in the Southern Ocean are reviewed. The advance of field , model studies and their problems or uncertainties that need to be resolved are also discussed. The using of stable isotope methods will provide powerful tools for marine  $N_2O$  mechanism. Development of high-precision monitoring technology is generally the driving force of future research. Developing techniques of laser spectroscopy in marine  $N_2O$  studies and measurement of  $N_2O$  in sea ice will provide powerful tools to differentiate the  $N_2O$  source sink characteristic , constrain their budget and formation mechanism in region such as Southern Ocean.

**Key words:** Nitrous oxide; Greenhouse gas; Southern Ocean; New technology.