

# 极区海洋碳池变化性和脆弱性 及其探测工程技术

陈立奇<sup>1,2,3</sup>

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

3. 国家海洋局极地考察办公室, 北京 100860)

[摘要] 利用中国南极考察和北极科学考察在南大洋和西北冰洋开展的连续围绕大气和表层海水  $p\text{CO}_2$  及其相关参数观测和海气  $\text{CO}_2$  通量评估, 阐述南大洋和西北冰洋碳池的年际变化性, 分析探讨其脆弱性, 并展望了极区海洋碳池探测工程技术。

[关键词] 碳循环; 变化性和脆弱性; 南大洋; 西北冰洋; 探测工程技术

[中图分类号] P71 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)10-0079-07

## 1 极区海洋碳池变化性和脆弱性观测研究 的意义及关键科学问题

### 1.1 观测研究的意义

进入 21 世纪, 人为排入大气的  $\text{CO}_2$  进程更加快速。来自全球碳计划 (GCP) 统计报告表明, 2007 年化石燃料燃烧产生的  $\text{CO}_2$  高达  $8.5 \text{ Pg C}$  进入大气, 比 2000 年增加了  $1.5 \text{ Pg C}$  (21%); 海洋吸收大气  $\text{CO}_2$  也在增加, 2007 年估算有  $2.3 \text{ Pg C}$  被海洋吸收, 比 2000 年增加了  $0.3 \text{ Pg C}$  (15%)<sup>[1,2]</sup>。过去 200 年, 约 25% ~ 30% 被大洋吸收的  $\text{CO}_2$  来自化石燃料燃烧、水泥制造和土地利用等活动。海洋对大气碳的吸收大大地降低了大气中  $\text{CO}_2$  的增长速度, 同时也减缓了人为活动驱动气候变化的速率。但是, 海洋大量吸收大气  $\text{CO}_2$  也会产生明显的负作用, 即使表层海水中 pH 值降低, 造成海水酸化并破坏海洋生态系统。

人们对极区碳池变化性评估还与全球“碳丢失”(carbon missing sink) 问题紧密相关。全球“碳

丢失”是指矿物燃烧等释放的  $\text{CO}_2$  量超过同期地球大气  $\text{CO}_2$  的增量及海洋吸收量的现象。McNeil<sup>[3]</sup> 采用一种基于全球海洋氟氯碳观测数据的技术, 评价 1980—1999 年海洋的人类  $\text{CO}_2$  储存量。发现 1980—1989 年海洋储存  $14.8 \text{ Gt C}$ , 而 1990—1999 年为  $17.9 \text{ Gt C}$ , 分别对应每年海洋对人为  $\text{CO}_2$  净吸收的  $1.6$  和  $2.0 \pm 0.4 \text{ Gt C}$ 。那么, 海洋对人为  $\text{CO}_2$  的真正吸收能力到底是多少? 评估中所丢失的碳“汇”可能会在哪里? 有人认为陆架边缘海可能是碳丢失的主要去处。因为陆架边缘海占全球海洋总面积的 7.6%, 生物生产力比较高。然而, 有些学者研究表明, 陆架上的生产力不足以支持有机碳由陆架向陆坡运输的假说, 陆架边缘海不可能是碳丢失的主要去处<sup>[4]</sup>。从人类对地球的了解程度来看, 两极地区是属于了解较少的地区。由于极区低温和复杂的海洋水团交换特征以及北极广袤的苔原, 越来越多的国家或国际项目都把南大洋和北冰洋的碳循环研究评估纳入全球大科学调查计划<sup>[5,6]</sup>。因此调查研究极区的碳循环, 对于寻找全球碳丢失和理解极

[收稿日期] 2009-08-18

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(40531007, 49836010); 面上项目(40276001, 40676062); 国家财政部国际极地年中国行动计划专项(IPY2008-P050400104-03); 科技部国际科技合作项目(2009DFA22920, 2008DFA20420)

[作者简介] 陈立奇(1945-), 男, 福建晋江市人, 研究员, 研究方向为海洋大气化学和极地环境科学及其探测工程技术与开发;

E-mail: Lqchen@soa.gov.cn

区碳的生物地球化学循环及其对全球气候潜在影响评估都有重要意义<sup>[7,8]</sup>。

## 1.2 观测研究的关键科学问题

观测研究的关键科学问题有：a. 当前海-气 CO<sub>2</sub> 通量的 10 年际的变化？如何预测今后趋势？ b. 海-气 CO<sub>2</sub> 通量变化的主要控制过程？ c. 目前是否有合适的模拟所观测到变化的极区大洋和大气模式？ d. 海洋生态系变化对海-气 CO<sub>2</sub> 通量的可能贡献？ e. 极区大洋碳-气候变化观测战略，观测系统工程技术和模式创新？

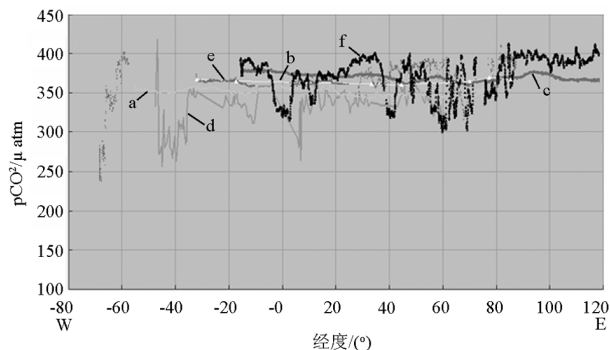
## 2 南大洋和西北冰洋碳池的变化性

我国的极地科学考察计划十分重视极区碳循环观测研究。“九五”和“十五”分别执行了两个国家重点自然科学基金项目“南大洋海冰区碳循环的研究”和“白令海与西北冰洋碳通量及其对北极快速变化的响应”，一系列的国家攻关计划、重大支撑计划、“八六三”计划和国家科技专项都包含海洋碳循环调查研究课题。这些计划项目的实施，使我国在南大洋和西北冰洋碳循环的研究取得了重大的进展<sup>[9-13]</sup>。

### 2.1 全球变化背景下极区海洋和大气 CO<sub>2</sub> 的年际变化性

1999—2008 年，笔者等连续获取了中国第 16 次、21 次和 24 次南极考察 (Chinese National Antarctic Research Expedition - CHINARE) 沿 60°E 从南极半岛长城站到东南极中山站的表层海水和大气 CO<sub>2</sub> 分压 (pCO<sub>2</sub>) 及相关参数的现场走航观测数据 (航线见图 1)。南大洋上覆大气 CO<sub>2</sub> 分压由 1999/2000 年 (南半球夏季) 的 353.8 μatm (微大气压, 即 10<sup>-6</sup> 标准大气压) 上升到 2007/2008 年 (南半

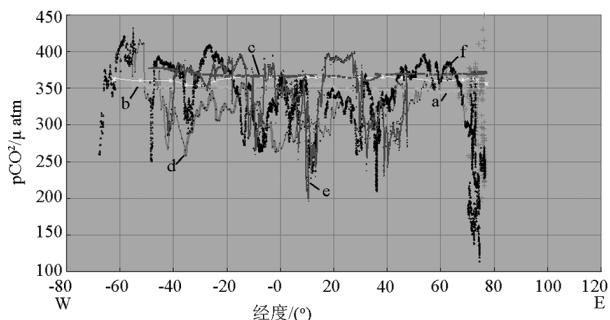
球夏季) 的 369.3 μatm, 增长了 15.5 μatm。与之对应的南大洋表层海水 CO<sub>2</sub> 分压也相应地升高, 9 年中平均增长了 23.3 μatm (其中 12 月份上升了 33.5 μatm, 1—2 月份上升 21.3 μatm, 此为 60°W ~ 76°E 区间同一区域比较), 均高于大气 CO<sub>2</sub> 分压的增长速度, 表明南大洋碳吸收能力出现了弱化的趋势, 如图 2、图 3 所示。



其中, 大气 CO<sub>2</sub> 分压线: a—1999; b—2005; c—2007;  
海水 CO<sub>2</sub> 分压线: d—1999; e—2004; f—2007

图 2 1999, 2004 及 2007 年 12 月份从中山到长城南大洋大气及表层海水 pCO<sub>2</sub> 分布及变化

Fig. 2 Variability and distribution of pCO<sub>2</sub> in atmosphere and surface water from Zhongshan Station to Changcheng Station in December respectively in 1999, 2004, and 2007

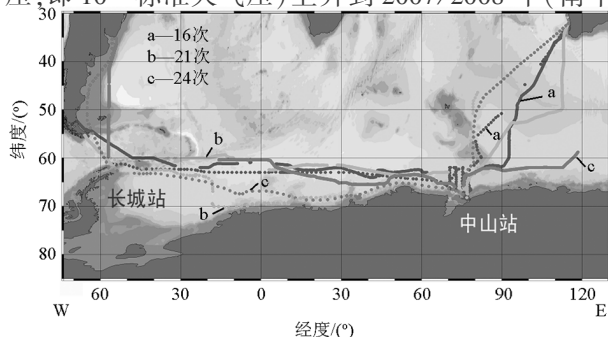


其中, 大气 CO<sub>2</sub> 分压线: a—2000; b—2005; c—2008  
海水 CO<sub>2</sub> 分压线: d—2000; e—2005; f—2008

图 3 2000, 2005 及 2008 年 1—2 月份南大洋从长城站到中山站大气及表层海水 pCO<sub>2</sub> 分布及变化

Fig. 3 Variability and distribution of pCO<sub>2</sub> in atmospheric and in surface water from Changcheng Station to Zhongshan Station in January and February respectively in 2000, 2005, and 2008

2008 年首次获得 2 月份南大洋表层海水 CO<sub>2</sub> 分压的实际观测数据, 并且范围比原来从中山站至长城站 (60°W ~ 70°E) 范围更大, 海-气碳通量格



实线为 12 月份航线 (中山站→长城站);  
虚线为 1—2 月份航线 (长城站→中山站)

图 1 中国第 16 次、21 次以及 24 次南极考察航线图

Fig. 1 Cruise tracks of the 16<sup>th</sup>, 21<sup>st</sup> and 24<sup>th</sup> Chanare

局和变化也因此更加复杂,显示出了整个南大洋对CO<sub>2</sub>吸收的变化性和复杂性。同一季节,不同区域的南大洋水体可以从CO<sub>2</sub>的极强汇变化至无吸收甚至是源,显示出了剧烈的空间分布变化差异。尽管存在很大的不确定性,但南大洋是大气CO<sub>2</sub>的重要吸收区是笔者等所观测到和遥感大尺度评估的结论<sup>[10,12-14]</sup>。通过笔者对南大洋碳池的10年观测,发现其变化性特征为:a.南大洋表层pCO<sub>2</sub>存在着很大的年际及季节变化,但表层海洋碳收支格局在区域上的表现还是大致稳定的。b.随着全球大气CO<sub>2</sub>浓度的增长,南大洋表层海水pCO<sub>2</sub>整体平均水平也在提升,而且其上升幅度高于大气pCO<sub>2</sub>水平,其对大气中CO<sub>2</sub>吸收能力上有减小的趋势。

## 2.2 10年间北冰洋碳吸收变化及其对北极快速变化的响应

中国从1999年开展了首次北极科学考察(CHINARE Arctic I),随后又分别于2003年及

2008年实施了第二次及第三次北极科学考察。从图4中测区可发现,执行3次西北冰洋考察航次的“雪龙”号破冰船航迹,从1999年最北到达75°N,2003年80°N到2008年的85°N,表明夏季北冰洋覆盖的海冰在北极快速变暖情景下出现了快速地融化态势。近10年周期的观测表明,随着北冰洋海冰快速融化,开阔水面也不断扩大,陆架和陆缘海区较高的初级生产力,加上来自白令海高营养盐和低pCO<sub>2</sub>水体的输入,强化了生物泵的运转效率,因此整个测区展现的是一个CO<sub>2</sub>的强汇。

笔者等从2008年北极科考中所观测的数据分析中发现,原先北冰洋海冰覆盖下的海域其表层海水pCO<sub>2</sub>低于大气pCO<sub>2</sub>值,也就是说,水体本身就是潜在的大气CO<sub>2</sub>的汇,在北极快速变化的今天,海冰一旦化开的水域就能吸收大气CO<sub>2</sub>,这对全球增暖起到减缓的作用(见图5)。

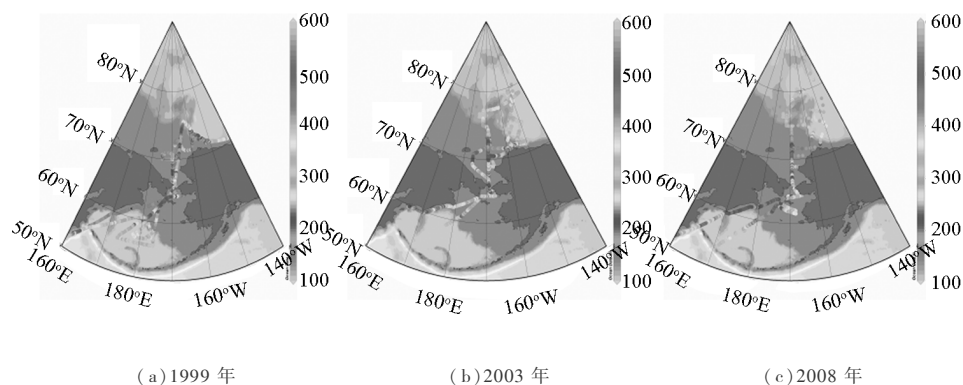


图4 1999,2003,2008年西北冰洋夏季pCO<sub>2</sub>

Fig.4 Distribution of pCO<sub>2</sub> in the summer in the western Arctic Ocean in 1999,2003 and 2008

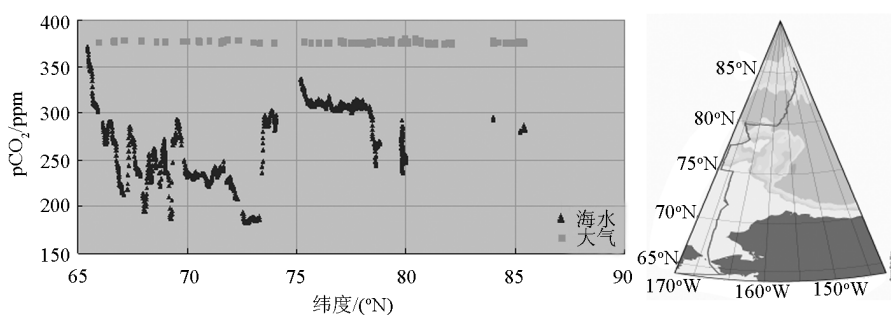


图5 2008年白令海峡至85.5°N北冰洋的纬度断面pCO<sub>2</sub>分布变化(右图实线为测线)

Fig.5 Latitudinal variations of pCO<sub>2</sub> between the Bering Strait and 85.5°N in the Arctic Ocean( line in right picture for the surveyed area)

注:1 ppm = 10<sup>-6</sup>

1999,2003和2008年的3个北冰洋航次的

海—气CO<sub>2</sub>通量如图6所示,其通量对比见表1。

所有观测海区的海-气 CO<sub>2</sub> 通量都呈现出海水对大气 CO<sub>2</sub> 的吸收,加拿大海盆新融化开的海域也都呈现出对大气 CO<sub>2</sub> 的强吸收,同时,先前化开水域在海冰不断后退、由浮冰区变为无冰区之后,吸收能力开始下降。这可能是由于无冰的开阔水域在较长时间太阳辐射作用下,表层海水温度升高导致了物理泵作用加强,生物泵作用减弱。这种作用机制在2008年航次中更加明显,8月初和9月初对楚科奇海的重复走航观测表明,9月比8月的平均温度高出3.2℃(分别为4.2℃和0.9℃),8月观测到的平均 pCO<sub>2</sub> 为208 μatm,9月平均为244 μatm,可见

开阔水域经久辐射后温度升高而使表层 pCO<sub>2</sub> 的含量升高。因此,笔者等对北冰洋夏季的海气 CO<sub>2</sub> 交换提出了一种“低—低—高”情景假设:即冬季海冰覆盖下的表层 CO<sub>2</sub> 浓度低于海冰上面大气 CO<sub>2</sub> 浓度,由于海冰隔离,海-气 CO<sub>2</sub> 不会出现实质性的交换;夏天到来,在刚融化的海冰区,海-气 CO<sub>2</sub> 浓度差加上海冰区高生物生产力双重作用下,这时的海水所表现的是对大气 CO<sub>2</sub> 的强吸收;随着太阳辐射对开阔海域作用加强和白令海输入北冰洋水团加强作用下,无冰的开阔海区这时表现出碳汇减弱的趋势。

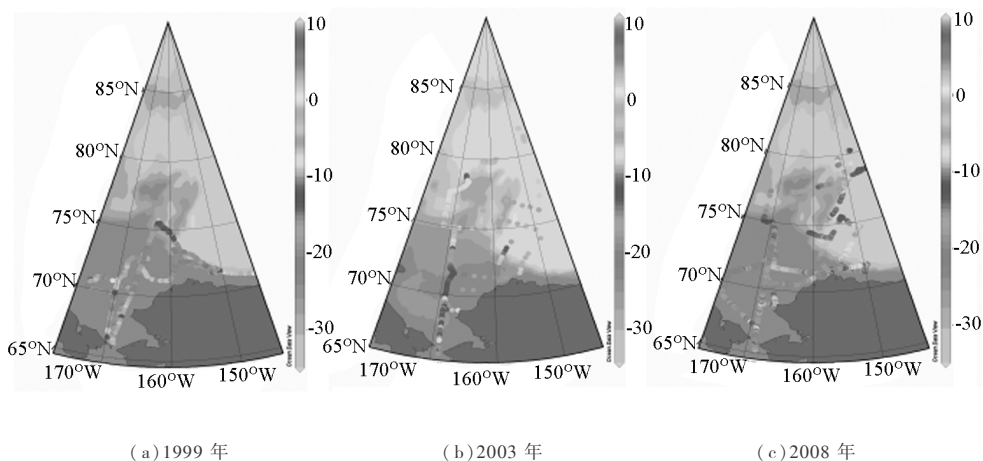


图6 1999,2003,2008年西北冰洋碳吸收通量变化

Fig. 6 Variations of sea-air fluxes of CO<sub>2</sub> in 1999,2003 and 2008

表1 1999,2003,2008年西北冰洋碳吸收通量对比

Table 1 Comparison of sea-air fluxes of CO<sub>2</sub> in the western Arctic Ocean in 1999,2003 and 2008

年份	楚科奇海	加拿大海盆	
		(浮冰区)	(无冰区)
1999	-18.9 ± 6.8	冰覆盖	
2003	-18.2 ± 7.0	-14.0 ± 2.7	
2008	-16.5 ± 4.4	-10.4 ± 1.6	-3.6 ± 2.3

从表1可看出9年间北冰洋单位面积吸收能力与南大洋一样有弱化的趋势。在高生产力的楚科奇海,这种弱化作用并不明显,因为它是生物泵主控,同时白令海入流水输运了大量的营养盐也会大大地增强了生物泵功效。但在寡营养盐、低生产力的加拿大海盆区,这种弱化作用就更加明显。总之,就北极碳汇而言,由于北极海冰的快速变化,北冰洋碳吸

收的面积迅速增大,无冰期时间增长,这些都十分有利于碳吸收,因而北冰洋的整体开阔水域碳吸净收量是增加的。

### 3 南大洋和西北冰洋碳池脆弱性

在大洋-碳-气候系统中,引起极区海洋碳池主要的脆弱性包含有海冰快速变化、海水变暖效应、垂直层化增强,使表层 pCO<sub>2</sub> 向南大洋西风带和向极方向增加,生物泵加剧和生态系统功能产生变异等<sup>[15]</sup>。北极海冰快速退缩所带来的更多的 CO<sub>2</sub> 吸收,以及海洋吸收 CO<sub>2</sub> 后所带来的对全球气候变化的反馈作用,这些变化性对预测未来气候变化增加了不确定性和难度。而南大洋,相对北冰洋海冰变化较小,东南极海冰面积表现略为增加,而西南极是减少,并且在东南极太平洋扇面(增加)和西南极威德尔海(减少)表现出十年际的翘翘板关系<sup>[16]</sup>。因此,对极区海洋 CO<sub>2</sub> 脆弱性的分析,笔者等将对对比

南北极海区表层 CO<sub>2</sub> 分布格局的差异性,及影响这些差异性的主要驱动因子。

### 3.1 南北极海区表层 CO<sub>2</sub> 分布格局的差异性

南大洋和北冰洋,作为高纬度大洋,在碳循环特征上具有相似性,也有明显的差异性。通过对表层海水 CO<sub>2</sub> 分压分布及其主要调控因子分析表明:在夏季高生产力季节,南、北极海冰区都呈现出显著的大气 CO<sub>2</sub> 的汇区,但其分布特征及其主要控制因子却明显不一样。在南大洋海冰区,夏季生物影响通常都能够发展成 pCO<sub>2</sub> 的主要调控因子,其 pCO<sub>2</sub> 分

布整体上与生产力成负相关。南极中山站至长城站之间(60°W ~ 80°E)海冰区的走航观测研究表明,CO<sub>2</sub> 的源汇分布格局与叶绿素的分布状况相吻合(见图7)。这种分布格局在12月份及1月份几乎相同,并且在生产力更高的1月,其 pCO<sub>2</sub> 有明显的下降趋势,反映了生物的主控与明显影响。在南极普里兹湾地区,pCO<sub>2</sub> 几乎完全为生物过程所控制,其 pCO<sub>2</sub> 与叶绿素分布之间有良好的负相关关系,演化成为 CO<sub>2</sub> 的一个强汇区。

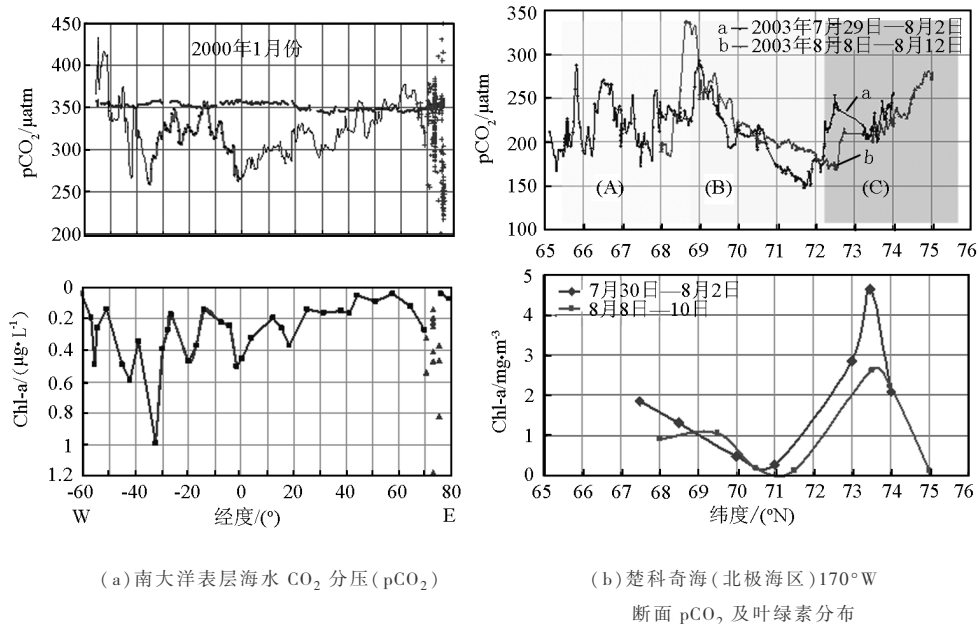


图7 南北极海区碳循环的差异对比:pCO<sub>2</sub> 分布格局及其控制

Fig. 7 Comparison of carbon cycle variabilities between the Southern Ocean and the western Arctic Ocean: pattern and controlling factors

在北半球夏季,北极海区 pCO<sub>2</sub> 分布规律却并不简单地与生物生产力相关,而是受到更多因素的强烈影响,控制影响的因素十分复杂,并且随区域变化性也很大。在西北冰洋,pCO<sub>2</sub> 分布规律在表现上存在着受海区性质的影响。总的分布格局为:陆架区 pCO<sub>2</sub> 值很低,而在海盆区则有较高的 pCO<sub>2</sub> 值,陆坡区则介于两者之间,但从陆架区向深水海盆区会出现快速升高。对比不同区域 pCO<sub>2</sub> 控制因子的深入研究发现,北冰洋 pCO<sub>2</sub> 值的时空变异特征是受到更多的驱动因子的综合影响:在楚科奇海区(图7右上A,主要为靠近白令海峡的楚科奇海陆架区),pCO<sub>2</sub> 值明显受到两种因素的影响:生物泵作用与白令海峡入流水影响;在密集海冰区

(图7右上C),pCO<sub>2</sub> 值随纬度升高而增加,可能是由于生物吸收能力的变化所致;而在密集海冰区与无冰区的中间地带(图7右上B),是同样面积广大的边缘海冰区(marginal ice zone, MIZ),这里 pCO<sub>2</sub> 值与温度、盐份同步变化,都随纬度(也就是离冰边缘的距离)的升高而剧烈降低。因此,在北极 CO<sub>2</sub> 似乎受到更多因素的强烈影响,其控制影响因素更加复杂,并且区域变化性很大,但北冰洋快速融冰情景和太阳辐射等对表层 pCO<sub>2</sub> 分布格局的影响也会是一种重要影响因素。

### 3.2 南大洋和西北冰洋表层 CO<sub>2</sub> 分布格局主要影响因子

极区 CO<sub>2</sub> 表现出极大的时间及空间尺度上的

变化性,而其变化率是受控于物理、化学、生物、大气和区域地理等特征。提取主要影响要素,分析碳池的稳定性,对于评估其在全球碳循环中角色和对气候变化影响是有重要意义的。

南大洋在融冰季节,12月份及1月份不同生产力水平下,表层海水  $\text{CO}_2$  分压即显示出较大的差异,整体上表现出受到生产力水平的控制。而在不同的年份,其年间变异性也十分显著,表现出极区  $\text{CO}_2$  较大的季节及年际变化性。在空间分布上,南大洋  $70^\circ\text{W} \sim 80^\circ\text{E}$  海区所表现出的整体  $\text{CO}_2$  的空间分布格局还是相对稳定的。

北冰洋  $\text{pCO}_2$  值的时空变异性更加明显。不同海区由于位于不同的地理位置受到局地固有驱动因子作用,如在楚科奇海区的生物泵和白令海峡入流水双重作用影响,加拿大海盆区的物理泵主控外,笔者还观测到的不同融冰情景所带来的  $\text{pCO}_2$  分布格局变化,从海冰刚融化区的低  $\text{pCO}_2$  到经久海区的增加,从密集海冰区与无冰区的中间地带,  $\text{pCO}_2$  值随纬度的升高而降低,表明了海冰融化情景也会很大地影响着  $\text{pCO}_2$  的分布格局。

从以上对比分析看出,南大洋  $\text{pCO}_2$  分布格局大致稳定,但是年际变化是显著的;而西北冰洋则受到局地固有驱动因子作用外,还与融冰情景的变化紧密相关。

## 4 极区海洋碳池探测系统工程技术

探测极区海洋碳池变化性和脆弱性,是全球碳循环科学和气候变化科学极其重要的研究内容,极区探测系统工程是大科学系统工程学范畴,具有明确的科学目标、高技术的观测网建设、可持续的支撑能力、有效的国际合作、合适的运行机制和可预期的效果<sup>[17]</sup>。

### 4.1 建立极区碳池相关参数的立体观测平台

国际地圈生物圈计划(IGBP)的第2阶段研究计划,全球碳循环观测成为极其关键的内容,同时积极推动各国参加建设极区海洋碳循环等相关要素的立体观测平台。我国参与开发和建设的平台包括:遥感和航空大气  $\text{CO}_2$  垂直廓线观测,走航大气-表层海水  $\text{pCO}_2$  观测系统,锚系浮标碳真光层输入输出通量观测,漂流浮标和剖面滑翔碳环流输送过程观测,潜标 POC 和生物地球化学过程观测,海底沉积物钻取碳埋藏速率、矿化和再矿化过程以及古碳循环等研究平台建设<sup>[18]</sup>。

### 4.2 高质量碳观测数据库建设

由国际科联下设的南极科学委员会和国际北极科学委员会都成立了南极和北极观测数据库网小组,与 SOLAS-IMBER 联合发起碳实施计划的重要内容是支持建立表层-大洋和大气碳-观测系统包括相关的数据链<sup>[19]</sup>。我国充分利用中国极地数据库、国家部委极地研究实验室,与国际极地科学组织数据库连接,建立有效的极区碳观测数据库和使用机制<sup>[20]</sup>。

### 4.3 发展碳观测高新技术和极区碳循环模式

在国际大洋-碳-气候耦合模型基础上,发展南大洋和北冰洋的海洋生物化学环流模式,由包括海洋环流模式、海洋碳化学和海洋生物过程等组成。既能研究海洋流场、温度和盐度,又能研究海洋中的各种生物化学物质,如营养盐和溶解氧等,其目的是对  $\text{CO}_2$  的时空分布同观测资料比较和校验以减小不确定性、更好地模拟海洋自然碳循环和人为叠加影响、有效地模拟与  $\text{CO}_2$  有关的气候变化及反馈过程。我国在国家重大支撑计划、“八六三”极区大气环境遥感技术项目的支持下,开展大气和海洋碳观测高新技术和大尺度海气碳通量评估模式。包括利用卫星遥感资料反演大气中的  $\text{CO}_2$  浓度和评估极区海气  $\text{CO}_2$  通量。与美国等合作,开发海-气  $\text{pCO}_2$  走航观测技术、发展南大洋海水加铁实验技术和碳循环模式。

## 参考文献

- [1] Global Carbon Project. Carbon budget and trends 2007 [EB/OL]. <http://www.globalcarbonproject.org>
- [2] IPCC. Climate Change Third Assessment Report: The Scientific Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001
- [3] McNeil B I, Matear R J, Key R M, et al. Anthropogenic  $\text{CO}_2$  uptake by the ocean based on the global chlorofluorocarbon data set [J]. Science, 2003, 299:235-239
- [4] 胡敦欣,杨作升,等. 东海海洋通量关键过程 [M]. 北京:海洋出版社, 2001
- [5] 陈立奇,等. 北极海洋环境与海气相互作用研究 [M]. 北京:海洋出版社, 2003
- [6] SOOS The Southern Ocean Observing System [EB/OL]. <http://www.ioc-goos.org>
- [7] 陈立奇,赵进平,卞林根,等. 影响北极地区迅速变化的一些关键过程研究 [J]. 极地研究, 2003, 15(4):283-302
- [8] 高众勇,陈立奇,王伟强. 南北极海区碳循环与全球变化研究 [J]. 地学前缘, 2002, 9(2):263-269
- [9] 陈立奇,高众勇,王伟强,等. 白令海盆  $\text{pCO}_2$  分布特征及其对北极碳汇的影响 [J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(8):781-790
- [10] 陈立奇,高众勇,王伟强,等. 南大洋海冰区  $\text{CO}_2$  源汇分布及

- 其海-气通量. 陈立奇主编. 南极地区对全球变化的响应与反馈作用研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2004
- [11] Chen Liqi, Gao Zhongyong. Spatial variability in the partial pressures of CO<sub>2</sub> in the northern Bering and Chukchi seas[J]. Deep Sea Research II 2007, 54/23 - 26, 2619 - 2629
- [12] 高众勇, 陈立奇, 杨绪林, 等. 普里兹湾夏季海-气 CO<sub>2</sub> 分布特征、碳通量及其主要调控因子研究. 陈立奇主编. 南极地区对全球变化的响应与反馈作用研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2004
- [13] Gao Zhongyong, Chen Liqi, Gao Yuan. Air - sea Carbon Fluxes and their controlling Factors in Prydz Bay, the Antarctic[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 27(3): 136 - 146
- [14] 许苏清, 陈立奇. 利用卫星数据估算南大洋海-气 CO<sub>2</sub> 通量的展望[J]. 极地研究, 2007, 19(2): 151 - 157
- [15] Doney S, Tilbrook B, Roy S. Surface - ocean CO<sub>2</sub> variability and vulnerability[J]. Deep - Sea Research II 56, 2009, 504 - 511
- [16] Liu J J, Curry, Martinson D. Interpretation of recent Antarctic sea ice variability[J], Geophysical Research Letters, 2004, 31, L02205, doi:10.1029/2003.GL018732
- [17] 陈立奇. 极地系统科学考察—大科学系统工程管理探索[J]. 中国工程科学, 2004, 6(2): 1 - 7
- [18] 陈立奇, 杨绪林, 张远辉, 等. 海洋 - 大气二氧化碳通量的观测技术[J]. 海洋技术, 2008, 27(4): 9 - 13
- [19] SOLAS - IMBER [EB/OL]. [http://www.imber.info/C\\_WG.html](http://www.imber.info/C_WG.html)
- [20] 中国南北极数据中心 [EB/OL]. <http://www.chinare.org.cn/pages/metadataSearch.jsp>

## Variability and vulnerability of carbon pools in Southern Ocean and western Arctic Ocean and their exploratory engineering technology

Chen Liqi<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Lab of Global Change and Marine - Atmospheric Chemistry, State Oceanic Administration (SOA), Xiamen, Fujian 361005, China; 2. Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen, Fujian 361005, China; 3. Chinese Arctic and Antarctic Administration, Beijing 100860, China)

[Abstract] Chinese national arctic and antarctic research expeditions (CHINARE) have continuously conducted out underway sea-air pCO<sub>2</sub> and its relative parameters measurements in the Southern Ocean and the western Arctic Ocean for 10 years. The distribution of surface pCO<sub>2</sub> and sea-air fluxes of CO<sub>2</sub> were analyzed to understand variability of carbon pools for both oceans. Vulnerability of the both carbon pools was appreciated for their roles in world oceanic carbon cycle. Exploring engineering technology was also discussed to develop a polar oceanic carbon pools observatory.

[Key words] carbon cycle; variability and vulnerability; Southern Ocean; Arctic Ocean; exploring engineering technology