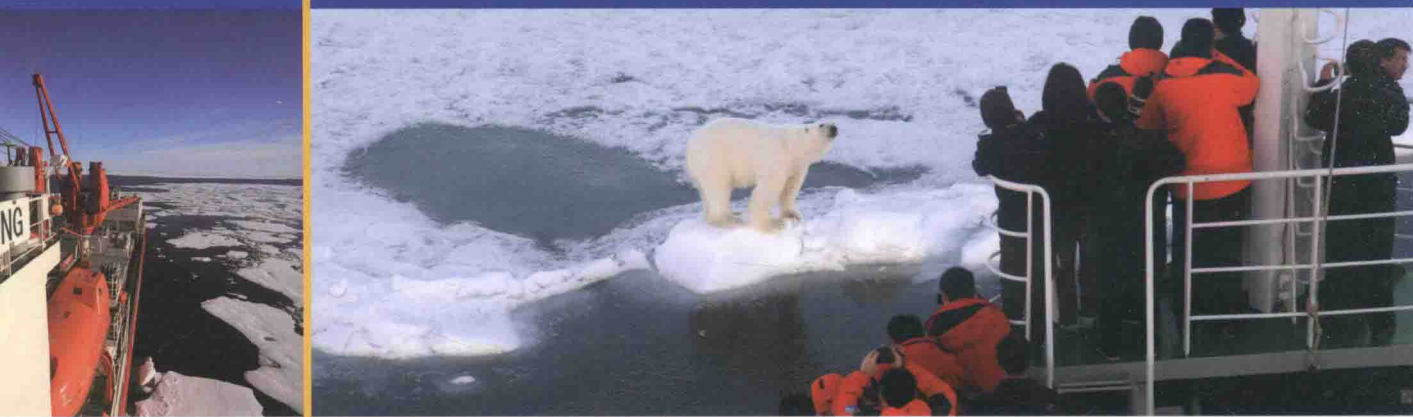




“南北极环境综合考察与评估”专项

03-04

北极海洋化学与 碳通量考察



国家海洋局极地专项办公室 编



海洋出版社



“南北极环境综合考察与评估”专项

北极海域海洋化学与碳通量考察

国家海洋局极地专项办公室 编

海洋出版社

2016·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

北极海域海洋化学与碳通量考察/国家海洋局极地专项办公室编. —北京: 海洋出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-5027-9435-4

I. ①北… II. ①国… III. ①北极-海域-海洋化学-科学考察-中国②北极-海域-碳循环-科学考察-中国 IV. ①P734

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 097016 号

BEIJI HAIYU HAIYANG HUAXUE YU TANTONGLIANG KAOCHA

责任编辑: 鹿源 苏勤

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 24

字数: 600 千字 定价: 150.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

极地专项领导小组成员名单

组 长：陈连增 国家海洋局
副组长：李敬辉 财政部经济建设司
曲探宙 国家海洋局极地考察办公室
成 员：姚劲松 财政部经济建设司（2011—2012）
陈昶学 财政部经济建设司（2013—）
赵光磊 国家海洋局财务装备司
杨惠根 中国极地研究中心
吴 军 国家海洋局极地考察办公室

极地专项领导小组办公室成员名单

专项办主任：曲探宙 国家海洋局极地考察办公室
常务副主任：吴 军 国家海洋局极地考察办公室
副主任：刘顺林 中国极地研究中心（2011—2012）
李院生 中国极地研究中心（2012—）
王力然 国家海洋局财务装备司
成 员：王 勇 国家海洋局极地考察办公室
赵 萍 国家海洋局极地考察办公室
金 波 国家海洋局极地考察办公室
李红蕾 国家海洋局极地考察办公室
刘科峰 中国极地研究中心
徐 宁 中国极地研究中心
陈永祥 中国极地研究中心

极地专项成果集成责任专家组成员名单

- 组 长：潘增弟 国家海洋局东海分局
- 成 员：张海生 国家海洋局第二海洋研究所
余兴光 国家海洋局第三海洋研究所
乔方利 国家海洋局第一海洋研究所
石学法 国家海洋局第一海洋研究所
魏泽勋 国家海洋局第一海洋研究所
高金耀 国家海洋局第二海洋研究所
胡红桥 中国极地研究中心
何剑锋 中国极地研究中心
徐世杰 国家海洋局极地考察办公室
孙立广 中国科学技术大学
赵 越 中国地质科学院地质力学研究所
庞小平 武汉大学

“北极海域海洋化学与碳通量考察”专题 承担和参与单位名单

承担单位：国家海洋局第二海洋研究所

参与单位：国家海洋局第三海洋研究所

厦门大学

国家海洋局第一海洋研究所

国家海洋环境监测中心

中国科技大学

“北极海域海洋化学与碳通量考察”报告 编写人员名单

编写负责人：陈建芳

国家海洋局第二海洋研究所：陈建芳 金海燕 白有成 庄燕培

李宏亮 李中乔 张海舟

国家海洋局第三海洋研究所：陈立奇 詹力扬 高众勇 孙 恒

张介霞 李玉红

厦门大学：陈 敏 蔡明刚 杨伟锋 郑敏芳 童金炉 胡王江

曾 健 潘 红 朱 晶 方仔铭 贾仁明 李 琦

林 辉 胡慧娜 张 琨

国家海洋局第一海洋研究所：王保栋 厉丞烜

国家海洋环境监测中心：王 震 那广水

中国科技大学：谢周清 康 辉

序 言

“南北极环境综合考察与评估”专项（以下简称极地专项）是2010年9月14日经国务院批准，由财政部支持，国家海洋局负责组织实施，相关部委所属的36家单位参与，是我国自开展极地科学考察以来最大的一个专项，是我国极地事业又一个新的里程碑。

在2011年至2015年间，极地专项从国家战略需求出发，整合国内优势科研力量，充分利用“一船五站”（“雪龙”号、长城站、中山站、黄河站、昆仑站、泰山站）极地考察平台，有计划、分步骤地完成了南极周边重点海域、北极重点海域、南极大陆和北极站基周边地区的环境综合考察与评估，无论是在考察航次、考察任务和内容、考察人数、考察时间、考察航程、覆盖范围，还是在获取资料和样品等方面，均创造了我国近30年来南、北极考察的新纪录，促进了我国极地科技和事业的跨越式发展。

为落实财政部对极地专项的要求，极地专项办制定了包括极地专项“项目管理办法”和“项目经费管理办法”在内的4项管理办法和14项极地考察相关标准和规程，从制度上加强了组织领导和经费管理，用规范保证了专项实施进度和质量，以考核促进了成果产出。

本套极地专项成果集成丛书，涵盖了极地专项中的3个项目共17个专题的成果集成内容，涉及了南、北极海洋学的基础调查与评估，涉及了南极大陆和北极站基的生态环境考察与评估，涉及了从南极冰川学、大气科学、空间环境科学、天文学以及地质与地球物理学等考察与评估，到南极环境遥感等内容。专家认为，成果集成内容翔实，数据可信，评估可靠。

“十三五”期间，极地专项持续滚动实施，必将为贯彻落实习近平主席关于“认识南极、保护南极、利用南极”的重要指示精神，实现李克强总理提出的“推动极地科考向深度和广度进军”的宏伟目标，完成全国海洋工作会议提出的极地工作业务化以及提高极地科学研究水平的任务，做出新的、更大的贡献。

希望全体极地人共同努力，推动我国极地事业从极地大国迈向极地强国之列！

陈连增

循环的影响,评估北冰洋古海洋替代指标的校正和应用;反演北冰洋种群结构、营养盐水平和古生产力的演化历史;充分了解极地海洋边界层气溶胶特别是生物成因气溶胶的种类、成分、时间和空间分布特征,准确理解决定极区生物成因气溶胶来源、分布及转化的大气环境化学过程;了解大气、冰雪及海洋环境各类污染物的污染程度、空间分布及来源。

中国第六次北极科学考察海洋化学考察以海冰快速融化下西北冰洋碳通量和营养要素生物地球化学循环如何响应为主线,重点开展如下研究:①查明北冰洋典型海域海水化学参数、无机碳体系、悬浮颗粒物生源组成的基本分布特征;②利用水化学要素、生物标志物、放射性和稳定同位素对水团和海洋过程进行示踪;③了解北极地区污染物质在各介质中的分布,评价北极海洋环境的污染状况。同时对极区海洋特殊现象的研究也是中国第六次北极考察的重点之一,这些特殊现象包括加拿大海盆营养盐极大现象、叶绿素极大突增现象、白令海盆深层水颗粒有机物的再矿化等。这些调查和研究资料,为我们更加深入了解和认识北极变化及其影响提供了重要的科学依据。

本集成报告作者就北冰洋考察生物地球化学循环问题,应用不同调查研究手段,开展了海水常规化学、放射性和稳定同位素、颗粒物质主要成分和生物标志化合物等参数调查,对北冰洋海气二氧化碳通量时空分布,生源要素分布的空间和时间变化,水团及海洋过程的同位素示踪,北冰洋生物泵过程对环境变化响应的机理,北冰洋海洋古生物地球化学和碳埋藏的演化特征开展了系统的研究。展现了北冰洋科学考察新进展和新认识,从不同方面和层次提供了考察海区的关键数据,揭示了北冰洋生物地球化学循环与全球的关系。

面对北极气候变化的挑战和知识需求,尽管考察路途前方冰天雪地、暴风极寒,考察过程劳苦艰辛、困难重重,我国北极海洋化学考察仍然排除万难,历尽千辛万苦,揭示了隐藏于北极神秘面纱后面各种系统变化的过程、联系、驱动要素和因果关系。我们围绕我国北极考察的总体目标,以北极环境和气候快速变化的海洋生物地球化学过程为线索,以海气界面、海洋水柱、底部沉积物为重点,以气溶胶、海水、海冰、颗粒物、沉积物为研究对象,通过现场生物化学综合调查、现场受控生态实验、同位素示踪等技术手段,采用化学、生物学、沉积学和地球化学相结合的研究方法,开展海水常规化学要素、放射性核素和稳定同位素、颗粒物质主要成分和生物标志化合物等参数调查,对北冰洋海气二氧化碳通量时空分布,生源要素分布的空间和时间变化,水团及海洋过程的同位素示踪,北冰洋生物泵过程对环境变化响应的机理,北冰洋海洋古生物地球化学和碳埋藏的演化特征开展了比较系统的研究,取得了一些进展和新的认识。采用的技术也由原来的常规考察向走航观测、锚系观测发展,分析的参数也越来越向高、精、尖

发展。

本集成报告的成果是众多考察人员多年工作的总结，本报告的内容总体反映了我国第五次和第六次北极考察的过程和收获。鉴于北极考察局限于考察范围和有限目标，本报告呈现给读者的也仅仅是有限考察成果的部分内容。科学考察和研究永无止境，本报告的内容需要进一步更新、完善。本报告在编辑过程中也可能存在诸多错误，因此敬请本报告的读者和使用者，能够随着北极海洋化学考察的进展和研究的深入，不断地给予我们建议和批评，使我们的北极海洋化学考察成果更加丰硕、完满。

陈建芳

2015年6月22日于杭州

目次

- 第1章 总论 (1)
 - 1.1 北极海域海洋化学与碳通量考察专题目标 (1)
 - 1.2 北极海域海洋化学与碳通量考察在专项中的作用 (1)
 - 1.3 北极科学考察的主要范围、时段和时间 (2)
 - 1.3.1 中国第五次北极科学考察 (2)
 - 1.3.2 中国第六次北极科学考察 (2)
 - 1.4 北极海域海洋化学与碳通量主要考察内容、工作量和分工 (2)
 - 1.4.1 中国第五次北极科学考察 (2)
 - 1.4.2 中国第六次北极科学考察 (4)
 - 1.5 北极海域海洋化学与碳通量考察取得的主要成果 (5)
 - 1.5.1 提出了北极快速变化下北冰洋中心区的碳汇效应由强变弱的预测 (6)
 - 1.5.2 初步解释了加拿大海盆营养盐极大现象的形成机制 (6)
 - 1.5.3 在北冰洋同位素示踪海洋学方面取得了重要进展 (7)
 - 1.5.4 北极海域水体、沉积物和大气中DMS研究 (7)
 - 1.5.5 “雪龙”船北极航迹典型有机污染物和重金属调查研究 (8)
 - 1.5.6 北极地区大气中物质的来源、变化、迁移和海—冰—气交换研究 (8)
 - 1.6 北极海域海洋化学与碳通量考察存在的主要问题和建议 (8)
- 第2章 北极海域海洋化学与碳通量考察的意义和目标 (10)
 - 2.1 北极海域海洋化学与碳通量考察背景和意义 (10)
 - 2.2 我国北极海域海洋化学与碳通量考察的简要历史回顾 (14)
 - 2.3 考察海区概况 (17)
 - 2.4 考察目标 (19)
- 第3章 北极海域海洋化学与碳通量考察主要任务 (20)
 - 3.1 考察区域、断面、站位及路线 (20)
 - 3.1.1 中国第五次北极科学考察的区域、断面、站位及路线 (20)
 - 3.1.2 中国第六次北极科学考察的区域、断面、站位及路线 (30)
 - 3.2 北极海洋化学与碳通量考察内容 (42)
 - 3.2.1 海水化学 (42)
 - 3.2.2 大气化学 (43)
 - 3.2.3 沉积化学 (43)
 - 3.2.4 海冰作业 (43)
 - 3.2.5 沉积物捕获器观测锚系 (43)
 - 3.2.6 受控生态实验 (44)



3.3 考察设备(包括实验室分析仪器)	(44)
3.3.1 “雪龙”船 SBE CTD 采水器	(47)
3.3.2 营养盐自动分析仪	(47)
3.3.3 高分辨率硝酸盐等多参数剖面仪	(47)
3.3.4 甲烷与氧化亚氮分析仪	(48)
3.3.5 膜进样质谱仪	(48)
3.3.6 岛津 GC2010Plus 色谱仪	(49)
3.3.7 汞在线监测仪 Tekran 2537 X	(49)
3.3.8 不锈钢真空采样罐	(50)
3.3.9 总悬浮颗粒物(TSP)	(50)
3.3.10 EC9841 氮氧化物分析仪	(51)
3.4 北极海洋化学与碳通量考察人员及分工	(51)
3.5 北极海洋化学与碳通量考察完成工作量	(54)
3.5.1 中国第五次北极科学考察完成工作量	(54)
3.5.2 中国第六次北极科学考察工作量	(55)
3.6 中国北极考察航次(路线)及考察重大事件介绍	(57)
3.6.1 中国第五次北极科学考察	(57)
3.6.2 中国第六次北极科学考察	(57)
第4章 北极海域海洋化学与碳通量考察获取的主要数据与样品	(59)
4.1 北极海域海洋化学与碳通量数据(样品)获取的方式	(59)
4.1.1 营养盐循环与生物泵结构考察各要素的分析方法	(59)
4.1.2 北极区域温室气体与碳通量评估	(60)
4.1.3 北极海域同位素与 POPs 考察	(63)
4.1.4 北极海域部分水体、沉积物及大气化学要素调查与研究各要素的分析方法	(67)
4.1.5 “雪龙”船北极典型航迹有机污染物和重金属调查	(68)
4.1.6 北极海洋边界层大气汞及生物气溶胶调查	(69)
4.2 北极海域海洋化学与碳通量考察获取的主要数据或样品数量	(69)
4.3 北极海域海洋化学与碳通量考察质量控制与监督管理	(75)
4.3.1 北冰洋营养盐循环与生物泵结构考察中的质量控制与监督管理	(75)
4.3.2 北极区域温室气体与碳通量评估的质量控制与监督管理	(76)
4.3.3 北极海域同位素与 POPs 考察的质量控制与监督管理	(77)
4.3.4 北极海域部分水体、沉积物及大气化学要素调查与研究的质量控制与监督管理	(80)
4.3.5 “雪龙”船北极典型航迹有机污染物和重金属调查的质量控制与监督管理	(83)
4.3.6 北极海洋边界层大气汞及生物气溶胶调查的质量控制与监督管理	(84)
4.4 北极海域海洋化学与碳通量数据总体评价情况	(85)

第5章 北极海域海洋化学与碳通量分析与评估	(87)
5.1 化学要素的分析和认识	(87)
5.1.1 海水化学要素的分布特征和变化规律	(87)
5.1.2 北极海域大气化学要素的分布特征和变化规律	(251)
5.1.3 沉积化学要素的分布特征和变化规律	(267)
5.1.4 海冰中化学要素的分布特征和变化规律	(284)
5.2 重点内容的分析与评价	(285)
5.2.1 海冰快速融化下北冰洋碳通量的变化与响应	(285)
5.2.2 同位素对水团和生物地球化学过程的示踪	(285)
5.2.3 海冰快速消融对营养要素生物地球化学循环的影响及生态效应	(317)
5.2.4 海冰快速消融及洋流循环过程对温室气体源汇的调控	(329)
5.2.5 极地海洋边界层大气化学环境过程对全球变化的响应和反馈	(330)
5.2.6 北极地区污染物质在各介质中的分布及污染状况评价	(340)
5.3 北极海域海洋化学与碳通量考察的主要成果(亮点)总结	(353)
5.3.1 北极快速变化对北冰洋碳汇机制和过程的影响	(353)
5.3.2 北冰洋海气 CO ₂ 通量及碳循环研究	(353)
5.3.3 白令海峡淡水构成及其加剧北冰洋海冰融化的作用	(354)
5.3.4 加拿大海盆河水组分和海冰融化水组分近40年的变化规律	(354)
5.3.5 西北冰洋边界清除作用的重要性	(355)
5.3.6 白令海中心海盆深层水异常强烈的颗粒动力学作用	(355)
5.3.7 北冰洋太平洋扇区二甲基硫化物含量及分布的年际变化	(355)
第6章 北极海域海洋化学与碳通量考察的主要经验与建议	(356)
6.1 北极海域海洋化学与碳通量考察取得的重要成果	(356)
6.2 北极海域海洋化学与碳通量对专项的作用	(357)
6.3 北极海域海洋化学与碳通量考察的主要成功经验	(358)
6.4 考察中存在的主要问题及原因分析	(358)
6.5 对未来北极海域海洋化学与碳通量科学考察的建议	(359)
参考文献	(360)

第1章 总论

1.1 北极海域海洋化学与碳通量考察专题目标

生源要素的生物地球化学循环是海洋化学的核心研究内容。生源要素是生态系统变化对气候变化响应和反馈的中间环节,起着承上启下的作用。北极是地球系统的重要组成部分,它包含了大气、海洋、陆地、冰雪和生物等多圈层相互作用的全部过程,对全球气候与环境有正负反馈作用。随着“京都协议”的签订,人类活动产生的温室气体 CO_2 的去处,不仅是国际学术界的一个前沿领域,也成了各国政治家们争论的热门话题。北极快速变化所导致的一系列多圈层相互作用过程,不仅对包括我国在内的中高纬度国家的气候产生了显著影响,而且对北极生源要素的循环过程、碳汇效应及生态系统和渔业资源潜力产生了深刻影响。同时,在北极周边冻土层加速退化、河流淡水输入增加以及作为北冰洋营养盐重要来源的北太平洋入流水异动、北冰洋海冰和环流变化加剧等一系列北极快速变化的情况下,北冰洋水体碳循环和碳埋藏也可能产生巨大变化。如:冻土层退化和风化作用加强是一个向大气释放碳的过程,而北极变化也会导致海洋过程的改变,其与海洋物理泵、生物泵过程变化如何平衡?综合考虑陆地过程和海洋过程,全球变暖下北冰洋碳汇对全球的碳收支有多大影响?全球海洋酸化 0.1pH 的变化速率正在从工业化以来百年际向未来十年际快速变化着,极区海洋是全球海洋酸化的领头羊,未来北极海洋酸化的发展趋势如何?对海洋生态系统具有怎样的影响?

本专题以海冰快速融化下西北冰洋碳通量和营养要素生物地球化学循环如何响应为主线,重点开展如下研究:①通过海洋化学多参数综合调查,结合历史资料和前人研究成果,查明北冰洋典型海域海水化学参数、 CO_2 体系、悬浮颗粒物组成、大气化学、沉积环境参数的基本分布特征,获取水体、大气和沉积环境的基础资料和图件。②利用水化学要素、生物标志物、放射性和稳定同位素对水团和海洋过程进行示踪,进一步深化对各要素时空分布、变化规律、形成机制、制约因素等的认识。③了解北极地区污染物质在各介质中的分布,评价北极海洋环境的污染状况。

1.2 北极海域海洋化学与碳通量考察在专项中的作用

北极海区是全球碳循环的重要汇区,在全球海洋—气候系统中起着重要的作用。北极碳汇过程和机制是全球碳循环研究的重要一环,查明北极快速变化下北极地区的碳汇过程和机制有重要的现实意义和科学意义。另一方面,生源要素的生物地球化学循环是气候变化等物



理驱动和生态系统响应的中间环节,起着承上启下的作用,对于预测北极生态系统和生物资源的演变具有重要作用。本专题把北极海冰变化及其所引起的一系列物理—化学—生物—地质过程作为一个相互耦合的整体过程来研究,探讨北极海冰快速变化的机制及其对海洋生物地球化学过程和生态系统的影响,了解北极变化对我国及中低纬度气候的影响,评估由海冰变化产生的一系列过程对北冰洋碳的源、汇过程以及对海洋食物链结构和渔业资源的影响,上述研究不仅具有重要科学价值,而且也符合我国作为一个负责任大国的国家需求。

1.3 北极科学考察的主要范围、时段和时间

1.3.1 中国第五次北极科学考察

我国第五次北极科学考察暨“雪龙”号极地考察船 2012 年 7 月 2 日自青岛出发,历时 93 天,航程逾 18 500 海里,按计划圆满完成各项考察任务,创造了我国北极科学考察的多项新纪录。首次实现我国跨越北冰洋的科学考察任务,成功首航北极航道。考察主要范围包括白令海及其邻近海域(包括 BL、BM、BN 断面)、北冰洋太平洋扇区(包括 R、CC、C)和北冰洋大西洋扇区(包括 BB、AT 断面)。

1.3.2 中国第六次北极科学考察

中国第六次北极科学考察暨“雪龙”号自 2014 年 7 月 11 日从上海启航,累计考察 76 天,总航程 11 858 海里,总航时 1201 小时,浮冰区总航程 2586 海里。7 月 18 日进入白令海开始海洋站位综合科学考察作业,7 月 27 日开始楚科奇海作业,8 月 10 日开始短期冰站作业,8 月 18 日开始长期冰站作业,9 月 7 日结束地球物理作业,9 月 9 日结束所有定点站位作业,9 月 24 日到达上海基地码头。

1.4 北极海域海洋化学与碳通量主要考察内容、工作量和分工

1.4.1 中国第五次北极科学考察

海洋化学与碳通量考察分为 5 部分内容:海水化学,大气化学,沉积化学,受控生态,生物地球化学长期观测锚系。具体分析参数与数据量如下。

1.4.1.1 海水化学

- 海水化学 1: 溶解氧、pH 值、碱度、DIC、悬浮物、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐、活性硅酸盐、 ^2H 、 ^{18}O 、CFCs。共布设 60 站,采样层次为标准层,水深 30~4 000 m,陆架区按 5 层计,海盆区按 10 层计,平均按 8 层计。

- 海水化学 2: DOC、POC、生物硅、甲烷、 N_2O 、C 和 N 同位素、DMS、HPLC 色素、

总氮、总磷、钙离子。共布设 30 站, 采样层次为标准层, 平均按 5 层计。

- 海水化学 3: 类脂生物标志物 (正构烷烃、甾醇)、氨基酸、芳烃、金属元素 (Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、Ba、Mn、U 等)、放射性同位素²³⁴Th、²³⁸U、高精度 pH 值、²²⁶Ra、²²⁸Ra、²¹⁰Po、²¹⁰Pb、水体硝酸盐¹⁵N 同位素。采样站位约 18 站, 重金属、²²⁶Ra、²²⁸Ra 只采表层, 正构烷烃和甾醇按 3 层计, 其余参数按 5 层计。

- 走航 $p\text{CO}_2$ 。

1.4.1.2 大气化学

- 气体: 二氧化碳、甲烷气、氮氧化物 (N_2O 、NO、 NO_2)、卤代烃、Hg、二甲基硫、POPs (PAHs、PCBs、OCPs)。

- 气溶胶离子成分: MSA 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 。

- 重金属: Cu、Pb、Zn、Cd、Al、V、Ba 等。

- 大气悬浮颗粒物: 炭黑、总碳、微生物。

1.4.1.3 沉积化学

- 常规项目: 粒度、总有机碳、有机氮、碳酸钙、生物硅、油类、重金属 (Cu、Zn、Cd、Fe、Pb、Ba、Mn、U 等)。30 站表层样。

- 生物标志物: 正构烷烃、甾醇、氨基酸、糖类、木质素、单体 C 同位素、HPLC 色素、C 和 N 同位素。15 站表层样。

- POPs: DDT、666、PCBs、PAHs。30 站表层样。

- 放射性物质: ²²⁶Ra、Pb、Po、总铀、²³²Th、¹³⁷Cs、⁴⁰K、⁵⁸Co、⁶⁰Co、⁵⁴Mn 10 个参数。30 站表层样。

1.4.1.4 受控生态试验

- 营养盐加富: 楚科奇海、加拿大海盆各安排 1 组营养盐吸收试验, 主要围绕着海冰融化、营养盐限制、有机质和生源颗粒物营养盐再生等开展试验。测定参数如下: 硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐、活性硅酸盐、叶绿素等。共 2 站, 每站 12 组实验, 每组采样 7 次左右。

- 同位素示踪: 在白令海、楚科奇海、加拿大海盆各安排 1 组试验。主要是利用 ¹⁵N- NO_3^- /¹⁵N- NH_4^+ /¹⁵N₂ 外加培养, 阐述水团构成对北冰洋氮循环关键过程的影响。主要参数如下: 硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、颗粒物¹⁵N。共 3 站, 每站 4 组实验, 每组采样 7 次左右。

主要工作量如下。

- 海水化学: 海水化学 1 采集 60 个站位, 共 6 240 个样品; 海洋化学 2 采集 30 个站位, 共 750 个样品; 海水化学 3 采集 18 个站位, 共 1 152 个样品, 合计 8 142 个样品。

- 大气化学: 共采集 45 个站位, 其中气体样品共 450 个, 气溶胶离子成分样品共 450 个, 气溶胶重金属样品共 315 个, 大气悬浮颗粒样品共 90 个, 合计 1 305 个样品。

- 沉积化学: 共采集 30 个站位, 其中常规参数共 420 个, 标志物参数共 135 个, 放射性参数共 300 个, POPs 参数共 120 个, 合计 975 个参数。



• 受控生态试验：营养盐加富实验 2 个站位和同位素示踪实验 3 个站位，合计 628 个样品。

1.4.2 中国第六次北极科学考察

海洋化学与碳通量考察主要包括 5 部分内容：海水化学、大气化学、沉积化学、海冰化学以及沉积物捕获器长期观测锚系。调查区域涵盖了白令海盆、白令海—楚科奇海陆架区、楚科奇海台、加拿大海盆、北冰洋中心海盆等海域。

1.4.2.1 海水化学

海水化学考察内容包括海水化学 1 类参数（基础水化学参数）、海水化学 2 类参数（主要为有机地球化学参数等）、海水化学 3 类参数（主要为生物标志物、重金属、放射性同位素等）、走航化学观测、受控生态实验以及外业仪器布放。详细内容如下。

- 海水化学 1：溶解氧、pH 值、碱度、DIC、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐、活性硅酸盐、 ^{18}O 。
- 海水化学 2：DOC、POC、悬浮物、甲烷、 N_2O 、C 和 N 同位素、DMS、HPLC 色素、总氮、总磷、钙离子。
- 海水化学 3：类脂生物标志物、芳烃、金属元素（Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、Ba、Mn、U 等）、放射性同位素 ^{234}Th 、 ^{238}U 、高精度 pH 值、 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb 。
- 走航化学观测： $p\text{CO}_2$ 、甲烷（ CH_4 ）观测、氧化亚氮（ N_2O ）观测。
- 受控生态实验：同位素示踪实验。
- 硝酸盐等多参数剖面仪、大体积原位过滤及同位素大体积采水等仪器布放。

1.4.2.2 大气化学

大气化学考察内容主要包括气体、气溶胶离子成分、重金属、大气悬浮颗粒物、气溶胶有机污染物等，在“雪龙”船的航迹上进行全程观测。详细内容如下。

- 气体：二氧化碳、甲烷气、氮氧化物（ N_2O 、 NO 、 NO_2 ）、Hg、二甲基硫、生物气溶胶前导气体。
- 气溶胶离子成分： MSA 、 Cl^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 。
- 重金属：Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、V、Ba 等。
- 大气悬浮颗粒物：炭黑、总碳、TSP、生物成因气溶胶。
- 气溶胶有机污染物：POPs（PAHs、PCBs、OCPs）。

1.4.2.3 沉积化学

在海洋地质组的帮助下，主要在白令海—楚科奇海陆架区进行了表层沉积物采样以及在北冰洋中心海盆高纬度地区采集了重力柱状样。详细内容如下。

(1) 表层沉积物站位

- 常规项目：粒度、总有机碳、有机氮、碳酸钙、生物硅、油类、重金属（Cu、Zn、Cd、Hg、Fe、Pb、Ba、Mn、U 等）。

- 生物标志物：正构烷烃、甾醇、GDGTs、TEX86、BIT、HPLC 色素、C 和 N 同位素。
- POPS：DDT、666、PCBs、PAHs。
- 放射性物质： ^{226}Ra 、Pb、Po、总铀、 ^{232}Th 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 10 个参数。

(2) 重力柱状样

- 生物标志物：IP25 等新型生物标志化合物。

1.4.2.4 海冰化学

海冰化学考察内容主要包括研究冰芯及冰下水的营养盐、无机碳、POPs，冰水界面颗粒物时间序列采集以及冰下硝酸盐仪布放。

- 短期冰站和长期冰站进行冰芯和冰下水采集。在北冰洋中心海盆的冰站钻取冰芯样品，冰下水样按 0、5 m 和 10 m 分层，分别进行营养盐、无机碳、POPs 等分析。
- 长期冰站进行冰水界面颗粒物连续采集。
- 冰下硝酸盐等理化参数观测系统：于长期冰站，利用硝酸盐光学仪和温盐探头进行剖面观测。

1.4.2.5 沉积物捕获器长期观测锚系

中国第六次北极考察期间，拟布放了 1 套沉积物捕获器长期观测锚系。利用时间序列沉积物捕获器可获得不同深度、时间尺度的沉降颗粒物样品，利用这些样品可进行更为精确的颗粒物生源要素组成分析。

主要工作量如下。

- 海水化学：海水化学 1 采集 60 个站位包括 10 个全深度站位，共 6 400 个样品；海洋化学 2 采集 30 个站位，共 1 800 个样品；海水化学 3 采集 18 个站位，共 756 个样品；硝酸盐等多参数剖面仪 30 个站位，大体积原位过滤布设 18 站位，共 18 个样品，合计 8 974 个样品。
- 大气化学：共采集 45 个站位，其中气溶胶样品 15 个站位，气体样品共 120 个，气溶胶离子成分样品共 150 个，气溶胶重金属样品共 120 个；大气悬浮颗粒采集 30 个站位，共 120 个样品；气溶胶有机污染物共 90 个样品，合计 600 个样品。
- 沉积化学：共采集 10 个新增表层站位，其中常规参数共 140 个，标志物参数共 80 个，放射性参数共 100 个，POPs 参数共 40 个；采集重力柱状样 1~2 个站位，IP25 等新型生物标志化合物样品 100 个，合计 460 个。
- 受控生态试验：同位素示踪实验 3 个站位，合计 168 个样品。
- 生物地球化学长期观测锚系：布放 1 套沉积物捕获器，获取时间序列颗粒样品 1 套。

1.5 北极海域海洋化学与碳通量考察取得的主要成果

依托中国第五次和第六次北极科学考察，完成了海洋化学与碳通量考察中海水化学、大气化学、沉积化学、同位素示踪受控试验的样品采集以及沉积物捕获器的布放工作。获得了海水化学、大气化学、沉积化学、海冰化学各要素的样品共计 24 400 余份样品。经过实验室分析，获得上述各要素在白令海、楚科奇海、北欧海 3 个海域 447 个站的 54 100 余份数据以