

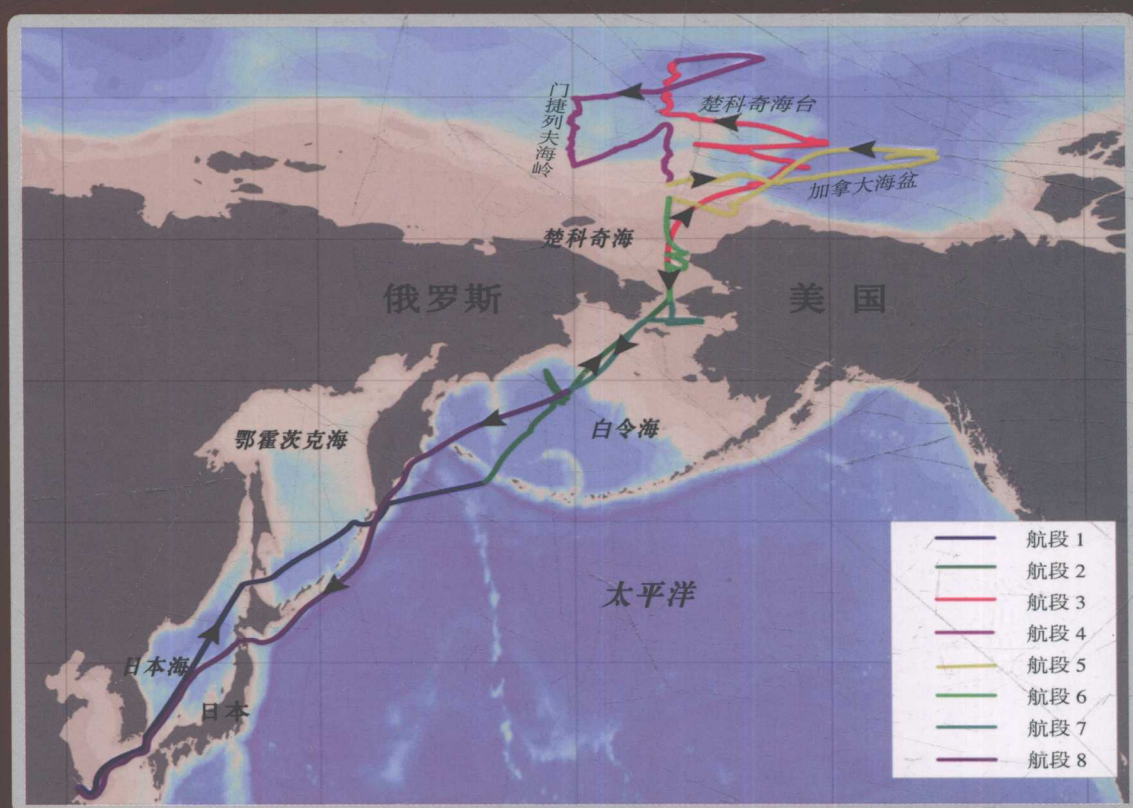


THE REPORT OF 2016
CHINESE NATIONAL ARCTIC RESEARCH EXPEDITION

中国第七次 北极科学考察报告

李院生 主编

夏立民 副主编





中国第七次 北极科学考察报告



THE REPORT OF 2016 CHINESE NATIONAL ARCTIC RESEARCH EXPEDITION

李院生 主 编
夏立民 副主编

海洋出版社

2018年·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国第七次北极科学考察报告/李院生主编. — 北京: 海洋出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5210-0039-9

I. ①中… II. ①李… III. ①北极—考察报告—中国
IV. ①N816.62

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第025474号

责任编辑: 白 燕

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

北京文昌阁彩色印刷有限责任公司印刷 新华书店经销

2018年4月第1版 2018年4月北京第1次印刷

开本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 18.75

字数: 490千字 定价: 150.00元

发行部: 010-62132549 邮购部: 010-68038093 总编室: 010-62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换



编写组

THE REPORT OF

2016 CHINESE NATIONAL ARCTIC RESEARCH EXPEDITION

主 编：李院生

副主编：夏立民

编 委：第 1 章

第 2 章

第 3 章

第 4 章

第 5 章

第 6 章

第 7 章

第 8 章

第 9 章

李院生

刘 娜

雷瑞波

刘 娜

徐全军

孙 超

王晓阳

雷瑞波

王庆凯

林 龙

汪卫国

张 涛

庄燕培

祁 第

葛林科

林和山

林学政

张武昌

李院生

刘 娜

袁东方

孔 彬

孙虎林

张 通

曹 勇

曹 勇

孙晓宇

左广宇

崔迎春

王 嵘

白有成

朱 晶

林 凌

王建佳

张玉生

刘 娜

孙虎林

李 涛

何 琰

杨成浩

刘一林

沈 辉

彭 浩

王明峰

边叶萍

韩国忠

李杨杰

陈 勉

蓝木盛

张 然

雷瑞波

沈 辉

刘高原

马小兵

卫翀华

林 龙

张 通

季 青

于乐江

黄元辉

房旭东

任 健

李 江

徐志强

刘 坤

刘海波

林丽娜

杨 磊

王颖杰

王明锋

李 涛

刘一林

马 通

张介霞

郑晓玲

刘诚刚

郭文斌



前言

THE REPORT

2016 CHINESE NATIONAL ARCTIC RESEARCH EXPEDITION

作为地球系统的重要组成部分,北极系统包含大气、冰雪、海洋、陆地和生物等多圈层的相互作用过程,通过大气、海洋环流的经向热传输与低纬度地区紧密联系在一起,在全球变化中具有重要的地位和作用。目前,北极地区正在发生着快速变化,自1979年有卫星监测以来,北极9月海冰覆盖范围每10年减少11%。气候预测的结果表明,北极海冰未来的融化速度将会进一步加快,到2050年北极夏季海冰有可能完全消失。已有的研究表明,北极气候环境变化对我国气候有着直接的影响,与我国的工农业生产、经济活动和人民生活息息相关。另外,北极海冰的减少使得北极航道的开通成为可能。目前,中国较多地依赖从波斯湾和非洲进口能源,必须经过印度洋和马六甲海峡。北极航道的开通有可能成为中国摆脱马六甲困境的另一主要途径。在我国大力推进海洋强国战略和海上丝绸之路建设的当今时代,开展北极科学考察是我国了解北极,认识北极的重要途径。

自1999年我国实施首次北极科学考察以来,已圆满完成了6个航次的北极多学科综合考察,系统观测了海冰、海洋和大气变化,探讨了北极气候环境快速变化与我国气候的关系,获得了一批有价值的科学考察数据和研究成果。2016年,我国继续实施第七次北极科学考察,考察海域仍然为我国传统北极调查的北冰洋太平洋扇区。有幸作为本次科学考察的首席科学家,深感责任在肩。

本次考察自2016年7月11日开始至9月26日结束,历时78 d,航行13 000 n mile,作业时间54 d,航路时间24 d。考察队128名队员,承担着77项科学考察任务。先后在白令海海盆区、加拿大海盆、楚科奇海台、北冰洋太平洋扇区高纬度海域、门捷列夫海岭、楚科奇海、白令海陆架区和陆坡区等重点海域开展了物理海洋与气象考察、海冰和冰面气象考察、海洋地质考察、海洋地球物理考察、海洋化学考察、海洋生物与生态多样性考察等学科领域的全面考察。最北到达 $82^{\circ}52.99'N$ 。安全、顺利、圆满地完成了全部考察任务,部分工作超额完成。

回想整个考察过程,考察队离开上海一天之后到达济州岛,3名外国科学家及仪器上船。7月18日抵达白令海第一个站位开始定点作业。7月18日向白令海公海区域行驶。7月19日到达白令海公海锚碇浮标作业点。7月19—23日完成白令海公海6个临时设定的综合站位、1个锚碇浮标和1个锚碇潜标投放。7月25日过白令海峡,行驶向位于楚科奇海台和加拿大海盆的P2和P1断面。7月28日到达P断面最东南的P27站位。7月28—31日完成P2断面7个综合站位作业。8月1日达到P1断面最东南的P17站位。8月1—3日完成P1断面7个综合站位作业,行驶向R18站位。8月4日完成R18站位作业,并开始第一个短期冰站SICE01作

业。8月4—7日完成4个短期冰站作业和R18到R22的5个综合站位作业,其中R21和R22为寻找长期冰站航路上的增设站位。8月8—15日进行长期冰站作业。长期冰站作业完成后,行驶向位于门捷列夫海岭E断面最北端站位E26站位。8月17—21日完成E断面6个综合站位作业,期间8月18日完成第5个短期冰站作业,8月20日完成第6个短期冰站作业。8月22—24日完成R17到R11的7个综合站位作业。8月24—30日完成地球物理反射地震和海面磁力测线观测、R15站位及沉积物捕获器潜标的投放和回收工作。8月30—31日完成S1断面从S14到S11的4个综合站位作业。9月1日完成C2断面4个综合站位作业。9月1—5日完成R10至R06的5个综合站位作业、楚科奇海潜标布放、C1断面3个综合站位、R05站位、CC断面5个综合站位、R04至R01的4个综合站位、位于白令海峡口的S01和S02站位。9月5日凌晨过白令海峡,回到白令海,首先完成NB12和NB11两个综合站位,之后避风至9月8日;9月8—10日完成NB断面6个综合站位和B断面B13至B07-1的7个综合站位。9月10日全部科考作业结束。

本航次共开展了12条断面84个海洋综合站位作业,其中白令海4个断面25个站位,北冰洋8个断面59个站位。考察内容涉及物理海洋、海洋气象、海洋地质、海洋化学和海洋生物。完成了5套锚碇潜浮标的收放工作,包括白令海锚碇潜标投放、白令海锚碇潜标投放、楚科奇海锚碇潜标投放、沉积物捕获器潜标回收、沉积物捕获器潜标投放。船只走航期间进行海洋、气象、海冰和大气成分观测。完成走航抛弃式XBT 300个,XCTD 24个,探空气球58个。完成地球物理反射地震测线231 km,海面磁力测线1 500 km。完成了1个长期冰站和6个短期冰站的考察任务。

考察队设立随船质量监督员,由其负责组织开展随船质量监督检查工作。本航次严格按照《中国第七次北极科学考察现场实施计划》执行,对各专业考察开展了质量控制与监督管理工作,确保了航次考察各项任务安全、高效、高质量地完成,满足可靠性、完整性和规范性的要求。

与我国以往的历次北极科学考察相比,本次考察归纳起来有以下几点不同之处:①航次在位于俄罗斯北部北冰洋公海区域的门捷列夫海岭进行考察,设计1条综合考察断面,6个考察站位,考察内容涉及物理海洋、海洋气象、海洋地质、海洋化学和海洋生物。该调查断面与2016年中俄联合调查航次在东西伯利亚海的考察相配合,完成我国首次在东西伯利亚海、楚科奇海西侧和门捷列夫海岭海域的海洋观测;②加强了定点锚碇长期观测,成功完成了5套锚碇长期观测潜标和浮

标的收发工作。其中，白令海锚碇潜标锚系长度 3 800 m，是我国首次在白令海成功布放的深水锚碇潜标；③ 利用直升机围绕长期冰站在加拿大海盆布放了由 13 个浮标组成的浮标阵列，这是我国历次北极考察构建最为规则的浮标阵列，连同冰站布放的浮标，本航次一共布放了 40 个冰基浮标，为历次北极考察布放冰基浮标最多，其中包括利用“雪龙”船首次在北极成功布放我国自主研发的冰基上层海洋剖面浮标；④ 地球物理反射地震测线观测是我国北极考察中首次在“雪龙”船上使用空气枪震源激发人工地震波，极大地增强了多道地震系统的地层探测深度。

《中国第七次北极科学考察报告》全面总结了本次考察任务的完成情况，展示了各学科考察工作取得的主要进展和初步成果。本报告的出版是全体考察队员和编写人员的智慧和心血的结晶，作为本次考察的首席科学家，在报告即将出版之际，谨向参加中国第七次北极科学考察的全体同仁，向给予本次科学考察大力支持的各级领导、专家和有关组织管理单位、参加单位表示崇高的敬意和衷心的感谢！

由于时间仓促和水平限制，报告对整个考察过程的描述和总结可能不够全面和翔实，科学认识还很初步，不足和错误之处，敬请专家和读者给予批评指正和谅解。

中国第七次北极科学考察队
首席科学家 李院生

2016年10月



目 录

THE REPORT OF 2016 CHINESE NATIONAL ARCTIC RESEARCH EXPEDITION

第 1 章	考察背景和目标	1
1.1	考察背景	2
1.2	考察目标	2
第 2 章	考察概况	5
2.1	考察队建制	6
2.2	考察内容和考察海域	6
2.3	考察船只和考察时间	7
2.4	航线航程	7
2.5	站位设置及完成工作量	9
2.6	考察支撑保障	9
2.7	航次质量监督	22
2.8	国际合作	22
第 3 章	物理海洋和海洋气象考察	25
3.1	考察内容	26
3.2	重点海域断面观测	27
3.3	锚碇潜标长期观测	38
3.4	锚碇浮标长期观测	41
3.5	走航表层温盐观测	46
3.6	走航海洋气象观测	49
3.7	走航大气成分观测	56
3.8	抛弃式XBT/XCTD观测	58
3.9	Argos表层漂流浮标观测	66
3.10	冰下上层水文要素观测	74
3.11	冰下通信与导航信号观测	80
3.12	走航海雾辐射观测	86
3.13	拖曳式海洋剖面浮标观测	90
3.14	本章小结	94

第4章 海冰和冰面气象考察..... 97

4.1 考察内容	98
4.2 海冰空间分布走航观测	100
4.3 积雪和海冰结构与力学性质观测	107
4.4 冰站海冰厚度观测	117
4.5 海冰光学观测	125
4.6 海冰漂移和物质平衡浮标阵列观测	132
4.7 冰面气象观测	138
4.8 无人机航拍	143
4.9 本章小结	146

第5章 海洋地质考察..... 149

5.1 考察内容	150
5.2 考察仪器	150
5.3 考察人员及作业分工	153
5.4 考察站位及完成工作量	153
5.5 考察数据初步分析	166
5.6 本章小结	169

第6章 海洋地球物理考察..... 171

6.1 考察内容	172
6.2 重力测量	173
6.3 海面磁力测量	178
6.4 反射地震测量	182
6.5 热流测量	185
6.6 天然地震测量	188
6.7 本章小结	189

第 7 章 海洋化学和大气化学考察..... 191

7.1 考察内容	192
7.2 重点海域断面调查	193
7.3 走航大气化学观测	205
7.4 受控生态实验	211
7.5 沉积物捕获器潜标观测	214
7.6 冰站海冰化学观测	219
7.7 本章小结	223

第 8 章 海洋生物多样性和生态考察..... 225

8.1 考察内容	226
8.2 基础环境参数	227
8.3 底表微生物和大型藻类	234
8.4 微微型和微型浮游生物群落	234
8.5 浮游生物群落	245
8.6 海冰生物群落	254
8.7 底栖生物群落	262
附录 部分大型底栖生物拖网种类图谱	270

第 9 章 总结和建议..... 275

9.1 总结	276
9.2 建议	277

附 件 中国第七次北极科学考察人员名录 279

考察背景和目标 第1章

- 考察背景
- 考察目标



1.1 考察背景

北极地区因冰雪覆盖面积大,反射太阳辐射能力可达开放大洋的5~10倍,大量研究表明,大气—海冰—海洋之间的正反馈效应会使全球气候变化在北极放大,甚至北极地区自身微小的变化也会通过这些反馈而扩大,因此北极气候变化堪称全球气候变化的风向标。自1750年以来,北极地区气候在人类活动的影响下总体呈现增暖的趋势,1906—2005年的100年间地球表面温度提高了0.74℃,而北极地区升高幅度则是其他地区的两倍。特别是最近30年来,北冰洋洋面上的浮冰覆盖面积不断减少的趋势明显,格陵兰岛上的冰层逐渐融化,灌木丛开始向阿拉斯加地区的冻土地带蔓延生长,永久冻土带也有加速融化的迹象。上述的各种变化都会对全球气候和生态系统带来巨大的影响。

北极气候系统的快速变化又可通过全球大气、海洋环流的径向热传输与中纬度甚至低纬度地区紧密联系在一起,自1970年开始,欧亚、北美以及我国的冬季的极端天气气候过程都极有可能与北极涛动的异常变化紧密相关。北冰洋海冰的快速消融还极大地刺激了各国开发利用北极地区能源、资源、航道、渔业战略需求。当前,极地权益争夺空前加剧,北极战略地位迅速提高,已成为国际政治、经济、科技和军事竞争的重要舞台。

自1999年我国首次组织实施北极科学考察以来,已成功实施了6次多学科综合考察。特别是自2012年,经国务院批准,我国极地研究领域30年来规模最大的极地专项——“南北极环境综合考察与评估”专项(以下简称“极地专项”)开始实施,是中国极地事业发展新的里程碑,标志着我国的北极科学考察与研究进入跨越发展新阶段。2012年和2014年极地专项支持的第五次和第六次北极科学考察取得了首航东北航道、布放我国首套锚碇观测浮标、海冰浮标阵列协同观测和浮冰区近海底磁力测量等令人瞩目的考察成果,使我国成为国际上为数不多的实现跨北冰洋考察的国家之一,在北冰洋太平洋扇区、北冰洋中心区以及大西洋扇区的北欧海取得了有关海洋环境变化和海—冰—气系统变化过程的第一手资料和样品,为“十二五”期间我国海洋强国和21世纪海上丝绸之路战略做出了应有的贡献。

2016年是我国“十三五”计划的开局之年,实施了我国第七次北极科学考察,继续在我国北冰洋传统考察海域开展综合观测。这一方面可为系统深入认识太平洋扇区海—冰—气系统变化过程积累资料,有利于提高我国对北极环境变化的整体认识与评估;另一方面也是适应国家海洋强国战略新要求,继续开拓21世纪海上丝绸之路北上分支的必要实践。

1.2 考察目标

根据“极地专项”总体布局和阶段目标,中国第七次北极科考将重点对白令海、白令海峡、楚科奇海、楚科奇海台、门捷列夫海脊、加拿大海盆和高纬海区等海域进行科学考察。掌握海洋水文与气象、海洋地质、地球物理、海洋生物与生态、海洋化学等环境要素的分布特征,为北极地区环境气候综合评价提供基础资料。考察目标如下。

1.2.1 太平洋水和陆源淡水汇入加拿大海盆的主要路径、关键机理及其对海气耦合过程的影响

通过对白令海、白令海峡、楚科奇海、楚科奇海台、门捷列夫海脊、加拿大海盆和高纬海区开展海洋水动力环境变化和海—冰—气系统变化过程的关键要素考察,研究太平洋水进入深海盆的主要路径、太平洋水体如何突破位涡守恒的制约、陆坡流对陆架水体的约束作用、楚科奇海台对太

平洋入流的动力学作用、海冰减退后特殊的约束条件对加拿大海盆淡水加强积聚的影响。与此同时,开展冰站观测,研究加拿大海盆海水结构的变化对海—冰—气耦合过程的影响,了解北极海洋和海冰的变化对气候系统的反馈作用。通过与其他学科的交流与合作,促进对水体输运通道和路径的示踪研究。

1.2.2 北冰洋沉积物时空分布特征及其对海洋和气候变化的响应

在考察海域完成表层和柱状沉积物采样作业,结合历史考察资料,系统认识北冰洋—太平洋扇区的海底沉积物特征、分布规律及物质来源,重建该地区晚第四纪古海洋、冰川(冰盖/海冰)和气候演变历史。并基于多种环境、气候替代指标的沉积记录,探讨太阳辐射、冰期气候旋回、海平面、大洋环流等关键海洋和气候要素变化对北极和亚北极海域沉积环境的影响;开展表层海水悬浮体取样与分析测试,揭示悬浮颗粒物含量、颗粒组成分布特征及其影响因素,为海洋沉积过程、物质循环、表层生产力和生态系统研究提供参考数据;尝试在白令海北部陆坡高生产力“绿带”的边缘布放沉积物捕获器,获得白令海北部陆坡季节性生源、陆源沉积通量的连续变化,对白令海洋流—海冰—生产力关系和现代沉积过程开展初步研究。

1.2.3 极区地球物理场关键要素调查与构造特征分析

加拿大海盆是美亚海盆的主体。由于为冰雪所覆盖,气候条件恶劣,此区域地球物理尤其是高精度的地球物理资料非常匮乏,导致其形成历史成为了目前的未解之谜。加拿大海盆因此也被称为完善板块构造学说的最后一块“拼图”。现今关于加拿大海盆的扩张模式大部分都是基于陆地上的地质证据提出的,模型较为模糊,时间尺度的约束较弱。磁条带的识别是确定海底扩张年龄的最主要方式,但是目前此区域只有航空测量的磁力数据。考虑到加拿大海盆较深的水深和较厚的沉积物厚度,航空磁力数据的分辨率较低,提供的解释受到较大的质疑。近海底磁力是最近几年发展起来的高新技术。由于其观测仪器离地球物理场源较近,大大增强了观测信号的强度和分辨率,为解决这一科学难题提供了极好的机会。在本次科学考察中,拟通过在加拿大海盆进行高精度的近海底磁力、海面磁力、重力、地震和热流调查追踪海盆的扩张年龄,并结合历史数据确定海盆的扩张方向和扩张速率。

1.2.4 北冰洋海洋化学要素的变化观测与生源元素的生物地球化学循环考察

开展北冰洋调查海域海水化学要素、界面碳通量、同位素化学、大气化学、沉积化学及海冰化学等要素的考察,获取海洋环境化学与海洋生物地球化学过程对海冰快速变化的响应与变化信息。其中着重考察海洋生物泵过程、陆地碳输入及海气碳通量的变化来评估北冰洋海洋碳源汇格局的规律和趋势;多种手段观测北冰洋海洋酸化与贫营养化的进程及控制机制;运用水化学要素、生物标志物、同位素化学对水团和海洋过程进行示踪;在全球变化背景下,了解极区温室气体及边界层气溶胶的分布特征,了解北极地区污染物质在各介质中的分布。

1.2.5 北极海域海洋生物多样性现状及其对全球变化的响应

通过重点海域海洋叶绿素、生产力、微型浮游生物、大中型浮游植物、大中型浮游动物、大小型底栖生物、微生物和大型海藻等海洋生物生态考察,分析各类海洋生物群落结构组成与多样性现状、关键种与资源种的分布及生态适应性,了解考察海域生态系统功能现状及在全球变化背景下的潜在变化,为评估北极生物对生态环境快速变化的响应方式和过程,评价北极生态系统对全球气候变化的响应和反馈作用等提供基础资料。



- 考察队建制
- 考察内容和考察海域
- 考察船只和考察时间
- 航线航程
- 站位设置及完成工作量
- 考察支撑保障
- 航次质量监督
- 国际合作





2.1 考察队建制

根据国家海洋局党组决定，考察队实行临时党委领导下的领队和首席科学家分工负责制。本次考察中全队的最高决策机制是临时党委扩大会议，日常议事决策机制是临时党委成员、首席科学家、各队队长参加的每日例会。考察队内设组织机构如下。

考察队临时党委

党委书记：夏立民

党委成员：夏立民，姜梅，赵炎平，刘娜，雷瑞波，吴健，赵祥林

党办主任：姜梅

考察队领导

领队：夏立民

首席科学家：李院生

领队助理：赵炎平，曹建军

首席科学家助理：刘娜，汪卫国，雷瑞波

队办主任：姜梅

考察队各党支部

综合队党支部 书记：赵祥林
委员：姜梅，曹建军

大洋 1 队党支部 书记：庄燕培
委员：刘娜，李涛

大洋 2 队党支部 书记：林学政
委员：林和山，边叶萍

“雪龙”船党支部 书记：吴健
委员：赵炎平，袁东方

考察队各专业队

综合队 队长：曹建军

大洋 1 队 队长：李涛

大洋 2 队 队长：汪卫国

“雪龙”船 船长：赵炎平

政委：吴健

2.2 考察内容和考察海域

中国第七次北极科学考察内容涉及物理海洋与海洋气象、海冰、海洋地质、海洋地球物理、海洋化学、海洋生物与生态等学科，是一次多学科的综合性和海洋调查。考察海域包括白令海、楚科奇海、楚科奇海台、加拿大海盆和门捷列夫海岭，如图 2-1 所示。

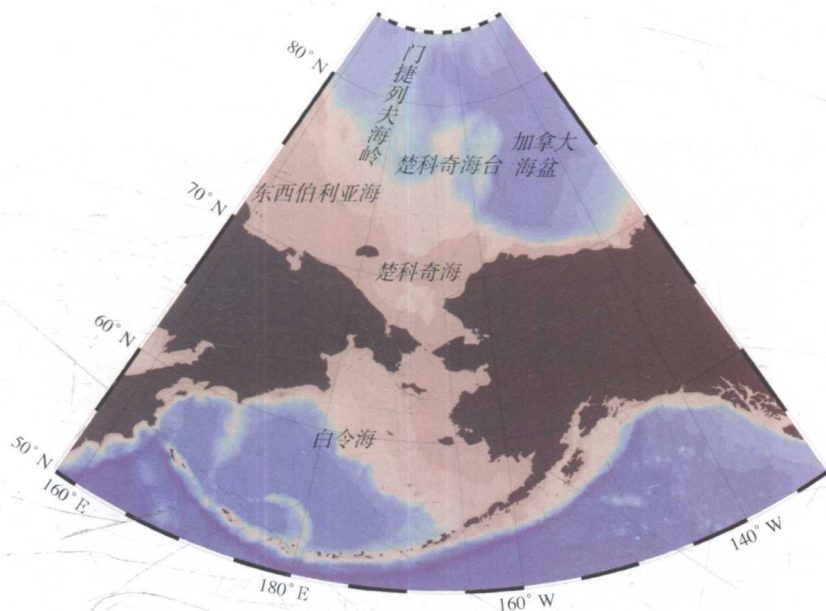


图 2-1 中国第七次北极科学考察考察海域

Fig. 2-1 The ridge of the 7th Chinese National Arctic Research Expedition

2.3 考察船只和考察时间

中国第七次北极科学考察的考察船只为“雪龙”船。“雪龙”船是我国唯一一艘专门从事南北极科学考察的破冰船，隶属于国家海洋局，担负着运送我国南、北极考察队员和考察站物资的任务，同时又为我国的大洋调查提供科考平台。主要技术参数见表 2-1。

本次考察自 2016 年 7 月 11 日开始至 9 月 26 日结束，历时 78 d，航行 13 000 n mile，作业时间 54 d，航路时间 24 d。

表 2-1 “雪龙”船主要技术参数

Table 2-1 Main technical parameters of the Xuelong

总长: 167.0 m	最大航速: 17.9 kn
型宽: 22.5 m	续航力: 20 000 n mile
型深: 13.5 m	主机 1 台: 13 200 kW
满载吃水: 9.0 m	副机 3 台: 3 × 1 140 kW
总吨: 15 352 t	净吨: 4 605 t
满载排水量: 21 025 t	载重量: 8 916 t
该船属 B1* 级破冰船，能以 1.5 kn 航速连续破厚度为 1.2 m (含 0.2 m 雪) 的冰	

2.4 航线航程

2016 年 7 月 11 日，“雪龙”船自上海基地码头起航；7 月 12 日，到达济州岛，外国科学家及仪器上船；7 月 18 日，抵达白令海第一个站位，开始定点作业；7 月 18—24 日，完成白令海（公海）2 套大型锚碇潜浮标投放和 6 个海洋综合站位调查；7 月 25 日，过白令海峡进入北冰洋；7 月 26 日至 8 月 24 日，完成北冰洋作业，包括 59 个综合站位、冰站作业、地球物理测线作业、楚科奇海潜标投放及沉积物捕获器潜标收发工作，8 月 13 日到达本航次的最北端；9 月 5 日，过白令海峡回到白令海；9 月 5—10 日，完成白令海 19 个综合站位作业；9 月 23 日，到达济州岛，外国科学家及仪器下船；9 月 26 日，回到上海。