



“南北极环境综合考察与评估”专项

02-02

冰盖断面及格罗夫山综合 考察与冰穹A深冰芯钻探



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

冰盖断面及格罗夫山综合 考察与冰穹 A 深冰芯钻探

国家海洋局极地专项办公室 编



海洋出版社

2016 年 · 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

冰盖断面及格罗夫山综合考察与冰穹 A 深冰芯钻探/国家海洋局
极地专项办公室编. —北京: 海洋出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5027 - 9429 - 3

I. ①冰… II. ①国… III. ①冰盖 - 断面 - 冰芯 - 钻探 IV. ①P343. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 164156 号

BINGGAI DUANMIAN JI GELUOFUSHAN ZONGHE KAOCHA YU BINGQIONG A
SHENBINGXIN ZUANTAN

责任编辑: 赵 娟

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 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 16.5

字数: 398 千字 定价: 100.00 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（2012—）
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

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

“冰盖断面及格罗夫山综合考察与 冰穹 A 深冰芯钻探”专题

承担单位：中国极地研究中心

参与单位：中科院寒旱所 中科院青藏高原研究所

黑龙江测绘地理信息局 武汉大学 南京大学

中国科学技术大学 吉林大学 太原理工大学

《冰盖断面及格罗夫山综合考察与 冰穹 A 深冰芯钻探》编写人员名单

主 编：孙 波

副 主 编：马红梅

编写人员：安春雷 史贵涛 姜 苏 郭井学 崔祥斌 任贾文
效存德 谢爱红 丁明虎 李传金 柳景峰 刘小汉
王连仲 王泽民 张胜凯 安家春 庞洪喜 孙立广
程文瀚 杨文卿 张 楠 窦银科

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

目 录

第1章 总 论	(1)
第2章 考察的意义和目标	(3)
2.1 考察目的和意义	(3)
2.1.1 考察背景	(3)
2.1.2 目的意义	(3)
2.2 我国南极内陆科学考察的简要历史回顾	(4)
2.3 考察区域概况	(5)
2.4 考察目标（建议加总目标概述）	(6)
2.4.1 中山站至冰穹 A 冰盖断面及典型区域	(6)
2.4.2 冰穹 A（昆仑站）区域	(7)
2.4.3 埃默里冰架区域	(7)
2.4.4 格罗夫地区	(7)
第3章 考察主要任务	(9)
3.1 考察区域	(9)
3.2 考察内容	(9)
3.2.1 深冰芯钻探、储存运输与样品处理分析	(9)
3.2.2 中山站至昆仑站冰盖断面冰川学综合考察	(14)
3.2.3 昆仑站及周边区域冰川学综合调查	(15)
3.2.4 埃默里冰架区域	(15)
3.2.5 格罗夫山新生代古环境与地球物理、近现代冰雪界面生态地质学综合考察	(16)
3.2.6 北极斯瓦尔巴地区冰川环境调查工作	(18)
3.3 考察设备	(19)
3.3.1 冰雷达探测设备	(19)
3.3.2 冰盖表面物质平衡与流速运动观测设备	(32)
3.3.3 冰芯钻探系统	(33)
3.3.4 格罗夫山考察主要设备	(34)
3.3.5 其他重要设备	(37)
3.3.6 现场和室内分析设备	(41)
3.4 考察人员及分工	(42)
3.4.1 考察人员	(42)
3.4.2 考察分工	(43)
3.5 考察完成工作量	(44)



3.5.1 冰穹 A 地区深冰芯钻探	(44)
3.5.2 昆仑站及周边区域冰川学综合调查	(44)
3.5.3 中山站至昆仑站冰盖综合断面考察	(45)
3.5.4 站基冰冻圈要素综合调查监测与评估	(46)
3.5.5 南极格罗夫山新生代古环境与地球物理综合考察	(47)
3.5.6 近现代冰雪界面生态地质学综合考察	(47)
3.6 内陆考察重大事件介绍	(47)
第4章 获取的主要数据与样品	(49)
4.1 数据与样品获取的方式	(49)
4.1.1 冰穹 A 地区深冰芯钻探	(49)
4.1.2 昆仑站及周边区域冰川学综合调查与评估	(50)
4.1.3 中山站至昆仑站冰盖综合断面考察与评估	(50)
4.1.4 站基冰冻圈要素综合调查监测与评估	(52)
4.1.5 南极格罗夫山新生代古环境与地球物理综合考察	(60)
4.1.6 近现代冰雪界面生态地质学综合考察	(61)
4.2 获取的主要数据或样品	(64)
4.2.1 冰穹 A 地区深冰芯钻探	(64)
4.2.2 昆仑站及周边区域冰川学综合调查与评估	(64)
4.2.3 中山站至昆仑站冰盖综合断面考察	(64)
4.2.4 埃默里冰架综合调查与评估	(65)
4.2.5 站基冰冻圈要素综合调查监测与评估	(65)
4.2.6 南极格罗夫山新生代古环境与地球物理综合考察	(66)
4.3 质量控制与监督管理	(66)
4.3.1 冰穹 A 地区深冰芯钻探	(66)
4.3.2 昆仑站及周边区域冰川学综合调查与评估	(66)
4.3.3 中山站至昆仑站冰盖综合断面考察与评估	(66)
4.3.4 埃默里冰架综合调查与评估	(67)
4.3.5 站基冰冻圈要素综合调查监测与评估	(67)
4.3.6 南极格罗夫山新生代古环境与地球物理综合考察	(71)
4.3.7 近现代冰雪界面生态地质学综合考察	(72)
4.4 数据总体评价情况	(73)
第5章 主要分析与研究成果	(74)
5.1 深冰芯钻探成果及综合分析	(74)
5.1.1 场地建设成果	(74)
5.1.2 冰芯钻取及处理成果	(79)
5.1.3 钻探数据分析	(92)
5.1.4 冰穹 A 冰川学综合调查及深冰芯计划分析	(94)
5.2 南极冰盖厚度、内部结构和冰下地形探测分析与冰盖演化分析	(101)
5.2.1 东南极中山站至冰穹 A 内陆断面冰厚、内部结构和冰下地形分析	(101)

5.2.2	冰穹 A 和昆仑站地区冰雷达探测综合分析	(104)
5.2.3	昆仑站区域 1:50 000 冰下地形图制作	(120)
5.2.4	南极冰盖冰下地形特征分析	(121)
5.3	冰盖表面物质平衡与冰流运动综合分析	(123)
5.3.1	冰盖表面冰流运动和表面地形特征分析	(123)
5.3.2	南极冰盖物质平衡分析	(142)
5.4	中山站—昆仑站断面雪冰现代过程分析	(153)
5.4.1	南极雪冰中痕量高氯酸盐的分析方法的建立	(153)
5.4.2	北半球中纬度到南极大尺度断面降水与降雪中主要离子的空间变异分析	(156)
5.4.3	大尺度大气环流影响的大气化学元素向极地的输移分析	(156)
5.4.4	南极中山站—昆仑站断面雪层中 NO_3^- 现代沉积过程分析	(159)
5.4.5	海表大气及雪冰中水汽氢氧稳定同位素比率分析	(161)
5.4.6	中山站—冰穹 A 考察断面雪冰—大气现代过程监测	(163)
5.4.7	中山站—冰穹 A 断面表层雪过量 ^{17}O 空间分布分析	(164)
5.4.8	冰穹 A 地区雪冰稳定同位素敏感性模拟	(166)
5.4.9	冰穹 A 地区雪冰痕量元素记录观测	(166)
5.4.10	中山站至冰穹 A 断面表层雪中不溶微粒单颗粒特征及矿物组成	(166)
5.5	南极冰盖冰芯记录与气候环境演化分析	(167)
5.5.1	东南极冰穹 A 地区 110 m 浅冰芯中主要离子含量的分析	(167)
5.5.2	南半球环状模与南极冰芯中气候信息关联研究	(171)
5.6	格罗夫山新生代古环境与地球物理综合分析	(172)
5.6.1	冰雷达探测方面	(173)
5.6.2	陨石回收方面	(173)
5.6.3	格罗夫山岩基宽频带天然地震及大地电磁观测	(173)
5.7	南极冰盖近现代冰雪界面生态地质学分析	(178)
5.7.1	东南极冰盖有机磷酸酯分布特征	(179)
5.7.2	东南极冰盖有机磷酸酯分布的生态地质学意义	(187)
5.7.3	东南极冰盖有机磷酸酯的历史记录及初步分析	(192)
5.7.4	极地冰川底部甲烷释放潜力与机制研究	(196)
第 6 章	考察的主要经验与建议	(198)
6.1	考察取得的重要成果	(198)
6.1.1	雷达观测是冰川学研究主要方法并将推动极地冰川学研究的发展	(198)
6.1.2	深冰芯钻探的启动	(198)
6.1.3	开展了一系列重要的科学研究	(199)
6.1.4	开展极地测绘	(199)
6.2	对专项的作用	(200)
6.3	考察的主要成功经验	(203)
6.4	考察中存在的主要问题及原因分析	(203)



6.5 对未来科学考察的建议	(204)
参考文献	(206)
附件	(216)
附件 1 考察区域及站位图	(216)
附件 2 主要仪器设备一览表	(219)
附件 3 承担单位及主要人员一览表	(221)
附件 4 考察工作量一览表	(226)
附件 5 考察数据一览表	(228)
附件 6 考察要素图件一览表	(229)
附件 7 论文、专著等公开出版物一览表	(231)
附件 8 样品、档案、影像片等一览表	(240)
附件 9 深冰芯钻探钻孔测井仪 3D 概念图	(240)

第1章 总论

南极冰盖以其最大的存储冰量、最大的面积、最高的海拔、最重要的气候环境效应、最脆弱的稳定性以及最完整的圈层相互作用，既是当今地球系统科学和全球变化领域关注的焦点，又是开展关键科学问题研究的最理想的实验室。进入 21 世纪，国际南极冰盖科学正在经历着一场新的变革，即由过去单一的学科研究发展向多学科交叉的“地球系统科学”发展。从地球系统科学、气候变化科学和可持续发展科学视角看，南极冰盖具有全球重要性，南极冰盖变化及其影响日益显著并受到广泛关注。目前国际冰盖研究主要关注热点，包括冰盖变化机理、冰盖与气候相互作用、冰盖变化的影响与适应等方面。

发生在南极冰盖的许多重大事件和关键过程，更是与大气圈、冰冻圈、水圈、岩石圈和生物圈的圈层相互作用密切相关。以地球系统科学作为指导思想，以对全球变化有重要影响的南极冰盖关键过程作为主要研究对象，通过冰川学、大地测量、地球化学、地球物理、气象科学等多学科手段，针对冰盖表面过程、内部过程、底部过程和冰架过程展开一系列强化协同观测和钻探取样，坚持技术创新引领科学前沿，发展一批适用于冰盖变化观测的前沿技术和核心装备，观测获取冰盖与气候系统以及圈层相互作用的驱动和反馈关系，定量刻画冰盖变化参数，为揭示冰盖物质组成、精细结构和动力学机制，认识冰盖过程对冰盖稳定性的关键影响，以冰芯钻探分析重建气候环境演化历史和过程，以提升冰盖在地球系统中扮演角色的科学认知，并为“十三五”持续、深入开展冰盖调查评估奠定科学基础、技术基础、数据信息基础和专业队伍基础，从而为冰盖变化科学理论以及人类社会可持续发展作出创新性贡献。

直接依托中国南极考察队 2011/2012 年度、2012/2013 年度、2013/2014 年度和 2014/2015 年度的考察活动，本专题先后派出专题成员超过 48 人赴南极开展调查研究工作。立足于我国内陆冰盖考察较完整的支撑保障平台，特别是近几年新建成的昆仑站和泰山站保障条件，本专题严格按照任务目标和计划内容，分别开展并高质量完成了站基冰冻圈观测、中山站至昆仑站内陆冰盖断面综合调查、昆仑站区域多学科调查、昆仑站深冰芯钻探、埃默里冰架观测和格罗夫山地区综合调查研究等主要区域的调查和分析评估工作。突破了一批包括深冰芯钻探、深冰冰雷达探测等关键技术，发现了南极冰盖中心区域内部广泛发育的软流层，揭示出冰穹 A 底部冻、融交替发育的复杂界面热力和动力边界条件，获得了国际上当今观测系列最长、观测密度最大的内陆断面表面物质平衡 2 km 间隔标杆数据和 50 km 间隔冰流运动 DGPS 数据，揭示出冰盖表面特征及其冰-气过程中的物理和化学过程。

通过 4 年的工作，本课题建立了较好的工作基础，取得了一些成果和一些有望突破的阶段结果。截至目前，成功钻取了 303 m 的冰穹 A 深冰芯样品、获取 24 个中山-冰穹 A 断面雪坑样品、535 组中山-冰穹 A 断面表层雪样品。收集了 583 块陨石样品，成功运用国内自主研发的深部雷达系统和 FMCW 浅部高分辨率冰雷达等核心设备对冰盖进行了大规模探测，对



昆仑站核心区域和断面关键区域开展了冰雷达强化探测。成功地在格罗夫山、拉斯曼丘陵和中山站至格罗夫山途中布设地震仪和大地电磁仪。本专题共发表论文 47 篇，其中 SCI 论文 31 篇，出版专著 2 部，申请、授权国家发明专利 3 项，实用新型专利 2 项；培养博士生 16 名，硕士生 23 名，博士后 3 名。

第2章 考察的意义和目标

2.1 考察目的和意义

2.1.1 考察背景

南极冰盖总面积约 $1\,230 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占到南极大陆面积的 98%。南极大陆蕴藏着丰富的全球变化研究资源、油气资源、矿产资源和远古生物基因资源。近年来，国际南极竞争，尤其是冰盖领域的竞争日趋激烈。随着我国综合国力的不断提升以及南极事业的不断发展，面对国际南极冰盖领域的激烈竞争，加强南极冰盖领域考察与研究对于我国在新一轮南极竞争中占据有利位置，并进一步拓展我国南极未来发展空间具有重大现实意义。

中国的南极冰盖考察研究始于 20 世纪 80 年代。近 30 年来，我国的南极冰盖科学研究始终站在南极重大科学问题和国家需求的高度，组织和围绕南极冰盖研究的综合项目和计划，联合国内力量，借助国际积极因素，以我为主，有力推动了国际南极科学研究的发展。

多年来，中国的南极冰盖科学锁定冰芯科学、冰盖演化、冰下科学和格罗夫山考察研究这 4 个核心科学问题，开展多学科、跨部门的科研攻关，在各种项目的支持下，科研人员在国内学术期刊上发表研究论文数百篇，并出版了多部专著和论文集。一些文章发表在 *Nature*、*Journal of Geophysics Research* 等国际顶尖科技期刊和国际地学界最高水平的学术刊物上。中国已经成为国际南极冰川学研究领域的一支重要力量。

南极冰盖科学领域是我国南极发展的重要战略领域。前瞻思考世界南极冰盖科学发展大趋势、我国现代化建设提出的新要求，中国的发展面临着如何履行大国责任、为人类的科学发展与文明进步作出重大贡献的问题，如何保护人类生存环境，以及如何提高人类生活质量、实现社会可持续发展等诸多重大问题。中国南极冰盖科学的发展将为上述影响到国家发展和现代化进程的重大问题提供大量的、有效的和不可替代的决策参考依据和科学解决方案。

2.1.2 目的意义

本专题主要针对我国“十二五”的国家南极目标，面向我国未来南极科学考察发展面临的主要问题，以及南极冰盖科学在国家战略发展中的重要作用，并在分析国际主要南极冰盖大国发展战略和前沿发展趋势的基础上，结合我国本领域的研究基础和现状，重点针对冰穹 A 深冰芯、东南极冰盖综合考察断面、埃默里冰架、格罗夫山古环境、岩石圈结构及矿产资源调查、冰下科学和相关核心技术，制定出我国至未来 5 年、10 年，甚至更长期南极冰盖科学考察实施方案。



加强南极冰盖领域考察与研究已成为我国面对全球化发展和应对全球气候变化、实现可持续发展的必然选择,发展南极冰盖科学是实现我国参与国际极地领域竞争的关键,对于我国在新一轮南极竞争中占有一席之地,并进一步拓展我国南极未来发展空间具有重大现实意义。

南极冰盖科学是当前全球变化研究的前沿与热点。因此,加强南极冰盖考察研究在提升我国南极科学的国际地位方面,举足轻重,是我国冰盖科学迈进国际南极科学前列的重要一步,将充分发挥中国的影响力,促进国际南极冰盖研究新格局的形成。

以国家需求和科学研究关键问题为牵引,全面加强南极冰盖科学,包括冰盖断面综合调查、深冰芯科学、冰盖演化与海平面变化、冰-气界面现代过程、冰-岩界面动力环境、测绘科学、冰下科学、格罗夫山古环境、岩石圈结构及矿产资源调查、冰架与海洋相互作用等在国家南极领域发展中的重要地位,在未来 5~10 年,使其在国家战略发展中承担和发挥应有的和突出的重要作用,为国家面临的重大问题提供大量的、有效的和不可替代的重大决策依据和解决方案。

2.2 我国南极内陆科学考察的简要历史回顾

中国南极内陆科学考察站建站的主要目的之一就是为了支持钻探百万年尺度的古老深冰芯。2005 年 1 月冰穹 A 登顶成功后,中国南极内陆冰盖科学考察队在冰穹 A 顶点区域发现冰厚超过 3 000 m。表明极有可能存在超过 100 万年的古老冰芯。我国第 25 次南极考察队建立的昆仑站就位于该最佳深冰芯钻探点,它的建成和开站为我国在冰穹 A 开展深冰芯钻探提供了直接的支持。

中国历次南极内陆冰盖考察情况:

第 1 次:1997 年,在中国第 13 次南极考察期间,8 名考察队员历时 13 天,向南极内陆冰盖腹地的冰穹 A 方向挺进了 300 km。

第 2 次:1998 年,在中国第 14 次南极考察期间,8 名考察队员历时 17 天,向冰穹 A 方向推进了 464 km。考察期间的最低气温达到 -44.5°C ,所有队员的脸部都出现不同程度冻伤。

第 3 次:1999 年,在中国第 15 次南极考察期间,10 名考察队员进入冰穹 A 地区。这是当时南极考察中地面车队到达的标高最高点。此次冰盖考察历时 50 天,取得丰硕成果。

第 4 次:2002 年,在中国第 18 次南极考察期间,8 名考察队员在距中山站 170 km 处架设 1 台自动气象站。

第 5 次:2005 年,在中国第 21 次南极科学考察期间,13 名考察队员在人类历史上首次到达冰穹 A 最高点,并开展了科学考察工作。

第 6 次:2008 年,在中国第 24 次南极科学考察期间,2008 年北京时间 1 月 12 日 14 时 45 分,17 名中国南极科考队员成功登上南极内陆冰盖最高点——海拔 4 093 m 的冰穹 A,开展各项南极内陆冰盖考察。

第 7 次:2009 年,在中国第 25 次南极科学考察期间,完成昆仑站建设。

第 8 次:2010 年,在中国第 26 次南极科学考察期间,成功完成昆仑站考察与建设任务。

第9次：2011年，在中国第27次南极科学考察期间，成功完成内陆考察断面及昆仑站区调查和建设任务。

从第10次开始，在“十二五”专项的资助和任务计划安排下，自中国第28次南极科学考察起，连续开展了4次冰盖考察任务，系统开展了多学科综合考察活动，取得一批非常重要的基础数据和调查分析成果。

2.3 考察区域概况

考察区域包括：中山站周边区域、中山站—昆仑站（冰穹A）内陆冰盖主断面区、冰穹A地区、昆仑站深冰芯钻探区、埃默里冰架区和格罗夫山地区。

中国南极中山站简称中山站，是中国在南极洲建立的科学考察站之一，建立于1989年2月26日，位于东南极大陆拉斯曼丘陵（ $69^{\circ}22'24.76''\text{S}$ 、 $76^{\circ}22'14.2''\text{E}$ ）。中山站从1989年2月建站20多年来，经过多次扩建，现也初具规模，有各种建筑15座，建筑面积2700 m²，站上生活设施齐备，后勤保障条件完善，满足考察队员的工作和生活需要。

中山站至昆仑站内陆断面：从东南极沿岸的中山站出发，进入伊丽沙白公主地地区，沿兰伯特冰川东侧延伸至冰盖高原，到达南极冰盖最高区域冰穹A和中国南极昆仑站，全长1248 km。这也是中国历次南极内陆冰盖考察深入冰盖腹地，挺进冰穹A和昆仑站往返的固定路线。在该断面上，多学科依托内陆冰盖考察车队保障条件，开展了系统性、连续性观测和监测研究。

冰穹A地区：冰穹A地区高程在4050 m以上的面积有9582 km²。根据卫星测高和地面测绘资料显示，冰穹A最高点区域为一个东西宽10~15 km、长约60 km、沿东北—西南方向展布的平台地形。冰穹A地区常年为高压冷气团控制，高空辐合，低空辐散，是南极冷源的中心区。

埃默里冰架位于南极洲北查尔斯王子山和拉斯曼丘陵之间。埃默里冰架是南极三大冰架之一，面积71260 km²，东南极冰盖近20%的冰量是通过埃默里冰架排泄入海的。埃默里冰架的变化直接关联着南极冰盖物质平衡过程及其对海平面变化的影响，具有十分重要的研究意义。

格罗夫山地区：格罗夫山属于东南极冰盖内陆的冰原岛峰群，位于东南极伊丽沙白公主地（Princess Elisabeth Land）兰伯特裂谷（Lambert Rift）右岸，介于 $72^{\circ}20'—73^{\circ}10'\text{S}$ 、 $73^{\circ}50'—75^{\circ}40'\text{E}$ 之间。在格罗夫山3200 km²范围的雪冰面上共出露64座相互独立的冰原岛峰，其北界距中山站约400 km，西侧以世界最大的冰川系统艾莫里冰川为界，并与南查尔斯王子山和北查尔斯王子山遥遥相望。这些冰原岛峰大体分5组沿北北东—南南西方向呈岛链状分布，宏观呈现山脊纵谷地貌。岛峰与蓝冰表面的相对高度介于几十米至800 m不等。由于格罗夫冰原岛峰群对东南极冰盖冰穹A流域的阻隔作用，在这里形成大冰盖的积累区与消融区之间的平衡线。此外，格罗夫岛峰群又处于南极内陆下降风极盛区，狂风对冰面新雪的吹蚀力极强，因此在格罗夫地区出露大面积的古老蓝冰。

格罗夫山出露麻粒岩至高角闪岩相的深变质杂岩，同造山或造山晚期花岗岩，以及构造后期花岗质、花岗闪长质细晶岩脉和长英质伟晶岩。深变质杂岩包括：浅色长英质麻粒岩、



暗色镁铁质麻粒岩、紫苏花岗岩和花岗质片麻岩。整个测区可按北北东—南南西方向分为东西两个岩区，东侧以长英质麻粒岩和紫苏花岗岩为主，西侧则以花岗质片麻岩为主。由于冰盖自南东向北西运动的攀升作用，岛峰的迎冰面（南东侧）一般雪线较高，雪冰面坡度相对比较平缓。而由于冰流的侧向刮削和岛峰岩石本身的垂直节理的共同作用，岛峰北西侧则往往是近直立的断裂垮塌陡壁。冰流将岛峰上垮塌下来的碎石向北西方向（下游）搬运，在冰面上形成数千米长的碎石带。相对较低矮的岛峰往往保留末次上升的冰流覆盖研磨的形态，成为典型的羊背石。

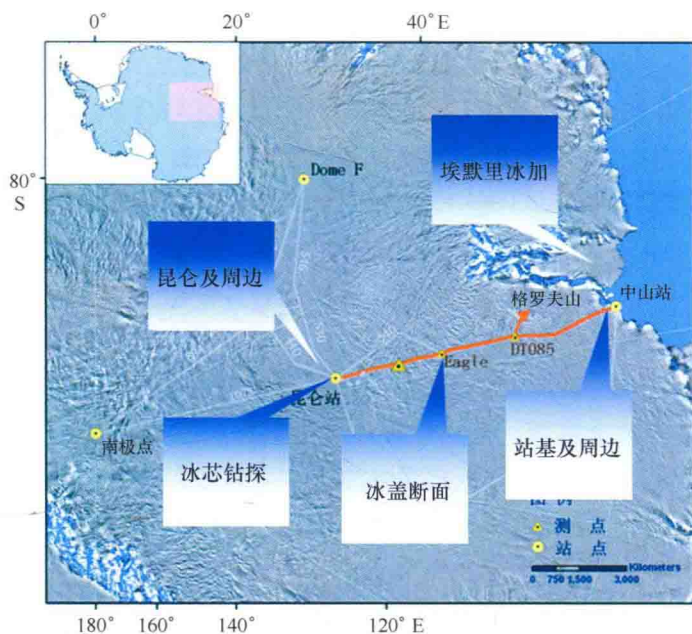


图 2-1 考察区域示意图

2.4 考察目标

2.4.1 中山站至冰穹 A 冰盖断面及典型区域

中山站—冰穹 A 断面是国际横穿南极计划（ITASE）中最重要的断面之一，因此该断面的研究成果受到国际的广泛关注。南极内陆冰川学考察的最主要目标是对中山站—冰穹 A 断面冰川学、气象学等进行考察，获取全面数据；沿途采集雪冰样品，对整个断面的雪冰化学通量进行研究，了解大气环流与雪冰记录之间的关系；对沿线物质平衡花杆及其网阵进行重复测量，并对雪层物理剖面进行系统观测，了解雪的密实化过程及其地域分异规律；钻探浅层冰芯样品，获取过去 200~300 年冰芯气候记录；对沿线进行大气化学采样，将冰盖大气成分与全球大气成分进行对比，得出纬向分布规律，为业务化观测积累经验。

通过中山站—冰穹 A 断面考察，获取冰盖表面变化长时间连续观测数据，分析断面区域气候演化、物质平衡和冰盖运动特征资料，测定东南极冰盖中山站至冰穹 A 典型断面环境参