



中国极地科学考察研究三十年进展

从地幔到深空： 南极陆地系统的科学

CONG DIMAN DAO SHENKONG:
NANJI LUDI XITONG DE KEXUE

刘小汉 主 编



海洋出版社

中国极地科学考察研究三十年进展

从地幔到深空： 南极陆地系统的科学

刘小汉 主编

海洋出版社

2018 · 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

从地幔到深空：南极陆地系统的科学/刘小汉主编. —北京：海洋出版社，2018. 2
ISBN 978-7-5210-0038-2

I. ①从… II. ①刘… III. ①南极-陆基-科学考察-中国 IV. ①N816.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 023621 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

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

开本：889mm×1194mm 1/16 印张：16.75

字数：449 千字 定价：120.00 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



“中国极地科学考察研究三十年进展” 编委会

主 任：曲探宙 秦为稼

副主任：杨惠根 吴 军 李院生

成 员：（以姓氏笔画为序）

卞林根 乔方刚 任贾文 刘小汉 刘瑞源

孙 波 孙立广 李超伦 侨兴光 张海生

陈立奇 赵 越 赵进平 潘增弟

编写组

组 长：李院生

副组长：刘瑞源 潘增弟 刘小汉 张海生 余兴光

《从地幔到深空：南极陆地系统的科学》 编写人员

主 编：刘小汉

编写组成员：（按拼音编排）

卞林根 何剑锋 胡红桥 李院生 刘小汉

王力帆 王泽民 徐成丽 赵 越

总 序

今年是我国开展南极考察研究 30 周年纪念。与发达国家和一些南半球国家相比,我国开展南极考察比较晚。但无数中国极地科学家不畏艰险,胼手胝足,使得我国极地研究获得许多令人振奋的高水平科研成果。台站、基地、船舶建造和固定翼飞机发展迅速,青年俊杰大量涌现,中国极地考察研究事业蒸蒸日上。

对于行星地球而言,极地是研究全球气候变化最理想的地理单元,中国科学家很早就开始关注极地的考察研究。从 20 世纪 30 年代起,中国就陆续出版有关南极方面的文献书籍介绍南极知识。在国际地球物理年期间(1957—1958 年),全国 10 多种报纸杂志刊载了许多关于各国南极考察、科学研究以及科普方面的文章和消息。中国科学院副院长竺可桢教授当年也向中央建议:“中国是一个大国,要研究极地,并建议中国派出学习极地专业的留学生。”谢自楚教授就是根据这个建议被派到俄罗斯莫斯科大学学习极地冰川专业。国家海洋局于 1977 年提出了“查清中国海、进军三大洋、登上南极洲”的规划目标。曾呈奎教授在 1978 年初给方毅副总理写信建议:“中国作为一个拥有世界 1/4 人口的大国,理应积极参加南极考察,为将来两极资源的开发利用准备条件。”方毅副总理于同年 6 月 26 日批示:“南极考察是一个大项目,由国家海洋局研究实施。”国家海洋局于当年 5 月向国家科学技术委员会(以下简称“国家科委”)提交了《关于开展南极考察工作的报告》。当年 10 月国家海洋局又向国务院提交了《关于开展南极考察工作》的请示报告。国务院领导批阅同意后,经国家科委与有关部门多次商量,又于 1981 年 1 月正式向国务院提交了《关于成立国家南极考察委员会的报告》。国务院于当年 5 月 11 日正式批准成立国家南极考察委员会(以下简称“南极委”)。南极委属国务院领导,国家科委副主任武衡担任南极委主任委员,外交部副部长章文晋等 5 人担任南极委副主任委员,其他 15 名委员分别来自各相关部委和海军。

国家科委赵东宛副主任于 1979 年 4 月 12 日批示,“拟同意先派少数几位专家和友好国家合作,乘他们的船去南极考察,这样花钱少,又可取得经验”。经方毅副总理批示,国家海洋局上报国务院批准后,我国从 1980 年起就开始派团出访,邀请外国南极学者来华交流,并有计划地选派了 40 多次的科技人员前往外国的南极科学考察站、考察船和其国内南极研究机构进行科学考察,获得了南极亲身经历,学到了经验,为我国独立组织南极考察队打下了基础。

1984 年,在国家海洋局南极考察办公室郭琨主任的率领下,中国终于踏上南极洲的土地,开始建设长城站并实施考察。1999 年,国家海洋局组织了北极综合科学考察。

从此，我国的极地考察与科学研究事业迅速发展，目前正从极地大国向极地强国迈进。回想 30 年的风风雨雨，抚今追昔，感慨万千。如今我们生活在大科学时代，生活在民族复兴和“中国梦”的时代，我国的极地考察与研究也处在迅猛发展的阶段。看到那么多青年科学家继往开来，奋勇投身到极地科学研究的大潮中去，心中感到无比欣慰。

陈连增

2015 年 6 月 15 日

前 言

南极陆基科学考察与研究活动早在英雄探险时代就已开始,迄今已有 100 多年历史。各国考察的内容也随着时代进步从领土和自然资源逐渐进入以全球变化为主题的大科学时代。除了美国极点站中微子探测等纯基础理论外,南极冰川学、地质构造、臭氧洞、天文观测、气象、高空大气、大地测量、古气候环境与现代环境监测和人体医学等都是长期开展的学科领域。由于近年陆续发现了约 400 个冰下湖,其中还有一半是湖水互相连通并流动的“活”湖,促使“冰下水系统”成为当前国际南极陆基考察最热门的领域之一。

与发达国家相比,我国的南极考察开始时间相对较晚。为学习南极考察研究的经验,我国在 20 世纪 80 年代初就陆续派出科学家到各国南极考察站参与实地考察,开展了实地观测、采样,并以合作或者独立方式实际进行了研究工作,他们是中国南极陆基考察研究的先驱者。我国于 1980 年首次选派董兆乾和张青松,到澳大利亚凯西站进行综合考察,还参观访问了美国麦克默多站、新西兰斯科特站和法国迪尔维尔站。他们在那里进行了气象、地质、生物和海洋等学科在现场观测和取样,取得了第一批南极科学资料、数据和样品。随后董兆乾又被派到澳大利亚“内拉丹”号考察船上,参加“首次国际南极海洋系统和储量的生物调查”(BIOMASS)计划的水文调查。此外,他还利用登上 3 个南极站的机会,采集了南极大陆上的地质样品 30 余个,海洋动植物样品 33 个以及海水样品 10 瓶。国家海洋局第二海洋研究所,专门组织专家对这些样品进行了分析研究,撰写了考察报告和论文。

张青松于 1981 年 1 月被派往澳大利亚戴维斯站越冬,主要从事西福尔丘陵的第四纪地质地貌考察。他采集了大量标本和样品,并对该区陆缘冰地貌进行了定位观测。1981 年 11 月,吕培顶到澳大利亚戴维斯站越冬,进行海洋生物考察;卞林根到澳大利亚莫森站越冬,进行气象学研究;谢自楚到澳大利亚凯西站越冬,进行冰川考察;王声远和叶德赞到新西兰斯科特站度夏,进行地球化学和生物学考察。颜其德到澳大利亚“内拉丹”号考察船参加澳大利亚首次南极海洋地球物理考察。1982 年 11 月,南极委派蒋加伦到澳大利亚戴维斯站越冬,进行浮游生物考察;陈善敏和宁修仁赴智利马尔什站度夏,进行气象学考察;钱嵩林赴澳大利亚凯西站越冬,进行冰川考察。秦大河于 1983 年 11 月到澳大利亚凯西站越冬,进行冰川考察;王自磐和曹冲到澳大利亚戴维斯站越冬,分别进行浮游生物和高空大气物理考察;卞林根到阿根廷马兰比奥站度夏,从事气象观测;陈时华随日本的“白凤丸”船,从事南大洋生态系和生物资源考察;王

友恒到阿根廷布朗站越冬，进行气象学观测；魏春江和董金海赴智利马尔什站度夏，进行海兽考察；李华梅和许昌赴新西兰斯科特站度夏；王荣到阿根廷的马兰比奥站和尤巴尼站进行了生物学考察。

随着中国南极中山站的建成，中国南极陆基科学考察与研究活动快速发展起来，研究领域也从初期的亚南极环境、滨海与海岸带环境逐渐向内陆扩展。一大批涉及国际南极科学研究最前沿的项目得以开展，并取得令人瞩目的进展。其中，秦大河横穿南极的雪冰环境研究、普里兹-格罗夫大地构造演化研究、格罗夫山的古气候环境研究、南极陨石回收与研究、无冰区古生态环境的地球化学研究、东南极冰盖起源与初期过程研究、冰穹 A 的天文观测与研究、极区等离子体云的形成过程与机制研究等领域，均获得了国际一流的科学成果。目前，中国南极陆基研究成果在国际科学刊物发表的数量已居世界前列。在祖国改革开放和经济腾飞的年代，南极泰山站顺利建成，新的考察船、固定翼飞机亦指日可待，相信中国南极陆基科学考察必将以更快的速度向前发展。本书集中介绍 30 年来我国南极陆基科学考察和研究的发展历程、研究现状和主要科学成果。

第 1 章“南极大陆地质地球物理调查与研究”介绍了我国在南极不同地域的考察研究历程。1980 年，张青松等开展了早期地理、地质研究，随后开展了东西南极过渡带地质的研究和西南极岛弧火山岩和火山作用的研究。随着中山站的建立，我国地质学家在中山站所在的拉斯曼丘陵及其附近区域开展了考察研究和矿产资源调查，同时对东南极西福尔丘陵东南侧分带状冰碛物进行了统计分析，对威尔克斯地温德米尔群岛冰碛物及典型基岩进行了研究。1998 年，中国开展了首次格罗夫山多学科综合科学考察，获得丰硕成果。在地球物理观测与研究方面开展了地磁研究、古地磁研究、重力研究、地温特征和岩石热物理性质研究，以及地震观测研究。

第 2 章“南极古气候环境与古生态地质学研究”重点介绍无冰区生态地质研究、格罗夫山冰盖进退综合研究和北查尔斯王子山新生代孢粉组合研究 3 个部分。无冰区生态地质学是以海洋生物粪土层等作为过去生态环境信息记录的载体，应用第四纪地质学、元素和同位素地球化学等经典方法，结合海平面升降、构造变动等地形地貌典型特征，探索宏观的生态、气候与环境变化。在格罗夫山综合考察中、对新生代土壤、冰碛沉积岩砾石、孢粉化石开展了冰川地质分析，沉积环境分析和宇宙核素暴露年龄测试。研究认为东南极冰盖上新世时曾经发生过大规模垮塌。东南极兰伯特地堑两侧新生代沉积物具有相对丰富的孢粉化石，对这些地层的孢粉研究不仅可以提供年代学证据，还可以恢复当时的古植被和古环境，为研究气候环境变化及东南极冰盖历史演化提供直接证据。

第 3 章“南极大气观测与气候研究”介绍了我国开展南极大气科学考察所取得的显著进展。1985 年和 1989 年中国在南极建立了南极长城气象站和中山气象台，1993 年在中山站安装国际标准的臭氧光谱仪，开始了大气臭氧总量和紫外辐射的观测，并延续

至今。在国际极地年期间,在中山站建成了大气本底站,开始了温室气体长期观测。2002年以来,在中山站到泰山站和昆仑站的断面上,先后安装了6套由卫星传输资料的自动气象站,获取的资料在国内外研究中已得到应用。中国南极大气科学研究是近30年来在我国有较大进展的科学领域,对南极地区近代气候的变化规律、大气边界层物理和海—冰—气相互作用、冰雪能量平衡过程、温室气体的本底特征和臭氧洞形成过程、南极考察气象业务天气预报系统、南极大气环境对东亚环流和中国天气气候的影响等方面开展了一系列的研究,取得了很多国内外有影响的科研成果,加深了南极气候在全球变化中作用及其对我国天气气候和可持续发展影响的认识。

第4章“南极生态环境监测与研究”介绍了中国科学家在潮间带群落动态生态学的系列演替、南极生物的生态分布、生物生产力、食物链等方面获得的大量数据和丰富的研究成果。内容包括潮间带生物、藻类区系、底栖动物、冰雪生物、陆生植物,飞行生物等领域,同时也注意到人类活动对南极生物的潜在威胁,认识到保护南极的生物资源与环境已成为刻不容缓的任务。

第5章“南极考察人员生理心理适应性研究”介绍我国南极医学研究随建站起步发展,迄今已对长城站、中山站和昆仑站的454名考察队员进行了系统的生理和心理的适应性研究,获得了不同环境、考察时间和任务背景下我国队员生理心理适应模式,为考察队员的选拔、适应、防护、站务管理和有关政策制定等提供科学依据,并探讨了南极特殊环境下生命科学的一些问题,为揭示人类表型变化与机制之间的联系提供了新的方法。

第6章“南极测绘及其遥感应用”介绍30年来中国的南极测绘考察和研究成果。我国完成了东西南极站区附近的大地测量基准建设,在南极中山站、长城站建立了导航卫星跟地面跟踪站、常年验潮站以及绝对重力点。从1992年开始,开展了南极航空摄影测量工作,获得了拉斯曼丘陵和菲尔德斯半岛地区航空影像图和航测地形图。完成了南极遥感参数的现场采集、合作目标的布设、现场标定等工作,并开展了遥感测图、冰流速和冰雪变化等研究。测绘和编制了覆盖南极近30万平方千米的各类地图400多幅,命名了300多条南极地名。

第7章“南极冰川学考察与研究”介绍我国南极冰川学考察与研究逐步经历的学习、自主建设及快速发展阶段,目前已经初步形成了涵盖雪冰物理、雪冰化学、卫星遥感等多学科综合发展体系。长城站、中山站、昆仑站和泰山站的建成,逐步完善了冰川学考察后勤支撑体系,为进一步开展深冰芯等冰川学考察研究奠定了重要基础。经过了40余年的发展,我国南极冰川学一系列重要成果的获得及研究队伍的建设,使我国成为世界南极冰川学研究中的一支重要力量。

第8章“南极高空大气物理学观测与研究”指出:极区是太阳风能量进入地球空间的入口,因此成为开展日地空间物理观测和空间天气监测最理想的地区。自1984年

以来，我国在南极长城站开展了电离层和地磁观测。在中山站建立了国际先进的极区高空大气物理观测系统，观测要素涵盖极光、电离层和地磁，并与北极黄河站构成了国际上为数不多的极区共轭观测对。以极区观测为基础，我国在极光、极区电离层、极光和粒子沉降、极区等离子体对流、空间等离子体波、空间电流体系和极区电离层——磁层数值模拟等方面取得了一系列研究成果，主要进展包括：观测到极盖区等离子体云块的完整演化过程；发现中山站电离层 F2 层的“磁中午异常”现象；首次得出日侧极光多波段强度综观统计特征及极区电离层对流和日侧极光随 SC 的瞬变效应；在外极隙区发现 Pc2 离子回旋波的激发；建立了极区电离层的三维时变模型，较好地解释了南极中山站的“磁中午异常”现象和极盖区等离子体云块的形成与演化过程。

第 9 章“南极陨石研究与天文学观测”介绍我国第 15 次南极科学考察中，首次在格罗夫山发现 4 块陨石，随后的 5 次格罗夫山考察共回收陨石 12 017 块，跃居世界第三。大量南极陨石的发现，为我国陨石学和比较行星学提供了极为珍贵的其他天体样本，也为我国月球和火星等深空探测工程科学目标的制定和实现发挥了重要作用。在陨石回收管理方面，我国成立了“南极陨石专家委员会”，同时成立了南极陨石分类小组，已完成陨石分类样品总数达 2 436 个，得到国际陨石学会陨石命名委员会的批准。从 2007 年开始我国在昆仑站逐步建成的冰穹 A 天文观测基地，获得了大气湍流、透过率、天光背景等关键天文台址参数，以及一系列时域天文学研究成果，在国际上受到广泛关注。台址监测分析表明，冰穹 A 具有优越的光学/红外和太赫兹观测条件，是目前地面上最好的天文台址，提供了准空间的天文观测环境。充分利用这一珍稀资源建设中国南极昆仑站天文台，有可能实现在光学/红外和太赫兹波段国际领先的天文观测能力。

编者

目 录

1 南极大陆地质地球物理调查与研究	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 西南极乔治王岛菲尔德斯半岛和巴顿半岛	(2)
1.2.1 建立了乔治王岛菲尔德斯半岛地层序列	(3)
1.2.2 乔治王岛巴顿半岛地层年代的确定	(4)
1.3 横贯南极山脉地区	(4)
1.3.1 横贯南极山脉主要地质构造特征——双构造层基底	(5)
1.3.2 中侏罗世岩浆活动及古生物特征	(5)
1.3.3 北维多利亚地难言岛地质构造特征	(6)
1.4 拉斯曼丘陵	(6)
1.4.1 500 Ma 高级变质事件及其构造意义	(6)
1.4.2 南极洲的硅硼镁铝矿	(7)
1.4.3 早期 1 000 Ma 中压麻粒岩相构造变质事件	(7)
1.4.4 拉斯曼丘陵及邻区的各类岩石的锆石同位素年龄	(7)
1.4.5 早期 M1 石榴石+斜方辉石+堇青石+钾长石组合的识别	(7)
1.5 格罗夫山	(8)
1.5.1 格罗夫山地区的花岗岩质岩石类型和侵入时代	(8)
1.5.2 格罗夫山地区单一高温麻粒岩相变质事件	(8)
1.5.3 格罗夫山地区冰碛岩中的大洋俯冲和大陆碰撞相关的岩石学证据	(9)
1.5.4 格罗夫山地区 3 期构造变形研究	(9)
1.5.5 碎屑锆石原位 U-Pb 年龄和矿物化学成分测定	(9)
1.6 埃默里冰架东缘—普里兹湾沿岸	(9)
1.6.1 埃默里冰架东缘—西南普里兹湾地区的地质事件序列	(10)
1.6.2 格林维尔期雷纳造山带从增生到碰撞的构造过程	(10)
1.6.3 泛非期变质演化轨迹与普里兹造山带的性质	(11)
1.7 南极冰下地质与南极内陆地球物理研究	(12)
1.7.1 西福尔丘陵附近古太古代古老地块研究	(12)
1.7.2 威尔克斯地温德米尔群岛冰下地质研究	(13)
1.7.3 南极内陆地球物理研究	(13)
1.8 结语与展望	(14)
参考文献	(15)

2 南极古气候环境与古生态地质学研究	(21)
2.1 概述	(21)
2.2 南极无冰区生态地质学研究进展	(22)
2.2.1 南极无冰区生态地质学研究载体	(22)
2.2.2 粪土沉积的三重属性与生物地球化学指标	(22)
2.2.3 全新世南极无冰区海洋生物生态对气候环境变化的响应	(24)
2.2.4 企鹅是南极海陆营养盐和污染物的传递载体	(27)
2.2.5 人类文明在生物粪土层中的记录	(29)
2.3 格罗夫山上新世以来古气候环境与冰盖进退研究	(30)
2.3.1 地理与冰川地质	(32)
2.3.2 沉积岩转石沉积环境	(33)
2.3.3 孢粉化石组合的年代学意义	(34)
2.3.4 古荒漠土壤研究	(34)
2.3.5 宇宙成因核素定年研究	(35)
2.3.6 结论与讨论	(37)
2.4 东南极北查尔斯王子山新生代 Pagodroma 群孢粉研究	(39)
2.4.1 地质背景与地层特征	(39)
2.4.2 Pagodroma 群孢粉组合特征	(41)
2.4.3 古植被与古环境	(44)
2.4.4 古生代—中生代再沉积孢粉	(45)
2.5 结语与展望	(46)
参考文献	(47)
3 南极大气观测与气候研究	(55)
3.1 概述	(55)
3.2 南极大气观测	(55)
3.2.1 长城站地面气象观测	(55)
3.2.2 中山站地面气象观测	(56)
3.2.3 中山站至昆仑站自动气象站	(57)
3.2.4 中山站大气臭氧观测	(58)
3.2.5 南极大气成分本底监测	(59)
3.2.6 卫星资料接收	(60)
3.2.7 南极海冰物理参数观测	(61)
3.3 南极大气科学研究进展	(61)
3.3.1 长城站气候特征	(62)
3.3.2 中山站气候特征	(63)
3.3.3 海冰反照率	(64)
3.3.4 中山站至昆仑站的气候特征	(65)
3.3.5 南极考察气象保障	(65)

3.3.6	南极海冰变化与大气环流的关系	(68)
3.3.7	南极臭氧洞变化及其趋势	(69)
3.3.8	南极臭氧洞的垂直结构	(70)
3.3.9	地面臭氧本底特征	(71)
3.3.10	二氧化碳的本底特征	(71)
3.3.11	一氧化碳本底浓度	(72)
3.3.12	南极近地层湍流参数	(73)
3.3.13	大气边界层结构	(75)
3.3.14	中山站对流边界层高度	(75)
3.3.15	东南极冰盖边界层结构	(75)
3.3.16	南极苔原温室气体通量	(76)
3.3.17	南极地区气候及其作用	(78)
3.4	结语与展望	(82)
	参考文献	(83)
4	南极生态环境监测与研究	(88)
4.1	概述	(88)
4.2	生态环境监测	(89)
4.2.1	国际监测动态	(89)
4.2.2	我国的南极站基生态环境监测	(90)
4.3	我国南极生态环境科学重要研究进展	(92)
4.3.1	南极地衣物种资源收集及生态功能分析	(92)
4.3.2	微生物群落分布与结构特征	(94)
4.3.3	潮间带生态系统结构与功能	(97)
4.3.4	冰藻群落及环境相关性研究	(101)
4.3.5	近岸海洋环境及浮游生物群落变化特征	(104)
4.3.6	污染物分布及人类活动影响	(107)
4.4	结语与展望	(114)
	参考文献	(115)
5	南极考察人员生理心理适应性研究	(120)
5.1	概述	(120)
5.2	早期生理、心理适应性、劳动卫生和营养膳食等多学科综合研究	(120)
5.2.1	起始阶段	(120)
5.2.2	攻关阶段	(121)
5.3	我国南极站区不同环境因子对考察队员的影响及其机制研究	(124)
5.3.1	长期居留南极对越冬队员生理和心理的影响	(125)
5.3.2	南极昆仑站高寒环境对考察队员的交互作用	(133)
5.3.3	南极冰盖高原考察队员选拔的研究	(137)
5.3.4	南极高海拔低氧应激机制研究	(138)



5.4 结语与展望	(139)
参考文献	(140)
6 南极测绘及其遥感应用	(142)
6.1 概述	(142)
6.2 我国的南极大地测量与测绘考察	(142)
6.3 大地测量基准建立	(143)
6.3.1 大地测量空间基准与卫星跟踪站	(143)
6.3.2 高程基准与验潮站	(144)
6.3.3 重力基准与大地水准面	(145)
6.4 南极板块运动与冰川运动监测研究	(146)
6.4.1 南极板块运动监测	(146)
6.4.2 南极冰川运动监测	(147)
6.5 遥感测绘与南极冰雪环境监测	(149)
6.5.1 南极航空测量技术研究	(150)
6.5.2 卫星遥感制图和特殊冰貌分析	(150)
6.5.3 多源遥感数据冰流速监测	(153)
6.5.4 多源遥感数据冰架、海冰变化监测	(156)
6.5.5 卫星测高技术用于冰盖高程及其变化探测	(157)
6.5.6 基于卫星重力的南极冰雪物质平衡估算	(157)
6.5.7 基于 GNSS 技术的南极电离层和对流层研究	(158)
6.5.8 无线传感器网络	(159)
6.6 南极数字制图与南极地名	(159)
6.6.1 南极系列地图研究	(160)
6.6.2 多元化地图产品研究	(162)
6.6.3 制图方法和工艺研究	(162)
6.6.4 南极地名命名与标准化研究	(163)
6.7 南极地理信息系统与应用	(164)
6.7.1 我国南极 GIS 发展进程	(165)
6.7.2 我国南极 GIS 的主要进展	(165)
6.8 结语与展望	(167)
参考文献	(168)
7 南极冰川学考察与研究	(172)
7.1 概述	(172)
7.2 我国南极冰川学研究发展历程	(172)
7.3 我国南极冰川学监测系统及技术支撑系统	(175)
7.3.1 GPS 和卫星系统	(176)
7.3.2 钻探设备	(176)
7.3.3 观测标杆（标志）和重力仪	(176)

7.3.4	冰雷达	(177)
7.3.5	气象观测装置和设备	(177)
7.3.6	后勤保障设备和物资	(178)
7.4	我国南极冰川学研究进展	(178)
7.4.1	建立冰冻圈科学理论框架	(178)
7.4.2	东南极冰盖演化及其气候效应	(179)
7.4.3	南极冰盖物质平衡与海平面变化	(179)
7.4.4	南极雪层温度研究	(181)
7.4.5	南极雪冰稳定同位素研究	(181)
7.4.6	南极雪冰化学研究	(182)
7.4.7	冰穹 A 深冰芯科学与工程	(185)
7.5	结语与展望	(188)
7.5.1	冰穹 A 深冰芯研究计划	(188)
7.5.2	中山站—冰穹 A 断面以及航空地球物理调查计划	(189)
7.5.3	冰架与海洋相互作用—埃默里冰架热水钻研究计划	(189)
7.5.4	冰川学监测和技术支撑系统的加强与完善	(190)
7.5.5	全球变化研究与人才培养	(191)
	参考文献	(192)
8	南极高空大气物理学观测与研究	(196)
8.1	概述	(196)
8.2	我国南极高空大气物理学研究发展历程	(196)
8.3	我国南极高空大气物理学观测系统	(199)
8.4	我国南极高空大气物理学研究进展	(201)
8.4.1	极区电离层	(201)
8.4.2	极光和粒子沉降	(204)
8.4.3	极区等离子体对流	(207)
8.4.4	空间等离子体波的源区与传播特征	(208)
8.4.5	极区地磁与电流体系	(210)
8.4.6	极区空间天气	(212)
8.4.7	极区电离层—磁层数值模拟	(214)
8.5	结语与展望	(216)
	参考文献	(217)
9	南极陨石研究与天文学观测	(223)
9.1	概述	(223)
9.2	南极天文观测研究	(224)
9.2.1	南极天文建设必要性及现状	(224)
9.2.2	南极天文观测系统	(224)
9.2.3	南极天文研究进展	(227)



9.3 南极陨石发现与回收	(231)
9.3.1 南极格罗夫山陨石考察	(231)
9.3.2 考察组织工作和陨石收集程序	(234)
9.3.3 南极陨石富集机制	(235)
9.3.4 格罗夫山陨石富集特征	(235)
9.3.5 格罗夫山陨石特征	(236)
9.3.6 格罗夫山陨石富集的影响因素	(237)
9.4 陨石研究	(237)
9.4.1 南极陨石的基础分类	(237)
9.4.2 普通球粒陨石磁性分类	(237)
9.4.3 碳质球粒陨石及其中富 Ca、Al 包体	(238)
9.4.4 从林伍德石的拉曼光谱中解译化学成分	(238)
9.4.5 格罗夫山两块火星陨石岩石矿物学	(239)
9.4.6 火星陨石 GRV 99027 佐证大部分二辉橄榄岩质火星陨石来自火星表面同一岩浆 构造单元	(240)
9.4.7 火星陨石 GRV 020090 的两阶段形成模型	(240)
9.4.8 橄辉无球粒陨石及其冲击变质历史	(241)
9.4.9 南极陨石 GRV021710 (CR) 中含有大量前太阳系颗粒物	(242)
9.4.10 火星 190Ma 之前存在地下水	(243)
9.5 南极陨石管理	(244)
9.5.1 南极陨石样品出入库管理	(245)
9.5.2 南极陨石样品信息发布	(245)
9.5.3 南极陨石样品网上申请	(245)
9.5.4 南极陨石采集、保藏与共享组织方式	(245)
9.6 结语与展望	(246)
参考文献	(247)
编后记	(252)

1 南极大陆地质地球物理调查与研究

1.1 概述

我国南极地质的系统性研究始于1984年我国南极长城站的建立和科学考察的全面开展。此前,张青松、李华梅、陈廷愚等老一辈科学家分别在澳大利亚戴维斯站的西福尔丘陵,新西兰斯科特站的横贯南极山脉的干谷地区进行了考察,发表了我国南极地质研究的论文(张青松,1985;陈廷愚,1986)。

1985年2月,中国在西南极乔治王岛菲尔德斯半岛建立了第一个南极综合性科学考察站——长城站。刘小汉、李兆鼎、郑祥身、沈炎彬等对菲尔德斯半岛地质做了较全面的了解和研究(Li et al., 1991)。通过在乔治王岛菲尔德斯半岛的一系列地质调查建立了本区地层序列,地层年代为晚白垩世—早渐新世。中新世时期部分地区还存在火山活动。之后郑祥身、王非等在乔治王岛巴顿半岛开展地质考察,证实火山地层的时代主要为古新世—始新世(Wang et al., 2009)。

1989年2月,中国南极中山站建立。李继亮、赵越、刘小汉、任留东、仝来喜、王彦斌、姚玉鹏、刘晓春、陈宣华、胡健民、张拴宏等对该地区展开了持续深入的考察研究,取得了重要研究进展。赵越等提出了拉斯曼丘陵及邻区500 Ma“泛非事件”的重要性及其地质意义(Zhao et al., 1991, 1992; 赵越等, 1993)。任留东等首次报道了南极洲的硅硼镁铝矿,确定了硅硼镁铝矿—柱晶石—电气石硼硅酸盐矿物组合,区域变质岩石的 P - T 演化轨迹为顺时针,对应于泛非期碰撞造山的大地构造背景。仝来喜等识别出特殊的变质矿物如假蓝宝石及早期中压麻粒岩相残余。刘小汉等(1998)通过岩石学和年代学及构造分析对比研究认为拉斯曼丘陵经历了早期1 000 Ma中压麻粒岩相构造变质事件和晚期500 Ma泛非期低压麻粒岩相变质事件,前者可能与罗迪尼亚超大陆聚合有关,而后者则代表冈瓦纳古陆最终形成。王彦斌等(Wang, 2008)对拉斯曼丘陵及邻区的各类岩石开展了系统的锆石同位素年龄研究。拉斯曼丘陵及邻区不同岩石单元不同方法获得的越来越多的年代学数据都证实了500 Ma“泛非事件”在普里兹湾地区的广泛存在和重要性,赵越等(Zhao et al., 1991, 1992, 1995; 赵越等, 1993)揭示的东南极“泛非期”构造热事件的重要性及其地质意义得到国际的共识。

1998年第15次南极考察以来,刘小汉、刘晓春、琚宜太、俞良军、胡健民、方爱民、缪秉魁、黄费新、韦利杰、陈虹、王伟对中山站以南约400 km的格罗夫山(见图5-1)展开了持续深入的考察研究。格罗夫山地区属于一个由年轻的早新元古代侵入杂岩构成基底的地体,是普里兹造山带向南极内陆的延伸部分,是典型的寒武纪“泛非期”地质体。早期构造变形阶段,峰期变质作用达到高压麻粒岩相,相当于40~50 km的地壳深度。大型低角度韧性剪切带导致麻粒岩相变质岩抬升到中上地壳,同时发育同构造—后构造A型紫苏花岗岩和花岗岩,导致麻粒岩地体近等压降温的晚期演化轨迹。格罗夫山地区构造热事件演化过程特别是高压麻粒岩的产出证明普里兹带是碰撞造山带,且很可能继续向南延伸到甘布尔采夫冰下山脉(Zhao et al., 2000, 2003; Kelsey et al., 2008;