

极地测绘遥感 信息学

鄂栋臣 编著



科学出版社

极地测绘遥感信息学

鄂栋臣 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是极地考察 30 多年极地测绘成果的系统汇集,是测绘科学与技术在南北两极特殊环境下的具体运用和发展的系统总结,是对信息化极地测绘理论和技术体系的系统梳理。本书是第一本系统介绍极地动力大地测量、极地遥感、极地地球物理、极地制图与地理信息系统等内容的极地测绘遥感信息学教科书,主要包括:极地测绘基准、南极地球动力学、GPS 在极区大气环境中的应用、极地地球物理大地测量、极地冰雪遥感、极地冰盖变化动态过程、极地海冰特征参数与变化监测、南极地形测绘、极地数字制图与极地地理信息系统。

本书内容丰富,通俗易懂,将理论知识与具体实践相结合,既介绍极地测绘的理论与技术,又包含测绘技术在极地冰雪环境与全球变化研究中的应用。本书是面向测绘、海洋、地质、环境等多领域研究生的教材,也可供相关领域科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

极地测绘遥感信息学/鄂栋臣 编著. —北京:科学出版社, 2018.10

ISBN 978-7-03-059070-1

I. ①极… II. ①鄂… III. ①极地—测绘—遥感技术 IV. ①P941.6
②P237

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 232940 号

责任编辑:杨光华 / 责任校对:湛 莉

责任印制:彭 超 / 封面设计:苏 波

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

武汉精一佳印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本: 787×1092 1/16

2018 年 10 月第 一 版 印张: 32

2018 年 10 月第一次印刷 字数: 756 000

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

极地是全球变化的关键地区，也关系着国家安全和发展的，更是全球治理体系的新空间。受地理位置、自然环境和观测手段的限制，长期以来我国对于极地的认知显得不足。1984年，中国迈出了“认知、保护、利用”极地的第一步，首次进行了南极科学考察。历经30多年的发展，先后建立了南极长城站、中山站、昆仑站和泰山站，以及北极黄河站，由南到北，极地考察与科学研究实现了跨越式的发展。“极地科考，测绘先行”，测绘技术为极地科学考察和研究提供了有力保障和技术支撑。一方面，测绘技术为多学科的科学考察提供了有效的测绘保障；另一方面，基于空-天-地立体观测手段，开展了极地冰雪环境监测与全球变化研究。永久性测绘标志在极地的埋设、具有国家版图意义的极地地图测绘以及极地地名的命名都在一定程度上维护着国家极地权益。

伴随着中国极地事业的推进，极地测绘也有了长足的发展。先后近200人次测绘人员赴南北两极，开展了极地基础测绘、极地冰雪环境动态过程监测、极地环境与资源综合考察等；建立了高精度、实时动态测绘基准体系，建立了空-天-地一体化极地冰雪环境立体观测体系，建立了极地测绘数据生产与应用服务体系，逐步形成了信息化的极地测绘技术体系。经过30多年探索与积累，将现代测绘学的基础理论和技术，与中国极地考察实际和研究极地特殊科学问题相结合，创造性地探索出了一套适应中国极地科学考察、具有中国特色的极地测绘遥感信息学理论和应用技术体系。

极地测绘遥感信息学，是综合利用现代大地测量学、遥感学和地理信息学和其他学科（如冰川、气象、海洋、地质、环境学等）交叉渗透形成的理论和方法，通过获取空间数据和信息，研究极地板块运动、表面形态描绘及分布特征、冰雪环境变化及其动态过程，构建智慧极地基础框架等理论和技术的学科。因此，它是现代测绘科学与空间信息技术集成应用于我国极地科学考察研究中新开辟的一个学科领域，是极地科学研究的重要内容。本书是中国极地科学考察的教科书，它将为推动中国极地科考事业的发展起到积极作用。

李德仁

前 言

随着我国极地考察事业的发展，中国极地测绘经三十余年不懈研究和现场考察沉淀，探索出了一套适合地球两极极端区域的特殊测绘研究途径和方法。地球两极，特别是南极，人迹罕至，环境极端恶劣，传统测绘常规方法无法实施，充分利用现代空间测绘和数字化信息化测绘理论和技术，创造性地拓展在极地应用的新领域、新途径，是中国极地测绘科学考察研究的长期指导思想。特别是近十年来，我国极地测绘取得了长足发展，大力构建智慧极地地理空间基础框架，全面建成信息化极地测绘技术与服务体系，在为我国极地科学考察提供更坚实、更高效的测绘保障和技术支撑等方面又有新的提高。“十二五”期间，随着我国加大极地科学考察与全球变化研究等战略的提出，为了进一步提升我国对极地冰雪环境动态变化过程监测、全球变化关系研究以及极地地理区情变化监测研究等方面的能力，重点突破了动态大地测量基准建立、海量空间信息获取与处理、综合集成应用等关键技术，构建极地测绘连续观测网络平台和应用服务平台，在完善建立具有中国特色的极地信息化测绘体系等方面取得了新的进展。

中国极地测绘三十余年在地球两极走过的路，是一条前人未曾走过的开拓之路、探索之路、创新之路，也是一条拼搏奉献之路。正是中国极地测绘队伍发扬顽强拼搏精神和付出智慧劳动，持之以恒，从无到有不断探索、积累，才为本书能与顺利与读者见面打下了坚实基础。

《极地测绘遥感信息学》系统地叙述了极地动力大地测量、极地冰雪遥感、极地数字制图与地理信息系统以及涉及相关学科等方向的研究成果，高度凝练极地测绘理论与技术的精髓。本书以现代大地测量学、遥感科学与技术 and 地理信息科学为依托，重点研究极地特殊环境下极地空间信息过程与全球变化，为极地测绘科学考察研究提供理论基础与技术指导。

本书共分为 11 章。全书由鄂栋臣总统稿，张胜凯、周春霞、庞小平分别负责极地大地测量和地球物理、极地冰雪遥感与动态过程、极地制图与地理信息系统三大内容板块的统稿工作。第 1 章由鄂栋臣编写；第 2~3 章由鄂栋臣、张胜凯编写；第 4 章由王泽民、张胜凯、安家春编写；第 5 章由杨元德、郝卫峰、晏鹏编写；第 6 章由周春霞、刘婷婷、杨元德编写；第 7 章由周春霞、杨元德、袁乐先编写；第 8 章由周春霞、刘婷婷、赵羲、季青、张宇编写；第 9 章由王泽民、张胜凯、艾松涛、柯灏、周春霞编写；第 10 章由庞小平、刘海燕、周春霞编写；第 11 章由艾松涛、刘海燕编写。

本书在编写过程中引用和参阅了国内外相关著作和论文，部分已列入书中的参考文献，在此表示诚挚的谢意！

由于编著者水平有限，书中不妥和疏漏之处在所难免，敬请读者和专家批评指正。

鄂栋臣

2018.05

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 地球两极	1
1.1.1 南极	1
1.1.2 北极	3
1.2 极地科学考察	5
1.3 中国极地测绘科学考察研究方向和内容	8
参考文献	9
第 2 章 极地测绘基准	10
2.1 基于传统大地测量技术的南极坐标系统	10
2.1.1 长城站坐标系统的建立	10
2.1.2 中山站坐标系统的建立	14
2.2 南极验潮系统与高程基准	16
2.2.1 中山站验潮站建设	16
2.2.2 长城站验潮站建设	20
2.3 南极重力基准	23
2.3.1 长城站重力基准建立	24
2.3.2 拉斯曼丘陵重力基准建立	28
2.4 基于空间大地测量技术的南极参考框架	33
2.4.1 参考框架概述	34
2.4.2 参考框架的实现与可靠性	37
2.4.3 南极地区参考框架	40
参考文献	43
第 3 章 南极地球动力学	45
3.1 南极大地构造与板块运动	45
3.1.1 板块构造学基础	45
3.1.2 南极地质构造与板块运动	46
3.2 南极 GPS 观测活动与数据处理	49
3.2.1 南极 GPS 观测活动	49
3.2.2 GPS 数据处理	58
3.3 南极地壳运动监测	65
3.3.1 水平运动监测成果	66
3.3.2 利用 GPS 垂向速度分析 GIA 模型	74
参考文献	82

第4章 GPS在极区大气环境中的应用	85
4.1 基于GPS技术的极区电离层	85
4.1.1 概述	85
4.1.2 极区电离层基本特征	91
4.1.3 极区电离层异常特征	96
4.1.4 极区电离层监测及预报	108
4.2 极区GPS气象学	116
4.2.1 概述	116
4.2.2 GPS气象学基本原理	120
4.2.3 基于GPS技术的北极遥感大气水汽研究	129
4.2.4 基于GPS技术的南极遥感大气水汽研究	130
4.2.5 基于掩星事件反演极区对流层顶基本特征	131
参考文献	145
第5章 极地地球物理大地测量	151
5.1 极区地球形状特征与精细大地水准面	151
5.1.1 概述	151
5.1.2 主要测量仪器介绍	152
5.1.3 卫星重力	158
5.1.4 航空重力测量	160
5.1.5 地面重力测量	161
5.1.6 海洋重力测量	163
5.1.7 南极地球形状与大地水准面精化	164
5.1.8 南极地区大地水准面精化	168
5.2 极区卫星重力应用	169
5.2.1 概述	169
5.2.2 重力卫星的发展	169
5.2.3 利用卫星时变重力场反演南极区域质量变化	174
5.3 南极航空重力测量	180
5.3.1 航空重力原理	180
5.3.2 模型中各项改正	181
5.3.3 滤波	182
5.3.4 平差及延拓	182
5.3.5 南极航空重力异常	183
5.4 南极海洋重力测量	185
5.4.1 引言	185
5.4.2 卫星测高反演重力异常的原理	185
5.4.3 船载重力与卫星测高联合反演	188
5.4.4 南大洋海域重力异常	191

5.5 地震观测在南极地球物理大地测量学中的应用	197
5.5.1 南极地震学发展现状	197
5.5.2 南极地震研究前沿——冰冻圈地震学	204
参考文献	205
第6章 极地冰雪遥感	210
6.1 极地光学遥感	210
6.1.1 遥感原理及相关卫星介绍	210
6.1.2 遥感影像预处理	217
6.1.3 极地光学遥感应用	220
6.2 极地微波遥感	227
6.2.1 辐射计	227
6.2.2 散射计	231
6.2.3 成像雷达	235
6.3 卫星高度计	237
6.3.1 卫星测高的发展过程	237
6.3.2 卫星测高的应用	239
6.3.3 卫星测高基本测量原理	242
参考文献	243
第7章 极地冰雪变化动态过程	246
7.1 极地冰盖地形	246
7.1.1 基于卫星测高的极区数字高程模型建立	246
7.1.2 基于光学立体的极区数字高程模型建立	252
7.1.3 基于雷达干涉测量的极区数字高程模型建立	255
7.2 极地冰盖边缘变化监测	261
7.2.1 海岸线	261
7.2.2 接地线	263
7.3 南极冰盖冰流运动监测	266
7.3.1 冰流运动检测方法	266
7.3.2 冰盖冰流监测研究	275
7.4 南极冰盖高程变化监测	284
7.4.1 波形重定算法	284
7.4.2 卫星测高监测南极冰盖变化算法	285
7.4.3 基于 ICESat 的南极冰盖变化	289
7.5 极地冰雪物质平衡	293
7.5.1 物质平衡概述	293
7.5.2 基于 GRACE 的物质平衡研究	294
7.6 冰下湖	298
7.6.1 冰下湖的成因及研究意义	298

7.6.2 冰下湖探测识别方法	299
7.6.3 冰下湖研究进展	301
参考文献	302
第8章 极地海冰特征参数与变化监测	307
8.1 海冰类型	307
8.2 海冰密集度	314
8.2.1 基于被动微波辐射计数据的海冰密集度估算方法	314
8.2.2 基于被动微波辐射计数据的海冰密集度估算方法精度分析	321
8.2.3 多源数据结合的海冰密集度估算	327
8.3 海冰范围与海冰面积	328
8.3.1 基于光学数据的海冰范围获取	329
8.3.2 基于被动微波数据的海冰范围提取	331
8.3.3 基于主动微波数据的海冰范围提取	333
8.3.4 海冰范围变化趋势及其不确定性	336
8.4 海冰厚度	342
8.4.1 海冰厚度仰视声呐探测技术	342
8.4.2 海冰厚度走航观测技术	343
8.4.3 海冰厚度电磁感应探测技术	344
8.4.4 海冰厚度微波探测技术	344
8.4.5 海冰厚度卫星测高反演技术	345
8.4.6 基于卫星测高技术的北极海冰厚度时空变化	353
8.5 海冰温度	356
8.5.1 分裂窗算法原理	358
8.5.2 大气透过率估算	358
8.5.3 比辐射率获取	359
8.5.4 大气透过率温度校正	359
8.5.5 大气透过率传感器视角校正	359
参考文献	361
第9章 南极地形测绘	369
9.1 南极站区与冰面地形测绘	369
9.1.1 长城站站区地形测绘	369
9.1.2 中山站站区地形测绘	370
9.1.3 格罗夫山区地形图测绘	370
9.1.4 Dome A 地形测绘	372
9.1.5 泰山站区地形图测绘	375
9.2 极地冰下地形测绘	376
9.2.1 冰川内部特征监测方法	376
9.2.2 基于 GPR 的冰下地形测绘	380

9.2.3 GPR 野外测量实例	389
9.3 极区海面地形与海底地形测绘	397
9.3.1 概述	397
9.3.2 回声测深原理	398
9.3.3 多波束测深	400
9.3.4 机载激光测深	404
9.3.5 基于水下机器人的水下地形测量	407
9.3.6 测线布设	409
9.3.7 测深精度	411
9.3.8 水位改正	413
9.3.9 测量数据质量与管理	419
9.3.10 海底地形成图	420
参考文献	423
第 10 章 极地数字制图	425
10.1 极地地图投影	425
10.1.1 高斯-克吕格投影	425
10.1.2 通用横轴墨卡托投影	427
10.1.3 墨卡托投影	428
10.1.4 通用极球面投影	429
10.1.5 兰伯特正形等角圆锥投影	430
10.1.6 广义等差分纬线多圆锥投影	431
10.2 极地地图编制	432
10.2.1 地图编辑设计一般过程	432
10.2.2 地图制图工艺流程	437
10.2.3 地图制图与出版一体化技术	438
10.2.4 小比例尺南北极地图编制	440
10.2.5 重点考察区域大中比例尺系列地图编制	443
10.2.6 《南北极地图集》编制	445
10.2.7 南北极环境综合考察标准底图发布系统	447
10.3 极地遥感制图	450
10.3.1 极地遥感制图设计	450
10.3.2 极地遥感正射影像图	452
10.3.3 极地遥感专题影像地图	453
10.4 南极地名	458
10.4.1 南极考察与南极地名	458
10.4.2 南极地名的命名	461
10.4.3 中国命名的南极地名	463
参考文献	464

第 11 章 极地地理信息系统.....466

11.1 极地地理信息系统概述.....466

11.2 中国极地考察管理信息系统.....466

11.2.1 概述.....466

11.2.2 系统整体构架.....467

11.2.3 地理信息管理.....469

11.2.4 极地考察管理信息.....470

11.3 雪龙在线网络信息平台.....471

11.3.1 系统架构与技术流程.....471

11.3.2 功能模块.....475

11.3.3 海冰影像更新.....476

11.4 “掌上两极”移动信息平台.....478

11.4.1 系统设计.....479

11.4.2 客户端设计与实现.....480

11.4.3 服务器端设计与实现.....481

11.5 信息应用服务.....484

11.6 基于 GIS 的极地战略.....485

11.6.1 考察站选址.....485

11.6.2 极地战略态势可视化分析.....491

参考文献.....496

第1章 概 论

1.1 地球两极

地球两极是指地球南极圈和北极圈，即南纬和北纬 $66^{\circ}33'$ 纬线以上范围内的区域，分别称为地球的南极和北极。

1.1.1 南极

南极（Antarctic）是南极洲和南大洋的总称。

1. 南极洲

南极洲，包括南极大陆及其周围岛屿，其面积约为 $1400 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。南极洲是冈瓦纳（Gondwana）古陆分裂解体后，其中陆块的核心部分，在大陆漂移作用下，缓慢地运动到地球南端，形成地理上完全独立的南极大陆及其周围的岛屿。

南极大陆的海岸线大致成圆形，其最大直径约为 4500 km 。通常在地质和地理上把南极大陆分为东南极和西南极两部分，其界线是由格林尼治 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 子午线给定的，在这两大部分之间，贯穿着呈东南—西北走向的横贯南极山脉（Transantarctic Mountains）。南极大陆的平均海拔高度为 2000 余米，是地球上其他大陆平均高度的 3 倍。

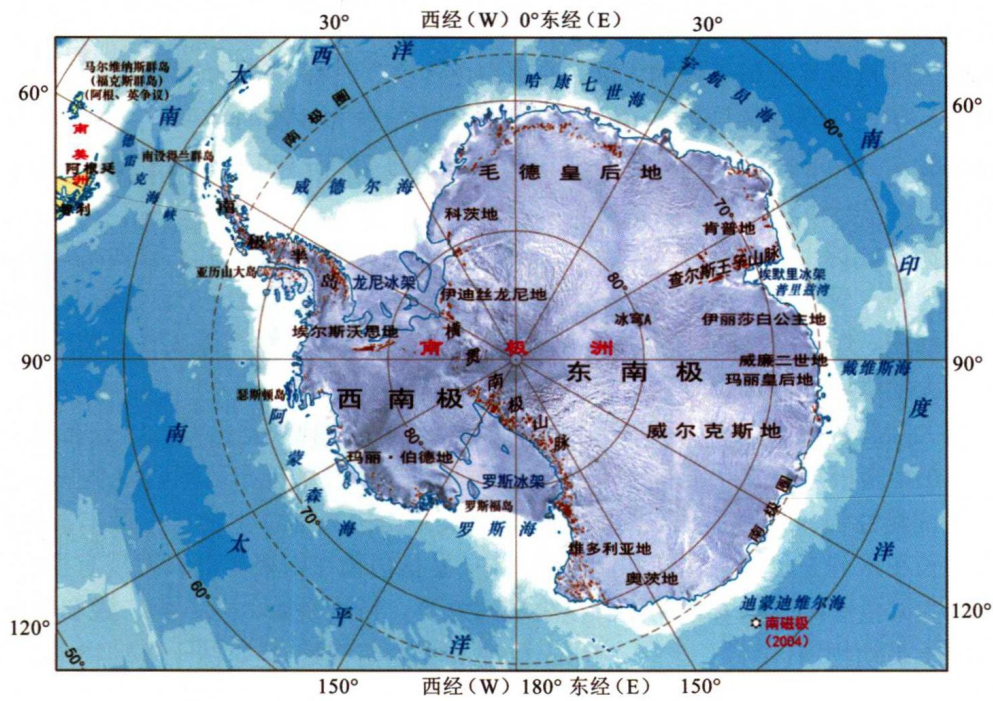


图 1.1 南极地区

南极大陆 90% 的陆地常年被冰原所覆盖, 冰盖的平均厚度为 2450 m, 最大厚度可达 4750 m。冰雪总储量为 $2500 \times 10^4 \sim 3000 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是全球冰雪总储量的 90%, 是全球淡水总储量的 72%。如果南极冰盖全部融化, 可使全球平均海平面升高 60 m, 沿海的许多陆地和城市会被淹没。

虽然冰是固体物质, 由于长时间受力, 仍会产生变形, 从大陆中心顺着谷地向低处流动, 形成许多大小不同的冰川伸向海洋, 浮在海面上, 形成冰架。每当南极夏季来临, 气温升高, 从冰架的边缘分离出南极洲特有的平台冰山, 其厚度可达 200 m, 其长度为几百米到几十千米, 最大长度曾超过 180 km。

在南极圈以内的地区, 明显地分为冬夏两个季节。冬季出现连续的黑夜, 而夏季则出现连续的白昼, 其连续黑夜及连续白昼时间的长短与极圈内的纬度高低相一致, 在南极点的持续时间最长, 白昼和黑夜各为二分之一。

在极圈以内的高纬度地区, 由于吸收到的太阳辐射能相对比较少, 气温较低, 而且南极圈内全是陆地, 与北极相比较, 受海洋调节的影响较小, 南极洲是全球最冷的大陆。在沿海地区, 年平均气温约为 -17°C , 冬季最低气温很少低于 -40°C , 而夏季的最高气温可达 9°C 。从沿海向内陆, 气温逐渐降低。1983 年 7 月, 苏联东方站 (Vostok, $78^\circ 27' \text{ S}$, $106^\circ 52' \text{ E}$) 的气温曾降到 -89.2°C , 这是目前全球所测得气温的最低纪录。

南极大陆以多风暴著称, 风暴频繁而且强烈。在东南极洲的中央高原常年被极地高压控制, 风很微弱, 但其强烈的冷空气沿着冰面陡坡向沿岸急剧流动, 形成稳定而强劲的下降风, 并频繁地在大陆沿岸地区产生强烈的暴风雪, 使能见度降低, 有时几乎下降到零, 持续时间为几小时至几天, 局部地区风速可达 85 m/s 以上。在 $50^\circ \sim 70^\circ \text{ S}$ 气旋活动频繁, 任一时刻都可能有 6 个以上的低压气旋环绕南极大陆自西向东移动, 移动速度可达 8.5 km/h, 其最大风速可达 70 m/s 以上。

南极大陆是世界上最干燥的大陆, 有“白色沙漠”之称, 年平均降雪量为 12 cm, 在中央高原, 年平均降雪量只有 5 cm, 其降水量比撒哈拉大沙漠的稍多一点。自中央高原向大陆边缘, 其年平均降雪量逐渐有所增加, 在沿海 200~300 km 的狭窄地带内, 年平均降雪量可达 20~55 cm。

南极洲是地球上唯一没有土著居民, 唯一未被开发的大陆。由于它远离其他大陆, 大气比较纯净, 受人为的污染很小。人们已初步查明, 南极洲是一个自然资源宝库, 蕴藏有丰富的铁、煤、铜、铅、锌、锰、金、银、铀、石油和天然气等 220 多种矿产资源, 世界上最大的铁山和煤田也是在南极。

南极大陆与其他大陆相比, 动植物的种群数量较少。地衣是最常见、分布最广的植被, 即使在距南极点约 300 km 的露岩区也能发现地衣。苔藓分布范围则要小些, 因为它对湿度的依赖性强, 只能生长在沿海地区。藻类是南极大陆总生物量中最丰富的植物, 但它只生长在水分充足的水洼地和潮湿土壤中。显花植物在南极半岛只发现有少许几种。

南极大陆没有陆生的脊椎动物。昆虫和蜘蛛类, 特别是蜚、虱、螨、蠓和尖尾虫是最高级的土著动物。其中体长 2.5~3.0 mm 的蠓和无翅南极蝇, 是这些土著动物中最大的, 而且只有南极半岛西侧 $64^\circ \sim 65^\circ 30' \text{ S}$ 才有发现。在 89° S 以南的高原地区, 目前仍被认为是没有土著生命的世界。

在南极大陆的沿海地区,企鹅、海豹、贼鸥和海燕等数量很多,但它们大部分时间是在海上活动和摄食,陆缘只是它们暂时栖息和繁殖之地。

2. 南大洋

南大洋由太平洋、大西洋、印度洋的南端部分组成,南大洋的北缘,比较公认的是以有海洋特征的南极辐合带为界。这条辐合带是由南向北流动、温盐度较低的南极表层水与来自温带海区向南流动、盐度较高的表层水相遇并产生混合,在 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{S}$ 的区域内,形成一条环绕南极大陆的海水(流、温、盐)跃变地带。南大洋是唯一没有东西海岸的大洋,总面积约为 $3800\times 10^4\text{km}^2$ 。在南极大陆周围存在着东风漂流和西风漂流的绕极流,这是南极大陆周围海域的一个重要特点。

在南极的冬季,海冰面积可达 $2000\times 10^4\text{km}^2$,完全封住整个大陆并向外延伸 $300\sim 400\text{km}$,个别地区伸展到 55°S 。在南极的夏季,85%的积冰流散到不冻海域融化掉,海冰面积则缩小为 $400\times 10^4\sim 500\times 10^4\text{km}^2$,但陆缘冰断裂而成的冰山则布满海面,逐渐向低纬度海域扩散漂移。

南极洲周围的大陆架,只有罗斯海和威德尔海比较宽,其余的陆架区都比较窄,只有十几千米。南极洲大陆架的另一个特点是深度一般在 $400\sim 600\text{m}$,而其他各洲的大陆架一般只有 $100\sim 150\text{m}$ 。

南大洋生物与其他各大洋相比,种类较为贫乏,但其生物数量却十分丰富。大量的浮游植物是南大洋简单食物链的第一环,它是南大洋中个体微小的浮游生物、南极磷虾的主要食物。南极磷虾是南大洋食物链中的一个关键环节,它直接维持着南大洋中其他生物,如乌贼、鱼类、海鸟、企鹅、海豹和鲸等的生命。磷虾是南大洋最大的生物资源,蕴藏量达几十亿吨。由于磷虾全身含高蛋白质,所以南大洋又被誉为人类未来取之不尽的动物蛋白质的仓库。

1.1.2 北极

北极(Arctic)地域范围是指北极圈以北的广大区域,也叫作北极地区。北极地区包括北冰洋及其边缘陆地海岸带和岛屿、北极苔原和最外侧的泰加林带。如果以北极圈作为北极的边界,北极地区的总面积是 $2100\times 10^4\text{km}^2$,其中陆地部分为 $800\times 10^4\text{km}^2$ 。也有从物候学角度出发,以7月份平均 10°C 等温线(海洋以 5°C 等温线)作为北极地区的南界,这样北极地区的总面积就扩大为 $2700\times 10^4\text{km}^2$,其中陆地面积约 $1200\times 10^4\text{km}^2$ 。如果以植物种类的分布来划定北极,把全部泰加林带归入北极范围,那么北极地区的面积将超过 $4000\times 10^4\text{km}^2$ 。北极地区究竟以何为界,环北极国家的标准也不统一,不过一般人习惯于从地理学角度出发,将北极圈作为北极地区的界线。

1. 北冰洋

北冰洋是一片浩瀚的冰封海洋。北极与南极不同之处是,南极是以大陆为中心,四周被南大洋包围,北极是以海洋为中心,四周由欧亚大陆、北美大陆和格陵兰岛北部陆地环抱着,使中间的北冰洋成为相对封闭的海洋。北冰洋绝大部分洋面常年被海冰覆盖,是地球上唯一的白色海洋。海冰平均厚度 3m ,冬季覆盖面积达73%,约有 $1000\times 10^4\sim$

$1\,100\times 10^4\text{ km}^2$ 。夏季覆盖面积约 53%，随着气候变暖，夏季海冰融化加速，海冰覆盖面积越来越小。中央北冰洋的海冰已持续存在 300 万年，属永久性海冰。

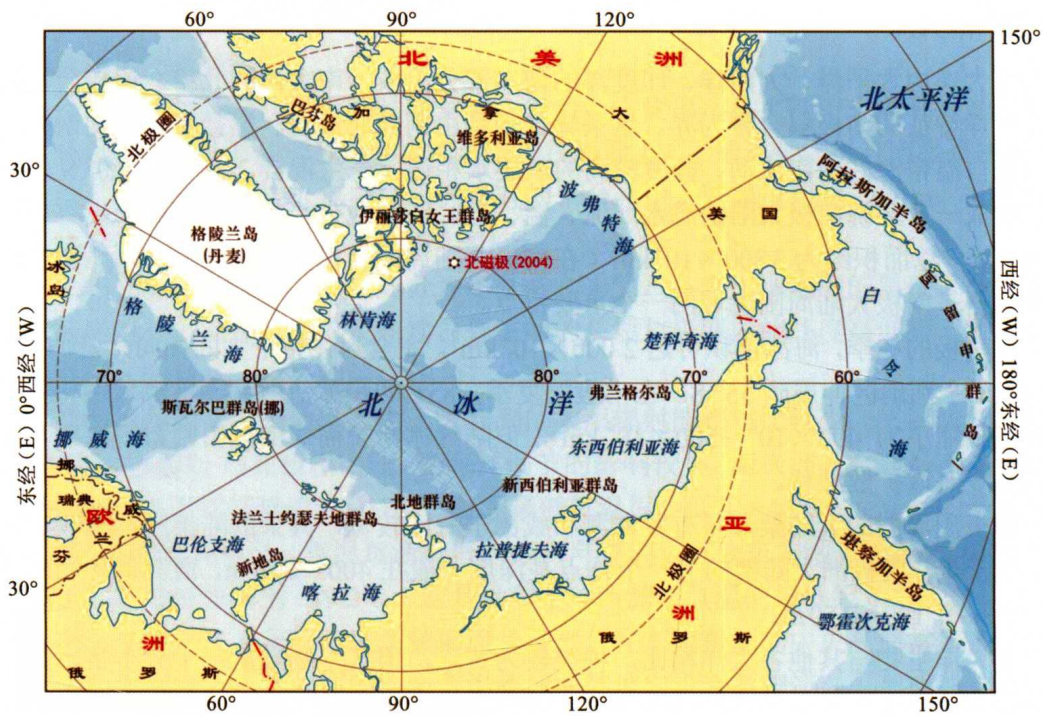


图 1.2 北极地区

北冰洋海冰下的海水像全球其他海洋的海水一样在不停地按照一定规律流动着。对北冰洋表层环流起主要作用的有两支海流：一支是大西洋洋流的支流——西斯匹茨卑尔根海流，这支高盐度的暖流从格陵兰岛以东流入北冰洋，沿陆架边缘做逆时针运动；另一支是从楚科奇海进入，流经北极点后又从格陵兰海流出，并注入大西洋的越极洋流——东格陵兰底层冷水流。它们共同控制着北冰洋的海洋水文基本特征。

北冰洋周边的陆地区域可分为两大部分，即欧亚大陆和北美大陆与格陵兰岛，两部分以白令海峡和格陵兰岛分隔。整个北冰洋的海岸线曲折而复杂，周围陆架区分布着众多的岛屿，总面积约 $380\times 10^4\text{ km}^2$ 。格陵岛为地球上最大的岛屿，面积为 $218\times 10^4\text{ km}^2$ ，比西欧加上中欧的面积还大一些，因此，格陵兰岛也被称为次大陆。格陵兰岛 83%被冰雪覆盖，覆盖面积达 $180\times 10^4\text{ km}^2$ ，其冰层平均厚度达到 2300 m，与南极冰层厚度相当。格陵兰岛冰雪总量约 $300\times 10^4\text{ km}^2$ ，占全球淡水总量的 5.4%。如果格陵兰岛冰雪全部消融，可使全球海平面上升 7.6m。

2. 北极地区气候与自然资源

北冰洋的冬季从 11 月起直到次年 4 月，长达 6 个月。5~6 月和 9~10 月分属春季和秋季，而夏季仅 7~8 月两个月。1 月的平均气温介于 $-40\sim -20^{\circ}\text{C}$ 。而最暖月 8 月的平均气温也只达到 -8°C 。在北冰洋极点附近漂流站上测到的最低气温是 -59°C 。由于洋流和北极反气旋的影响，北极地区最冷的地方并不在中央北冰洋。在西伯利亚维尔霍杨斯克曾记录到 -70°C 的最低温度，在阿拉斯加的普罗斯佩克特地区也曾记录到 -62°C 的气温。

越是接近极点, 极地的气象和气候特征越明显。在那里, 一年的时光只有一天一夜。即使在仲夏时节, 太阳也只是远远地位于南方地平线上, 太阳升起的高度从不会超过 23.5° 。

北极有无边的冰雪和漫长的冬季。与南极一样, 也有极昼和极夜现象, 越接近北极点越明显。北极的冬天从每年的 11 月 23 日开始, 有接近半年的时间是完全看不见太阳的, 温度会降到 -50°C 。

北极到了 4 月天气才慢慢暖和起来, 冰雪逐渐消融, 大块的冰开始融化、碎裂, 碰撞发出巨响; 小溪出现潺潺的流水, 天空变得明亮起来。5~6 月, 植物变绿, 动物开始活跃, 并忙着繁殖后代。在这个季节, 动物们可获得充足的食物, 积累足够的营养和脂肪, 以度过漫长的冬季。

北极的秋季非常短暂, 9 月初第一场暴风雪就会降临, 北极很快又回到寒冷、黑暗的冬季。北极的年降水量一般在 $100\sim 250\text{mm}$, 在格陵兰海域可达 500mm , 降水集中在近海陆地上, 最主要的形式是夏季的雨水。但是到 2011 年底为止, 海洋部分的冰层已经全部融化, 这种趋势也将逐步蔓延到北极大陆上的冰层。

北冰洋中有丰富的鱼类和浮游生物, 这为夏季在这里筑巢的数百万只海鸟提供了丰富的食物来源, 同时, 它们也是海豹、鲸和其他海洋动物的食物。北冰洋周围的大部分地区都比较平坦, 没有树木生长。冬季大地封冻, 地面上覆盖着厚厚的积雪。夏天积雪融化, 表层土解冻, 植物生长开花, 为驯鹿和麝牛等动物提供了食物。同时, 狼和北极熊等食肉动物也依靠捕食其他动物得以存活。北极地区是世界上人口最稀少的地区之一。千百年以来, 因纽特人(旧称爱斯基摩人)在这里世代繁衍。最近, 这里发现了石油, 因而许多人从南部来到这里工作。

北极风速远不及南极, 即使是冬季, 冰洋沿岸平均风速也只有 10m/s 。

北极地区的自然资源极为丰富, 包括不可再生的矿产资源与化学能源、可再生的生物资源, 以及如水力、风力等恒定资源。

北极资源中对于现代社会最重要和最直接的当然要属能源中的石油与天然气资源。据保守估计, 该地区潜在可采石油储量为 $1\,000\times 10^8\sim 2\,000\times 10^8$ 桶, 天然气的储量在 $50\times 10^{12}\sim 80\times 10^{12}\text{m}^3$ 。可以看出, 当世界上其他地区的油气资源趋于枯竭时, 北极将成为人类最后的一个能源基地。此外, 北极的煤炭资源也极为丰富, 光西伯利亚的煤炭储量估计为 $7\,000\times 10^8\text{t}$ 或者更多, 甚至可能超过全球储煤量的一半。北极还有世界级的大铁矿, 世界最大的铜镍钯复合矿基地, 有贵金属黄金, 有金刚石, 那里还储有铀和钚(被称为战略性矿产资源)等放射性元素。

1.2 极地科学考察

地球南北两极是天然的科学研究圣地。人类对极地进行大规模综合性科学考察始于 1957~1958 年的国际地球物理年。由于两极地区的特殊地理位置和特殊的自然环境, 人类难以接近, 尤其是南极, 它是地球上最后一个被发现且唯一无土著人居住的大陆, 位于地球最南端, 与其他大陆隔南大洋相望, 是地球上最偏远、最寒冷、领土主权悬而未决的大陆。因此, 进行极地考察, 认识极地, 人类经历了一个漫长的过程。

从 1772 年库克扬帆南下到 19 世纪末,先后有很多探险家驾帆船去寻找南方大陆,历史上把这一时期称为帆船时代。20 世纪初到第一次世界大战前,尽管时间短暂,但人类先后征服了南磁极和南极点,涌现了不少可歌可泣的探险英雄。历史上称这一时期为英雄时代。第一次世界大战后至 20 世纪 50 年代中期,人类在南极的探险逐渐用机械设备取代了狗拉雪橇。1928 年英国的 H.威尔金驾机飞越南极半岛,1929 年美国人 R.伯德驾机飞越南极点,同年另一美国人 L.艾尔斯沃斯驾机从南极半岛顶端飞至罗斯冰架。飞机在南极探险方面为人类宏观正确地认识南极大陆提供了可靠的手段,历史上称这一时期为机械化时代。从 1957~1958 年的国际地球物理年起至今,众多的科学家涌往南极,他们在那里建立常年考察站,进行多学科的科学考察,人们称这一时期为科学考察时代。

北极的大规模科学考察,也开始于 1957~1958 年的国际地球物理年。当时国际上 12 个国家的科学家在北极和南极进行了大规模、多学科的考察与研究,在北冰洋沿岸建立了 54 个陆基综合考察站,在北冰洋中建立了许多浮冰漂流站和无人浮标站。尽管随着北极的地理发现,一些国家很早就开始了零星的海洋学、地质学、冰川学、测绘与制图学、气象学、生物学等学科的考察,但是国际地球物理年科学活动的成功,才标志着北极和南极科学考察进入了正规化、现代化和国际化的阶段。

1. 极地大科学考察研究

极地科学考察进入国际化大科学考察时代,是在 20 世纪 90 年代全球变化引起全世界科学家高度关注的国际背景下开始的。地球南、北极在反映全球变化中起到指示器和放大器的作用,系统地考察研究地球两极地区冰冻圈与全球变化的相互作用是至关重要的科学问题。

从宇宙观看地球,人类居住的是一个充满蓝色和生机的星球,它在浩瀚的宇宙中翱翔。地球生命起源和进展,得益于地球存在着支撑它们生存的不同功能的圈层及其相互作用。除了水圈、大气圈、地圈、生物圈外,还有起着重要平衡和制约作用的冰冻圈,这也是人类关心占全球 90% 冰川的南极洲的重要原因。

认识人与自然的关系,人类却经历了一个漫长的过程。数百年来,尤其是工业革命以来,人类活动所产生的能量与物质对自然界的叠加影响日益明显,这一趋势对人类未来生存环境已经并继续产生着深刻而长远的影响。然而直到 20 世纪 80 年代初,人们才提出了全球变化的概念,但却迅速地形成了大量的全球科学家响应的全球变化研究计划。国际上公认,由国际科学理事会(International Council for Science, ICSU)或其与其他学术团体联合发起的“世界气候研究计划”(World Climate Research Programme, WCRP)、“国际地圈-生物圈计划”(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)、“国际全球环境变化人文因素计划”(International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, IHDP)和“国际生物多样性计划”(An International Programme of Biodiversity Science, DIVERSITAS)是自那个时期以来引领全球环境变化研究的四大核心计划。WCRP 是从地球物理环境、IGBP 是从全球地球化学和生物环境、IHDP 是从人类活动对地球环境的影响、DIVERSITAS 是从生物对全球变化的响应的不同角度来揭示全球环境变化和未来预测。这四大计划中都首次包含了南极和北极研究的重要分支计划。研究者认为,要了解全球变化,就应当既重视中低纬度地区,也要重视本来就了解很少