



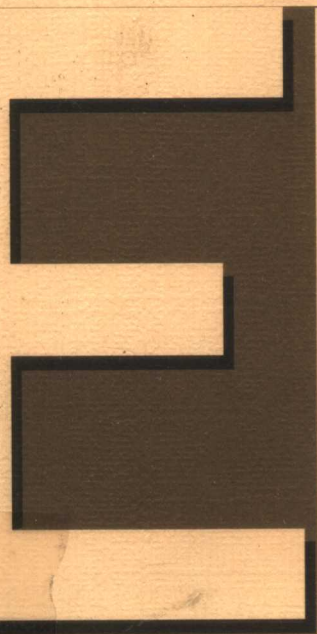
国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



南极洲地质发展 与冈瓦纳古陆演化

Geological Development of Antarctica and
Evolution of Gondwanaland

陈廷愚 沈炎彬 赵越 任留东 著
CHEN Tingyu SHEN Yanbin ZHAO Yue REN Liudong



earth

商务印书馆



国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



南极洲地质发展 与冈瓦纳古陆演化

Geological Development of Antarctica and
Evolution of Gondwanaland

陈廷愚 沈炎彬 赵越 任留东 著
CHEN Tingyu SHEN Yanbin ZHAO Yue REN Liudong

商务印书馆

2008年1月北京

图书在版编目(CIP)数据

南极洲地质发展与冈瓦纳古陆演化/陈廷愚等著. —北京:商务印书馆,2008

ISBN 7-100-05309-9

I. 南… II. 陈… III. ①南极-地质构造-研究②冈瓦纳古陆-大陆演化-研究
IV. P941.61 P531

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 004122 号

所有权利保留。
未经许可,不得以任何方式使用。

南极洲地质发展与冈瓦纳古陆演化

陈廷愚 沈炎彬 赵 越 任留东 著

商 务 印 书 馆 出 版

(北京王府井大街36号 邮政编码 100710)

商 务 印 书 馆 发 行

北京瑞古冠中印刷厂印刷

ISBN 7-100-05309-9/K·974

2008 年 3 月第 1 版

开本 787×1092 1/16

2008 年 3 月北京第 1 次印刷

印张 26 1/2

定价: 68.00 元

序

南极洲是地球最南端的一块大陆,由南极大陆及其周围岛屿组成,包括冰架在内,面积约 1 400 万 km^2 ,约占世界陆地面积的 9.4%。南极洲四周被由太平洋、印度洋、大西洋组成的南大洋所环抱,对南半球大洋环流运行起着重要的控制作用。南极洲是地球上最高的一个大陆,平均海拔高度 2 350m,98% 的面积为冰雪覆盖,冰雪厚度平均 2 450m,占世界冰雪总量的 90%,拥有极为丰富的淡水资源。

南极洲是世界上发现最晚的一块大陆,也是地质研究程度最低的一个大陆。由于它所处的特殊地理、地质位置和独特的自然条件,以及它在自然资源和科学研究上的价值与潜力,很久以来就引起各国、国际组织和科学家的关注,竞相进行研究与探索。特别是自 1957~1958 年“国际地球物理年计划”实施以来,地质与地球物理探测相结合的调查研究工作取得了长足的进展,各有关国家在南极洲广大地区,开展了包括人工地震、重力、磁力、遥感和 GPS 测量在内的大量调查研究工作,研究了南极洲及其各地区地壳和岩石圈结构构造,并结合其他大陆的研究成果探讨了冈瓦纳古大陆的形成和裂解、欧亚大陆的增生以及特提斯构造带的演化等全球性构造问题。

我国介入南极实地科学考察始于 20 世纪 80 年代初期,先是派科学家参加了新西兰、澳大利亚等国家的南极科学考察工作。直至 1985 年在南极半岛北端的南设得兰群岛乔治王岛建立第一个南极考察站——长城站之后,我国才开始了一年一度的南极科学考察研究。1989 年我国又在东南极伊丽莎白公主地拉斯曼丘陵建立了第二个南极考察站——中山站,从而把我国南极科学考察推进到南极洲腹地,对扩大我国南极科学考察的空间和学科领域创造了良好条件。

尽管我国南极科学考察起步较晚,科考的地域范围不够广泛,但由于我国科学家的艰苦奋斗及对科学事业的执着追求,以及采取了正确的科学考察战略,因此在 20 几年的时间内取得了丰硕的科学成果和重要的进展,在某些方面已跻身于国际南极科学考察研究的先进行列。在固体地球科学方面,我国科学家采取了“抓两头”的科学考察战略,即一头抓“地质立典”性的科学研究,一头抓整个南极洲或某些大区域的地质综合研究。所谓“地质立典”性的科学研究,

就是选择一些关键地区或关键科学问题进行精细的调查研究,取得高水平的科学成果。如对乔治王岛菲尔德斯半岛详细地质填图及火山岩地层的研究,西南极南设得兰群岛中新世代构造-岩浆作用的研究,南极半岛布兰斯菲尔德海峡精细综合地球物理调查,东南极拉斯曼丘陵及格罗夫山构造-变质作用及泛非事件的详细调查研究,在东南极格罗夫山一带陨石的采集和研究,以及横贯南极山脉南维多利亚地变质岩、花岗岩特征研究等,都属于“地质立典”性的调查研究。所谓地质综合研究,就是在本身研究的基础上,广泛收集研究已有的地质矿产、地球物理、地球化学等资料,进行科学的集成,对一些大区域或整个南极洲地质构造、岩石圈结构、矿产资源潜力获得整体认识和规律性概括。1:500万《南极洲地质图》的编制和研究,“冈瓦纳古陆的离散与亚洲大陆的增生”及“罗迪尼亚古陆的拼合及裂解”等的研究,都属于地质综合研究的范畴。对于一个大的地域或一个大的地质单元,为了在较短的时间内,掌握地区区域地质构造的总体特征,并取得高水平的研究成果,采取“抓两头”的战略,可以说是南极地质科学考察研究中所获得的一条重要经验和启示。

《南极洲地质发展与冈瓦纳古陆演化》一书,是陈廷恩研究员等作者们积20年南极地质构造专题研究、编制《南极洲地质图》、参加多项有关冈瓦纳古陆的国际地质对比计划项目的研究成果,并在系统搜集、研究前人资料基础上,经综合研究编著而成。本书包括前言、引言和6个篇章,按大的地质断代分章论述了南极大陆前寒武纪、早古生代、晚古生代-三叠纪及侏罗纪以来地质构造发展演化和重大地质事件。专章讨论了冈瓦纳古陆演化,包括地球演化早期南半球陆核的发育、生长及改造,罗迪尼亚古陆的形成和裂解,冈瓦纳古陆的形成和发育史,冈瓦纳古陆裂解运动学,冈瓦纳古陆裂解的全球环境响应及地球旋转膨胀说与地球动力学等。最后一章介绍了南极主要矿产资源,列出了南极洲目前已发现的30余种矿种和近150个矿点、矿化点及少数矿床;介绍了东南极前寒武纪铁矿以及煤和非金属矿产,横贯南极山脉的煤、放射性金属及多金属矿产,南极半岛地区的铜、金、铅、锌等多金属矿产,罗斯海及威德尔海的石油与天然气,以及南大洋海底多金属结核矿产资源,阐述了它们的分布状况,探讨了南极矿产资源的潜力与远景。全书共约52万字,插图75幅、附表38张,并附“地名及地质学名词译名对照表(中-英)”、“地名及地质学名词译名对照表(英-中)”、“人名译名对照表(中-英)”、“人名译名对照表(英-中)”及英文摘要。

作为跨越洲际的一部科学专著,本书不但分析吸纳了南极地质调查研究的系列成果,反映了南极当前的地质研究程度和水平,而且集中反映了作者们20多年来对南极地质进行卓越探索所取得的科学成果,在前寒武纪地质构造演化、罗迪尼亚古陆形成过程、泛非构造-热事件的厘定及其地质学意义、冈瓦纳古大陆的形成和裂解、威德尔生物地理区及白垩纪-新近纪南美洲南部与南极半岛之间连接形式等的研究方面,都取得一些新发现、新成果、新认识,对一些重大的地质问题进行了新的总结和概括。因此,本书是一部内容丰富、资料翔实、具有创新思路

和见解的南极地质专著,是对南极地质研究作出的重要贡献,对南极地质及矿产资源潜力的研究以及地质教学等方面,都具有重要的参考价值。

我国地质科学家需要走向世界,我国的地质科学研究应该面向全球。20多年南极的地质考察开启了我国地质科学研究迈入全球的第一步。包括地质学在内的南极科学研究是人类一桩永恒的事业。从历史的长河来看,南极科学研究也只能说是刚刚开始,人们对它的认识还极为肤浅,未被认识的问题还甚多,在科学研究和资源探测上还有极大潜力,我国科学家在南极科学研究上大有用武之地。我希望这部专著在引导人们,特别是中青年对南极产生兴趣,认识南极,普及南极地质科学知识,推动我国南极地质科学研究迈向新途,以及国家制订南极科学考察研究规划和战略等方面,发挥重要的作用;也希望专著的作者们再接再厉,精益求精,努力求索,在南极地质科学研究上取得更为辉煌的成就,为人类探索南极和和平利用南极作出更大贡献。

A handwritten signature in black ink, reading '李延栋' (Li Yanchen). The characters are fluid and stylized, with the first character '李' being the most prominent.

2006年8月16日

前 言

本书是国家自然科学基金(批准号:48870098)和地质科学技术发展基金(批准号:88115)资助的原国家南极考察委员会项目“1:500万《南极洲地质图》的编制及有关研究”,以及国家自然科学基金资助项目“东南极及东非有关地区冈瓦纳古陆地壳性质、成因及运动学”(国家自然科学基金项目批准号:49772154及国科金外资助字40011140779)成果之一,也是本书作者多年来从事南极地质研究的反映。

南极洲是人类认识最晚的一个大陆。虽然人类对南极洲的探险已经历了将近500年的历史,但从人类第一次登上南极大陆至今,还不到200年。尽管如此,这200年来,人类在南极和南极地质研究方面已取得了长足的进步,特别是自1957~1958年的国际地球物理年以来,南极地质和冈瓦纳古陆(Gondwanaland)的研究已经取得了巨大进展。自1985年以来,我国的南极地球科学考察与研究也已取得了丰硕成果。现在我们已有条件来全面、系统、深入地讨论南极洲的地质发展及其与之有关的冈瓦纳古陆的演化问题。本书就是在这种背景下完成的。

一、本书的指导思想

地球的历史就是岩石圈、水圈、大气圈和生物圈的发展史。大陆岩石圈的历史表现为大陆的聚合-重组-解体,大洋岩石圈和水圈的历史表现为大洋的打开-变迁-封闭,大气圈的历史表现为地球上某些大气环境的产生-变化-消失,生物圈的历史表现为某些生态环境的形成-分异-破坏和某些生物种群的出现-演化-灭绝。如此循环交替,便形成了地球波澜壮阔、丰富多彩的历史画卷。

在地球45亿年的漫长历史中,人们已经知道南极洲曾经经历过罗迪尼亚古陆和冈瓦纳古陆等演化阶段,可能还经历了更早期的哥伦比亚古陆阶段。这当中,冈瓦纳古陆是迄今人们研究最多、认识最好的超级古陆。南极洲处于冈瓦纳古陆的核心位置,在地球的演化中具有极为重要的作用。

本书将沿着这一指导思想来探讨南极洲的地质发展和冈瓦纳古陆的演化。

二、本书所讨论的问题

(1)前寒武纪地质发展。包括:南极地区太古宙陆核的发育(分布及性质)、元古宙地质发展及南极地区罗迪尼亚古陆(Rodinia)的早期行为、南极地区的格林维尔(Grenville)构造运动及相关的中元古代构造事件。

(2)早古生代地质发展。包括:新元古界及寒武-奥陶系双构造层基底、早古生代浊积岩、罗斯(Ross)造山运动、泛非事件(Pan-African event)及北维多利亚地(North Victoria Land)的外来地体。

(3)晚古生代-三叠纪地质发展。包括:比肯超群(Beacon Supergroup)(冈瓦纳岩系 Gondwana Series)、北维多利亚地外来地体的拼合、博克格雷温克(Borchgrevink)运动、石炭-二叠纪冰碛岩及威德尔(Weddell)造山运动。

(4)侏罗纪以来的地质发展。包括:冈瓦纳古陆的解体、侏罗纪基性岩浆活动、威德尔生物地理区的形成、德雷克海峡(Drake Passage)的打开及南极洲的最后分离。

(5)冈瓦纳古陆演化。包括:地球早期南半球陆核的发育、生长及改造、罗迪尼亚古陆的形成和裂解、冈瓦纳古陆的形成和发育史、冈瓦纳古陆裂解的运动学(东南太平洋、西南太平洋和印度洋)、冈瓦纳古陆裂解的全球环境响应及地球旋转膨胀说与地球动力学。

(6)南极主要矿产资源。包括:东南极的前寒武纪铁矿、横贯南极山脉地区的煤、有色金属及放射性金属矿、南极半岛地区的金及多金属矿、罗斯海及威德尔海的石油与天然气及南大洋的海底锰-多金属结核。

三、研究方法

(一)野外地质考察研究

在国家极地考察办公室安排下,本书作者多次参加了以我国中山站和长城站为基地的南极地质科学考察,特别是1991~1995年由李廷栋院士领导的国家科委“八五”科技攻关项目85-905-02“中国南极考察科学研究”中“南极大陆和陆架盆地岩石圈结构、形成、演化和地球动力学以及重要矿产资源潜力的研究”(国家南极考察委员会85-03课题)中的有关专题研究。其中包括:

(1)东南极拉斯曼丘陵(Larsemann Hills)的构造-变质事件(赵越、任留东);南极南设得兰群岛(South Shetland Islands)中生代-新生代构造岩浆作用(沈炎彬)。

(2)横贯南极山脉(Transantarctic Mountains)南维多利亚地变质岩、花岗岩特征及罗斯

造山带成因探讨(陈廷愚)。

(3)坦桑尼亚境内莫桑比克带(东、西冈瓦纳拼合带)的考察研究(陈廷愚)。

(4)中国滇西-马来半岛地区和喜马拉雅地区(冈瓦纳古陆北缘与亚洲大陆碰撞带)的考察研究(陈廷愚、任留东),等等。

(二)参加国际地质对比计划(IGCP)研究

在野外地质考察研究基础上,还参加了有关的国际地质对比计划项目。其中包括:IGCP224(东亚前侏罗纪地质演化)、IGCP321(冈瓦纳古陆的离散与亚洲大陆的增生)、IGCP411(东亚冈瓦纳古陆来源地体的地球动力学)和IGCP440(罗迪尼亚古陆的拼合及裂解)等项目的研究工作。

(三)进行《南极洲地质图》(1:500万)的编制和研究

在该项工作中,对国际上已编制出版的下述大型南极洲地质图进行了综合分析与研究:

1972年,美国人克拉多克(C. Craddock)编制的1:500万《南极洲地质图》(*Geologic Map of Antarctica*);

1977年,法国人阿波斯托勒斯库(V. Apostolescu)主编的1:250万《南极洲地质图》(*Carte géologique de l'Antarctique*);

1978年原苏联拉维奇(М. Г. И. РАВИЧ)和格里库罗夫(Г. Э. ГРИКУРОВ)主编的1:500万《南极洲地质图》(*Геологическая Карта Антарктиды*);

1979年联合国教科文组织(UNESCO)出版的由拉维奇和克拉多克主编的《世界地质图集》(*Atlas Géologique du Monde*)中第17幅1:1000万《南极洲地质图》;

1991年澳大利亚廷吉(R. J. Tingey)主编的1:1000万《南极洲地质图》(*Schematic Geological Map of Antarctica*)。

1995年,我们编制的1:500万《南极洲地质图》出版。该图的出版使我们得以在较短时间内,对国际上最新的南极地质研究有一个比较全面、系统和深入的了解,从而为本书的草成奠定了基础。

(四)文献、资料的查阅和研究

除历届南极地球科学、冈瓦纳研究和特提斯研究等综合性会议及其文集外,特别查阅与研究了自1995年我们编制的1:500万《南极洲地质图》以来至2003年分散出版在其他各种书刊中的大量文献、资料。部分资料截至2003年和2004年。其中主要的已列入本书的参考文献中。

四、主要结论

(1) 东南极的太古宙陆核如恩德比地、莫森海岸、毛德王后地以及威尔克斯地等,在中元古代时经历了不同的构造运动,这些运动可能分别与印度的中原(Zhongyuean)运动、非洲的基巴拉(Kibara)运动和北美的格林维尔运动相当。经过这些运动后,上述地块分别逐渐形成罗迪尼亚超级古陆的早期陆块,后经泛非运动并入东冈瓦纳。

(2) 北维多利亚地的鲍尔斯地体和罗伯逊湾地体是外来地体,是在寒武纪之后增生到东南极威尔逊地体上的。鲍尔斯(Bowers)地体的岩石具原始岛弧特征。罗伯逊湾(Robertson Bay)地体和玛丽·伯德地(Marie Byrd Land)西部为厚层的石英质浊积岩沉积。这里的早古生代花岗岩侵入仅发育于威尔逊(Wilson)地体;晚古生代的中酸性岩浆作用仅见于鲍尔斯地体和罗伯逊湾地体。罗伯逊湾地体和鲍尔斯地体与威尔逊地体的拼合在该区表现为博克格雷温克造山运动和相应的岩浆活动。

在玛丽·伯德地迄今尚未见有罗斯运动的证据。但在博克格雷温克造山运动期间玛丽·伯德地有相应的岩浆活动发育,说明该区在北维多利亚地与南极大陆的拼合中也受到了影响。

(3) 原划为石炭纪-前侏罗纪的南极半岛格雷厄姆地的“基底变质岩”特里尼蒂半岛(Trinity Peninsula)群及南设得兰群岛的迈尔斯陡崖(Miers Bluff)组的确切时代为晚三叠世。这套地层可与南奥克尼群岛(South Orkney Islands)、智利南部和新西兰的相当地层对比。三叠纪末受太平洋板块俯冲影响,这一浊流沉积地层发生褶皱、变形和隆升,是冈瓦纳古陆在开始裂解前一次重要的构造事件,与这一时期发生在横贯南极山脉的威德尔运动相当。

(4) 在南极地区发现的早三叠世早期的水龙兽(*Lystrosaurus*)动物群,不仅见于南极洲,亦见于南非、印度、中国、老挝以及俄罗斯的维特奴加(Vetluga)等地,它们当时应是生活在同一陆地上。

(5) 罗迪尼亚超级古陆的形成并不是一次完成的,它至少经历了三次形成时期:
① 1 600Ma前发生在印度的中原运动,使印度各陆块拼合;澳大利亚中南部的中元古代活动带高勒(Gawler)地块和东南极克拉通的莫森(Mawson)地块与澳大利亚克拉通其他地块之间的碰撞发生在1 550~1 500Ma。
② 1 400~1 200Ma 发生在非洲的基巴拉运动,使非洲南部的有关地块拼合。1 400Ma 时发育活动的大陆边缘,大约在1 200Ma 时发生陆-陆碰撞。
③ 1 190~980Ma 发生于北美的格林维尔运动,为陆-陆碰撞运动。

罗迪尼亚古陆形成不久,即开始破裂。这一破裂主要始于1 100~750Ma 前。在非洲南部较早,在其他地区较晚。

(6) 冈瓦纳古陆的演化可分成如下阶段:① 罗迪尼亚古陆裂解阶段(950~570Ma):中元

古代形成的罗迪尼亚超级古陆在新元古代破裂,至新元古代末期或寒武纪初期由几个克拉通的增生形成冈瓦纳古陆。② 独立冈瓦纳古陆阶段(570~320 Ma):在新元古代末期或寒武纪初期形成的冈瓦纳古陆一直稳定存在至中石炭世。之后,冈瓦纳古陆与劳亚古陆(Laurasia)拼合,形成潘加古陆(Pangea)。③ 冈瓦纳-劳亚联合古陆(潘加古陆)阶段(320~170 Ma):自二叠纪开始,东、西冈瓦纳之间再次分裂。侏罗纪时,东、西冈瓦纳分开形成洋盆,其分裂位置东移到印度洋。④ 冈瓦纳-劳亚古陆(潘加古陆)解体阶段(170~30 Ma):自晚侏罗世-白垩纪开始冈瓦纳-劳亚古陆(潘加古陆)解体,逐渐形成现今所见的构造格局。

(7)西冈瓦纳的形成始于中元古代(1 400~1 200Ma)基巴拉运动,最终完成于 570Ma 左右。在毛里塔尼亚南部的巴撒里(Bassarides)地区发育年龄为 650~550 Ma 的泛非期磨拉石沉积。东冈瓦纳形成于 750~500Ma 间,在 500Ma 左右完成。西澳大利亚东北边缘的佩特森(Paterson)造山带是一个发育于 750~550Ma 前的陆-陆碰撞带。新元古代的构造热事件在东南极主要发生在 700~500Ma 左右,在斯里兰卡发生在 500Ma 左右。

冈瓦纳古陆的主体是在晚寒武世-早奥陶世最终形成的。古地磁研究表明,印度与澳大利亚克拉通在 730Ma 前已经连在一起;但这些地区的古地磁极是在晚寒武世-早奥陶世才汇聚到一起。

(8)泛非旋回实际上是新元古代时主要发生在南半球的从罗迪尼亚古陆开始破裂到冈瓦纳古陆形成这一阶段的地壳运动。泛非旋回是一个长过程,包括了早期的裂谷作用直至最后的碰撞和走滑运动,其时限大体始于 870 Ma 而止于 500Ma。南美的巴西利亚(Brasiliano)旋回,南极洲的比德莫尔(Beardmore)旋回和澳大利亚的阿德莱德(Adelaidean)旋回即属泛非旋回。

泛非事件主要是在泛非旋回末期发生在大约 500Ma 前各冈瓦纳陆块间和陆块内的构造岩浆活动、变质热事件及对同位素体系的扰动作用。它是导致冈瓦纳古陆最终形成的主要事件,其机制主要是陆-陆碰撞和增生。

(9)侏罗纪以后冈瓦纳古陆的裂解可分为如下阶段:① 晚侏罗世-早白垩世:主要是南非-印度与西边的南美大陆(东、西冈瓦纳之间)分开,和与东边的澳大利亚分开;同时南非与南极洲分开。② 侏罗纪-白垩纪-古近纪:澳大利亚-新西兰与南极大陆分开;南非与印度分开。③ 古近纪:南极大陆与南美大陆分开;同时新西兰与澳大利亚分开。

在南极半岛与南美之间,冈瓦纳古陆的裂解经历了晚侏罗世-早白垩世的地壳扩张、早白垩世或白垩纪中期-新近纪的地壳挤压和古近纪以来的地壳再次扩张三个时期。

(10)白垩纪时,随着冈瓦纳古陆各陆块的进一步漂移,古地理发生变化,开始形成威德尔浅海动物地理区;晚白垩世晚期至始新世后期,在陆地上形成了以假山毛榉(*Nothofagus*)为代表的植物地理区,即威德尔陆地生物地理区。

自晚始新世有袋动物发现之后,南极大陆迄今没有发现陆生哺乳动物生活的踪迹。这很可能是因为南极大陆森林植被的消失使动物失去了食物来源,因而使这些动物无法生存与发展之故。如在南半球分布十分广泛的落叶乔木假山毛榉,本起源于南极半岛,而现在在南极地区却已荡然无存。

渐新世以后,德雷克海峡打开,斯科舍地峡断裂,冈瓦纳古陆的最后一个连结环节断开,原有的生物地理区解体,威德尔陆地生物地理区的发展成为全球变化的一个关键问题。

(11)冈瓦纳古陆的最后分裂,对南大洋的洋流分布、全球大气循环以及生物演替产生了巨大的影响。这一结果一直影响到现在,构成现代地理、海洋、气候和生物分布的基本格局。

德雷克海峡的海底扩张始于约 29Ma 前。绕极环流形成于 23.5 ± 2.5 Ma。大约在 10Ma 前,德雷克海峡的扩张初具规模,绕极环流加快。在扩张基本停止后绕极环流的发展达到鼎盛,形成目前所见的强大的闭合环流圈。随着极地闭合环流的进一步发展,南极大陆上的现代冰川作用加强,极地气旋逐渐形成,由此改变了全球大气循环与交换模式。

冈瓦纳古陆白垩纪和第三纪的暖温带-亚热带雨林气候曾延伸到 70°S 。德雷克海峡打开后,南极气候发生了根本性的变化。南极半岛表层水的温度从古近纪时的 $9 \sim 10.5^{\circ}\text{C}$ 下降到 $-1 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。大约在 $10 \sim 8.5$ Ma 前,罗斯冰架形成,罗斯海沿岸的森林带消失。10Ma 之后西南极冰盖初具规模。中新世时极地冰川的发育导致了冰川性海平面下降近 40m。在东南印度洋,南极辐合带也在这时突然向北推移了 300km,在 50°S 左右地区形成寒冷的极地表层水体与温暖的副南极水体之间的分界线。

(12)本书提出了地球旋转膨胀说,认为它是地球动力学的基础。地球自转速度变慢说明地球不仅在旋转,而且在旋转的同时体积在膨胀。地球中放射性物质的放射性能导致了软流圈及地球塑性外核的形成。地球自转的惯性力与地球塑性层的共同作用导致地球的层间滑动和层圈构造的形成。地球外圈应相对于内圈转动较慢,或地球内圈应相对于外圈转动较快。转动较快的内层层圈的方向为自西向东,或左旋剪切。即:软流圈之下的下地幔应相对于地壳自西向东转动较快,塑性地核外核之下的内核应相对于外核自西向东转动较快。在地球层圈之间的剪切力和地球放射性能所引起的热能的共同作用下,在软流圈产生物质的对流,形成地幔物质对流。推测地核的外核也可能产生塑性物质的对流。地轴倾角 ϵ 的变化以及潮汐转矩和岁差转矩 p 是地球动力学的重要因素。大陆岩石圈,包括冈瓦纳古陆的离散和南极大陆的向南漂移与它们有关。

五、本书的分工

在本书的编写中,陈廷愚主要负责全书编写指导思想的确立,完成横贯南极山脉地质、南

极洲地质与冈瓦纳古陆演化的关系以及南极洲矿产资源潜力等部分;沈炎彬主要负责各纪生物地层、生物演化、古生物地理及全球环境变化等;赵越主要负责西南极地质、有关的岩浆活动和构造热事件特别是泛非事件以及冈瓦纳古陆的形成等;任留东主要负责东南极地质特别是变质地质等。

六、本书的地名及专有名词

本书的地名主要采用美国国家科学基金会(National Science Foundation)1989年出版的*Gazetteer of the Antarctic*(《南极洲地名录》)第四版。在我国长城站附近的西南极南设得兰群岛乔治王岛(King George Island)和东南极中山站附近的普里兹湾(Prydz Bay)拉斯曼丘陵地区采用了我国自己的命名。当命名重复时则加以注明。

本书的地名译名主要依据我国现已出版的如下文献:

(1)《南极洲地质图》说明书,陈廷愚主编,1995年地质出版社出版。

(2)《南极洲地名辞典》,国家海洋局极地考察办公室及中国地名委员会办公室编,1998年海洋出版社出版。

(3)《外国地名译名手册》,中国地名委员会编,1983年商务印书馆出版。

(4)《国际地层表》(2002年版)。世界地质图委员会、国际地质科学联合会、国际地层委员会编制出版。中译本由全国地层委员会翻译,载《地层学杂志》,第27卷(2003年),第二期,第159~162页。

当有关地名在每章第一次出现时,本书均在中文地名后注明其英文名称,如维多利亚地(Victoria Land)。

地质学名词亦遵循此规则,如比肯超群(Beacon Supergroup)。

书末附有译名对照表,供读者查阅。

本书的完成,作者已尽全力。然而,无论是南极洲也好,冈瓦纳古陆也好,还是本书所涉及的罗迪尼亚古陆也好,它们毕竟是地球历史上最大的古陆,并具有漫长和极为复杂的发展和演化历史。和这些庞大的自然对象相比,我们这里的工作当然是极为有限的。因此,虽然本书作者也曾“自信人生二百年,会当水击三千里”,可一旦接触这类繁杂的庞然大物,我们更相信本书一定还存在许多不足和谬误,企盼读者不吝赐正。

七、感谢

作者衷心感谢国家极地考察办公室(原南极考察办公室)、国家自然科学基金和地质科学

技术发展基金(地质行业基金)对与本书有关项目的资助。除前面所说明的以外,由国家自然科学基金资助的项目还有“南极长城站地区中新世地层及古生物研究”(批准号:49070076),“南极半岛白垩-第三纪生物群演替及环境意义”(批准号:49572076)。国家极地考察办公室还在计划特别紧张的情况下多次安排我们赴南极进行现场考察与研究。

作者要特别感谢由孙鸿烈院士主持的原南极研究学术委员会委员李廷栋、肖序常、欧阳自远、李星学、陈述彭、王鸿祯、刘光鼎等院士,和鄂栋臣、刘小汉、李华梅、周定国及李兆鼐(已故)研究员等在建议我们进行此项工作中给予我们的极大的鼓励与支持,感谢颜其德、唐兴信、孔祥儒、王道德和郑祥身研究员在工作中给予我们的大力帮助。

参加本书的前期工作,即“1:500万《南极洲地质图》的编制及有关研究”的,除本书作者外,还有李光岑、王彦斌、姚玉鹏、谢良珍、刘平、王振洋和陈惠兰等。本书插图的计算机绘图绝大多数由刘平高级工程师完成。作者亦谨致谢忱!

作 者

2006年8月于北京

Summary

This book consists of Preface, Introduction and Chapters of Geological Development of Antarctica in Precambrian, Geological Development of Antarctica in Early Paleozoic, Geological Development of Antarctica from Late Paleozoic to Triassic, Geological Development of Antarctica since Jurassic, Evolution of Gondwanaland and Main Mineral Resources of Antarctica and Adjacent Sea Areas. It includes 75 figures and 38 tables.

In Preface, the guiding ideology, the background of this book, the discussed problems, research methods and main conclusions are briefed. As the guiding ideology, we hold that the history of the Earth is the history of the lithosphere, the hydrosphere, the atmosphere and biosphere. The history of the continental lithosphere is manifested as convergence-reconstruction-breakup of continents, that of the oceanic lithosphere and the hydrosphere is manifested as opening-changing-closing of oceans, that of the atmosphere manifested as emergence-variation-disappearance of some atmospheric environments, and that of the biosphere manifested as formation-differentiation-destruction of some ecosystems and generation-evolution-extinction of some lives.

In Introduction, physical geography, weather, discovery and expedition history of Antarctica, as well as China's expedition and research work in Antarctica are presented.

Chapter 1 Geological Development of Antarctica in Precambrian

This Chapter mainly deals with Archaean nuclei and geological development of Antarctica in Archaean and Proterozoic. The tectonic events in Mesoproterozoic such as early behavior of Rodinia and the Grenville tectonic movement *etc.* in the Antarctic areas are discussed in this Chapter.

(1) Archaean nuclei of the Antarctic areas are mainly distributed in Enderby Land, the Prince Charles Mountains, Prydz Bay, Bunge Hills and Shackleton Range. The oldest rocks

of Archaean, occurring in the Napier Complex of Enderby Land, are one of the Archaean nuclei developed very few on the Earth. The tonalite from the Napier Complex yields a zircon U-Pb age of 3 900Ma, with Nd model ages ranging from 4 000Ma to 3 000Ma. These Archaean nuclei in Antarctica along with West Australian and Indian Cratons as well as Kalahari Craton of South Africa constitute Archaean nuclei of the Southern Hemisphere in early history of the Earth. At the same time, they were also rudiments of Archaean nuclei which constituted subsequent Rodinia and Gondwanaland.

Meso- and Neo-archaeal rocks of Antarctica only crop out in a few areas such as Rauer Islands in the east of Prydz Bay, southern Prince Charles Mountains and Bunger Hills.

(2) Various blocks of East Antarctica experienced various histories in Proterozoic. For example, ① the gneiss from the Rayner Complex of the Nye Mountains, Enderby Land, yields an age of 1 465Ma; ② the ages of rocks of Wilkes Land range from 1 477Ma to 1 130Ma; ③ the rocks of Mawson Coast are 1 254~1 153Ma in age; and ④ the ages of rocks in Queen Maud Land are generally between 1 200Ma and 1 000Ma. Geological events in these areas are correspondent to the simultaneous tectonic movements in India, Africa, Australia and North America respectively. These blocks of East Antarctica were assembled successively. It was in this way that continental blocks of early stages of Rodinia were gradually formed.

(3) The Grenville movement is very important in the Proterozoic history of East Antarctica and in the formation of the East Antarctic Craton, but it was not the only one. The Mesoproterozoic tectonic movement including the Grenville Orogeny taking place in East Antarctica didn't result in the formation of the East Antarctic Craton. The East Antarctic Craton was formed later along with the formation of East Gondwana in Cambrian.

(4) The formation of Rodinia was not completed only at one time. In stead, it was gradually formed time after time. For example, the Zhongyuean movement took place 1 600Ma ago in India, the tectonic movement in middle and southern Australia took place 1 650~1 540Ma ago, the Kibaran movement took place 1 400~1 200Ma ago in Africa, and the Grenville movement took place 1 400~1 200Ma ago in North America, *etc.*

Even after these blocks were formed, they were not yet united together, in stead, they remained separated from each other until Pan-African event. East Gondwana was formed in Cambrian.

Chapter 2 Geological Development of Antarctica in Early Paleozoic

In this Chapter, a double-structural-layer basement of Neoproterozoic and Cambrian-Ordovician, turbidite of Early Paleozoic, Ross Orogeny, Pan-African event and geological characteristics of allochthonous terranes in North Victoria Land are discussed.

(1) The basement in the Transantarctic Mountains consists of two structural layers: the Lower structural layer of Neoproterozoic and the upper structural layer of Cambrian-Ordovician. On the Pacific margin of East Antarctic Craton, Neoproterozoic sedimentations are 1 200Ma in age. The sedimentation in the Transantarctic Mountains took place mainly in the period of 800~600Ma, and ended in the Beardmore Orogeny (namely Nimrod Orogeny) of late Precambrian at ages from 660 Ma to 580Ma, which has led to deformation, metamorphism, intrusion of granites as well as uplift and denudation of the crust in large areas of the region, resulting in the unconformity of Cambrian strata over the Precambrian metamorphic rocks.

Cambrian rocks are composed of felsic volcanic rocks, lying in unconformity over grawacke and limestone of the Skelton Group of Neoproterozoic in South Victoria Land; while in North Victoria Land thick quartz turbidites of Cambrian and earliest Ordovician are developed in the Bowers Supergroup of the Bowers Terrane, in the Robertson Bay Group of the Robertson Terrane, and in the west of Marie Byrd Land. They lay in unconformity over amphibolite, gneiss and schist of the Wilson Group.

After having undergone the Ross Orogeny, these two structural layers formed together the basement of the Transantarctic Mountains.

(2) The Ross Orogeny took place mainly in the Transantarctic Mountains. It includes folding and metamorphism of rocks, extensive intrusion of granitic magmatism, uplift of the crust, as well as unconformity of terrestrial conglomerate and sandstone over the Neoproterozoic and Cambrian-Ordovician rocks, which were overlain in unconformity or disconformity again by the Beacon Supergroup of Upper Devonian and younger rocks. The Ross Orogeny was relatively stronger in northwest and became weaker towards southeast in South Victoria Land. In the Shackleton Range it was displayed as overthrust, nappe, metamorphism and migmatization. The three terranes of North Victoria Land all underwent folding and uplifting during the Ross Orogeny, indicating that they had all been drawn close each other by Early Ordovician.