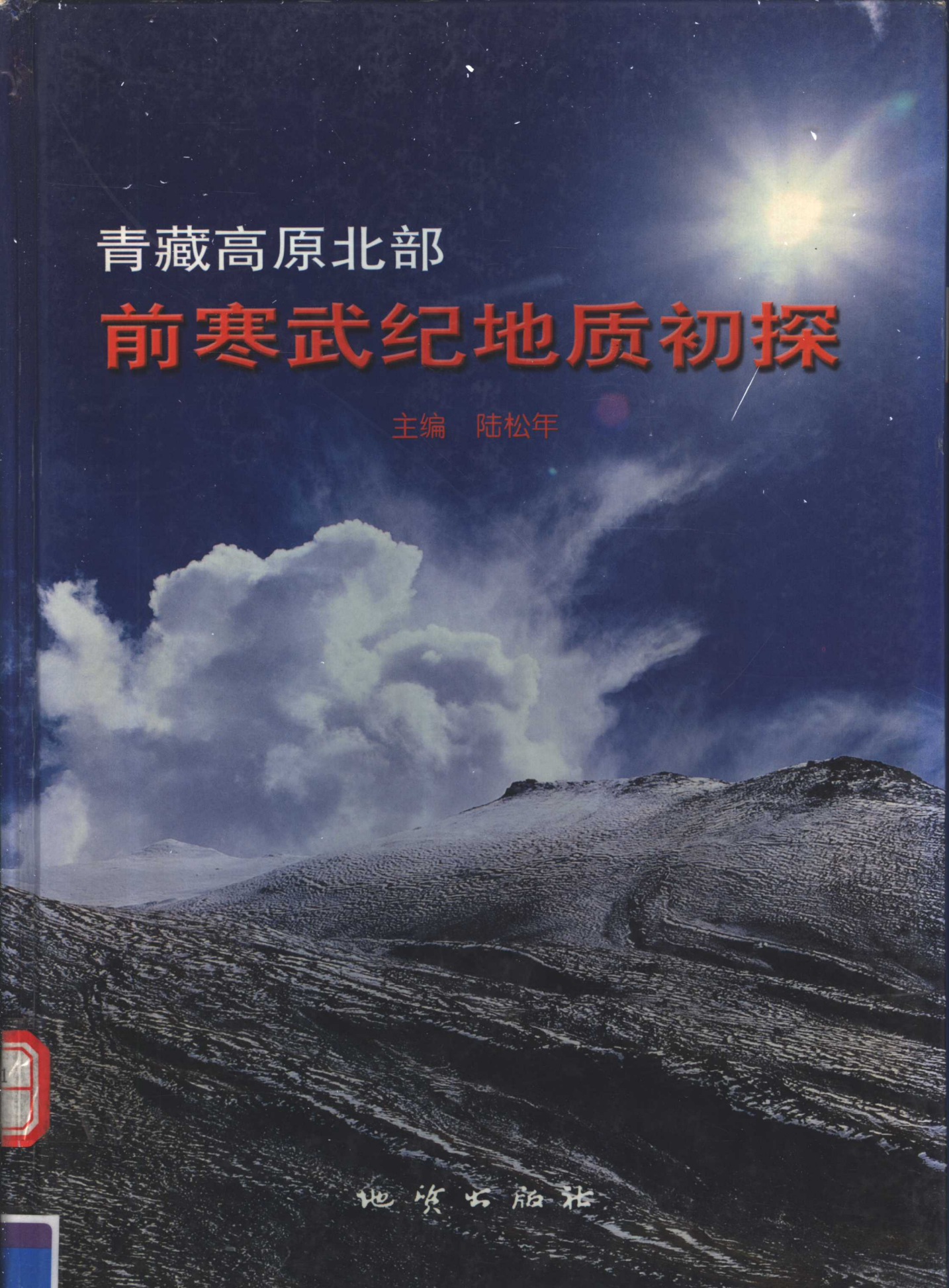




青藏高原北部

前寒武纪地质初探

主编 陆松年

地质出版社

青藏高原北部前寒武纪地质初探

主编 陆松年

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

《青藏高原北部前寒武纪地质初探》一书,反映了“九五”期间“中国北方元古宙沉积-构造环境及对大型、超大型矿床的制约”研究项目中的基础地质研究成果,介绍了阿尔金山北部至敦煌一带太古宙岩层的组成及年代学,龙首山、祁连山、柴达木盆地北缘及东昆仑山等地元古宙地层层序及主要热-构造事件的特点,阐述了新元古代早期花岗片麻岩带和早古生代榴辉岩的岩相学、地球化学和年代学研究成果,同时介绍了全球超大陆研究现状和作者等对事件地质学研究的新思路。

本书可供地质院校高年级学生、研究生及从事前寒武纪地质研究和区域地质调查的地质工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原北部前寒武纪地质初探/陆松年主编. -北京:地质出版社, 2002.12
ISBN 7-116-03740-3

I. 青… II. 陆… III. 青藏高原-前寒武纪地质-研究 IV. P534.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 102144 号

QING ZANGGAOYUAN BEIBU QIANHANWUJIDIZHI CHUTAN

责任编辑:祁向雷 王 璞

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324572 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm^{1/16}

印 张:8.5

字 数:188 千字

印 数:1—600 册

版 次:2002 年 12 月北京第一版·第一次印刷

定 价:20.00 元

ISBN 7-116-03740-3/P·2334

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

《青藏高原北部前寒武纪地质初探》编委会

主 编：陆松年

成 员：于海峰 赵风清 金 巍 李怀坤 李 铨
杨春亮 李惠民 郑健康 张梅生 蒋明媚
葛肖虹 修群业 张文治 郭进京 刘永江

前 言

《青藏高原北部前寒武纪地质初探》一书的基础地质资料,源于原地质矿产部“九五”期间资源与环境科技攻关“中国北方元古宙沉积-构造环境及对大型、超大型矿床的制约”研究项目(编号为:95-02-011)总报告。该项目1996~1998年期间由原地矿部地调局管理,1999~2000年改为由国土资源部国际合作与科技司管理,项目编号更改为95-02-008。研究区以青藏高原北部的东昆仑山、柴达木盆地北缘、祁连山和相邻的龙首山、甘肃北山为主要研究区,研究内容为探讨太古宙变质基底和元古宙地层的分布及特征,并着重探讨异常地质事件与成矿作用之间的耦合关系。主要目标为:①探讨元古宙时期沉积-构造信息,并重塑古大地构造格架;②研究区内元古宙重大地质事件的特征及时序;③研究元古宙大型、超大型矿床形成的地质条件与元古宙特殊地质事件的耦合关系。

项目负责人陆松年,项目下设4个课题,课题名称及人员组成分列如下。

第一课题:中国北方元古宙地质演化及成矿作用耦合性研究,系项目中的综合性研究课题,参加人员有陆松年、杨春亮、李惠民和蒋明媚。

第二课题:星星峡—敦煌—龙首山一带元古宙岩石组合、盆地构造格架及区域地球化学特征,参加研究人员是于海峰、李铨和修群业,梅华林曾参加前期的研究工作。

第三课题:祁连山地区元古宙盆地演化及与成矿作用耦合性的研究,除天津地质矿产研究所的赵风清、陆松年、张文治、李怀坤和郭进京承担了该课题的研究任务外,青海地矿局郑健康也自始至终参加了研究工作。

第四课题:东昆仑山元古宙重大地质事件及形成大型、超大型矿床条件研究,研究人员为原长春地质学院(现为吉林大学)金巍、张梅生、葛肖虹和刘永江等。

在长达5年的研究期间,国内、外对元古宙地质的研究取得了长足的进展,突出表现在罗迪尼亚(Rodinia)超大陆研究成为新的热点,以及从全球观和沿地史演化出发加强成矿作用研究的思路更加明显和突出。我们在研究区内的工作成果表明罗迪尼亚超大陆的汇聚与裂解在我国西北地区有系统的响应,显生宙热-构造事件对前寒武纪地质体有强烈的改造与叠加。因此在原设计基础上,我们强化了对新元古代地质与构造的研究,并取得重要进展。

通过本轮研究工作,对位于青藏高原北部甘、青、新毗邻区的前寒武纪地质特点有了初步的了解:区内的前寒武纪岩层,特别是太古宙岩层分布零散,除阿尔金北—敦煌一带地表有较大面积出露外,研究区内的其他地区尚无经锆石 U-Pb 年龄证实的太古宙地质体存在;元古宙地层虽然出露面积较大,但通常地层顶、底界线不清,连续性差;研究区内太古宙末、古元古代末,特别是新元古代早期深成侵入活动十分强烈,使地层系统出露更不完整,加之显生宙时期多次热-构造事件的影响,使前寒武纪岩层的原始特征被改造得面目皆非,比起对克拉通区前寒武纪变质基底的研究有更大的难度。另一方面,通过实际调查,发现阿尔金山对联系阿尔金断裂带两侧前寒武纪地质体起着重要的桥梁作用,因此

适当地开展了原设计中未包括的阿尔金山东端的前寒武纪地质研究,并获得了重要的 3.6Ga 的锆石 U-Pb 年龄信息。

本书主要由陆松年执笔完成,李怀坤协助完成了第五章和第六章的部分编写工作,全书统编工作由蒋明媚完成。该书是项目全体参加人员共同付出的心血和研究成果,项目组成员在长达5年、然而有效工作时间不足3年的时间内,曾经奋战在青藏高原北部的东昆仑山、祁连山、阿尔金山和甘肃北山、龙首山等地,对前寒武纪地质进行了大面积的对比性研究,同时对区内的金川、白银厂、寒山、滩间山、锡铁山和五龙沟等一批大型、超大型矿床进行了区域成矿地质背景的研究,取得了丰硕的第一性资料,并在室内、外研究工作的基础上于2000年底完成了项目总结报告。总报告除主要反映了项目负责人的研究思想和成果外,也反映了各课题的部分成果及一些新认识。2001年4月国土资源部国际合作与科技司组织专家对项目总报告进行了审阅和验收,嗣后作者根据专家意见作了修改和适当补充,在此基础上完成了本书的撰写工作。尽管本书反映了我们在“九五”研究工作中的部分新进展,也提出了执笔人的一些新看法,但无庸讳言仍然存在着大量问题需要我們进一步探索,衷心希望所有阅读此书的专家和同行提出批评与建议,以指导我们今后的研究工作。

本书集中反映了原总报告中基础地质部分的成果,删减了区域成矿地质作用概述一章的内容。全书共分六章:第一章,前寒武纪地质学与全球构造;第二章,基本思路和方法;第三章,太古宙地质;第四章,元古宙地层层序和重大地质事件的年代格架概述;第五章,柴达木盆地北缘新元古代重大地质事件群及其构造意义;第六章,前寒武纪地质演化及大地构造格架;最后为结语,阐述已取得的进展和存在的主要问题。

研究工作过程中,曾得到原地矿部地调局,国土资源部国际合作与科技司,中国地质调查局,青海、甘肃、新疆地矿局和天津地质矿产研究所的关心与支持。叶天竺、张洪涛、朱明玉、彭齐鸣、高平、白星碧等从管理的角度自始至终予以关心和指导,同时王鸿祯、沈其韩、李廷栋、许志琴、汤中立、常印佛、任纪舜、张国伟、刘敦一、肖庆辉、沈保丰、殷先民、任家琪、左国朝等一批院士和专家始终关注着我们工作中的进展,并经常提出指导性意见,使我们从中受到启迪。借本书出版之际,向所有支持过我们研究工作的同志表示最诚挚的谢意。报告中的测试数据除注明外,U-Pb 同位素年龄由李惠民研究员、李怀坤博士、左义成和周红英副研究员测定,Sm-Nd 同位素由林源贤研究员和张慧英副研究员完成,作者等对他们的辛勤劳动也表示衷心的感谢。

目 录

前 言

第一章 前寒武纪地质学与全球构造	(1)
一、罗迪尼亚超大陆研究进展	(1)
二、冈瓦纳超大陆的形成	(5)
三、我国新元古代热-构造事件	(9)
(一) 新元古代早期汇聚地质记录	(9)
(二) 新元古代晚期裂解的地质记录	(9)
(三) 泛非地质事件	(10)
四、中国古大陆在新元古代全球构造中的位置	(10)
五、从中国实际出发研究超大陆的有关问题	(11)
(一) 年轻造山带中新元古代热-构造事件的筛分及其大地构造意义	(11)
(二) 花岗片麻岩带的深入研究	(11)
(三) 关于测年过程中的成因矿物学研究	(12)
(四) 关于“比较大地构造学”问题	(12)
(五) 重视造山带中微大陆块的研究	(12)
第二章 基本思路和方法	(14)
一、研究区前寒武纪变质基底的主要特点	(14)
(一) 变质深成侵入体发育	(14)
(二) 糜棱岩发育	(14)
(三) 多呈构造岩片或透镜状残留体断续出露	(15)
(四) 关键性的地质界线和地质关系不清	(15)
(五) 深熔作用	(15)
(六) 同位素体系的重设	(16)
二、地质事件、序列与地质事件群	(16)
(一) 地质事件	(16)
(二) 地质事件序列	(16)
(三) 地质事件群	(16)
三、地质事件时间维的确定	(17)
(一) 对主要测年方法适用性和局限性的评述	(17)
(二) 地质事件年代格架	(19)
四、关于构造单元边界的研究	(19)
第三章 太古宙地质	(21)
一、始太古代同位素年代学信息	(21)
(一) 样品所处的大地构造背景	(21)
(二) 样品与测试方法简述	(22)

(三) 测试结果	(24)
(四) 讨论	(25)
二、中—新太古代岩浆活动序列	(27)
(一) 中太古代二长花岗片麻岩	(28)
(二) 新太古代花岗质片麻岩	(28)
三、太古宙花岗质片麻岩的 Sm-Nd 同位素特征	(33)
四、小结	(33)
第四章 元古宙地层层序和重大地质事件的年代格架概述	(35)
一、古元古代地层及岩浆活动 (2.5 ~ 1.8 Ga)	(36)
(一) 敦煌岩群	(36)
(二) 龙首山岩群	(41)
(三) 中祁连山西部“野马南山群”的厘定	(41)
(四) 德令哈杂岩及达肯大坂岩群	(42)
(五) 金水口岩群	(45)
(六) 阿尔金山北部古元古代的岩浆活动	(46)
二、中元古代地层系统	(51)
三、新元古代地层及岩浆活动	(52)
(一) 柴达木盆地北缘	(52)
(二) 甘肃北山南缘	(52)
(三) 阿尔金断裂带	(53)
(四) 中祁连山	(56)
(五) 昆中断裂带两侧	(56)
四、讨论	(60)
第五章 柴达木盆地北缘新元古代重大地质事件群及其构造意义	(62)
一、柴达木盆地北缘欧龙布鲁克前寒武纪地层序列	(62)
(一) 前寒武纪变质基底	(62)
(二) 沉积盖层	(62)
二、柴达木盆地北缘南带(沙柳河-鱼卡河)新元古代热-构造事件	(68)
(一) 新元古代花岗片麻岩带	(68)
(二) 鱼卡河(或称沙柳河)岩群	(81)
(三) 榴辉岩岩石学、矿物学、地球化学和多元同位素年代学的初步研究	(82)
三、研究柴达木盆地北缘前寒武纪地质的重要意义	(94)
第六章 前寒武纪地质演化及大地构造格架	(95)
一、太古宙地质演化的基本特点	(95)
二、古元古代两阶段的地质演化特点	(95)
三、宁静的中元古代	(96)
四、强烈活动的新元古代	(96)
(一) 新元古代早期的地质事件群	(96)
(二) 新元古代晚期的地质事件群	(98)
五、早古生代大地构造格架——多岛(微陆块)海的轮廓	(102)
(一) 微大陆块划分的依据及前泥盆纪基本层序	(102)

(二) 微大陆块之间汇聚的时代	(106)
(三) 早古生代多岛海的大地构造格局	(112)
六、中元古代末—新元古代早期的构造轮廓	(112)
七、阿尔金断裂带两侧前寒武纪构造单元对比方案和关键问题分析	(113)
(一) 关于拉配泉-红柳沟蛇绿岩的时代	(115)
(二) 江孜勒萨依带的组成、时代和规模	(117)
(三) 西昆仑山前寒武纪地质问题	(117)
结语	(118)
参考文献	(121)

第一章 前寒武纪地质学与全球构造

20 世纪后半叶,特别是 90 年代以来全球构造研究已成为国际地学界前寒武纪研究工作中的重要内容,在全球构造研究中,超大陆和超大陆旋回成为研究工作中的主线,并且继冈瓦纳超大陆以后,对中—新元古代罗迪尼亚(Rodinia)超大陆的研究成为新的热点。

新元古代在整个地质历史中是一段十分重要而颇具特色的时期,除众所周知的全球性广泛分布的冰川活动和艾迪卡拉动物群的出现外,超大陆的汇聚和裂解构成该时期的另一特色。中元古代末期和新元古代早期的造山运动使全球大地构造格局发生重大变化。由于碰撞作用使若干分离的大陆块汇聚成超大陆或联合大陆,汇聚后的超大陆在不同部位和不同时期又重新裂解成若干大陆块体。目前国际地学界关注的罗迪尼亚超大陆的形成和裂解使新元古时期重大地质事件的研究再次成为热点(陆松年,1998)。

自 20 世纪 90 年代初提出中元古代末罗迪尼亚超大陆假说以来,有关该超大陆的古构造复原、格林威尔及与其时代大致相当的造山运动在全球的分布及特征、超大陆裂解的表现形式等一系列问题已取得重要进展。1999 年初国际地质对比计划科学执行局批准了 IGCP440 项“罗迪尼亚的汇聚与破裂”国际合作对比项目(陆松年,1999a),受到国际地学界的广泛关注。1999 年 4 月 IGCP 中国国家委员会批准成立中国国家工作组,同年 10 月在宜昌召开的“中国及邻区冈瓦纳块体地球动力学和构造演化”国际讨论会期间,又组织了东亚工作组,推举李正祥博士(澳大利亚)、T.Watanabe 教授(日本)和作者为召集人。中国地质工作者以此为契机,参与了该领域全球构造研究的行列。

一、罗迪尼亚超大陆研究进展

McMenamin 等(1990)首先提出新元古代“Rodinia”超大陆的概念,指出罗迪尼亚是一个 10 亿年前由大陆碰撞形成的全球性的超大陆。罗迪尼亚一词来源于俄语,原意为“诞生”之意。赋予新元古时期超大陆以罗迪尼亚这一词,系指罗迪尼亚超大陆是显生宙所有大陆的始祖,而且罗迪尼亚超大陆的边缘(大陆架)是最早期动物诞生的摇篮。通过对罗迪尼亚超大陆的研究,可能形成一种全新的地球动力学机制,同时罗迪尼亚超大陆的形成和裂解制约着元古宙及后期矿产的形成与分布。

许多著名的前寒武纪地质学家在 SWEAT 假说(美国西南部与南极东部汇聚;Moore, 1991)的基础上,对 Rodinia 超大陆的古地理再造做了大量的探索性研究,其中较有影响的成果之一当数 Hoffman(1991)所建立的新元古时期超大陆复原图(图 1-1),该成果被许多文献引用。在他建立的超大陆复原图中,显示了以劳伦大陆为中心的聚合,东冈瓦纳(澳大利亚、印度和东南极)与其相邻。西伯利亚位于劳伦大陆的一侧,而另一侧遥相对应的则是波罗的、非洲和南美地块群。上述早前寒武纪地块主要以格林威尔时期(1.3~1.0 Ga)造山带为缝合标志。在 Hoffman 罗迪尼亚全球构造复原图的基础上,李正祥等

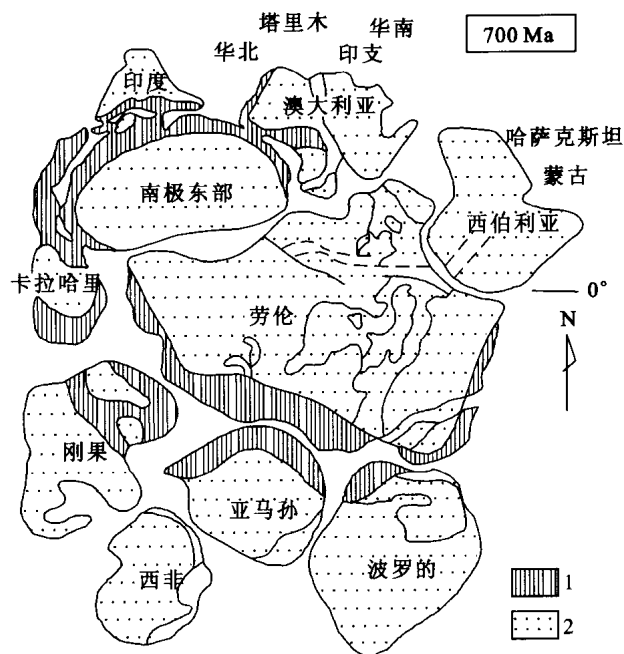


图 1-1 Hoffman 的罗迪尼亚超大陆的重建模式

(据 Hoffman, 1991)

1—格林威尔带；2—前格林威尔克拉通

(Li, et al., 1995、1996a) 讨论了中国华北与华南在超大陆中的位置，分别将华北和华南置于西伯利亚的两侧，并认为宽坪和四堡运动在时代上与格林威尔运动大致相当 (图 1-2)。最近，Condie (2001) 在前人工作的基础上，又对 Rodinia 超大陆提出了新的重建模式 (图 1-3)。

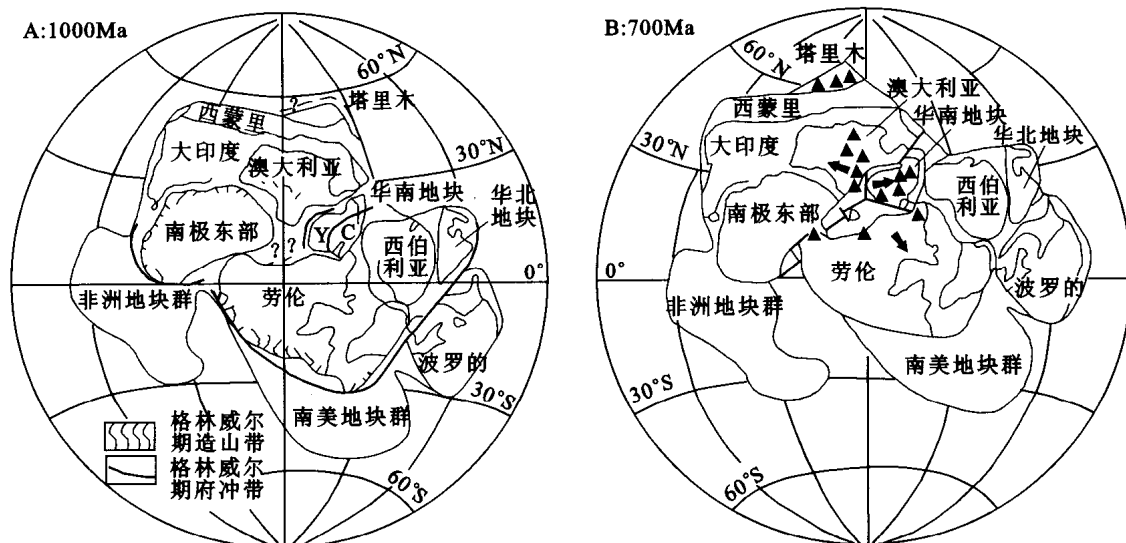


图 1-2 李正祥关于罗迪尼亚超大陆的重建模式

(据 Li, et al., 1995 简化)

Y—扬子陆块；C—华夏陆块；▲—冰川活动记录

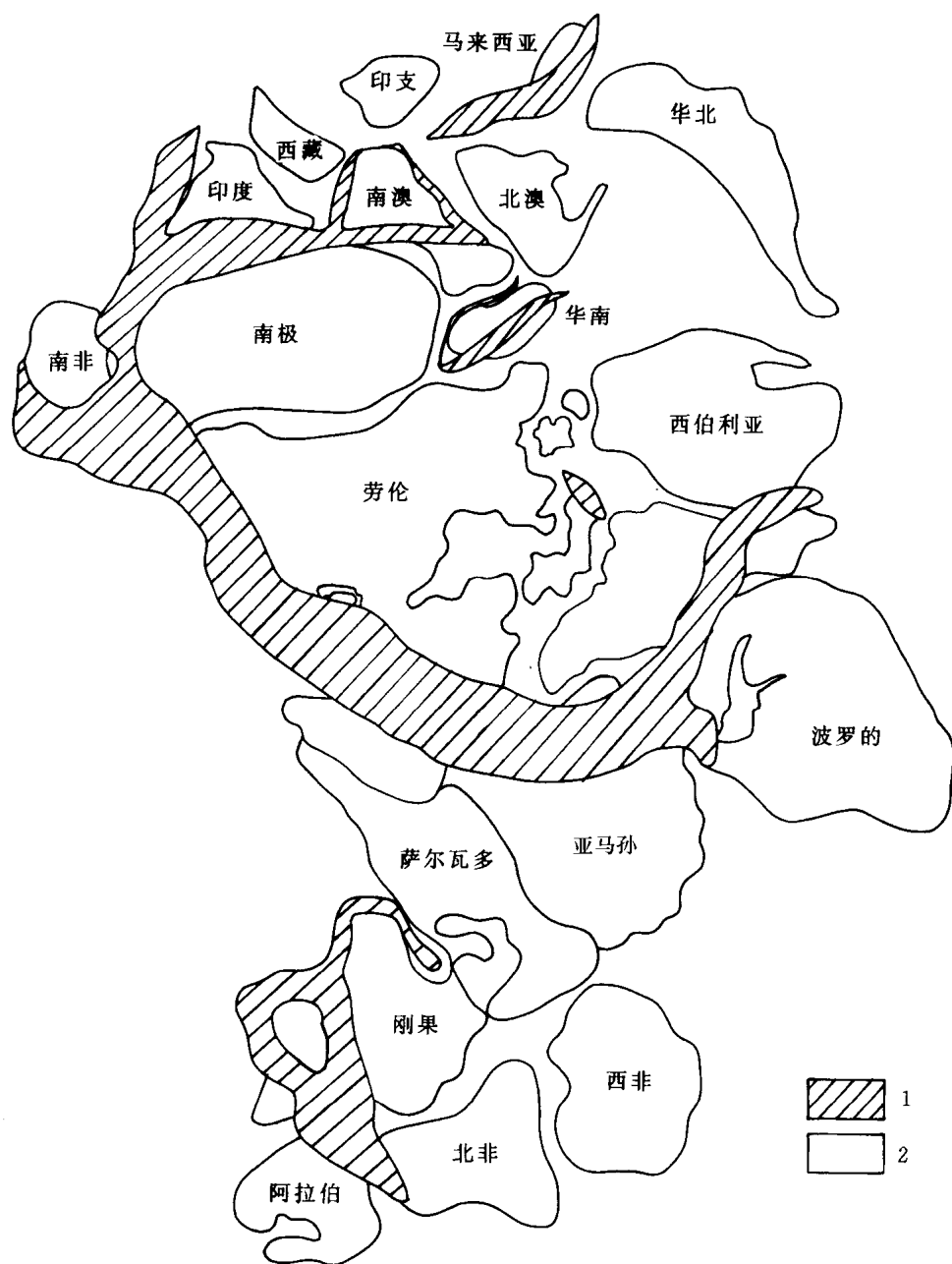


图 1-3 罗迪尼亚超大陆新的重建模式

(据 Condie, 2001 年资料简化)

1—格林威尔造山带；2—前格林威尔克拉通

格林威尔造山运动及在时代上与其相当的造山运动是重建 Rodinia 超大陆重要的地质依据。加拿大地质学家在格林威尔省进行过详细的研究，并取得了丰硕成果。根据近年来北美地质学家在格林威尔省的研究成果，现将格林威尔运动的含义、时限及地质意义简介如下。

由 Moore 和 Thompson (1980) 提出的格林威尔旋回实际上包含了 Elzevirian 和 Ottawa 两

次造山运动,而 Davidson (1995) 则建议将更早的增生事件也归入格林威尔旋回。Moore 等将上述两次造山归入一个构造旋回主要是根据西南格林威尔省的地质资料,在那里两次造山运动均很强烈,然而在东北格林威尔省 Elzevirian 造山运动的影响则不明显。Corrigan (1996) 认为在劳伦大陆的东南缘存在 1.45 ~ 1.20 Ga 的“安第斯”轮廓和 1.19 ~ 0.98 Ga 的“喜马拉雅”轮廓。因此他建议将前者归并为 Elzevirian 造山运动,后者属于末期碰撞造山,应视为一个独立的造山旋回。Rivers (1997) 则根据构造特征的差异,建议将增生和碰撞造山分开。他提出“Elzevirian 造山旋回”专指 1290 Ma 至 1190 Ma 期间 Elzevir 大陆弧后盆地的打开与封闭,而“格林威尔造山运动”仅限于末期的陆-陆碰撞事件,时限从 1190 Ma 至 980 Ma。在格林威尔省它至少包含三个“脉动式”的事件,即 1190 ~ 1140 Ma “Shawinigan Pulse”、1080 ~ 1020 Ma “Ottawan Pulse”和 1000 ~ 980 Ma “Rigolet Pulse”。目前,Rivers 提出的概念已得到较为广泛的应用。

Elzevirian 造山运动:Lumbers 等(1991)和 Easton (1992)曾指出格林威尔南部的大部分地区经历了 Elzevirian 造山运动期间 1250 ~ 1190 Ma 峰期的变质作用,所谓的 Elzevirian 造山运动是和 Elzevir 弧后盆地的闭合及板外地体(outboard terranes)增生到劳伦大陆相联系的。大约在 1230 Ma 的弧/弧后岩浆作用的结束被视为劳伦大陆边缘之下大洋岩石圈俯冲作用终止的标志,而在安大略沿格林威尔的西北边界发生的推覆叠置发生在 1190 Ma 左右,可能与在魁北克沿东部边界发育的褶皱-推覆带大致同时,因此将 1190 Ma 定为 Elzevir 弧后盆地最终闭合和 Elzevirian 造山运动的终止时间。

格林威尔造山运动:根据地质和地球物理资料,大型 SE 倾向的推覆体的叠置和地壳规模的推覆构造是劳伦大陆边缘陆陆碰撞的结果,北美地质学家广为接受将该时期的陆陆碰撞称为格林威尔造山运动。与劳伦大陆碰撞的另一个大陆块体现在尚未确定,但根据古板块重建和地质年代学背景,推测可能为南美大陆。劳伦大陆上的格林威尔造山运动至少包含三幕西北方向的地壳规模的推覆和高级变质作用,除上述 1190 ~ 1140 Ma、1080 ~ 1020 Ma 和 1000 ~ 980 Ma 时期的构造幕外,局部还发育 1120 Ma 前后的构造运动。

无论是由 Moore 等提出的广义的格林威尔旋回,或是由 Toby Rivers 等重新定义的狭义的格林威尔造山运动,它都是发生在中元古晚期的一组事件,从现有资料分析,980 Ma 以后的新元古代热-构造事件在格林威尔省极不发育,因此不宜将我国的新元古代造山运动或热-构造事件群与中元古代晚期的格林威尔造山运动视为相同时期的造山运动。

根据格林威尔省的研究成果,在板块边缘弧与俯冲有关的岩浆作用以其体积庞大、延续时间长(90 ~ 150 Ma)、空间上集中分布和以闪长岩-英云闪长岩-花岗岩组分为特征。在拉张的弧后盆地的岩浆作用与盆地的演化阶段有密切的关联:初期的弧后盆地常发育岩墙群、孤立的深成侵入体、短期的(<5 Ma)岩浆作用及化学组分的多样性;嗣后在继续演化的弧后盆地以较长时期的(20 Ma)大陆双峰式火山作用并以高原玄武岩的出现为特征;在成熟的洋盆中则出现拉斑玄武岩、钙碱性枕状玄武岩和喷发时间达 50 Ma 的流纹岩。而 A.B.Kampungzu (2000) 根据中非研究成果所提出的岩浆活动的时间序列(temporal sequence)则是:①前裂谷大陆拉斑玄武岩通常和酸性岩浆活动共生,据信该类岩浆活动与热点有关;②嗣后的岩浆活动为发育在低扩张速率裂谷中的碱性和过渡性熔岩,而在高扩张速率的裂谷盆地中则出现富集不相容元素的拉斑玄武岩;③当裂谷进一步演化时,则出现相对亏损的拉斑玄武岩,且这一时期的裂谷以发育铁闪长岩为特征;④第四阶段可出现红海型

E-MORB 的拉斑玄武岩；⑤在成熟的洋盆中则发育大西洋型洋中脊体系的亏损 N-MORB，此时地幔柱主要沿洋中脊展布，幔柱与大洋中脊玄武岩岩浆房的相互作用可能在洋中脊的某些部分形成 E-MORB。

当劳伦大陆与东南极和澳大利亚分裂以后，形成了古太平洋，这是罗迪尼亚破裂以后第一个最重大的地质事件，时间推断在 720 Ma 左右 (Unrug, 1996)。罗迪尼亚的破裂是通过裂谷、沉降盆地 (sag basin)、陆内活动带、被动大陆边缘和岩浆弧的形式实现的。该超大陆的破裂奠定了形成冈瓦纳大陆的基础，冈瓦纳大陆的汇聚大致在古生代初最终完成。在罗迪尼亚破裂至冈瓦纳的汇聚过程中，当劳伦大陆依然和西伯利亚、波罗的陆块与亚马孙和 Rio de la Plata 陆块结合在一起时，冈瓦纳大陆其他部分在新元古代末期形成了一个短寿的超大陆，称为潘诺亭 (Pannotia) (Powell, 1995)。

新元古代大洋在泛非运动过程中闭合以后，冈瓦纳与劳伦大陆在奥陶纪至泥盆纪实现了汇聚 (Dalziel, 1991)，并且在晚古生代与劳亚大陆聚合，形成了迄今为止全球最年轻的一个超大陆——联合大陆 (Pangea)。因此，就新元古时期而言不仅涉及到罗迪尼亚超大陆，同时也涉及到冈瓦纳大陆的汇聚过程。

二、冈瓦纳超大陆的形成

冈瓦纳超大陆是在新元古代末至古生代初由统一的东冈瓦纳和西冈瓦纳几个大陆块体经过泛非-巴西造山运动 (Pan-Africa-Brazilian Orogeny, 以下简称泛非运动) 联合组成的超级大陆，显然，冈瓦纳超大陆的规模远不及罗迪尼亚和晚古生代联合大陆。冈瓦纳超大陆的形成有两个最重要的构造带 (图 1-4) (Acharyya, 2000)，一是介于东、西冈瓦纳之间的莫桑比克带，该带波及东非、马达加斯加、印度南部、斯里兰卡和东南极，并以中低压麻粒岩相变质作用为标志，形成的时代为 600 ~ 550 Ma (Kroner, 1993)。另一条构造带发育于东、西非之间并延伸到刚果和巴西东南部，其中巴西东南部长达 2000 km 的新元古代晚期岩浆弧的发育特别引人注目 (Hartmann et al., 1999)。

在巴西中部褶皱带中已鉴别出四个时代的花岗岩，除古元古代末至中元古代初 (1.77 ~ 1.58 Ga) A 型花岗岩外，其他都形成于新元古代 (Almeida et al., 2000; Frantz et al., 2000)。第一类为花岗岩岩浆弧，主要岩石类型从英云闪长岩到花岗闪长岩。早期的岩浆弧形成于 0.90 ~ 0.85 Ga， Sr_0 (指初始锶同位素组成，下同) 为 0.704， ϵ_{Nd} 为正值、 T_{DM} (指钨模式年龄，下同) 为 1.0 Ga，系洋内岛弧体系的产物。晚期岩浆弧形成于 0.76 ~ 0.63 Ga，地球化学和同位素体系演化程度较高，推测为大陆弧构造环境中形成的。第二类同-晚构造花岗岩侵入体包括花岗闪长岩至花岗岩，具有弱至强的过铝特征，岩体侵入年龄为 0.79 ~ 0.70 Ga。 Sr_0 为 0.705、 T_{DM} 介于 1.7 ~ 2.4 Ga。第三类双峰式岩浆岩带，形成于 0.60 ~ 0.48 Ga。在晚期变形以后，曾形成大量的层状基性-超基性杂岩体、辉长岩-闪长岩侵入体和富钾花岗岩的大岩体。 Sr_0 介于 0.703 ~ 0.710， T_{DM} 从 0.90 Ga 至 1.2 Ga。地球化学特征表明这类花岗岩是在地壳隆升和拉伸过程中基性岩浆侵入时，新元古代初始地壳重熔的产物。大洋岩石圈从 0.9 Ga 开始俯冲，并形成巴西褶皱带中的同构造弧花岗岩。约在 0.6 Ga 大洋完全封闭，并造成隆起、拉伸和双峰式花岗岩套的侵入。但是在 20 世纪 90 年代由于在该区未能发现泛非-巴西期的蛇绿岩，对巴西东南部岩浆岩带所指示的

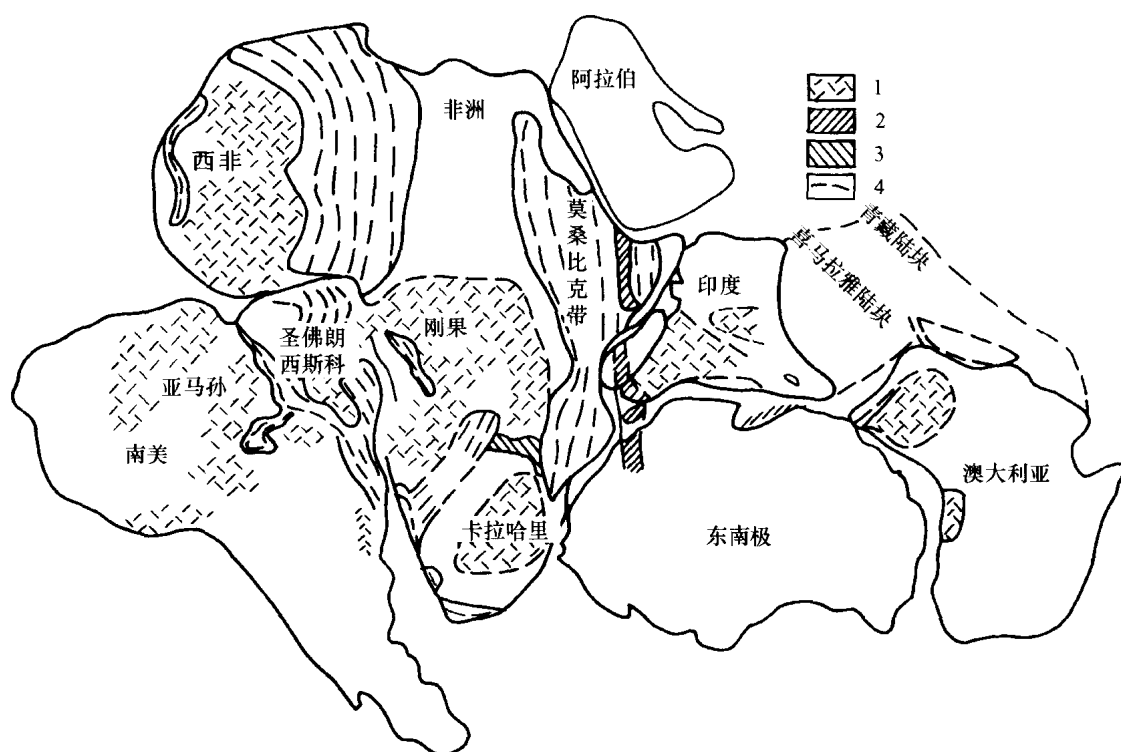


图 1-4 冈瓦纳超大陆复原图

(据 Acharyya, 2000)

1—前寒武纪克拉通；2—550~600 Ma 麻粒岩带；3—赞比亚带 (~820 Ma)；4—泛非活动带

大地构造背景仍存在不同认识。最近，巴西地质学家 Tassinari 等 (2001) 报道了在圣保罗西南发现具有典型洋壳组合的蛇绿岩套，其中变质辉长岩的 U-Pb 年龄为 (628 ± 9) Ma，证实了 Sial 等 (1991) 认为在佛朗西斯科西缘曾有一个新元古时期大洋的推测，即在南美巴西与西非刚果之间确实存在过一个新元古代晚期的大洋，在泛非-巴西造山过程中，造成该大洋的闭合，并形成巴西东南部岩浆弧。

在全球构造研究中，造就了一批在国际地学界有重要影响的全球构造地质学家，他们通过由他们领导的科研群体，如西澳的构造研究中心等，或通过 IGCP 项目影响着前寒武纪全球构造研究的走向，可以推断 21 世纪初这种趋势只会加强而不会削弱。因此，这些曾经对冈瓦纳超大陆研究做出过贡献，而如今又活跃在罗迪尼亚超大陆研究领域内的全球构造地质学家们，仍将继续推进新元古代超大陆的研究工作。

随着全球构造研究的深入，对罗迪尼亚超大陆的重建必然会提供更多的科学证据，而且有关超大陆汇聚和裂解的大陆动力学问题必将会提到必要的高度而引起国际地学界的关注。关于超大陆汇聚与裂解引起的地球各层圈的突变是未来研究的重要趋势，从核-幔边界引发的地幔柱是造成超大陆破裂的重要因素，由此而触发的壳-幔变化和地球浅部及表层的资源与环境效应也必然受到国内、外前寒武纪地质研究者们的重视。

在前寒武纪全球构造研究中另一值得注意的动向是当罗迪尼亚超大陆成为研究热点后，一些地质学家已超前研究前罗迪尼亚超大陆的 global 构造问题，将他们的精力集中

到更古老的超大陆和超大陆旋回的研究工作之中。例如, Condie (1999) 根据初始地壳形成的峰期, 认为古元古时期还存在两个规模较小的超大陆, 这两个规模较小的超大陆嗣后构成了 Rodinia 超大陆的“核心”。他指出地史中新太古代、罗迪尼亚和联合大陆等三个超级大陆的裂解时期分别发生于 2.3~2.1 Ga、0.7~0.6 Ga 和 0.16 Ga 时期, 而初始地壳增生的高峰期则出现在 1.9~1.7 Ga、0.6~0.4 Ga 和 0.12~0.11 Ga。

罗迪尼亚超大陆的研究成果促使研究全球构造的地质学家猜想, 在该超大陆形成前的古—中元古代可能还存在另一个时代更老的超大陆 (Lu, et al., 2002), 由于这个超大陆裂解的大陆碎块重新碰贴、增生才形成罗迪尼亚超大陆。1996 年 Rogers 提出早于 1.5 Ga 时, 全球存在三个大的陆块群, 2000 年他提出哥伦比亚超大陆有存在的可能性, 2002 年又全面阐述了他对哥伦比亚超大陆的认识。

哥伦比亚超大陆存在的关键性的证据来自印度东部和北美的哥伦比亚地区, 因此 Rogers 等将该超大陆命名为哥伦比亚超大陆。由于从 1.9 Ga 开始的造山运动使早先存在的三大陆块群逐步汇聚而形成一个大超大陆, 这一过程一直延续到 1.5 Ga。

哥伦比亚超大陆包含的三大陆块群分别称为 Ur、Nena 和 Atlantica (大西洋), 其中 Ur 包括了印度的大部分、南非的卡拉哈里 (Kalahari)、西澳的皮尔巴拉 (Pilbara)、东南极沿岸区和南极被冰帽覆盖的部分地区。这些陆块群约在 3.0 Ga 时即已聚合, 而在 1.5 Ga 前, 印度的其他地区、南非的津巴布韦和东澳又汇聚到已存在的 Ur 陆块群中。第二个大陆块群称为 Nena, 它是在 2.5 Ga 时由北美、西伯利亚和格陵兰所组成的北极大陆, 加上在 2.0 Ga 时由于波罗的的拼贴和北美大陆边缘的生长而形成的大陆块群。第三个称为大西洋陆块群, 它是在约 2.0 Ga 时由南美和西非所组成的。上述三个大的陆块群, 在 1.9~1.5 Ga 期间, 通过造山带而使它们逐步靠拢, 形成联而不合的哥伦比亚超大陆 (图 1-5)。

在第 31 届国际地质大会上, Evans 博士根据他测定的北美苏必利尔和南非 Kaapvaal 地块的古地磁资料, 提出 SUPVAAL 联结的假说, 推测太古宙末期北美克拉通与南非曾为统一的联合大陆, 为研究太古宙末的超大陆奠定了基础。

由于对前寒武纪全球构造研究的进展, 一批地质学家正在重新审视过去积累的资料, 如从超大陆的汇聚和裂解过程对新元古代海水中 Sr、C 和 O 同位素的时间效应进行再解释; 对相当于我国南华纪时期的全球冰川活动从天文角度提出了 Snowball (雪球构造) 假说等, 从而引发了对元古宙碳酸盐地层同位素年代学效应和新元古代晚期杂砾岩 (diamictite) 研究的新热点, 这些都是在全球构造研究中值得注意的研究动向。

当前前寒武纪地质学的发展和深化是和全球构造研究紧密联系在一起的, 我们应当洞察这一趋势, 因势利导, 培养一批具有全球观的前寒武纪地质学家。实际上, 在前寒武纪全球构造研究中, 有许多领域尚未涉及, 有许多成果尚处在假说和探索过程中。仅就罗迪尼亚超大陆复原图而言, 就已经出现了多种复原的结果, 而且相互之间差异明显, 究其原因在于对超大陆复原准则认识上的不同。笔者窃以为首先应在超大陆复原的准则上有一个共同的认识, 在此基础上才能有共同点, 并进而讨论超大陆复原问题。作者在综合前人研究成果的基础上, 认为在超大陆复原或研究大陆块体间的相互关系时, 应考虑下述 7 方面的准则, 即古纬度和视极移曲线、造山带的存在与否、裂解事件群的特点、地层序列和特殊地质记录 (如冰成岩) 的异同、生物区系特征、地球化学省和成矿作用特点等。在全球构造研究中, 生物区系以及超大陆汇聚与裂解过程中资源与环境效应都是亟待加强的研究领域。

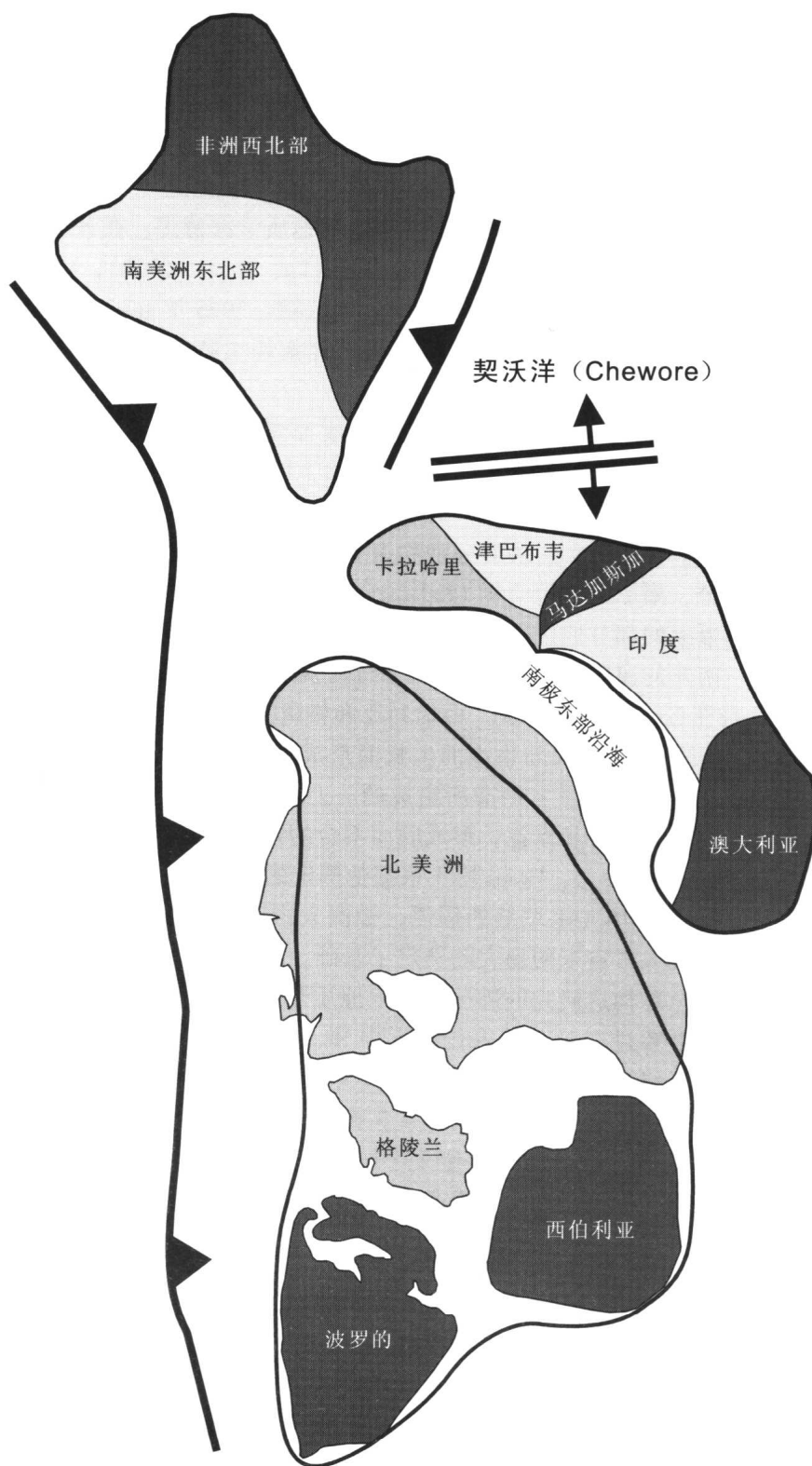


图 1-5 约 1.5 Ga 时的哥伦比亚超大陆复原图
(据 Rogers 等, 2002)