

国家自然科学基金委员会 联合资助项目
中国地质调查局“十五计划”

中国前寒武纪 重大地质问题 研究

—— 中国西部前寒武纪
重大地质事件群及其全球
构造意义

陆松年 于海峰 李怀坤 郭坤一 等著
王惠初 金 巍 张传林 刘永顺

地质出版社

国家自然科学基金委员会
中国地质调查局“十五计划”

联合资助项目

中国前寒武纪重大地质问题研究

——中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义

陆松年 于海峰 李怀坤 郭坤一 等著
王惠初 金巍 张传林 刘永顺

地质出版社

· 北 京 ·

前 言

本书是中国地质调查局综合研究项目“中国前寒武纪重大地质问题研究”（项目编号200113900070）和国家自然科学基金委员会重点研究项目“中国中—新元古代重大地质事件及其与超大陆事件的对比”（编号：40032010）联合资助的研究成果，反映了作者自2001年至2003年在研究过程中所取得的认识和观点。前一个项目负责单位为天津地质矿产研究所，参加单位有吉林大学和南京地质矿产研究所，项目负责人是陆松年，副负责人为于海峰；后一个项目（重点基金项目）由陆松年负责。

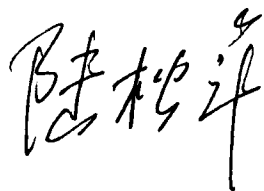
本书重点是“围绕中国西部前寒武纪重大地质事件群，通过西昆仑山、阿尔金山、东昆仑山和柴达木盆地北缘等重点地区的解剖，建立我国西部各个地质块体前寒武纪重大地质事件群的时序，提出中国西部前寒武纪大地构造分区意见，讨论分析前寒武纪重大地质事件群的全球构造意义”。

研究工作期间，国际地学界对前寒武纪全球构造研究取得了令人瞩目的进展，其中包括 Rogers 等（2000、2002）一批专家对中元古代哥伦比亚超大陆研究的构思和初步成果；Powell 等（2002）对罗迪尼亚超大陆复原所提出的新模式；众多学者（Kroner, 1996；Powell, 1995；Yoshida, 2003）对冈瓦纳超大陆，特别是东非造山带的细化研究等成果对全球前寒武纪研究起了明显的推动作用。中国地质学家作为国际地学大家庭的成员，在了解和参与全球前寒武纪研究的同时，将重点聚焦在中国大陆的前寒武纪地质上。这一时期国内、外文献中不乏介绍中国华南、华北、塔里木和造山带前寒武纪地质及变质地质的新成果，引起了国际地学界更广泛的关注。我国西部地区由于自然及交通等方面存在诸多不利条件，其地质研究程度总体上还低于东部地区，国内外地学界还缺少对该区的深入了解。同时，由于研究程度较低，地质工作对资源的战略布局也难以起到指导和借鉴作用。但我们欣喜地看到，在新一轮地质大调查过程中，成百上千的地质工作者已经或正在这一自然条件恶劣的地区开展深入的地质调查工作，并已取得大量的成果。我们在完成《青藏高原北部前寒武纪地质初探》一书后，又在新的研究成果基础上，撰写了《中国前寒武纪重大地质问题研究——中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义》这本专著，目的是提高本区前寒武纪研究水平，期盼对西部资源的战略布局有所裨益；同时，作者谨以此书奉献给长期和正工作在我国西部高寒或无人区的国内同行，也奉献给那些毕生从事全球前寒武纪构造研究的国际同行。

本书除前言和结语（执笔人陆松年）外，共分九章，分别是：第一章，中国西部构造分区及前寒武纪重大地质事件群概述（陆松年执笔）；第二章，塔里木克拉通前寒武纪地质（执笔人陆松年、刘永顺、郭坤一和张传林）；第三章，祁连地块前寒武纪重大地质事件（执笔人陆松年）；第四章，欧龙布鲁克微陆块前寒武纪地质演化（执笔人李怀坤、王惠初）；第五章，柴达木地块前寒武纪重大地质事件（执笔人王惠初、李怀坤、金巍、张梅生、葛文春）；第六章，阿尔金地块前寒武纪地质历史（执笔人于海峰、刘永顺）；第

七章，西昆仑地块前寒武纪重大地质事件（执笔人张传林、郭坤一、王爱国）；第八章，中国西部前寒武纪重大地质事件群的全球构造意义（执笔人陆松年）；第九章，问题讨论（执笔人陆松年）。本书由陆松年统编，相振群、蒋明媚、李怀坤等协助完成。除上述执笔人外，郑健康、牛广华承担研究区 1:200 万前寒武纪地质图的编制工作，蒋明媚、陈志宏、相振群、李惠民、周红英等还参加了本项目的室内外研究工作。

研究工作期间，国家自然科学基金委员会、中国地质调查局、天津地质矿产研究所、南京地质矿产研究所和吉林大学给予了大力支持，孙枢、李廷栋、沈其韩、肖序常、任纪舜、许志琴、张国伟、马福臣、叶天竺、张洪涛、刘敦一、柴育成、肖庆辉、任家琪、彭齐鸣、庄育勋、姚玉鹏、刘凤山、宋彪等众多院士、专家和同行给予了极大的关心与帮助，对他们的支持与帮助，笔者表示深深的感谢。由于本书有多人参与撰写，各分区已有的研究水平差异较大，各章、节资料的详、简程度及文风各异，加之统编时间较短，书中还存在不少疏漏甚至错误之处，敬希读者不吝指正。



2005 年 6 月于天津

目 录

前 言

第一章 中国西部构造分区及前寒武纪重大地质事件群概述	(1)
第一节 构造分区及特征	(1)
一、塔里木克拉通	(1)
二、显生宙造山带	(2)
第二节 研究区前寒武纪重大地质事件群概述	(7)
一、早前寒武纪三期重大地质事件	(7)
二、新元古代早期造山作用和克拉通化	(8)
三、南华纪裂解事件群	(9)
四、早古生代热-构造事件	(10)
第二章 塔里木克拉通前寒武纪重大地质事件群及地质演化特征	(11)
第一节 塔里木克拉通北缘库鲁克塔格隆起区	(12)
一、前南华纪变质基底	(12)
二、南华纪至震旦纪盖层沉积库鲁克塔格群	(12)
第二节 塔里木克拉通西北缘柯坪隆起区	(14)
一、中元古界阿克苏岩群	(14)
二、新元古界	(14)
第三节 塔里木克拉通东缘东阿尔金-敦煌隆起区	(15)
一、基本地质特征	(15)
二、地球化学特征	(18)
三、变形-变质作用特征	(20)
四、同位素年龄	(21)
第四节 塔里木克拉通南缘铁克里克隆起区	(22)
一、古元古代早期赫罗斯坦杂岩	(22)
二、古元古代晚期喀拉喀什岩群	(25)
三、中元古代长城系赛拉加兹塔格群	(26)
四、中元古代蓟县系埃连卡特群	(26)
五、新元古界	(30)
第五节 塔里木克拉通前寒武纪重大地质事件及演化特征	(39)
一、最古老的地质事件	(39)
二、新太古代地壳再造和初始地壳增生	(39)

三、古元古代早期的陆内裂解	(39)
四、古元古代晚期造山作用遗迹	(39)
五、中—新元古代构造旋回的热—构造事件	(39)
六、南华纪至古生代早期构造旋回的地质事件	(40)
第三章 祁连地块前寒武纪重大地质事件	(41)
第一节 古变质基底——北大河群	(43)
第二节 中元古界至青白口系	(43)
一、北祁连山朱龙关群、镜铁山群和大柳沟群	(43)
二、中祁连山湟源群	(44)
第三节 南华系至震旦系	(44)
第四节 南、北边界的界定	(45)
第五节 祁连地块前寒武纪重大地质事件及演化	(45)
第四章 欧龙布鲁克微陆块前寒武纪地质演化	(47)
第一节 前泥盆纪地层系统——两个重要的不整合面	(47)
一、德令哈杂岩	(49)
二、达肯大坂岩群	(50)
三、万洞沟群	(51)
四、全吉群	(51)
第二节 滩间山蛇绿岩—岛弧带	(51)
一、蛇绿岩（残片）	(52)
二、岛弧火山岩	(55)
三、岛弧深成岩	(59)
第三节 前寒武纪热—构造事件	(64)
一、2400~2300Ma 双峰式岩浆作用	(65)
二、约 1900Ma 的深熔作用和麻粒岩相变质作用	(65)
三、1760Ma 奥长环斑花岗岩	(65)
四、新元古代晚期裂解事件的地质记录——全吉群	(67)
五、古生代早期岩浆弧——滩间山岩群	(67)
第五章 柴达木地块前寒武纪重大地质事件	(69)
第一节 沙柳河—鱼卡河高压—超高压变质带	(69)
一、新元古代花岗片麻岩	(70)
二、鱼卡河（沙柳河）岩群变质表壳岩	(76)
三、榴辉岩	(82)
第二节 昆北变质地质体	(94)
一、区域地质概况	(94)
二、前泥盆纪构造—热事件及同位素年龄	(98)
三、区域变质事件序列	(105)
四、地质事件序列及年代格架	(108)
第三节 昆中—昆南蛇绿混杂岩带	(108)

第六章 阿尔金地块前寒武纪地质历史	(110)
第一节 阿尔金中—新元古代构造岩片	(110)
一、中元古代长城系巴什库尔干群	(110)
二、中元古代蓟县系塔昔达坂群	(111)
三、新元古代青白口系索尔库里群	(111)
四、新元古代南华系—震旦系	(111)
第二节 中阿尔金榴辉岩（高压—超高压变质）带	(111)
一、基本地质特征	(112)
二、变质表壳岩	(113)
三、榴辉岩	(117)
四、新元古代侵入岩	(123)
第三节 阿尔金北缘蛇绿混杂岩带和阿尔金南缘基性—超基性岩带	(130)
一、阿尔金北缘蛇绿混杂岩带	(131)
二、阿尔金南缘基性—超基性岩带	(139)
第四节 前寒武纪同位素示踪分析及重大地质事件序列	(142)
一、同位素示踪分析	(142)
二、重大地质事件序列	(143)
第七章 西昆仑地块前寒武纪重大地质事件	(145)
第一节 西昆仑地块北部库地蛇绿岩及时代	(145)
一、区域地质	(146)
二、样品采集、选样与测试	(147)
三、测试结果及讨论	(148)
第二节 高级变质层状岩系	(150)
一、岩石组合	(150)
二、高级变质层状岩系的年代学研究	(150)
三、高级变质层状岩系中的花岗质侵入体	(152)
第三节 羌塘—巴颜喀拉地块	(154)
第四节 高压麻粒岩的发现及其地质意义	(154)
一、高压麻粒岩的产状	(155)
二、高压麻粒岩的岩相学特征	(155)
三、矿物化学	(156)
第八章 中国西部前寒武纪重大地质事件群全球构造意义	(160)
第一节 前寒武纪超大陆和超大陆地质事件研究概况	(160)
一、哥伦比亚超大陆	(162)
二、罗迪尼亚超大陆	(165)
三、冈瓦纳超大陆	(169)
第二节 研究区前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义	(170)
一、早前寒武纪重大事件	(172)
二、古元古代末期（2000~1800Ma）与造山运动有关的重大事件群	(172)

三、与罗迪尼亚超大陆汇聚及裂解有关的重大事件群	(173)
四、早古生代环冈瓦纳多岛-弧-盆系重大事件群	(173)
五、前寒武纪重大地质事件的全球构造意义	(173)
第九章 问题讨论	(175)
第一节 中、新生代塔里木与柴达木盆地基底的差异	(175)
一、塔里木盆地油气地质特征	(175)
二、柴达木盆地油气地质特征	(176)
第二节 东、西昆仑山前泥盆纪地质历史的差异性与相似性	(177)
第三节 新元古代早期与古生代早期造山作用特点对比	(178)
第四节 中-新元古代塔里木与扬子和华北克拉通之间的关系	(179)
一、中国三个主要克拉通前新元古代演化特征	(179)
二、塔里木与扬子克拉通对比	(181)
三、塔里木-扬子克拉通与华北克拉通对比	(182)
四、中国古陆块与 Rodinia 超大陆的关系	(183)
第五节 “泛华夏造山运动”意义的初步讨论	(185)
一、“泛华夏”一词的来源	(186)
二、“加里东造山运动”的原始含义	(187)
三、“泛非造山作用”的含义、特点及时代	(189)
四、“泛华夏造山运动”的含义、特点及时代	(191)
五、小结	(193)
结 语	(195)
参考文献	(197)

第一章 中国西部构造分区及前寒武纪 重大地质事件群概述

塔里木、华北和扬子三个规模较大的克拉通构成了中国大陆大地构造的基本格架。三大克拉通之间分布有显生宙造山带,形成复杂的“指状”线性构造带。我们研究项目的工作区主要位于中国西北,涉及塔里木克拉通及其周缘以早古生代为主的造山带。除地学界前辈黄汲清等对西北地区大地构造进行过系统论述外,任纪舜、何国琦、葛肖虹、潘桂棠等多位研究者也对该区大地构造轮廓进行过讨论;至于仅涉及其中一部分地区构造演化和分区的研究者,人数及成果则更多。

本书将研究区分为塔里木克拉通和周缘造山带两类性质不同的大地构造单元,而在造山带内又进一步分为祁连地块、欧龙布鲁克微大陆块、柴达木地块、阿尔金地块和西昆仑地块等二级大地构造单元。项目的主要研究任务限定于前寒武纪重大地质事件群,重点研究的是克拉通和造山带中的前寒武纪岩层。因此,除本章第一节对研究区内各构造分区特征进行简略介绍外,其他部分集中讨论前寒武纪地质问题。

第一节 构造分区及特征

一、塔里木克拉通

塔里木克拉通面积超过 60 万 km^2 ,主体被塔里木中、新生代盆地所占据,而盆地中心则为我国最大的塔克拉玛干沙漠(面积达 33.7 万 km^2),有限的露头断续出现在盆地周边的隆起区(图 1-1)。从露头区地质特征判断,塔里木整体上应属于“克拉通”。这里所指的“克拉通”是指在前寒武纪固化或稳定化的大陆块体,且主体未卷入显生宙造山过程。因此,一个克拉通通常具有由前寒武纪变质基底和未变质的沉积盖层所构成的“双层结构”特点,其间存在重要的构造不整合面。

塔里木克拉通是通过塔里木运动(1000 ~ 850Ma,相当于晋宁期 I 造山运动)从相对活动状态转为相对稳定状态的大陆块体,由前南华纪变质基底和南华纪及其以后的沉积盖层组成。前南华纪地质记录仅保留在边缘的隆起区,已证实的太古宙岩层保存在阿尔金北—敦煌及库鲁克塔格地区,除已获得 3600Ma 和 3000Ma 的锆石 U-Pb 年龄数据(李惠民等, 2001;陆松年等, 2003a)外,主体是新太古代 TTG 质片麻岩。值得指出的是,在 2500 ~ 2300Ma 期间,出现具有钾长花岗片麻岩和具有双峰式特征的侵入体,表明在太古宙末期大规模地壳增生以后,出现了指示伸展构造体制下的岩浆活动。古元古代地层为一套高级变质的副变质岩系,中元古代的沉积地层普遍以碳酸盐岩层为主,虽然其中也赋存大量的叠层石,但所有中元古代地层均已受到变质和变形。塔里木运动标志塔里木“克拉通化”的完成,在其北缘的库鲁克塔格、西北缘的阿克苏、西南缘的铁克里克均有在时代上及沉积特征

方面与扬子克拉通相似的南华系和震旦系地层(陆松年,1992;高振家等,1993),特别是发育了在层位上完全与扬子克拉通南沱组层位相当的冰碛层。

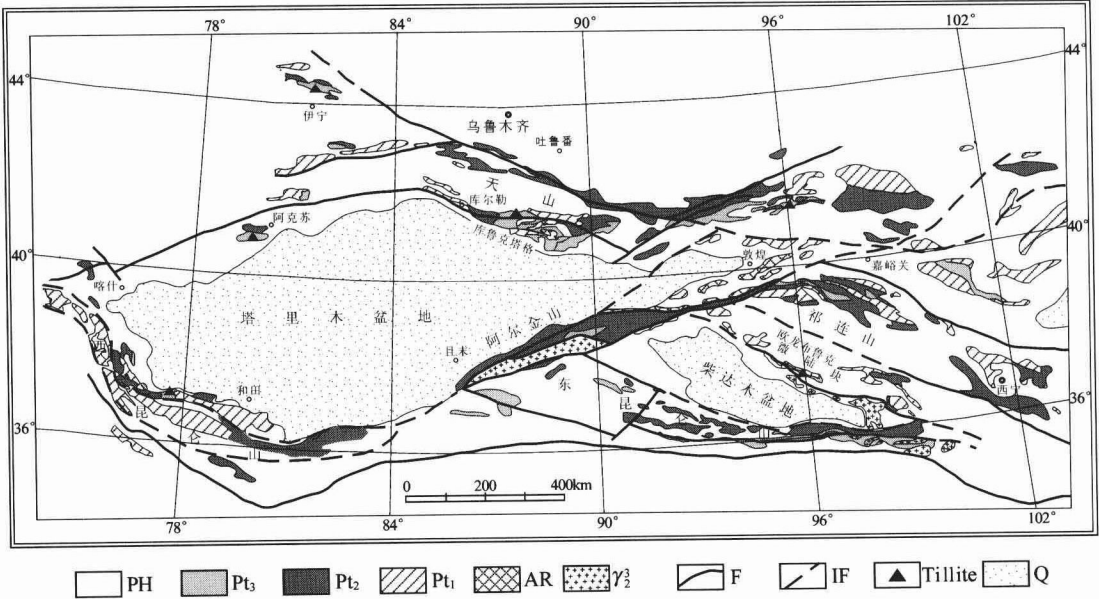


图 1-1 研究区前寒武纪地质略图

PH—显生宙地层; Pt₃—新元古界; Pt₂—中元古界; Pt₁—古元古界; AR—太古宇; γ₂³—新元古代早期花岗片麻岩;
F—断裂带; IF—推测断裂带; Tillite—冰积层; Q—第四系

二、显生宙造山带

塔里木克拉通北界为南天山,南界为西昆仑山,东界被阿尔金山所截,阿尔金山东南侧是祁连山、柴达木盆地和东昆仑山。组成这些山系的变质岩层大多数受到早古生代造山运动的影响,成为早古生代造山带的组成部分。因此,本书中将这些由不同时代前寒武纪岩层所组成的、同时受到早古生代造山作用强烈改造的地质体统称为“地块”。地块之间或地块与克拉通之间通常出露指示板块边界所发育的缝合带(suture)。然而,地理上位于柴达木盆地北缘北部的全吉山—欧龙布鲁克山一带显示克拉通所具有的前寒武纪变质基底和基本未变质的沉积盖层的双层结构,是造山带中保持相对稳定的克拉通,只是由于它的规模较小而称为“欧龙布鲁克(或全吉)微克拉通”或“微陆块”。“微陆块”与“地块”的区别在于,前者在早古生代造山带中保持了相对稳定状态,除边缘区外,微陆块内部仅受到较弱的早古生代造山作用的影响。

研究区所涉及的造山带仅是塔里木克拉通周缘造山带的一部分,包括祁连地块、欧龙布鲁克微陆块、柴达木地块、阿尔金地块和西昆仑地块,具体位置可参见图 1-2。

1. 祁连地块

祁连地块北以北祁连缝合带与龙首山-阿拉善地块相隔,南以中祁连南缘野马山-拉脊山缝合带与欧龙布鲁克微陆块相邻,前寒武纪变质基底主要分布于中祁连山及北祁连山一带。祁连地块之北的阿拉善地块中时代最老的岩层为阿拉善岩群和龙首山岩群,其分布范

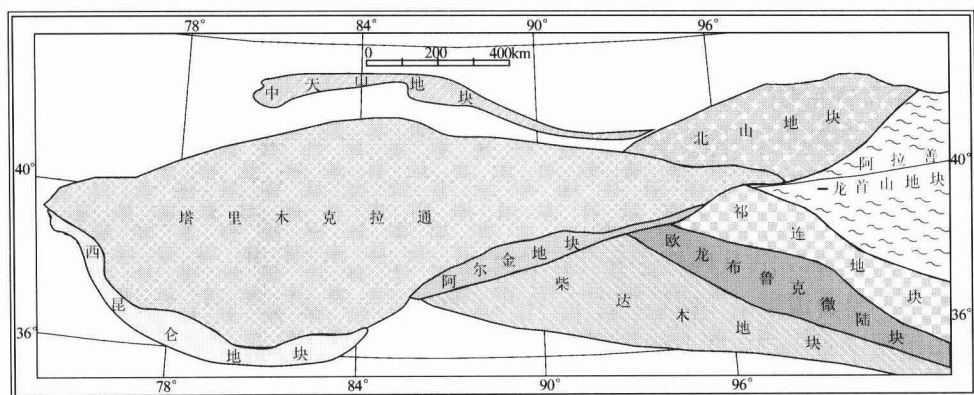


图 1-2 中国西部大地构造分区图

围较大,为一套角闪岩相的副变质岩,原岩为(含炭)泥质、砂质碎屑岩,其次为碳酸盐岩,少量的基性火山岩。副变质岩具富炭(石墨)、铝和钙、镁的特点,因而,类似孔兹岩系,只是变质程度未达到高角闪岩—麻粒岩相,是形成于相对稳定的浅海环境的产物。在龙首山岩群分布区,钾质花岗片麻岩十分发育,它们侵入龙首山岩群并共同遭受复杂的形变。陆松年等(2002c)曾测得钾质花岗片麻岩的颗粒锆石 U-Pb 年龄为 (1914 ± 9) Ma,龙首山岩群中斜长角闪岩的年龄为 (2034 ± 16) Ma,有理由推断龙首山岩群主体属于古元古代。

祁连地块中的前寒武纪地层在中祁连山东部称为湟源岩群,上覆低级变质的新元古界湟中群和下寒武统花石山群。湟源岩群以云母片岩、石榴云母片岩、蓝晶石榴云母片岩、黑云斜长变粒岩、石英岩和大理岩为特征,地层中局部出现石墨云母片岩。在湟源—西宁公路旁,侵入湟源群的响河岩体获得了 (917 ± 12) Ma 的单颗粒锆石 U-Pb 年龄(郭进京,1999),其地层时代应不晚于中元古代。中祁连山西部前寒武纪变质岩层称“野马南山岩群”,其岩石组合与变质程度与湟源岩群颇为相似,但被 (1499 ± 21) Ma 的糜棱岩化花岗岩所侵入,因此,野马南山岩群的时代应大于 1500Ma。

在上述变质基底之上覆盖着一套低级变质的沉积地层,其中以湟中群为代表。该群下部以变质粗碎屑岩为主,夹绢云片岩,在变碎屑岩层中保存有很好的交错层理等原生沉积构造;上部由变粉砂岩、板岩和不纯结晶灰岩组成,其层序与欧龙布鲁克微大陆上的全吉群颇接近。从变质程度和岩石组合特征分析,湟中群与下伏变质基底应存在一个由构造运动所造成的不整合面,但由于后期造山作用的强烈叠加,这一原始接触面已改造成断层面。湟中群之上平行不整合覆盖着含早寒武世化石的花石山群,主要由碳酸盐岩地层组成。由于花石山群的限定,湟中群像全吉群一样,时代应归属于新元古代南华纪至震旦纪。早古生代火山岩层主要出露在南、北祁连山,作为祁连地块的南、北两个边缘,均具有活动大陆边缘的特征,并由于洋盆的出现、扩张和消亡,形成了著名的南、北祁连早古生代蛇绿岩带(缝合带)。

祁连地块的北缘发育了北祁连缝合带,一些学者认为在中祁连与北祁连之间还存在一条蛇绿混杂岩带(托莱山-达坂山缝合带),因此,祁连地块本身还可以一分为二,北为北祁连地块,南为中祁连地块。就祁连地块而言,其研究程度颇高,是西北地区 and 全国研究程度较高的显生宙造山带之一,对区内的构造演化过程,阶段划分,次级构造单元的特点,造山过程中沉积、火山、构造的地质记录,地壳演化过程中的成矿作用特征都有过专题性研究,并有

大量论著问世(如肖序常等,1978;左国朝等,1987;冯益民等,1992、1995;夏林圻等,1996、1998),在此不再赘述。

2. 欧龙布鲁克微陆块

欧龙布鲁克微陆块西起青海柴达木盆地北缘达肯大坂和马海大坂一带,东至都兰县城以北,东西长约 500km 以上,北以野马山-拉脊山蛇绿岩带与祁连地块相邻,南以沙柳河-鱼卡河榴辉岩带为界与柴达木地块毗邻。微陆块中前寒武纪变质基底由老到新包括古元古代早期德令哈杂岩、古元古代晚期达肯大坂岩群和中元古代万洞沟群。新元古代中—晚期全吉群以角度不整合覆盖于变质基底之上,并与上覆早古生代地层呈平行不整合接触,上泥盆统牦牛山组则以明显的角度不整合覆于早古生代地层之上。

古元古代早期德令哈杂岩以大面积分布的砖红色二长花岗片麻岩为主,斜长角闪岩以规模和形态不等的包体赋存于二长花岗片麻岩之中,二者的接触部位多见有条带状混合岩化现象。从斜长角闪岩和二长花岗片麻岩中测得的单颗粒锆石 U-Pb 年龄分别为(2412 ± 14) Ma 和(2366 ± 10) Ma(陆松年等,2002c)。

达肯大坂岩群系指以石英岩、含石榴子石及夕线石的石英片岩、云母片岩和角闪片岩及少量麻粒岩为主的一套表壳岩组合。它们在空间上与德令哈杂岩共生,在德令哈市黑石山水库附近可见达肯大坂岩群下部的石英岩与德令哈杂岩呈构造接触,原生接触关系已被破坏。该岩群原岩系以碎屑岩为主的火山-沉积岩系,遭受了高角闪岩至麻粒岩相变质作用,根据张建新(2001a)对该岩群基性麻粒岩测定的 Sm-Nd 等时线年龄(1791 ± 37 Ma)资料,原岩的时代推测为古元古代晚期。

万洞沟岩群主要分布于微陆块西部的滩间山至万洞沟一带,按岩性组合可分为两个岩组,下岩组以炭质绢云片岩、钙质片岩为主,向上为炭质大理岩;上岩组以斑点状千枚岩为主,夹大理岩透镜体。前人曾从万洞沟群中获得(1022 ± 64) Ma 的 Rb-Sr 等时线年龄(于凤池等,1994),该年龄反映了万洞沟群的变质时代,因此,将该群归属于中元古代。

德令哈杂岩、达肯大坂岩群和万洞沟群共同构成欧龙布鲁克微陆块中的变质基底,上覆新元古代晚期基本未变质的全吉群地层,二者以角度不整合接触。全吉群的层序表现出近似拗拉槽盆地沉积的特点,并具有沉积盖层性质。从全吉群中下部玄武岩中测得的颗粒锆石 U-Pb 年龄为(738 ± 28) Ma,以此为据,推测全吉群底界年龄约 760 Ma。

全吉群保存于柴达木盆地北缘北带的全吉山及欧龙布鲁克山一带,因在全吉山保存较完整而得名。在全吉山和欧龙布鲁克一带全吉群以角度不整合覆盖在德令哈杂岩的混合片麻岩之上,与含腕足类化石的寒武系呈平行不整合接触。全吉群自下而上可划分为下列岩石组合:底部为陆相砂砾岩层(麻黄沟组),底砾岩中以硅质砾石为主,但仍可见下伏德令哈杂岩混合岩的砾石,表明全吉群系原地沉积而不是异地体。该群下部为发育双向斜层理或平行层理的长石石英砂岩和石英砂岩,为潮坪至滨海碎屑岩(枯柏木组和石英梁组)。砂岩层之上发育厚达数百米富含叠层石的碳酸盐岩层(红藻山组),该层与砂岩层的过渡部位发育 3 层火山熔岩层,熔岩层之间赋存凝灰岩,从而显示火山喷发的旋回特征。在碳酸盐岩层之上出露一套紫色和灰绿色调的杂色砂岩(黑土坡组),而该岩层之上局部出现块状杂砾岩层(红铁沟组),王云山等(1980)将这套杂砾岩层视为冰碛层,并认为与塔里木地台北缘库鲁克塔格群中的汉戈尔乔克冰碛层相当,冰碛层之上平行不整合着含寒武纪腕足类化石的含磷碎屑岩层。

全吉群的岩石序列总体上表现出拗拉槽或被动大陆边缘盆地沉积的特征,由于该群几乎未变质,变形则以脆形断裂为主,在变质、变形特征上与变质基底存在明显的差异,应归于克拉通化后形成的沉积盖层。

全吉群的上部地层中出露一套冰碛岩层,称为红铁沟组。该组分为上、下两段,下段为块状冰碛岩,构成红铁沟组的主体,主要为灰绿色杂砾岩,厚5~75m。杂砾岩中的砾石成分以下伏含叠层石白云岩、含硅质条带白云岩、硅质岩为主,亦有少量石英砂岩及硬砂岩。砾石排列无序、大小混杂、分选极差,小砾石直径在1cm左右,大的为数十厘米,露头上见到最大砾石的直径达2.2m。砾石形态各异,可见冰成岩中常见的熨斗状、马鞍状砾石,砾石的磨光面、压坑、擦痕等屡见不鲜。红铁沟组上段为紫色含砾粉砂岩及纹泥岩,层理自下而上越来越显著,而砾石含量及粒径则逐步递减。在粉砂岩或纹泥岩中发育冰水相中特征的坠石(dropstone),说明上段为冰川退缩期的产物。王云山等(1980)将其上1m左右的含砾白云岩作为冰碛层之上,皱节山组的底部层位,作者实地考察后,认为它应是冰碛层之上的白云岩帽层(cap dolostone),应作为红铁沟组顶部地层。

红藻山组冰碛层与上覆含皱节虫科遗迹化石的碎屑岩层为整合过渡,再向上则为下寒武统小高炉群,二者为平行不整合接触。小高炉群为白色含磷、含砾石英岩状砂岩、深灰色豹皮状含核形石的砂粒屑粉晶白云岩、残余粒屑硅质条带白云岩,有较多棘皮动物碎片、软舌螺、微体蠕形动物化石。

全吉群是欧龙布鲁克微陆块上保存的沉积盖层中的最低层位,对于探讨研究区新元古代地质演化十分重要;同时,该群中红铁沟组冰碛层系区域地层对比中的标志层,是新元古代晚期地层对比、探讨华北与塔里木克拉通联系的关键层位。

3. 柴达木地块

本书所指的柴达木地块的地理范围与前人所称的柴达木地块大致相当,但不包括全吉山-欧龙布鲁克山一带(即欧龙布鲁克微陆块)。该变质体北部为沙柳河-鱼卡河超高压变质带,是一个早古生代的俯冲带。该俯冲带以南主体为金水口岩群,并出露范围不大的冰沟岩群和小庙岩群。地块南部以昆中-昆南蛇绿混杂岩带为界与巴颜喀拉前陆褶皱带相接。已有的资料表明,上述范围内出露的前寒武纪岩层已受到早古生代造山作用的强烈再造,产生变质、变形,并发育同构造期的深成岩浆活动,成为早古生代造山带的一部分。

沙柳河-鱼卡河超高压变质带主要由中元古代鱼卡河岩群和新元古代早期花岗片麻岩所组成,构成柴达木微陆块北部新元古代早期岩浆弧的根部带,但在早古生代遭受了高压、超高压变质作用(杨经绥等,1998;张建新等,2000),因此,它也是一条早古生代构造边界。早古生代形成的榴辉岩在表壳岩系中呈构造布丁、透镜体或似层状体出露,在强烈变形部位如褶皱转折端,榴辉岩与表壳岩一起同时发生褶皱,而赋存于花岗片麻岩中的榴辉岩则多以透镜状包体的形式出现。根据已有的年龄资料分析,榴辉岩相变质时代大致在500~470Ma之间。

出露于东昆仑山北坡的天台山岩群和金水口岩群是柴达木地块东、南缘变质程度最深的表壳岩,达高角闪岩相至麻粒岩相,前人将其时代置于古元古代。天台山岩群由一套麻粒岩相变质的表壳岩和片麻状花岗岩组成,陈能松等(1999)建议将其统称为天台山杂岩。出露于诺木洪的金水口至跃进山一带的金水口岩群由长英质片麻岩、斜长角闪岩和大理岩组成,在片麻岩中混合岩化较强,还出现了紫苏辉石,但金水口岩群的变质仅达高角闪岩-低麻

粒岩相。最新的 SHRIMP U-Pb 测年结果(详见第五章)表明,侵入天台山岩群的花岗(片麻)岩为(1076 ± 30) Ma,天台山群副片麻岩中最年轻的碎屑锆石的时代略大于 1200 Ma,因此,限定天台山岩群原岩形成于中元古代晚期。张建新等(2003a)所报道的金水口董青石花岗岩和表壳岩的 SHRIMP 测年结果同样指示金水口岩群原岩应形成于中元古代。在天台山岩群、金水口岩群和原划“苦海群”中,还发现了多个 800 ~ 900 Ma 的花岗质侵入体,指示本区新元古代热事件甚为强烈。多组 SHRIMP U-Pb 和 Ar-Ar 测年资料证实,从约 450 Ma 至 370 Ma 期间,本区发生了从岩浆侵入、麻粒岩变质、深熔和剥露等一系列地质事件,表明早古生代造山作用及其后的隆升作用对中一新元古代地质体的强烈改造和叠加。

柴达木地块南缘沿昆中和昆南断裂带附近,多处保存了具有蛇绿岩特征的岩石组合,前人大多将它们划分为沿昆中断裂带分布的清水泉蛇绿岩带和沿昆南分布的阿尼玛卿蛇绿岩带。对昆中蛇绿岩带形成的时代多有争议,有中一新元古代(解玉月,1998)、早古生代(高延林等,1988)及石炭纪(姜春发等,1992)等不同认识,对昆南蛇绿岩形成时间则多倾向于二叠纪至三叠纪。最近,朱云海等(1999)根据区域地质调查成果,将东昆仑蛇绿岩带从南往北划分为阿尼玛卿、塔妥、清水泉和乌妥等 4 条蛇绿岩带,并认为它们是不同的时期洋盆封闭的产物。我们认为沿昆中断裂带展布的清水泉蛇绿混杂岩是早古生代的产物,而沿昆南断裂带展布的阿尼玛卿蛇绿岩则形成于古生代末期至中生代早期。分布于昆中与昆南断裂带之间的地质体现已成为一条规模很大的蛇绿混杂岩带,是羌塘地块与柴达木地块于印支期汇聚过程中的产物。该混杂岩带包含了大量前印支期不同沉积环境和构造背景中形成的岩块,包括早古生代蛇绿混杂岩的残留,但根据混杂岩带中出现的最年轻的二叠纪地层,说明二叠系已卷入了造山作用。因此,确定这一条混杂岩带形成于印支期;其南侧的巴颜喀拉前陆褶皱带亦是同构造期的产物。

4. 阿尔金地块

阿尔金地块是指被阿尔金南缘断裂和北缘断裂所夹持的,由不同时代、不同性质岩石组成的构造单元。地块内自北而南包括北缘蛇绿混杂岩带、中阿尔金中一新元古代构造岩片、阿尔金榴辉岩带(高压变质带)和南缘基性—超基性岩带等 4 个次级构造单元,其中阿尔金榴辉岩带是地块内物质组成最为复杂、也最能充分反映本地块特点的构造单元。

阿尔金榴辉岩带主要由前人所称的“阿尔金群”或“阿尔金山岩群”组成,本书重新厘定了“阿尔金山岩群”的涵义,认为它仅是组成杂岩带内分布范围局限的表壳岩系。阿尔金榴辉岩带的组成像柴达木地块北缘沙柳河—鱼卡河超高压变质带一样,具有三元结构特点,即它主要包含了三套岩石组合。分布面积最广的为中一新元古代花岗质片麻岩,约占该带面积的 70% 以上;其次是一套经受高级变质作用的碎屑岩 + 碳酸盐岩,占 25% 左右;第三类岩石包括榴辉岩和可能来源于地幔楔的超基性岩,其分布面积虽小,但其构造意义特别重要。

阿尔金地块内保留了前泥盆纪两次最重要的造山记录,第一次造山记录是大规模中一新元古代花岗片麻岩所构成的岩浆岩带,尽管这些片麻岩的形成时代和岩石类型有一定差异,但主要集中在分布于 950 ~ 850 Ma 的时限内,地球化学组成反映出岛弧—同碰撞的特征。第二次造山记录除北缘早古生代蛇绿混杂岩带外,阿尔金构造杂岩带内榴辉岩相变质也是这一次造山作用早期的地质记录。值得指出的是,组成阿尔金地块的四个次级构造单元彼此为构造并置关系,并不反映它们的原位特征。其中的中阿尔金构造岩片可能原为塔里木地块的组成部分,在后期构造过程中逆冲在阿尔金地块之上,因此应属

异地地体。阿尔金榴辉岩带和蛇绿混杂岩带是本区早古生代多岛-弧-盆系的组成部分,但在后期构造过程中产生差异性隆升,阿尔金榴辉岩带隆升幅度最大,暴露出造山带根部带的特征。

5. 西昆仑地块

西昆仑地块是由库地和康西瓦断裂带所围限的早古生代造山带,其主体为一套高级变质层状岩系,北以库地蛇绿岩带为界与塔里木克拉通相接,南以康西瓦蛇绿岩带与羌塘地块相邻。

西昆仑地块主要由一套高级变质层状岩系组成,具有孔兹岩系富铝、富炭的特点。主要地层单元包括前人划分的布伦阔勒群和桑株塔格群(部分)。布伦阔勒群主要岩石组合为含石榴黑云片(麻)岩、夕线石榴片(麻)岩、含石墨大理岩、含金云母蓝晶石大理岩、中基性高压麻粒岩(团块)等,部分地段夹有少量的斜长角闪岩,可能为基性火山岩或岩脉变质形成。在西昆仑东段康西瓦一带,桑株塔格群在东西延伸达 80km 的范围内是典型的高级变质层状岩,其中含有石榴二辉麻粒岩包体及大量的强变形伟晶岩脉,作者建议将桑株塔格群重新定义为:“分布于西昆仑东段康西瓦两侧、南部与三叠系呈断层接触、北部与喀拉喀什群呈断层接触,并含有基性麻粒岩团块的一套高级层状变质岩。”新的 SHRIMP U-Pb 测年资料表明,其锆石至少有 4 个世代,后期锆石中有极其复杂的包裹体(早期锆石、夕线石等),SHRIMP 测试出现 2200Ma、1030Ma、420 ~ 460Ma、230 ~ 280Ma 等数据,尤其是 420 ~ 460Ma 出现的频率较高,其 $w(\text{Th})/w(\text{U}) < 0.1$,表明早古生代热-构造事件对这套岩系的强烈改造。

第二节 研究区前寒武纪重大地质事件群概述

一、早前寒武纪三期重大地质事件

根据目前的资料,太古宇仅发育于塔里木克拉通内,而周缘造山带中迄今未发现通过颗粒锆石 U-Pb 年龄资料证实的太古宇。在造山带范围内目前获得的最老 U-Pb 年龄数据来自欧龙布鲁克微陆块的德令哈杂岩,同位素年龄介于 2300 ~ 2500Ma 之间。

从塔里木克拉通和欧龙布鲁克微陆块中所获得的早前寒武纪重大地质事件主要包括:

第一,新太古代晚期大规模具初始地壳特征的 TTG 片麻岩的发育,说明新太古代是本区大陆地壳生长的重要时期。然而,在阿克塔什塔格花岗质片麻岩中测得的 3600Ma 和 3000Ma 的 U-Pb 年龄数据,表明还有更古老的岩浆作用。

第二,古元古代 2500 ~ 2300Ma 形成了指示大陆地壳伸展环境中形成的双峰式岩浆活动,包括东阿尔金-敦煌隆起带中的奥长花岗(片麻)岩和基性岩墙群、铁克里克隆起中的阿卡孜钾长花岗片麻岩等。

第三,古元古代晚期热-构造活动表现为深熔作用、变质作用和岩浆侵入事件,其同位素年龄集中在 1800 ~ 2000Ma 左右。

虽然本区由于露头不连续,难以确定古造山带的具体位置,但上述 1800 ~ 2000Ma 的热-构造事件应指示造山作用的存在。

二、新元古代早期造山作用和克拉通化

除上述早前寒武纪三期重大地质事件外,新元古代早期塔里木克拉通化的完成、周缘造山带中汇聚型花岗岩的发育无疑是研究区最重大的地质事件之一。克拉通化作为大陆岩石圈从活动状态转化成稳定状态之间的一个过渡阶段,在塔里木克拉通地史演化过程中是一个具有里程碑性质的重大事件。尽管不同研究者对克拉通化阶段的划分和各阶段的基本特征有不同的认识,但就塔里木地史演化过程而言,它是经历了一次强烈的塔里木造山运动才从相对活动状态逐步转化为相对稳定状态的。这一造山运动留下的地质记录揭示了造山过程的活动轨迹,其具体表现为如下三个方面。

1. 岛弧火山岩

塔里木南缘中元古代晚期板块俯冲-碰撞造山事件表现比较明显,而在西昆仑区仅残留洋内岛弧火山岩残片,于中元古代末期才增生至塔里木南缘。该认识基于以下事实:

1)以埃连卡特群为代表的一套火山-沉积岩系记录了塔里木南缘中元古代弧后裂解构造事件。埃连卡特群下部为双峰式火山岩,上部为复理石、磨拉石建造,地层研究表明,它代表了一个完整的弧后盆地的形成、发展和闭合的演化过程。其中变质双峰式火山岩组合下部以巨厚的变质酸性火山岩(流纹岩)为主,夹少量的基性火山岩;上部为变玄武岩夹少量薄层大理岩,岩石地球化学数据表明,该套双峰式火山岩是产于弧后靠近大陆边缘一侧的裂解环境。

2)埃连卡特群变质火山岩中的角闪石和黑云母进行 ^{40}Ar - ^{39}Ar 测年,获得角闪石和黑云母 Ar-Ar 坪年龄分别为 $(1050.85 \pm 0.93)\text{Ma}$ 和 $(1021 \pm 1.08)\text{Ma}$,这表明塔里木南缘存在格林威尔期造山事件。在埃连卡特群中发现石榴子石角闪岩等反映中高压变质作用的岩石记录,表明盆地的关闭是通过弧后俯冲消减实现的。

3)分布于策勒—于田—民丰一线以南至西昆仑康西瓦断裂以北的中元古代塔西达坂群火山岩主要为一套低变质的安山岩(部分为玄武安山岩),夹有极少量的流纹岩。综合分析火山岩的岩石学、岩石地球化学特征表明,该套火山岩产于洋内岛弧环境,这套火山岩在西昆仑地区极为特殊,推测是在中元古代晚期增生到塔里木南缘的一个洋内弧残片,因此,这一火山岩残片形成一个独立的地质单元(郭坤一等,2002)。

4)塔里木南缘前人所划的青白口系(疑为南华系)碎屑岩以显著的角度不整合叠置于前青白口系之上,且青白口系几乎没有发生变质,与下伏的埃连卡特群角闪岩相变质形成鲜明对照。

2. 蓝片岩变质作用

阿克苏群中的蓝片岩带出露在阿克苏市西约 30km 处的 5km × 20km 露头区内,它的南缘被震旦系苏盖特布拉克组不整合所覆,不整合面之上出露连续而未变质的震旦纪至晚古生代沉积层。阿克苏群主要由变砂质、泥质及镁铁质片岩组成,夹石英片岩及碧玉层。镁铁质片岩的原岩为玄武质熔岩和凝灰岩,枕状熔岩高度变形并且被拉长,在镁铁质片岩中也发现一些粗玄岩脉。泥质片岩主要由细粒石英、长石和云母类矿物组成,多已重结晶为多硅白云母、钠长石,此外尚有少量石墨,微量电气石、磷灰石、锆石、黑硬绿泥石及绿帘石。泥质片岩通常夹有厚度不足 1cm 的石英片岩,表明原岩为石英砂岩与泥质岩的韵律性互层。砂质片岩基本上由石英和长石组成,含少量多硅白云母、绿泥石和黑硬绿泥石。石英岩常以数十厘米

厚的层状体产出砂、泥质片岩中,而碧玉层仅与镁铁质片岩共生。

阿克苏群变质相属于高压绿片岩-蓝片岩过渡区,镁铁质片岩以绿帘石、绿泥石、钠角闪石和阳起石组合为主,同时出现钠长石、石英、榍石和多硅白云母,有时出现黑硬绿泥石和方解石。蓝片岩夹绿片岩,厚为数厘米至数米,大多数蓝片岩中不出现阳起石,但有一些蓝片岩中也发现阳起石和钠角闪石。钠质角闪石绝大多数为青铝闪石,也有一些为钠闪石,少数为蓝闪石(Liou等,1991)。

高振家等(1993)曾从阿克苏群中获得两条全岩 Rb-Sr 等时线年龄,分别是 (962 ± 12) Ma 和 (943 ± 13) Ma,大致代表了阿克苏群的变质时代。中美合作新疆考察组(Liou等,1991)从阿克苏群多硅白云母中曾测得 719Ma 和 720Ma 的 K-Ar 年龄,该年龄值可能反映阿克苏群最后一次抬升过程中的冷却时代或受到 720Ma 左右热事件扰动的年龄,但阿克苏群蓝片岩的变质时代仍未最后确定,需进一步研究。

3. 汇聚型花岗岩

新元古代早期具有岩浆弧或碰撞型特征的花岗质侵入体在研究区内分布较广,特别是在柴达木地块南、北两侧和阿尔金地块的榴辉岩带中尤为发育,形成长达上百千米的岩浆岩带。多组新测定的 SHRIMP 或 TIMS U-Pb 年龄数据表明,它们主要形成于 950Ma 至 850Ma,而地球化学特征显示它们形成于汇聚型边界的构造背景。

三、南华纪裂解事件群

塔里木克拉通边缘保留了较好的南华纪裂解事件的地质记录,其中包括侵入变质基底的 A 型花岗岩和基性岩墙群,南华系下部裂谷盆地和双峰式火山岩的发育等。

1. A 型花岗岩

在塔里木西南的库地附近,发育 A 型片麻状花岗岩,岩石学、地球化学及同位素年代研究表明,花岗岩形成于板内裂解环境,在该岩体中曾获得锆石 SHRIMP 年龄为 (815 ± 57) Ma (张传林等,2003d),表明 A 型花岗岩的侵入时代为南华纪初期。

2. 基性岩墙群

在塔里木克拉通铁克里克隆起带的青白口系中发育大量的辉绿岩墙群,并被南华系不整合超覆。岩石地球化学研究表明,岩石形成于板内环境,具有低 $w(\text{Zr})/w(\text{Ba})$ 、 $w(\text{Nb})/w(\text{Y})$ 和 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{TiO}_2)$ 比值,表明没有受到陆壳混染以及俯冲带流体的交代,而其源区 EMI 型的地幔特征(参见第二章第四节)表明,辉绿岩反映的富集地幔并不是由俯冲板片折沉作用所引起的,而是地幔柱作用的表现,反映了大陆裂解构造背景。

3. 裂谷型火山岩

在塔里木北缘库鲁克塔格群底部贝义西组赋存由玄武岩和流纹岩组成的双峰式火山岩,指示了裂谷型火山岩的存在。在塔里木南缘铁克里克隆起带上的南华系底部,发育了 60~100m 厚的碱性玄武岩,岩层在区域上延伸稳定,地球化学分析结果,其 SiO_2 含量为 48.94%~52.53%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 为 2.87%~4.16%, $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 为 4.30~5.74,为板内亚碱性玄武岩。岩石稀土元素总量稳定, $w(\Sigma\text{REE})$ 为 $(77.84 \sim 80.29) \times 10^{-6}$, δEu 为 0.96~1.20,基本没有 Eu 异常。 $[w(\text{La})/w(\text{Yb})]_N$ 为 5.71~6.12,轻、重稀土元素有轻度分异。在微量元素中,以显著富集大离子元素为特征,高场强元素 Zr、Hf、Sm 相对 N-MORB 有微弱富集,Y、Yb、Sc、Cr 有微弱亏损。岩石的 $w(\text{Zr})/w(\text{Nb})$ 值为 9.4~9.8,低于原