

张遵忠 顾连兴 等著

东天山岩浆活动与 碰撞造山过程和成矿作用

Magmatism in Eastern Tianshan
Mountains and Its Relation to
Collisional Orogeny and Metallogenesis

东天山岩浆活动与 碰撞造山过程和成矿作用

Magmatism in Eastern Tianshan
Mountains and Its Relation to
Collisional Orogeny and Metallogenesis

张遵忠 顾连兴 吴昌志 唐俊华 著
汪传胜 胡建 苟晓琴

图书在版编目(CIP)数据

东天山岩浆活动与碰撞造山过程和成矿作用 / 张遵忠, 顾连兴等著. —南京: 南京大学出版社, 2010. 12

ISBN 978-7-305-08035-7

I. ①东… II. ①张… ②顾… III. ①天山—岩浆作用—研究 ②天山—造山运动—研究 ③天山—成矿作用—研究

IV. ①P588.11 ②P542 ③P611

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 008375 号

内容简介

本专著基于板块构造学、岩石学和矿床学的最新理论,对东天山地区岩浆活动与碰撞造山过程和成矿作用的关系做了深入研究,其内容丰富、观点新颖、资料翔实,可供从事岩石学和矿床学的科研人员、地质勘查人员及地质专业师生参考。

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出版人 左 健

书 名 东天山岩浆活动与碰撞造山过程和成矿作用

著 者 张遵忠 顾连兴等

责任编辑 王玉华 编辑热线 025-83686308

照 排 南京玄武湖印刷照排中心

印 刷 江苏凤凰通达印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 21 字数 523 千

版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-08035-7

定 价 80.00 元

发行热线 025-83594756

电子邮箱 Press@NjupCo.com

Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购图书销售部门联系调换

前 言

本专著所指的东天山主要是东经 $88^{\circ}\sim 96^{\circ}$ 、北纬 $41^{\circ}20'\sim 43^{\circ}30'$ 区域。从 1986 年开始,本课题组顾连兴参加了胡受奚教授主持的国家 305 项目《东天山花岗岩及其含矿性研究》(Ⅲ₆)课题工作,此后又在Ⅲ₆ 课题首次发现镜儿泉一带镁铁-超镁铁岩和铜镍矿化的基础上,由国家自然科学基金资助开展了黄山-镜儿泉一带产有铜镍矿的镁铁-超镁铁岩的系统研究。这期间,顾连兴等发表了一系列学术论文,但是由于当时测试条件和研究人员认识水平所限,其成果有许多不足之处。从 1996 年起,本课题组又在国家 305 项目、国家 973 项目、国家自然科学基金项目以及国土资源部“百人计划”项目的资助下,对东天山岩浆活动及其碰撞造山过程和成矿作用的关系做了新一轮研究,取得了新的成果。本专著主要对这些新成果进行总结和理论上的深化。

本专著是课题组全体人员集体劳动的结晶,共分八章。各章节执笔人和研究工作的主要完成人如下:

第一章 顾连兴和张遵忠

第二章 顾连兴、于春水和胡建

第三章 3.1 节 唐俊华和顾连兴;3.2 节 吴昌志、张遵忠和唐俊华

第四章 汪传胜、张遵忠、吴昌志和顾连兴

第五章 唐俊华、顾连兴、张遵忠和吴昌志

第六章 6.1 节 张遵忠和顾连兴;6.2 节 顾连兴、张遵忠、吴昌志和苟晓琴

第七章 顾连兴、张遵忠和吴昌志

第八章 顾连兴、张遵忠、吴昌志和胡建

各章节初稿完成后由顾连兴、张遵忠和胡建做了修改和统编。参加本专著研

究工作的人员还有严正富、杨浩、郑远川、廖静娟、郭继春、黄建华、诸建林、褚强、于春水、王金珠、刘彦东、周顺之、武耀成、王银喜、肖娥和王艳芬等。

本专著主要是作者在南京大学科研工作所取得的成果,但其编写成书则是张遵忠、顾连兴、唐俊华和汪传胜在江苏省有色金属华东地质勘查局任职期间完成。作者衷心感谢有色地勘局领导,尤其是邵毅局长对本专著的关怀和编写工作的支持,感谢国家自然科学基金委、国家 305 项目办公室以及国土资源部科技与国际合作司等单位多年来给予的研究经费资助和工作指导,感谢南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室、中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室、西北大学大陆动力学国家重点实验室和中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室为本课题研究所做的测试工作和测试基金资助,感谢新疆有关地质勘查部门,尤其是新疆地质矿产局第六地质大队和新疆有色地质勘查局 704 队给予本课题野外工作的大力支持。本书作者还要特别感谢著名矿床学家和岩石学家胡受奚教授,如果没有胡受奚教授带领我们步入新疆花岗岩及其成矿关系研究领域并慈爱地给予指导,我们的成果难以获得,本专著也就无法诞生。

目 录

第 1 章 东天山大地构造基本格架	1
1.1 大地构造轮廓	1
1.2 大地构造单元分述	3
1.3 东天山大地构造演化	12
第 2 章 古生代大陆裂谷岩浆活动	14
2.1 博格达裂谷盆地火山岩	14
2.2 博格达碰撞后挤压-伸展转折阶段侵入岩	25
2.3 博格达碰撞后挤压-伸展转折阶段火山岩	33
2.4 小结和讨论	41
第 3 章 古生代碰撞前岛弧岩浆活动	42
3.1 吐-哈盆地南缘卡拉塔格组火山岩	42
3.2 觉罗塔格红云滩花岗岩	60
3.3 小结和讨论	68
第 4 章 古生代碰撞后挤压-伸展转折阶段岩浆活动	69
4.1 八大石和小铺东花岗岩杂岩体	69
4.2 伊吾花岗岩杂岩体	82
4.3 大加山碱性花岗岩杂岩体	96
4.4 奥莫尔塔格石英正长岩-碱性花岗岩组合	105
4.5 小结和讨论	117
第 5 章 古生代碰撞后伸展阶段岩浆活动	118
5.1 黄山-镜儿泉过铝花岗岩	118
5.2 咸水泉片麻状花岗岩	142
5.3 小结和讨论	159
第 6 章 中生代板内岩浆活动	161
6.1 尾亚镁铁质-花岗质杂岩体	161
6.2 白石头泉含黄玉天河石花岗岩	220

6.3	小结和讨论	251
第7章	东天山碰撞造山不同阶段岩浆活动与成矿作用	253
7.1	陆内裂谷和断裂拗陷岩浆活动与成矿作用	253
7.2	洋底蛇绿岩套与成矿作用	260
7.3	岛弧岩浆活动与成矿作用	260
7.4	碰撞后岩浆活动与成矿作用	265
7.5	板内岩浆活动与成矿作用	269
第8章	东天山岩浆活动与成矿作用若干问题	272
8.1	内侵——花岗岩形成及其成矿的重要机制	272
8.2	片麻状花岗岩的成因和形成环境	277
8.3	浅层次韧性剪切带成因及其成矿作用	279
8.4	碰撞后亏损地幔的锶钕同位素继承性及成矿差异性	281
8.5	俯冲撕裂型裂谷及其成矿作用	283
8.6	印支期花岗岩及其成矿作用——中亚-特提斯构造体制转换	285
8.7	东天山从碰撞到板内不同阶段花岗岩特征及其成矿作用	287
	参考文献	292

第 1 章 东天山大地构造基本格架

近年来,对东天山大地构造前人已有大量研究成果(胡受奚等,1990;肖序常等,1992;马瑞士等,1993;周济元等,1994;何国琦等,1994;Li JY et al.,2003;Xiao WJ et al.,2004)。本章将在前人成果基础上,结合我们的研究工作,对本文所涉及的几个大地构造单元特征作简要叙述。

1.1 大地构造轮廓

东天山主要由西伯利亚、哈萨克斯坦和塔里木三大板块在晚古生代碰撞和拼合而成,其缝合带如今表现为克拉麦里-塔克扎勒-大黑山和阿奇克库都克-沙泉子两条深断裂(图 1-1)。研究区主要包括准噶尔和吐哈(吐鲁番-哈密)两个前寒武纪地块、塔里木克拉通、博格达裂谷、哈尔里克岛弧、大南湖-头苏泉岛弧、觉罗塔格岛弧、康古尔弧后盆地、中天山岛弧和库米什-红柳河边缘海等古生代构造-岩浆带(图 1-1 和图 1-2)。

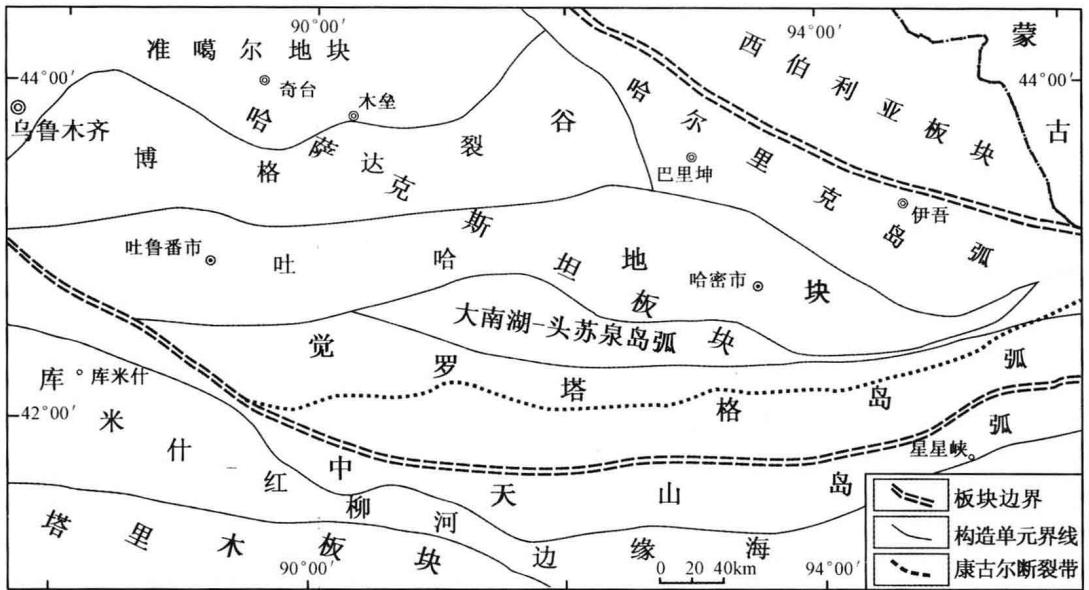


图 1-1 东天山大地构造格架示意图

对于克拉麦里-塔克扎勒-大黑山超镁铁岩带是蛇绿岩带的属性,目前已无异议(马瑞士等,1997;何国琦等,1994;Xiao WJ et al.,2004)。这个带代表着西伯利亚与哈萨克斯坦板块之间的晚古生代俯冲洋壳的残片(何国琦等,1994)。胡霭琴等(1997)认为,克拉麦里蛇绿岩的形成时代应是早泥盆世以前。新近测得的与阿尔曼太、洪古勒楞一致的 690 Ma 的年龄表明,该蛇绿岩可能早在震旦纪就已形成。这些蛇绿岩所代表的克拉麦里洋(马瑞士等,1993)于石炭纪末俯冲和消亡,造成了西伯利亚板块和哈萨克斯坦板块的最终拼合。

阿奇克库都克-沙泉子断裂带是一个重要的板块拼合带(何国琦等,1994;Shu LS et al.,

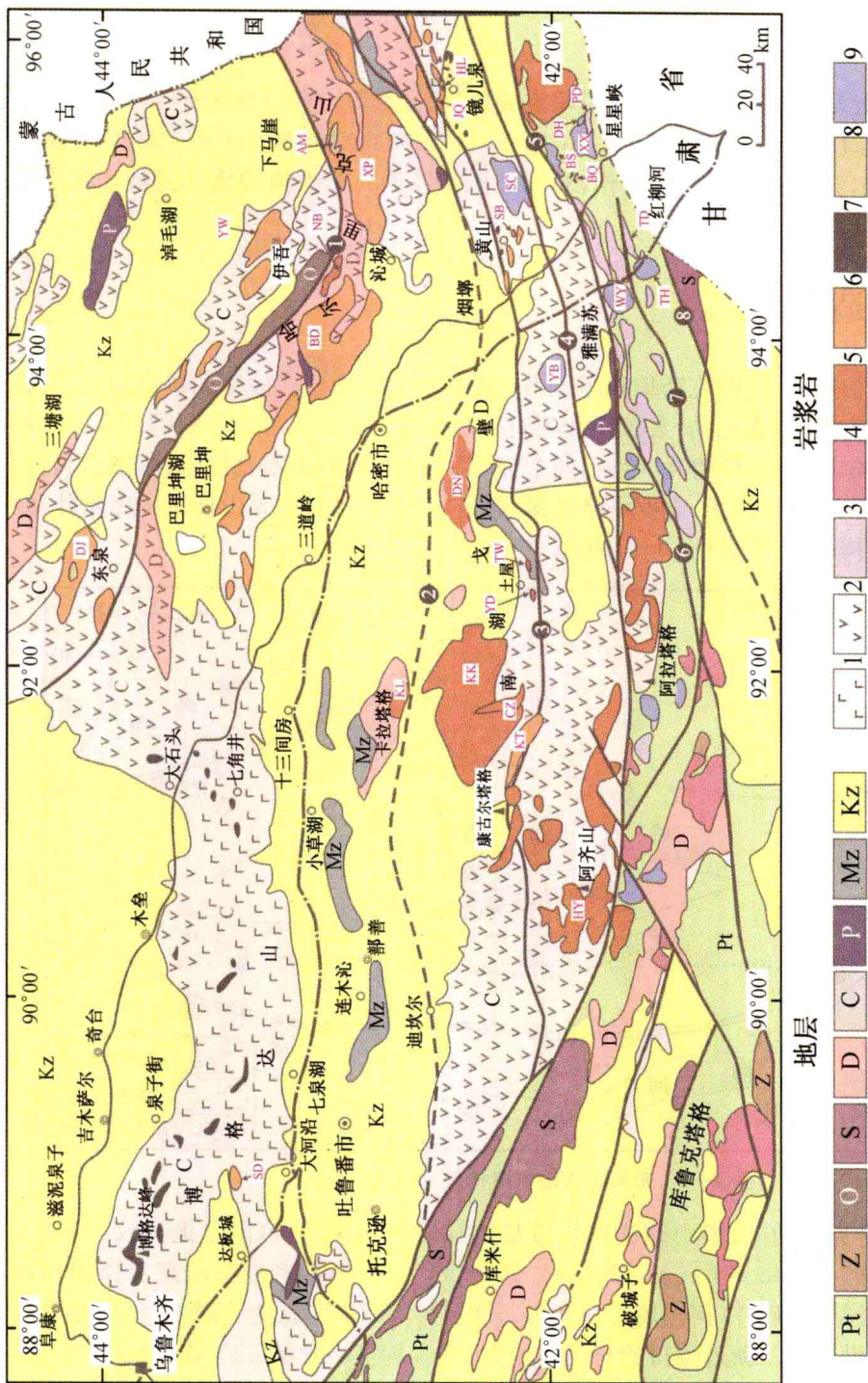


图 1-2 东天山岩浆岩分布图

地层: Pt-元古界; Z-震旦系; O-奥陶系; S-志留系; D-泥盆系; C-石炭系; P-二叠系; Mz-中生界; Kz-新生界。岩浆岩: 1-基性和酸性火山岩; 2-中-酸性和少量基性火山岩; 3-晋宁期和澄江期片麻状花岗岩; 4-加里东期花岗岩; 5-海西早、中期石英闪长岩、黑云母花岗岩; 6-海西晚期花岗岩闪长岩、黑云母花岗岩、二云母花岗岩和白云母花岗岩; 7-海西晚期镁铁-超镁铁岩; 8-海西晚期碱性花岗岩; 9-印支期花岗岩和天河石花岗岩; 区域断裂: 1-域断裂; 2-迪坎尔-沁城断裂; 3-康古尔塔格-黄山-镜儿泉断裂; 4-雅满苏断裂; 5-阿齐克库都克-沙泉子断裂; 6-罗布泊-尾亚断裂; 7-塞里克沙依-星星峡断裂; 8-红柳河断裂。岩体名称: AM-奥莫尔塔格; BD-八大石; BQ-白石泉; BS-白石头泉; DH-大红山; DJ-大加山; DN-大南湖; HY-红云滩; JQ-镜儿泉; KK-克孜尔卡拉萨依; KT-克孜尔塔格; PD-平顶山; SC-双岔沟; SD-上大河沿; TH-天湖; TD-天湖东; WY-尾亚; XX-星星峡; YW-伊吾北; YB-雅满苏北。

2004),可能代表着一个古生代的古天山洋(即觉罗塔格洋,顾连兴等,2001a)。该洋壳早古生代可能同时向南、北双向俯冲,而晚古生代则只是向北单向俯冲,至晚古生代末闭合(顾连兴等,2001a)。至晚石炭-早二叠世,该断裂带又经历了强烈的右旋走滑韧性剪切(舒良树等,1998)。在这条带上所确定的尾亚蛇绿岩(Guo J et al., 2002)、米什沟-干沟蛇绿混杂岩(郭继春等,1992;车自成等,1994),以及乌斯特沟和干沟的高压矿物青铝闪石和多硅白云母(崔可锐等,1997),均是古生代俯冲-碰撞的产物。车自成等(1994)还报道了米什沟蛇绿岩中辉长岩 Rb-Sr 等时线年龄为 468 Ma,许多作者把它作为此蛇绿岩属于加里东期的证据。但是,因为在变质和构造侵位过程中 Rb 是活动性极强的元素,Rb 的散失会造成 Rb-Sr 年龄变老,因此不能排斥该蛇绿岩代表海西期洋壳的可能,这一点值得进一步研究。

1.2 大地构造单元分述

1.2.1 塔里木克拉通

关于塔里木盆地(图 1-1 和图 1-2)基底为早前寒武纪克拉通的性质,以及该克拉通对天山造山带构造演化的重要影响,目前的认识已趋于一致(胡受奚等,1990;马瑞士等,1993;何国琦等,1994)。代表太古代陆核的变质杂岩零星出露于库鲁克塔格西部地区,岩性主要为混合片麻岩、花岗片麻岩和麻粒岩,其上不整合覆盖着下元古界海相碎屑岩和碳酸盐建造(陈哲夫和梁云海,1981)。早元古代末的兴地(吕梁)运动后,塔里木地块的克拉通化已经基本完成。长城纪和蓟县纪在塔里木大陆北缘形成了由星星峡群、卡瓦布拉克群为代表的优地槽沉积,以及以波瓦姆群和爱尔基干群为代表的冒地槽沉积。这些沉积物表明,中元古时期塔里木板块北缘存在着一个沟-弧-盆体系(胡受奚等,1990)。晋宁运动(塔里木运动)使岛弧与大陆碰撞,弧后盆地闭合,形成了一个中元古造山带。此造山运动以星星峡平顶山眼球状花岗岩(Rb-Sr 等时线年龄 927 ± 5 Ma,张遵忠等,2005)为代表。青白口纪在塔里木板块北缘可能又发生过一次构造-热事件,该事件使震旦系下部贝义西组砂砾岩、板岩呈高角度不整合于青白口系帕尔岗塔格群之上(陈哲夫和梁云海,1981)。

震旦纪开始应为塔里木克拉通的盖层沉积。下震旦统在库鲁克塔格一带发育大量冰碛层,其上的砂岩和灰岩地层与华南陡山沱期和灯影期相当。下寒武统西大山组底砾岩平行不整合覆于上震旦统冰碛纹泥层之上。早寒武世的沉积物以硅质含磷建造(陈哲夫和梁云海,1981)为主。这些特征与扬子克拉通及其周边地区相似,而与华北克拉通大相径庭,这表明塔里木板块在前寒武纪和早古生代与扬子板块具有亲缘关系,两者可能均为冈瓦纳大陆的一部分。

塔里木克拉通与库鲁克塔格中-新元古代造山带的构造交接部位有一系列近东-西走向的深断裂,其主干断裂为兴地-库尔勒断裂。该断裂全长逾 500 km。邓兴梁等(2008)将该断裂从前南华纪至古生代构造-岩浆活动分为四期。实际上,该断裂作为库鲁克塔格中元古代造山带与塔里木克拉通的界线,很可能从古元古代末就已活动。中元古代末,库鲁克塔格岛弧与塔里木克拉通发生碰撞和拼贴之后,于新元古时期受 Rodinia 裂解事件的影响,兴地断裂带处于活动的顶峰,发生了大规模的岩浆活动,形成一些典型的裂谷岩浆岩和有关矿床,如镁铁-超镁铁-碳酸岩组合和有关的铜镍、磷灰石、蛭石矿床,以及与碱性花岗岩有关的铌钽矿床。这些岩

浆活动产物具有典型的大陆裂谷特征,因此本课题组(胡受奚等,1990)^①将该断裂带称为塔北裂谷。在加里东时期,沿阿奇克库都克断裂发生的天山洋壳向南俯冲,使中天山与库鲁克塔格分离,其间产生了北山加里东弧后盆地(胡受奚等,1990;马瑞士等,1993)。这时,兴地断裂势必也会受到影响。至二叠纪,塔北裂谷又显著活动;形成广泛分布的辉绿岩墙(姜常义等,2005)。刘玉琳等(1999)测得一条辉绿岩墙的 K-Ar 等时线年龄为 287 ± 13 Ma,与之伴生的一些花岗岩类的年龄也为二叠纪(Chen CM et al.,1999)。最近,姜常义等(2004)还获得了巴楚-阿克苏一带角砾云母橄榄岩的 Ar-Ar 法年龄 252.7 Ma。另外,在尉犁县以东中途站一带的兴地-库尔勒断裂带中也发现有角砾云母橄榄岩(芮行健等,2002)。直至中生代,塔里木盆地一直受到这条古裂谷的显著影响。

1.2.2 准噶尔和吐哈地块

准噶尔和吐哈盆地(图 1-1 和图 1-2)被晚古生代和中-新生代地层大面积覆盖,所以其下是否存在前寒武系基底,这是长期以来热烈争论的议题。

对于准噶尔盆地的基底目前主要有两种认识:一种认为是残留的洋壳(李春昱,1981;江远达,1984;周玉泉,1994;Carroll et al.,1990);另一种认为是前寒武纪的古老陆块(任纪舜等,1980;吴庆福,1986;竺国强等,1997;韩宝福等,1999;李锦轶和肖序常,1999;Xu XW and Ma TL,2004;李亚萍等,2007)。我们倾向于接受后一种认识。

认为准噶尔基底是洋壳物质的最重要的证据是盆地深部的重、磁正异常和地震波高速带,但我们认为,这种带状航磁异常有可能由侵入在前寒纪基底中的辉长质杂岩体所引起。在稳定的克拉通地区,长度数百公里的岩墙和面积达数万平方公里的辉长质杂岩体在世界上不乏实例(Mitchell and Garson,1981;Sawkins,1990)。即使是一些较小规模的岩体,如果数量较多、距离较近,在一定的深度下也可在地表引起相当规模的相对连续的磁异常。此外,作者等并不赞成有些研究者把这种重、磁和地震波速异常带解释为下地壳中作为底侵产物的基性-超基性岩体,因为下地壳高于居里点的温度将使侵入体无磁异常显示。此外,Li JY et al. (2003) 还认为,如果准噶尔的基底是洋壳,该区不会有目前这样大的地壳厚度。

近年来已逐渐一致地认识到,吐哈盆地具有前寒武系的基底(杨浩和顾连兴,1989;肖序常等,1992)。马瑞士等(1997)认为该基底来自塔里木-扬子大陆的裂离,而在本书作者看来,吐哈与准噶尔盆地的基底原是一个整体,同属于哈萨克斯坦板块,后因石炭纪博格达裂谷的出现而分离(顾连兴等,2001a)。

1.2.3 博格达石炭纪裂谷

博格达构造-岩浆带(图 1-1 和图 1-2)地层主要为一套早-中石炭世海相火山岩和晚石炭世陆相火山岩。二叠纪陆相碎屑岩系在该带东段与石炭纪呈不整合接触,而在西段则呈假整合(陈哲夫和梁云海,1985;顾连兴等,2001a)。

晚古生代时期的大地构造环境,迄今仍有争议。一种意见认为天池等地的中石炭统火山岩是以安山岩类为主,因而代表了岛弧环境(马瑞士等,1993);另一种意见根据七角井等地存

^① 胡受奚,顾连兴,严正富,周顺之,武耀诚,郭继春,杨浩. 1990. 东天山花岗岩及其含矿性研究. 加速查明新疆矿产资源的地质地球物理地球化学综合研究 75-56-03-05(Ⅲ6)专题报告,新疆维吾尔自治区人民政府国家三〇五项目办公室,1-175

在双峰式火山岩,认为该带是一个晚古生代的裂谷(周济元等,1994;何国琦等,1994)。因此,对该带火山岩的深入研究,是阐明其古构造环境的关键。1996~2000年以来,作者等以七角井和天池剖面为典型对博格达构造-岩浆带的早-中石炭纪火山岩进行深入研究后得出结论,该带的下、中石炭统海相火山岩均是以玄武岩和流纹岩为主的双峰式火山岩,几乎不存在典型的安山岩,因而代表着裂谷强烈扩张阶段的产物(顾连兴等,2000)。七角井等地火山岩的双峰式特征已被夏林圪等随后的研究工作所证实(Xia LQ et al.,2003,2004)。

根据早-中石炭世博格达裂谷东、西两段演化特征的差异,作者等认为该裂谷在成因上与古亚洲洋壳向南西发生斜向俯冲过程中对哈萨克斯坦板块东南尖角发生撕裂作用有关(图1-3),因此将之称为俯冲撕裂型裂谷(顾连兴等,2001a)。由于撕裂作用首先从博格达裂谷东端开始,东端所受的应力也最强,所以裂谷东段裂陷较早、裂谷沉降较深,造山过程较早发生,并且二叠系与石炭系呈角度不整合,显示“突变”造山特征,而西段则裂陷较晚、裂谷沉降较浅,造山过程较晚发生,并且二叠系与石炭系呈假整合,显示“渐变”造山特征(顾连兴等,2001a)。

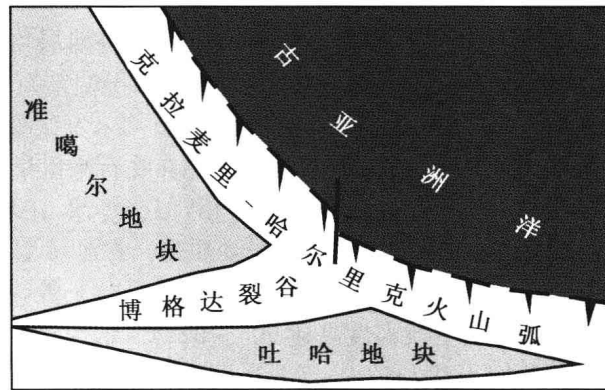


图1-3 博格达俯冲撕裂型裂谷形成机制示意图

箭头表示洋壳俯冲方向,据顾连兴等(2001a)

博格达地区晚石炭世大石头群主要为陆相火山岩,并夹少量浅海相石灰岩地层,王银喜等(2007)测得其中流纹岩的 Rb-Sr 等时线年龄 306.7 ± 2.3 Ma,这表明该裂谷可能在中石炭世末或晚石炭世早期就已经闭合。

1.2.4 哈尔里克早、晚古生代复合岛弧

哈尔里克岛弧包括巴里坤塔格、哈尔里克山和伊吾北山一带的火山-沉积岩系和侵入岩(图1-1和图1-2),其北以克拉麦里-塔克札勒-大黑山蛇绿岩为界与西伯利亚板块相接。据周济元等(1994)的研究,该区地层主要为泥盆-石炭纪一套从基性、中性到酸性的连续分异的钙碱性海相火山岩,表明该区在晚古生代处于岛弧环境,为北侧的克拉麦里洋向哈萨克斯坦板块东南缘俯冲的产物。

在伊吾盐池地区,原定为奥陶-志留纪的荒草坡群总厚度 3 km。其剖面的下部主要为泥质碳酸盐和钙质砂岩、钙质泥岩组成的类复理石韵律沉积,上部主要为含砾岩屑砂岩及含硅质岩和火山岩砾石的砾岩、粉砂岩、泥岩等,为浅海-滨海相和河流-湖泊相沉积。1986年,三〇五项目“东天山花岗岩及其含矿性研究”Ⅲ6课题组严正富在这套岩系中发现了腕足类化石。嗣后,Ⅲ8课题组刘冠邦等的进一步研究又发现了几种腕足类化石(马瑞士等,1993),表明这

套地层中可能存在中泥盆世到中石炭世的地层,其形成环境可能相当于外弧和外弧盆地。但是,近年来的区调工作在口门子一带原划分为下泥盆统大南湖组(D1d)的一套主要为玄武岩、安山岩并夹少量流纹岩和薄层灰岩的地层中找到了奥陶纪正形贝类化石(郭华春等,2006)。同时,曹福根等(2006)对哈尔里克山南坡小铺北东的塔水河一带花岗质岩体作了锆石 SHRIMP U-Pb 法测定,获得其中钾长花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩各 8 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄分别为 $462\pm 9\text{ Ma}$ 、 $447\pm 11\text{ Ma}$ 和 $448\pm 7\text{ Ma}$,认为这一带的几个岩体是中-晚奥陶世同源岩浆侵入的产物,并在此基础上进一步推定认为这几个岩体所侵入的由灰绿色火山熔岩、火山碎屑岩夹少量大理岩组成的地层,其时代不晚于奥陶纪,代表了早古生代岛弧岩系。这些新的成果表明,哈尔里克山在早古生代时期就已经是吐哈地块东北边缘的一个岛弧。这些早古生代地体后来又卷入了晚古生代的俯冲-碰撞造山过程。所以,哈尔里克应是一个早、晚古生代复合岛弧。

在麦钦乌拉山地区,中上石炭统海陆交互相沉积层不整合于下石炭统绿片岩之上(马瑞士等,1993),表明古天山洋盆在麦钦乌拉地区于早石炭世晚期至中石炭世就已开始闭合。然而在哈尔里克山区,晚古生代地层从泥盆纪一直延续到早、中石炭世,局部还有晚石炭统,所以哈尔里克地区的碰撞闭合应该发生在中石炭世末以后。由于这些地层均被下二叠统不整合覆盖,同时这些地层已强烈变形,产状陡立,而 LA-ICP-MS 法测得的锆石 U-Pb 年龄为 $298\pm 2\text{ Ma}$ 的八大石等岩体(汪传胜等,2009b)及其有关的矿化岩石均未发生变形,因此,哈尔里克地区碰撞和变形作用应发生在 $298\pm 2\text{ Ma}$ 之前,最可能发生在晚石炭世早-中期。

在哈尔里克山的变质作用一般不超过低级绿片岩相,但头苏泉-沁城-芨芨台-南山口-七道沟一带存在一条韧性剪切带,这条带同时又是一条变质带。在沁城至小铺一带,变质作用达到高级角闪岩相,出现红柱石、十字石和硅线石等变质矿物(马瑞士等,1993)。赵明等(1997)用矿物平衡温度计算得出这一带的变质温度高达 $905\sim 922^\circ\text{C}$,认为该变质带的成因与晚石炭世 A 型俯冲有关,而我们则认为,此带与黄山-镜儿泉地区(顾连兴等,2006)一样,都是碰撞后伸展环境下幔源岩浆内侵的产物。这一点将在本书有关哈尔里克侵入岩的章节进一步加以论述。

1.2.5 大南湖-头苏泉泥盆纪岛弧

大南湖-头苏泉岛弧(图 1-1 和图 1-2)以卡拉塔格和大南湖一带的早泥盆世-早石炭世地层为代表(周济元等,1994;秦克章等,2002;Xiao WJ et al.,2004),其南侧以大草滩断裂为界与觉罗塔格石炭纪岛弧毗邻(刘德权等,2003)。此岛弧向东可能一直延伸到头苏泉。

卡拉塔格的泥盆纪地层包括下统卡拉塔格组中-酸性火山岩以及大南湖组碎屑岩、火山碎屑岩、中基性熔岩和大理岩。大南湖组中可见大量海百合茎和珊瑚化石。这套地层被二叠纪底砾岩不整合覆盖。最近,本课题组(唐俊华等,2006)对卡拉塔格组火山岩作了 5.5 km 长的实测剖面研究。系统取样、薄片鉴定和岩石化学分析表明,该剖面上的火山岩属于海相钠质火山岩系,其中钠质安山岩约占 80%,钠质英安岩和流纹岩各占 10%。这样的比例说明,卡拉塔格组火山岩是岛弧环境下的产物,可能代表了泥盆纪时天山洋向哈萨克斯坦板块的俯冲。土屋一带的早石炭世企鹅山组主要为玄武岩、安山岩、安山质角砾熔岩和火山角砾岩(张连昌等,2006)。

近年来,有人提出在吐哈地块南缘的卡拉塔格地区存在着奥陶-志留纪的岛弧火山岩,但目前尚无可靠的化石或同位素年龄依据,因此尚待进一步研究(李锦轶等,2006)。

大南湖-头苏泉岛弧泥盆纪侵入活动以大南湖、土屋、延东等岩体为代表。秦克章等(2002)测得土屋-延东斜长花岗斑岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 356 ± 8 Ma。陈富文等(2005)测得土屋和延东铜矿区矿化斜长花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为 334 ± 3 Ma 和 333 ± 4 Ma。李文明等(2002)测得大南湖南复式岩体中部细粒二长花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄为 370 ± 5 Ma。本课题组(唐俊华等,2008)对镜儿泉北东咸水泉受到变质和糜棱岩化,之后又受到流体改造的片麻状花岗闪长岩作了研究,并用 LA-ICP-MS U-Pb 法对其中的具有增生边的锆石作了测定,获得其核部的加权年龄 367.9 ± 5.4 Ma。这一泥盆纪年龄代表了花岗闪长岩原岩的年龄。李亚萍等(2006)测得镜儿泉北东四顶黑山糜棱岩化花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 386 ± 5 Ma。因此,镜儿泉地区的地层和岩石有一部份可能属于大南湖-头苏泉岛弧。

1.2.6 觉罗塔格石炭纪岛弧

觉罗塔格火山-岩浆带(图 1-1 和图 1-2)位于大南湖-头苏泉泥盆纪岛弧与中天山地块之间,其南、北边界分别为阿奇克库都克和雅满苏断裂。关于这条带的构造属性,目前主要有被动陆缘或裂谷(何国琦等,1994;李锦轶等,2002;Xia LQ et al.,2004)和岩浆弧(周济元等,1994;马瑞士等,1997;Zhu WB et al.,2004;Xiao WJ et al.,2004)两种认识。宋治杰和魏士娥(1982)发表了 40 个早-中石炭纪火山岩岩石化学数据,认为这些岩石形成于岛弧环境。周济元等(1994)对下石炭统小热子组 and 上石炭统沙泉子组火山岩作了详细的岩石学和地球化学研究,认为觉罗塔格石炭纪火山岩主要是岛弧或活动大陆边缘环境下形成的、连续分异的钙碱性火山岩。历小钧和李新辉(1999)研究了百灵山铁矿区的中石炭统火山岩,认为这是岛弧环境下形成的钙碱性火山岩。左国朝(2005)等总结了区调工作结果,论证了阿奇山一带的火山岩主要是钙碱性的安山岩、玄武岩及少量英安岩、流纹岩。

这条带上的侵入岩也有一些石炭纪年龄数据。王碧香等(1989)报道过阿奇山铁岭花岗岩体的 Rb-Sr 等时线年龄为 315.7 Ma。宋彪等(2002)测得克孜尔卡拉萨依岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 357.3 ± 6.2 Ma,为早石炭纪初期产物。李文铅(2006)等测得彩中岩体黑云母二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 316 ± 4 Ma。最近,本课题组(吴昌志等,2006)对红云滩花岗岩体作了详细地球化学研究,并报道了在塔斯马尼亚大学测得的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 328.5 ± 9.3 Ma,认为这是一个在晚石炭世岛弧环境下侵位的钙碱性花岗岩体。

许多研究者认为,与觉罗塔格岛弧岩浆活动有关的俯冲带位于此带北侧,如康古尔断裂带附近(周济元等,1994;侯广顺,2006),然而以我们的认识,阿奇克库都克-沙泉子断裂代表了石炭纪洋(古天山洋)向北部的俯冲带,也就是说,此大洋指向哈萨克斯坦板块的俯冲带已从泥盆纪的大草滩断裂附近后撤至阿奇克库都克-沙泉子断裂一带,其向北俯冲形成了觉罗塔格岛弧,而中天山此时(至少在加里东期以后)则已从早古生代主动陆缘转变成了被动陆缘(顾连兴等,2001a)。这一认识的主要依据是:(1) 新近的研究表明,阿奇克库都克-沙泉子断裂是石炭纪时期安加拉植物群在新疆分布的最南界线(刘冠邦,2004),这可能与古天山洋的阻隔有关;(2) 石炭纪的火山-岩浆热液成矿作用在觉罗塔格南缘形成了红云滩、阿奇山、百灵山、铁岭、雅满苏和黑峰山等火山沉积或火山热液铁矿床,而在其北侧形成了土屋-延东斑岩铜矿、赤湖斑岩钼矿和一些火山热液铜金矿床,这样的矿床分布规律与岩浆弧的成矿作用极性(Sillitoe,1972;Mitchell and Garson,1981)相一致;(3) 中天山石炭纪的侵入岩虽在沙垄以西已有文献零星报道(王德贵,2006;孙桂华等,2006),但其分布的广泛性非觉罗塔格南缘可比。从这一认

识出发,作者赞成 Xiao WJ et al. (2004)的观点,古天山洋的闭合可能代表了哈萨克斯坦板块与塔里木板块的最终缝合。

1.2.7 康古尔石炭纪弧后盆地

在康古尔断裂和雅满苏-苦水断裂之间(图 1-1 和图 1-2)发育了一套石炭纪海相火山-沉积岩系,即干墩组和梧桐窝子组。早石炭统干墩组为一套深灰-灰黑色浅变质含碳质硅质岩、砂岩和粉砂岩,夹砂质灰岩、生物碎屑灰岩及少量细碧岩,含不等量的火山灰。中石炭统梧桐窝子组为一套深灰-灰绿色海相喷发产物,主要岩性为细碧岩、石英角斑岩及同质凝灰岩和少量凝灰质砂岩。梧桐窝子组在地表普遍呈草绿色,这是因为细碧岩中常含大量绿帘石之故。周守运(2005)认为,梧桐窝子组与干墩组为同时异相沉积,但在黄山地区,NEE 走向的干墩组主要分布于黄山-黄山东一带及其以南地区,而同样 NEE 走向的干墩组则分布于其北侧,故我们认为两者应为不同时代的产物。目前比较一致地认为,土屋-延东一带的企鹅山群为梧桐窝子组的等同物(郭召杰和马瑞士,1990;刘德权等,2003;周守运,2005)。

关于梧桐窝子组(企鹅山群)的时代,虽然有些学者认为属于泥盆纪(芮宗瑶等,2002;秦克章等,2002),但刘德权等测得企鹅山群火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果为 334.6 Ma~320 Ma。李向民等(2004)获得了企鹅山群辉石玄武岩和英安岩锆石 U-Pb 年龄分别为 322.6 ± 2.0 Ma 和 319.9 ± 1.6 Ma。侯广顺(2005)获得企鹅山群安山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 谐和年龄 336.5 ± 6.6 Ma,玄武岩的透辉石、斜长石和全岩 Sm-Nd 内部等时线年龄值 334 ± 36 Ma。与这些同位素年龄不符的是,周守运(2005)根据山口和赤湖两地梧桐窝子组细碧岩层间所夹灰岩内的腕足类、蜓类和珊瑚化石,将该组地层时代定为晚石炭世,相当于地质年代 316.5 Ma~305 Ma。综合各方面的资料,看来中石炭世较为可信。

关于干墩组、梧桐窝子组和企鹅山群形成的构造环境,目前主要有弧间盆地(郭召杰和马瑞士,1990;马瑞士等,1993;Zhu WB et al.,2004)和活动陆缘或岛弧(侯广顺等,2005;李锦铁等,2006)两种认识。之所以存在争论,主要是因为此组地层的火山岩岩性组合迄今尚未查明。为此我们收集了前人发表的该组火山岩岩石化学数据,并根据 IUGS 分类和命名原则,重新核对了这些样品的岩石名称,其结果列于表 1-1。表中所列样品并非通过实测剖面按岩石类型比例系统取样所获,故其代表性可能存在一定问题,但从这些数据基本上可以看出,在梧桐窝子组中玄武岩和玄武安山岩占绝对优势,仅含少量安山岩和酸性岩。这样的岩性组合与许多弧后盆地火山岩的特征相似(Fouquet et al.,1993;Wu CZ et al.,2005),而与大洋向大陆板块俯冲时所形成的岩浆弧多以中酸性岩占优势的特征显著不同(Condie,1982; Mitchell and Garson,1981),也与卡拉塔格泥盆纪岛弧区富钠安山岩占 80%(见本书第 3 章)的特征显然有

表 1-1 梧桐窝子组火山岩岩石化学成分分类

数据组	样品数	玄武岩	玄武安山岩	安山岩	英安岩+流纹岩	资料来源
1	21	6	1	3	11	周济元等,1994
2	30	16	6	6	2	刘德权等,2003
3	9	5	1	1	2	Xia et al.,2004
4	7	5	1	1	0	侯广顺等,2005
5	11	7	2	2	0	李锦铁等,2006
合计	78	39	11	13	15	

别。因此,梧桐窝子组的岩性组合应当反映了一种陆壳上的张性环境。至于少量安山岩的出现,这也是弧后盆地火山岩系的常见现象(Halbach et al., 1989; Fouquet et al., 1993)。

既然干墩组和梧桐窝子组的岩性组合反映了陆壳上的张性环境,那么,如果将之与古天山的向北俯冲联系起来,就不难推论康古尔断裂带在石炭纪时是一个弧后盆地。干墩组反映了以陆壳为基底的、较为稳定的伸展盆地早期浅海沉积物,而梧桐窝子组则代表了进一步伸展裂陷和双峰式火山喷发。据李文铅等(2005)研究,康古尔断裂附近存在蛇绿岩,表明这个盆地在康古尔一带已经演化成了边缘海。这又与该蛇绿岩中玄武岩地球化学指示边缘海的判别结果(李文铅等,2005)相一致。

由上可知,康古尔断裂带具有长期的、不同性质的活动历史,因而对哈萨克斯坦板块南缘的演化起了重要作用。早-中石炭世期间,这条断裂具有明显的张性特征,沿此发生的伸展控制了康古尔弧后盆地的沉降和边缘海的扩张,导致了干墩组和梧桐窝子组地层的沉积和梧桐窝子组的火山喷发。在此过程中,此断裂已逐渐发展成了一条典型的超岩石圈断裂。中石炭世末或晚石炭世初,弧后盆地的闭合也与此断裂带发生有关,此后的弧-陆碰撞使康古尔断裂带发生构造反转,变为压性断裂带。二叠纪时,强烈的右形走滑(姬金生等,1994;李锦铁等,2002)又使这条断裂带发展成了韧性剪切带。对这一带二叠纪的岩浆活动和成矿作用起了重要作用。

1.2.8 中天山中-新元古代和早古生代复合岛弧

中天山西起那拉提,东至星星峡以东(图 1-1 和图 1-2),其中断续分布着一些原岩时代主要为中-新元古代的中-高级变质地块(胡霭琴等,1986,2001;Li QG et al., 2003;刘树文等,2004)。关于这个带究竟是一个完整的岛弧型造山带(胡受奚等,1991;马瑞士等,1993;何国琦等,1994;郭召杰等,1993,1998;刘德权等,1998;Shu LS et al., 2000),还是由不同古板块的增生带邂逅到一个带上而成(陈哲夫和梁云海,1981;徐新和黄河源,1990),目前尚有争议。

在中天山东段的卡瓦布拉克-星星峡地区,前人早已确定了一套可与库鲁克塔格地区对比的中元古界地层,即星星峡群(长城系)和卡瓦布拉克群(蓟县系)。其岩性主要为一套片麻岩、斜长角闪岩、片岩和混合岩,并夹大理岩(高振家等,1985)。胡受奚等^①收集了前人测定的星星峡群变质岩 26 个岩石化学数据,并补充采集了 9 个样品作了稀土元素分析,所获数据处理结果表明,这套变质岩的原岩具有岛弧钙碱性火山-侵入岩的特征。最近二十多年来对这套地层获得了一些年龄数据。胡霭琴等(1985)在对锆石 U-Pb 年龄测定的基础上认为,星星峡群和天湖群的时代上限分别为 1 400 Ma 和 660 Ma。胡霭琴等(2006)新近所作的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年进一步表明中天山确实存在着年龄为 1 436 Ma~1 405 Ma 的中元古代钙碱性岩浆岩动。刘树文等(2004)测定了星星峡和卡瓦布拉克两个地区若干花岗质片麻岩样品的锆石 U-Pb 年龄,认为这套变质岩主要形成于 1 140 Ma~1 220 Ma。Li QG et al. (2003)从 Nd 模式年龄测定得到了星星峡群原岩沉积年龄为 1.2 Ga~1.3 Ga 的认识。这些作者报道的年龄虽不完全一致,但足以证明中天山东段确实可与库鲁克塔格地区的兴地塔格群(冯本智等,1995)对比。胡霭琴测得星星峡地区天湖群的年代上限为 660 Ma,表明天湖群可以和库鲁克塔格地

① 胡受奚,顾连兴,严正富,周顺之,武耀诚,郭继春,杨浩. 1990. 东天山花岗岩及其含矿性研究. 加速查明新疆矿产资源的地质地球物理地球化学综合研究 75-56-03-05(Ⅲ6)专题报告,新疆维吾尔自治区人民政府国家三 0 五项目办公室,1-175

区的帕尔岗塔格群(冯本智等,1995)对比。就岩浆活动而言,本课题组(顾连兴和杨浩,1990;张遵忠等,2004;张遵忠等,2005)所获得的星星峡平顶山眼球状花岗岩和天湖东片麻状花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄(分别为 927 ± 5 Ma 和 707.7 ± 4.9 Ma)也与冯本智等(1995)提出的库鲁克塔格地区第二、第三期岩浆活动时代相一致。这些资料充分表明,中天山至新元古时期仍是塔里木大陆北缘库鲁克塔格岛弧的一部份。

马瑞士等(1993,1997)和夏林圻等(2006)认为,广泛分布前寒武纪变质岩的中天山应是一个加里东期岛弧带,阿奇克库都克-沙泉子断裂代表了加里东期向南的俯冲带,而干沟的镁铁-超镁铁岩则是保留下来的蛇绿岩残片。目前,在东经 90° 以西,前人归属“中天山结晶轴”(胡冰,1964)的相当一部分变质岩已根据三叶虫、腕足类、笔石和腹足类等化石被确定为早古生代地层(车自成等,1994),甚至还有人在先前被确定为元古代的地层中发现了早石炭世化石(Xiao WJ et al.,2004)。但是,在这条带中仍然存在着若干不连续的前寒武纪地块(陈哲夫和梁云海,1985;郭召杰和张志诚,1993),所以,整个中天山应当曾经是一个东西向断续相连的加里东期岛弧带,只是有些岛屿在加里东期被海水浸没而已。

目前,多数研究者根据红柳河蛇绿岩套的奥陶-志留纪年龄,认为中天山与塔里木大陆之间的裂离发生于早古生代晚期(于福生等,2000;郭召杰等,2006)。但是,中天山震旦-寒武纪的地层特征与库鲁克塔格地区也有所差异。下震旦统(南华纪)冰碛岩在库鲁克塔格一带是典型的初始盖层沉积(陈哲夫和梁云海,1981),而迄今为止,在中天山却尚未发现确凿无疑的冰碛岩。此外,中天山也未发现可靠的、泛见于库鲁克塔格地区的下寒武统底部碳-硅-磷建造,前人所描述的石英滩至天湖一带的寒武系地层岩性主要为各种片岩、角闪岩和斜长片麻岩等变质岩^①。因此,至少在寒武纪,中天山内部及其与库鲁克塔格之间可能已经出现虽以陆壳为基底,但沉降较深的沉积盆地,这些盆地的沉积物后来与奥陶-志留系一起卷入了加里东期变形-变质事件。尽管如此,作者等仍赞同这样的认识,即中天山真正从塔里木板块裂离而成洋岛弧(Mitchell and Garson,1981),还是在奥陶-志留纪期间,而如今的阿奇克库都克-沙泉子断裂则代表了当时向南俯冲的古天山洋壳位置。南天山的博斯腾湖一带,可能也是一个与中天山同时从库鲁克塔格裂离出来的中-新元古界地层地体。但是,如前所述,到了晚古生代古天山洋只是往北俯冲,中天山成了大洋南侧的被动陆缘。叠覆于中天山之上的马鞍桥盆地石炭纪岩系(Xia LQ et al.,2004),则是断裂拗陷中的沉积盖层。

有一个值得提出的问题是,在中天山北缘,迄今为止未发现加里东期的外弧沉积物和增生杂岩,也未发现过海西期的被动陆缘沉积物。加里东期的外弧沉积物和增生杂岩的缺失可能是由于俯冲剥蚀(Mitchell and Garson,1981)的缘故,而海西期被动陆缘沉积物缺失可能是因为石炭纪晚期觉罗塔格洋闭合时,其北侧的岛弧与南侧的塔里木大陆强烈碰撞,使处于前陆部位的被动陆缘沉积物强烈地逆冲隆升,被剥蚀后又遭来自北侧的岛弧岩系推覆,随后又遭断陷之故。中天山个别地段的早石炭世地层,则可能是海西期碰撞过程中被推覆上来的中天山北缘被动陆缘沉积岩系。不过,这一问题尚待以后的研究工作加以阐明。

目前已经获得了一些代表中天山加里东岛弧热事件的年龄数据,如马瑞士等(1993)获得了阿齐山南侧安山岩的 477 Ma Rb-Sr 等时线年龄,顾连兴和杨浩(1990)测得沙垄东岩体 Rb-Sr 等时线年龄 470.0 ± 3.0 Ma,王德贵等(2006)测得沙垄西南小盐池北二长闪长岩体锆石

^① 杨文勇,贾书振,王天新,潘富生,王宜林. 1985. 新疆哈密地质与矿产. 新疆地质矿产局第六地质大队,内部资料,833.