

天山岩浆作用

TIANSHAN YANJIANG ZUOYONG

夏林圻 夏祖春 徐学义 著
李向民 马中平 王立社



中国大地出版社

中国地质调查局“十五”地质调查项目(编号: 200313000063, 1212010511807)
国家自然科学基金项目(编号: 40472044)

天山岩浆作用

夏林圻 夏祖春 徐学义 著
李向民 马中平 王立社

中国大地出版社
• 北 京 •

内 容 提 要

本书反映了“十五”期间中国地质调查局“天山造山带岩浆作用研究”项目的最终研究成果和国家自然科学基金委员会面上项目“天山石炭纪碰撞后火山岩浆作用及其地球动力学研究”的阶段性研究成果。

本书可供地学领域科研、教学及地质调查工作者参考和借鉴。

图书在版编目 (CIP) 数据

天山岩浆作用 / 夏林圻等著. —北京: 中国大地出版社, 2007. 4

ISBN 978-7-80097-889-0

I. 天... II. 夏... III. 天山—岩浆作用—研究
IV. P588.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 134231 号

责任编辑: 叶 丹 高晓峰

出版发行: 中国大地出版社

社址邮编: 北京市海淀区学院路 31 号 100083

电 话: 010—82329127 (发行部) 010—82329008 (编辑部)

传 真: 010—82329024

网 址: www.chinalandpress.com www.中国大地出版社.中国

印 刷: 北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1 / 16

印 张: 23

字 数: 470 千字

版 次: 2007 年 4 月第 1 版

印 次: 2007 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1—1000 册

书 号: ISBN 978-7-80097-889-0/P·72

定 价: 58.00 元

版权所有, 侵权必究

前 言

本书为中国地质调查局“十五”地质调查工作项目“天山造山带岩浆作用研究”(编号:200313000063,1212010511807;项目起止年限:2003~2005年)的研究成果。该项目由西安地质矿产研究所承担,项目负责人为夏林圻。报告编写过程中,对于本项目组在2001年至2002年间相继开展的“中国西部典型造山作用研究”(编号:200113000022)和“西北地区构造-岩浆作用及其效应研究”(编号:200113000022)等两个项目的有关成果资料以及本项目人员所承担的国家自然科学基金项目“天山石炭纪碰撞后火山岩浆作用及其地球动力学研究”(编号:40472044;2005~2007年)2005年的成果也一并予以融入。

项目工作地区为中国境内的天山山脉,地理座标:东经 $74^{\circ}\sim 100^{\circ}$,北纬: $39^{\circ}30'\sim 46^{\circ}$,东西长约2080 km,南北最宽可达728 km,面积约70万 km^2 。

项目工作区内的1:100万区域地质测量已全部完成,1:20万区域地质测量绝大部分完成,部分地区开展过1:5万区域地质填图。此外,尚完成有1:25万区域地质测量图幅6幅。自20世纪80年代以来,我国众多地质单位和学者曾针对本区的矿产资源和基础地质问题,开展过各种类型的普查、勘查和研究工作,为本项目的开展奠定了较好的工作基础。

本项目的任务 and 目标是,通过研究:①天山地区(塔里木板块北缘和伊犁微板块两侧)南华纪一早寒武世火山作用性质,②与天山地区蛇绿岩和蛇绿混杂岩相关的古生代火山作用性质,③天山石炭纪一早二叠世大规模火山作用性质及成矿地质背景和④天山古生代花岗岩岩浆作用性质及形成环境等,查明天山造山带古生代洋陆格局和洋陆转换过程,探索其地球动力学机制。

本项目以恢复重建天山造山带古生代洋陆格局和洋陆转换过程为主线,重点研究与天山造山带古生代大陆裂解-会聚、拼合和洋陆转换过程密切相关的岩浆活动(包括表层火山活动和浅-深层花岗质岩浆活动)、蛇绿岩组合性质和有关沉积作用特征等,查明天山地区主要古生代构造-岩浆带的性质及其形成地质环境,重建天山古生代构造岩浆演化历史,揭示天山及邻区古生代洋陆转换特点,并探索其地球动力学机制。鉴于新元古代末期(南华纪一早寒武世)和晚古生代中期(石炭纪一早二叠世)是包括天山在内的中亚地区

古生代洋盆开启、闭合和发生洋陆转换的重要时期,在这两个时段中,天山造山带及其邻区均发生了大规模具拉伸背景的岩浆活动,因而在项目研究中对于“大陆岩石圈拉伸与岩浆作用关系”这一大陆地质与大陆动力学前沿领域的原创性探索研究,自始至终给予了特别的关注。

研究工作历经 5 年,取得的主要进展如下:

1) 建立了天山造山带构造—岩浆演化格架。①研究提出,新元古代早期的格林威尔(Grenville)碰撞造山事件,使得包括西伯利亚、中朝(华北)、华南、塔里木、卡拉库姆、中天山……在内的亚洲诸陆块汇聚拼接成为 Rodinia 超级联合大陆的组成部分,塔里木陆块西北缘柯坪地区分布的阿克苏群蓝闪石片岩(945—962 Ma)就是这次 Rodinia 超大陆汇聚联合事件的产物。②研究判明,新元古代中期(南华纪)至早寒武世,包括天山及邻区在内,在 Rodinia 超级大陆上爆发了具有全球规模的裂谷火山事件(与地幔柱相关的大火成岩省群活动事件),最终导致 Rodinia 超大陆裂解,它对于包括古亚洲洋域体系在内的劳亚大洋体系的形成及与其同期的大规模新元古代成矿事件具有重要的约束作用,天山古生代洋盆体系正位于古亚洲洋域体系的中部。③研究查明,从早古生代初期至泥盆纪,天山古生代洋盆体系在经历了十分复杂的形成→扩张→消减→闭合→碰撞过程,并伴随有醒目的沟—弧—盆系岩浆活动之后,于晚泥盆世—早石炭世初期闭合。天山及其邻区下石炭统与下伏地层间的规模巨大的区域性角度不整合界面以及该不整合界面之上的磨拉石(molasse)砾岩建造,就是天山古生代洋盆体系闭合后碰撞—造山作用的地质记录。④本项目研究的最重要的创新点之一在于,首次提出并查明,自石炭纪至二叠纪早期,由于古特提斯构造动力学体系的叠加复合,深部地幔柱上涌,导致包括天山造山带在内的中亚地区在古生代洋盆闭合后又经历了一次极为强烈的大火成岩省事件(包括表层裂谷火山事件和深成基性—超基性、花岗质岩浆侵入事件)和大规模成矿活动。在裂谷化最强烈的地区(如北天山地区),岩石圈经强烈拉伸产生一些小的“红海型”洋盆(以巴音沟蛇绿岩为代表的北天山蛇绿岩带就是该“红海型”洋盆的地质记录)。此后,自中—晚二叠世始,冈瓦纳与北美、俄罗斯、西伯利亚诸大陆(包括其间的诸多小陆块)最终联为一体,形成 Pangea 超级大陆,古亚洲造山区(或古亚洲构造域)才进入到具有真正意义的陆内地壳演化过程。⑤研究提出,至中—新生代之交(约为 65 Ma 前),随着古亚洲构造域之南的特提斯洋域体系的消减—闭合,印度地块向北漂移,与亚洲大陆(欧亚大陆东部)挤压碰撞,导致形成

喜马拉雅碰撞造山带和青藏高原不断隆升,并使得已经准平原化的古亚洲造山区回春复活,相应产生包括天山在内的中国西部和中亚的新生代复活山系。由于印度地块持续向北的碰撞挤压,诱使在喜马拉雅碰撞带北部的广大区域内产生广泛的新生代火山活动和喜马拉雅成矿事件。远离该碰撞带的天山及其邻区,新生代火山活动表现微弱,仅在白垩纪—古近纪,于塔里木西北缘靠近费尔干纳走滑断裂的西南天山托云地区,发生有小规模高钾碱性玄武质火山活动。

2) 提出新元古代中—晚期(南华纪—震旦纪)—早寒武世早期大陆裂谷火山活动是古亚洲洋开启的前兆。①经综合对比发现,天山造山带及其两侧的诸多前寒武纪地块和微地块(塔里木地块、塞里木微地块、那拉提微地块、阿克乔喀微地块、阿克苏—柯坪微地块、巴仑台微地块、库鲁克塔格微地块和卡瓦布拉克微地块)上稳定地分布有新元古界和寒武系地层。地层学和沉积学证据(在下寒武统地层的底部,恒定地发育有一套含磷岩层;在震旦系和南华系地层中存在2~3层大致可以对比的冰成岩或冰碛岩)表明,这些前寒武纪地块和微地块,在新元古代中—晚期,应当是一个统一的超级联合古陆——Rodinia 超大陆的组成部分。塔里木地块西北缘柯坪地区青白口纪阿克苏群蓝闪石片岩(Rb-Sr 等时线年龄为944.5~961.7 Ma)的存在,意味着天山及其邻区(中亚地区)在新元古代早期确实经历过 Rodinia 超大陆的汇聚过程。②研究表明,在前述前寒武纪微地块上的南华系、震旦系和下寒武统地层中分布有新元古代中—晚期—早寒武世早期大陆裂谷火山岩系,按时间顺序,从老到新有贝义西(早南华世)、扎摩克提(早震旦世)、水泉(晚震旦世)和西山布拉克(早寒武世)4个喷发期。该火山岩系的组成以基性火山岩为主,仅贝义西期火山岩中有中酸性火山岩产出。③岩石地球化学研究查明,早期(早南华世贝义西期、早震旦世扎摩克提期)喷发的火山岩系属拉斑玄武质岩浆系列,晚期(早震旦世苏盖特布拉克组,晚震旦世水泉期,早寒武世西山布拉克期)喷发的火山岩系属碱性玄武质岩浆系列,它们极有可能是源于一种似洋岛玄武岩源的软流圈地幔柱源。受岩石圈混染影响最小的玄武质熔岩样品保存了鲜明的地幔柱信号:具有“大隆起”状微量元素原始地幔标准化分配型式、 $(Th/Nb)_n$ 比值小于1、缺乏 Nb-Ta 亏损、La/Nb 比值 ≈ 1 、 $(^{87}Sr/^{86}Sr)(t) = 0.703612$ 、 $\epsilon_{Nd}(t) = 3.58$ 。④全球尺度的综合对比揭示,新元古代中—晚期—早寒武世大陆裂谷火山活动并非只是局限于天山及其邻区,而是波及中亚—东亚(包括中国中—西部和华南)、澳大利亚、北美、非洲南部和南极的一次全球性的由地幔柱活动引发的大陆裂谷火山事件,

是 Rodinia 超级古联合大陆裂解作用的深部地球动力学的地表响应。而包括古亚洲洋在内的古劳亚大洋可能就是这次具有全球意义的裂解事件的产物。因此,我们可以说,新元古代中期—早寒武世大陆裂谷火山活动乃是古生代劳亚大洋开启的前兆。

3) 通过天山及邻区蛇绿岩和蛇绿混杂岩对比研究重溯天山古生代洋盆形成—消亡过程。①研究判明,天山古生代洋盆分布于乌拉尔—蒙古—兴安古生代巨型复杂洋盆体系(简称古亚洲洋域体系)的中部,它又被哈萨克斯坦 伊犁 中天山古陆块(或称为古陆块群)分割成为北部斋桑—准噶尔—北天山和南部乌拉尔—南天山等两个分支洋盆(在这两个分支洋盆内还包含有一些微小的陆块,如准噶尔、吐鲁番—哈密、南天山等微陆块)。②根据已知最老蛇绿岩较为可靠的定年数据(503~523Ma)和南华纪—早寒武世裂谷火山岩系的最晚时代,认为将早寒武世作为天山古生代洋盆开启时限的下限比较合理。③伴有高压变质岩的唐巴勒蛇绿混杂岩的年龄信息(蓝闪石的 ^{40}Ar — ^{39}Ar 坪年龄为 458~470Ma,张立飞,1997)和中天山北缘的干沟—乌斯特沟蛇绿混杂岩被含笔石化石的下志留统不整合覆盖(车自成等,1994)等揭示,斋桑—准噶尔—北天山分支洋盆自奥陶纪已开始消减,结合新近发现东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩为上泥盆统克拉安库都组不整合覆盖(新疆地质调查院,2003,内部资料),暗示该分支洋盆可能在中泥盆世已经闭合。④目前虽然仍不十分清楚斋桑—准噶尔—北天山分支洋盆的消减极性,但是已有的地质资料表明,该洋盆在俯冲—消减过程中曾产生了甚为复杂的弧—盆体系(简称东—西准噶尔弧—盆系)。其中,西准噶尔达拉布特早泥盆世[(398 ± 10)Ma]蛇绿岩和东准噶尔卡拉麦里前志留纪(?)蛇绿岩就是该分支洋盆在俯冲—消减过程引起弧后拉伸所形成的弧后次生洋盆的地质记录。达拉布特蛇绿岩和卡拉麦里蛇绿岩中的镁铁质岩石都具有弧后盆地火山岩所特有的洋脊火山岩(MORB)和岛弧火山岩(IAB)双重地球化学特点。⑤哈萨克斯坦—伊犁—中天山陆块(或陆块群)南缘的蛇绿混杂岩带(伴有高压变质岩:蓝闪石片岩、榴辉岩和高压麻粒岩)是乌拉尔—南天山分支洋盆的消减位置,又可简称为“中天山南缘古海沟俯冲杂岩带”。该俯冲杂岩带所保存的年龄信息(350~410Ma),指示乌拉尔—南天山分支洋盆的消减时代应为晚志留世—泥盆纪。结合天山及邻区广泛发育石炭纪—早二叠世大陆裂谷火山岩系,以及早石炭世裂谷火山岩系与下伏前石炭纪地层之间普遍呈角度不整合接触,认为将早石炭世早期(相当于杜内晚期)作为天山古生代洋盆闭合时限的上限比较合理。⑥现有研究数据揭示,乌拉尔—南天山分支洋盆的俯冲—消减极性可能是双向的:该洋盆的向北

俯冲造成在北部伊犁—中天山微陆块上有岩浆弧花岗岩发育；其向南俯冲则造成在中天山南缘古海沟俯冲杂岩带之南依次形成岛弧和弧后盆地。⑦研究表明，南天山中一晚志留世（418~426Ma）库勒湖蛇绿岩应是乌拉尔—南天山分支洋盆沿中天山南缘古海沟消减带向南俯冲消减引起弧后拉伸所形成的弧后次生洋盆的地质记录；库勒湖蛇绿岩带以北分布的志留纪巴音布鲁克岛弧火山—侵入杂岩则是与该消减作用相伴的岛弧火山岩浆作用的产物。也就是说，乌拉尔—南天山分支洋盆的向南俯冲—消减，形成了一个完整的“沟（中天山南缘古海俯冲杂岩带）—弧（巴音布鲁克岛弧）—盆（库勒湖弧后盆地）体系”。⑧岩石地球化学研究查明：a) 巴音布鲁克岛弧火山岩浆在地球化学上具有正常岛弧玄武岩浆和富铌岛弧玄武岩浆间的过渡型岛弧玄武岩浆的特点，表现为 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 、LILE/HFSE 间呈现负相关， $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 和 LILE/HFSE 间呈正相关，且具有较高的 HFSE 丰度，其岩浆源区应是受俯冲洋壳板片沉积物—流体和板片熔体双重交代的亏损地幔楔橄榄岩；b) 库勒湖蛇绿岩中的基性熔岩具有弧后盆地火山岩所特有的洋脊玄武岩（包括 N-MORB 和 E-MORB）和岛弧拉斑玄武岩（IAT）双重地球化学特点。

4) 首次提出和查明天山及其相邻地区广泛分布的石炭纪—早二叠世火山岩系为大陆裂谷火山岩系，它们与同时代产出的层状基性—超基性侵入体和花岗岩构成了一个大火成岩省——“天山（中亚）大火成岩省”，起源于地幔柱，可能是古特提斯拉伸裂解作用的深部地球动力学在中亚地区的地表响应。①诸多证据表明天山及相邻地区的古生代洋盆（即古亚洲洋）在早石炭世时已经消减闭合，自早石炭世开始，整个天山造山带及其相邻地区又进入到了一个新的地质历史演化阶段，即“造山后陆内裂谷拉伸阶段”。这些证据有：a) 目前较为可靠可以利用的蛇绿岩（398~523 Ma）及相伴高压变质带（350~470 Ma）的年龄数据介于 350 Ma 至 523Ma 之间；b) 天山及邻区早石炭世火山岩系与下伏地层（包括前寒武纪结晶基底和前石炭纪褶皱基底）之间呈广泛的区域性角度不整合接触；c) 下石炭统底部的不整合界面之下发现具退积序列的粗碎屑“磨拉石”建造；d) 上述不整合界面向上，下石炭统火山沉积岩系以由陆相转化为海相的进积序列为特征，反映了一种递进的裂谷拉伸作用；e) 石炭纪—早二叠世火山岩系具有大陆板内火山岩的岩石地球化学特点。②天山及相邻地区的石炭纪—早二叠世裂谷火山岩系构成了一个大火成岩省——“天山（中亚）大火成岩省”，它囊括了境内外天山造山带以及天山以北的准噶尔地区和天山以南塔里木板块的北缘，总体分布范围达 $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。该火山岩系的组成以玄武质熔岩为

主(玄武质岩石占整个火山岩系的体积百分比大于 80%),其次有中性和酸性熔岩及火山碎屑岩。③根据岩石地球化学研究,天山(中亚)大火成岩省的玄武质熔岩可以被分为高 Ti/Y (HT) 和低 Ti/Y (LT) 两个主要岩浆类型。HT 类型,以高 Ti/Y (>500)、高 Ce/Y (>3) 和相对低 Nb/Zr (<0.11)、低 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为特征;LT 类型,以低 Ti/Y (<500) 为特征。LT 熔岩又可以进一步分为 LT1 和 LT2 两个亚类:LT1 熔岩以低 Nb/Zr (<0.15) 和高 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ (+3.1 ~ +9.7) 为特征;LT2 熔岩具有较高的 Nb/Zr 比值(>0.16)和较低的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-0.98 ~ -2.91)。④元素和同位素数据表明,HT 和 LT 熔岩的化学变异不是由一个共同母岩浆的结晶分异作用所产生。它们极有可能是源于一种似洋岛玄武岩源的地幔柱源,天山(中亚)石炭纪一早二叠世大火成岩省地幔柱头组分的成分为:($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)(t) ≈ 0.7045 , $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) \approx +4$, ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)(t) ≈ 18.35 , ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)(t) ≈ 15.66 , ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)(t) ≈ 38.25 , La/Nb ≈ 0.7 。不同的岩浆类型具有不同的熔融条件和经受了不同的分异和混染。以碱性熔岩为主的 HT 熔岩是产生于地幔柱较深层位石榴子石稳定区的低度部分熔融,其化学变异受控于单斜辉石(cpx) ± 橄榄石(ol)分离作用。相反,LT 类型的母岩浆则是产生于地幔柱较浅层位的尖晶石—石榴子石过渡带:碱性 LT2 亚类的母岩浆是产生于部分熔融程度较低条件下;而以拉斑玄武质为主的 LT1 亚类的母岩浆则是产生于部分熔融条件较高的条件下。LT 熔岩经受了浅层位辉长岩质[斜长石(plag) + cpx ± ol]分离作用,化学变异较大。HT 和 LT 岩浆的岩石成因又进一步为地壳和岩石圈地幔的混染作用所复杂化。⑤研究揭示,天山(中亚)大火成岩省的火山岩存在空间上的岩石地球化学变化。LT1 亚类以拉斑玄武岩为主的熔岩主要分布于天山(中亚)大火成岩省中部(指天山中—东段和准噶尔地区),该岩浆类型代表了天山裂谷火山作用的主相,该处火山岩系的厚度最大,岩石圈较薄,可能是地幔柱或地幔熔融异常的中心位置。向西,至位于天山(中亚)大火成岩省边缘的天山西段和塔里木西北缘,火山岩系厚度较小,岩石圈较厚,其熔岩分别由以碱性玄武岩为主的 HT 类型熔岩和碱性 LT2 熔岩组成。相比而言,LT1 熔岩具有较高的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(+3.1 ~ +9.7)和较低的 Ce/Zr 比值(0.09 ~ 0.34);而 HT 和 LT2 熔岩,则显示相对较低的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-0.98 ~ -2.91)和相对较高的 Ce/Zr 比值(0.26 ~ 0.55)。这种从天山大火成岩省中心向边缘的玄武岩化学成分上的空间变异,不仅反映了天山(中亚)大火成岩省岩浆形成时,从中心向边缘,地幔中熔融柱的位置加深和部分熔融程度降低,而且,也意味着从中心向边缘,受地幔柱活动的影响减弱。换句话说,这种岩浆类型在空间分布上的变化,很可能是受控于岩石圈厚度和地幔热结构

在空间上的改变。LT1 类型熔岩是产生于地幔柱的轴部区，该处地幔温度较高，岩石圈较薄，部分熔融程度较高；相反，HT 和 LT2 类型熔岩是产生于地幔柱的边部，地幔温度较低，岩石圈较厚，部分熔融程度较低。⑥研究证明：a) 天山石炭纪裂谷酸性熔岩是玄武质岩浆分离结晶作用的产物；b) 由基性和酸性岩石组成的双峰式火山组合（中性岩石量少或缺失）主要喷发于天山中段和东段；产生从基性至酸性连续成分图谱的正常火山作用主要发生于天山西段。这种空间变异很可能是受控于东—西天山地壳厚度和岩浆房冷却速率上的差异：即天山西段火山岩的母岩浆是在地壳较厚、岩浆房冷却速率较小的条件下，可能经受了充分的分离结晶作用；相反，天山中段和东段的双峰式火山岩套则是产生于地壳较薄和岩浆房冷却速率较大条件下的镁铁质岩浆分离结晶作用，由于冷却速率大、温度下降迅速，使得中性熔体形成时的温度间隔很窄，由此极大地降低了中性岩浆产生的数量。

⑦研究提出，巴音沟蛇绿岩是天山早石炭世“红海型”洋盆的地质记录：a) 早石炭世中—晚期（325~344 Ma）的巴音沟蛇绿岩套侵位于早石炭世早—中期浅海—陆相裂谷火山沉积岩系（基底单元）之中，是位于天山石炭—二叠纪裂谷系北部的“北天山石炭纪蛇绿岩带”的代表。基底单元的强烈裂谷化和进一步的裂解作用，使得大陆岩石圈裂离，产生北天山早石炭世中—晚期“红海型”洋盆。大厚度的枕状玄武岩、块状玄武岩、闪长岩、辉绿岩、辉长岩（伴生斜长花岗岩）和超镁铁质岩石的出露，意味着该盆地中有洋壳诞生。盆地闭合过程中，蛇绿岩没有被仰冲，而是被上抬并向南西方向倾斜，因此它只是被输送了很短的距离。b) 基底单元的早石炭世早—中期裂谷镁铁质熔岩由软流圈似 OIB 地幔源 [$Zr/Nb=11.17\sim20.88$, $La_N/Yb_N=1.50\sim3.32$, $(^{87}Sr/^{86}Sr)(t) = 0.7037$, $\epsilon_{Nd}(t) = 3.10$, $^{206}Pb/^{204}Pb = 18.537$, $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.599$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 39.006$] 的较低度部分熔融产生；稍年轻（早石炭世中—晚期，344~324.8Ma 前）的蛇绿岩单元的镁铁质熔岩系源自于软流圈最上部的一种相对亏损的似 MORB 地幔源 [$Zr/Nb=17.92\sim90.0$, $La_N/Yb_N = 0.50\sim1.35$, $(^{87}Sr/^{86}Sr)(t) = 0.7037 \sim 0.7050$, $\epsilon_{Nd}(t) = 4.06 \sim 8.36$, $^{206}Pb/^{204}Pb = 18.222\sim18.735$, $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.533\sim15.551$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 37.667\sim38.868$]，部分熔融程度稍高，所产生的熔体逐渐与软流圈似 OIB 地幔源熔体混合。软流圈源岩浆在上升至地表途中，曾与岩石圈地幔发生轻度相互作用。尔后，蛇绿岩组合的最亏损的镁铁质熔岩被上地壳组份（海水或碳酸盐壳）混染。c) 北天山石炭纪中—晚期红海型小洋盆的产生并不是一个孤立的事件。从大区域尺度上看，在古亚洲洋域体系于晚泥盆世—早石炭世早期闭合后，自石炭纪至二叠纪早中期，在天山及邻区（中

亚地区)发生大规模碰撞后裂谷-岩浆活动(包括表层火山事件和深成基性-超基性、花岗质岩浆侵入事件)的同时,秦岭、祁连、昆仑也是处于碰撞造山后的伸展裂陷环境。在裂谷化最为强烈的地点,除了北天山以外,在南秦岭的勉-略地区,岩石圈经受强烈拉伸裂离,同样也产生了小的“红海型”洋盆,以巴音沟蛇绿岩为代表的北天山蛇绿岩带(夏林圻等, 2002b; Xia et al., 2005a)和勉-略蛇绿岩带(张国伟等, 2001)就是这些新生小洋盆的地质记录。此时(晚泥盆世-早石炭世),在冈瓦纳的北缘,特别是西藏-马来-华南三叉构造区,也处于拉张背景之下,产生了一些裂陷带,其中堆积有海底喷发的玄武岩、放射虫硅质岩和浊积岩等深水沉积岩系(潘桂堂等, 1997),但并未形成大洋盆地。此后,自中一晚二叠世始,冈瓦纳与北美、俄罗斯、西伯利亚等诸大陆〔包括中朝(华北)、卡拉库姆-塔里木、华南、巴尔喀什、科克切塔夫和印支-南海等小陆块〕联为一体,形成潘吉亚(Pangaea)超级大陆,古亚洲构造域才进入到具有真正意义的地壳陆内演化过程。

⑧从造山带尺度而言,天山造山带及邻区从早石炭世至早二叠世发生的大规模裂谷化作用可能与下述机制有关:即古亚洲洋闭合-碰撞造山后,板块缝合带成为一个地壳增厚的地区,由于迅速上隆,增厚的陆下地幔根发生拆离和下沉,造成热的软流圈物质替代、上涌,发生部分熔融,从而导致强烈后造山岩浆活动,并在天山及相邻地区诱发产生石炭-二叠纪裂谷拉伸体系(简称“天山石炭-二叠纪裂谷系”)。这一时期除了大规模裂谷火山活动之外,还广泛发育同时代的花岗质岩浆和层状基性-超基性岩侵入活动,它们共同构成了天山(中亚)大火成岩省。但从更大的尺度上看,天山及邻区的石炭纪-早二叠世裂谷拉伸活动可能还有着更为深刻的地球动力学背景,它很可能是古特提斯拉伸裂解作用的深部地球动力学在天山地区的地表响应。可以推想,导致在这一时期发生具有全球意义古特提斯拉伸裂解的古地幔柱(很可能有数个)上涌活动也影响到了位于古亚洲系和古特提斯系交界部位的天山地区,所以才造成天山及其邻区出现规模巨大的石炭纪-早二叠世大火成岩省活动,该大火成岩省活动很显然对于中亚地区此一时期众多大一特大型矿床的形成具有独特而重要的背景意义。

5) 进一步研究和探讨了西南天山托云地区白垩纪-古近纪玄武岩的岩石成因。①托云白垩纪-古近纪(119.7~36.6Ma)玄武岩分布于塔里木板块西北缘中国境内的托云盆地以及吉尔吉斯斯坦共和国的伊塞克湖至费尔干纳断裂带的境外天山地区,主要由玄武岩及近于同期的基性脉岩组成,属高钾碱性玄武岩系列,主要岩石类型为碱玄岩和碱性玄武岩。

②元素和同位素数据表明,托云玄武岩极有可能是源于一种似洋岛玄武岩源的软流圈地幔源,该软流圈地幔组分的成分为: $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)=0.7035\sim 0.7049$; $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=4.17\sim 7.68$; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.2\sim 18.6$; $(\text{Th}/\text{Nb})_N<1$ 。③岩石地球化学研究揭示,托云地区在白垩纪至古近纪时,该区曾发生软流圈上涌事件(引起该事件发生的地球动力学背景尚不十分清楚),当炽热的软流圈地幔上涌至石榴子石稳定区时就开始发生低度($<5\%$)部分熔融(减压熔融),且从白垩纪至古近纪,源区的部分熔融程度略有增高,这些源自 OIB 型软流圈的部分熔融体上升通过岩石圈的过程中曾与岩石圈地幔相互作用,并对后者产生交代,由于岩浆上升的速度较快,因而几乎没有受到明显的地壳混染,但携带有许多交代(岩石圈)地幔捕虏体。托云玄武岩的母岩浆在上升至地表的过程中曾发生一定程度的结晶分离作用,它们最终喷出地表,形成我们今天所见到的托云高钾碱性玄武岩系。

6) 较为系统地对天山花岗岩特征、源区性质和形成环境进行了综合分析和探讨。

①研究查明,天山地区花岗岩空间上呈东西向带状分布,在天山中—东段较天山西段出露更为广泛,时代上从古元古代到三叠纪都有花岗质岩石形成,其中以石炭—二叠纪花岗质岩石最为发育,且与成矿作用关系密切。②前寒武纪花岗岩主要出露在库鲁克塔格、星星峡、巴伦台、赛里木湖和木扎尔特等元古宇地层分布区,同位素年龄在 2487~696Ma 之间,是天山及邻区前寒武纪结晶基底的重要组成部分。古元古代花岗岩只发育于塔里木地块北缘的库鲁克塔格地区, Nd 同位素模式年龄为 3.02~3.07Ga,其源岩很可能为太古宙岩层。中元古代花岗岩很少,其 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)=0.707$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=-8$,指示它们属壳源成因。新元古代花岗岩比较发育,可分为青白口纪与南华纪两个时期;青白口纪花岗岩(960~800Ma)以高钾钙碱系和偏铝质—过铝质为特征,其 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)=0.7077\sim 0.7277$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=-3.7\sim -14.1$, Nd 同位素模式年龄为 2.05~2.65Ga,可能形成于新元古代早期汇聚之后的后碰撞环境,为新太古代—古元古代的地壳物质受交代改造或重熔的产物;南华纪花岗岩(798~696Ma)以高钾钙碱系和过铝质—强过铝质为特征,微量元素丰度与上地壳相似,其 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)=0.7076\sim 0.7207$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=-4.4\sim -7.8$, Nd 同位素模式年龄为 2.01~1.70Ga,可能是新元古代中—晚期大陆裂谷化阶段,幔源岩浆活动交代改造古—中元古代地壳并使之发生部分熔融的产物。③早古生代 泥盆纪花岗岩按时代及形成地质构造环境可分为两个阶段:第一阶段早期为早—中奥陶世(490~457Ma)形成于拉张环境的花岗岩,晚期为晚奥陶世—中志留世(441~425Ma)形成于汇聚挤压环境的花岗岩;第二阶段早期为晚志留世

一早泥盆世 (424~393Ma) 形成于拉张环境的花岗岩, 晚期为中—晚泥盆世 (383~357Ma) 形成于汇聚挤压环境的花岗岩。它们可能反映了天山古生代洋盆演化过程中, 曾出现过 2 次拉张和收缩。拉张环境花岗岩的主要特点是: 为铁质花岗岩, 高场强元素 (HFSE) 较洋中脊花岗岩略为富集。挤压环境花岗岩则多为镁质花岗岩, 高场强元素较洋中脊花岗岩亏损。Nd、Sr 同位素特征表明: 形成于拉张环境下的花岗岩或者来自幔源 [如星星峡西南早奥陶世砂垄东岩体, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)=0.7037\sim0.7039$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=2.4\sim2.7$] 或者来自于新元古代斜长角闪岩的重熔 [如托克逊南晚志留世斜长花岗岩, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)=0.7098$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=-0.6$]。形成于汇聚挤压环境下的花岗岩为壳幔混合源 [以库尔干南岩体、阿拉散岩体、库鲁克塔格北缘岩体和红柳河岩体为代表, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)=0.7051\sim0.7200$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=-1.54\sim-10.41$], 其幔源组分可能来自卷入俯冲消减带的早古生代洋壳的部分熔融, 壳源组分可能来自早古生代大洋沉积物及古老地壳; 其中幔源组分较高的岩体可能还有幔源岩浆分异熔体的加入 [如大南湖晚泥盆世岛弧花岗岩, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)=0.7067$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=6.8$]。早古生代—泥盆纪进入地壳的花岗岩中, 可能只有少量为幔源新生物质, 大多数岩体为地壳物质 (包括早已进入地壳的幔源组分) 的再循环。④石炭—二叠纪花岗岩 (352~248Ma) 具有后碰撞花岗岩的岩石地球化学特征, 多属于钙碱—高钾钙碱—钾玄岩系, 铁质和镁质花岗岩均有发育, 微量元素具有大陆板内花岗岩和岛弧型花岗岩双重特征。按花岗岩产出的构造位置可分为两类: 第一类花岗岩分布于石炭纪—早二叠世裂谷带中, 第二类花岗岩位于古微陆块中或其边缘: a) 与裂谷带花岗岩相比, 产于古陆块中或其边缘的花岗岩, K、Nb、Th 含量及 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值较高, 相对贫 MgO 、 TiO_2 、 Na_2O , 反映后者的成分受古老地壳影响较大。此外, 出现在微陆块中或其边缘的石炭—二叠纪花岗岩一般具有负的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值 ($-0.97\sim-10.84$) 和高的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 值 ($0.704\sim0.8562$), Nd 同位素模式年龄为 0.8~2.0Ga, 表明它们主要是古老地壳部分熔融的产物; b) 同处于石炭—二叠纪裂谷带中的花岗岩, 因裂谷基底性质的不同也表现出成分差异。如以新生地壳 (早古生代—泥盆纪弧—盆系) 为基底的觉罗塔格和博格达石炭纪—早二叠世裂谷带中的花岗岩与以中新元古界为基底的天山西段伊犁石炭纪—早二叠世裂谷带中的花岗岩相比, 前者明显地富 FeO、MgO、Th 而低 Sr、Ba; c) 产于以中新元古代变质岩为基底的伊犁石炭纪—早二叠世裂谷带中的花岗岩: 早期 (早石炭世早期) 岩体系由前寒武纪基底岩石部分熔融形成, 具有 Nd 同位素模式年龄较高 (1.29~1.20Ga)、 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为负值 ($-2.12\sim-1.02$) 和高 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 值 ($0.7071\sim0.7090$)

的特点；晚期（晚石炭世—早三叠世）花岗岩与幔源二叠纪火山岩可能同源，由于在形成过程中受到中新元古界基底岩石混染的影响，导致其 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为低的正值（0.21~4.80）， $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 值低—中等（0.7041~0.7054）；4）以新生地壳（早古生代—泥盆纪弧—盆系）为基底的觉罗塔格和博格达石炭纪—早二叠世裂谷带中的花岗岩，具有 Nd 同位素模式年龄较低（349~1042 Ma）、正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值（0.33~9.19）和低 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 值（<0.705）的特点。它们又可以分为如下三种成因类型：第一类花岗岩与石炭纪火山岩源区相同，为受到地壳混染的幔源玄武岩浆通过岩浆结晶分异作用形成的酸性岩浆固结而成，以觉罗塔格土屋一带早石炭世中期岩体为代表，具有高（正） $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值（5.85~9.19）和低 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 值（0.6948~0.7039）的特点，与大型斑岩铜矿的形成有密切关系；第二类为早二叠世石英闪长岩，是经由泥盆纪火山岩部分熔融产生的熔浆形成，以康古尔一带岩体为代表，具有低（正） $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值（0.33~3.66）和低 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 值（0.7040~0.7041）的特点，与金矿有密切关系；第三类为晚石炭世末期花岗质岩石，可能是通过早石炭世火山岩部分熔融形成，这类岩体较小，以博格达一带岩体为代表，具有中等（正） $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值（3.90~4.09）和低 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(t)$ 值（0.7040~0.7041）的特点。⑤用 TIMS 法获得一批岩体的锆石 U-Pb 同位素年龄，它们是：巴音布鲁克北石英辉长岩， $(446.8 \pm 1.8)\text{Ma}$ （暂定）；库尔干南黑云斜长花岗岩， $(425.1 \pm 1.7)\text{Ma}$ 和石英闪长岩， $(426.3 \pm 1.9)\text{Ma}$ ，托克逊南斜长花岗岩， $(424.1 \pm 1.1)\text{Ma}$ ；托克逊南碱长花岗岩， $(395.1 \pm 0.9)\text{Ma}$ 和花岗闪长岩， $(393.2 \pm 1.4)\text{Ma}$ （暂定）；霍城果子沟角闪花岗岩， $(351.9 \pm 1.9)\text{Ma}$ ，昭苏煤矿南花岗闪长岩， $(348.4 \pm 0.8)\text{Ma}$ ，托克逊南 314 国道石英闪长岩， $(327.3 \pm 0.9)\text{Ma}$ ，新源则克台角闪辉长岩， $(308.2 \pm 1.2)\text{Ma}$ ，哈希勒根大坂黑云母花岗岩， $(286.8 \pm 0.8)\text{Ma}$ 。

本项目由中国地质调查局主管。2001 年 1 月至 12 月，作为“中国西部典型造山作用研究”项目（编号：200113000022）的主要组成部分予以实施；2002 年 1 月至 12 月，改为“西北地区构造-岩浆作用及其效应研究”项目（编号：200113000022）的一个工作项目予以实施；自 2003 年 1 月始，本项目最终成为“中国典型造山带岩石圈结构及动力学研究”项目的一个工作项目“天山造山带岩浆作用研究”（编号：200313000063，1212010511807）予以完成。有幸的是，虽然本项目的隶属关系几经变动，但研究任务和内容基本保持不变，研究人员组成也相对稳定。工作中得到工作单位西安地质矿产研究所的大力支持，尤其是先后得到了中国地质调查局基础调查部和科技外事部等主管部门的深入指导和关怀，使工作得以顺利完成。

本研究报告由本项目参加人员集体编写，其执笔分工如下：前言，夏林圻；第一章，夏林圻、夏祖春；第二章，夏林圻、李向民；第三章，马中平、夏林圻；第四章，夏林圻、李向民、王立社；第五章，徐学义、夏林圻；第六章，夏祖春、徐学义；第七章，夏林圻。最后，由夏林圻统编和审定全稿。由不同作者编写的各章节之间均有内在联系，但亦保持相对独立性，各章的观点基本相同，但对某些问题，本着求同存异、提倡争鸣的精神，保留了不同见解。

目 录

前言	(I)
第 1 章 概论	(1)
1. 1 研究区地质背景	(1)
1. 1. 1 全球背景	(1)
1. 1. 2 古亚洲构造域和天山造山带	(4)
1. 2 研究区地质单元划分	(5)
1. 3 研究区地层系统概述	(8)
1. 4 研究区存在的若干关键性地质问题	(9)
1. 4. 1 天山前寒武纪洋陆格局	(10)
1. 4. 2 天山古生代洋盆的开启时限	(10)
1. 4. 3 天山古生代洋陆格局	(11)
1. 4. 4 天山古生代洋盆俯冲—消减—闭合的时限	(12)
1. 4. 5 天山石炭纪 (一早二叠世) 大火成岩省	(14)
1. 4. 6 大陆拉伸背景下的火山作用研究在大陆地质和大陆动力学 研究中的地位	(15)
1. 5 天山造山带构造—岩浆演化格架	(17)
第 2 章 新元古代—早寒武世大陆裂谷火山作用	(19)
2. 1 引言	(19)
2. 2 地质背景	(20)
2. 3 新元古代—早寒武世裂谷火山岩时空分布特征	(22)
2. 3. 1 空间分布特征	(22)
2. 3. 2 火山岩喷发时代的判定	(22)
2. 4 火山岩组合和类型	(26)
2. 4. 1 库鲁克塔格微地块	(26)
2. 4. 2 阿克苏—柯坪微地块	(28)
2. 4. 3 卡瓦布拉克微地块	(28)
2. 4. 4 塞里木微地块	(29)
2. 5 岩石地球化学特征	(29)
2. 5. 1 岩浆系列和分类	(29)
2. 5. 2 主元素和微量元素变化特点	(30)
2. 5. 3 稀土元素变化特点	(35)
2. 5. 4 不相容微量元素变化特点	(37)

2.5.5 Sr、Nd 同位素比值变化特点·····	(39)
2.6 岩石成因讨论·····	(39)
2.6.1 天山及邻区新元古代—早寒武世火山岩的形成环境·····	(39)
2.6.2 源的部分熔融条件和源区特点·····	(41)
2.6.3 天山新元古代—早寒武世玄武岩形成过程中软流圈和岩石圈的贡献·····	(43)
2.6.4 岩石成因探讨·····	(46)
2.7 小结·····	(48)

第3章 蛇绿岩和蛇绿混杂岩

——古亚洲洋形成、演化和消亡的地质记录·····	(50)
3.1 引言·····	(50)
3.2 蛇绿岩研究若干问题·····	(52)
3.2.1 蛇绿岩概念的演变·····	(52)
3.2.2 蛇绿岩的形成环境·····	(53)
3.2.3 蛇绿岩测年问题·····	(55)
3.3 中天山北缘及准噶尔地区的蛇绿岩和蛇绿混杂岩·····	(58)
3.3.1 中天山北缘蛇绿混杂岩·····	(58)
3.3.2 西准噶尔地区的蛇绿岩和蛇绿混杂岩·····	(60)
3.3.3 东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩·····	(65)
3.3.4 北天山—准噶尔洋盆的消减时代与消减极性·····	(74)
3.4 南天山地区的蛇绿岩和蛇绿混杂岩·····	(76)
3.4.1 中天山南缘蛇绿混杂岩·····	(76)
3.4.2 南天山“弧—盆”体系·····	(79)
3.4.3 南天山洋的消减时代和消减极性·····	(101)
3.5 蛇绿岩和蛇绿混杂岩的时代对古亚洲洋演化历史的启示·····	(104)
3.5.1 古亚洲洋构造域内蛇绿岩的同位素年龄·····	(104)
3.5.2 古亚洲洋构造域内与蛇绿混杂岩相伴的高压变质岩的同位素年龄·····	(105)
3.5.3 古亚洲洋构造域内放射虫化石的时代·····	(105)
3.6 小结·····	(106)

第4章 天山(中亚)石炭—二叠纪大火成岩省裂谷火山作用与地幔柱·····

4.1 天山石炭—二叠纪玄武岩岩石成因·····	(108)
4.1.1 引言·····	(108)
4.1.2 区域地质背景·····	(108)
4.1.3 样品采集和分析方法·····	(119)
4.1.4 基础性研究结果·····	(128)
4.1.5 讨论·····	(135)
4.1.6 HT型熔岩和LT型熔岩间的空间关系·····	(149)
4.1.7 天山(中亚)大火成岩省的成矿背景意义·····	(150)
4.1.8 小结·····	(151)