伊犁北部博罗霍努岩体年代学和地球化学研究及其大地构造意义*

王博[1]　舒良树[1]　Dominique CLUZEL[2]　Michel FAURE[2]　Jacques CHARVET[2]

WANG Bo[1], SHU LiangShu[1], Dominique CLUZEL[2], Michel FAURE[2] and Jacques CHARVET[2]

1. 南京大学地球科学系,南京　210093

2. 法国奥尔良大学地球科学研究所,法国奥尔良　45067

1. *Department of Earth Sciences*, *Nanjing University*, *Nanjing* 210093

2. *URM CNRS* 6113 *Institut des Sciences de la Terre d' Orléans*, *Orléans* 45067, *France*

2007-04-10 收稿,2007-05-11 改回.

Wang B, Shu LS, Cluzel D, Faure M and Charvet J. 2007. Geochronological and geochemical studies on the Borohoro plutons, north of Yili, NW Tianshan and their Tectonic implication. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8):1885 – 1900

Abstract　Hercynian Borohoro plutons extending SE-NW along the northern margin of Yili Block develop in a wide area of more than 2000km^2. It is predominantly composed of dark gabbroid diorite, light-coloured biotite granite and pink biotite K-granite. U-Pb La-ICP-MS dating on zircons yields 301 ± 7Ma for gabbroid diorite, 294 ± 7Ma to 285 ± 7Ma for light-coloured biotite granite and 280 ± 5Ma to 266 ± 6Ma for biotite K-granite, respectively. Geochemical analyses suggest that the Borohoro plutons are mainly subaluminous I-type granite with minor aluminous S-type granite. They have higher components of LREE than HREE, and dissimilar REE distribution patterns of granitoids from two sections indicate that they were probably derived from different magma sources, further isotopic study is in urgent need. These granites are rich in K, Rb, Th and Ba, and depleted in Nb, Ta, Zr and Hf with respect to Ocean Ridge Granite. Trace element discriminations suggest that these granitic rocks formed in a subduction-related volcanic arc setting. Comparing to the previous results, this study proposes that the Borohoro plutons were resulted from south-directed subductionary orogeny of an oceanic basin in North Tianshan, the convergent process was completed in Middle Permian, and was followed by intra-continental orogeny and subsequent extension in Late Permian.

Key words　Tianshan Belt, Yili Block, Granite, Zircon U-Pb dating, Trace element geochemistry

摘　要　博罗霍努岩体是发育在新疆伊犁北部的一个大型海西期花岗岩体,总体沿近 SE-NW 向分布,出露面积逾2000km^2。该岩体主要包括三类花岗岩:灰黑色辉石闪长岩、浅色黑云母花岗岩和紫红色黑云母钾长花岗岩。锆石 U-Pb La-ICP-MS 定年表明,辉石闪长岩的年龄为 301 ± 7Ma,黑云母花岗岩的年龄范围为 294 ± 7 ~ 285 ± 7Ma,而黑云母钾长花岗岩则形成于 280 ± 5 ~ 266 ± 6Ma。岩石地球化学分析显示,黑云母花岗岩和钾长花岗岩以准铝或弱过铝 I 型花岗岩为主,个别属于弱过铝 S 型花岗岩。在微量元素方面,这些花岗岩均富集轻稀土而亏损重稀土,但来自两个剖面的花岗岩具有不同的稀土元素配分模式,可能代表它们的岩浆源区有所不同,因此需要进一步对这些花岗岩进行同位素地质学研究。相对于洋脊花岗岩而言,博罗霍努岩体的花岗岩明显富集 K, Rb, Ba 和 Th,同时,显著亏损 Nb, Ta, Y 和 Yb。以上地球化学特征及微量元素判别图表明,这些花岗岩类形成于俯冲有关的火山岛弧环境。结合伊犁及邻区岩浆岩的特征及其时代,可以认为博罗霍努岩体的形成与天山北部洋壳向南的俯冲造山作用有关。西天山北部俯冲造山作用最终在中二叠世结束,并在中—晚二叠世进入陆内造山和伸展拉张阶段。

关键词　天山;伊犁;海西期花岗岩;锆石 U-Pb 定年;微量元素地球化学

中图法分类号　P588.121;P597.3

---

* 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411301),国家地质调查局项目(1212010611806)及国家自然科学基金(40573038)的资助.

第一作者简介:王博,男,1978 年生,博士,大地构造与构造地质学专业,E-mail:wangbo1996@nju.org.cn

1 引言

近东西向横亘于新疆中北部的天山造山带,是"中亚造山带"(Burtman, 1975; Coleman, 1989; Zonenshain *et al.*, 1990; Jahn *et al.*, 2000; Brookfield, 2000; Buckman and Aitchison, 2004)或"阿尔泰构造拼贴体(Altaids)"(Sengör *et al.*, 1993; Sengör and Natal'in, 1996)的重要组成部分。它经历了古生代多块体之间的多期碰撞、增生构造事件(Coleman, 1989; Shi *et al.*, 1994; Gao *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 1999; Shu *et al.*, 2000, 2002; Xiao *et al.*, 2004),在这一演化的不同阶段,发育有各种类型的花岗岩,记录了该地区地壳增生的过程(韩宝福和洪大卫,1998; 洪大卫等,2003)。

在天山各时期花岗岩中,海西期花岗岩规模最大,分布最广,类型最丰富(新疆地质矿产局,1993)。前人对天山地区海西期花岗岩已经进行了大量研究,积累了丰富的岩石地球化学、同位素和年代学等方面的资料。但迄今为止,人们对天山海西期花岗岩形成环境的认识尚有争议,主要存在以下几种不同的观点:(1)俯冲作用有关的陆缘岛弧环境(王碧香等,1989; 任名华和姜常义,1990; 王崇礼等,1993; 李伍平等,1995; 姜常义等,1999; 李伍平等,2001; 李文铅等,2006; 孙桂华等,2006; 吴昌志等,2006; 张晓梅等,2006; 朱增伍等,2006)。这些花岗岩以I型为主,S型次之(王碧香等,1989; 任名华和姜常义,1990; 王崇礼等,1993; 李伍平等,2001; 朱增伍等,2006),主要分布于东天山红云滩、阿齐山、彩霞山、库姆塔格和西天山博罗霍努山等地区。最新的锆石U-Pb SHRIMP/ICP-MS和Rb-Sr全岩测年表明,这类花岗岩的年龄集中于350~260Ma(王碧香等,1989; 李伍平等,1995; 姜常义等,1999; 李文铅等,2006; 孙桂华等,2006; 吴昌志等,2006; 张晓梅等,2006; 朱增伍等,2006);(2)同碰撞造山环境(卫管一和许国琳,1997),以浅色花岗岩为主,主要分布在哈密南部白山地区;(3)后碰撞构造环境(徐学义等,2005a),主要分布在天山中段托克逊南-库米什北、西天山果子沟、昭苏和新源则克台地区。这种花岗岩的锆石U-Pb TIMS年龄范围为352~308Ma(徐学义等,2006b)。

另外,张增杰等(2002)将天山海西期花岗岩类分为幔源型、同熔型、改造型和A型四类,并依次形成一个完整的演化序列。其中同熔型和改造型花岗岩为碰撞造山阶段的产物,而A型花岗岩则是造山结束的标志。顾连兴等(2006)进一步将东天山海西期主碰撞以后形成的花岗岩划分为三个阶段:挤压、伸展转折阶段(310~285Ma)、碰撞后伸展阶段(285~250Ma)和板内阶段(250~208Ma)。

由此可见,天山地区海西期花岗岩形成于天山造山带构造演化的不同阶段,对各阶段不同类型花岗岩形成的构造环境、确切时代及其成因,目前尚无定论。鉴于前人的研究主要集中在东天山和西天山南部,而对西天山北部花岗岩的研究不多,本文将通过对西天山伊犁北部博罗霍努山岩体进行锆石U-Pb年代学、全岩地球化学特征的研究,对不同岩石类型的形成时代和构造环境进行分析,从而初步探讨这些花岗岩在天山构造演化中的地质意义。

2 区域地质背景

博罗霍努山位于西天山北支、伊宁盆地北缘(图1)。在构造位置上,博罗霍努山属于伊犁-中天山北缘活动大陆边缘带(Gao *et al.*, 1998)。伊犁地块是一个具有前寒武纪结晶基底的大陆块体(Allen *et al.*, 1993; Coleman, 1989),其南、北边界分别为大型区域走滑断层所限,南部为菁布拉克-那拉提断裂(图1中③),北部为北天山断裂(图1中①)。根据前人的研究,天山造山带形成于古生代期间伊犁地块与中天山、塔里木以及准噶尔、哈萨克等多块体之间的碰撞、增生作用(Coleman, 1989; Shi *et al.*, 1994; Gao *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 1999; Shu *et al.*, 2000, 2002; Xiao *et al.*, 2004)。

在伊犁和塔里木之间,"南天山洋"于600Ma左右开始形成,其洋壳于447~405Ma开始俯冲消减,并在巴音布鲁克-巴仑台一带形成了俯冲型大陆岛弧岩浆岩(徐学义等,2006b; 杨天南等,2006; 朱志新等,2006)。该洋盆的闭合,一些学者认为发生在石炭纪之前(夏林圻等,2002,2004; Xia *et al.*, 2004a),但也有学者认为是在早石炭世(吴文奎等,1992; 郝杰和刘小汉,1993; Gao *et al.*, 1995, 1998; 汤耀庆等,1995; 刘本培等,1996; Liu *et al.*, 2001; 王润三等,2003; 韩宝福等,2004; 周鼎武等,2004; 郭召杰等,2005,2006; 龙灵利等,2006; Wang *et al.*, 2007b)。南天山洋盆的俯冲消减和随后的碰撞作用在伊犁南缘科克苏-长阿吾孜一带形成了高压变质岩带(图1),其中蓝片岩和榴辉岩高压变质作用的时代为419~343Ma(肖序常等,1992; 汤耀庆等,1995; Gao *et al.*, 2000; Gao and Klemd 2003; 高俊等,2006),表明西天山南部主碰撞造山作用发生在早石炭世(肖序常等,1992; 车自成等,1994; 夏林圻等,2002,2004; Xia *et al.*, 2004a; 韩宝福等,2004; 周鼎武等,2004)。同一地区绿片岩相云母片岩的变质作用时代为331~302Ma(Klemd *et al.*, 2005; 高俊等,2006; Wang *et al.*, 2007b),云母片岩发生了不同程度的退变质作用(Klemd *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2007b),也说明主碰撞阶段高压变质作用早于晚石炭世。

值得提出的是,在西南天山高压变质岩带中,张立飞等(2005,Zhang *et al.*,2007)报道了榴辉岩锆石U-Pb SHRIMP核部年龄>310Ma,边部年龄~292Ma和233~226Ma,从而提出天山地区洋壳最终关闭造山的时代为三叠纪。但高俊等(2006)认为,榴辉岩锆石边部年龄很可能是因为后期流体作用在低温下形成的,并不代表碰撞造山的时代。根据吴元保和郑永飞(2004),Rasmussen(2005)及朱永峰和宋彪(2006)对锆石成因及其定年学的研究,后期热和流体事件形成的次生锆石在变质岩和强烈变形岩石中是存在的。

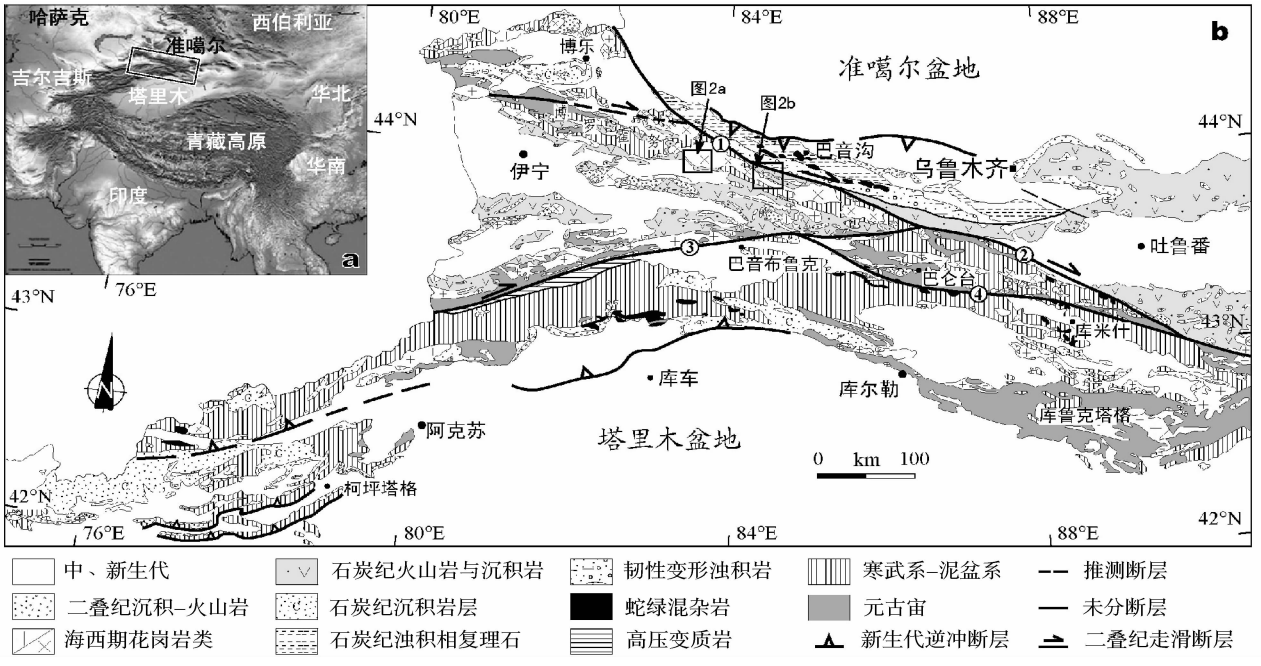

图 1　西天山地质构造简图(据新疆地质矿产局,1993 改编)

①-北天山断裂；②-天山主剪切带(冰达坂-干沟断裂)；③-菁布拉克-那拉提断裂；④-巴仑台断裂

Fig. 1　Geological and structural sketch map of western Chinese Tianshan Belt (modified from XBGMR, 1993)

①-North Tianshan Fault; ②-Main Tianshan Shear Zone (Bingdaban-Gangou Fault); ③-Qingbulake-Nalati Fault; ④-Baluntai Fault

在伊犁北侧,北天山洋盆(肖序常等,1992)或古准噶尔洋(Gao *et al.*, 1998)于中—晚古生代开始向南俯冲,最终在晚石炭世—早二叠世关闭(Windley *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1993; 赵振华等,2003,2006),并在伊犁北缘巴音沟一带(图 1)形成了蛇绿混杂岩带(肖序常等,1992; 李生虎和杜青,1994; Wang *et al.*, 2006a, 2007c)。但一些学者也认为,巴音沟一带超镁铁质岩块是天山后碰撞阶段伊犁-博格达"红海型"裂谷带的残片(夏林圻等,2005a),其中辉长岩和斜长花岗岩(锆石 U-Pb SHRIMP 年龄分别为 344Ma 和 325Ma)是大陆板内强烈拉张作用的产物(徐学义等,2005b, 2006a, 2006c)。

在研究区,伊犁地块的元古宙基底岩石分布在北天山断裂的西南侧(图 1),主要由蓟县系—青白口系碳酸盐岩和碎屑岩、震旦系红色砂岩和冰碛岩组成(新疆地质矿产局,1993)。寒武-奥陶系硅质岩、碳酸盐岩和志留系复理石直接覆盖在基底岩层之上,志留系局部还发育有火山碎屑岩夹层。泥盆系仅发育在乔尔玛一带,主要由千枚岩化粉砂质、凝灰质岩石和中酸性火山岩组成,底部含有少量碳酸盐岩(新疆地质矿产局,1993,1973①,1975②)。

石炭系在本区分布非常广泛,其中下石炭统主要包括大哈拉军山组、雅满苏组、美洛卡河组、阿克沙克组和阿恰勒河组,主要岩层有灰岩、砂岩、泥质岩和中—酸性火山岩夹层;上石炭统则被划分为东图津组、吐尔拱组、脑盖突组及奥依曼组,各单元以下部砂砾岩为主,之上发育有块状火山岩、火山碎屑岩和薄层灰岩夹层(新疆地质矿产局,1973①,1975②,1993; Wang *et al.*, 2007c)。海西期花岗岩类往往侵入到石炭纪之前的地层当中,部分地区也可见到海西期花岗岩侵入到石炭纪火山碎屑岩中(图 1)。根据前人的研究结果,上述石炭系火山岩的年龄为 354 ~ 312Ma(朱永峰等,2005, 2006b),形成于与俯冲作用有关的大陆岛弧环境(Gao *et al.*, 1998; 朱永峰等,2005,2006a, 2006b; 郭璇和朱永峰, 2006; 邵铁全等,2006; 王博等, 2006; 张江苏和李注苍,2006)。但也有研究者提出,这些火山岩是后碰撞大陆裂谷或地幔柱作用的产物(Xia *et al.*, 2003, 2004; 夏祖春等,2005; 刘静等, 2006)。然而,阿吾拉勒一带埃达克岩和浅成岩的发育,表明伊犁地区从俯冲、碰撞造山到后碰撞伸展的重要转换事件发生在晚石炭—早二叠世末(300 ~ 260Ma)(赵振华等,2003)。

上二叠统区域性红色磨拉石沉积(新疆地质矿产局,1993; 崔智林等,1996; 周宗良等,1999; 李向东和王克卓,2000)表明,天山地区从晚二叠世开始已经进入陆内演化阶段。来自塔里木、伊犁和哈萨克斯坦地区的古地磁数据也表明,塔里木和伊犁地块自晚二叠世以来已联接为一个整体(Chen *et al.*, 1999; Bazhenov *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2007a)。此外,沿天山主脊发育大型韧性走滑断裂构造,各断裂带彼此接近平行、近东西向延伸(图 1)。现有的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年代学资料表明,走滑断裂作用发生在 285 ~ 250Ma 期

① 新疆地质矿产局. 1973. 1∶20 万地质图托库孜—库马—拉克幅(K-45-1)

② 新疆地质矿产局. 1975. 1∶20 万地质图新源幅(K-44-6)

间(蔡东升等, 1996; Zhou *et al.*, 2001; Laurent-Charvet *et al.*, 2003),标志着天山造山带的构造演化在晚二叠世进入后碰撞晚期阶段。

3 剖面描述与岩石学特征

本文所研究的博罗霍努岩体,在平面上呈哑铃状沿近NE-SW方向分布在博罗霍努岩山主脊一带,岩体出露面积逾2000km^2,是伊犁北部最主要的地质体之一。该岩体侵入在志留系薄层灰岩、凝灰质粉砂岩和泥盆系千枚岩化凝灰质粉砂岩和火山碎屑岩中(图2a, b),在岩体侵入接触带中,还常见角岩化现象(如哈希勒根达坂)。岩体北侧被北天山二叠纪韧性走滑剪切带所限(图1,2b)。

笔者重点沿二条剖面对该岩体进行了考察和采样,其一为新源北部狗熊沟剖面,主要发育两种花岗岩(图2a),主体为灰白色斑状粗粒黑云母花岗岩(图3a),在1∶20万地质图上,被划为海西中期第三期侵入岩(γ_4^{2c})(新疆地质矿产局, 1973)。在岩体的边部和内部,侵入有较小规模的海西晚期第二期侵入岩(γ_4^{3b}),岩性为肉红色中-粗粒黑云母钾长花岗岩(新疆地质矿产局,1973)。选择两类花岗岩各采集大块新鲜样品,采样点GPS坐标分别为(43°50.30′N, 83°33.52′E)和(43°50.30′N, 83°31.55′E)(图2a)。

另一剖面位于独库公路乔尔玛-奎屯河段,岩体主要出露在哈希勒根达坂南、北两坡,野外可以识别出三种不同类型花岗岩: 1)灰黑色细—中粒辉石闪长岩,为海西中期第二期侵入岩($\nu\delta_4^{2b}$),规模较小(图2b); 2)灰白色中粗粒黑云母花岗岩,与狗熊沟剖面类似,属于海西中期第三期侵入岩(γ_4^{2c})(新疆地矿局,1975),分布范围广,且较均匀、连续(图2b); 3)海西中期第四期侵入岩(γ_4^{2d})以小的岩体、岩株或岩脉的形式侵入在黑云母花岗岩中,主要为肉红色伟晶黑云母钾长花岗岩(图3b),岩相学上与狗熊沟海西晚期第二期侵入的黑云母钾质花岗岩类似。本次工作分别在三类花岗岩中采集了大块样品,采样点GPS位置分别为(43°46.20′N, 84°27.01′E)、(43°41.34′N, 84°24.86′E)和(43°46.10′N, 84°26.2′E)(图2b)。

辉石闪长岩样品XJ626-1为中粗粒结构块状构造(图3c),主要矿物成分为角闪石(15%)、辉石(10%)、黑云母(5%)、斜长石(50% ~60%)、钾长石(5%)和少量氧化物,未见明显的石英矿物颗粒。辉石自形,颗粒较大;角闪石自形-半自形,常见绿帘石或绿泥石化;斜长石多为板状晶体,双晶发育;钾长石多为他形。样品XJ701为中粗粒结构黑云母花岗岩(图3d),主要由角闪石(5%)、黑云母(5% ~10%)、斜长石(15% ~20%)、钾长石(25%)和石英(30%)组成。黑云母自形,解理发育,并沿解理方向发生绿泥石化;角闪石半自形,绿帘石或绿泥石化蚀变比较明显;斜长石自形,颗粒窄小,双晶发育;钾长石他形,颗粒粗大;石英多为0.1mm左右的他形颗粒。黑云母钾长花岗岩样品XJ702具有伟晶结构,造岩矿物主要有角闪石(5% ~10%)、辉石(5%)、黑云母(5%)、斜长石(10%)、钾长石(35%)和石英(35%)。石英和钾长石为他形巨晶,其它矿物颗粒较小并镶嵌于其中(图3e)。样品XJ694与XJ702具有类似的结构和矿物组成,不同的是,样品XJ694中钾长石和黑云母等矿物

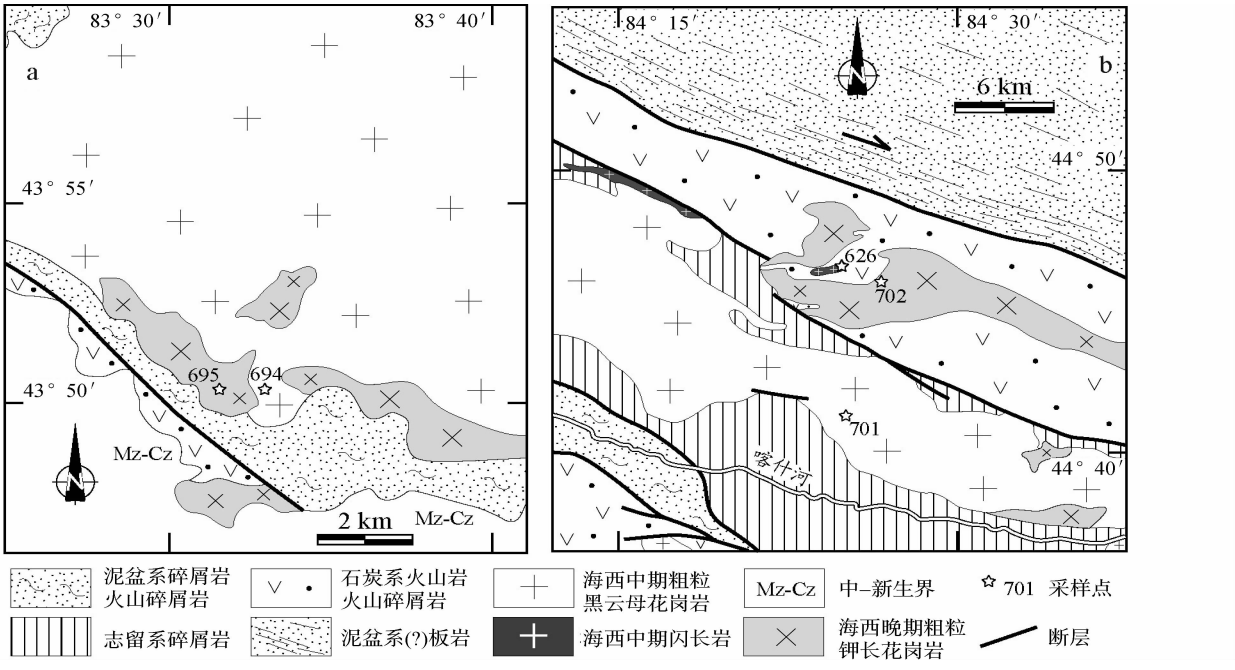

图2 伊犁北部博罗科努岩体(a)狗熊沟剖面和(b)哈希勒根剖面地质构造简图

Fig. 2 Geological sketch map of (a) Gouxionggou and (b) Haxilegen Pass sections of Borohoro plutons, north of Yili, Western Chinese Tianshan

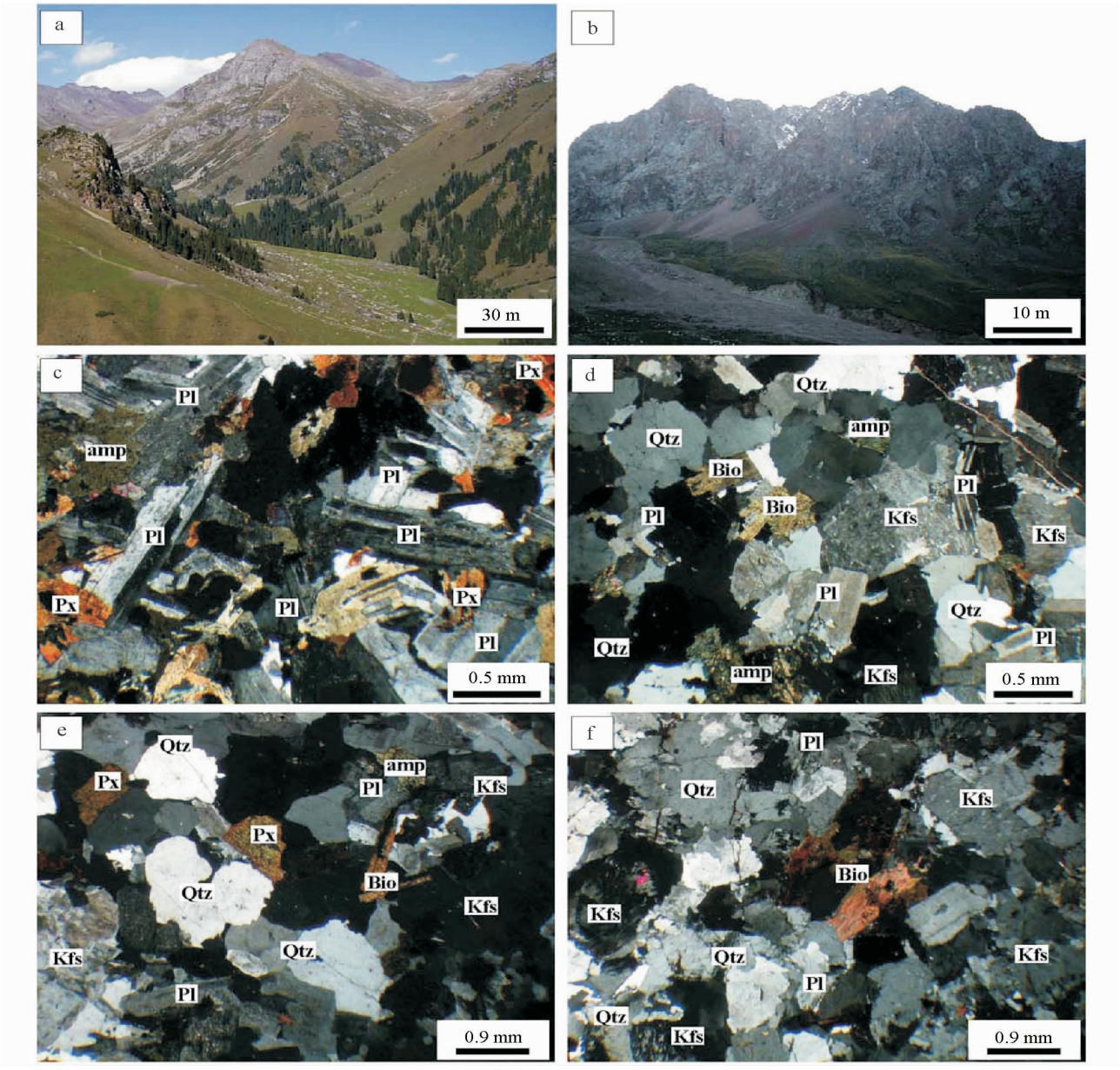

图 3 博罗霍努花岗岩体野外产状照片(a, b)及岩石学显微照片(c,d,e,f, 正交偏光)

a-狗熊沟; b-哈希达坂北坡; c-XJ626-1; d-XJ701; e-XJ702; f-XJ694; amp-角闪石; Bio-黑云母; Kfs-钾长石; Pl-斜长石; Px-辉石; Qtz-石英

Fig. 3 Photographs of field occurrence (a, b) and petrological microphotographs (c-f) for the Borohoro granitoids, north of Yili, Western Chinese Tianshan

a-Gouxionggou section; b-northern slop of Haxi pass; c-XJ626-1; d-XJ701; e-XJ702; f-XJ694; amp-amphibole; Bio-biotite; Kfs-K-feldspar; Pl-plagioclase; Px-pyroxene; Qtz-quartz

发生了一定程度的蚀变,石英出现细晶镶嵌现象,斜长石颗粒小,聚片双晶发育(图 3f)。

4 测试方法

将岩石首先压碎成 0.5mm 左右的颗粒,用清水冲洗、低温(<40℃)烘干,再经过重液和磁分选,最后在双目镜下挑选锆石单矿物颗粒(30 余颗),用于锆石 U-Pb 同位素分析。锆石颗粒大多呈自形、无色(个别边部呈黄色)。除少数颗粒外,一般没有分带和破裂纹,表明这些锆石主要为岩浆成因。从每个样品中选择颗粒较大、晶形好、透明度高的锆石颗粒 12 颗,在澳大利亚塔斯马尼亚(Tasmania)大学用 LA-ICP-MS (Hewlett Packard HP 4500)方法进行 U-Pb 定年测试。质谱仪所配激光为 213nm NewWave Merchantek UP213 Nd-YAG,详细的测试过程参照 Meffre *et al.* (2004)。花岗岩地球化学全岩分析在法国南锡实验室完成。样品新鲜,未受到明显蚀变。主量元素采用荧光光谱(XRF)法,微量元素采用 ICP-

MS 方法,分析精度均优于5%。详细的仪器参数和测试过程参见 Carignan *et al.* (2004)。

5 分析结果

5.1 锆石 U-Pb 测年结果

各样品中锆石同位素分析结果见表 1 和图 4 所示。独库公路剖面哈希勒根达坂北坡辉石闪长岩样品 XJ626-1 中的一颗锆石颗粒在分析过程中出现了一定程度的 Pb 丢失,其$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄较小(281 ±5Ma),其余 11 颗锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表明年龄,在误差范围内比较一致,其加权平均值为 301 ±7Ma(MSWD = 2.8)。哈希勒根达坂南坡黑云母花岗岩样品 XJ701 中一颗锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄过小(274 ±6Ma),而另一颗锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄为 590 ±7Ma,

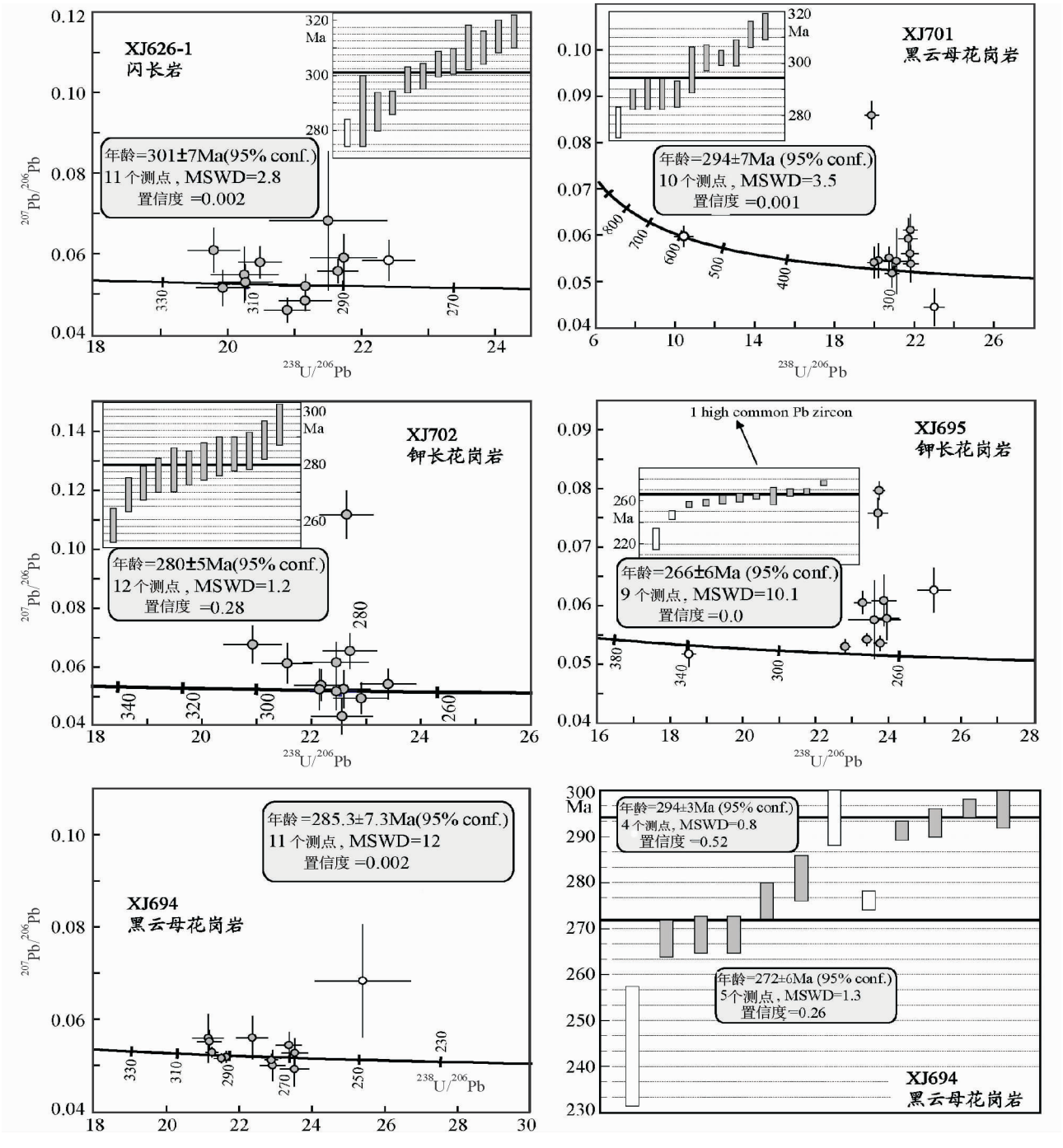

图 4 伊犁北部博罗霍努岩体花岗岩类锆石 U-Pb La-ICP-MS 测年的$^{238}U/^{206}Pb$谐和图与年龄分布

Fig. 4 Concordia diagrams and histograms of zircon U-Pb La-ICP-MS dating results on the granitoids from Borohoro plutons, north of Yili, Western Chinese Tianshan

表 1 伊犁北部博罗霍努岩体花岗岩类锆石 U-Pb La-ICP-MS 测年数据

Table 1 Zircon U-Pb La-ICP-MS analysis results of the granitoids from Borohoro plutons, north of Yili

分析点号	元素含量			原子比率						年龄（Ma）						Disc.（%）
	Th（$\times10^{-6}$）	U（$\times10^{-6}$）	Th/U	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	
XJ626-1																
1	164	313	0.52	0.34	0.03	0.045	0.001	0.058	0.005	296	22	281	5	547	184	5
2	30	48	0.63	0.35	0.09	0.046	0.002	0.068	0.017	302	69	293	12	877	522	13
3	185	219	0.85	0.33	0.03	0.046	0.001	0.059	0.006	292	23	290	6	572	212	7
4	314	340	0.92	0.34	0.02	0.046	0.001	0.056	0.003	295	14	291	4	445	116	4
5	599	613	0.98	0.31	0.02	0.047	0.001	0.052	0.003	276	14	298	5	288	130	5
6	542	699	0.78	0.30	0.02	0.047	0.001	0.048	0.002	266	13	298	5	119	120	5
7	215	204	1.05	0.29	0.02	0.048	0.001	0.046	0.003	256	15	301	5	2	158	5
8	170	187	0.91	0.36	0.02	0.049	0.001	0.058	0.004	311	17	307	5	528	149	5
9	46	75	0.62	0.33	0.04	0.049	0.001	0.055	0.007	287	27	311	7	405	278	8
10	112	151	0.74	0.33	0.02	0.049	0.001	0.053	0.004	289	19	310	6	330	185	6
11	86	108	0.80	0.39	0.03	0.051	0.001	0.061	0.005	334	24	318	6	638	191	6
12	95	128	0.74	0.34	0.03	0.050	0.001	0.052	0.004	299	23	315	6	269	194	6
XJ701																
1	99	231	0.43	0.260	0.08	0.044	0.02	0.044	0.09	234	17	274	6	-86	218	6
2	317	717	0.44	0.403	0.06	0.046	0.02	0.061	0.05	343	16	289	4	644	118	4
3	184	349	0.53	0.355	0.07	0.046	0.02	0.056	0.08	308	19	289	5	451	171	6
4	140	270	0.52	0.375	0.07	0.046	0.02	0.059	0.08	323	20	290	6	575	164	6
5	156	562	0.28	0.336	0.07	0.046	0.02	0.054	0.07	294	18	289	5	363	165	5
6	60	112	0.54	0.338	0.11	0.047	0.03	0.054	0.13	296	30	298	9	388	289	9
7	208	467	0.45	0.353	0.06	0.048	0.02	0.052	0.06	307	15	301	5	274	136	5
8	319	1070	0.30	0.374	0.04	0.048	0.01	0.055	0.04	322	11	303	3	416	91	3
9	332	1567	0.21	0.613	0.03	0.051	0.02	0.086	0.03	486	13	317	5	1336	67	5
10	169	347	0.49	0.379	0.06	0.050	0.02	0.055	0.07	326	18	311	5	392	149	5
11	284	564	0.50	0.378	0.06	0.050	0.02	0.054	0.06	325	16	315	5	376	137	5
12	390	1111	0.35	0.814	0.03	0.096	0.01	0.060	0.04	605	16	590	7	594	80	7
XJ702																
1	57	94	0.60	0.609	0.07	0.044	0.02	0.112	0.07	483	27	279	6	1827	129	6
2	36	89	0.41	0.278	0.09	0.043	0.02	0.054	0.09	249	20	270	6	377	210	6
3	42	81	0.52	0.347	0.09	0.044	0.02	0.065	0.09	302	24	278	6	786	188	6
4	54	95	0.57	0.273	0.11	0.044	0.02	0.049	0.10	245	23	275	6	166	245	6
5	38	72	0.53	0.333	0.11	0.045	0.03	0.062	0.11	292	28	281	7	659	231	8
6	50	87	0.58	0.246	0.12	0.044	0.02	0.052	0.12	223	25	279	6	307	275	6

续表 1

Continued Table 1

分析点号	元素含量			原子比率						年龄(Ma)						Disc.(%)
	Th ($\times10^{-6}$)	U ($\times10^{-6}$)	Th/U	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	
							XJ702									
7	44	72	0.61	0.278	0.12	0.045	0.02	0.052	0.12	249	26	281	7	272	275	7
8	64	92	0.70	0.241	0.14	0.044	0.02	0.043	0.14	220	27	280	7	-153	342	7
9	90	128	0.70	0.296	0.10	0.045	0.02	0.054	0.10	263	23	284	6	366	220	6
10	31	67	0.47	0.301	0.12	0.045	0.02	0.052	0.13	267	29	285	7	305	295	7
11	58	95	0.61	0.335	0.11	0.047	0.02	0.061	0.11	294	28	292	6	647	236	7
12	29	66	0.44	0.391	0.09	0.048	0.02	0.068	0.09	335	26	301	7	857	194	8
							XJ694									
1	262	424	0.62	0.321	0.17	0.039	0.05	0.068	0.18	283	44	249	13	880	367	13
2	138	232	0.60	0.300	0.06	0.043	0.01	0.053	0.06	266	14	268	4	317	136	4
3	207	402	0.52	0.310	0.05	0.043	0.01	0.054	0.05	274	12	270	4	389	113	4
4	120	320	0.38	0.275	0.06	0.043	0.02	0.049	0.07	247	14	268	4	156	175	4
5	73	163	0.45	0.296	0.06	0.044	0.01	0.050	0.07	263	15	275	4	195	154	4
6	72	150	0.48	0.326	0.08	0.045	0.02	0.056	0.08	286	19	282	5	453	182	5
7	62	126	0.49	0.333	0.09	0.047	0.02	0.056	0.09	292	22	298	6	449	207	6
8	2671	5013	0.53	0.305	0.02	0.044	0.01	0.051	0.03	270	6	276	2	248	58	2
9	1504	3339	0.45	0.321	0.02	0.046	0.01	0.052	0.02	283	5	291	2	280	51	2
10	2480	5844	0.42	0.322	0.02	0.047	0.01	0.052	0.02	284	5	293	2	267	44	3
11	3498	6418	0.55	0.335	0.02	0.047	0.01	0.053	0.02	293	5	296	2	323	44	2
12	3035	5215	0.58	0.348	0.04	0.047	0.01	0.055	0.04	303	11	297	4	419	97	4
							XJ695									
1	138	137	1.01	2.819	0.06	0.057	0.03	0.352	0.04	1361	45	356	10	3714	62	10
2	79	178	0.45	0.334	0.06	0.040	0.02	0.063	0.06	293	15	250	4	695	127	4
3	3098	5976	0.52	0.464	0.02	0.042	0.01	0.080	0.02	387	6	266	2	1186	37	2
4	1691	3324	0.51	0.432	0.03	0.042	0.01	0.076	0.03	365	11	266	3	1087	67	3
5	97	182	0.53	0.338	0.07	0.042	0.01	0.061	0.07	296	17	264	4	634	153	4
6	124	279	0.44	0.339	0.06	0.042	0.01	0.058	0.06	296	17	264	3	522	138	4
7	1270	2716	0.47	0.310	0.02	0.042	0.01	0.054	0.02	274	6	266	2	354	52	2
8	118	181	0.65	0.314	0.11	0.042	0.03	0.058	0.11	277	26	267	8	514	252	8
9	698	1998	0.35	0.355	0.03	0.043	0.01	0.060	0.03	308	7	271	3	621	67	3
10	8271	10479	0.79	0.320	0.02	0.043	0.01	0.054	0.02	282	5	270	2	381	42	2
11	1445	3798	0.38	0.318	0.02	0.044	0.01	0.053	0.02	281	5	277	2	331	50	2
12	203	527	0.38	0.385	0.04	0.054	0.01	0.052	0.04	331	11	339	3	276	95	3

Disc.(%)为相关误差。

明显比其余10颗锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄(289～317Ma)高,这10颗锆石的年龄相对比较集中,其加权平均值为294±7Ma(MSWD=3.5)。哈希勒根达坂北坡黑云母钾长花岗岩样品XJ702的全部12颗锆石具有非常一致的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄(270～301Ma),可计算出加权平均年龄为280±5Ma(MSWD=1.2)。

狗熊沟剖面黑云母花岗岩样品XJ695的第一颗锆石在分析中发现含有很高的普通Pb含量,因而导致过高的$^{206}Pb/^{238}U$表明年龄(356±10Ma)。第二颗锆石则因显著的Pb丢失,得到一个明显偏低的$^{206}Pb/^{238}U$表明年龄(250±4Ma)。最后一颗锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表明年龄较老(339±3Ma),可能是早期岩浆作用形成并被后期岩浆所捕获的继承锆石。舍弃上述三个分析点后,其余9个锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表明年龄在误差范围内基本一致(264～277Ma),由此计算出加权平均年龄为266±6Ma。其中还有两颗锆石,由于Pb丢失而造成较高的$^{207}Pb/^{206}Pb$比值,导致其投影点偏离偕和线(图4),因而加权偏差均方值相对较高(MSWD=10.1)。

狗熊沟剖面黑云母钾长花岗岩样品XJ694的第一个锆石因显著的Pb丢失和很高的U含量,其$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄明显偏低249±13Ma。2～7号锆石具有较低的U含量,除7号锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄较高(298±6Ma)以外,其他5颗锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄非常一致(268～282Ma),并计算得到加权平均年龄272±6Ma(MSWD=1.3,n=5)(图4)。这一年龄略比狗熊沟钾长花岗岩XJ695的年龄老,但比哈希勒根北坡钾长花岗岩XJ702的年龄小。8～12号锆石的U含量非常高(表1),其中8号锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄明显偏低(276±2Ma),而其它锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄则非常一致,介于291～297Ma之间,其加权平均值为294±3Ma(MSWD=0.8,n=4)。该年龄与哈希勒根达坂南坡黑云母花岗岩样品XJ701的年龄一致。去除Pb丢失的1号锆石后,6个低U锆石和5个高U锆石的加权平均年龄值为285.3±7.3Ma(MSWD=12)。

从表1还可以看出,每个样品中所有锆石的Th/U比值明显大于0.1(一般介于0.21～1.05之间),表明这些锆石均为岩浆成因(Vavra *et al.*, 1996),因此上述年龄均可代表花岗岩类的结晶年龄。

5.2 全岩地球化学分析结果

本文对两件黑云母花岗岩和两件黑云母钾长花岗岩进行了岩石地球化学分析,结果见表2所示。花岗岩的SiO_2含量变化小,介于69.4%～71.8%;全碱含量高,Na_2O+K_2O=7.0%～9.7%,哈希勒根花岗岩相对富钠(Na_2O/K_2O=1.08～1.13),而狗熊沟花岗岩则相对富钾(Na_2O/K_2O=0.67～0.68);Al_2O_3含量较低,介于13.8%～14.1%,其中样品XJ702和XJ694的铝饱和指数ASI<1,属于准铝的I型花岗岩,而XJ701和XJ695的铝饱和指数ASI为1.0～1.04,属于弱过铝花岗岩。根据Barbarin(1999)的分类标准,样品XJ702,XJ694,XJ695的铝饱和指数具有如下特点:CNK>A>NK,且$FeO^T/(FeO^T+MgO)$=0.89～0.97,因此它们属于KCG(钙碱性斑状钾长石花岗岩类);样品XJ701的A>CNK,$FeO^T/(FeO^T+MgO)$=0.78,且富含黑云母,因此属于过铝质花岗岩。

表2 伊犁北部博罗霍努岩体花岗岩类全岩地球化学分析数据

Table 2 Bulk geochemical analysis results of granodiorite from Borohoro plutons, north of Yili, Western Chinese Tianshan

主元素(wt%)	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	灼量	总量	ALK	ASI	σ	F/M
XJ701	72.79	0.24	14.06	1.77	0.05	0.51	2.09	3.72	3.30	0.08	0.78	99.37	7.02	1.04	1.65	0.78
XJ702	69.39	0.47	13.93	3.90	0.08	0.49	2.03	4.02	3.72	0.12	0.66	98.82	7.74	0.97	2.27	0.89
XJ694	71.40	0.23	14.01	2.66	0.05	0.10	0.88	3.90	5.75	0.04	0.29	99.30	9.65	0.98	3.28	0.96
XJ695	71.35	0.22	13.78	2.54	0.06	0.09	0.80	3.78	5.65	0.05	0.33	98.64	9.43	1.00	3.14	0.97

稀土元素($\times10^{-6}$)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	L/H	Eu
XJ701	18.35	37.36	4.222	15.48	3.36	0.637	3.05	0.498	2.914	0.574	1.666	0.26	1.838	0.283	90.49	7.16	0.60
XJ702	33	71.59	8.925	35.96	8.295	2.323	7.651	1.238	7.538	1.48	4.222	0.623	4.159	0.641	187.65	5.81	0.88
XJ694	52.07	103.6	11.69	42.58	6.416	0.468	4.373	0.65	3.588	0.676	1.992	0.307	2.218	0.376	231.00	15.29	0.26
XJ695	54.77	106.2	12.11	43.49	6.315	0.471	4.104	0.572	3.171	0.591	1.729	0.263	1.878	0.321	235.99	17.69	0.27

微量元素($\times10^{-6}$)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Hf	Ta	Th	U
XJ701	1.611	5.857	0.734	—	—	36.14	18.04	1.175	73	40.44	18.13	410.7	8.563	134.3	9.486	0.854	7.68	1.965
XJ702	1.903	9.21	0.796	3.726	—	52.38	18.41	1.109	67.33	19.81	15.93	414.5	8.768	124.6	9.55	0.608	7.499	1.295
XJ694	18.02	10.65	2.815	4.38	6.963	40.96	17.68	1.374	162	231.6	18.06	110.7	8.131	330.3	3.21	1.447	12.19	2.516
XJ695	14.89	7.22	3.26	3.479	6.343	72.43	18.56	1.434	120.2	251.8	43.3	533.8	11.58	1152	10.56	1.206	11.54	2.674

ALK(全碱)=Na_2O+K_2O;ASI(铝饱和指数)=$Al_2O_3(mol_{Al})/(Na_2O(mol_{Na})+K_2O(mol_K)+CaO(mol_{Ca}))$;σ(里特曼指数)=$ALK^2/(SiO_2-43)$;F/M=$FeO^T/(FeO^T+MgO)$;ΣREE-稀土元素总量;L/H-轻稀土元素总量与重稀土元素总量比值;δEu(Eu异常值)=$Eu_N\times2/(Sm_N+Gd_N)$,下角N为球粒陨石标准化值。

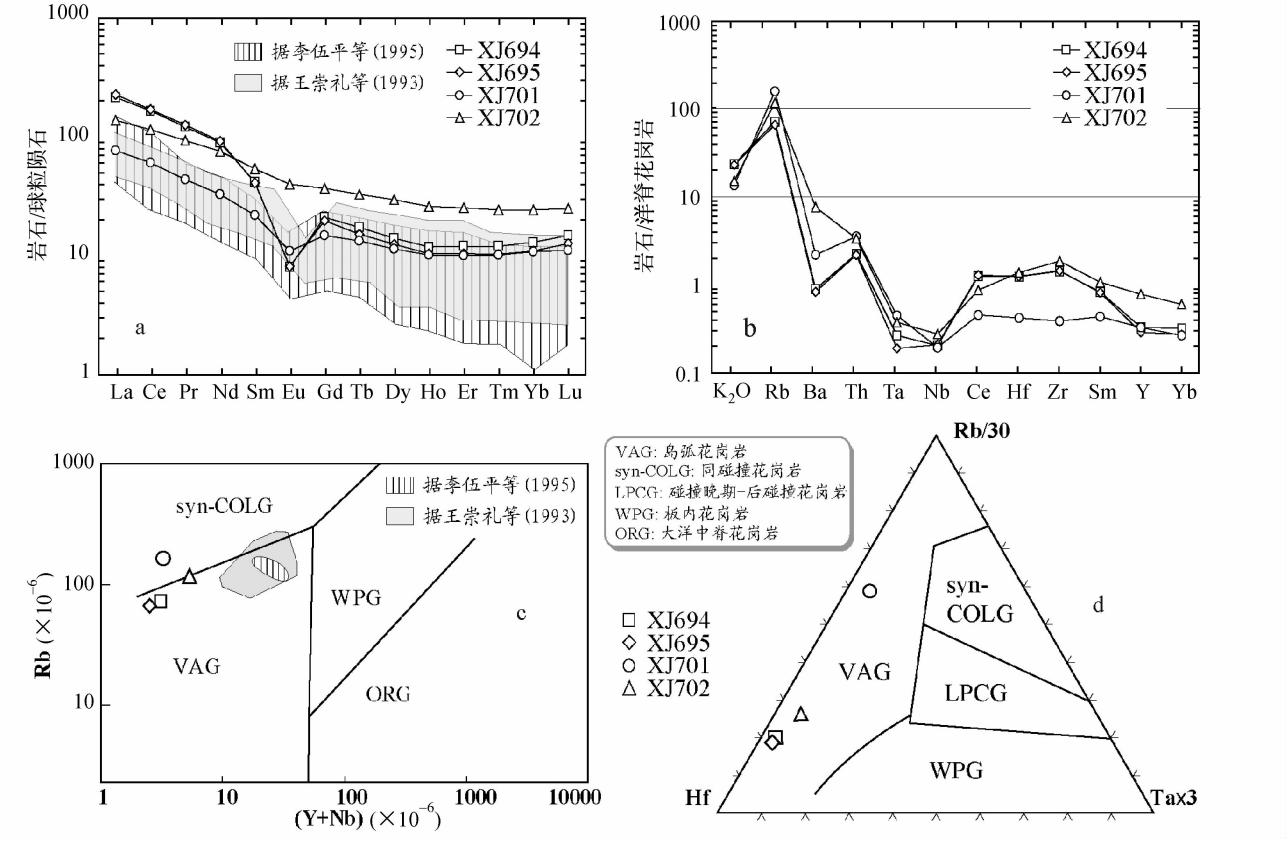

图5 伊犁北部博罗霍努岩体花岗岩类微量元素地球化学特征及其构造环境判别图(图a球粒陨石稀土元素值据 Sun and McDonough, 1989; 图b和c据 Pearce *et al.*, 1984; 图d据 Harris *et al.*, 1986)

Fig. 5 Trace elements geochemical patterns and tectonic setting discriminations for the granodiorite from Borohoro plutons, north of Yili, Western Chinese Tianshan

从表2可以看出,除了样品XJ701的稀土元素总量较低(90.5×10^{-6})以外,其它三个样品的稀土元素总量均较高($188\times10^{-6}\sim236\times10^{-6}$)。各样品均显示轻稀土比重稀土元素明显富集的特点,但相对而言,狗熊沟剖面花岗岩的轻稀土元素富集程度更高。这些花岗岩的球粒陨石标准化稀土元素配分曲线普遍向右缓倾,且重稀土元素分配曲线比较平坦(图5a),具有典型钙碱性岩浆岩的稀土配分特征。样品XJ701和XJ702的配分曲线相似,但区别在稀土元素总量上,表明两种花岗岩可能形成于同一岩浆的分异作用。另外,各样品均表现为Eu负异常($\delta Eu<1$),其中狗熊沟剖面花岗岩的δEu达0.26~0.27(表2),表明这些花岗岩经历了强烈的斜长石分离结晶作用。

在洋脊花岗岩(ORG)标准化微量元素蛛网图(图5b)中,这些花岗岩明显富集K, Rb和Th,而显著亏损Nb, Ta, Y和Yb。哈希勒根花岗岩相对于ORG还具有较高的Ba含量,其中样品XJ701还明显亏损Zr, Hf, Ce和Sm。在(Nb+Y)-Rb判别图(图5c)(Pearce *et al.*, 1984)中,样品XJ694和XJ695由于较低的Y, Yb和相对较低的Rb含量而投影在火山岛弧区域,样品XJ701具有相对较高的Rb含量,因而投影在同碰撞花岗岩区域,样品XJ702则投影在火山岛弧和同碰撞两类花岗岩区域的交线上。另外,在Rb/30-Hf-Ta×3三角投影(图5d)中,所有花岗岩均落在岛弧花岗岩区域,但XJ701因含有相对较高的Rb而远离其它三个样品点。

6 大地构造意义讨论

从上述地球化学分析结果可以看出,博罗霍努岩体主要是由准铝I型花岗岩、弱过铝I型花岗岩和弱过铝S型花岗岩组成的。锆石U-Pb年代学研究表明,辉石闪长岩形成于301Ma,与其南侧玉希莫洛盖达坂岛弧型花岗闪长岩的年龄(315~309Ma)相近(Wang *et al.*, 2006),与新源则克台角闪辉长岩的年龄(308Ma)也比较一致。另外,黑云母花岗岩的形成时代为294~266Ma,即早—中二叠世,是目前研究区发现的最年轻的花岗岩类,它们的年龄可与乌鲁木齐南后峡一带最新确定的二叠纪中、酸性火山岩的年龄(272Ma, U-Pb SHRIMP)相比较。

博罗霍努岩体花岗岩类总体上表现为钙碱性系列岩浆岩的特征,但狗熊沟和独库公路二剖面的样品其稀土元素配

分模式有所区别(图 5a)，表明它们可能来自于不同的岩浆源区，或者在侵入过程中受到不同程度地壳物质的混染。如在微量元素判别图(图 5c，d)中，哈希勒根南坡的花岗岩样品 XJ701 因为含有很高的 Rb 而落在同碰撞花岗岩区域，这种 Rb 的异常很可能是由于岩浆上侵过程中受到地壳混染所致，同时还造成主量元素的迁移，使该花岗岩具有 S 型花岗岩的特征。因此，为了进一步认识博罗霍努岩体的成因，还需要对各类花岗岩进行系统的同位素地质学研究。尽管如此，这些花岗岩具有富集大离子亲石元素(LILE)、亏损高场强元素(HFSE)的地球化学特征，与形成于俯冲带的火山岩地球化学特征完全一致(McCulloch and Gamble，1991)。其中 Nb，Ta 的显著亏损表明其岩浆来源于俯冲带熔融的上地幔或俯冲板片，而 Ba，Rb 和 Th 的相对富集则可能是由于这些岩浆在上升过程中被位于俯冲带之上地壳物质混染作用所致。因此，笔者初步推断，这些花岗岩形成的构造环境应为与俯冲、碰撞作用有关的大陆岩浆岛弧。

从图 1 可见，在博罗霍努岩体北部的北天山，存在一条 NW-SE 向延伸逾 250km 的蛇绿混杂岩带(肖序常等，1992；李生虎等，1994)。该蛇绿混杂岩带主要由地幔橄榄岩、辉长岩、枕状玄武岩、斜长花岗岩和洋壳沉积物以及复理石等组成。虽然最近一些学者认为，这些超基性岩块属于“红海型”裂谷带的残片(夏林圻等，2005a)，但详细的构造分析表明，镁铁、超镁铁岩和沉积岩(主要为复理石和灰岩)通常以构造岩块任意分布在强烈片理化的泥岩和复理石基质中，有时也可见到块状玄武岩、枕状玄武岩和上层泥质硅质岩形成有序的组合，代表一个受到强烈构造肢解而不完整的蛇绿岩套(肖序常等，1992；Wang *et al.*，2006)。因此，该蛇绿混杂岩带一直被国内外学者当作一条构造缝合线，并被认为是北天山晚古生代洋盆消减的产物(Windley *et al.*，1990；Allen *et al.*，1993；Xiao *et al.*，2004)。蛇绿混杂岩带中硅质岩含有晚泥盆世-早石炭世的放射虫化石(肖序常等，1992；李生虎等，1994)，表明北天山洋盆一直延续到早石炭末。

另外，在研究区东侧的博格达带，发育有大量石炭纪火山岩(图 1b)。一些学者认为这些火山岩属于裂谷成因双峰式系列，但也有学者(Xiao *et al.*，2004)通过对火山岩-火山碎屑岩建造的综合分析，认为它们属于岛弧成因安山质钙碱性系列。博格达韧性剪切带中石英脉和同构造花岗岩中锆石U-Pb SHRIMP 年龄分别为 316～311Ma 和 311～310Ma。七角井刺梅沟地区玄武岩和流纹岩 Rb-Sr 等时线年龄分别为 342Ma 和 340Ma，大石头-色皮口地区流纹岩 Rb-Sr 年龄为 307Ma，大河沿中-酸性浸入体的 Rb-Sr 等时线年龄为 298Ma。

另外，白杨沟地区发育水下滑塌堆积岩、枕状熔岩-气孔状玄武岩带和硅质岩，其中滑塌堆积岩带中辉绿玢岩锆石U-Pb年龄为 289Ma，表明本地区裂谷作用发生在早二叠世。在巴音布鲁克北部艾肯达坂(图 1)发育有艾肯达坂组红色陆相火山岩建造，其形成年龄为 270～260Ma(陈衍景等，2004)。另外，在伊犁中部阿吾拉勒地区，发育晚二叠世(260～250Ma)的高钾钙碱性和碱性浅侵位岩浆岩(赵振华等，2003)。

鉴于此，笔者认为，博罗霍努岩体与伊犁-博格达地区石炭纪—早中二叠世的火山岩和花岗岩共同构成了一个晚古生代的活动大陆边缘，形成于北天山洋盆向南侧伊犁地块的俯冲过程和随后的碰撞造山作用。年代学证据表明，西天山伊犁北部俯冲碰撞造山作用一直持续到中二叠世中期，而博格达地区在晚石炭末—早二叠世初似乎已经不再有岛弧岩浆活动。该地区二叠纪碱性浅成岩的发育表明，博格达和西天山伊犁北部分别在早二叠世中期和中—晚二叠世进入后碰撞陆内造山和伸展、拉张阶段。

7 结论

(1) 博罗霍努岩体是西天山一个大型海西期花岗岩体，其中辉石闪长岩的年龄为 301±7Ma，浅色黑云母花岗岩形成于 294±7Ma～285±7Ma，而肉红色黑云母钾长花岗岩的形成时代为 280±5Ma～266±6Ma。

(2) 岩石地球化学特征表明，博罗霍努岩体由准铝 I 型花岗岩、弱过铝 I 型花岗岩和弱过铝 S 型花岗岩组成。这些花岗岩属于钙碱性系列，并富集 K，Rb 和 Th 等 LILE 和相对亏损 Nb，Ta，Y 和 Yb 等 HFSE，显示它们形成于俯冲带之上的大陆岛弧环境。

(3) 博罗霍努岩体可能形成于北天山洋盆向伊犁地块的俯冲及随后的碰撞造山作用，西天山北部俯冲、碰撞造山作用在中—晚二叠世转换为陆内造山和伸展、拉张作用。

致谢 法国奥尔良大学陈岩教授和北京大学湛胜博士参与了野外采样，澳大利亚塔斯马尼亚大学 Sebastien Meffre 教授在锆石定年及数据解释中给予的指导和帮助。两名评稿人的详细修改意见，帮助作者提高了本文的论证，在此一并感谢！

References

Allen MB，Windley BF and Zhang C. 1993. Paleozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tien Shan，Central Asia. Tectonophysics，220：89－115

Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types，their origins and their geodynamic environments. Lithos，46：605－626

Bazhenov ML，Burtman VS and Dvorova AV. 1999. Permian paleomagnetism of the Tien Shan fold belt，Central Asia：Post-collisional rotation and deformation. Tectonophysics，312(2－4)：303－329

Brookfield ME. 2000. Geological development and Phanerozoic crustal accretion in the western segment of the southern Tienshan (Kyrgyzstan，Uzbekistan and Tajikistan). Tectonophysics，328：1－14

Buckman S and Aitchison JC. 2004. Tectonic evolution of Paleozoic terranes in West Junggar，Xinjing，NW China. In：Malpas J，

Fletcher CJN, Ali JR and Aitchison JC (eds). Aspects of the tectonic evolution of China. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 226: 101 – 129

Burtman VS. 1975. Structural geology of variscan Tien Shan, USSR. American Journal of Sciences, 275(A): 157 – 186

Cai DS, Lu HF, Jia D, Wu SM and Chen CM. 1996. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of the ophiolite melange in the southern Tien Shan and the mylonite in the southern rim of central Tien Shan and their tectonic significance. Scientia Geologica Sinica, 31(4): 384 – 390 (in Chinese with English abstract)

Carignan J, Cardinal D, Eisenhauer A, Galy A, Rehkämper M, Wombacher F and Vigier N. 2004. A reflection on Mg, Cd, Ca, Li and Si isotopic measurements and related reference materials. Geostandards and Geoanalytical Research, 28(1): 139 – 148

Che ZC, Liu HF and Liu L. 1994. The formation and evolution of the central Tianshan orogenic belt. Geological Publishing House, Beijing, 135 (in Chinese with English abstract)

Chen CM, Lu HF, Jia D, Cai DS and Wu SM. 1999. Closing history of the southern Tianshan oceanic basin, western China: An oblique collisional orogeny. Tectonophisics, 302: 23 – 40

Chen YJ, Liu YL, Bao JX, Zhang ZJ, Chen HY, Cai WJ and Helmstaedt H. 2004. Isotopic dating for the volcanic rocks of the Akendaban Formation in West Tianshan, China and its tectonic implication. Journal of Mineralogy and Petrology, 24(1): 52 – 55 (in Chinese with English abstract)

Coleman RG. 1989. Continental growth of northwest China. Tectonics, 8(3): 621 – 635

Cui ZL, Mei ZC, Qu HJ, Chen SY, Zheng GQ, Yang L, Liu JX, Wu YH and Xiong LP. 1996. A study on the Upper Permian of the Yili Basin, Xinjiang. Geological Journal of Universities, 2(3): 332 – 338 (in Chinese with English abstract)

Gao J and Klemd R. 2003. Formation of HP-LT rocks and their tectonic implications in the western Tianshan Orogen, NW China: Geochemical and age constraints. Lithos, 66: 1 – 22

Gao J, He GQ, Li MS, Xiao XC and Tang YQ. 1995. The mineralogy, petrology, metamorphic *PTDt* trajectory and exhumation mechanism of blueschists, south Tianshan, northwestern China. Tectonophysics, 250: 151 – 168

Gao J, Li MS, Xiao XC, Tang YQ and He GQ. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan orogen, northwestern China. Tectonophysics, 287: 213 – 231

Gao J, Long LL, Qian Q, Huang DZ, Su W and Klemd R. 2006. South Tianshan: A Late Paleozoic or a Triassic orogen? Acta Petrologica Sinica, 22(5), 1049 – 1061 (in Chinese with English abstract)

Gao J, Zhang LF and Liu S. 2000. The $^{40}Ar/^{39}Ar$ age record of formation and uplift of the blueschists eclogites in the western Tianshan Mountains. Chinese Science Bulletin, 45(11): 1047 – 1051

Gu LX, Zhang ZZ, Wu CZ, Wang YX, Tang JH, Wang CS, Xi AH and Zheng YC. 2006. Some problems on granites and vertical growth of the continental crust in the eastern Tianshan Mountains, NW China. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1103 – 1120 (in Chinese with English abstract)

Guo X and Zhu YF. 2006. Petrological and geochemical characteristics of the Carboniferous volcanic rocks, South of the Xinyuan County, Xinjiang. Geological Journal of China Universities, 12(1): 62 – 73 (in Chinese with English abstract)

Guo ZJ, Shi HY, Zhang ZC and Zhang JJ. 2006. The tectonic evolution of the south Tianshan paleo-oceanic crust inferred from the spreading structures and Ar-Ar dating of the Hongliuhe ophiolite, NW China. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 95 – 102 (in Chinese with English abstract)

Han BF, He GQ, Wu TR and Li HM. 2004. Zircon U-Pb dating and geochemical features of Early Paleozoic granites from Tianshan, Xinjiang: Implications for tectonic evolution. Xinjiang Geology, 22(1): 4 – 11 (in Chinese with English abstract)

Hao J and Liu XH. 1993. Ophiolite melange time and tectonic evolutional model in South Tien Shan area. Scientia Geologica Sinica, 28(1): 93 – 95 (in Chinese with English abstract)

Harris NBW, Pearce JA and Tindle AG. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward MP, Reis AC(eds). Collision tectonics. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 19: 67 – 81

Hong DW, Wang SG, Xie XL, Zhang JS and Wang T. 2003. Correlation between Continental Crustal Growth and the Supercontinental Cycle: Evidence from the Granites with Positive ε_{Nd} in the Central Asian Orogenic Belt. Acta Geologica Sinica, 77(2): 203 – 209 (in Chinese with English abstract)

Ionov DA, Savoyant L and Dupuy C. 1992. Application of the ICP-MS technique to trace element analysis of peridotites and their minerals. Geostandards Newsletter, 16: 311 – 315

Jahn BM, Griffin WL and Windley BF (eds). 2000. Continental growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. Tectonophysics, 328: 1 – 227

Jiang CY, Mu YM, Bai KY, Zhao XN, Zhang HB and Hei AZ. 1999. Chronology, petrology, geochemistry and tectonic environment of granitoids in the southern Tlanshan Mountain, western China. Acta Petrologica Sinica, 15(2): 298 – 308 (in Chinese with English abstract)

Klemd R, Bröcker M, Hacker BR, Gao J, Gans P and Wemmer K. 2005. New Age Constraints on the Metamorphic Evolution of the High-Pressure/Low-Temperature Belt in the Western Tianshan Mountains, NW China. Journal of Geology, 113: 157 – 168

Laurent-Charvet S, Charvet J, Monie P and Shu LS. 2003. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern Central Asia (NW China): New structural and geochronological data. Tectonics, 22(2): 1099 – 1101

Li SH and Du Q. 1994. The ophiolites in Motogou-Gurt of Wusu County. Xinjiang Geology, 12(3): 265 – 271 (in Chinese with English abstract)

Li WP, Jian CY, Wu WK and Xie GC. 1995. Geologic features for granites of the variscan early period on the Beluohonu Caledonia fold belt. Journal of Xi'an College of Geology, 17(4): 1 – 7 (in Chinese with English abstract)

Li WP, Wang T, Li JB, Kang X, Yu FS, Han QJ and Ma ZP. 2001. Petrology, geochemistry of Hercynian granites of Hongliuhe area and its tectonic setting in Eastern Tianshan Mountains, Western China. Geological Review, 47(4): 368 – 376 (in Chinese with English abstract)

Li WQ, Xia B, Wang KZ, Wang Q and Wang H. 2006. Zircon SHRIMP age and geochemistry of Caizhong granite from East Tianshan, Xinjiang, China. Acta Geologica Sinica, 80(1): 43 – 52 (in Chinese with English abstract)

Li XD and Wang KZ. 2000. On orogenic to basinal tectonic transfer along the southern margin of west Tianshan Mountains, China. Xinjiang Geology, 18(3): 203 – 219 (in Chinese with English abstract)

Liew TC and McCulloch MT. 1985. Genesis of granitoid batholiths of Penisular Malaysia and implications for models of crustal evolution: Evidence from a Nd-Sr isotopic and U-Pb lead study. Geochim. Cosmochim. Acta., 49: 587 – 600

Liu J, Li YJ, Wang XG and Guo WJ. 2006. Geochemical Charactersitics and tectonic environment of the Yishijilike Formation volcanic rocks in the Awulale area of western Tianshan. Xinjiang Geology, 24(2): 105 – 108 (in Chinese with English abstract)

Liu Y. 2001. Early Carboniferous radiolarian fauna from Heiyingshan South of the Tianshan Mountains and its geotectonic significance. Acta Geologica Sinica, 75(1): 101 – 108

Long LL, Gao J, Xiong XM and Qian Q. 2006. The geochemical characteristics and the age of the Kule Lake ophiolite in the southern

Tianshan. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 65 – 73 (in Chinese with English abstract)

McCulloch MT and Gamble JA. 1991. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. Earth and Planetary Science Letters, 102: 358 – 374

McCulloch MT and Chappell BW. 1982. Nd isotopic characteristics of S- and I-type granites. Earth and Planetary Science Letters, 58 (1): 51 – 64

Meffre S, Nicholas GD, Anthony JC *et al.* 2004. Mafic volcanic rocks on King Island, Tasmania: Evidence for 579 Ma break-up in east Gondwana. Precambrian Research, 135 (3): 177 – 191

Pearce JA, Harris NBW and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25: 956 – 983

Rasmussen B. 2005. Zircon growth in very low grade metasedimentary rocks: Evidence for zirconium mobility at ≈250℃. Contributions to Mineralogy and Petrology, 150: 146

Ren MH and Jiang CY. 1990. The features of the middle Hercynian granitoids rocks in the section of Tianshan Mountains. Journal of Xi'an College of Geology, 12(4): 18 – 25 (in Chinese with English abstract)

Rollinson HR. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation. Longman scientific technical, New York, 48 – 213

Sengör AMC and Natal'in BA. 1996. Palaeotectonics of Asia: Fragments of a synthesis. In: Yin A and Harrison M (eds). The tectonic evolution of Asia: Rubey Colloquium. Cambridge: Cambridge University Press. 486 – 640

Sengör AMC, Natal'in BA and Burtman VS. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crust growth in Eurasia. Nature, 364: 299 – 307

Shao TQ, Shi Y, Jin H, Song Y, Zhu ZX, Wang KZ, Zhan JD and Xu D. 2006. Volcanic rock petrochemical characteristics of the Dahalajunshan Formation in the western Tianshan, Xinjiang and their geological significance. Xinjiang Geology, 24(3): 218 – 222 (in Chinese with English abstract)

Shi YS, Lu HF, Jia D and Howell DG. 1994. Paleozoic plate tectonic evolution of the Tarim and western Tianshan Regions, Western China. International Geological Review, 36: 1058 – 1066

Shu LS, Charvet J, Lu HF and Laurent-Charvet S. 2002. Paleozoic accretion-collision events and kinematics of ductile deformation in the central-southern Tianshan Belt, China. Acta Geologica Sinica, 76 (3): 308 – 323

Shu LS, Lu HF, Charvet J, Laurent-Charvet S and Yin DH. 2000. Paleozoic accretionary terranes in Northern Tianshan, NW China. Chinese Geochemistry, 19(3): 193 – 202

Sun GH, Li JY, Wang DG, Gao LM and Song AJ. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb ages of granite and granodiorite at the south side of the Aqikuduk fault, East Tianshan, Xinjiang, China, and its tectonic implications. Geological Bulletin of China, 25(8): 945 – 952 (in Chinese with English abstract)

Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of ocean island basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 42: 313 – 345

Tang YQ, Gao J, Zhao M, Li JY and Wang J. 1995. The ophiolites and blueschists in the Southwestern Tianshan orogenic belt, Xinjiang, Northwestern China. Beijing: Geological Publishing House. 1 – 133 (in Chinese with English abstract)

Vavra G, Gebauer D, Schmid R *et al.* 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study. Contrib. Mineral. Petrol., 122: 337 – 358

Wang B, Chen Y, Zhan S *et al.* 2007a. Primary Carboniferous and Permian paleomagnetic results from Yili Block and their geodynamic implications on evolution of Chinese Tianshan Belt. Earth and Planetary Science Letters, accepted

Wang B, Faure M, Cluzel D *et al.* 2006a. Late Paleozoic tectonic evolution of the northern West Chinese Tianshan Belt. Geodinamica Acta, 19(3 – 4): 227 – 237

Wang B, Faure M, Shu LS *et al.* 2007b. Tectonics of the Yili Block in the southern part of the Western Chinese Tianshan, and its Paleozoic geodynamic evolution. Tectonics, under review

Wang B, Shu LS, Cluzel D *et al.* 2007c. Geochemical Constraints on Carboniferous Volcanic rocks of Yili Block (Xinjiang, NW China); implication on tectonic evolution of Western Tianshan. Journal of Asian Earth Sciences, 29(1): 148 – 159

Wang B, Shu LS, Cluzel D, Faure M, Charvet J and Ma Q. 2006b. Geochemical characteristics and tectonic significance of Carboniferous volcanic rocks in the northern part of the Ili Block, Xinjiang. Chinese Geology, 33(3): 498 – 508 (in Chinese with English abstract)

Wang BX, Li ZN, Zhao GZn, Wang FB, Zhang SZ and Fei WH. 1989. Geochemical characteristics of granitoids in the eastern sector of the northern Tianshan Mountains, Xinjiang. Acta Geologica Sinica, 63 (3): 236 – 245 (in Chinese with English abstract)

Wang CL, Wei HM, Sun JD, Wang QQ and Yu FC. 1993. Genetic types of the variscan deposits-controlling granites in northern Boluohuoluo Mountains. Journal of Xi'an College of Geology, 15(4): 74 – 79 (in Chinese with English abstract)

Wang RS, Zhou DW, Wang Y, Wang JL, Sang HQ and Zhang RH. 2003. Geochronology for the muitiple-stage metamorphism of high-pressure terrane of granulite facies from Yushugou area, south Tianshan. Acta Petrologica Sinica, 19(3): 452 – 460 (in Chinese with English abstract)

Wei GY and Xu GL. 1997. Geochemical characteristics of the granites in collision belt from the Baishan region of Xinjiang. Journal of Mineralogy and Petrology, 17(4): 33 – 38 (in Chinese with English abstract)

Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis, London Unwin Hyman. 456 – 466

Windley BF, Allen MB, Zhang C *et al.* 1990. Paleozoic accretion and Cenozoic redeformation of the Chinese Tien Shan range, Central Asia. Geology, 18: 128 – 131

Wu CZ, Zhang ZZ, Zaw K, Della-Pasque F, Tang JH, Zheng YC, Wang CS and San JZ. 2006. Geochronology, geochemistry and tectonic significances of the Hongyuntan granitoids in the Qoltag area, Eastern Tianshan. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1121 – 1134 (in Chinese with English abstract)

Wu WK, Jiang CY, Yang F ang Li LC. 1992. The Yushugou-Tonghuashan structural mixtite in Xinjiang. Journal of Xi'an College of Geology, 14(1): 8 – 13 (in Chinese with English abstract)

Wu YB, and Zheng YF. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. Chinese Science Bulletin, 49(16): 1589 – 1604 (in Chinese)

Xia LQ, Xia ZC, Xu XY, Li XM, Ma ZP and Wang LS. 2004a. Carboniferous Tianshan igneous megaprovince and mantle plume. Geological Bulletin of China, 23(9 – 10): 903 – 910 (in Chinese with English abstract)

Xia LQ, Xu XY, Xia ZC, Li XM, Ma ZP and Wang LS. 2003. Carboniferous post-collisional rift volcanism of the Tianshan Mountains, Northwestern China. Acta Geologica Sinica 77(3): 338 – 360

Xia LQ, Xu XY, Xia ZC, Li XM, Ma ZP and Wang LS. 2004. Petrogenesis of Carboniferous rift-related volcanic rocks in the Tianshan, northwestern China. GSA Bulletin, 116(3 – 4), 419 – 433

Xia LQ, Zhang GW, Xia ZC, Xu XY, Dong YP and Li XM. 2002. Constraints on the timing of opening and closing of the Tianshan Paleozoic oceanic basin: Evidence from Sinian and Carboniferous volcanic rocks. Geological Bulletin of China 21(2): 55 – 62 (in Chinese with English abstract)

Xia ZC, Xu XY, Xia LQ, Li XM, Ma ZP and Wang LS. 2005. Geochemistry of the Carboniferous-Permian post-collisional granitic rocks from Tianshan. Northwestern Geology, 38(1): 1 – 14 (in Chinese with English abstract)

Xiao WJ, Zhang LC, Qin KZ, Sun S and Li JL. 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the eastern Tianshan (China): Implications for the continental grouth of Central Asia. American Journal of Science, 304: 370 – 395

Xiao XC, Tang YQ, Feng YM, Zhu BQ, Li JY and Zhao M. 1992. Tectonic evolution of the northern Xinjiang and its adjacent regions. Beijing: Geology Publishing House, 12 – 47 (in Chinese with English abstract)

Xu XY, Li XM, Ma ZP, Xia LQ, Xia ZC and Peng SX. 2006a. LA-ICPMS zircon U-Pb dating of gabbro from the Bayingou ophiolite in the Northern Tianshan Mountains. Acta geologica sinica, 80(8): 1168 – 1176 (in Chinese with English abstract)

Xu XY, Ma ZP, Li XM, Xia ZC, Xia LQ and Wang LS. 2005a. Discussion of the sources and characteristics on Sr, Nd, Pb isotopes of the Carboniferous to Permian post-collision granites from Tianshan. Northwestern Geology, 38(2): 1 – 18 (in Chinese with English abstract)

Xu XY, Ma ZP, Xia LQ, Wang YB, Li XM, Xia ZC and Wang LS. 2005b. SHRIMP Dating of Plagiogranite from Bayingou Ophiolite in the Northern Tianshan Mountains. Geological Review, 51(5): 523 – 527 (in Chinese with English abstract)

Xu XY, Ma ZP, Xia ZC, Xia LQ, Li XM and Wang LS. 2006b. TIMS U-Pb isotopic dating and geochemical characteristics of Paleozoic granitic rocks from the Middle-Western Section of Tianshan. Northwestern Geology, 39(1): 50 – 75 (in Chinese with English abstract)

Xu XY, Xia LQ, Ma ZP, Xia ZC, Li XM and Wang LS. 2006c. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of the plagiogranites from Bayingou ophiolite in North Tianshan Mountains and the petrogenesis of the ophiolite. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 83 – 94 (in Chinese with English abstract)

Yang TN, Li JY, Sun GH and Wang YB. 2006. Earlier Devonian active continental arc in Central Tianshan: Evidence of geochemical analyses and Zircon SHRIMP dating on mylonitized granitic rock. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 41 – 48 (in Chinese with English abstract)

Zhang JS and Li ZC. 2006. Tectonic Setting of the Dahalajunshan Formation volcanic rocks in Awulale of west Tianshan. Gansu Geology, 15(2): 10 – 14 (in Chinese with English abstract)

Zhang LF, Ai YL, Li Q, Li XP, Song SG and Wei CJ. 2005. The formation and tectonic evolution of UHP metamorphic belt in southwestern Tianshan, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 21(4): 1029 – 1038 (in Chinese with English abstract)

Zhang LF, Ai YL, Li XP, Rubatto D, Song B, Williams S, Song SG, Ellis D, and Liou JG. 2007. Triassic collision of western Tianshan orogenic belt, China: Evidence from SHRIMP U-Pb dating of zircon from HP/UHP eclogitic rocks. Lithos, in press

Zhang XM, Wang DG and Li G. 2006. SHRIMP U-Pb dating of zircons from the east Shalong monzogranite in Kumtag, East Tianshan, Xinjiang, China. Geological Bulletin of China, 25(8): 957 – 959 (in Chinese with English abstract)

Zhang ZJ, Chen YJ, Chen HY, Bao JX and Liu YL. 2002. The Petrochemical characteristics of the Hercynian granitoids in Tianshan and its geodynamic implications. Journal of Mineralogy and Petrology, 22(2): 13 – 21 (in Chinese with English abstract)

Zhao ZH, Bai ZH, Xiong XL, Mei HJ and Wang YX. 2003. $^{40}Ar/^{39}Ar$ chronological study of Late Paleozoic volcanic-hypabyssal igneous rocks in western Tianshan, Xinjiang. Geochimica, 32(4): 317 – 327 (in Chinese with English abstract)

Zhao ZH, Wang Q, Xiong XL, Zhang HX, Niu HC, Xu JF, Bai ZH and Qiao YL. 2006. Two types of adakites in north Xinjiang, China. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1249 – 1265 (in Chinese with English abstract)

Zhou D, Graham SA, Chang EZ, Wang BY and Hacker B. 2001. Paleozoic tectonic amalgamation of the Chinese Tianshan: Evidence from a transect along the Dushanzi-Kuqa highway. In: Hendrix MS and Davis GA (eds). Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of central Asia: From continental assembly to intracontinental deformation. Boulder, Colorado, Geological Society of America Memoir, 194: 23 – 46

Zhou DW, Su L, Jian P, Wang RS, Liu XM, Lu GX and Wang JL. 2004. Zircon U-Pb SHRIMP ages of Yushugou ophiolitic terrane in Southern Tianshan and their tectonic implications. Chinese Science Bulletin, 49(14): 1411 – 1415 (in Chinese)

Zhou ZL, Gao SH and Liu ZZ. 1999. West-South Tianshan Mountain orogenic belt and foreland basin systems. Geoscience Journal of Gradnate School, China Universities of Geoscience, 13(3): 275 – 280 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF, and Song B. 2006. Petrology and SHRIMP chronology mylonitized Tianger granite, Xinjiang: Also about the dating on hydrothermal zircon tim in granite. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 135 – 144 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF, Zhang LF, Gu LB, Guo X and Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains, Chinese Science Bulletin 50(19): 2201 – 2212

Zhu YF, Zhou J and Guo X. 2006a. Petrology and Sr-Nd isotopic geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in the western Tianshan Mountains, NW China. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1341 – 1350 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF, Zhou J, Song B, Zhang LF and Guo X. 2006b. Age of the "Dahalajunshan" Formation in Xinjiang and its disintegration. Geology in China, 33(3): 487 – 497 (in Chinese with English abstract)

Zhu ZW, Mao GL, Wu LY and Yi CF. 2006. Definition and significance of the Carboniferous Huiyu island arc granite in the Arqishan area, Eastern Tianshan. Shaanxi Geology, 24(1): 27 – 36 (in Chinese with English abstract)

Zhu ZX, Wang KZ, Zheng YJ, Sun GH, Zhang C and Li YP. 2006. Zircon SHRIMP dating of Silurian and Devonian granitic intrusions in the southern Yili block, Xinjiang and preliminary discussion on their tectonic setting. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1193 – 1200 (in Chinese with English abstract)

Zonenshain LP, Kuzmin MI and Natapov LM. 1990. Geology of the USSR: A Plate Tectonic Synthesis. AGU Geodynamics Series, 242

附中文参考文献

蔡东升, 卢华复, 贾东, 吴世敏, 陈楚铭. 1996. 南天山蛇绿混杂岩和中天山南缘糜棱岩的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄及其大地构造意义. 地质科学, 31(4): 384 – 390

车自成, 刘洪福, 刘良等. 1994. 中天山造山带的形成与演化. 北京:地质出版社,135

陈衍景, 刘玉琳, 鲍景新, 张增杰, 陈华勇, 蔡文俊, Helmstaedt H. 2004. 西天山艾肯达坂组火山岩系同位素定年及其构造意义. 矿物岩石, 24(1): 52 – 55

崔智林, 梅志超, 屈红军等. 1996. 新疆伊犁盆地上二叠统研究. 高

校地质学报，2(3)：332－338
高俊，龙灵利，钱青，黄德志，苏文，Klemd R. 2006. 南天山：晚古生代还是三叠纪碰撞造山带？岩石学报，22(5)，1049－1061
顾连兴，张遵忠，吴昌志，王银喜，唐俊华，汪传胜，郗爱华，郑远川. 2006. 关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识. 岩石学报，22(5)：1103－1120
郭璇，朱永峰. 2006. 新疆新源县城南石炭纪火山岩岩石学和元素地球化学研究. 高校地质学报，12(1)：62－73
郭召杰，史宏宇，张志诚等. 2005. 新甘交界红柳河蛇绿岩中伸展构造研究及其意义. 自然科学进展，15(2)：192－197
郭召杰，史宏宇，张志诚，张进江. 2006. 新疆甘肃交界红柳河蛇绿岩中伸展构造与古洋盆演化过程. 岩石学报，22(1)：95－102
韩宝幅，洪大卫. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长. 地质论评，44(4)：396－404
韩宝福，何国琦，吴泰然，李惠民. 2004. 天山早古生代花岗岩锆石U-Pb定年、岩石地球化学特征及其大地构造意义. 新疆地质，22(1)：4－11
郝杰，刘小汉. 1993. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义. 地质科学，28(1)：93－95
洪大卫，王式洗，谢锡林等. 2003. 从中亚正 ε_{Nd} 值看超大陆演化和大陆地壳生长的关系. 地质学报，77(2)：203－209
姜常义，穆艳梅，自开寅，赵晓宁，张虹波，黑爱芝. 1999. 南天山花岗岩类的年代学、岩石学、地球化学及其构造环境. 岩石学报，15(2)：298－308
李生虎，杜青. 1994. 乌苏县莫托沟-古尔图蛇绿岩特征. 新疆地质，12(3)：265－271
李文铅，夏斌，王克卓，王茜，王核. 2006. 新疆东天山彩中花岗岩体锆石SHRIMP年龄及地球化学特征. 地质学报，80(1)：43－52
李伍平，姜常义，吴文奎，谢广成. 1995. 西天山海西中期花岗岩的地质特征及其构造环境. 西安地质学院学报，17(4)：1－7
李伍平，王涛，李金宝，康旭，于福生，韩庆军，马忠平. 2001. 东天山红柳河地区海西期花岗岩的岩石学、地球化学及其构造环境. 地质论评，47(4)：368－376
李向东，王克卓. 2000. 中国西天山南缘盆山构造转换解析，新疆地质，18(3)：203－219.
刘本培，王自强，张传恒等. 1996. 西南天山构造格局与演化. 武汉：中国地质大学出版社，1－120
刘静，李永军，王小刚，郭文杰. 2006. 西天山阿吾拉勒一带伊什基里克组火山岩地球化学特征及构造环境. 新疆地质，24(2)：105－108
龙灵利，高俊，熊贤明，钱青. 2006. 南天山库勒湖蛇绿岩地球化学特征及其年龄. 岩石学报，22(1)：65－73
任名华，姜常义. 1990. 天山中段海西中期花岗岩的成岩特征. 西安地质学院学报，12(4)：18－25
邵铁全，石莹，靳红，宋杨，朱志新，王克卓，张建东，徐达. 2006. 新疆西天山大哈拉军山组火山岩岩石化学特征及地质意义. 新疆地质，24(3)：218－222
孙桂华，李锦轶，王德贵，高立明，宋安江. 2006. 东天山阿其克库都克断裂南侧花岗岩和花岗闪长岩锆石SHRIMP U-P测年及其地质意义，地质通报，25(8)：945－952
汤耀庆，高俊，赵民等. 1995. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩. 北京：地质出版社，1－133
王碧香，李兆鼐，赵光赞，王富宝，张水哲，费文恒. 1989. 新疆北天山东段花岗岩类地球化学特征. 地质学报，63(3)：236－245
王博，舒良树，Cluzel D等. 2006. 新疆伊犁北部石炭纪火山岩地球化学特征及其地质意义. 中国地质，33(3)：498－508
王崇礼，隗合明，孙继东，王全庆，于风池. 1993. 博罗霍洛山北坡海西期控矿花岗岩成因类型. 西安地质学院学报，15(4)：74－79
王润三，周鼎武，王焰，王居里，桑海清，张任祜. 2003. 南天山榆树沟高压麻粒岩地体多期变质定年研究. 岩石学报，19(3)：452－460
卫管一，许国琳. 1997. 新疆白山地区碰撞带花岗岩的地球化学特征，矿物岩石，17(4)：33－38
吴昌志，张遵忠，Zaw K，Della-Pasque F，唐俊华，郑远川，汪传胜，三金柱. 2006. 东天山觉罗塔格红云滩花岗岩年代学、地球化学及其构造意义. 岩石学报，22(5)：1121－1134
吴文奎，姜常义，杨复，李良辰. 1992. 南天山榆树沟-铜花山构造混杂体雏议. 西安地质学院学报，14(1)：8－13
吴元保，郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约. 科学通报，49(16)：1589－1604
夏林圻，李向民，徐学义等. 2005a. 巴音沟蛇绿岩岩石成因演化：天山早石炭世"红海型"洋盆的地质记录. 地质学报，79(2)：255－255
夏林圻，夏祖春，徐学义等. 2004. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱. 地质通报，23(9)：903－910
夏林圻，张国伟，夏祖春等. 2002. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束. 地质通报，21(2)：55－62
夏祖春，徐学义，夏林圻等. 2005. 天山石炭-二叠纪后碰撞花岗质岩石地球化学研究. 西北地质，38(1)：1－14
肖序常，汤耀庆，冯益民等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京：地质出版社，12－47
新疆地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔族自治区地质志. 北京：地质出版社
徐学义，李向民，马中平，夏林圻，夏祖春，彭素霞. 2006a. 北天山巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世：来自辉长岩LA-ICPMS锆石U-Pb年龄的证据，地质学报，80(8)：1168－1176
徐学义，马中平，夏林圻等. 2005b. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩锆石SHRIMP测年及其意义. 地质论评，51(5)：523－527
徐学义，马中平，夏祖春，夏林圻，李向民，王立社. 2005a. 天山石炭-二叠纪后碰撞花岗岩的Nd、Sr、Pb同位素源区示踪. 西北地质，38(2)：1－18
徐学义，马中平，夏祖春，夏林圻，李向民，王立社. 2006b. 天山中西段古生代花岗岩TIMS法锆石U-Pb同位素定年及岩石地球化学特征研究. 西北地质，39(1)：50－75
徐学义，夏林圻，马中平等. 2006c. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩SHRIMP锆石U-Pb年龄及蛇绿岩成因研究. 岩石学报，22(1)：83－94
杨天南，李锦轶，孙桂华，王彦斌. 2006. 中天山早泥盆世陆弧：来自花岗质糜棱岩地球化学及SHRIMP-U/Pb定年的证据. 岩石学报，22(1)：41－48

张江苏, 李注苍. 2006. 西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组火山岩构造环境分析. 甘肃地质, 15(2): 10 – 14

张立飞, 艾永亮, 李强, 李旭平, 宋述光, 魏春景. 2005. 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化. 岩石学报, 21(4): 1029 – 1038

张晓梅, 王德贵, 李刚. 2006. 东天山库姆塔格沙垄东二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年. 地质通报, 25(8): 957 – 959

张增杰, 陈衍景, 陈华勇, 鲍景新, 刘玉林. 2002. 天山海西期不同类型花岗岩类岩石化学特征及其地球动力学意义. 矿物岩石, 22(2): 13 – 21

赵振华, 白正华, 熊小林, 梅厚钧, 王一先. 2003. 西天山北部晚古生代火山—浅侵位岩浆岩$^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素定年. 地球化学, 32(4): 317 – 327

赵振华, 王强, 熊小林等. 2006. 新疆北部的两类埃达克岩. 岩石学报, 22(5): 1249 – 1265

周鼎武, 苏犁, 闾平, 王润三, 柳小明, 陆关祥, 王居里. 2004. 南天山榆树沟蛇绿岩地体中高压麻粒岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 科学通报, 49(14): 1411 – 1415

周宗良, 高树海, 刘志忠. 1999. 西南天山造山带与前陆盆地系统. 现代地质, 13(3): 275 – 280

朱永峰,宋彪. 2006. 新疆天格尔(冰达坂)糜棱岩化花岗岩的岩石学及其 SHRIMP 年化学研究: 兼论花岗岩中热液锆石边的定年. 岩石学报,22: 135 – 144

朱永峰, 周晶, 郭璇. 2006a. 西天山石炭纪火山岩岩石学及 Sr-Nd 同位素地球化学研究. 岩石学报, 22(5): 1341 – 1350

朱永峰, 周晶, 宋彪, 张立飞, 郭璇. 2006. 新疆"大哈拉军山组"火山岩的形成时代问题及其解体方案. 中国地质,33(3): 487 – 497

朱增伍, 毛归来, 吴丽云, 尹翠芬. 2006. 东天山阿齐山地区石炭纪汇宇岛弧花岗岩的厘定及意义. 陕西地质, 24(1): 27 – 36

朱志新, 王克卓, 郑玉洁等. 2006b. 新疆伊犁地块南缘志留纪和泥盆纪花岗质侵入体锆石 SHRIMP 定年及其形成时构造背景的初步探讨. 岩石学报, 22(5): 1193 – 1200