

# 新疆天格尔地区碱长花岗岩的地球化学、年代学及其地质意义\*

王居里 王守敬 柳小明

WANG JuLi, WANG ShouJing and LIU XiaoMing

大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 西安 710069

State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

2008-09-12 收稿, 2008-12-31 改回.

Wang JL, Wang SJ and Liu XM. 2009. Geochemistry, geochronology and geological significance of alkali-feldspar granite from Tianger area, Xingjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4): 925–933

**Abstract** The alkali-feldspar granitic pluton occurred in Tianger area, between central Tianshan and northern Tianshan, Xinjiang, which is mainly composed of quartz and perthite, with a little plagioclase and biotite. The granite is characterized by the high  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ), low  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , and moderately peraluminous features, and is relatively enriched in Rb, Th, U,  $\Sigma \text{REE}$  (except Eu), poor in Ba, Sr, P, Ti and Eu. It belongs to post-collisional K-rich calc-alkaline granitoids (KCG), showing the transitional features between K-rich calc-alkaline granitoids and A-type granitoids, and formed in the transitional period from compression to extension of post-collision of Tianshan orogenic belt. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating for the granite yielded an age of  $269.7 \pm 0.7 \text{ Ma}$ , representing the emplacement age of the pluton, indicating that after the closure of the northern Tianshan paleo-ocean basin in the late Carboniferous, the Tianshan orogenic belt got into post-collisional period during the latest stage of Carboniferous to the Middle Permian, signed by large scale dextral strike-slip shear along the northern margin of the central Tianshan, as well as intense ductile shear diagenesis and ore-forming process, and formed gold deposits and ore spots in Tianger gold ore belt. Meanwhile the magma originated from partial melting of crust and mantle material, emplaced along the weak zone between central Tianshan and northern Tianshan.

**Key words** Post-collisional granite; Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; Geotectonic setting; Tianger; Tianshan in Xingjiang

**摘要** 新疆天格尔地区的碱长花岗岩出露于中天山与北天山构造带的结合部位, 主要由石英和条纹长石组成, 含少量斜长石和黑云母。对该岩体进行了全岩主量、微量元素分析和锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年。主量和微量元素分析结果表明, 岩石具有高的  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ )、Rb、Th、U 和  $\Sigma \text{REE}$  (除 Eu 外) 含量, 低的  $\text{CaO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、Ba、Sr、P 和 Eu 含量, 属于富钾钙碱性花岗岩, 具有向 A 型花岗岩过渡的后碰撞富钾钙碱性花岗岩的特征, 形成于天山后碰撞由挤压向拉张构造体制转变的过渡时期。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究获得  $269.7 \pm 0.7 \text{ Ma}$  的岩体侵位年龄, 表明北天山古洋盆于晚石炭世闭合, 天山与准噶尔、塔里木联结成统一的大陆后, 石炭纪末期-中二叠世天山造山带处于挤压向拉张构造体制转变的过渡时期, 在中天山北缘以发生大规模右行走滑剪切带为标志, 形成冰达坂韧性剪切带, 同时发生强烈的韧性剪切成岩成矿作用, 形成天格尔金矿带及其中的诸多金矿床和矿点, 并引起壳、幔物质部分重熔产生岩浆、沿中天山与北天山间的地壳薄弱地带侵位。

**关键词** 后碰撞花岗岩; 锆石 U-Pb 年代学; 构造环境; 天格尔; 新疆天山

**中国法分类号** P588.121; P597.3

\* 国家科技支撑计划重点项目 (2006BAB07B04-05) 和国家科技攻关计划项目 (2003BA612A-06-10-01) 资助。

第一作者简介: 王居里, 男, 1958 年生, 博士, 教授, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: jlwang@nwnu.edu.cn

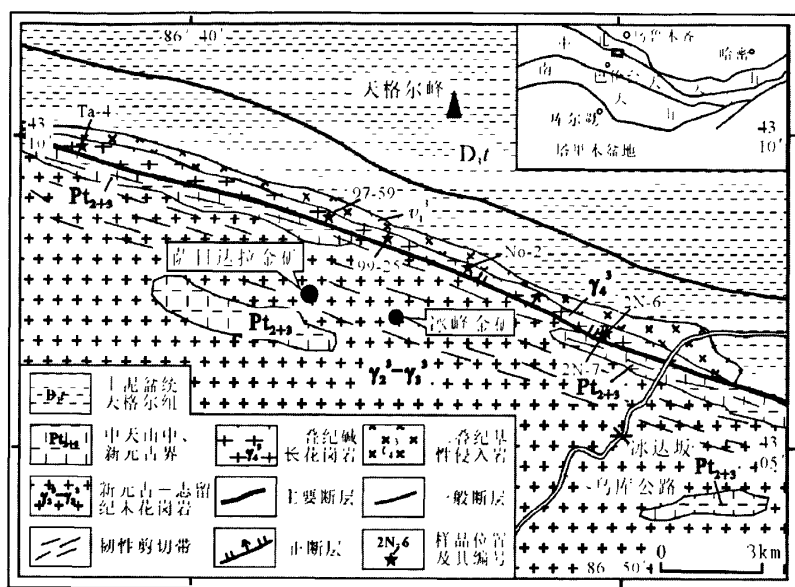


图1 新疆天格尔地区地质矿产略图(据王居里等,2001,修编)

Fig. 1 The sketch map of geology and mineral resources for Tianger area, Xinjiang (modified after Wang *et al.*, 2001)

## 1 引言

新疆天格尔地区的碱长花岗岩出露于中天山与北天山构造带的结合部位,沿中天山北缘断裂带北侧、北天山南缘呈带状分布,与冰达坂韧性剪切带近平行排列。该区交通不便、人迹罕见,地质工作程度较低。早期的地质工作是上世纪六十年代开展的1:20万区域地质调查,“七五”以来,随着国家科技攻关计划等项目(国家三〇五项目等)的实施,持续在该区域开展了找矿评价和基础地质研究。“九五”以来,该区的找矿评价取得重要突破,基础地质研究程度有了明显的提高(王居里等,2001;杨天南等,2006;杨兴科等,2006;朱永峰和宋彪,2006;Zhu *et al.*, 2007)。前人将该区的红色碱长花岗岩形成时代划为华力西晚期(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;王居里等,1995),但缺少可靠的同位素定年数据,也未对其地质、地球化学特征等进行较深入的研究。“九五”期间,在红色碱长花岗岩南侧发现萨日达拉大型金矿床(王居里等,2001),地质研究表明,区内金成矿作用、红色碱长花岗岩的形成都与中天山北缘冰(胜利)达坂韧性剪切带有关。本文在地质研究的基础上,通过对红色碱长花岗岩的地球化学研究和锆石 U-Pb 定年研究,确定岩体的性质、形成时代,为探讨中天山北缘构造演化及其成岩成矿提供约束。

## 2 地质背景及岩相学特征

研究区位于西天山东段天格尔山一带、中天山构造带和

北天山构造带的结合部位,即中天山北缘断裂带及其附近地区。中天山北缘断裂带是中天山和北天山两个不同构造单元的重要分界线,经历了长期而复杂的构造演化,是一条长期活动的,以不同深度层次、不同变形行为和不同运动方向为特征的复合型断裂构造带(王居里等,2001)。该断裂带早期具有微板块缝合带的性质,中期具有右行走滑性质,晚期具有正断层活动特点,现今以冰达坂断裂和冰达坂韧性剪切带为主要标志,总体宽度可达2~5km。该断裂带不仅记录了中天山与北天山两个构造单元的构造演化历史,而且也是区内金成矿的主要控制因素。前人研究表明,冰达坂韧性剪切带经历了早期由北向南的逆冲剪切和晚期近水平右行走滑剪切(王润三和王居里,1992)。冰达坂断裂以南出露中天山中新元古界变质岩系、新元古代花岗岩和加里东晚期花岗岩类(冰达坂复式岩基);冰达坂断裂以北为北天山晚古生代火山-沉积建造,火山岩以安山岩为主,以玄武岩-安山岩-英安岩-流纹岩组合为特征;沉积岩主要是火山碎屑岩、碎屑岩和碳酸盐岩。沿冰达坂断裂北侧分布红色碱长花岗岩和(角闪)辉长岩(图1)。

与冰达坂复式岩基不同,红色碱长花岗岩体沿中天山北缘断裂带北侧呈带状分布,其出露范围在天格尔峰南坡、冰达坂以北由西向东从乔隆格经阿克苏萨依、巴巴嘎萨依、萨日达拉、纳楞夏尔萨依到冰达坂以北,长20余千米,宽200~700m,是区内中天山与北天山构造带之间的标志性地体之一。

区内红色碱长花岗岩主要由石英(25%~30%)、条纹长石(55%~63%)组成,含少量斜长石(4%~8%, $An = 10 \sim 17$ )和黑云母(2%~5%),副矿物为锆石、磷灰石、磁铁矿和

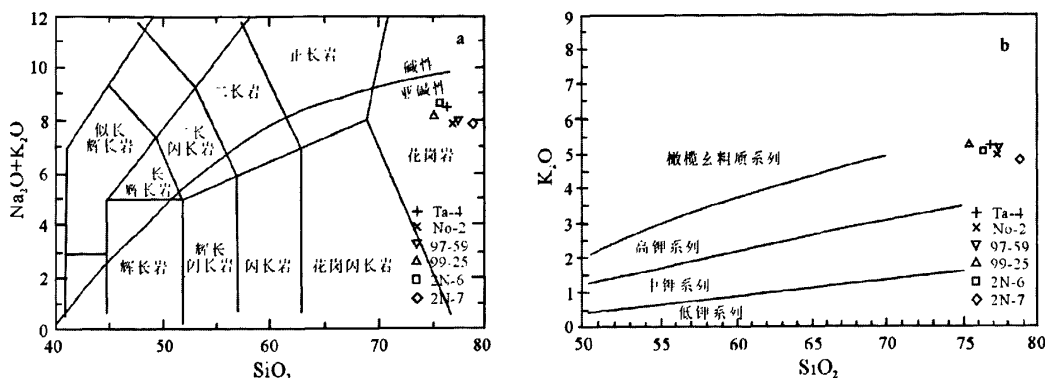


图2 花岗岩  $\text{SiO}_2$ -( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )图解 (a) (据 Middlemost, 1994 和 Irvine and Baragar, 1971) 和  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图解 (b) (据 Peccerillo and Talar, 1976)

Fig. 2  $\text{SiO}_2$ -( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) diagram (a) (after Middlemost, 1994 and Irvine and Baragar, 1971) and  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  diagram (b) (after Peccerillo and Talar, 1976)

粉尘状铁质物等。黑云母主要呈浅黄绿色-暗绿色,属富铁黑云母。岩石主体为半自形粒状结构,块状构造,除发育后期节理外,宏观上构造变形不明显。但薄片观察发现石英多发育带状消光,部分颗粒发育变形纹、亚颗粒化甚至边缘动态重结晶;碱性长石发育显微破裂;酸性斜长石除发育显微破裂外,还发育双晶弯曲、扭折等塑性变形显微构造。岩石总体显示糜棱岩化花岗岩-碎裂花岗岩的变形显微构造特征,且西部塑性变形略强于东部。随着出露位置不同,由西向东岩石中主体矿物粒度减小,由中粒结构(2~4mm,西部)变为中细粒结构(1~3mm,东部)。大量钾长石的存在使岩石呈典型的浅肉红色,外貌特征显著。岩石总体比较新鲜,除碱性长石因高岭石化变得有些混浊外,无其他蚀变。局部岩石蚀变较明显,黑云母多蚀变为白云母或绿泥石并析出较多铁质物,斜长石发生绢云母化,沿岩石显微破裂发生较强烈的碳酸盐化。

### 3 分析方法

岩石的主量和微量元素分析均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。主量元素用样品的碱熔玻璃片在日本理学 RIX2100 XRF 仪上测定,GBW07105 标样监控,元素分析误差 <5%。FeO 用湿法化学分析测定,烧失量(LOI)在烘箱中经 1000℃ 高温烘烤 90 分钟后称重获得。微量元素在美国 Perkin Elmer 公司 Elan 6100DRC 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)上分析测定,样品测试经 BHVO-2、AGV-1、BCR-2、G-2 国际标样监控,多数微量元素的分析精度优于 5%。

定年用锆石样品按常规重力和磁选方法分选,并将分选出的锆石在双目镜下挑纯。选择无色透明、没有包体的锆石用环氧树脂固定,待其充分固化后抛光至锆石露出核部,然

后进行锆石的 CL 显微图像及 LA-ICP-MS 分析。锆石的 CL 图像分析在中国地质科学院矿产资源研究所加载阴极发光装置的电子探针仪上完成。锆石的 U-Pb 同位素组成在西北大学大陆动力学国家重点实验室用德国 MicroLas 公司的 GeoLas 200M 激光剥蚀系统与 Elan 6100DRC ICP-MS 联机上进行测定,分析采用的激光束斑直径为 30μm,激光脉冲为 10Hz,能量为 32~36mJ,激光剥蚀样品的深度为 20~40μm。锆石 U-Pb 年龄测定采用国际标准锆石 91500 作外标。年龄计算及谐和图用 Isoplot (ver2.49) 程序(Ludwig, 1991)完成。详细分析步骤和数据处理方法见袁洪林等(2003)。

### 4 分析结果

#### 4.1 主量及微量元素

天格尔地区碱长花岗岩的主量及微量元素元素分析结果见表 1。岩石  $\text{SiO}_2$  含量高( $\text{SiO}_2$  为 75.56%~79.20%),富碱( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  为 7.68%~8.57%),高钾( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  为 1.17~1.60),低钛( $\text{TiO}_2$  为 0.05%~0.19%),低铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 11.16%~12.55%),贫铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3^T$  为 0.84%~1.87%), $\text{MgO}$  (0.04%~0.29%) 和  $\text{CaO}$  (0.30%~0.69%)。岩石的主量元素组成显示钾质花岗岩的特点,具有亚碱性花岗岩的特征,属高钾钙碱性花岗岩(图 2)。A/CNK 为 0.98~1.10,多属弱过铝质花岗岩(图 3)。

岩石稀土总量中等, $\Sigma \text{REE}$  为  $159.60 \times 10^{-6}$ ~ $205.64 \times 10^{-6}$ ,随采样位置的不同,自西向东样品的稀土元素特征表现出明显的差异,大致可分为三组。一组(样品 97-59,99-25,西部萨日达拉)为轻稀土相对富集型,轻重稀土分异明显,轻稀土比重稀土分异明显,Eu 亏损强烈,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 5.20 \sim 6.57$ ,  $(\text{La}/\text{Sm})_N = 3.39 \sim 3.80$ ,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1.10 \sim 1.25$ ,  $\delta \text{Eu} = 0.120 \sim 0.258$ , 稀土总量较高 ( $195.19 \times 10^{-6}$ ~

表1 天格尔地区碱长花岗岩主量元素(wt%)、微量和稀土元素( $\times 10^{-6}$ )分析结果

Table 1 Major element (wt%) and trace element ( $\times 10^{-6}$ ) contents of the alkali-feldspar granite from Tianger area

样品号	Ta-4	97-59	99-25	No-2	2N-6	2N-7	样品	97-59	99-25	No-2	2N-6	2N-7
SiO <sub>2</sub>	77.09	77.82	75.56	77.41	76.72	79.20	Cs	2.89	3.51		2.89	2.82
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.10	0.19	0.13	0.06	0.05	Ba	92.0	281		13.5	7.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.92	11.29	12.32	12.36	12.55	11.16	Hf	5.88	6.59		1.72	1.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>		1.17	1.87		1.17	0.84	Ta	1.51	1.16		7.73	5.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23			0.42			Pb	28.7	44.8		1.46	0.95
FeO	1.20	0.80	1.38	0.84			Th	23.7	21.0		29.3	26.4
MnO	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	U	4.4	6.7		52.6	37.6
MgO	0.29	0.09	0.22	0.07	0.04	0.06	La	34.2	38.9	33.3	15.1	17.9
CaO	0.69	0.53	0.67	0.51	0.30	0.37	Ce	86.8	90.6	62.6	42.7	52.1
Na <sub>2</sub> O	3.27	3.24	3.12	3.18	3.95	3.38	Pr	9.45	10.1	7.93	6.00	6.97
K <sub>2</sub> O	4.95	4.79	5.00	4.68	4.62	4.30	Nd	32.7	34.7	32.7	25.9	28.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.01	0.04	0.02	0.00	0.01	Sm	6.51	6.60	7.00	9.01	8.97
烧失量	0.39	0.61	0.73	0.53	0.41	0.41	Eu	0.25	0.55	0.28	0.016	0.0031
总量	100.26	99.67	99.75	100.17	99.86	99.78	Gd	6.28	6.42	8.19	12.1	10.88
V		3.03	8.31		1.30	0.26	Tb	1.04	1.02	1.48	2.30	1.97
Cr		1.35	1.84		1.96	1.33	Dy	6.50	6.21	10.1	16.2	13.5
Co		95.1	56.2		171	154	Ho	1.43	1.32	2.27	3.75	3.09
Ni		2.10	1.87		2.39	2.02	Er	3.95	3.72	6.63	11.2	9.19
Ga		15.5	17.0		20.9	18.1	Tm	0.65	0.59	1.02	1.73	1.41
Rb		226	204		297	289	Yb	4.72	4.25	6.77	12.1	9.93
Sr		14.3	34.3		19.0	20.9	Lu	0.71	0.66	0.96	1.72	1.38
Y		43.0	40.9		100	83.9	ΣREE	195.19	205.64	181.23	159.60	165.90
Zr		164	216		140	89.5	(La/Yb) <sub>N</sub>	5.20	6.57	3.53	0.89	1.29
Nb		15.3	12.0		17.9	12.1	δEu	0.120	0.258	0.113	0.005	0.001

Ta-4 (阿斯克萨依)、No-2 (纳楞夏尔萨依) 据文献①, 主量元素由陕西省地质矿产局测试中心用化学湿法分析; 稀土元素由中国科学院高能物理研究所 INAA 法分析, 其中 Pr、Dy、Er 含量为内插法计算值; 其余为本文分析

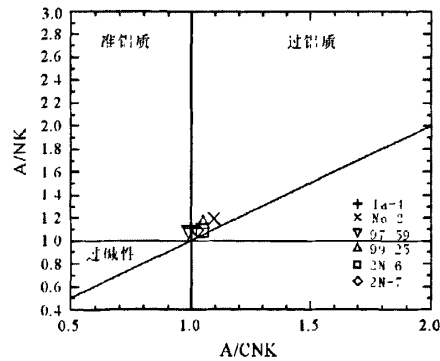


图3 花岗岩 A/CNK-A/NK 图解

Fig. 3 A/CNK-A/NK diagram for granites

$205.64 \times 10^{-6}$ ); 另一组 (样品 2N-6, 2N-7, 东部冰达坂北) 为重稀土相对富集型, 轻重稀土、轻稀土、重稀土分异皆不明显, Eu 强烈亏损,  $(La/Yb)_N = 0.89 \sim 1.29$ ,  $(La/Sm)_N = 1.08 \sim 1.29$ ,  $(Gd/Yb)_N = 0.83 \sim 0.91$ ,  $\delta Eu = 0.001 \sim 0.005$ , 稀土总量较低 ( $159.60 \times 10^{-6} \sim 165.90 \times 10^{-6}$ ); 第三组 (样品 No-2, 中部纳楞夏尔) 特征介于前两组之间, 也为轻稀土相对富集型, 但轻重稀土分异较差, 轻稀土比重稀土分异明显, Eu 亏损强烈,  $(La/Yb)_N = 3.53$ ,  $(La/Sm)_N = 3.07$ ,  $(Gd/Yb)_N = 1.00$ ,  $\delta Eu = 0.113$ , 稀土总量介于上述两组之间 ( $181.23 \times 10^{-6}$ )。样品的球粒陨石标准化稀土配分曲线表现为由右倾型向“V”字型过渡 (图 4a)。

在原始地幔标准化蛛网图上 (图 4b), 岩石总体表现出明显富集 Rb、Th、U、K 等大离子不相容元素 (LILE), 强烈亏

① 炎金才, 刘养杰, 王居里等. 1995. 新疆乌鲁木齐县胜利 (冰) 达坂金矿及外围靶区评价研究报告. 新疆维吾尔自治区人民政府国家三〇五项目办公室, 51-56

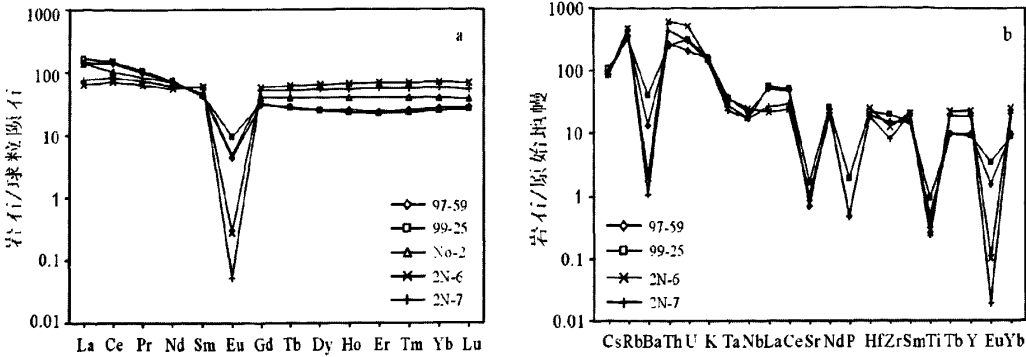


图4 碱长花岗岩稀土元素球粒陨石标准化图解(a)和微量元素原始地幔标准化图解(b) (No-2 数据据炎金才等,1995)  
Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and Primitive mantle-normalized multi-element diagram (b) for the alkali-feldspar granite

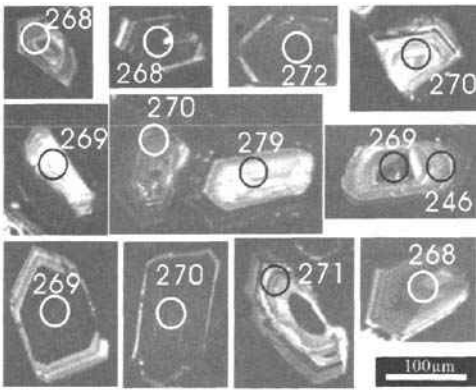


图5 碱长花岗岩锆石阴极发光图像  
Fig.5 CL images of zircons from the alkali-feldspar granite

损 Ba、Sr、P、Ti、Eu 等元素,并具有弱的 Nb 亏损。与稀土元素特征类似,第一组样品与第二组样品的其他微量元素特征也表现出明显的差异,第二组样品比第一组样品明显富集 Rb、Th、U、Tb、Y、Yb 等元素,而更加亏损 Ba、Sr、P、Ti、Eu 等元素。

4.2 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

用于测年的锆石选自样品 99-25,所有锆石均为自形短柱状,柱面发育,透明度较好,颗粒长 150~200μm、宽 50~100μm。锆石的 CL 图像(图 5)显示,锆石内部结构比较均一,基本未见核幔结构,发育韵律环带,具岩浆锆石的特征。大部分锆石边界清晰、平直,基本未受变质作用影响。一些锆石的阴极发光强度很低,可能具有较高的 Th、U、REE 等元素含量(Hanchar and Rudnick, 1995)。对 20 粒锆石的测试结果见表 2。所分析锆石的 Th/U 值为 0.54~1.38,也显示

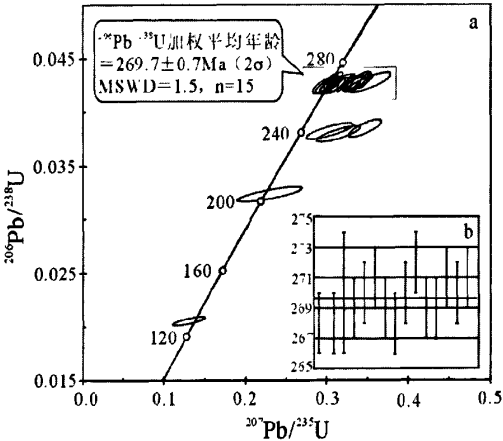


图6 碱长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图  
Fig.6 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram for the alkali-feldspar granite

了岩浆锆石的典型特征(Heaman *et al.*, 1990; Belousova *et al.*, 2002; Wu and Zheng, 2004)。大多数测点的年龄数据都落在一致线及其附近,其中有 15 个点组成一个年龄密集区(图 6a),其<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄值变化于 268 ± 1~272 ± 1Ma 之间,加权平均年龄(图 6b)为 269.7 ± 0.7Ma(2σ),应代表天格尔地区碱长花岗岩的形成年龄。另有个别测点年龄值偏轻,可能是岩体形成后遭受后期事件影响所致,尚不具有明确的地质意义。

5 讨论与结论

5.1 岩石成因类型及形成构造环境

根据样品的岩相学及其主量元素地球化学特征,按照

表2 天格尔地区碱长花岗岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果  
Table 2 LA-ICP-MS U-Th-Pb isotopic data of zircons of the alkali-feldspar granite from Tianger area

测点	元素含量			Th/U	同位素比值						年龄 (Ma)					
	<sup>206</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	
	( × 10 <sup>-6</sup> )	( × 10 <sup>-6</sup> )	( × 10 <sup>-6</sup> )		1		1		1		1		1		1	
99-25.1	66	322	398	0.81	0.05754	0.00151	0.30337	0.0078	0.03824	0.0002	512	59	269	6	242	1
99-25.2	83	379	455	0.83	0.05158	0.00089	0.30232	0.00435	0.04252	0.00022	267	23	268	3	268	1
99-25.3	119	541	655	0.83	0.05326	0.00071	0.31208	0.00301	0.04251	0.00019	340	14	276	2	268	1
99-25.4	40	162	218	0.74	0.05976	0.00133	0.35256	0.00706	0.04279	0.00025	595	33	307	5	270	2
99-25.5	49	208	270	0.77	0.0532	0.00109	0.31268	0.00566	0.04264	0.00024	337	31	276	4	269	1
99-25.6	100	448	552	0.81	0.05745	0.00097	0.33846	0.00477	0.04273	0.00022	509	22	296	4	270	1
99-25.7	35	117	215	0.54	0.06529	0.0012	0.34652	0.00546	0.0385	0.00022	784	23	302	4	244	1
99-25.8	886	4639	4873	0.95	0.05559	0.00057	0.32868	0.00162	0.04289	0.00018	436	5	289	1	271	1
99-25.9	80	505	542	0.93	0.05157	0.00245	0.2301	0.01083	0.03236	0.00019	266	111	210	9	205	1
99-25.10	307	2622	1898	1.38	0.05999	0.00141	0.31417	0.00718	0.03798	0.0002	603	52	277	6	240	1
99-25.11	54	498	511	0.97	0.04605	0.00191	0.13055	0.00537	0.02056	0.00011	—	88	125	5	131	0.7
99-25.12	271	1277	1508	0.85	0.05438	0.00061	0.31937	0.00207	0.04259	0.00018	387	7	281	2	269	1
99-25.13	109	538	608	0.89	0.05188	0.00076	0.30409	0.00344	0.04251	0.00021	280	17	270	3	268	1
99-25.14	295	1567	1638	0.96	0.0514	0.00055	0.30359	0.00177	0.04283	0.00018	259	6	269	1	270	1
99-25.15	422	2003	2338	0.86	0.05254	0.00059	0.31202	0.00212	0.04306	0.00019	309	8	276	2	272	1
99-25.16	51	322	290	1.11	0.05089	0.00088	0.29883	0.00437	0.04258	0.00022	236	24	265	3	269	1
99-25.17	222	1115	1248	0.89	0.05552	0.0006	0.32672	0.002	0.04266	0.00018	433	7	287	2	269	1
99-25.18	92	400	514	0.78	0.05725	0.00086	0.33933	0.00401	0.04297	0.00022	501	17	297	3	271	1
99-25.19	144	701	812	0.86	0.05647	0.00071	0.33274	0.00291	0.04271	0.0002	471	11	292	2	270	1
99-25.20	389	1860	2192	0.85	0.05845	0.00064	0.34616	0.00218	0.04293	0.00019	547	7	302	2	271	1

Barbarin(1999)的分类方案,天格尔地区碱长花岗岩应属富钾钙碱性花岗岩(KCG)。

天格尔地区碱长花岗岩的稀土元素特征(图4a)总体上显示强烈分异花岗岩的特征,而且具有一定的变化趋势。随岩石出露位置不同,由西向东岩石的稀土总量减少,轻稀土富集程度降低,重稀土富集程度增高,由轻稀土相对富集向重稀土相对富集变化, Eu 亏损程度越来越强烈。在微量元素蛛网图(图4b)上,岩石明显富集 Cs、Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素(LILE),强烈亏损 Ba、Sr、P、Ti、Eu 等元素,并具有弱的 Nb 亏损,具有与后碰撞钾质花岗岩(Küster and Harms, 1998)类似的特征。而且由西向东岩石的微量元素特征也表现出明显的变化趋势,Rb、Th、U、Tb、Y、Yb 等元素的富集程度逐渐增高,Ba、Sr、P、Ti、Eu 等元素的亏损程度越来越强烈。岩石的稀土、微量元素特征显示出强烈分异的富钾花岗岩的特征,从西向东岩浆的结晶分异程度越来越高。致使岩体东部样品(2N-6、2N-7)显示出 A 型花岗岩的某些特征(Collins *et al.*, 1982;Nédélec *et al.*, 1995),但岩体不具有典型 A 型花岗岩的岩相学特征,而且高度分异的 I 型和 S 型花岗岩也可具有与典型的 A 型花岗岩部分一致的主元素和微量元素特征(Whalen *et al.*, 1987)。因此,岩石显示出向 A 型花岗岩过渡的后碰撞富钾钙碱性花岗岩(王涛等, 2005)的特征,但不属于典型的 A 型花岗岩,应属富钾钙碱性花岗岩或高分异钙碱性花岗岩。

富钾钙碱性岩岩浆是后碰撞岩浆活动的重要特征之一

(Liégeios *et al.*, 1998)。考虑到在微量元素构造环境判别图解上,后碰撞花岗岩类可落在多种构造环境区域,仅依靠花岗岩类构造环境的地球化学判别图解会得出似是而非的结果(韩宝福,2007),本文主要依据花岗岩的空间分布、产状、岩石特征及其形成年龄,结合区域构造演化和适当的构造环境判别图解来探讨区内碱长花岗岩的形成构造环境。天格尔地区碱长花岗岩主要沿北天山南缘、中天山北缘复合型断裂带北侧的冰达坂脆性断裂分布,空间上呈带状展布,具有在相对拉张环境下被动定位的后构造特点。根据前述岩相学特征,岩石宏观构造与显微构造不匹配,表明岩体在成岩过程中和成岩期后曾分别受到过不同的应力作用,岩石中发育的前述变形显微构造很可能是成岩晚期伴随的区域应力造成的;成岩期后伴随地壳抬升,岩体仅发生过一些脆性破裂,没有遭受大规模剪切变形改造。岩体的产出特征及其显微构造特征说明,岩浆活动应起源于碰撞后由挤压向拉张转变的构造演化过程,这一时期沿中天山北缘发生的大规模走滑剪切作用控制了岩浆的形成和上升侵位。岩体在主碰撞挤压后大规模近水平右行走滑剪切期间侵位,代表典型的后碰撞岩浆活动(Liégeios *et al.*, 1998)。在碱长花岗岩北侧相邻位置,与其平行分布着一条辉长岩带。目前尚缺乏对该辉长岩带的较详细的研究,但岩相学研究表明,该辉长岩带中岩石新鲜,基本未变形、变质,多含一定量的角闪石。因此推断区内辉长岩和碱长花岗岩应该是共生关系,很可能是同期构造演化过程中深成岩浆活动形成的双峰式岩石组合。这

种共生组合关系也是富钾钙碱性花岗岩的主要特征之一(Barbarin, 1999), 显示后碰撞深成岩浆作用的多样性和复杂性(韩宝福, 2007)。在  $R_1$ - $R_2$  图解(图 7)上, 投点位于同造山花岗岩与造山期后 A 型花岗岩之间靠近造山期后 A 型花岗岩的区域。

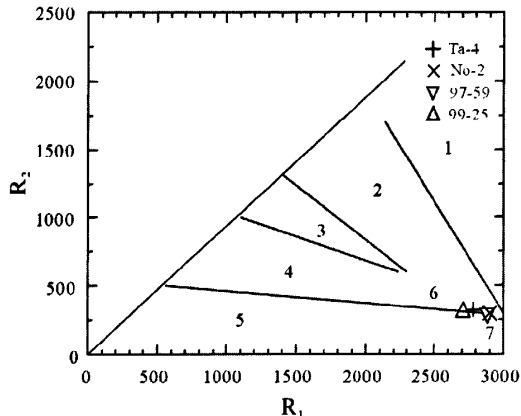


图 7 碱长花岗岩  $R_1$ - $R_2$  图解(据 Batchelor and Bowden, 1985)

1-幔源花岗岩; 2-板块碰撞前消减地区花岗岩; 3-板块碰撞后隆起期花岗岩; 4-造山晚期花岗岩; 5-非造山区 A 型花岗岩; 6-同造山花岗岩; 7-造山期后 A 型花岗岩;  $R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(\Sigma Fe + Ti)$ ;  $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$  (均为原子数); Ta-4, No-2 数据据炎才等, 1995

Fig. 7  $R_1$ - $R_2$  tectonic discrimination diagram (after Batchelor and Bowden, 1985)

综合考虑天格尔地区碱长花岗岩的产状、岩相学及地球化学特征, 认为该岩体属于富钾钙碱性花岗岩或高分异钙碱性花岗岩, 具有向 A 型花岗岩过渡的特点, 形成于天山造山带构造体制由挤压向拉张转变的过渡时期, 其形成与中天山北缘大规模右行走滑剪切有关。

本文所获得的碱长花岗岩  $269.7 \pm 0.7$  Ma 的锆石 U-Pb 年龄与杨兴科等(2006)报道的天山冰达坂-后峡一带二叠纪火山岩(中基性-酸性火山岩组合)的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄( $272\text{Ma} \pm 4\text{Ma}$ )基本一致, 均属中二叠世。杨兴科等(2006)认为, 该套火山岩形成于早中二叠世造山后期深部热力塌陷火山喷发环境。二者出露于相同的大地构造位置, 沿北天山南缘由西向东分布, 应该都是天山后碰撞岩浆作用的产物。这些年龄代表的地质事件与天山大地构造演化格架(李锦铁等, 2006)相吻合。因此有理由认为, 二者是北天山有限洋盆闭合后, 区内构造体制由挤压向拉张转换过程的产物。该期岩浆活动在南天山也有强烈表现, 姜常义等(1999)曾获得南天山碱长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄值为  $264.6 \pm 1.2$  Ma 和  $259.9 \pm 2.6$  Ma, 说明同期岩浆活动并非局部现象, 天山造山带后碰撞岩浆活动在北天山和南天山都有强烈表现。

## 5.2 后碰撞构造演化及其成岩成矿作用

前人研究成果表明, 石炭纪晚期天山古洋盆闭合(张良臣和吴乃元, 1985; 王作勋等, 1986; 姜常义等, 1993; 何国琦等, 1994; 陈哲夫等, 1997; 秦克章等, 1999; 李锦铁等, 2006), 这一重大地质事件的发生, 结束了天山山脉板块构造演化历史, 将天山与准噶尔、塔里木联结成统一的大陆(姜常义等, 1999), 接着发生了由挤压向伸展转变的构造体制转换。这一构造体制转换在研究区内的重要构造标志是沿中天山北缘发生的大规模近水平右行走滑剪切, 形成冰达坂韧性剪切带(王润三和王居里, 1992), 并发生相应的成岩成矿作用。

舒良树等(1998)将中天山北缘大型走滑剪切的时代限定在晚石炭世到早二叠世之间, 李华芹等在天格尔金矿带东部的望峰金矿区获得冰达坂韧性剪切带的形成时代为  $310 \pm 10$  Ma, 受剪切带控制的金矿成矿时代为  $290 \sim 270$  Ma(李华芹等, 1998), 金成矿年龄的上限与本文获得的碱长花岗岩的形成年龄一致。地质事实 and 同位素年龄表明, 区内红色碱长花岗岩的形成以及金矿床的形成都与天山造山带构造演化密切相关, 形成于构造体制由挤压向拉张转变的特定时期和地质环境。

大约晚石炭世中期开始, 天山造山带造山高峰期结束, 区内处于由挤压向拉张构造体制转变的过渡时期, 沿中天山与北天山的结合部位形成大规模走滑型韧性剪切带——冰达坂韧性剪切带, 伴随韧性剪切作用的发展和演化, 一方面发生了金的活化、迁移和富集, 形成萨日达拉金矿、冰峰金矿以及冰达坂以东的望峰金矿等矿床及其他矿点; 另一方面碰撞峰期后的松弛使区域岩石承受的压力降低, 大规模走滑剪切产生的热以及深部上升热流使壳、幔物质发生部分重熔产生岩浆, 沿剪切带两侧的相对薄弱地带聚积, 侵位(或喷发)、成岩, 形成区内碱长花岗岩、辉长岩及邻区的火山岩。构成区内后碰撞时期构造体制转换过程中发生的强烈的韧性剪切成岩成矿作用, 这一过程一直延续到中二叠世。这一重要地质事件也为反演天山造山带的形成演化历史提供了重要证据。新疆北部后碰撞伸展阶段和挤压-伸展转变期这一重要地质演化时期, 也是大规模成矿的高峰期(Qin et al., 2005; 王京彬和徐新, 2006)。

天格尔地区碱长花岗岩及其相邻基性侵入岩体的形成表明, 石炭纪末-中二叠世该区可能发生较强烈的壳幔相互作用, 这一作用为区内大规模成岩成矿作用提供了热动力源和物源。

## 5.3 结论

(1) 新疆天山天格尔地区红色碱长花岗岩属于富钾钙碱性花岗岩, 具有向 A 型花岗岩过渡的后碰撞富钾花岗岩的特征。是天山造山带后碰撞演化阶段的产物, 其形成年龄为  $269.7 \pm 0.7$  Ma。

(2) 石炭纪末-中二叠世, 天山造山带处于挤压向拉张构

造体制转变的过渡时期,在中天山北缘以发生大规模右行走滑剪切带为标志,形成冰达坂韧性剪切带,伴随剪切作用发生强烈的韧性剪切成岩成矿作用。天格尔金矿带萨日达拉金矿、冰峰金矿和冰达坂以东的望峰金矿的形成与其北侧的红色碱长花岗岩及基性侵入岩的形成是区内构造应力场转换时期同一构造演化过程的不同产物。

**致谢** 就有关问题与张成立教授进行了有益的讨论,两位评审专家朱永峰、姜常义教授对本文进行了认真审阅并提出建设性意见,在此一并致谢!

## References

- Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and geodynamic environments. *Lithos*, 46: 605–626
- Batchelor RA and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multi-cationic parameters. *Chemical Geology*, 48: 43–55
- Belousova E, Suzanne GW and Fisher Y. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143: 602–622
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 1–841 (in Chinese with English abstract)
- Chen ZF, Cheng SD, Liang YH and Xu X. 1997. Opening-Closing Tectonics and Mineralization in Xinjiang. Urumqi: Xinjiang Science Technology and Hygiene Publishing House, 1–394 (in Chinese with English summary)
- Collins WJ, Beams SD, White AJR and Chapell BW. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80: 189–200
- Han BF. 2007. Diverse post-collisional granitoids and their tectonic setting discrimination. *Earth Science Frontiers*, 14(3): 64–72 (in Chinese with English abstract)
- He CQ, Li MS, Liu DQ, Tang YL and Zhou RH. 1994. Paleozoic Crustal Evolution and Mineralization in Xinjiang of China. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House; Hongkong: Educational and cultural Press Ltd., 1–437 (in Chinese with English abstract)
- Heaman LM, Bowins R and Crockett J. 1990. The chemical composition of igneous zircon suites: Implications for geochemical tracer studies. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 1597–1607
- Hanchar JM and Rudnick RL. 1995. Revealing hidden structures: The application of cathodoluminescence and back-scatter electrical imaging to dating zircons from lower crustal xenoliths. *Lithos*, 36: 289–303
- Irvine TN and Baragar WRA. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canad. J. Earth Sci.*, 8: 523–548
- 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 Tianshan Mountain, western China. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 298–308 (in Chinese with English abstract)
- Jiang CY, Wu WK, Xie GC and Li WP. 1993. The character of Carboniferous period volcanic rock and trench-arc-basin system of north part of western Tianshan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 12(3): 224–231 (in Chinese with English abstract)
- Küster D and Harms U. 1998. Post-collisional potassic granitoids from the southern and northwestern parts of the Late Neoproterozoic East African Orogen: A review. *Lithos*, 45: 177–195
- Liégeois JP, Navez J, Hertogen J and Black R. 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkali and peralkaline granitoids. The use of sliding normalization. *Lithos*, 45: 1–28
- Li HQ, Xie CF, Chang HL, Cai H, Zhu JP and Zhou S. 1998. Study on the Metallogenetic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in North Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House, 1–264 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, Wang KZ, Li YP, Sun GH, Chu CH, Li LQ and Zhu ZX. 2006. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains. *Geological Bulletin of China*, 25(8): 895–909 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 1991. Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. US Geological Survey Open-File Report, 39: 91–445
- Middlemost EAK. 1994. Naming materials in magma-igneous rock system. *Earth Sci. Rev.*, 37: 215–224
- Nédélec A, Stephens W E and Fallick A E. 1995. The panafrikan stratioid granites of Madagascar: Alkaline magmatism in a post-collisional extensional setting. *Journal of Petrology*, 36: 1367–1391
- Peccerillo R and Taylor SR. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58: 63–81
- Qin KZ, Sun S, Chen HH and Hao J. 1999. Temporal-spatial distribution framework of metal deposits in northern Xinjiang: Guides of Paleozoic archipelago-style collision orogenic belts. In: Chen HH, Hou QL and Xiao WJ (eds.). *Collision Orogenic Belts of China*. Beijing: China Ocean Press, 183–196 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ, Xiao WJ, Zhang LC, Xu XW, Hao J, Sun S, Li JL and Tosdal R. 2005. Eight stages of major ore deposits in northern Xinjiang, NW-China: Clues and constraints on the tectonic evolution and continental growth of Central Asia. In: Mao JW and Bierlein F (eds.). *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*. Springer, Volume 2: 1327–1330
- Shu LS, Charvet J and Ma RS. 1998. Study of a large scale Paleozoic dextral strike-slip ductile shear zone along the northern margin of the Central Tianshan, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 16(4): 326–336 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 23–31 (in Chinese with English abstract)
- Wang JL, Liu YJ, Zhou DW and Lu GX. 2001. Geological features and origin of Saridala gold deposit, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 20(4): 385–393 (in Chinese with English abstract)
- Wang JL, Yan JC, Wang RS and Liu YJ. 1995. Geochemistry and diagenetic environment of the granitoids in Shenglidaban area, Xinjiang. *Northwest Geoscience*, 16(2): 29–35 (in Chinese with English abstract)
- Wang RS and Wang JL. 1992. Shenglidaban ductile shear zone on the northern margin of the central Tianshan tectonic belt, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 10(3): 204–211 (in Chinese with English abstract)
- Wang T, Hong DW, Tong Y, Han BF and Shi YR. 2005. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai orogen: Its implications for vertical continental growth. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 640–650 (in Chinese with English abstract)
- Wang ZX, Wu JY, L XC, Zhang JG and Liu CD. 1986. General discuss on geotectonic evolution of Tianshan, China. *Bulletin of the Institute of Geology Chinese Academy of Geological Science*, (15): 81–94 (in Chinese with English abstract)
- Whalen JB, Currie KL and Chapell BW. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 404–419
- Wu YB and Zheng YF. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(15): 1554–1569
- Yang TN, Li JY, Sun GH and Wang YB. 2006. Earlier Devonian active continental arc in Central Tianshan: Evidence of geochemical



- analysis and zircon SHRIMP dating on mylonitized granitic rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 41–48 (in Chinese with English abstract)
- Yang XK, Su CQ, Chen H, Zhang HJ, Yan HQ, Li XF and Liu JQ. 2006. Discovery of the Permian volcanic rocks in the Bingdaban-Houxia, Tianshan Mountains, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 25(8): 969–976 (in Chinese with English abstract)
- Yuan HL, Wu FY, Gao S, Liu XM, XU P and SUN DY. 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511–1520 (in Chinese)
- Zhang LC and Wu NY. 1985. The geotectonic and its evolution of Tianshan. *Xinjiang Geology*, 3(3): 1–14 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF and Song B. 2006. Petrology and SHRIMP chronology of mylonitized Tianger granite, Xinjiang: Also about the dating on hydrothermal zircon rim in granite. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 135–144 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zhou J and Zeng YS. 2007. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit, west Tianshan, NW China: Petrographic and geochemical characteristics. *Ore Geology Reviews*, 32: 337–365
- 附中文参考文献**
- 陈哲夫, 成守德, 梁云海, 徐新. 1997. 新疆开合构造与成矿, 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1–394
- 韩宝福. 2007. 后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性. *地学前缘*, 14(3): 64–72
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿, 乌鲁木齐: 新疆人民出版社; 香港: 香港文化教育出版社, 1–437
- 姜常义, 穆艳梅, 白开寅, 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
- 姜常义, 吴文奎, 谢广成, 李伍平. 1993. 西天山北半部石炭纪火山岩特征与沟弧盆体系. *岩石矿物学杂志*, 12(3): 224–231
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 蔡红, 朱家平, 周肃. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 1–264
- 李锦轶, 王克卓, 李亚萍, 孙桂华, 褚春华, 李丽群, 朱志新. 2006. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化. *地质通报*, 25(8): 895–909
- 秦克章, 孙枢, 陈海泓, 郝杰. 1999. 新疆北部金属矿床时空分布格局——古生代多岛海型碰撞造山带的标志. 见: 陈海泓, 侯泉林, 肖文交著: 中国碰撞造山带研究. 北京: 海洋出版社, 183–196
- 舒良树, 夏飞雅克, 马瑞士. 1998. 中天山北缘大型右旋走滑剪切带研究. *新疆地质*, 16(4): 326–336
- 王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿. *地质学报*, 80(1): 23–31
- 王居里, 刘养杰, 周鼎武, 陆关祥. 2001. 新疆萨日达拉金矿地质特征及成因探讨. *矿床地质*, 20(4): 385–393
- 王居里, 炎金才, 王润三, 刘养杰. 1995. 新疆胜利达坂地区花岗岩类的地球化学及成岩环境. *西北地质科学*, 16(2): 29–35
- 王润三, 王居里. 1992. 新疆中天山北缘胜利达坂韧性剪切带. *新疆地质*, 10(3): 204–211
- 王涛, 洪大卫, 童英, 韩宝福, 石玉若. 2005. 中国阿尔泰造山带后造山喇嘛昭花岗岩岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义. *岩石学报*, 21(3): 640–650
- 王作勋, 邹继易, 吕喜朝, 张经国, 刘成德. 1986. 中国天山大地构造演化概述. *中国地质科学院地质研究所所刊*, 第15号, 81–94
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志, 北京: 地质出版社, 1–841
- 杨天南, 李锦轶, 孙桂华, 王彦斌. 2006. 中天山早泥盆世陆弧: 来自花岗岩类地球化学及 SHRIMP-U/Pb 定年的证据. *岩石学报*, 22(1): 41–48
- 杨兴科, 苏春乾, 陈虹, 张鸿剑, 闫海卿, 李新峰, 刘继庆. 2006. 天山冰达坂—后峡一带二叠纪火山岩的发现及其地质意义. *地质通报*, 25(8): 969–976
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. *科学通报*, 48(14): 1511–1520
- 张良臣, 吴乃元. 1985. 天山地质构造及演化史, *新疆地质*, 3(3): 1–14
- 朱永峰, 宋彪. 2006. 新疆天格尔糜棱岩化花岗岩的岩石学及其 SHRIMP 年代学研究: 兼论花岗岩中热液锆石边的定年. *岩石学报*, 22(1): 135–144