塔里木盆地西北缘早二叠世后碰撞花岗质岩浆活动及其构造意义*

罗金海[1] 张敬艺[2] 王 超[1,3] 车自成[1] 刘 良[1]

(1. 西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室 西安 710069; 2. 中国石油冀东油田分公司勘探开发研究院 河北唐山 063004; 3. 西安地质矿产研究所中国地质调查局西安地调中心 西安 710054)

摘 要 塔里木地块西北缘的阔什布拉克钾长花岗岩富碱(Na_2O+K_2O 平均 8.36% >8%),富钾($K_2O/Na_2O=1.27\sim1.47$),准铝质($A/CNK=0.82\sim0.88$),属于高钾钙碱性系列岩浆岩。岩石的稀土含量较高($\Sigma REE=263.90\times10^{-6}\sim445.75\times10^{-6}$),富集 Th、U、Ta、Nb、Hf 和 Y 等高场强元素和大离子亲石元素 Rb,具有强的负 Eu 异常($\delta Eu=0.003\sim0.019$),富集高不相容元素($Zr+Nb+Ce+Y=368\times10^{-6}\sim531\times10^{-6}>350\times10^{-6}$),高 Ga($Ga/Al\times10\ 000=4.17\sim4.72>2.6$),显示出 A 型花岗岩的地球化学特征。岩石 Th/U 比值(平均为 3.86)、Nb/Ta 比值(平均为 12.75)和 Rb-Th 富集、Ti 亏损指示其壳源成因。对花岗岩进行的 LA-ICP-MS 微区原位锆石 U-Pb 定年结果表明,花岗岩的结晶侵位年龄为 275.4±2.8 Ma。综合西南天山与塔里木盆地早二叠世花岗质岩浆活动的特点,认为早二叠世西南天山的后碰撞岩浆活动不仅在西南天山内部引起了强烈的花岗质岩浆活动,而且对塔里木地块西北边缘的花岗质岩浆活动也有显著的影响。阔什布拉克 A 型花岗岩也说明西南天山地区的碰撞造山作用在 275.4±2.8 Ma 之前已经趋于结束,以南天山洋盆为代表的古亚洲洋已基本结束了其演化历史。

关键词 塔里木盆地西北缘 西南天山 早二叠世 后碰撞 花岗岩

中图分类号:P595,P588 **文献标识码**: A **文章编号**: 0563-5020(2010)01-066-14

与塔里木地块西北缘相邻的西南天山是南天山洋盆于晚古生代最终闭合后塔里木地块与伊犁—中天山地块碰撞造山作用的产物。西南天山碰撞造山过程对该地区古亚洲洋构造域的研究具有重要意义。地学界分别从俯冲相关的火山岩、高压-超高压变质岩石和花岗岩等方面研究西南天山的俯冲—碰撞造山过程。中天山南缘那拉提和艾尔宾山地区出露的上志留统巴音布鲁克组(S_3b)岛弧火山岩标志着南天山洋盆向伊犁—中天山地块之下的俯冲活动(Gao et al.,1998)。欧西达坂 421±3 Ma 的岛弧性质花岗质岩体(王超等, 2009)、库米什北侧 402±34 Ma(Rb-Sr 法)的糜棱岩化花岗岩和变形辉长岩中 420±34 Ma(K-Ar 法)的角闪石(马瑞士等, 1993)也都是晚志留世—早泥盆世南天山洋俯冲(—碰撞)作用的反映。库米什南榆树沟 364±5 Ma(锆石 U-Pb 法)的高压麻粒岩地体(王润三等, 1998)和哈尔克山北坡蓝片岩中 350 Ma($^{40}Ar/^{39}Ar$ 法)的蓝闪石(Gao et

* 西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项、国家"973"项目(编号: 2009CB825003)和中国地质调查局"青藏高原前寒武纪地质和古生代构造—古地理综合研究"项目资助。

罗金海,男, 1967 年 5 月生,博士,教授,构造地质学与沉积地质学专业。E-mail: luojh@nwu.edu.cn

2009-03-28 收稿, 2009-07-30 改回。

al.,1998)说明早石炭世初南天山洋盆向北的俯冲活动可能仍在进行。西天山阿克牙子河上游含蓝闪石榴辉岩的 Sm-Nd 矿物—全岩等时线年龄和蓝闪石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄表明,榴辉岩的峰期变质可能发生在早石炭世(345 Ma),结束时间为晚石炭世末(300 Ma±)(高俊等, 2006)。上述研究结果表明,南天山洋盆从晚志留世开始向伊犁—中天山地块之下俯冲,石炭纪末闭合并导致西南天山的碰撞造山作用。但是对昭苏南部超高压榴辉岩的锆石 SHRIMP 研究结果表明,榴辉岩的峰期变质年龄小于 310±5 Ma,南天山洋壳在早二叠世(290 ~280 Ma)开始俯冲,高压-超高压变质作用发生在三叠纪,西南天山是一条晚海西—印支期造山带(张立飞等, 2002, 2005)。近年来在西南天山已发现了大量的晚古生代后碰撞岩浆活动(姜常义等, 1999; 杨富全等, 2001; 刘楚雄等, 2004; 夏祖春等, 2005; 徐学义等, 2005; 王超等, 2007)。具有 A2 型后造山伸展成因的南天山碱长花岗岩的形成年龄为 259.9±2.6 Ma 和 264.6±1.2 Ma(单颗粒锆石 U-Pb 法)(姜常义等, 1999)。对西南天山巴雷公钾长花岗岩的 LA-ICP-MS 微区原位 U-Pb 定年获得了 273±2 Ma 的结晶侵位年龄,南天山造山带后碰撞花岗质岩浆活动主要发生在 282 ~259 Ma 之间,具有从高钾钙碱系列(282 ~266 Ma)向碱性系列(266 ~259 Ma)演化的特征,暗示了南天山后碰撞阶段的造山带垮塌、陆壳连续伸展减薄的过程(王超等, 2007)。在南天山内部广泛发育后碰撞花岗岩的同时,中国南天山从早二叠世开始整体抬升,塔里木盆地西部的海相沉积环境逐渐终止。晚二叠世抬升作用加速,在天山地区广泛发育陆相磨拉石(Gao et al.,1998; Chen et al.,1999)。中亚南天山缝合带两侧相似的上二叠统沉积和动物群化石表明实际的碰撞作用发生于早二叠世(Brookfield, 2000)。南天山洋盆自东向西以剪刀式方式闭合(蔡东升等, 1995; Chen et al.,1999),这种闭合方式导致南天山不同区段的演化进程可能不完全同步。虽然中亚南天山洋盆在早二叠世已基本闭合,但土库曼斯坦境内的"图兰(Turan)"微地块群直到晚三叠世才最终拼贴到欧亚大陆的南部边缘(Garzanti et al.,2002)。

上述关于南天山后碰撞岩浆活动的研究主要是针对南天山造山带内部的花岗质岩浆岩进行的,本文对邻近西南天山且出露在塔里木地块西北缘的阔什布拉克钾长花岗岩进行地球化学和同位素地质年代学研究 (图 1),以期揭示该岩浆活动与西南天山后碰撞岩浆活动的相关性,确定西南天山后碰撞伸展作用对相邻塔里木地块的影响程度,并在此基础上探讨碰撞后的伸展作用对该地区沉积环境的制约。

1　地质背景与样品特征

天山造山带内部发育 3 条不同时代的板块缝合线,从北向南分别是北天山缝合带、尼古拉耶夫线和南天山缝合带。传统的观点认为尼古拉耶夫线主要发育在吉尔吉斯坦境内,近年来,王超等(2007)在阿合奇县巴雷公揭示了 450±2 Ma(锆石 U-Pb LA-ICP-MS 法)的洋岛火山岩和镁铁质岩石,Qian et al. (2009)在昭苏县夏特南部揭示了 516.3±7.4 Ma(锆石 U-Pb SHRIMP 法)的洋脊玄武岩和 470±12 Ma 的埃达克质闪长岩体,说明尼古拉耶夫线沿着汗腾格里峰北坡向东延伸至中国境内,但是由于受到后期强烈的改造,其在中国境内的具体位置仍存在一定的不确定性 (图 1a)。现今分布于伊塞克湖西南部的晚元古代—奥陶纪蛇绿岩片是源自尼古拉耶夫线的向北推覆体,因而尼古拉耶夫

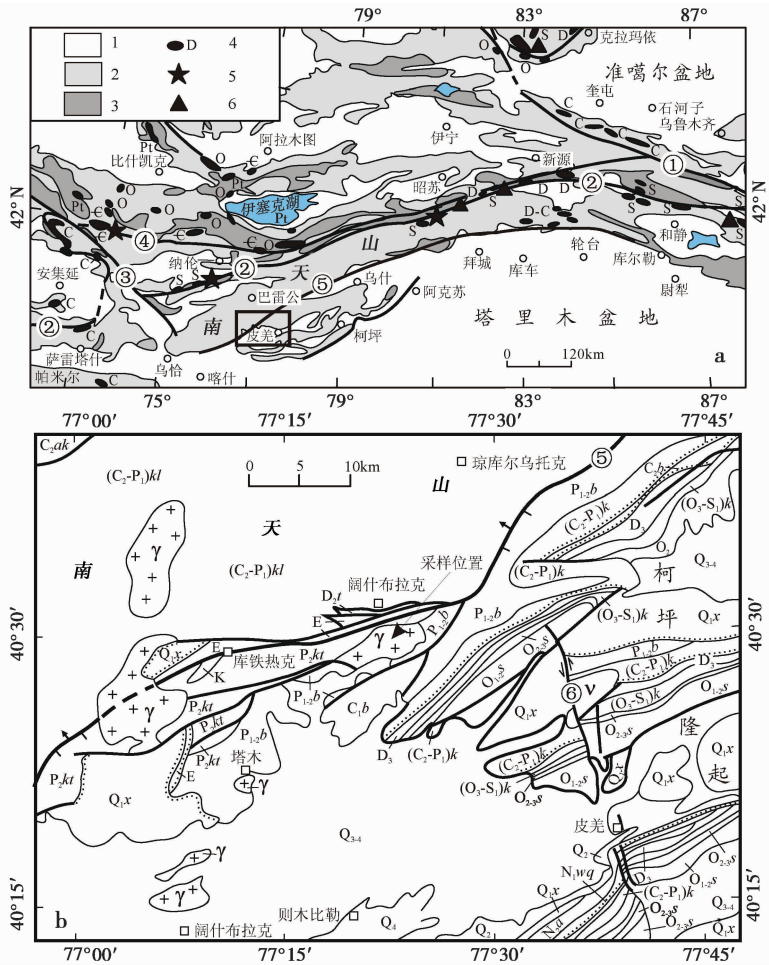


图 1 南天山构造纲要图(a)及阔什布拉克附近地质图(b)

1. 中-新生界, 2. 古生界, 3. 前寒武系, 4. 蛇绿岩或蛇绿混杂岩及其时代, 5. 榴辉岩, 6. 蓝片岩; ①. 中天山北缘断裂(北天山缝合带), ②. 南天山缝合带(中天山南缘断裂), ③. 塔拉斯—费尔干纳断裂, ④. 尼古拉耶夫线(中亚中天山缝合带), ⑤. 南天山南缘断裂, ⑥. 皮羌—萨尔干断裂; $O_{1\text{-}2}s$. 下-中奥陶统上丘里塔格组, $O_{2\text{-}3}s$. 中-上奥陶统萨尔干组, $(O_3—S_1)k$. 上奥陶统—下志留统柯坪塔格组, D_2t. 中泥盆统托格买提组, C_1b. 下石炭统巴什索贡组, C_2b. 上石炭统别跟他乌组, C_2ak. 上石炭统艾克提克群, $(C_2—P_1)k$. 上石炭—下二叠统康克林组, $(C_2—P_1)kl$. 上石炭—下二叠统喀拉治尔金群, $P_{1\text{-}2}b$. 下-中二叠统巴立克立克组, P_2kt. 中二叠统库铁热克群, N_2a. 上新统阿图什组, N_1wq. 中新统乌恰群, Q_1x. 下更新统西域组, γ. 花岗岩, ν. 辉绿岩; 尼古拉耶夫线在中国境内的延伸情况据王超等(2007)和 Qian et al. (2009)等的研究成果

Fig. 1 Structural schematic map of southern Tianshan orogen (upper) and geological map around Kuoshibulak (lower)

线是一条早古生代板块缝合带(Ломизе т. д., 1997; 何国琦等, 2000, 2001),沿该缝合带发育马克巴尔(Makbal)早古生代超高压变质榴辉岩(Tagiri et al.,1995)。中国境内的天山造山带被北天山缝合带和南天山缝合带自北向南划分为北天山、中天山和南天山,中亚境内的天山造山带被尼古拉耶夫线和南天山缝合带自北向南划分为中亚北天山、中亚中天山和南天山,中亚北天山实际对应着中国境内的中天山,南天山在中国境内与中

亚地区都是一致的。南天山是一条晚古生代碰撞造山带,主要出露志留系、泥盆系和石炭系海相碎屑岩和碳酸盐岩,一般轻微变质。

本文的阔什布拉克花岗岩体位于西南天山浊积岩相地层系统与塔里木地块西北缘柯坪隆起地层系统的分界处,采样点位于东经 77°19′32.8″,北纬 40°28′42.5″。花岗岩体呈岩株状产出,岩体西北侧的围岩是中二叠统库铁热克群(P_2kt)浊积岩相细砂岩、页岩夹硅质岩,其东南侧的围岩是下-中二叠统巴立克立克组($P_{1-2}b$)台地边缘相杂色粉砂岩、钙质泥岩、灰岩夹礁灰岩,花岗岩与围岩之间发育角岩化带和夕卡岩化带,花岗岩的侵入关系清楚(图 1b)。

阔什布拉克花岗岩体面积约 20 km^2,呈肉红色,中-粗粒结构,块状构造,主要矿物为钾长石(约 73%)、石英(约 26%),少量黑云母、白云母,副矿物有锆石、磁铁矿和榍石等。岩体中没有明显的变形变质现象。

2　地球化学与同位素地质年代学分析方法

全岩的主量和微量元素分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。主量元素分析在日本理学 RIX2100 X 荧光光谱仪(XRF)上测定,元素分析误差小于 5%。微量和稀土元素分析在美国 Perkin Elmer 公司 Elan 6100DRC 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)上进行,分析精度误差一般小于 5%。

锆石的阴极荧光(CL)图像在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,CL 发光仪为加载于扫描电镜上的英国 Gatan 公司的 Mono CL3+型阴极荧光探头。锆石的 U-Pb 同位素组成利用西北大学大陆动力学国家重点实验室的四极杆 ICP-MS Elan6100DRC 进行测定。激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas 200 M,分析采用激光束斑直径为 30 μm,激光脉冲为 10 Hz,能量为 32 ~ 36 mJ。

3　花岗岩的地球化学特征

阔什布拉克花岗岩的主量与微量元素测试结果见表 1。该花岗岩的常量元素岩石化学特征表现为亚碱性,属高钾钙碱性系列岩浆岩(图 2),岩石的里特曼指数 σ = 1.84 ~ 2.28(平均为 2.08),属于中等强度的钙碱性岩系。岩石的 SiO_2 介于 75.41% ~ 77.48% 之间(平均为 76.55%),Na_2O+K_2O 含量较高(7.97% ~ 8.68%,平均为 8.36%),TiO_2 含量极低(TiO_2 = 0.06% ~ 0.09%,平均为 0.07%),MgO 含量极低(<0.01% ~ 0.04%),贫铁($Fe_2O_3^T$ = 1.10% ~ 2.01%,平均为 1.44%),CaO 含量极低(CaO = 0.44% ~ 0.71%,平均为 0.53%)。Al_2O_3 = 11.45% ~ 12.40%(平均为 11.97%),铝饱和指数 A/CNK = 0.82 ~ 0.88(平均为 0.86),属于准铝质花岗岩。

阔什布拉克花岗岩的稀土含量较高,ΣREE 为 263.90×10^{-6} ~ 445.75×10^{-6}(平均为 336.28×10^{-6}),轻稀土略微富集 $(La/Yb)_N$ = 2.79 ~ 6.42,轻稀土较重稀土分异明显 $(La/Sm)_N$ 为 1.89 ~ 3.58,$(Gd/Yb)_N$ 为 1.04 ~ 1.54,具有强的负 Eu 异常 δEu = 0.003 ~ 0.019(图 3)。在原始地幔标准化蛛网图上(图 4),阔什布拉克花岗岩明显富集 Th、U、Ta、Nb、Hf、Tb、Y、Yb 等高场强元素和大离子关石元素 Rb,强烈亏损 Ba、P、Ti、Zr 等高场强元素和 Cs、K、Sr 等大离子亲石元素,具有低 Sr(2.90×10^{-6} ~ 6.86×10^{-6})高 Yb(6.57×10^{-6} ~

表 1 阔什布拉克钾长花岗岩主量元素/wt% 和微量元素/$\times10^{-6}$分析数据表

Table 1 Major element/wt% and trace element/$\times10^{-6}$ compositions of Kuoshibulak granites

样品	06TXN93	06TXN94	06TXN95	06TXN96	06TXN98	06TXN99	06TXN100	06TXN101	06TXN102
SiO_2	76.87	77.30	76.57	76.06	76.95	75.85	76.47	77.48	75.41
TiO_2	0.06	0.06	0.09	0.07	0.06	0.09	0.07	0.07	0.06
Al_2O_3	11.97	11.82	11.84	12.40	11.84	12.23	12.16	11.45	12.06
Fe_2O_3T	1.10	1.18	1.51	2.01	1.07	1.77	1.34	1.16	1.84
MnO	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
MgO	0.04	<0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03
CaO	0.47	0.49	0.52	0.66	0.49	0.48	0.44	0.50	0.71
Na_2O	3.66	3.55	3.55	3.69	3.69	3.67	3.70	3.50	3.44
K_2O	4.65	4.71	4.63	4.99	4.80	4.72	4.73	4.47	5.05
P_2O_5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
烧失量	0.71	0.42	0.87	0.46	0.60	1.11	1.02	0.92	1.10
总量	99.56	99.55	99.65	100.42	99.55	99.99	99.99	99.60	99.74
Ga	27.2	26.5	28.3	31.0	27.4	29.9	27.2	25.3	29.4
Rb	300	279	292	374	286	320	280	267	349
Sr	6.86	6.23	6.26	2.90	4.48	6.00	6.15	5.19	3.80
Y	71.2	86.8	100	140	73.8	82.7	74.6	66.0	131
Zr	141	151	194	105	150	207	179	150	158
Nb	61.9	52.6	61.4	103	49.8	84.3	52.3	41.3	95.6
Cs	4.66	3.90	4.60	12.2	4.52	6.02	3.78	3.50	7.41
Ba	18.4	29.4	35.1	9.18	17.3	25.9	32.6	31.1	12.0
Hf	7.28	7.65	9.63	6.32	8.09	10.7	8.46	7.03	8.74
Ta	6.27	5.66	5.67	6.70	4.96	8.38	4.41	3.27	7.96
Pb	23.2	18.0	14.0	24.3	21.5	20.5	20.9	19.2	28.0
Th	29.8	31.7	39.7	78.4	33.3	33.3	32.7	26.6	44.1
U	8.80	7.00	9.38	14.9	10.9	9.94	7.65	9.28	11.7
La	52.7	51.4	69.9	54.8	72.9	67.2	54.6	51.4	51.0
Ce	104	129	175	126	149	135	127	111	120
Pr	12.7	16.2	22.1	15.1	16.0	14.3	15.0	12.3	14.3
Nd	43.0	67.1	87.2	63.4	58.9	52.6	59.6	46.7	59.1
Sm	9.75	17.1	20.9	17.7	12.8	12.1	14.4	10.8	16.3
Eu	0.036	0.084	0.10	0.017	0.038	0.050	0.087	0.058	0.026
Gd	9.61	15.9	19.2	18.9	11.9	12.1	13.5	10.6	17.4
Tb	1.78	2.76	3.30	3.47	2.04	2.17	2.34	1.85	3.24
Dy	11.6	16.6	20.2	22.5	12.7	14.1	14.4	11.5	21.0
Ho	2.45	3.33	4.00	4.80	2.69	3.05	2.91	2.42	4.56
Er	6.97	8.88	10.6	13.2	7.55	8.83	7.86	6.62	12.7
Tm	1.06	1.26	1.49	1.92	1.12	1.32	1.12	0.95	1.86
Yb	7.13	8.55	10.0	13.1	7.86	9.39	7.48	6.57	12.7
Lu	1.05	1.14	1.33	1.78	1.08	1.29	1.01	0.90	1.75
ΣREE	263.90	338.87	445.74	356.70	356.53	333.98	320.87	273.88	336.09
δEu	0.011	0.016	0.016	0.003	0.010	0.013	0.019	0.016	0.005
$(La/Yb)_N$	5.12	4.16	4.83	2.89	6.42	4.96	5.05	5.42	2.79
10000Ga/Al	4.29	4.24	4.52	4.72	4.37	4.62	4.23	4.17	4.61

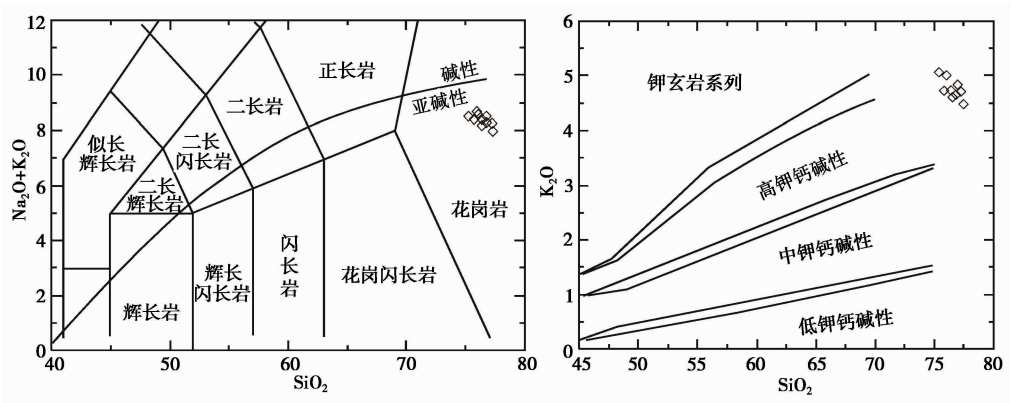


图 2　阔什布拉克钾长花岗岩 $SiO_2-Na_2O+K_2O$ 图解(据 Irvine and Baragar, 1971; Middlemost, 1994)和 SiO_2-K_2O 图解(底图据 Rickwood, 1989)

Fig. 2　$SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ diagram(after Irvine and Baragar, 1971; Middlemost, 1994) and SiO_2-K_2O diagram(after Rickwood, 1989)

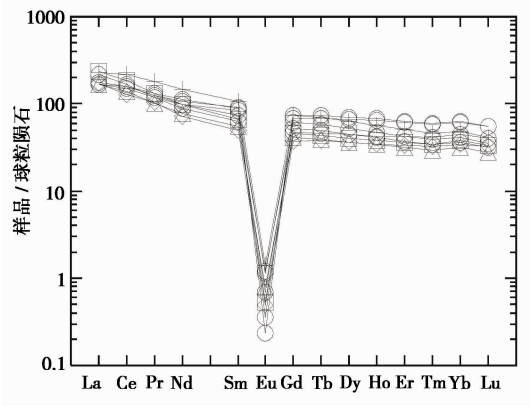


图 3　阔什布拉克花岗岩稀土元素球粒陨石标准化图解(球粒陨石数据值据 Boynton, 1984)

Fig. 3　Chondrite-normalized REE-patterns diageam for Kuoshibulak granites (chondrite data from Boynton, 1984)

31.10×10^{-6})的特点。

4　花岗岩的锆石 U-Pb 年代学

阔什布拉克钾长花岗岩中的锆石呈长柱状,多数呈形态完整的自形晶,具有岩浆锆石特有的韵律环带结构,个别晶体的晶面上有熔蚀凹坑,少数具有暗色残核(图 5)。本文对 11 颗锆石核部进行的激光探针等离子体质谱(LA-ICP-MS)锆石 U-Pb 微区同位素定年分析,分析结果见表 2。11 个测点的年龄数据都落在谐和线附近,其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 282±2 Ma ~ 264±2 Ma 之间,加权平均年龄为 275.4±2.8 Ma(图 6)。对应测点的 Th/U 比值为 0.25 ~ 0.73,普遍大于变质成因锆石的 Th/U 比值(0.002 ~ 0.320, Rubatto, 2002),显示了岩浆成因锆石的特点。

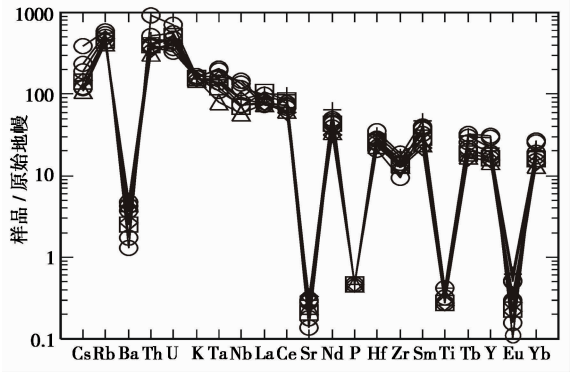


图 4 阔什布拉克花岗岩微量元素原始地幔标准化图解(原始地幔数据值据 Sun and McDonough,1989)

Fig. 4 Primitive-mantle normalized spider diagram for Kuoshibulak granites
(primitive mantle data from Sun and McDonough, 1989)

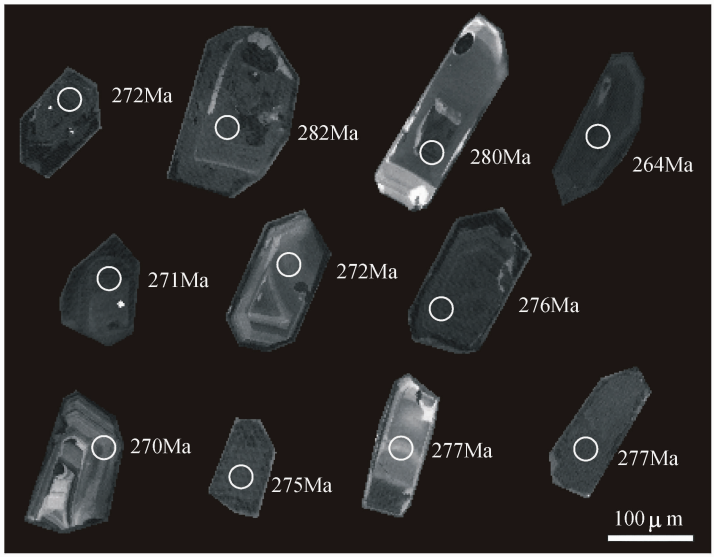


图 5 阔什布拉克钾长花岗岩中锆石的阴极发光(CL)图像(圆圈为测点位置,数字为测点年龄)

Fig. 5 CL images of zircons from the Kuoshibulak granites

5 讨 论

阔什布拉克钾长花岗岩的主量元素地球化学显示准铝质的高钾钙碱性花岗岩(KCG),这类花岗岩一般具有壳幔混合起源,形成于从挤压向伸展转换的地球动力学环境(Barbarin, 1999)。

在 Rb-Y+Nb 图解上,阔什布拉克花岗岩均落入板内花岗岩区域(图 7)。高 SiO_2 含量(平均为 76.55%)、高 Na_2O+K_2O(平均为 8.36%)、高 Fe/Mg 值、高 Ga/Al 值(4.17 ~ 4.72>3.75),富集 Zr、Nb、Ga、Y 和 Ce 等高场强元素而 CaO 和 Sr 含量极低,这些都是 A 型花岗岩的典型特征(Whalen, 1987),在 10000 Ga/Al 与不同元素比值和 Y、Ce、Nb、Zr

表 2　阔什布拉克钾长花岗岩锆石的 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 2　LA-ICP-MS U-Th-Pb isotopic data of zircon from Kuoshibulake granites

测点	Pb^*/ $\times10^{-6}$	^{232}Th/ $\times10^{-6}$	^{238}U/ $\times10^{-6}$	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
					比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ
01	313.05	3847.29	5651.62	0.68	0.05264	0.00122	0.31231	0.00683	0.04303	0.00033	313	54	276	5	272	2
02	120.18	770.63	2382.93	0.32	0.05165	0.00092	0.31789	0.00516	0.04464	0.00033	270	42	280	4	282	2
04	87.02	712.37	1817.75	0.39	0.05378	0.00191	0.32925	0.01136	0.0444	0.00037	362	82	289	9	280	2
05	78.33	482.60	1436.51	0.34	0.0536	0.00137	0.31963	0.00752	0.04188	0.00033	427	57	282	6	264	2
06	68.63	570.64	1303.68	0.44	0.05468	0.00125	0.32356	0.00698	0.04292	0.00033	399	52	285	5	271	2
07	42.52	290.73	1163.70	0.25	0.05477	0.00164	0.32580	0.00935	0.04314	0.00038	403	69	286	7	272	2
08	120.34	873.36	2362.26	0.37	0.05204	0.00096	0.31400	0.00533	0.04376	0.00032	287	43	277	4	276	2
10	8.96	78.89	173.45	0.46	0.05332	0.00194	0.31482	0.01098	0.04280	0.00045	342	60	278	8	270	3
11	238.43	1760.97	4656.24	0.38	0.05248	0.00093	0.31532	0.00511	0.04357	0.00032	306	41	278	4	275	2
12	8.87	98.71	136.08	0.73	0.05162	0.00213	0.31279	0.01244	0.04392	0.00049	269	71	276	10	277	3
13	250.43	1814.77	4719.53	0.38	0.05303	0.00095	0.32096	0.00530	0.04389	0.00032	330	42	283	4	277	2

表中 Pb^* 表示放射成因 Pb

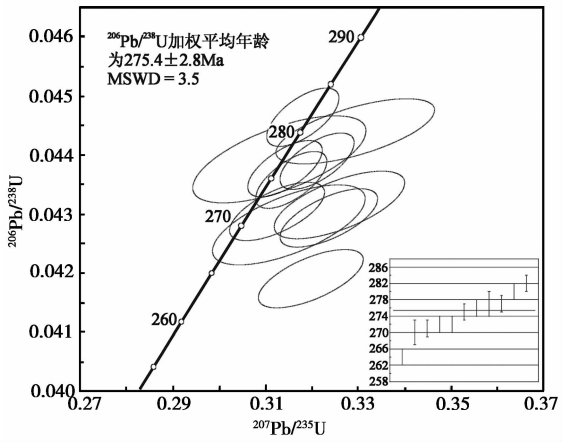


图 6　锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图(样品 06TXN104)

Fig. 6　LA-ICP-MS U-Pb zircon concordia diagram

的图解上也落入 A 型花岗岩区 (图 8)。高的负 Eu 异常(0.00 ~ 0.02)表明源区有大量斜长石残留,很可能斜长石参与了多阶段的分离结晶作用,这与蛛网图上 Sr 的强烈亏损是一致的。蛛网图反映 U 和 Th 都富集,Th/U 比值高(2.86 ~ 5.26,平均为 3.86),表明岩浆分异作用比较强烈。Th/U 比值接近上地壳的平均比值(3.8, Rudnick and Gao, 2003)。由于上地壳富集 Rb 和 Th,阔什布拉克钾长花岗岩富集 Rb 和 Th 可能暗示受到上地壳混染。样品的 Nb/Ta 比值(9.29 ~ 15.42,平均为 12.75)与地壳平均值(12 ~ 13, Barth et al.,2000)相近,低于地幔的比值(约 17.5,Green, 1995),由于金红石对 Nb 和 Ta 具有高的分配系数(D),从而与金红石平衡的流体具有低的 Nb/Ta 比值,因而本文较低

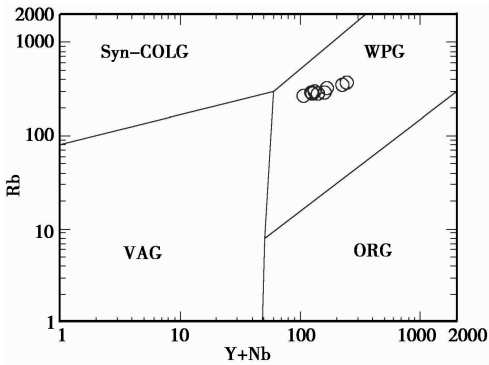


图 7 阔什布拉克钾长花岗岩 Rb-Y+Nb 图解(据 Pearce et al.,1984)

WPG. 板内花岗岩; ORG. 洋中脊花岗岩; VAG. 岛弧花岗岩; COLG. 同碰撞花岗岩

Fig. 7 Rb-Y+Nb diagram of Kuoshibulak granites(after Pearce et al.,1984)

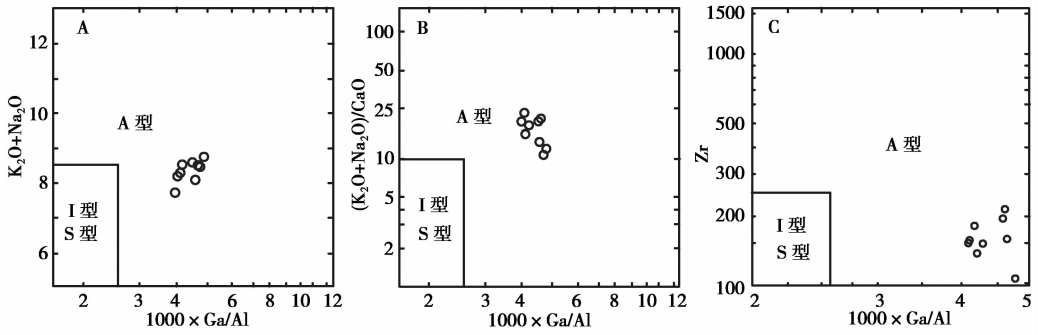


图 8 阔什布拉克花岗岩的 1000×Ga/Al 对 K_2O+Na_2O、$(K_2O+Na_2O)/CaO$ 和 Zr 图解

(底图据 Whalen, 1987)

Fig. 8 1000×Ga/Al vs(K_2O+Na_2O), (K_2O+Na_2O)/CaO and Zr diagrams(after Whalen, 1987)

的 Nb/Ta 比值可能说明流体参与了花岗岩的形成。因此,阔什布拉克钾长花岗岩的微量元素地球化学显示了 A 型花岗岩的特点,虽然 Nb、Ta 富集显示了幔源特点,但主要还是具有壳源的成因特点。

A 型花岗岩的源区可以来自于玄武质岩浆的分异或部分熔融,在成因上直接(如原始岩浆)或间接(提供熔融的热源)的存在地幔的贡献(Turner et al.,1992; Frost et al., 2001); 也可以来自于地壳石英闪长岩或花岗闪长岩组份的部分熔融,并且由于熔融深度和氧逸度不同可以造成 A 型花岗岩组份的多样性(Dall' Agnol and Oliverira, 2007)。阔什布拉克准铝质的高钾钙碱性花岗岩的地球化学特征显示地壳与地幔混源形成的 A 型花岗岩。

本文对阔什布拉克钾长花岗岩进行的激光探针等离子体质谱(LA-ICP-MS)U-Pb 微区同位素定年分析得到了 275.4±2.8 Ma 的形成年龄,这与该岩体曾经得到的 267±51 Ma ~261.5±2.7 Ma(单颗粒锆石 U-Pb 法)(杨富全等, 2001)的形成年龄基本一致,与塔木西黑云霓辉花岗岩 275 Ma 的形成年龄(单颗粒锆石 U-Pb 法)(刘楚雄等, 2004)完全一致,与南天山黑英山北后碰撞钙碱性和碱钙性过铝质花岗岩的形成年龄(285±4 Ma,锆石

U-Pb SHRIMP 法,Long et al.,2008)基本一致,说明在 275±2.8 Ma 时研究区确实发生过强烈的钙碱性花岗质岩浆活动。

在阔什布拉克钾长花岗岩以北,南天山造山带内形成于后碰撞造山阶段的巴雷公高钾钙碱性花岗岩来源于中下地壳物质的部分熔融,其激光探针等离子体质谱(LA-ICP-MS)U-Pb 微区同位素定年分析获得了 273±2 Ma 的形成年龄(王超等, 2007)。与巴雷公钾长花岗岩相距不远的吉尔吉斯南天山阔克沙勒岭地区发育二叠纪过碱性浅色花岗岩、富钾钙碱性花岗岩(从Ⅰ型向 S 型过渡型)和 A 型环斑花岗岩,A 型环斑花岗岩是由俯冲于南天山之下的塔里木地块的麻粒岩基底在地幔中部分融熔的产物(Solomovich, 2007),其中最古老的环斑花岗岩的时代为 280 Ma(锆石 U-Pb SIMS 法),其初始的 ε_{Nd}值(-6.9 ~ -1.6)反映其原岩应是地幔软流圈与塔里木前寒武纪陆壳混源,西南天山地区当时正处于从碰撞造山作用向碰撞后伸展作用转变的构造环境(Konopelko D et al.,2007)。由于南天山造山带的碰撞造山时间从东向西逐渐变新,不同区段的后碰撞岩浆作用的时间不完全相同。在塔吉克斯坦南天山境内发育 295 ~ 250 Ma 与俯冲大陆地壳熔融作用有关的同碰撞—后碰撞二长花岗岩和碱性花岗岩(Brookfield, 2000)。可见在南天山造山带内部发育的 A 型花岗岩的源岩都或多或少地与塔里木陆壳相关,本文具有 A 型花岗岩特征的阔什布拉克钾长花岗岩的形成时间晚于 280 Ma 的环斑花岗岩,在时间序列上属于碰撞后阶段,反映南天山造山带的主碰撞期后的伸展作用对塔里木地块北部边缘产生了显著的影响。此外,随着造山后伸展作用的持续进行,造山带内的花岗质岩浆活动从高镁-钾钙碱性向钙碱性、碱性系列转变,岩浆作用可以发生在不同的地壳层次而且具有多个短期活动幕的特点,在最后一个阶段的岩浆活动中,亏损地幔的贡献逐渐增加(Paquette et al.,2003)。阔什布拉克富钾钙碱性花岗岩应该形成于南天山后碰撞伸展作用的早期阶段。

在阔什布拉克钾长花岗岩以南,在塔里木盆地中央隆起巴楚水工团附近发育具有 A 型花岗岩地球化学特征的石英正长斑岩岩墙,低的 Y/Nb(0.4)<1.2、富集大离子亲石元素以及 Nb 平坦或稍凸的图谱指示其源区来自于地幔,其形成年龄为 277±4 Ma(锆石 U-Pb SHRIMP 法)(杨树锋等, 2006)。在巴楚小海子水库南闸附近出露早-中二叠世橄榄二辉岩岩墙(杨树锋等, 2007),它们与水工团一带的石英正长斑岩岩墙一起反映早-中二叠世塔里木地块内部强烈的伸展作用,这次伸展作用在塔里木地块内部引起源自地幔的深源岩浆活动。

可见在 280 ~ 273 Ma 期间,在西南天山至塔里木地块中央的广大范围内都发育同时代的花岗质岩浆活动,但是不同部位岩浆的性质和岩浆的源区则可能是不完全相同的,反映不同区段局部伸展作用的程度可能不完全一致。在西南天山腹地的阔克萨彦岭地区,形成于早二叠世的后碰撞花岗岩既有陆壳起源的巴雷公高钾钙碱性花岗岩(王超等, 2007),又有壳幔混合起源的 A 型环斑花岗岩(Konopelko et al.,2007; Solomovich, 2007)。向南到南天山与塔里木地块的过渡部位,在本文的研究区内发育准铝质的高钾钙碱性 A 型花岗岩。再向南到塔里木地块中央的巴楚一带则发育地幔起源的准铝质碱性花岗质石英正长斑岩(杨树锋等, 2006)。显然,岩浆的源区随着远离南天山造山带而逐渐加深,西南天山的碰撞后的伸展作用对造山带内部的早二叠世岩浆活动具有重要影响,而

本文的阔什布拉克钾长花岗岩则可能是西南天山碰撞后的伸展作用与该地区当时区域性的伸展作用(陈汉林等, 1998)联合的结果。塔里木地块中央的早二叠世岩浆活动则主要是区域性伸展作用的结果。

致谢 西北大学张成立教授和评审专家对本文的地球化学部分提出了诸多良好的修改建议,作者在此对他们表示衷心地感谢。谨以此文恭贺恩师李继亮研究员 70 华诞暨献身地质事业 50 周年。

参 考 文 献

蔡东升,卢华复,贾 东,吴世敏. 1995. 南天山古生代板块构造演化. 地质论评,**41**(5): 432—443.

Cai Dongsheng, Lu Huafu, Jia Dong and Wu Shimin. 1995. Paleozoic plate tectonic evolution of southern Tianshan. *Geological Reviews*, **41**(5): 432—443.

陈汉林,杨树锋,贾承造,董传万,魏国齐. 1998. 塔里木盆地北部二叠纪中酸性火成岩带的厘定及其对塔北构造演化的新认识. 矿物学报,**18**(3): 370—376.

Chen Hanlin, Yang Shufeng, Jia Chengzao, Dong Chuanwan and Wei Guoqi. 1998. Confirmation of Permian intermediate-acid igneous rock zone and a new understanding of tectonic evolution in the northern part of the Tarim Basin. *Acta Mineralogica Sinica*, **18**(3): 370—376.

高 俊,龙灵利,钱 青,黄德志,苏 文, Reiner K. 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.

Gao Jun, Long Lingli, Qian Qing, Huang Dezhi, Su Wen and Reiner K. 2006. South Tianshan: A Late Paleozoic or a Triassic orogen? *Acta Petrologica Sinica*, **22**(5): 1049—1061.

何国琦,李茂松. 2000. 中亚蛇绿岩带研究进展及区域构造连接. 新疆地质,**18**(3): 193—202.

He Guoqi and Li Maosong. 2000. New achievement in researching ophiolitic belts in central Asia and its significance in the links of tectonic belts between northern Xinjiang and adjacent area. *Xinjiang Geology*, **18**(3): 193—202.

何国琦,李茂松,韩宝福. 2001. 中国西南天山及邻区大地构造研究. 新疆地质,**19**(1): 7—11.

He Guoqi, Li Maosong and Han Baofu. 2001. Geotectonic research of southwest Tianshsn and its west adjacent area, China. *Xinjiang Geology*, **19**(1): 7—11.

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.

Jiang Changyi, Mu Yanmei, Bai Kaiyin, Zhao Xiaoning, Zhang Hongbo and Hei Aizhi. 1999. Chronology, petrology, geochemistry and tectonic environment of granitoids in the southern Tianshan Mountain, western China. *Acta Petrologica Sinica*, **15**(2): 298—308.

刘楚雄,许保良,邹天人,路凤香,童 英,蔡剑辉. 2004. 塔里木北缘及邻区海西期碱性岩岩石化学特征及其大地构造意义. 新疆地质,**22**(1): 43—49.

Liu Chuxiong, Xu Baoling, Zou Tianren, Lu Fengxiang, Tong Ying and Cai Jianhui. 2004. Petrochemistry and tectonic significance of Hercynian alkaline rocks along the northern margin of the Tarim platform and its adjacent area. *Xinjiang Geology*, **22**(1): 43—49.

马瑞士,王赐银,叶尚夫. 1993. 东天山构造格架及地壳演化. 南京:南京大学出版社. 1—225.

Ma Ruishi, Wang Ciyin and Ye Shangfu. 1993. Crust Evolution and Structural Framework of the Eastern Tianshan Mountain. Nanjing: Nanjing University Press. 1—225.

王 超,刘 良,罗金海,车自成,滕志宏,曹宣铎,张静艺. 2007. 西南天山晚古生代后碰撞岩浆作用:以阔克萨彦岭地区巴雷公花岗岩为例. 岩石学报,**23**(8): 1830—1840.

Wang Chao, Liu Liang, Luo Jinhai, Che Zicheng, Teng Zhihong, Cao Xuanduo and Zhang Jingyi. 2007. Late Paleozoic post-collisional magmatism in the southwestern Tianshan orogenic belt, take the Baleigong pluton in the Kokshal region as an example. *Acta Petrologica Sinica*, **23**(8): 1830—1840.

王　超, 罗金海, 车自成, 刘　良, 张敬艺. 2009. 新疆欧西达坂花岗质岩体地球化学特征和锆石 LA-ICP-MS 定年:西南天山古生代洋盆俯冲作用过程的启示. 地质学报, **83**(2): 272—283.

Wang Chao, Luo Jinhai, Che Zicheng, Liu Liang and Zhang Jingyi. 2009. Geochemical characteristics and U-Pb LA-ICP-MS zircon dating of the Oxidanban pluton from Xinjiang, China: Implications for a Paleozoic oceanic subduction process in southwestern Tianshan. *Acta Geologica Sinica*, **83**(2): 272—283.

王润三, 王　焰, 李惠民, 周鼎武, 王居里. 1998. 南天山榆树沟高压麻粒岩地体锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 地球化学, **27**(6): 517—522.

Wang Runsan, Wang Yan, Li Huimin, Zhou Dingwu and Wang Juli. 1998. Zircon U-Pb age and its geological significance of high-pressure terrane of granulite facies in Yushugou area, southern Tianshan Mountain. *Geochimica*, **27**(6): 517—522.

夏祖春, 徐学义, 夏林圻, 李向民, 马中平, 王立社. 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.

Xia Zuchun, Xu Xueyi, Xia Linqi, Li Xiangmin, Ma Zhongping and Wang Lishe. 2005. Geochemistry of the Carboniferous-Permian post-collisional granitic rocks from Tianshan. *Northwestern Geology*, **38**(1): 1—14.

徐学义, 马中平, 夏祖春, 夏林圻, 李向民, 王立社. 2005. 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.

Xu Xueyi, Ma Zhongping, Xia Zuchun, Xia Linqi, Li Xiangmin and Wang Lishe. 2005. Discussion of the sources and characteristics on Sr、Nd、Pb isotopes of the Carboniferous to Permian post-collisional granites from Tianshan. *Northwestern Geology*, **38**(2): 1—18.

杨富全, 王立本, 叶锦华, 傅旭杰, 李惠民. 2001. 新疆霍什布拉克地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄. 中国区域地质, **20**(3): 267—273.

Yang Fuquan, Wang Liben, Ye Jinhua, Fu Xujie and Li Huimin. 2001. Zircon U-Pb ages of granites in the Huoshi Bulak area, Xinjiang. *Regional Geology of China*, **20**(3): 267—273.

杨树锋, 厉子龙, 陈汉林, 肖文交, 余　星, 林秀斌, 施锡桂. 2006. 塔里木二叠纪石英正长斑岩岩墙的发现及其构造意义. 岩石学报, **22**(5): 1405—1412.

Yang Shufeng, Li Zilong, Chen Hanlin, Xiao Wenjiao, Yu Xing, Lin Xiubin and Shi Xigui. 2006. Discovery of a Permian quartz syenitic porphyritic dyke from the Tarim Basin and its tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, **22**(5): 1405—1412.

杨树锋, 余　星, 陈汉林, 厉子龙, 王清华, 罗俊成. 2007. 塔里木盆地巴楚小海子二叠纪超基性脉岩的地球化学特征及其成因探讨. 岩石学报, **23**(5): 1087—1096.

Yang Shufeng, Yu Xing, Chen Hanlin, Li Zilong, Wang Qinghua and Luo Juncheng. 2007. Geochemical characteristics and petrogenesis of Permian Xiaohaizi ultrabasic dyke in Bachu area, Tarim Basin. *Acta Petrologica Sinica*, **23**(5): 1087—1096.

张立飞, David J E, 艾永亮, 姜文波, 魏春景. 2002. 新疆西天山超高压变质榴辉岩. 岩石矿物学杂志, **21**(4): 371—385.

Zhang Lifei, David J E, Ai Yongliang, Jiang Wenbo and Wei Chunjing. 2002. Ultra-high pressure metamorphic eclogite in western Tianshan Mountains, Xinjiang. *Acta Petrologica et Mineralogica*, **21**(4): 371—385.

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.

Zhang Lifei, Ai Yongliang, Li Qiang, Li Xuping, Song Shuguang and Wei Chunjing. 2005. The formation and tectonic evolution of UHP metamorphic belt in southwestern Tianshan, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, **21**(4): 1029—1038.

Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, **46**(3): 605—626.

Barth M G, McDonough W F and Rudnick R L. 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chemical Geology*, **165**: 197—213.

Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies. In: Henderson P E(Ed.). Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. 63—114.

Brookfield M E. 2000. Geological development and Phanerozoic crustal accretion in the western segment of the southern Tien Shan(Kyrgyzstan, Uzbekistan and Tajikistan). *Tectonophysics*, **328**(1—2): 1—14.

Chen C M, Lu H F, Jia D, Cai D S and Wu S M. 1999. Closing history of the southern Tianshan oceanic basin, western China: An oblique collisional orogen. *Tectonophysics*, **302**(1—2): 23—40.

Dall'Agnol R and de Oliveira D C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**(3—4): 215—233.

Frost C D, Bell J M, Frost B R and Chamberlain K R. 2001. Crustal growth by magmatic underplating: Isotopic evidence from the northern Sherman batholith. *Geology*, **29**(6): 515—518.

Garzanti E and Gaetani M. 2002. Unroofing history of Late Paleozoic magmatic arcs within the "Turan Plate"(Tuarkyr, Turkmenistan). *Sedimentary Geology*, **151**(1—2): 67—87.

Gao J, Li M S, Xiao X C, Tang Y Q and He G Q. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan orogen, northwestern China. *Tectonophysics*, **287**(1—4): 213—231.

Green T H. 1995 Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system. *Chemical Geology*, **120**(3—4):347—359.

Irvine T N and Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **8**: 523—548.

Konopelko D, Biske G, Seltmann R, Eklund O and Belyatsky B. 2007. Hercynian post-collisional A-type granites of the Kokshaal Range, southern Tien Shan, Kyrgyzstan. *Lithos*, **97**(1—2): 140—160.

Long L L, Gao J, Wang J B, Qian Q, Xiong X M, Wang Y W, Wang L J and Gao L M. 2008. Geochemistry and SHRIMP zircon U-Pb age of post-collisional granites in the southwest Tianshan orogenic belt of China: Example from the Heiyingshan and Laohutai. *Acta Geologica Sinica*, **82**(2):415—424.

Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews*, **37**(3—4): 215—224.

Paquette J L, Menot R P, Pin C, Orsini J B. 2003. Episodic and short-lived granitic pulses in a post-collisional setting: Evidence from precise U-Pb zircon dating through a crustal cross-section in Corsica. *Chemical Geology*, **198**(1—2): 1—20.

Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**(4): 956—983.

Qian Q, Gao J, Klemd R, He G Q, Xiong X M, Long L L, Song B, Liu D Y and Xu R H. 2009. Early Paleozoic tectonic evolution of the Chinese South Tianshan orogen: Constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemistry of basaltic and dioritic rocks from Xiate, NW Chian. *International Journal of Earth Sciences*, **98**(3): 551—569.

Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, **22**(4): 247—263.

Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*, **184**(1—2): 123—138.

Rudnick R and Gao S. 2003. The composition of the continental crust. In: Holland H D and Turekian K K(Eds.). Treaties on Geochemistry Vol. 3. Oxford: Elsevier Pergamon. 1—64.

Solomovich L Ⅰ. 2007. Postcollisional magmatism in the South Tien Shan Variscan Orogenic Relt, Kyrgyzstan: Evidence for high-temperature and high-pressure collision. *Journal of Asian Earth Sciences*, **30**(1): 142—153.

Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D and Norry M J(Eds.). Magmatism in the Ocean Basins. London: Geological Society Special Publication No 42. 313—345.

Tagiri M, Yano T, Bakirov A, Nakajima T and Uchiumi S. 1995. Mineral parageneses and metamorphic *P-T* paths of ultrahigh-pressure eclogites from Kyrghyzstan Tien-Shan. *Island Arc*, **4**(4): 280—292.

Turner S P, Foden J D and Morrison R S. 1992. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: An example from the Padthaway ridge, south Australia. *Lithos*, **28**(2): 151—179.

Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **9**(4): 407—419.

Ломизе М Г, Демина Л И and Зарщиков А А. 1997. Киргизско-Терскейский палеоокеанический бассейн (Тянь-Шань). *Геотектоника*, **6**: 35—55.

Early Permian post-collisional granitoid magmatism on the northwestern margin of Tarim Basin and its tectonic significance

Luo Jinhai[1]　Zhang Jingyi[2]　Wang Chao[1,3]　Che Zicheng[1]　Liu Liang[1]

(1. *State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an* 710069;
2. *Research Institute for Exploration and Development, PeteroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei* 063004;
3. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource, Xi'an* 710054)

Abstract

The Kuoshibulak granites located in the northwestern margin of the Tarim Basin are high-K calc-alkaline series, and rich in alkali (Na_2O+K_2O averages 8.36% >8%) and K ($K_2O/Na_2O=1.27\sim1.47$), with the A/CNK values between 0.82 and 0.88, which fall into the range of metaluminous rocks. The rocks with large negative Eu anomaly ($\delta Eu=0.003\sim0.019$) are also characterized by enrichment of REE ($\sum REE=263.90\times10^{-6}\sim445.75\times10^{-6}$), HFS elements such as Th, U, Nb, Hf, Y, LILE elements such as Rb, highly incompatible elements ($Zr+Nb+Ce+Y=368\times10^{-6}\sim531\times10^{-6}>350\times10^{-6}$) and high-Ga ($Ga/Al\times10\ 000=4.17\sim4.72>2.6$). The geochemical features of the rocks are similar to that of A-type granites. Rb-Th richment, Ti-depletion and the elemental ratios of the Kuoshibulak granites, such as the Th/U (averages 3.86), Nb/Ta (averages 12.75) indicate that it probably derived from crustal source. In situ zircon U-Pb LA-ICP-MS dating on the magmatic zircons yielded an age of 275.4±2.8 Ma, representing the emplacement age of the granites. Combined with Early Permian granitoid magmatism in the southwestern Tianshan orogen and Tarim Basin, it is suggested that the Early Permian post-collisional granitoid magmatism occurs not only in the southwestern Tianshan orogen, but also affects remarkably contemporaneous magmatisms in the northwestern margin of the Tarim block. The Kuoshibulak A-type granites also suggested that the collisional orogeny in the southwestern Tianshan probably finished before 275.4±2.8 Ma, and the paleo-Asia ocean represented by the south Tianshan ocean is closed at that time.

Key Words　Northwestern margin of Tarim Basin, Southwestern Tianshan, Early Permian, Post-collisional orogeny, Granite