

准噶尔板块东南缘沙尔德兰地区 A 型花岗岩构造环境研究*

郭芳放¹ 姜常义^{1,2**} 苏春乾^{1,2} 夏明哲¹ 夏昭德¹ 魏巍¹

GUO FangFang¹,JIANG ChangYi^{1,2**},SU ChunQian^{1,2},XIA MingZhe¹,XIA ZhaoDe¹ and WEI Wei¹

1. 长安大学地球科学与资源学院,西安 710054

2. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室,西安 710054

1. College of Earth Science and Land Recourses, Chang'an University, Xi'an 710054, China

2. Key Laboratory of western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, China

2008-05-26 收稿,2008-09-08 改回.

Guo FF, Jiang CY, Su CQ, Xia MZ, Xia ZD and Wei W. 2008. Tectonic settings of A-type granites of Shaerdelan area, southeastern margin of Junggar block, Xinjiang, western China. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12):2778-2788

Abstract Two kinds of A-type granites, moyite and orthoclase granite porphyry, located at the southeastern margin of Junggar block, which is generally named north Tianshan Mountain, Xinjiang, western China. The Kotaclincircon moyite lies in the South Lake island arc belt, the Baiponan moyite and orthoclase granite-porphyry lie in the Qoltag-Red flag mountain trench-arc belt. Both Baiponan moyite and Kotaclincircon moyite belong to the high-K calc-alkaline series, they are enriched in light rare earth elements and high strength field elements, and obviously depleted in Nb and TiO₂, and relatively depleted in Zr, Hf and P₂O₅, which are consistent with geochemical characters of volcanic arc granites. The orthoclase granite-porphyry belongs to High-K, calc-alkaline series. They are slight fractionation between LREE and HREE, and enriched in high strength field elements, relatively depleted in Ba, Sr, P₂O₅ and TiO₂, which are consistent with the characters of within-plate granites. According to the classification diagrams of A-type granite, both moyite and orthoclase granite porphyry belong to A₂ sub-type. Based on the reliable studies on north Xinjiang area and our research, the tectonic setting transition from island arc to lithosphere stretching settings of post-collision could be constrained to 320Ma. The zircon SHRIMP U-Pb concordant age of the Baiponan moyite, and the orthoclase granite-porphyry are 338.3 ± 4.3Ma and 278 ± 2Ma respectively. Therefore, geochemical characters and geochronology suggest that the Baiponan moyite should formed in island arc setting of B-type subduction, while the orthoclase granite-porphyry should formed in post-collision tectonic settings. These indicate that the A₂-granite could form not only in non-orogenic and post-collision tectonic settings, but also in island arc settings.

Key words A type-granite; Geochemistry; Chronology; Tectonic setting; B-type subduction

摘要 研究区属于准噶尔板块东南缘,即传统意义上的北天山东段,分布有两类 A 型花岗岩,一种是钾长花岗岩,另一种是正长花岗斑岩。其中阔台克力克能厄肯钾长花岗岩产于大南湖岛弧带,白坡南钾长花岗岩和正长花岗斑岩均产于觉罗塔格岛弧带。白坡南与阔台克力克能厄肯钾长花岗岩同为弱过铝质,岩石化学属高钾钙碱性系列,稀土元素配分曲线为轻稀土富集型,具有明显的负 Eu 异常;富集大离子亲石元素,显著亏损 Sr、Nb、P₂O₅、TiO₂,具有火山弧花岗岩的地球化学特征。正长花岗斑岩从准铝质过渡到弱过铝质,岩石化学从高钾钙碱性系列过渡到钾玄岩系列,轻重稀土元素分馏不明显,具有显著的负 Eu 异常;富集高场强元素,亏损 Ba、Sr、P₂O₅ 及 TiO₂,具有板内花岗岩的地球化学特征。这些钾长花岗岩和正长花岗斑岩均属于 A₂ 型花岗岩。根据前人在北疆地区获取的研究成果,可将该区域岛弧环境结束与后碰撞岩石圈伸展环境开始的分界时限厘定为 320Ma。根据我们的研究,白坡南钾长花岗岩体的锆石 U-Pb 谐和年龄为 338.3 ± 4.3Ma,正长花岗斑岩的锆石 U-Pb 谐和年龄为 278 ± 2Ma。年代学与岩石地球化学研究表明,白坡南钾长花岗岩形成于 B 型俯冲阶段的岛弧环境,而正长花岗斑

* 新疆自治区 1:5 万区调项目(XJQDZ2006-14)和国家自然科学基金重点项目(40534020)联合资助的成果。

第一作者简介:郭芳放,女,1988 年生,2004 级本科生,地质学专业,E-mail: vv_cc@126.com

** 通讯作者:姜常义,男,教授,博士生导师,岩石学专业,E-mail: jiangchangyi001@163.com

岩形成于后碰撞岩石圈伸展环境。由此证明,A 型花岗岩不仅产于非造山和后碰撞伸展环境,还可以产于岛弧环境。

关键词 A 型花岗岩;地球化学;年代学;构造环境;B 型俯冲

中图法分类号 P588.121

A 型花岗岩最初是指出现在非造山环境中,具有碱性、无水特征的花岗质岩石(Loiselle and Wones,1979),这一概念的内涵近年来有所扩大,岩石类型不仅包括最初的碱性花岗岩,还被扩大到碱钙性、准碱—准铝质、微过铝质等多种类型,主要有环斑花岗岩、钾质花岗岩、正长岩类、钾长—碱长花岗岩等,其形成的构造环境既包括非造山环境也包括后碰撞伸展环境(Collins *et al.*, 1982; Whale *et al.*, 1987; Eby, 1990; 洪大卫等, 1995; 许保良等, 1998; Wu *et al.*, 2002; Martin, 2006; Shellnutt and Zhou, 2007; Bonin, 2007)。本次研究发现,形成 A 型花岗岩的构造环境并不一定都限于非造山(板内裂谷、地幔柱或热点)或后碰撞伸展环境,很可能有少量 A₂ 型花岗岩形成于与 B 型俯冲相关的岛弧环境中,这就是本文要探索的科学问题。

1 区域地质概况

研究区位于吐鲁番盆地南缘,鄯善县南部,属于准噶尔板块东南缘,即传统意义上的北天山东段,南部以阿其克库都克深大断裂为界,以南为中天山元古代地块。康古尔韧性剪切带从研究区内部穿过,剪切带以北为大南湖晚古生代岛弧带,以南为觉罗塔格晚古生代岛弧带(图 1)(据张良臣,2006,私人通讯)。

大南湖构造单元在本区仅出露早石炭世小热泉子组火山岩地层,我们的研究表明,该组火山岩岩石组合为玄武岩—玄武安山岩—安山岩—英安岩,属钙碱性系列,具有岛弧火山岩的岩石地球化学特征,锆石 U-Pb 谐和年龄为 325.1Ma。白石山花岗岩体是大南湖构造单元最主要的侵入体,呈岩基状产出,长轴方向为近东西向,与区域构造线方向

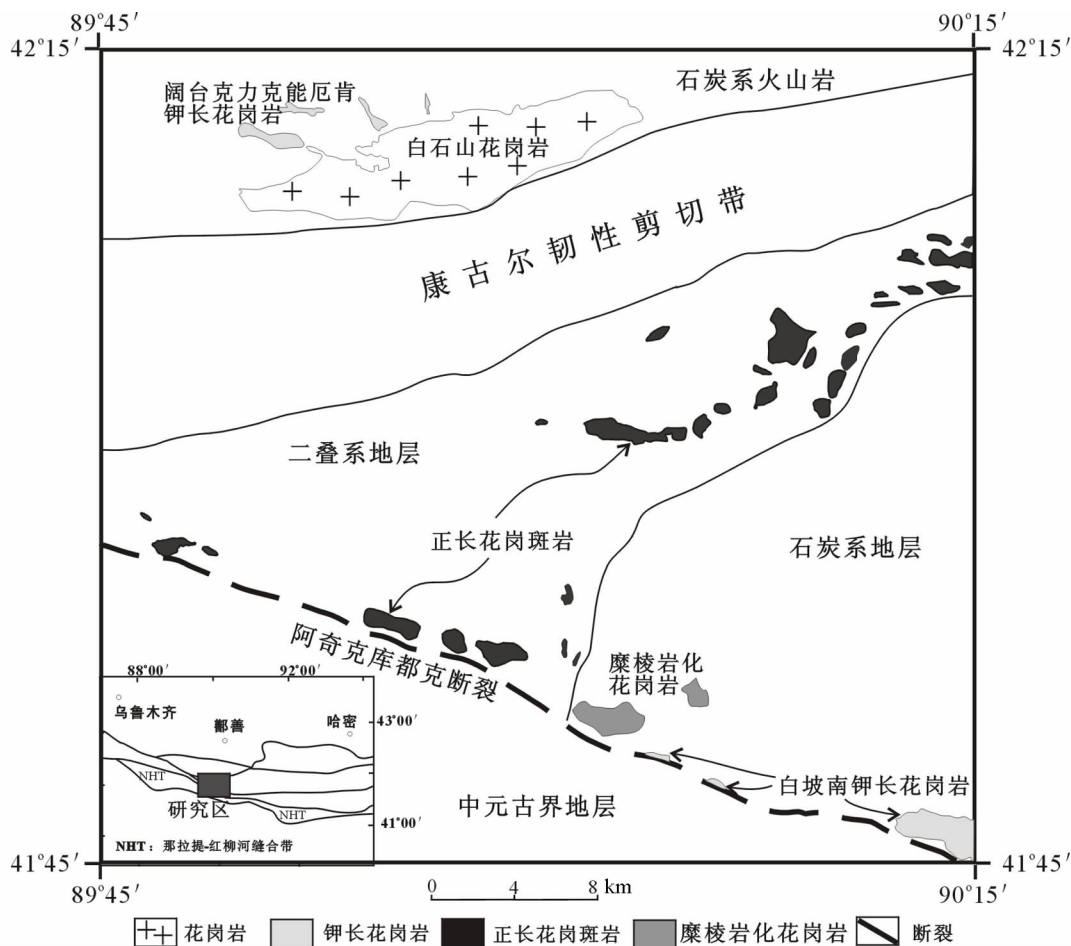


图 1 沙尔德兰地区地质略图(据张良臣,2006,私人通讯)

Fig. 1 Geological map of Shaerdelan area (after Zhang LC, 2006, personal communication)

平行,主要岩石类型为二长花岗岩,并有少量的花岗闪长岩和石英闪长岩;属钙碱性系列,具有岛弧花岗岩的岩石地球化学特征,岩石成因类型应属 I 型花岗岩,锆石 U-Pb 谐和年龄为 325.1Ma。

觉罗塔格晚古生代岛弧带主要出露有早石炭世阿奇山组钙碱性火山岩地层、早石炭世雅满苏组碳酸盐岩地层、晚石炭世土古土布拉克组钙碱性火山岩地层,以及下二叠统的恰特哈尔组火山岩地层。根据我们的研究,阿奇山组为一套埃达克质火山岩,形成于岛弧环境,锆石 U-Pb 谐和年龄为 341Ma;土古土布拉克组主要由玄武安山岩—安山岩—英安岩组成,属钙碱性火山岩套;恰特哈尔组具有典型的双峰式火山岩组合,形成于后碰撞伸展环境,锆石 U-Pb 谐和年龄为 280Ma。

根据前人研究,可将康古尔塔格—黄山韧性剪切带划分为干墩岩组、梧桐窝子岩组、苦水岩组,这三个岩组均属早石炭世非史密斯地层,它们普遍经历了强烈的早期韧性剪切变形和晚期走滑变形。

2 岩体地质特征与岩相学特征

2.1 岩体地质特征

阔台克力克能厄肯钾长花岗岩体位于大南湖岛弧带白石山花岗岩体北西方向,岩体大部分被第四系覆盖,仅局部出露,岩体形态为似长椭圆形,长轴方向与构造线一致,侵入于下石炭统小热泉子组中,岩体面积约为 11km²(图 1)。边部有安山岩捕虏体。岩体与围岩接触部位有角岩化及硅化,岩体内部岩性单一,由一次岩浆侵位构成。白坡南钾长花岗岩分布于觉罗塔格岛弧带南缘,其南侧为阿其克库都克断裂,沿该断裂北侧呈串珠状排列,侵入于早石炭世阿奇山组,最大的岩体面积约为 5km²,最小的约为 0.1km²(图 1),各岩体均由一次岩浆侵位形成。正长花岗岩斑岩岩体群分布于觉罗塔格—红旗山岛弧带,呈浅成侵入体形式侵位于下二叠统恰特哈尔组(P₁ae),在研究区内共有 30 个小岩体,岩体平面形态为透镜状、近等轴状和长条状,呈带状分布。最大的岩体面积约为 3.5km²,最小的岩体面积约为 0.3km²(图 1),同一岩体内部和岩体之间岩性单一,没有明显的岩相分带,各岩体应为一次岩浆侵位的产物。

2.2 岩相学特征

阔台克力克能厄肯钾长花岗岩体呈砖红色,具连续不等粒花岗岩结构、块状构造,造岩矿物:钾长石(50%~62%),石英(25%~30%),斜长石(8%~15%),黑云母(1%~4%)。副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石等,含量约 2%。主要矿物特征:钾长石呈半自形到他形板状,部分与石英文象状交生,具条纹结构,为出溶条纹长石,粒径 0.8mm~2.4mm;石英呈他形粒状,颗粒表面干净,波状消光,粒径 0.4mm~2.4mm;斜长石主要为钠长石,有少量的更长石,呈

半自形板状,聚片双晶发育;黑云母分布于长石粒间,其形态受长石粒间空隙制约,表明岩浆相对贫水,抑制了黑云母的结晶作用。长石有微弱的粘土化和绢云母化。

白坡南钾长花岗岩呈淡红色,具中细粒花岗结构、块状构造,造岩矿物有钾长石(57%~65%),石英(20%~30%),斜长石(6%~9%),黑云母(1%~4%)。副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石等,含量约 2%。主要矿物特征:钾长石呈他形板状,条纹结构发育,为条纹长石,粒径 1.6mm~3.4mm,内包有较自形的斜长石小颗粒,轻微泥化;石英呈他形粒状,具强波状消光,发育微裂纹,粒径 0.8mm~2.0mm;斜长石主要为钠长石,有少量的更长石,呈他形—半自形板状,聚片双晶发育,轻微绢云母化;黑云母的分布和形态与阔台克力克能厄肯钾长花岗岩相同,表明岩浆相对贫水,抑制了黑云母的结晶作用。

正长花岗岩斑岩呈淡红色,具斑状结构,块状构造,斑晶由石英(5%~10%)、正长石(8%~15%)组成,粒径约 2mm~5mm。基质为隐晶质,含量约 80%,局部可见球粒结构,泥化中度。少量氧化黄铁矿微粒浸染状分布。主要矿物特征:正长石为自形板状,卡氏双晶较发育,高岭土化中度;石英呈六方双锥状,具微裂纹和港湾状熔蚀边。

3 年代学

从觉罗塔格岛弧带白坡南钾长花岗岩和正长花岗岩斑岩样品中选取的锆石为浅黄色—无色透明,呈正方双锥状、柱状及半截锥状自形晶体。阴极发光图像(如图 2a, b)表现出典型的岩脉韵律环带和明暗相间的条带结构,属于岩浆结晶产物(吴元保和郑永飞,2004)。两件样品 22 个测点的 Th 含量变化范围是 $79.16 \times 10^{-6} \sim 432.5 \times 10^{-6}$, U 含量变化范围是 $101.0 \times 10^{-6} \sim 566.0 \times 10^{-6}$ 。Th/U 比值较高,均大于 0.40,变化在 0.40~0.81 之间,且 Th、U 含量呈现较好的正相关关系,获得的年龄可以代表岩体的结晶年龄。锆石 SHRIMP 测定结果的数据处理方法据宋彪等(2006)以及朱永峰和宋彪(2006)。白坡南钾长花岗岩体的锆石 U-Pb 谐和年龄(图 4c,表 1)为 338.3 ± 4.3 Ma(MSWD=0.59),证明该岩体形成于早石炭世维宪阶早期。正长花岗岩斑岩的锆石 U-Pb 谐和年龄(图 4d,表 1)为 278 ± 2 Ma(MSWD=0.70),证明该岩体形成于二叠纪乌拉尔世亚丁斯克阶晚期。

4 岩石地球化学

钾长花岗岩主量元素地球化学特征为高硅,富铝,FeO*/MgO 比值(5.83~14.28)较高,K₂O/Na₂O 比值变化在 0.58~1.26 之间,CaO、TiO₂、MgO 含量低,且数据变化范围较大。铝饱和度指数 ANK 为 1.14~1.25,ACNK 为 1.07~1.19,属弱过铝质(如图 3b)。在 K₂O-SiO₂ 图解上(图 3a)投影在高钾钙碱性系列区域内。

表2 温泉地区早古生代斜长角闪岩中锆石 SHRIMP U-Th-Pb 年龄分析结果

Table 2 SHRIMP U-Th-Pb dating for zircons of the Early Paleozoic amphibolites from the Wenquan domain in the West Tianshan

点号	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	Discordant %	$^{208}\text{Pb}^*$ ^{232}Th	\pm %	$^{207}\text{Pb}^*$ ^{235}U	\pm %	$^{206}\text{Pb}^*$ ^{238}U	\pm %			
						年龄 (Ma)	$\pm 1\sigma$	年龄 (Ma)	$\pm 1\sigma$	年龄 (Ma)	$\pm 1\sigma$									年龄 (Ma)	$\pm 1\sigma$	
东部地段粗粒斜长角闪岩(02XW-04b)																						
C1.1	2.14	207	132	0.635	12.9	443.1	8.6	439.81	77.31	423	171	446	27	-5	0.0223	6.0	0.0553	7.7	0.54	7.9	0.0711	2.0
C2.1	1.20	401	448	1.118	25.0	445.5	8.2	430.88	46.06	353	96	437	12	-26	0.0219	2.7	0.0536	4.2	0.53	4.6	0.0716	1.9
C3.1	2.66	183	120	0.656	11.9	456.8	9.0	421.80	92.23	235	214	449	30	-95	0.0225	6.7	0.0509	9.3	0.51	9.5	0.0734	2.0
C4.1	1.11	316	186	0.590	20.2	457.5	8.4	443.85	48.64	374	102	448	18	-23	0.0224	4.0	0.0541	4.5	0.55	4.9	0.0736	1.9
C5.1	1.25	299	227	0.761	19.2	459.5	8.7	441.34	48.12	348	100	444	16	-32	0.0222	3.6	0.0534	4.4	0.54	4.9	0.0739	2.0
C6.1	1.50	195	120	0.617	12.7	464.3	9.2	485.70	87.78	588	191	467	34	21	0.0234	7.3	0.0596	8.8	0.61	9.0	0.0747	2.1
C7.1	1.03	245	161	0.656	15.5	453.8	10.6	452.30	49.56	445	97	454	18	-2	0.0227	4.0	0.0558	4.4	0.56	5.0	0.0729	2.4
C8.1	0.67	312	233	0.748	20.1	462.7	8.5	459.84	42.16	445	84	461	14	-4	0.0231	3.1	0.0558	3.8	0.57	4.2	0.0744	1.9
C9.1	2.82	180	140	0.776	11.0	429.7	8.6	398.16	98.94	219	232	400	24	-96	0.0200	6.1	0.0505	10.0	0.48	10.2	0.0689	2.1
C10.1	1.44	241	163	0.678	14.8	440.0	8.4	430.60	61.12	381	132	428	18	-16	0.0214	4.2	0.0542	5.9	0.53	6.2	0.0706	2.0
C11.1	3.81	114	81	0.707	6.9	422.6	9.7	335.77	196.0	-230	533	364	45	284	0.0182	12.3	0.0419	21.2	0.39	21.3	0.0678	2.4
C12.1	1.45	204	167	0.818	13.2	462.5	10.2	458.68	69.64	440	150	464	20	-5	0.0232	4.2	0.0557	6.7	0.57	7.1	0.0744	2.3
C13.1	0.82	353	298	0.843	22.9	464.6	8.8	461.59	39.60	446	77	449	13	-4	0.0224	3.0	0.0559	3.5	0.58	4.0	0.0747	2.0
西部地段中粒斜长角闪岩(02XW-20a)																						
F1.1	1.21	429	313	0.730	26.4	440.6	12.7	444.89	65.72	467	133	454	23	6	0.0227	5.1	0.0564	6.0	0.55	6.7	0.0707	3.0
F2.1	1.28	610	587	0.962	38.9	456.2	13.0	440.35	66.47	358	137	457	20	-27	0.0228	4.3	0.0537	6.1	0.54	6.8	0.0733	2.9
F3.1	0.47	415	76	0.183	53.7	900.8	25.0	921.91	38.24	973	49	996	76	7	0.0505	7.7	0.0715	2.4	1.48	3.8	0.1500	3.0
F4.1	6.07	626	560	0.895	42.1	457.7	13.2	501.52	83.81	707	172	484	31	35	0.0242	6.4	0.0630	8.1	0.64	8.6	0.0736	3.0
F5.1	0.67	501	503	1.003	31.7	455.7	13.0	446.14	59.39	397	118	461	18	-15	0.0231	3.8	0.0546	5.3	0.55	6.0	0.0732	2.9
F6.1	3.46	609	637	1.046	36.9	424.6	12.3	442.07	88.77	534	189	379	20	21	0.0189	5.2	0.0581	8.6	0.55	9.1	0.0681	3.0
F7.1	0.75	529	474	0.896	34.4	467.2	13.3	467.34	46.64	468	81	478	17	0	0.0240	3.5	0.0564	3.7	0.58	4.7	0.0752	2.9
F8.1	0.97	509	366	0.720	32.1	452.8	13.4	432.18	63.96	324	130	461	23	-40	0.0231	4.9	0.0529	5.7	0.53	6.5	0.0728	3.1
F9.1	2.02	387	303	0.782	23.9	439.2	12.9	496.63	74.89	771	148	472	26	43	0.0236	5.6	0.0649	7.0	0.63	7.7	0.0705	3.0
F10.1	0.84	500	359	0.716	30.3	435.0	12.4	448.40	65.91	518	132	450	17	16	0.0225	3.8	0.0577	6.0	0.56	6.7	0.0698	2.9
F11.1	0.87	492	371	0.753	31.4	457.6	13.1	453.80	70.27	435	145	459	23	-5	0.0230	5.0	0.0556	6.5	0.56	7.2	0.0736	3.0
F12.1	0.87	553	481	0.870	35.4	459.3	13.0	451.76	64.76	414	132	459	25	-11	0.0230	5.5	0.0550	5.9	0.56	6.6	0.0738	2.9
F13.1	2.82	335	247	0.737	21.1	443.2	12.9	416.24	122.1	269	285	434	29	-64	0.0217	6.7	0.0516	12.4	0.51	12.8	0.0712	3.0
F14.1	0.74	434	281	0.648	26.9	446.1	12.7	450.47	54.43	473	103	461	23	6	0.0231	5.1	0.0565	4.7	0.56	5.5	0.0716	2.9
F15.1	0.99	484	392	0.809	30.6	454.0	13.1	447.76	82.41	416	177	458	24	-9	0.0229	5.2	0.0551	7.9	0.55	8.5	0.0730	3.0
F16.1	0.76	512	452	0.883	32.7	458.7	13.2	483.69	65.90	604	130	479	23	24	0.0240	4.8	0.0600	6.0	0.61	6.7	0.0738	3.0

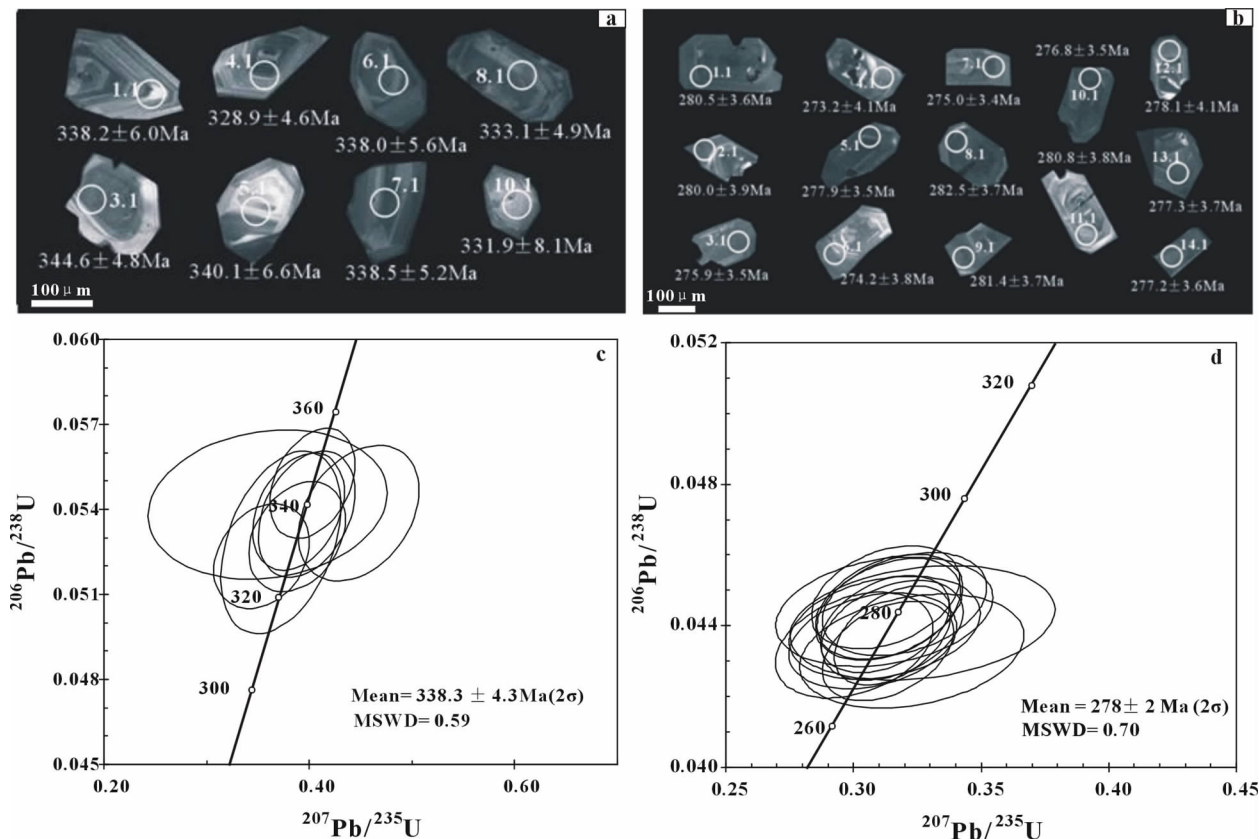


图2 白坡南岩体和正长花岗斑岩的锆石阴极发光图和锆石 U-Pb 年龄

Fig. 2 CL images of zircon grains and U-Pb zircon concordia diagrams for the Baiponan moyite and the orthoclase porphyry granite

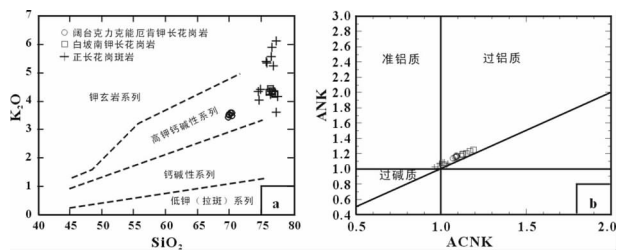


图3 K_2O-Na_2O 图解及铝饱和度图

Fig. 3 Plots of K_2O-Na_2O and ANK-ACNK

正长花岗斑岩的主要元素地球化学特征为高硅,仅 G4、G17 两件样品的 K_2O/Na_2O 比值小于 1,其余十件样品的 K_2O/Na_2O 比值变化在 1.06 ~ 2.67 之间, FeO^*/MgO 比值 (7.10 ~ 35.99) 较高且变化范围较大,其他数据总体较稳定,变化范围较窄。 K_2O-SiO_2 图解显示,正长花岗岩体从高钾钙碱性系列过渡到钾玄岩系列。

总体上,钾长花岗岩样品各项数据的变化范围普遍大于正长花岗斑岩,且钾长花岗岩 Al_2O_3 含量 (12.47% ~ 15.86%) 高于正长花岗斑岩 (10.81% ~ 11.98%),但正长花岗斑岩的 FeO^*/MgO 比值 (7.10 ~ 35.99) 高于钾长花岗岩

(5.83 ~ 14.28) 且变化范围较大。

阔台克力克能厄肯钾长花岗岩与白坡南钾长花岗岩稀土元素总量变化较小, ΣREE 丰度变化在 $92.66 \times 10^{-6} \sim 137.96 \times 10^{-6}$ 之间 (表 2)。 $(La/Yb)_N$ 、 $(La/Sm)_N$ 、 $(Gd/Yb)_N$ 分别为 4.61 ~ 7.42, 2.69 ~ 3.81 和 1.66 ~ 2.49, 稀土元素配分曲线为具有明显铈负异常 ($\delta Eu = 0.5 \sim 0.88$) 的轻稀土元素富集型 (图 4a, b)。这两个岩体稀土元素配分曲线总体特征相似,但后者的轻重稀土元素分馏程度略小于前者。正长花岗斑岩稀土元素总量变化较大, ΣREE 丰度变化在 $64.83 \times 10^{-6} \sim 356.45 \times 10^{-6}$ 之间 (表 2)。 $(La/Yb)_N$ 、 $(La/Sm)_N$ 、 $(Gd/Yb)_N$ 分别为 1.67 ~ 17.71, 2.71 ~ 5.48 和 0.51 ~ 4.18, 稀土元素配分曲线图呈现典型的“V”字形 (图 4c)。正长花岗斑岩的稀土元素分馏程度低于钾长花岗岩,且铈负异常更明显 ($\delta Eu = 0.08 \sim 0.25$), 其配分曲线形态与钾长花岗岩也有明显差异。

由多元素配分曲线图 (图 4d, e, f) 上,阔台克力克能厄肯和白坡南钾长花岗岩富集大离子亲石元素 (Cs、Rb、Ba、Th、U); 高场强元素 (Ta、Zr、Hf) 丰度约为原始地幔标准化值的 20 倍。它们显著亏损相容元素 (V、Co 以及 Cr), 明显亏损 Sr、Nb、 P_2O_5 及 TiO_2 。正长花岗斑岩富集大离子亲石元素 (Rb、

表 2 主量元素(wt%)、微量元素和稀土元素($\times 10^{-6}$)丰度Table 2 Abundances of major elements(wt%)、trace elements and rare earth elements($\times 10^{-6}$)

岩性 样品	闾台克力克能厄肯钾长花岗岩						白城南钾长花岗岩					
	L2-2	L2-3	L2-7	L2-9	L2-9	L2-10	B1	B2	B3	B4	B5	B6
SiO ₂	69.95	70.18	70.34	69.87	70.35	69.97	76.71	76.77	76.18	77.13	76.48	77.14
TiO ₂	0.11	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.10
Al ₂ O ₃	15.41	15.24	15.86	15.36	15.19	15.39	12.84	12.95	12.47	12.69	12.61	12.86
Fe ₂ O ₃ ^T	2.76	2.63	2.67	2.76	2.59	2.76	1.23	1.29	1.33	1.42	1.40	1.19
MnO	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
MgO	0.18	0.17	0.19	0.19	0.17	0.18	0.18	0.20	0.13	0.17	0.19	0.14
CaO	1.02	0.94	0.88	1.09	0.88	0.94	0.67	0.63	0.54	0.58	0.61	0.52
Na ₂ O	5.74	5.78	6.04	5.71	5.61	5.71	3.65	3.55	3.65	3.63	3.54	3.47
K ₂ O	3.55	3.58	3.50	3.45	3.59	3.52	4.36	4.31	4.32	4.23	4.45	4.26
P ₂ O ₅	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	0.79	0.57	0.47	0.82	0.41	0.30	0.46	0.39	0.59	0.53	0.48	0.53
Total	99.63	99.31	100.2	99.48	99.00	99.02	100.2	100.2	99.35	100.5	99.92	100.2
ACNK	1.08	1.07	1.09	1.09	1.09	1.09	1.13	1.17	1.12	1.15	1.13	1.19
ANK	1.16	1.14	1.16	1.17	1.16	1.17	1.20	1.23	1.17	1.20	1.19	1.25
La	17.08	28.08	18.71	17.74	17.58	19.25	19.02	17.19	17.15	18.39	20.18	20.23
Ce	39.07	55.16	39.35	37.19	38.83	46.42	41.63	36.36	37.61	38.31	43.69	42.83
Pr	4.43	5.65	4.75	4.62	4.76	5.00	4.56	4.21	4.02	4.38	4.77	4.77
Nd	18.76	23.43	20.62	19.84	21.14	21.22	17.85	16.64	16.12	17.36	19.08	19.50
Sm	4.00	4.64	4.37	4.03	4.35	4.09	3.55	3.41	3.19	3.68	4.12	4.42
Eu	1.30	1.30	1.26	1.32	1.34	1.26	0.96	0.93	0.82	0.92	0.94	0.87
Gd	5.13	6.36	5.64	5.36	5.64	5.59	5.47	5.19	5.07	5.26	6.28	6.37
Tb	0.84	0.93	0.88	0.86	0.88	0.81	0.71	0.71	0.63	0.66	0.91	0.89
Dy	5.11	5.20	5.13	5.12	5.13	4.74	3.95	3.98	3.45	3.59	5.40	4.86
Ho	1.02	1.05	1.02	1.01	1.01	0.92	0.78	0.79	0.66	0.69	1.10	0.99
Er	2.80	2.83	2.79	2.82	2.82	2.40	2.16	2.19	1.79	1.86	2.90	2.61
Tm	0.41	0.42	0.41	0.41	0.41	0.35	0.31	0.32	0.26	0.28	0.42	0.38
Yb	2.50	2.55	2.47	2.47	2.48	2.10	1.98	2.05	1.64	1.75	2.61	2.35
Lu	0.38	0.36	0.36	0.38	0.37	0.32	0.30	0.32	0.25	0.27	0.40	0.36
∑REE	102.8	138.0	107.8	103.2	106.7	114.5	103.2	94.29	92.66	97.40	112.8	111.4
(La/Yb) _N	4.61	7.42	5.11	4.84	4.78	6.18	6.48	5.65	7.05	7.08	5.21	5.80
(La/Sm) _N	2.69	3.81	2.69	2.77	2.54	2.96	3.37	3.17	3.38	3.14	3.08	2.88
(Gd/Yb) _N	1.66	2.01	1.84	1.75	1.84	2.15	2.23	2.04	2.49	2.43	1.94	2.19
δEu	0.88	0.73	0.78	0.87	0.83	0.81	0.66	0.67	0.62	0.64	0.56	0.50
Sc	0.09	0.10	0.26	0.14	0.89	7.10	4.48	4.57	2.65	2.07	3.52	1.98
V	0.29	0.26	0.49	0.10	0.08	0.08	1.73	1.73	1.46	1.76	1.80	1.58
Cr	1.71	2.37	1.81	2.24	2.11	1.97	2.01	3.58	3.67	3.01	2.58	1.97
Co	0.86	0.64	0.51	0.66	0.49	0.48	1.09	0.95	0.76	1.00	1.33	0.82
Ga	44.10	44.23	42.54	42.90	45.18	41.62	34.09	33.68	30.31	32.96	34.60	32.16
Rb	50.82	57.33	55.64	53.38	53.71	61.86	142.60	139.90	130.40	130.40	152.10	149.70
Sr	76.77	66.84	66.98	87.60	62.78	78.71	38.93	37.06	32.55	37.54	41.20	33.37
Y	16.85	17.23	17.14	17.25	17.23	12.85	18.01	17.98	14.06	15.23	24.75	21.46
Zr	196.40	182	193.70	192.60	183.50	199.50	68.65	72.41	64.72	66.45	86.24	70.76
Nb	0.88	0.88	0.90	0.89	0.90	0.91	0.83	0.84	0.85	0.86	0.85	0.86
Cs	1.50	1.62	2.55	2.80	1.75	2.68	1.38	1.39	1.75	1.18	2.01	1.56
Ba	502.20	517.90	495.10	482.10	517.90	501.50	420.80	411.80	368.4	406.80	438.10	404.00
Hf	5.61	5.42	5.64	5.43	5.40	5.98	2.77	3.11	2.73	2.70	3.79	3.12
Ta	0.60	0.72	0.66	0.68	0.68	0.67	0.61	0.75	0.68	0.64	1.07	0.92
Th	6.00	6.29	5.84	5.71	5.59	5.97	17.93	17.22	15.03	15.33	16.30	16.40
U	1.42	1.58	1.66	2.02	1.94	1.54	3.46	3.61	2.80	3.16	4.71	3.06

主量元素由西北大学地球动力学国家实验室用 RIX-2100 型 X 荧光光谱仪测试。微量元素和稀土元素由长安大学成矿作用及其动力学开放研究实验室用 ICP-MS 测试

续表 2

Continued Table 2

岩性 样号	正长花岗斑岩											
	L13-2	L13-8	L13-11	L13-13	G3	G4	G8	G10	G11	G15	G16	G17
SiO ₂	77.36	76.71	76.45	76.86	77.57	77.33	75.84	76.56	75.75	74.57	74.83	74.61
TiO ₂	0.14	0.10	0.11	0.09	0.15	0.18	0.17	0.15	0.15	0.14	0.16	0.14
Al ₂ O ₃	11.06	11.39	11.35	11.76	11.38	11.23	10.81	11.46	11.58	11.79	11.98	11.95
Fe ₂ O ₃ ^T	2.01	1.02	1.56	1.59	2.00	2.27	2.49	1.76	2.37	2.19	2.13	2.10
MnO	0.06	0.05	0.09	0.07	0.07	0.08	0.06	0.04	0.06	0.06	0.04	0.05
MgO	0.13	0.08	0.19	0.05	0.05	0.11	0.11	0.10	0.24	0.18	0.27	0.23
CaO	0.23	0.29	0.81	0.27	0.34	0.36	0.83	0.16	0.37	0.87	1.07	0.89
Na ₂ O	2.29	3.02	3.55	3.25	3.91	4.37	2.63	3.02	2.79	3.89	3.75	4.44
K ₂ O	6.12	5.90	4.23	5.24	4.16	3.62	5.35	5.58	5.39	4.35	4.41	4.04
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
LOI	0.59	1.10	1.15	0.41	0.74	0.91	1.37	0.70	0.80	1.49	1.44	1.07
Total	100.0	99.67	99.51	99.60	100.4	100.5	99.68	99.55	99.52	99.56	100.1	99.54
ACNK	1.04	0.98	1.02	1.04	1.01	0.98	0.99	1.03	1.08	0.99	1.01	0.96
ANK	1.06	1.00	1.09	1.07	1.04	1.01	1.07	1.04	1.11	1.06	1.09	1.02
La	57.62	15.82	10.64	34.99	62.59	56.03	65.3	54.86	51.07	52.51	53.42	58.28
Ce	132.20	28.72	18.58	83.47	112.20	90.86	133.00	114.20	103.00	104.60	109.70	123.30
Pr	12.84	3.71	3.11	7.35	15.76	15.23	17.03	14.19	13.76	12.71	13.47	15.42
Nd	51.88	13.84	11.33	27.34	60.31	61.97	67.11	52.91	52.92	49.62	54.62	62.05
Sm	10.92	2.95	2.38	4.02	13.40	12.68	14.58	10.66	11.82	10.24	10.33	12.33
Eu	0.50	0.11	0.12	0.11	1.06	0.92	1.08	0.78	0.83	0.47	0.57	0.55
Gd	11.36	3.07	2.72	4.28	12.76	10.91	13.25	9.66	10.17	9.22	11.15	12.01
Tb	1.43	0.54	0.57	0.53	2.36	2.15	2.55	1.67	2.09	1.80	1.79	1.94
Dy	6.81	4.08	4.74	3.49	14.58	12.99	16.07	9.79	13.17	11.74	11.41	12.02
Ho	1.30	0.93	1.22	0.76	2.99	2.70	3.47	1.83	2.75	2.41	2.49	2.54
Er	3.08	2.77	3.82	2.26	8.15	7.56	9.75	4.59	8.25	7.15	7.50	7.42
Tm	0.36	0.43	0.65	0.36	1.23	1.17	1.56	0.60	1.28	1.07	1.08	1.11
Yb	2.19	2.77	4.31	2.18	7.79	7.64	10.19	3.61	8.21	6.93	7.29	7.78
Lu	0.29	0.43	0.65	0.32	1.22	1.20	1.55	0.55	1.36	1.08	1.15	1.20
∑REE	292.8	80.18	64.83	171.5	316.4	284.0	356.5	279.9	280.7	271.5	286.0	317.9
(La/Yb) _N	17.71	3.86	1.67	10.81	5.41	4.94	4.32	10.24	4.19	5.11	4.90	5.05
(La/Sm) _N	3.32	3.38	2.82	5.48	2.94	2.78	2.82	3.24	2.72	3.23	3.25	2.97
(Gd/Yb) _N	4.18	0.90	0.51	1.58	1.32	1.15	1.05	2.16	1.00	1.07	1.23	1.25
δEu	0.14	0.11	0.15	0.08	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.15	0.16	0.14
Sc	10.30	16.35	17.00	8.69	12.27	9.71	10.62	7.50	8.92	7.61	15.79	13.55
V	2.65	5.17	8.43	2.20	3.80	4.98	4.99	2.75	6.77	3.09	9.72	4.13
Cr	30.02	55.51	53.23	48.31	22.69	63.02	72.16	16.33	40.62	48.17	24.48	19.01
Co	1.47	1.84	3.36	1.79	1.13	1.50	1.58	1.13	2.08	1.74	2.86	1.90
Ga	12.89	16.30	24.80	11.80	20.59	18.26	20.17	12.20	19.85	14.98	18.94	18.19
Rb	248.10	312.10	214.90	179.50	101.40	87.65	137.80	165.00	152.20	113.40	148.00	122.00
Sr	32.73	38.72	111.10	21.46	23.40	26.58	76.81	14.83	43.42	148.80	151.80	204.20
Y	24.42	20.73	30.91	14.32	73.69	69.70	89.15	43.73	75.39	77.71	69.39	72.08
Zr	295.80	284.70	284.30	246.30	811.00	848.10	766.60	723.00	781.30	383.90	349.20	364.50
Nb	21.89	18.86	22.79	19.22	27.58	30.19	28.51	30.55	33.11	21.21	21.54	23.92
Cs	13.52	9.81	8.28	5.18	0.36	0.44	0.63	0.75	0.84	3.98	4.82	4.17
Ba	187.70	116.10	167.00	69.23	119.90	118.80	165.00	121.40	192.40	344.10	379.20	366.40
Hf	11.81	10.75	11.09	10.30	23.59	23.89	23.89	22.57	23.72	12.43	12.49	12.57
Ta	1.73	1.86	1.86	1.53	1.98	2.09	1.99	2.13	2.11	1.56	1.80	1.88
Th	14.62	15.65	15.51	14.77	14.55	13.83	15.10	14.52	14.82	15.46	14.90	16.51
U	4.38	3.92	4.36	3.71	0.68	0.61	2.51	1.05	1.09	3.28	3.23	3.64
Ni	11.30	19.01	21.40	14.14	11.01	14.52	14.92	8.08	13.71	12.33	13.04	11.44

主量元素由西北大学地球动力学国家实验室用 RIX-2100 型 X 荧光光谱仪测试。微量元素和稀土元素由香港大学地球科学系用 ICP-MS 测试

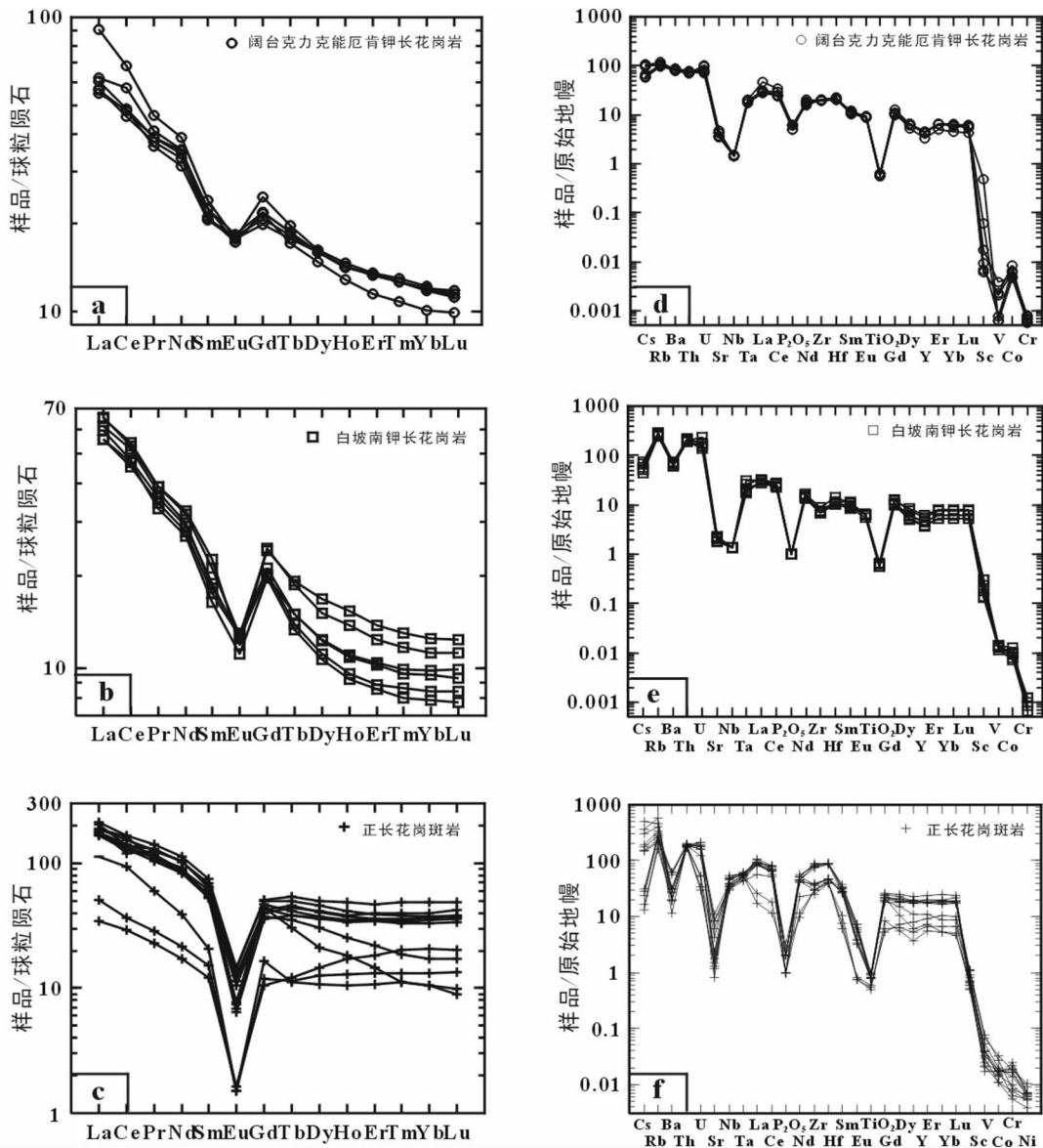


图4 球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线(球粒陨石标准化值据 Taylor and McLennan, 1985)和原始地幔标准化的多元配分曲线图(原始地幔标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig.4 Chondrite-normalized REE distribution patterns (normalizing after Taylor and McLennan, 1985) and continental primitive mantle-normalized multi-element distribution patterns(normalized values after Sun and McDonough, 1989)

Th、U), Cs 丰度变化较大,可能与风化淋滤作用有关;富集高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf),丰度约为原始地幔标准化值的30倍至90倍;明显亏损相容元素,显著亏损Ba、Sr、 P_2O_5 及 TiO_2 。正长花岗斑岩与钾长花岗岩的微量元素地球化学差异主要表现为,前者的高场强元素丰度明显高于后者,且前者无Nb亏损,但有明显的Ba亏损,而后者有Nb亏损,但无Ba亏损。

5 讨论

本文所研究的花岗岩既是钾长花岗岩又是碱长花岗岩,

属弱过铝质。岩相学和主量地球化学特征均显示其为A型花岗岩。正长花岗斑岩的斑晶为正长石和石英,除两件样品的 K_2O/Na_2O 比值小于1,其余十件样品的 K_2O/Na_2O 比值变化在1.06~2.67之间,属准铝质到弱过铝质,其主量元素地球化学具有钾质花岗岩的特征,因此也应属于A型花岗岩的范畴。此外,钾长花岗岩与正长花岗斑岩共有的岩石地球化学特征为高硅、富碱、Fe/Mg比值高, $10000 \times Ga/Al$ 比值高(其平均值为3.98,高于A型花岗岩平均值3.9),富含Zr、Ga、REE(除Eu外);CaO、MgO、Sr以及 TiO_2 含量低,具有明显的负Eu异常,且正长花岗斑岩还具有明显的Ba负异常,与A型花岗岩的一般特征相吻合(陈建林等,2004;

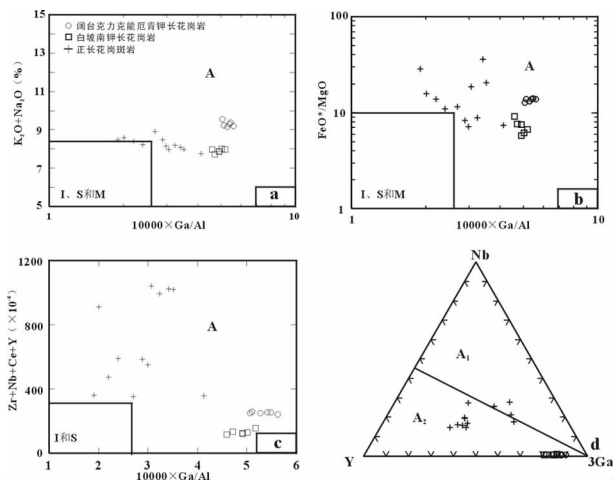


图5 花岗岩成因类型判别图(据 Whalen *et al.*, 1987) 及分类图(据 Harris *et al.*, 1986)

Fig. 5 Discrimination diagram for granitoids (after Whalen *et al.*, 1987) and classification diagram for A-type granitoids (after Harris *et al.*, 1986)

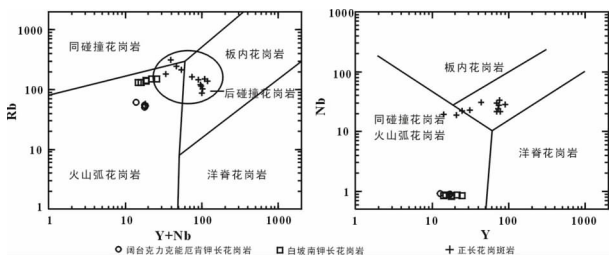


图6 构造环境判别图(据 Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 6 Discrimination diagrams for settings of the granites (after Pearce *et al.*, 1984)

Whalen *et al.*, 1987)。在花岗岩成因类型判别图上(图 5a-c), 这些样品普遍投影于 A 型花岗岩区, 进一步证明钾长花岗岩和正长花岗岩属于 A 型花岗岩。在 A 型花岗岩分类图上(图 5d), 钾长花岗岩样品全部投在 A_2 型区域内, 正长花岗岩大多数样品投影在 A_2 型区域内, 仅有少量样品投影在 A_1A_2 分界线偏 A_1 一侧, 证明它们应当属于 A_2 型花岗岩。此外, 有必要说明, 本区觉罗塔格岛弧带的花岗岩均属 A 型花岗岩, 没有 I 型花岗岩; 而位于大南湖岛弧带的阔台克力克能厄肯钾长花岗岩体为一独立岩体, 与其南侧的二长花岗岩无空间上的接触关系, 因此没有证据显示所研究的花岗质岩石是 I 型花岗质岩浆高度分异演化的产物。其岩相学、主量元素地球化学、稀土元素地球化学和微量元素地球化学均显示出明显的 A 型花岗岩特征。

朱永峰等(2007)系统总结了北疆地区晚古生代期间花岗岩类岩石、镁铁质杂岩和火山岩的时空分布特点, 论述了不同类型岩浆活动的时限、成因与地球动力学背景。赵振华等(2006)论证了新疆北部有两类埃达克岩, 其中俯冲型埃达

克岩应形成于早、中泥盆世—早石炭晚期($\geq 320\text{Ma}$), 包括埃达克岩、富 Nb 玄武岩、高(富) Mg 安山岩。土屋—延东含矿斜长花岗岩斑岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 361~356Ma(秦克章等, 2002; 芮宗瑶等, 2002), 锆石 SHRIMP 年龄为 333~334Ma^①。吴昌志等(2006)根据 LAM-ICP/MS 锆石定年结果厘定红云滩花岗岩侵位于早-中石炭世($328.5 \pm 9.3\text{Ma}$)。相关学者认为上述岩体均为岛弧环境产物, 且岩体年龄均大于 320Ma。根据我们的研究, 小热泉子组钙碱性火山岩和阿奇山组埃达克火山岩的锆石 U-Pb 谐和年龄分别为 325Ma 和 341Ma, 也同样都大于 320Ma, 据此可以将 320Ma 作为准噶尔板块东部(包括传统意义上的北天山)岛弧环境的结束时限。

韩宝福等(2006)提出, 东准噶尔后碰撞深成岩浆活动发生在 330~265Ma 之间。顾连兴等(2006)认为, 东天山海西期主碰撞以后形成的花岗岩可以分为三个阶段: 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)。赵振华等(2006)认为新疆北部的第二类埃达克岩是底侵型, 形成于中晚二叠世。韩宝福等(2006)确定的后碰撞深成岩浆活动起始时限 330Ma, 与证据确凿的岛弧环境分界时限($\geq 320\text{Ma}$)有部分重叠, 因此, 后碰撞岩石圈伸展阶段的起始时限应当在 320Ma 之后, 大约对应于早晚石炭世的分界时限($318.1 \pm 1.3\text{Ma}$)。这与前人对西天山火山岩和基性侵入岩的研究结果(朱永峰等, 2005, 2006a, b; Zhu *et al.*, 2006c)相吻合。

如前所述, 白坡南钾长花岗岩体的锆石 U-Pb 谐和年龄为 $338.3 \pm 4.3\text{Ma}$, 正长花岗岩的锆石 U-Pb 谐和年龄为 $278 \pm 2\text{Ma}$ 。鉴于本区 B 型俯冲阶段与后碰撞岩石圈伸展阶段的分界时限为 320Ma, 因此, 从年代学角度看, 白坡南钾长花岗岩应形成于 B 型俯冲阶段的岛弧环境, 而正长花岗岩应形成于后碰撞岩石圈伸展阶段。

白坡南钾长花岗岩体轻稀土元素富集程度明显高于重稀土元素, 富集大离子亲石元素(Cs、Rb、Ba、Th、U), 显著亏损 Sr、Nb、 P_2O_5 、 TiO_2 。在构造环境判别图上(图 6), 钾长花岗岩样品均投影于火山弧花岗岩区, 反映这种钾长花岗岩具有火山弧花岗岩的地球化学特征, 与我们由年代学得出的观点相吻合。

根据阔台克力克能厄肯钾长花岗岩侵入的小热泉子组火山岩和花岗岩的锆石 U-Pb 谐和年龄均为 325.1Ma, 推测其形成年龄应该介于 325~320Ma 之间。该岩体具有与白坡南钾长花岗岩类似的岩相学、稀土元素及微量元素地球化学特征, 且二者在构造环境判别图上均位于火山弧花岗岩区, 因此可以推测该岩体也形成于岛弧环境。

正长花岗岩轻重稀土分馏不明显, 富集高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf)。在构造环境判别图上, 正长花岗岩样品大多数投影于板内花岗岩区内, 仅有少数投影在靠近火山弧花岗岩和板内花岗岩分界线的火山弧花岗岩一侧, 进一步证

① 刘德权等. 2003. 305 项目办 2003 年第三期简报

明正长花岗斑岩是形成于后碰撞伸展阶段的 A 型花岗岩。

6 结论

研究区分布有两类 A 型花岗岩,岩石类型分别为钾长花岗岩和正长花岗斑岩。阔台克力克能厄肯钾长花岗岩属大南湖岛弧带,白坡南钾长花岗岩和正长花岗斑岩均属于觉罗塔格岛弧带。阔台克力克能厄肯钾长花岗岩和白坡南钾长花岗岩均为弱过铝质,岩石化学属高钾钙碱性系列;轻稀土元素富集程度明显高于重稀土元素,具明显的负 Eu 异常;富集大离子亲石元素,显著亏损 Sr、Nb、P₂O₅、TiO₂。正长花岗斑岩从准铝质过渡到弱过铝质,岩石化学从高钾钙碱性系列过渡到钾玄岩系列;轻重稀土元素分馏不明显,具显著的 Eu 负异常;富集高场强元素,亏损 Ba、Sr、P₂O₅ 及 TiO₂,无 Nb 亏损。白坡南钾长花岗岩体的锆石 U-Pb 谐和年龄为 338.3 ± 4.3Ma,形成于早石炭世维宪阶早期;正长花岗斑岩的锆石 U-Pb 谐和年龄为 278 ± 2Ma,形成于二叠纪乌拉尔世亚丁斯克阶晚期。年代学和岩石地球化学研究均表明,钾长花岗岩产于岛弧环境,属 B 型俯冲阶段产物;正长花岗斑岩产于后碰撞伸展环境。本文研究结果表明,A 型花岗岩形成的构造环境并不一定都限于非造山或后碰撞伸展环境,有少量 A₂ 型花岗岩也可以形成于 B 型俯冲阶段的岛弧环境。

致谢 特邀主编朱永峰教授和匿名审稿人对本文进行了认真的审阅,提出了宝贵的修改意见,使我们获益良多。在此,对他们的辛勤劳动致以诚挚的谢忱!

References

Bonin B. 2007. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. *Lithos*, 97: 1 - 29

Chen JL, Guo YS and Fu SM. 2004. The research headway to granitoid-classification review and synthesis of ISMA granitoid. *Acta Geologica Gansu*, 13(1): 67 - 73

Collins WJ, Beams SD, White AJR and Chappell BW. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southern Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80: 183 - 200

Eby GN. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, 26: 115 - 134

Gu LX, Zhang ZZ, Wu CZ *et al.* 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)

Hong DW, Wang SG, Han BF and Jin MY. 1995. Tectonic setting classifications and their identifiable criterias of alkali granites. *Science in China (B)*, 25 (4): 418 - 426 (in Chinese)

Han BF, Ji JQ, Song B *et al.* 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1077 - 1086 (in Chinese with English abstract)

Harris NBW, Pearce JA and Tindle AG. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward and Rieseds (eds.). *Collision Tectonics GSA. Pub.*, 19: 67 - 81

Loiselle MC and Wones DR. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Am. Abstr. Program*, 11: 468

Martin RF. 2006. A-type granites of crustal origin ultimately result from open-system fenitization-type reactions in an extensional environment. *Lithos*, 91: 125 - 136

Pearce JA, Harris NB and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagram for tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 656 - 682

Qin KZ, Fang T, Wang S *et al.* 2002. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan Mountains, NW China. *Xinjiang Geology*, 20 (4): 302 - 308 (in Chinese with English abstract)

Rui ZY, Wang LS, Wang YT *et al.* 2002. Discussion on metallogenic epoch of Tuwu and Yandong porphy copper deposits in East Tianshan Mountains, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 21 (1): 16 - 22 (in Chinese with English abstract)

Shellnutt JG and Zhou MF. 2007. Permian peralkaline, peraluminous and metaluminous A-type granites in the Panxi district, SW China: Their relationship to the Emeishan mantle plume. *Chemical Geology*, 243: 286 - 316

Song B, Zhang SH, Wang YB, Zhao Y. 2006. Avoidance of systematic bias of SHRIMP zircon U-Pb dating: necessity of staged calibrations. *Rock and Mineral Analysis*. 25: 9 - 14 (in Chinese with English abstract)

Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotope systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Nory MJ (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ.*, 42: 313 - 315

Whalen JB, Currie KL and Chappell BW. 1987. A-type granites geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 407 - 419

Wu CZ, Zhang ZZ, Zaw K *et al.* 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 FY, Sun DY, Li HM *et al.* 2002. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chemical Geology*, 187: 143 - 173

Wu YB and Zheng YF. 2004. Mineral-genesis of zircon and its constraint to the explain of U-Pb ages. *Chinese Science Bulletin*, 49 (16): 1589 - 1604 (in Chinese)

Xu BL, Yan GH, Zhang C *et al.* 1998. Subtypes and resources of A-type granites. *Earth Science Frontiers*, 5(3): 113 - 124 (in Chinese with English abstract)

Zhao ZH, Wang Q, Xiong XL *et al.* 2006. Two types of adakites in north Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1249 - 1265 (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: 2201 - 2212

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

Zhu YF, Zhou J and Guo X. 2006a. Petrology and geochemistry of a + ε_{Nd} gabbro body in Baluntai region, central Tianshan mountains, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 1178 - 1192 (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: 487 - 497 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF, Guo X, Zhang L and Song B. 2006c. Geochemistry and zircon SHRIMP dating on the Late Paleozoic volcanic rocks in west Tianshan Mountains (Central Asia, Xinjiang). *Geochim. Cosmochim. Acta*, A755

Zhu YF, Wang T and Xu X. 2007. Progress of geology study in Xinjiang and its adjacent regions. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1785 -

1794 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈建林, 郭原生, 付善明. 2004. 花岗岩研究进展—ISMA 花岗岩分类综述. 甘肃地质学报, 13(1): 67-73
- 顾连兴, 张遵忠, 吴昌志等. 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(05): 1103-1020
- 洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 靳满元. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. 中国科学(B辑), 25(4): 418-426
- 韩宝福, 季建清, 宋彪等. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向增长(I)—后碰撞深成岩浆活动的时限. 岩石学报, 22(05): 1077-1086
- 秦克章, 方同辉, 王书来等. 2002. 东天山板块构造分区, 演化与成矿地质背景研究. 新疆地质, 20(4): 302-308
- 芮宗瑶, 王龙生, 王义天等. 2002. 东天山土屋—延东斑岩铜矿床时代讨论. 矿床地质, 21(1): 16-22
- 宋彪, 张拴宏, 王彦斌, 赵越. 2006. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理时系统偏差的避免——标准锆石分段校正的必要性. 岩矿测试, 25: 9-14
- 吴昌志, 张遵忠, Khin Zaw 等. 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(05): 1121-

1134

- 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
- 许保良, 阎国翰, 张臣等. 1998. A 型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源. 地学前沿, 5(3): 113-124
- 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(05): 1249-1265
- 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 年代学研究: 兼论花岗岩中热液锆石边的定年. 岩石学报, 22: 135-144
- 朱永峰, 张立飞, 古立冰, 郭璇, 周晶. 2005. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究. 科学通报, 50: 2004-2014
- 朱永峰, 周晶, 郭璇. 2006a. 新疆中天山巴仑台地区晚石炭世 + ϵ_{Nd} 辉长岩的岩石学和同位素地球化学研究. 岩石学报, 22: 1178-1192
- 朱永峰, 周晶, 宋彪, 张立飞, 郭璇. 2006b. 新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解决方案. 中国地质, 33: 487-497
- 朱永峰, 王涛, 徐新. 2007. 新疆及邻区地质与矿产研究进展. 岩石学报, 23(08): 1785-1794