地 质 科 学
2015 年 7 月 CHINESE JOURNAL OF GEOLOGY 50(3):810—823

doi:10.3969/j.issn.0563-5020.2015.03.010

塔里木西南缘布雅花岗岩体地球化学特征及构造意义*

朱彦菲[1] 李 平[2] 朱志新[1,2] 靳刘圆[2] 刘 鑫[1] 陈邦学[3]

(1. 新疆大学地质与矿业工程学院 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆地质调查院 乌鲁木齐 830011;
3. 新疆地矿局第十一地质勘查大队 新疆昌吉 831100)

摘 要 布雅花岗岩体侵位于塔里木南缘铁克里克断隆带下元古界埃连卡特岩群,其主体由二长花岗岩组成。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明,布雅花岗岩体形成于晚奥陶世(457.03~445.07 Ma),是早古生代岩浆作用的产物。岩石地球化学表明其具高钾钙碱性系列特征,岩体为准铝质Ⅰ型花岗岩,并具有高 Ba-Sr 花岗岩的岩石地球化学特征,即高 Ba、Sr 和 LREE 含量,高 Sr/Y、La/Yb 值,低 Y(5.9×10^{-6}~8.0×10^{-6})、Yb(0.41×10^{-6}~0.72×10^{-6})和 HREE(4.01×10^{-6}~5.02×10^{-6}),轻重稀土元素强烈分异,无明显 Eu 负异常,亏损 Nb、P、Ti 等高场强元素。根据该岩体岩石地球化学特征及前人对高 Ba-Sr 花岗岩成因研究成果,笔者认为该岩体可能为岩石圈的拆沉和减薄作用引发地幔岩石圈发生部分熔融,后伴随着角闪石、黑云母和副矿物的分离结晶形成了高 Ba-Sr 的布雅花岗岩,其物质来源很可能与含远洋沉积物(含碳酸盐岩)俯冲板片析出流体/熔体交代的富集地幔以及早元古埃连卡特岩群基底物质所组成的混合源区有紧密联系。

关键词 塔里木 铁克里克 高 Ba-Sr 花岗岩 布雅 新疆

中图分类号:P588, P597 **文献标识码**: A **文章编号**: 0563-5020(2015)03-810-14

塔里木地块是我国 3 大主要地块之一(塔里木、华南、华北),它是一个具有完整的前寒武结晶基底并发育了良好的新元古代盖层的大陆块体(张传林等, 2012)。最近十余年来,中外地质学家在塔里木地区针对前寒武纪地质尤其是新元古代构造演化做了大量工作(Chen et al., 2004; 崔建堂等, 2006; Zhang et al., 2007)。大量研究成果表明塔里木在新元古代末期完成了以 TTG 为主的初始大陆地壳演化阶段(Lu et al., 2008; 王超等, 2009),之后经历了古元古代末期及中元古代晚期—新元古代早期的两次造山事件,最终形成了塔里木前寒武基底,且在新元古代早期(约 800 Ma)作为 Rodinia 超大陆一员发生裂解(张传林等, 2003a, 2003b; 王洪浩等, 2013),汇聚到澳大利亚北缘(李曰俊等, 2005; Ma et al., 2011)。大约从 740 Ma 起,塔里木开始接受新元古代的盖层沉积

* 中国地质调查局项目"重要造山带关键地区区域地质专项调查"和"环塔里木前寒武纪成矿作用及大型找矿靶区优选研究"(编号: 12120114064301, 1212011140056)资助。

朱彦菲,女,1991 年 12 月生,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: 391254540@qq.com

李 平,男,1987 年 5 月生,硕士,工程师,矿物学、岩石学、矿床学专业。本文通讯作者。E-mail: liping3731@163.com

2015-01-10 收稿, 2015-05-18 改回。

(Xu et al., 2005, 张传林等, 2012)。

铁克里克构造带作为塔里木地块南缘隆起带，为西昆仑造山带和塔里木地块结合部位，其主体由一套片麻岩和混合岩为主的前寒武系变质岩石组成，是研究西昆仑与塔里木盆地前寒武纪地壳形成和演化的关键地段。近年来，广大地质学者对于西昆仑构造带进行了较全面的研究，但对于铁克里克构造带还缺乏深入的研究（图 1）。布雅花岗岩体位于铁克里克隆起带东部地区，距和田布雅煤矿约 20 km。目前对于该岩体的成岩时代及岩石成因均存在争议(李玮等, 2007; Ye et al., 2008)。本文通过对布雅花岗岩体岩石学、年代学以及地球化学特征研究，针对布雅花岗岩体的形成时代、岩石成因及其构造环境进行了探讨，以期为铁克里克构造带早古生代岩浆活动及构造演化提供依据。

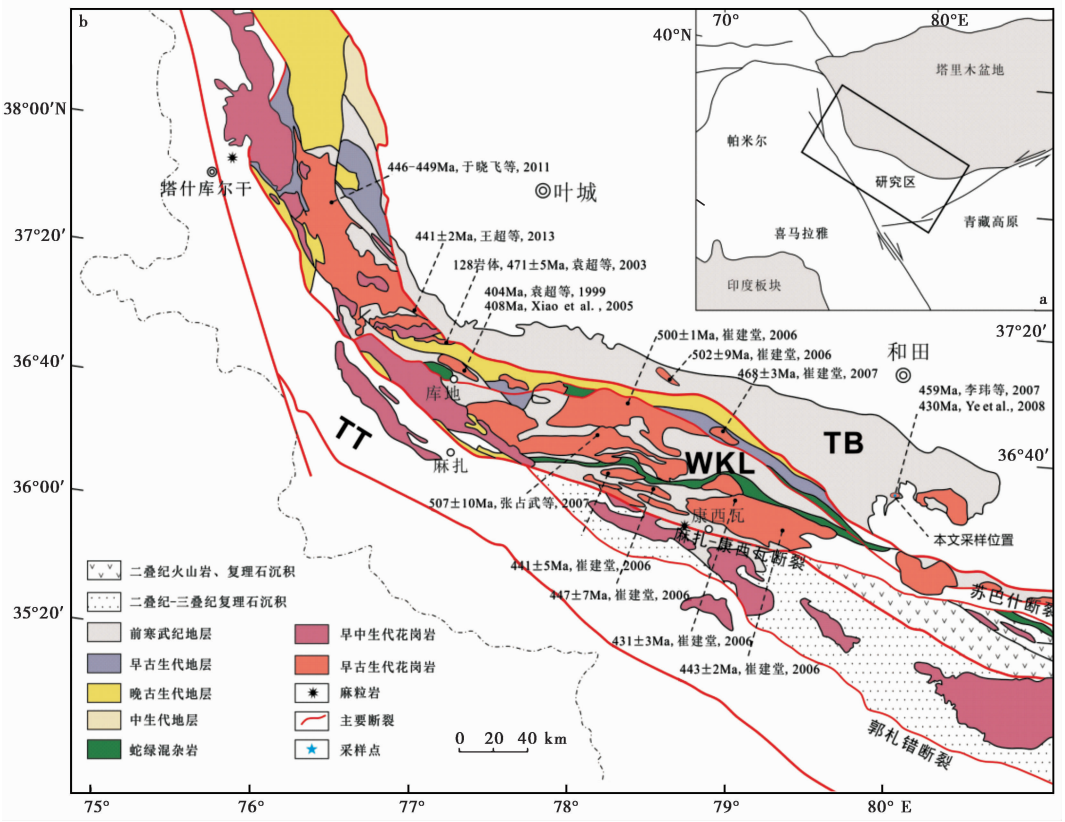


图 1　青藏高原西北部构造单元划分简图(a)和西昆仑及邻区地质构造略图(b)
(底图及数据转引自王超等, 2013)

TB. 铁克里克断隆带; WKL. 西昆仑地体; TT. 塔什库尔干—甜水海地体

Fig. 1　Simplified tectonic framework of the western Tibet Plateau(a) and simplified geological map of the western Kunlun orogenic belt(b)(modified from Wang et al., 2013)

1　地质背景

铁克里克构造带大地构造位置隶属于塔里木陆块南缘隆起带，南与西昆仑地块以柯岗大断裂为界，北邻塔里木陆块区，主要由前寒武纪及古生代地层组成（图 1）。前寒武

基底主要为下元古界的赫罗斯坦岩群和埃连卡特岩群、中元古界的塞拉加兹塔格群、博查特塔格组、苏玛兰组以及上元古界的苏库克罗组、恰克马克力克组、库尔卡克组和克孜苏胡木组等组成，区域上缺失下古生界地层，上泥盆统及石炭系、二叠系呈角度不整合(或断层接触)覆于老地层之上。下元古界总体上为一套低级变质的绿片岩相变质岩系，构成结晶基底，长城系塞拉加兹塔格群的一套双峰式火山岩建造代表了陆间裂谷的形成，蓟县系以后裂谷闭合，形成了一套海相碳酸盐岩为主的沉积建造。早古生代进入板块活跃期，上泥盆统奇自拉夫组的一套滨海—陆相正常沉积的碎屑岩沉积建造代表洋盆逐渐消亡，重新开始接受沉积。区域上侵入岩体分布较少，仅有几处早古生代侵入体，可能代表了早古生代期间板块活跃期的岩浆活动。

2 岩石学特征

本次研究的布雅花岗岩体侵位于下元古界埃连卡特岩群(图 2a)，平面上呈椭圆体分布，东西长约为 4 km，南北宽约为 2.4 km。布雅花岗岩体主体为肉红色细粒二长花岗岩，其间发育了少量灰色细粒花岗闪长岩脉（图 2b)，与之呈脉动侵入接触关系，同侵位于下元古界埃连卡特岩群（图 2a)。细粒二长花岗岩呈细粒半自形粒状结构，块状构造，岩石主要由斜长石(40%~45%)、钾长石(30%~35%)、石英(25%)、黑云母(少量)组成。斜长石半自形板状，大小一般为 1~2 mm，部分为 0.5~1 mm，杂乱分布，被绢云母、黝帘石、绿帘石交代，表面脏（图 2c、图 2d)。钾长石半自形板状，大小一般为 1~2 mm，大部分为 0.5~1 mm，杂乱分布，轻土化，表面略脏（图 2c)。石英它形粒状，大小一般为 0.5~1 mm，部分为 0.2~0.5 mm，星散状分布，集合体不规则状堆状分布，

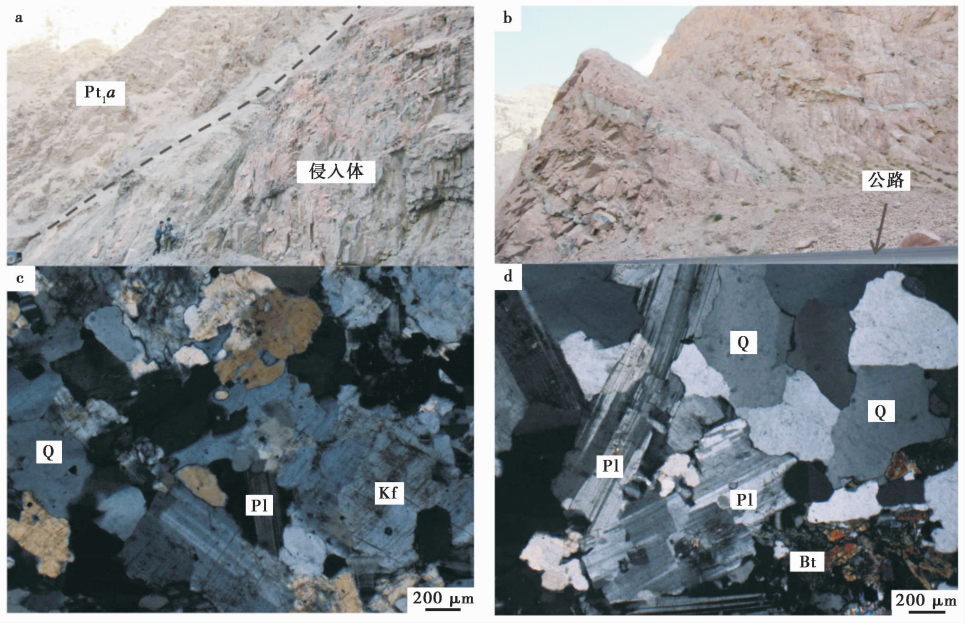


图 2 布雅花岗岩体野外及镜下特征

Kf. 钾长石；Pl. 斜长石；Bt. 黑云母；Q. 石英

Fig. 2 Field and microscopic characteristics of Buya granite

波状消光明显。黑云母片状，片直径为 0.2～0.5 mm，星散状分布，被绿泥石、绿帘石交代，部分为假象（图 2d）。副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石等。

3　岩石地球化学特征

本次样品的主量元素、微量和稀土元素分析在广州澳实公司测试。主量元素采用熔片 XRF 方法在 X 荧光光谱仪 3080E 测定，其中 FeO 采用容量滴定法，分析精度优于 1%。稀土和微量元素先采用 Teflon 熔样罐进行熔样，然后采用 Finnigan MAT 公司生产的双聚焦高分辨 ICP-MS 进行测定，相对标准偏差优于 5%。6 件布雅花岗岩样品的岩石化学、稀土及微量元素分析结果列于表 1。

3.1　主量元素

细粒二长花岗岩的 SiO_2 含量高且变化范围较小（71.6%～73.5%），平均值为 72.57%；全碱含量较高（9.65%～9.89%），显示出了高硅富碱性高钾钙碱性系列侵入岩的特征（图 3）。Al_2O_3 含量较高，为 14.55%～15.25%，铝饱和指数（A/CNK）变化较小，为 0.99～1.00，显示其属于准铝质系列。MgO、CaO、FeO^T 含量极低（分别为 0.15%～0.20%，0.55%～0.95%，1.07%～1.20%），低的 TiO_2（0.08%～0.10%）含量表明其属于低 Ti 岩石。岩石化学特征表明其属于高钾钙碱性准铝质低 Ti 花岗岩类。

3.2　稀土元素

细粒二长花岗岩稀土总量（ΣREE）为 69.76×10^{-6}～109.83×10^{-6}；轻重稀土分馏明显，所有样品均表现为轻稀土富集（LREE/HREE=14.0～21.0），轻稀土元素的分馏程度较重稀土元素明显 $(La/Yb)_N=17.2\sim36.0$，在球粒陨石标准化配分图中，所有样品都具有相似的轻稀土富集重稀土平缓的右倾 REE 配分模式（图 4），它们的 $(La/Sm)_N$ 和 $(Gd/Yb)_N$ 值分别为变化于 4.6～6.5 和 2.0～3.2；岩石的 Eu 负异常不明显，为 0.77～0.89。一般而言，在分馏结晶作用过程中，长石从岩浆分离出来或者在部分熔融作用中长石残留在源区，往往会引起熔浆中 Eu 元素强烈负异常。然而，布雅花岗岩体 Eu 异常不显著，表明二者的岩浆体系在演化过程中很可能还存在角闪石、辉石以及石榴子石等矿物分离结晶造成的正 Eu 异常，从而部分“抵消”因长石分离而引起的 Eu 负异常（Rollinson，1993）。

3.3　微量元素

细粒二长花岗岩的亲石元素明显富集，具有较高的 K、Rb、Cs、Ba、Pb，它们极为活动，可能表明了有流体的存在，Sr 元素明显富集（568×10^{-6}～832×10^{-6}）同时具有较高的 Sr/Y 比值（82～156）；高场强元素 Nb、Ti、P 含量较低，明显区别于典型的Ⅰ型或 S 型花岗岩（Tarney and Jones，1994），显示埃达克质岩石或高 Ba-Sr 花岗岩的地球化学特征。在原始地幔标准化蛛网图上（图 5），总体显示了较为一致的分布模式，Rb、Ba、U、Th、K、Pb 具有明显的正异常，Nb、Ta、Ti、P 具明显的负异常，说明了岩浆演化过程中发生了铁钛氧化物、斜长石、碱性长石和磷灰石的分离结晶作用或者在部分熔融过程中

表 1 布雅花岗岩体的主量/%、微量/×10^{-6}元素组成

Table 1 Major/% and trace/×10^{-6} elements data for Buya granite

岩石名称	细粒二长花岗岩						岩石名称	细粒二长花岗岩					
样品编号	H6-1	H6-2	H6-3	H6-4	H6-5	H6-6	样品编号	H6-1	H6-2	H6-3	H6-4	H6-5	H6-6
SiO_2	71.60	72.10	72.60	72.80	73.50	72.80	Y	7.70	6.90	5.90	8.00	5.90	6.70
TiO_2	0.09	0.10	0.10	0.08	0.08	0.10	Hf	4.00	3.10	3.20	3.50	3.20	2.70
Al_2O_3	15.25	14.85	14.75	14.60	14.55	14.70	Nb	15.60	11.40	9.00	12.30	11.30	9.90
Fe_2O_3	0.89	0.92	0.93	0.91	0.93	0.89	Ta	1.10	0.70	0.70	0.80	0.80	0.60
MnO	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	Zr	122.00	108.00	114.00	114.00	107.00	101.00
MgO	0.19	0.20	0.19	0.16	0.15	0.18	Sr	832.00	742.00	653.00	656.00	614.00	568.00
CaO	0.95	0.77	0.83	0.55	0.71	0.70	Rb	173.50	191.00	191.00	235.00	207.00	192.00
Na_2O	5.49	5.27	5.21	5.08	5.11	5.31	Ba	1320.00	1365.00	1155.00	1180.00	1115.00	1225.00
K_2O	4.22	4.49	4.44	4.81	4.57	4.38	U	6.95	4.96	3.66	6.65	5.25	2.99
P_2O_5	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	Th	18.85	14.85	17.35	28.80	22.10	12.25
LOI	0.41	0.39	0.41	0.37	0.42	0.41	Pb	59.00	57.50	53.90	57.70	61.80	56.00
Total	99.15	99.14	99.51	99.39	100.06	99.51	P	120.00	120.00	120.00	90.00	80.00	110.00
FeO	0.33	0.33	0.29	0.24	0.36	0.32	Sc	1.00	0.90	0.90	0.40	1.00	1.00
$Mg^{\#}$	23.11	23.61	23.15	21.26	18.28	22.30	Ti	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06
N_2O+K_2O	9.71	9.76	9.65	9.89	9.68	9.69	V	10.00	10.00	8.00	10.00	10.00	8.00
A/CNK	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	Cr	2.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00
FeO^T/MgO	6.01	5.84	5.97	6.67	8.00	6.27	Mn	189.00	156.00	175.00	107.00	152.00	177.00
La	17.30	17.90	16.90	29.10	18.20	16.80	Co	1.00	1.00	1.00	0.70	0.80	0.90
Ce	34.00	34.40	32.70	50.60	34.70	32.20	Ni	1.00	0.90	0.90	0.70	0.70	1.20
Pr	3.47	3.64	3.04	4.91	3.35	3.44	Cu	1.00	1.50	0.80	0.40	0.30	1.20
Nd	12.40	12.50	10.70	16.70	11.70	12.40	Cs	2.35	2.23	2.16	3.95	2.58	2.12
Sm	2.39	2.26	1.90	2.88	2.21	2.35	Ga	22.80	21.60	21.40	23.70	21.80	20.70
Eu	0.59	0.58	0.47	0.64	0.54	0.56	∑REE	75.17	75.64	69.76	109.83	74.71	72.59
Gd	1.74	1.59	1.52	2.00	1.58	1.89	LREE/HREE	5.02	4.36	4.05	5.00	4.01	4.84
Tb	0.21	0.21	0.17	0.21	0.19	0.24	δEu	0.84	0.89	0.82	0.77	0.84	0.79
Dy	1.17	1.08	0.96	1.22	0.99	1.19	$(La/Yb)_N$	17.24	27.33	24.26	36.00	31.86	24.11
Ho	0.24	0.21	0.18	0.21	0.18	0.22	$(La/Sm)_N$	4.67	5.11	5.74	6.52	5.32	4.62
Er	0.75	0.63	0.56	0.61	0.51	0.67	$(Gd/Yb)_N$	2.00	2.80	2.51	2.85	3.19	3.13
Tm	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.07	Sr/Y	108.05	107.54	110.68	82.00	104.07	84.78
Yb	0.72	0.47	0.50	0.58	0.41	0.50	Ga/Al	1.50	1.45	1.45	1.62	1.50	1.41
Lu	0.10	0.09	0.07	0.09	0.07	0.06							

这些矿物在源区有残留。

4 年代学研究

本文所采集的测试年龄样品经过严格的粉碎、重液分离和磁选，之后在双目镜下挑选出晶形好、无裂隙、干净透明的锆石晶体。将选好的锆石与标样一起至于环氧树脂制

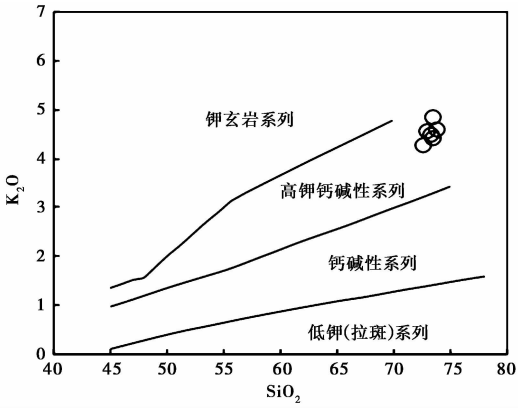


图 3　布雅花岗岩 SiO_2-K_2O 图解(实线数据引自 Peccerillo and Taylor, 1976)

Fig. 3　SiO_2-K_2O diagram of Buya granties(real line after Peccerillo and Taylor, 1976)

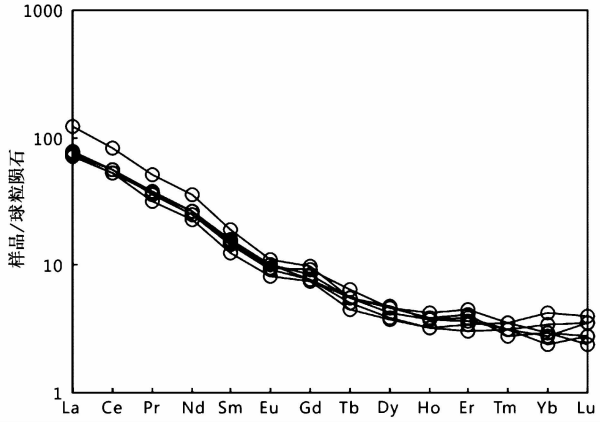


图 4　布雅花岗岩稀土元素配分模式图(标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4　Chondrite-normalized REE patterns of Buya granite(normalized values are from Sun and McDonough, 1989)

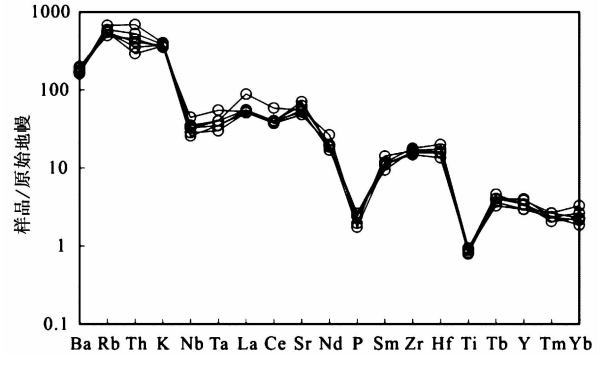


图 5　布雅花岗岩微量元素原始地幔配分图(标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5　Primitive mantle-normalized trace elements patterns for the Buya granties
(normalized values are from Sun and McDonough, 1989)

成样品靶，将靶上的锆石颗粒打磨至中心部位出露后，进行抛光并进行阴极发光照相(CL)。激光剥蚀熔融等离子质谱(LA-ICP-MS)锆石 U-Pb 同位素定年由中国科学院广州地化所同位素地球化学国家重点实验室完成。所给定的同位素比值和年龄误差在 1σ 水平，具体实验原理和流程详见文献(Williams，1998；宋彪等，2002)。实验获得数据采用 ICPMSDataCal 软件进行处理(Liu et al.，2008)。

布雅花岗岩体中的锆石大多无色透明，呈自形短柱状，晶面光洁清晰，且发育有规则的韵律环带结构和核幔结构（图 6）。锆石的晶形及阴极发光图像及较高的 Th/U 比值(大于 0.1)表明其为典型的岩浆成因锆石(吴元保等，2004)。本次分析的 8 个锆石多选择在环带发育的部位进行，分析结果列于表 2。这些测点年龄数据主要集中在 680.86～617.91 Ma(早元古代)、457.03～445.07 Ma(晚奥陶世)、397.59～393.56 Ma(中泥盆世)，其年龄可能分别代表了古老锆石年龄、岩体侵位年龄以及后期构造热事件。

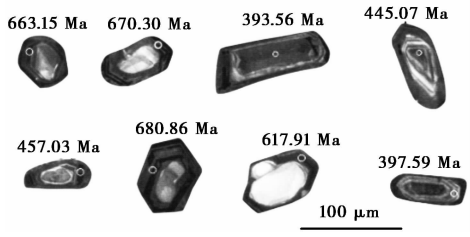


图 6 布雅花岗岩锆石阴极发光照片

Fig. 6 CL images of zircon from Buya granite

表 2 布雅花岗岩体 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 2 La-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis of Buya granite

测点	Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度
		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	
1	0.27	0.0648	0.0039	0.9715	0.0637	0.1083	0.0009	768.52	125.15	689.22	32.82	663.15	4.99	96%
2	0.24	0.0685	0.0029	1.0411	0.0548	0.1096	0.0014	883.33	88.12	724.48	27.28	670.30	8.28	92%
3	0.20	0.0672	0.0016	0.5872	0.0211	0.0630	0.0005	844.13	52.78	469.10	13.49	393.56	3.14	82%
4	0.73	0.0617	0.0011	0.6092	0.0177	0.0715	0.0005	664.83	34.25	483.03	11.15	445.07	3.11	91%
5	0.11	0.0630	0.0009	0.6409	0.0131	0.0735	0.0006	709.27	32.25	502.84	8.11	457.03	3.34	90%
6	0.27	0.0782	0.0011	1.2004	0.0214	0.1114	0.0011	1153.71	31.63	800.79	9.88	680.86	6.30	83%
7	0.11	0.0599	0.0007	0.8326	0.0160	0.1006	0.0018	611.13	28.69	615.08	8.89	617.91	10.29	99%
8	0.27	0.0596	0.0006	0.5237	0.0053	0.0636	0.0003	590.77	22.21	427.60	3.54	397.59	1.81	92%

5 讨 论

5.1 岩石地球化学类型

布雅花岗岩的地球化学特征排除了 S、M 型花岗岩成因。高硅、富碱、含黑云母等特征表明其可能具有 A 型花岗岩特征。然而，A 型花岗岩通常形成于高温低压条件下的

部分熔融，具有较高的 Zr、HFSE 以及 FeO^T/MgO、Ga/Al 比值，强烈亏损 Ba、Sr、Eu 等（吴锁平等，2007）。相反的是，布雅花岗岩具有低 Zr（$69\times10^{-6}\sim122\times10^{-6}$）、低的 FeO^T/MgO（5.84～8.00）、Ga/Al（1.41～1.62）比值，高的 Ba（$1\ 115\times10^{-6}\sim1\ 365\times10^{-6}$）、Sr（$568\times10^{-6}\sim832\times10^{-6}$）以及 Sr/Y（82～156）、$(La/Yb)_N$（14.35～35.99）比值，表明其可能形成于高压条件下的部分熔融，这与 A 型花岗岩是不相符的（Wu et al., 2002；李小伟等，2010）。岩石具有高 LREE、LILE 以及低 HREE 和 HFSE 含量，以及其高的 Sr/Y 和 $(La/Yb)_N$ 比值，这些均与埃达克岩地球化学特征极为相似。然而，在 K-Na-Ca 图解中（图 7a），所有样品呈钙碱性演化趋势，与埃达克岩呈奥长花岗岩趋势并不相符（Martin，1999），同时其较低的 $Mg^{\#}$ 值（18.28～23.61）与典型埃达克岩特征不相符（张旗等，2004）。

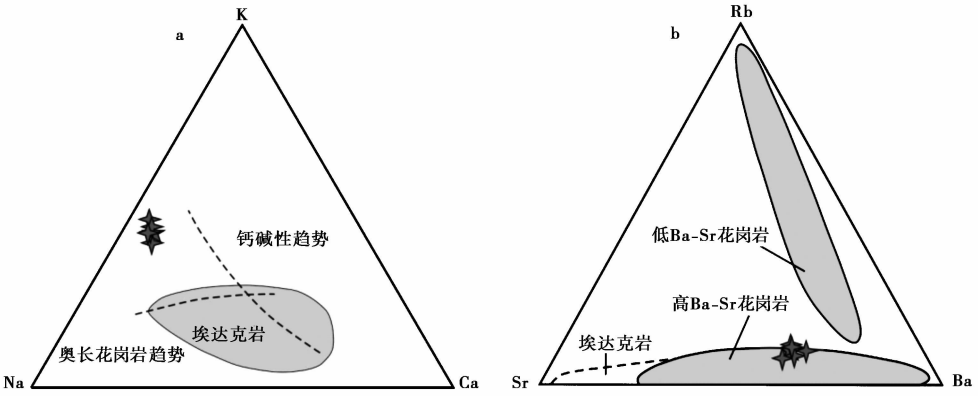


图 7　布雅花岗岩的 Na-K-Ca 图解（a，底图据 Wolde and Gore-Gambella，1996）和 Sr-Rb-Ba 图解（b，底图据 Tarney and Jones，1994）

Fig. 7　Na-K-Ca diagram（a，modified from Wolde et al., 1996）and Sr-Rb-Ba diagram of Buya granite（b，modified from Tarney and Jones，1994）

高 Ba-Sr 花岗岩是一种不同于普遍所见的显生宙的Ⅰ-型、S-型和 A-型花岗岩的花岗质岩石（Tarney and Jones., 1994）。主要特征是具有高的 Sr（$>300\times10^{-6}$）和 Ba（$>500\times10^{-6}$）的含量，强烈分异的稀土配分型式，缺乏明显的 Eu 负异常，显示明显的 Nb、Ta、P 和 Ti 负异常，以及非常低的 Y 和 Yb 的含量和高的 Sr/Y（>20）和 La/Yb（>20）比值。其微量元素具有埃达克岩的特征（王强等，2001；钱青等，2002）。从岩相学和岩石地球化学特征看，布雅花岗岩主体为高钾钙碱性，岩石铝饱和指数（A/CNK）为 0.95～1.01（平均为 0.99），属于准铝质范畴，含有相对较高的 Na 和 K，（$K_2O+N_2O=5.62\%\sim9.99\%$），$FeO_T/FeO_T+MgO$ 为 1.23～4.22，Sr/Y 为 82.8～155.6，高 Ba、Sr 和 LREE 含量，高 Sr/Y、La/Yb 值，低 Y（$5.9\times10^{-6}\sim8.0\times10^{-6}$）、Yb（$0.41\times10^{-6}\sim0.72\times10^{-6}$）和 HREE（$4.01\times10^{-6}\sim5.02\times10^{-6}$），轻重稀土元素强烈分异，弱的 Eu 负异常，亏损 Nb、P、Ti 等高场强元素。在 Sr-Rb-Ba 图解中，所有样品均落入高 Ba-Sr 花岗岩区域（图 7b）。

5.2　岩浆来源及演化

根据岩石地球化学特征，Tarney and Jones（1994）最早提出了高 Ba-Sr 花岗岩和低

Ba-Sr 花岗岩的概念，对于高 Ba-Sr 花岗岩的成因机制目前还存在不同的认识：1)与洋底高原的俯冲熔融有关；2)高 Ba-Sr 基性岩浆的底侵作用；3)岩石圈地幔受软流圈富碳酸岩流交代；4)幔源基性岩浆与壳源酸性岩浆混合也可以形成高 Ba-Sr 花岗岩(Tarney and Jones，1994；Fowler et al.，2001；钱青等，2002)。

最近几年，越来越多的高 Ba-Sr 花岗岩逐渐被识别，如胶东半岛三佛山高 Ba-Sr 花岗岩(张华锋等，2006)、八达岭高 Ba-Sr 花岗岩(钱青等，2002)、陕西老牛山高 Ba-Sr 花岗岩(王艳芬等，2012)。究其成因，大多为壳幔岩浆混合之后经分异演化形成。同时实验岩石学研究也表明，陆壳部分熔融通常是富钠质，熔不出具有高钾钙碱性特征的花岗质岩石，认为高钾钙碱性花岗岩通常是壳幔混合的结果(Panino Douce，1999)。对于高 Ba、Sr 源，Plank and Langmuir(1998)提出 Sr 含量的强烈变化应主要受碳酸盐岩的控制，源于 Sr 对 Ca 元素的置换，而 Ba 含量的富集则是生物作用的结果或受到热液过程的影响，并进一步认为受远洋沉积物质混染的地幔源区往往具有较高的 Ba，Sr 含量和轻稀土富集的特征(王艳芬等，2012)。通过本文研究，我们认为布雅高 Ba-Sr 花岗岩体可能为岩石圈的拆沉和减薄作用引发地幔岩石圈发生部分熔融，伴随着角闪石、黑云母和副矿物的分离结晶形成了高 Ba-Sr 的布雅花岗岩(Ye et al.，2008)，其物质来源很可能与含远洋沉积物(含碳酸盐岩)俯冲板片析出流体/熔体交代的富集地幔以及早元古埃连卡特岩群基底物质所组成的混合源区有紧密联系。

5.3 构造环境及意义

Pearce et al.(1984)认为，一些典型造山期后花岗岩大部分落在 VAG 顶部，它们也可以跨越区域，投在 VAG 和 COLG 两个区域。韩宝福(2007)认为，多数造山期后花岗岩类以中-高钾钙碱性花岗岩为主，在微量元素构造判别图解上，造山期后花岗岩可以落在多种构造环境的区域。在 Rb-Y+Nb 图解中，布雅花岗岩体样品均落入后碰撞花岗岩及火山弧花岗岩重叠区域(图 8)，表明布雅花岗岩体可能形成于造山期后，这与高 Ba-Sr 花岗岩体主要形成于伸展或非挤压的构造背景相一致(Fowler et al.，2001；Ye et al.，2008)。

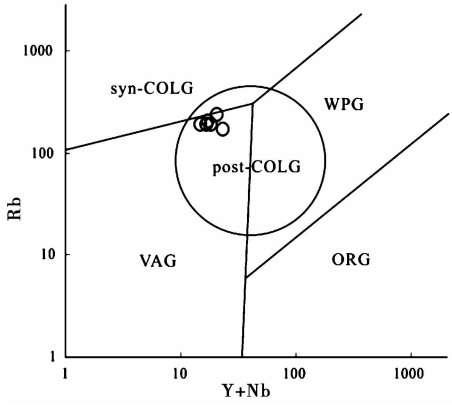


图 8 Rb-Nb+Y 构造环境判别图(据 Pearce et al.，1984)

Fig. 8 Rb-Nb+Y tectonic discrimination diagram(modified from Pearce et al.，1984)

自新元古代末期 Rodina 超大陆裂解后，塔里木以南为浩瀚的原特提斯洋，塔里木南缘演化为原特提斯洋的北部大陆边缘。从该地区目前已发表的成果来看，西昆仑造山带北侧的早古生代蛇绿岩年龄集中在 526～502 Ma(肖序常等，2003；张传林等，2004)，可以推断洋脊拉张持续到 500 Ma，在晚寒武世—早奥陶世，原特提斯洋由南向北俯冲消减，塔里木南缘转变为原特提斯洋的活动大陆边缘，形成一系列俯冲碰撞型花岗岩，洋壳俯冲作用至少持续到 470 Ma(Yuan et al., 2002)。而在活动大陆边缘向克拉通方向形成弧后拉张区，在铁克里克隆起带形成了布雅等高 Ba-Sr 花岗岩的侵入。同时也表明原特提斯洋的闭合是由北向南迁移的，当原特提斯洋南部处于俯冲消减时期，北部铁克里克隆起带南部的活动大陆边缘已进入造山后演化阶段，这对于重建西昆仑造山带的构造演化具有重要意义。

6　结　论

(1)布雅花岗岩具高钾钙碱性准铝质特征，高 Ba、Sr 和 LREE 含量，高 Sr/Y、La/Yb 值，低 Y、Yb 和 HREE，轻重稀土元素强烈分异，无明显 Eu 负异常，亏损 Nb、P、Ti 等高场强元素，岩石地球化学特征表明其属于高 Ba-Sr 花岗岩。

(2)布雅高 Ba-Sr 花岗岩体可能为岩石圈的拆沉和减薄作用引发地幔岩石圈发生部分熔融，伴随着角闪石、黑云母和副矿物的分离结晶形成了高 Ba-Sr 的布雅花岗岩，其物质来源很可能与含远洋沉积物(含碳酸盐岩)俯冲板片析出流体/熔体交代的富集地幔以及早元古埃连卡特岩群基底物质所组成的混合源区有紧密联系。

(3)布雅花岗岩形成于造山期后伸展拉张环境，其侵位时代可能为晚奥陶世，该阶段铁克里克隆起带南部的活动大陆边缘已进入造山后演化阶段，这对于重建西昆仑造山带的构造演化具有重要意义。

致谢　感谢新疆地矿局第七地质大队、四川地矿局物探大队对野外工作的大力支持。

参　考　文　献

崔建堂，王炬川，边小卫等. 2006. 西昆仑康西瓦北侧早古生代角闪闪长岩、英云闪长岩的地质特征及其锆石 SHRIMP U-Pb 测年. 地质通报，**25**(12)：1441—1449.

Cui Jiantang, Wang Juchuan, Bian Xiaowei et al. 2006. Geological characteristics of Early Paleozoic amphibolite and tonalite in northern Kangxiwar, West Kunlun, China and their zircon SHRIMP U-Pb dating. *Geological Bulletin of China*, **25**(12)：1441—1449.

崔建堂，王炬川，边小卫等. 2007. 西昆仑康西瓦北侧蒙古包—普守一带早古生代花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年，地质通报，**26**(6)：710—719.

Cui Jiantang, Wang Juchuan, Bian Xiaowei et al. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Early Paleozoic granite in the Menggubao-Pushou area on the northern side of Kangxiwar, West Kunlun. *Geological Bulletin of China*, **26**(6)：710—719.

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.

Han Baofu. 2007. Diverse post-collisional granitoids and their tectonic setting discrimination. *Earth Science Frontiers*, **14**(3)：

64—72.

李 玮, 高 卫, 刘淑琴等. 2007. 塔里木西南缘和田布雅花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义. 新疆地质, **25**(3): 237—242.

Li Wei, Gao Wei, Liu Shuqin et al. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Buya granite and its geological significance discuss from the Southwest Tarim Basin, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, **25**(3): 237—242.

李小伟, 莫宣学, 赵志丹等. 2010. 关于 A 型花岗岩判别过程中若干问题的讨论. 地质通报, **29**(2): 278—285.

Li Xiaowei, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan et al. 2010. A discussion on how to discriminate A-type granite. *Geological Bulletin of China*, **29**(2): 278—285.

李曰俊, 宋文杰, 吴根耀等. 2005. 塔里木盆地中部隐伏的晋宁期花岗闪长岩和闪长岩. 中国科学(D 辑), **35**(2): 97—104.

Li Yuejun, Song Wenjie, Wu Genyao et al. 2005. Jinning granodiorite and diorite deeply concealed in the central Tarim Basin. *Science in China*(Series D), **48**(12): 2061—2068.

钱 青, 钟孙霖, 李通艺等. 2002. 八达岭基性岩和高 Ba-Sr 花岗岩地球化学特征及成因探讨: 华北和大别—苏鲁造山带中生代岩浆岩的对比. 岩石学报, **18**(3): 275—292.

Qian Qing, Zhong Sunlin, Li Tongyi et al. 2002. Geochemical characteristics and petrogenesis of the Badaling high Ba-Sr granitoids: A comparison of igneous rocks from North China and the Dabie-Sulu orogeny. *Acta Petrologica Sinica*, **18**(3): 275—292.

宋 彪, 张玉海, 万渝生等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, **48**(增刊): 26—30.

Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng et al. 2002. Mount making and produce of the SHRIMP dating. *Geological Review*, **48**(suppl.): 26—30.

王 超, 刘 良, 车自成等. 2009. 塔里木南缘铁克里克构造带东段前寒武纪地层时代的新限定和新元古代地壳再造: 锆石定年和 Hf 同位素的约束. 地质学报, **83**(11): 1647—1656.

Wang Chao, Liu Liang, Che Zicheng et al. 2009. Zircon U-Pb and Hf isotopic from the east segment of Tiekelike belt: Constrains on the timing of Precambrian basement at the southwestern margin of Tarim, China. *Acta Geologica Sinica*, **83**(11): 1647—1656.

王 超, 刘 良, 柯世平等. 2013. 西昆仑早古生代岩浆作用过程: 布隆花岗岩地球化学和锆石 U-Pb-Hf 同位素组成. 地质科学, **48**(4): 997—1014.

Wang Chao, Liu Liang, Ke Shiping et al. 2013. Early Paleozoic magmatism in West Kunlun: Constraints from geochemistry and zircon U-Pb-Hf isotopic studies of the Bulong granite. *Chinese Journal of Geology*, **48**(4): 997—1014.

王洪浩, 李江海, 杨静懿等. 2013. 塔里木陆块新元古代—早古生代古板块再造及漂移轨迹. 地球科学进展, **28**(6): 637—647.

Wang Honghao, Li Jianghai, Yang Jingyi et al. 2013. Paleo-plate reconstruction and drift path of Tarim block from Neoproterozoic to Early Palaeozoic. *Advance in Earth Science*, **28**(6): 637—647.

王 强, 许继锋, 赵振华等. 2001. 大别山燕山期亏损重稀土元素花岗岩类的成因及动力学意义. 岩石学报, **17**(4): 551—564.

Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua et al. 2001. The petrogenesis and geodynamic significance of HREE depleted granitoids during Yanshan period in the Dabie Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, **17**(4): 551—564.

王艳芬, 邵 毅, 蒋少涌等. 2012. 陕西老牛山印支期高 Ba-Sr 花岗岩成因及其构造指示意义. 高校地质学报, **18**(1): 133—149.

Wang Yanfen, Shao Yi, Jiang Shaoyong et al. 2012. Petrogenesis of indosinian high Ba-Sr granites in Laoniushan batholith, Shanxi Province and their tectonic implications. *Geological Journal of China Universities*, **18**(1): 133—149.

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.

Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, **49**(15): 1554—1569.

吴锁平，王梅英，戚开静. 2007. A 型花岗岩研究现状及其述评. 岩石矿物学杂志，**26**(1)：57—66.

Wu Suoping, Wang Meiying and Qi Kaijing. 2007. Present situation of researches on A-type granites: A review. *Acta Petrologica et Mineralogica*, **26**(1): 57—66.

肖序常，王　军，苏　犁等. 2003. 再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义. 地质通报，**22**(10)：745—750.

Xiao Xuchang, Wang Jun, Su Li et al. 2003. A further discussion of the Kuda ophiolite, West Kunlun, and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, **22**(10): 745—750.

于晓飞，孙丰月，李碧乐等. 2011. 西昆仑大同地区加里东期成岩、成矿事件：来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和辉钼矿 Re-Os 定年的证据. 岩石学报，**27**(6)：1770—1778.

Yu Xiaofei, Sun Fengyue, Li Bile et al. 2011. Caledonian diagenetic and metallogenicevents in Datong district in the western Kunlun: Evidences from LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and molybdenite Re-Os dating. *Acta Petrologica Sinica*, **27**(6): 1770—1778.

袁　超，孙　敏，李继亮. 1999. 西昆仑中带两个花岗岩岩体的年龄和可能的源区. 科学通报，**44**(5)：534—538.

Yuan Chao, Sun Min and Li Jiliang. 1999. Two granitic plutons in central western Kunlun belt: Their ages and possible sources. *Chinese Science Bulletin*, **44**(19): 1807—1810.

袁　超，孙　敏，肖文交等. 2003. 原特提斯的消减极性：西昆仑 128 公里岩体的启示. 岩石学报，**19**(3)：399—408.

Yuan Chao, Sun Min, Xiao Wenjiao et al. 2003. Subduction polarity of the prototethys: Insights from the Yirba pluton of the western Kunlun range, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, **19**(3): 399—408.

张传林，杨　淳，沈家林等. 2003a. 西昆仑北缘新元古代片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及其意义. 地质论评，**49**(3)：239—244.

Zhang Chuanlin, Yang Chun, Shen Jialin et al. 2003a. Zircons SHRIMP age of Neoproterozoic gneissoid granites in the West Kunlun and its significance. *Geological Review*, **49**(3): 239—244.

张传林，赵　宇，郭坤一等. 2003b. 塔里木南缘元古代变质基性火山岩地球化学特征——古塔里木板块中元古代裂解的证据. 地球科学，**28**(1)：47—53.

Zhang Chuanlin, Zhao Yu, Guo Kunyi et al. 2003b. Geochemistry characteristics of the proterozoic meta-basalt in southern Tarim plate: Evidence for the Meso-Proterozoic breakup of paleo-Tarim plate. *Earth Science*, **28**(1): 47—53.

张传林，于海锋，沈家林等. 2004. 西昆仑库地伟晶辉长岩和玄武岩锆石 SHRIMP 年龄：库地蛇绿岩的解体. 地质论评，**50**(6)：639—643.

Zhang Chuanlin, Yu Haifeng, Shen Jialin et al. 2004. Zircons SHRIMP age determination of the giant-crystal gabbro and basalt in Küda, West Kunlun: Dismembering of the Küda ophiolite. *Geological Review*, **50**(6): 639—643.

张传林，李怀坤，王洪燕. 2012. 塔里木地块前寒武纪地质研究进展评述. 地质论评，**58**(5)：923—936.

Zhang Chuanlin, Li Huaikun and Wang Hongyan. 2012. A review on Precambrian tectonic evolution of Tarim block: Possibility of interaction between Neoproterozoic plate subduction and mantle plume. *Geological Review*, **58**(5): 923—936.

张华锋，翟明国，童　英等. 2006. 胶东半岛三佛山高 Ba-Sr 花岗岩成因. 地质论评，**52**(1)：43—53.

Zhang Huafeng, Zhai Mingguo, Tong Ying et al. 2006. Petrogenesis of the Sanfoshan high-Ba-Sr granite, Jiaodong Peninsula, eastern China. *Geological Review*, **52**(1): 43—53.

张　旗，许继锋，王　焰等. 2004. 埃达克岩的多样性. 地质通报，**23**(9)：959—965.

Zhang Qi, Xu Jifeng, Wang Yan et al. 2004. Diversity of adakite. *Geological Bulletin of China*, **23**(9): 959—965.

张占武，崔建堂，王炬川等. 2007. 西昆仑康西瓦西北部库尔良早古生代角闪闪长岩花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年. 地质通报，**26**(6)：720—725.

Zhang Zhanwu, Cui Jiantang, Wang Juchuan. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Early Paleozoic amphibolite and granodiorite in Korliang, northwestern Kangxiwar, West Kunlun. *Geological Bulletin of China*, **26**(6): 720—725.

Chen Y, Xu B, Zhang S et al. 2004. First mid-Neoproterozoic paleomagnetic results from the Tarim Basin (NW China) and their geodynamic implications. *Precambrian Research*, **133**(3—4): 271—281.

Fowler M B, Henney P J and Darbyshire P F. 2001. Petrogenesis of high Ba-Sr granites: The Rogart pluton, Sutherland.

Journal of Geological Society, **158**(3): 521—534.

Liu Y S, Hu Z C, Gao S et al. 2008a. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, **257**(1—2): 34—43.

Lu S N, Li H K, Zhang C L et al. 2008. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments. *Precambrian Research*, **160**(1—2): 94—107.

Ma X X, Shu L S, Jahn B M et al. 2012. Precambrian tectonic evolution of central Tianshan, NW China: Constraints from U-Pb dating and in situ Hf isotopic analysis of detrital zircons. *Precambrain Research*, **222—223**: 450—473.

Martin H. 1999. Adakitic magmas: Modern analogues of Archean granitoids. *Lithos*, **46**(3): 411—429.

Panino Douce A E. 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? *Geological Society*, *London*, *Special Publications*, **168**: 55—75.

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.

Peccerillo A and Taylor S R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **58**(1): 63—81.

Plank T and Langmuir C H. 1998. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, **145**(3—4): 325—344.

Rollinson H R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Taylor & Francis. 1—384.

Sun S S and Mcdonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implications for mantle composition and processes. *Geological Society*, *London*, *Special Publications*, **42**: 313—345.

Tarney J and Jones C E. 1994. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models. *Journal of Geological Society*, **151**(5): 855—868.

Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: McKibben M A, Shanks W C and Ridley W Ⅰ(Eds.). Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralising Processes. Littleton: Society of Economic Geologists. 1—35.

Wolde B and Gore-Gambella G T. 1996. Tonalite-trondhjemite-granite genesis by partial melting of newly underplated basaltic crust: An example from the Neoproterozoic Birbir magmatic arc, western Ethiopia. *Precambrian Research*, **76**(1—2): 3—14.

Wu F Y, Sun D Y, Li H M et al. 2002. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chemical Geology*, **187**(1—2): 143—173.

Xiao W J, Windley B F, Liu D Y et al. 2005. Accretionary tectonics of the western Kunlun orogen, China: A Paleozoic Early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia. *The Journal of Geology*, **113**(6): 687—705.

Xu B, Jiang P, Zheng H F et al. 2005. U-Pb zircon geochronology and geochemistry of Neoproterozoic volcanic rocks in the Tarim Block of Northwest China: Implications for the breakup of Rodinia supercontinent and Neoproterozoic glaciations. *Precambrain Research*, **136**(2): 107—123.

Ye H M, Li X H, Li Z X et al. 2008. Age and origin of high Ba-Sr appinite-granites at the northwestern margin of the Tibet Plateau: Implications for Early Paleozoic tectonic evolution of the western Kunlun orogenic belt. *Gondwana Research*, **13**(1): 126—138.

Yuan C, Sun M, Zhou M F et al. 2002. Tectonic evolution of the West Kunlun: Geochronologic and geochemical constraints from Kudi Granitoids. *International Geological Review*, **44**: 653—669.

Zhang C L, Li Z X, Li X H et al. 2007. An early Paleoproterozoic high-K intrusive complex in southwestern Tarim block, NW China: Age, geochemistry, and tectonic implications. *Gondwana Research*, **12**(1—2): 101—112.

Geochemistry and tectonic significance of Buya granite in southwestern margin of Tarim, NW China

Zhu Yanfei[1]　Li Ping[2]　Zhu Zhixin[1,2]　Jin Liuyuan[2]　Liu Xin[1]　Chen Bangxue[3]

(1. *College of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Ürümqi* 830046;
2. *Geological Research Academy of Xinjiang, Ürümqi* 830011; 3. *The No.*11 *Geological Brigade of Xinjiang Geology and Mineral Bureau, Changji Xingjiang* 831100)

Abstract

Buya granites emplaced into Ailiankate Group which located in Tiekelike tectonic belt of the southern margin of Tarim, which mainly consists of Monzonitic granite. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results show that Buya granite formation in the Late Ordovician (457.03 ~ 445.07 Ma) and belongs to the product of Early Paleozoic magmatism. Rock geochemistry indicates that its features with high-K calc-alkaline series, with aluminum Ⅰ-type granites, and have geochemical characteristics of high Ba-Sr granites, namely high Ba, Sr and LREE content, high Sr/Y, La/Yb values, low Y(5.9×10^{-6} ~ 8.0×10^{-6}), Yb(0.41×10^{-6} ~ 0.72×10^{-6}) and HREE(4.01×10^{-6} ~ 5.02×10^{-6}), LREE and HREE strongly differentiation, without significantly negative Eu anomaly, low Nb, P, Ti high field strength elements. According to the rock geochemical characteristics and high Ba-Sr granite genesis of previous research, I believe that the rock partial melting may cause by delamination and thinning of the lithosphere of mantle lithosphere, and formed Buya high Ba-Sr granites accompanied by fractional crystallization of hornblende, biotite and accessory mineral. Its source material is likely to mixed source including enriched mantle which contains ocean sediments (including carbonate rocks) subducted slab precipitate fluid/melt and substances of Early Proterozoic Ailiankate Group.

Key Words　Tarim, Tiekelike, High Ba-Sr granite, Buya, Xinjiang