

· 专题研究 ·

西准噶尔乌尔喀什尔山库鲁木苏序列 A 型花岗岩 地球化学特征及地质意义

张胜龙¹, 李永军¹, 郭少婷², 孙 勇¹, 杨 洋¹, 刘 佳¹, 李甘雨¹, 王军年³

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102200; 3. 新疆维吾尔自治区地质矿产开发局 第七地质大队, 新疆 乌苏 833000)

摘 要: 西准噶尔乃至整个北疆地区广泛发育晚古生代后碰撞花岗岩类。作为其中的一部分, 乌尔喀什尔山一带库鲁木苏岩基中的库鲁木苏序列主要由二长花岗岩、细粒正长花岗岩、中粗粒正长花岗岩、碱长花岗岩和碱长花岗斑岩组成。该序列富硅($\text{SiO}_2 = 70.78\% \sim 76.85\%$)、富碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.87\% \sim 9.71\%$)、低钛($\text{TiO}_2 = 0.08\% \sim 0.41\%$)、贫钙($\text{CaO} = 0.16\% \sim 1.42\%$), 为准铝质至强过铝质($\text{ACNK} = 0.98 \sim 1.15$); 稀土元素配分曲线为典型的“V”字型, 具有明显的负 Eu 异常; 微量元素特征显示富集大离子亲石元素(Rb、Th、K)及高场强元素(Zr、Hf), 而强烈亏损 Ba、Sr、P、Eu 和 Ti。以上特征表明库鲁木苏序列为 A₂ 型花岗岩, 结合区域构造演化, 认为库鲁木苏序列形成于后碰撞环境。

关键词: A 型花岗岩; 地球化学; 库鲁木苏序列; 构造环境; 西准噶尔

中图分类号: P588.12⁺1; P581

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2015)03-0271-10

Geochemistry of the Kulumusu A-type granite series in Wuerkashier, West Junggar, and its geological significance

ZHANG Sheng-long¹, LI Yong-jun¹, GUO Shao-ting², SUN Yong¹, YANG Yang¹, LIU Jia¹, LI Gan-yu¹ and WANG Jun-nian³

(1. Earth Science and Resources College, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key National Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration, China University of Petroleum, Beijing 102200, China; 3. No. 7 Geological Survey Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resource Exploration, Wusu 833000, China)

Abstract: Late Paleozoic post-collisional granitoid intrusions are extensively developed in West Junggar and even in the whole northern Xinjiang. The Kulumusu series of Kulumusu batholith in the Wuerkashier of West Junggar, which is one of these intrusions, mainly comprises monzogranite, fine-grained syenogranite, middle-coarse-grained syenogranite, alkali feldspar granite and K-feldspar porphyry. The Kulumusu series is characterized by high silica ($\text{SiO}_2 = 70.78\% \sim 76.85\%$), alkali ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.87\% \sim 9.71\%$), and low titanium and calcium ($\text{TiO}_2 = 0.08\% \sim 0.41\%$, $\text{CaO} = 0.16\% \sim 1.42\%$), thus belonging to metaluminous to strongly peraluminous series ($\text{ACNK} = 0.98 \sim 1.15$). The rocks display “V”-shaped REE patterns, and are evidently depleted in Eu. They are enriched in light rare earth elements (Rb, Th, K) and high strength field elements (Zr, Hf), and significantly depleted in Ba, Sr, P and Ti. These features indicate that the Kulumusu series belongs to A₂-type granite. In combination with the tectonic evolution of this region, the authors hold that the Kulumusu series was formed in a post-collisional tectonic setting.

收稿日期: 2014-10-07; 修订日期: 2014-12-28

基金项目: 中国地质调查地质矿产调查评价专项资助项目(1212011120516); 中央高校基本科研业务费专项(2014G1271058)

作者简介: 张胜龙(1989-), 男, 硕士研究生, 从事构造地质学、区域地质调查研究, E-mail: chds11@163.com。

Key words: A-type granite; geochemistry; Kulumusu series; tectonic setting; West Junggar

作为中亚造山带的组成部分,西准噶尔夹持于波罗地板块、西伯利亚板块、华北-塔里木板块之间,岩浆活动强烈(Chen and Jahn, 2004; Windley *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2008; 韩宝福等, 2006; 苏玉平等, 2006; 陈家富等, 2010),晚古生代期间发育的大量 A 型花岗岩被认为是后碰撞地壳垂向生长的记录(韩宝福等, 2006; 苏玉平等, 2006; 周涛发等, 2006; 郭芳放等, 2010; 宋彪等, 2011; 尹继元等, 2011; 高睿等, 2013)。位于准噶尔盆地西北缘乌尔喀什尔山一带的库鲁木苏岩基,是区内出露面积最大的岩基(图 1)。然而,受限于交通条件困难和遥感解译程度较低,人们对该岩基的研究相对薄弱,对该岩体的岩石类型划分较为简单,仅在 1:20 万白杨河幅和额敏幅中提出该岩基是由正长花岗岩构成的简单岩体,对岩体的地球化学特征和构造环境也缺乏系统研究。笔者等在本区进行 1:5 万区域地质矿产调查时发现,该岩基可解体为晚石炭世沙雀序列和早二叠世库鲁木苏序列,其中库鲁木苏序列 A 型花岗岩在库鲁木苏幅和马拉苏幅内出露面积约 210 km²,约占图幅内库鲁木苏岩基面积的 95%。本文对库鲁木苏序列进行了地球化学研究,欲为综合分析西准噶尔地区石炭纪—二叠纪的构造演化提供新的依据。

1 地质概况及岩石学特征

1.1 岩体地质概况

西准噶尔地区主要由一系列增生杂岩带、古生代岩浆弧构成(Windley *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2008, 2009),北部发育近东西向构造,西部和南部发育近 NE-SW 向构造。该区沿 NE-SW 方向分布有一系列蛇绿混杂岩或蛇绿岩(徐新等, 2006; 朱永峰等, 2006; 辜平阳等, 2009)。大量研究表明,晚古生代后碰撞花岗岩类分为两期,呈面状广泛分布于西准噶尔及其邻区各个构造单元中,主要侵位于泥盆纪和石炭纪地层之中。一期形成于早石炭世,另一期形成于晚石炭—早二叠世(苏玉平等, 2006; Zhou *et al.*, 2008; 陈家富等, 2010; 童英等, 2010)。

库鲁木苏岩基位于额敏县城以东约 30 km, 出露于乌尔喀什尔山西段,面积达 220 km²,整体呈椭

圆状,其走向与谢米斯台大断裂走向基本一致。笔者等在本区进行 1:5 万区域地质矿产调查中通过详细的遥感解译、地质填图工作,确定在该岩基中存在两期不同的岩浆活动产物,较早期为以闪长质岩石组合为主的沙雀序列(主要岩性为石英闪长岩-石英二长闪长岩),较晚期为以中酸性岩石组合为主的库鲁木苏序列。二者呈截然接触,库鲁木苏序列侵入沙雀序列之中(图 1)。

库鲁木苏序列是岩基的主体,侵入于下泥盆统马拉苏组和中泥盆统库鲁木迪组之中。岩体与围岩的接触界线多呈港湾状,在接触带广泛发育宽几十至上百米的接触变质带。该序列整体呈浅肉红色-肉红色,具中粗粒结构,极少有暗色矿物。被库鲁木苏序列超动侵入的沙雀序列以总体色率较高、细粒结构和暗色矿物含量较高而明显有别于库鲁木苏序列。

1.2 岩石学特征

库鲁木苏序列为一套二长花岗岩、细粒正长花岗岩、中粗粒正长花岗岩、碱长花岗岩和碱长花岗斑岩组合,相互之间均为突变接触关系。

中粗粒正长花岗岩:半自形粒状结构,块状构造,主要造岩矿物有斜长石、碱性长石、石英和黑云母。斜长石(12%~20%)主要为更长石,半自形板状,具轻微绢云母化;碱性长石(50%~63%)主要为条纹长石,具较强泥化,较大晶体中包有斜长石小晶体;石英(23%~25%)呈他形粒状,多聚集分布于长石之间;黑云母呈半自形片状,含量少于 5%。

细粒正长花岗岩:细粒结构,块状构造,主要由斜长石(13%~22%)、条纹长石(52%~60%)、石英(18%~25%)组成。斜长石主要为更长石,轻微绢云母化;条纹长石呈他形粒状。

细粒二长花岗岩:半自形-他形中细粒结构,块状构造,主要造岩矿物有斜长石、碱性长石和石英。斜长石(40%)聚片双晶发育,具轻微泥化;碱性长石(34%)主要为条纹长石,他形粒状;石英(25%)多数与条纹长石构成文象结构。

碱长花岗斑岩:斑状结构,块状构造。斑晶由条纹长石(17%~20%)、石英(2%~5%)、更长石(1%~5%)组成,其中条纹长石具强泥化,更长石具绢云母化、泥化。基质(67%~75%)由钾长石、石英组成,二者多交生形成微文象结构。

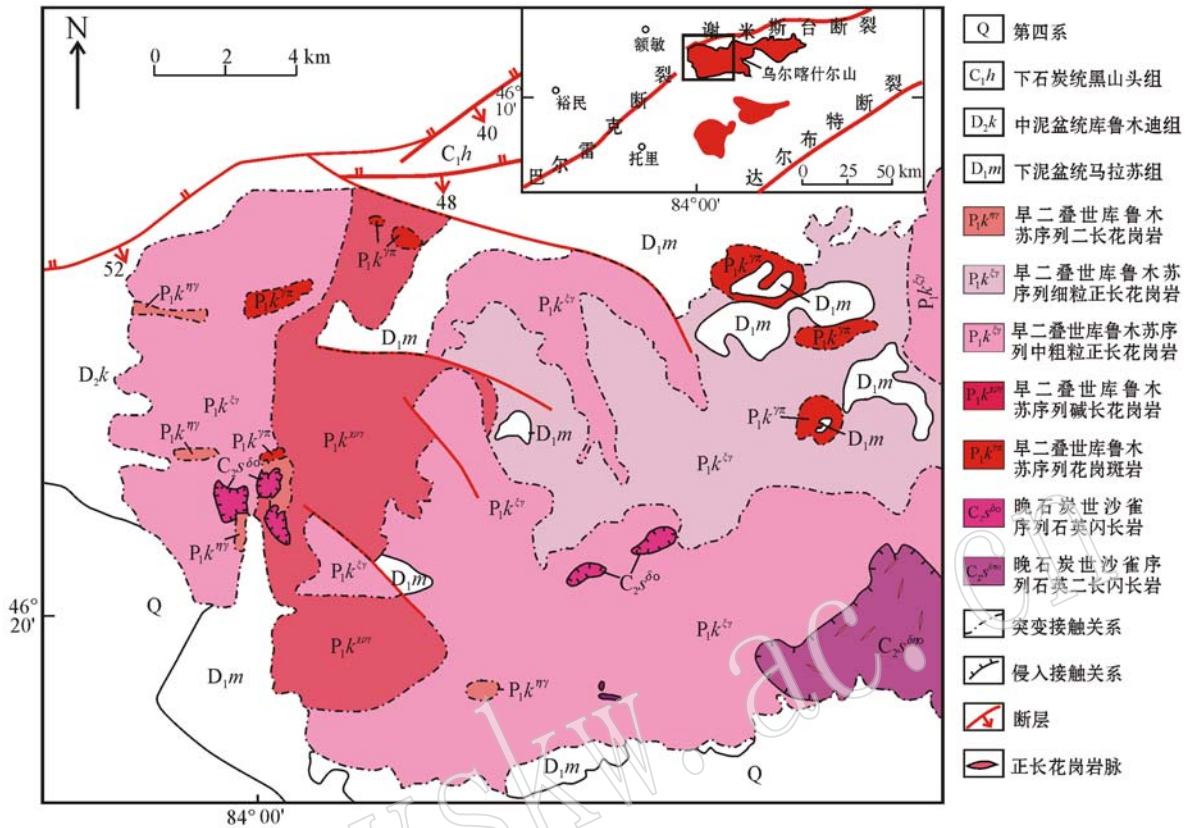


图 1 库鲁木苏岩基地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Kulumusubatholith

中粗粒碱长花岗岩：半自形-他形中粗粒结构，块状构造，岩石主要由斜长石(5%~9%)、碱性长石(60%~74%)、石英(21%~30%)、黑云母(1%~4%)组成。碱性长石为条纹长石，他形粒状，具轻微泥化；斜长石聚片双晶发育；副矿物以粒状磁铁矿为主，柱状磷灰石、锆石、榍石少量。

2 库鲁木苏序列地球化学特征

主量元素分析在新疆地矿局测试中心采用 X 射线荧光光谱(XRF)方法分析完成，XRF 溶片法按照国家标准 GB/T 14506.28-1993 执行，其中 FeO 利用湿化学法测定。微量元素在长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室采用美国 X-7 型 ICP-MS 测定。

2.1 主量元素

从岩石化学分析结果(表 1)可以看出，库鲁木苏序列岩石化学特征与福建沿海和澳大利亚东南部的铝质 A 型花岗岩一致，具有高硅(SiO₂ 含量为

70.78%~76.85%)、富碱(K₂O + Na₂O 含量为 7.87%~9.71%)、相对低铝(Al₂O₃ 含量为 12.08%~15.17%)、低 TiO₂(0.08%~0.41%)及贫 CaO、MgO、P₂O₅ 的特征，与 A 型花岗岩的典型特征(吴锁平等, 2007; 张旗等, 2012)相一致。除 1 件样品的 K₂O/Na₂O 值小于 1(PM403YQ3-1 样品 K₂O/Na₂O=0.86)外，其余 23 件样品的 K₂O/Na₂O 值为 1.00~1.98，在 SiO₂-AR 图(图 2)上落在碱性岩区域，铝饱和度指数 A/CNK 为 0.98~1.15，A/NK 为 1.07~1.22，属于准铝质到弱过铝质花岗岩(图 2)。FeO^T/MgO 值(3.49~27.46)较高，明显不同于一般 I 型(991 个样品平均值为 2.27)、S 型(578 个样品平均值 2.38)和 M 型(17 个样品平均值 2.37)花岗岩(Whalen *et al.*, 1987)，总体上具有 A 型花岗岩的特征。

2.2 微量元素

微量元素分析结果(表 2)表明，库鲁木苏序列具有相对较低的稀土元素总量(ΣREE = 32.8 × 10⁻⁶ ~ 148.0 × 10⁻⁶)，与西准噶尔同时期 A 型花岗岩相比，库鲁木苏序列具有更低的 Y(低 45 × 10⁻⁶)和 Nb(低

表 1 库鲁木苏序列主量元素分析结果
Table 1 Analytical results of major elements for Kulumusu series

岩性	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total	A/NK	A/CNK	K ₂ O+Na ₂ O	K ₂ O/Na ₂ O	wt _P /%
二长花岗岩	5YQ11-1	70.91	0.41	14.27	1.94	1.44	0.06	0.46	1.04	4.58	4.60	0.12	0.51	98.90	1.14	0.99	9.18	1.00	
	5YQ14-1	70.78	0.39	14.17	1.92	1.59	0.04	0.95	1.42	4.17	4.57	0.11	0.69	99.21	1.20	0.98	8.74	1.10	
细粒正长花岗岩	3YQ7-1	76.67	0.17	12.08	1.33	0.33	0.03	0.27	0.96	3.34	4.53	0.04	0.61	100.03	1.16	0.99	7.87	1.36	
	3YQ8-1	75.37	0.13	13.12	1.25	0.23	0.03	0.12	0.57	2.93	5.80	0.04	0.34	99.70	1.18	1.08	8.73	1.98	
	3YQ10-1	76.60	0.09	12.24	1.52	0.20	0.03	0.06	0.16	4.04	4.46	0.03	0.47	99.70	1.07	1.04	8.50	1.10	
	3YQ10-2	76.85	0.10	12.35	1.17	0.28	0.02	0.13	0.23	3.75	4.71	0.03	0.27	99.61	1.10	1.06	8.46	1.26	
	3YQ12-1	74.18	0.13	13.58	1.36	0.18	0.02	0.36	0.39	4.09	4.98	0.04	0.50	99.63	1.12	1.06	9.07	1.22	
中粗粒正长花岗岩	3YQ1-2	73.56	0.14	14.17	1.34	0.44	0.05	0.14	0.46	4.17	5.06	0.04	0.70	99.83	1.15	1.07	9.23	1.21	
	3YQ2-2	73.36	0.13	14.37	1.37	0.62	0.05	0.07	0.44	4.40	5.31	0.03	0.32	99.85	1.11	1.04	9.71	1.21	
	3YQ3-1	75.08	0.11	13.71	1.21	0.39	0.03	0.09	0.81	4.37	3.75	0.03	0.36	99.55	1.22	1.08	8.12	0.86	
	3YQ13-1	71.50	0.18	15.17	1.55	0.33	0.03	0.14	0.59	4.48	5.18	0.05	0.76	99.63	1.17	1.08	9.66	1.16	
	5YQ15-1	73.89	0.14	13.99	1.40	0.46	0.03	0.17	0.52	3.60	5.66	0.05	0.50	99.95	1.16	1.08	9.26	1.57	
中粗粒碱长花岗岩	3YQ1-1	71.99	0.26	14.35	1.82	1.25	0.06	0.32	0.99	4.34	4.87	0.07	0.37	99.44	1.16	1.01	9.21	1.12	
	3YQ9-1	72.81	0.19	14.41	1.55	0.26	0.04	0.19	0.74	4.46	4.76	0.06	0.51	99.72	1.15	1.04	9.22	1.07	
	5YQ3-1	74.54	0.19	13.61	1.44	0.41	0.04	0.19	0.52	3.88	4.88	0.06	0.45	99.80	1.17	1.08	8.76	1.26	
	5YQ7-1	75.18	0.16	13.25	1.26	0.45	0.04	0.12	0.44	3.65	4.90	0.04	0.50	99.54	1.17	1.09	8.55	1.34	
	5YQ16-1	72.09	0.22	14.59	1.78	0.65	0.04	0.24	0.68	4.20	5.34	0.07	0.44	99.69	1.15	1.05	9.54	1.27	
碱长花岗岩斑岩	5YQ16-3	74.34	0.15	13.76	1.49	0.41	0.03	0.14	0.36	3.68	5.18	0.04	0.45	99.62	1.18	1.12	8.86	1.41	
	3YQ11-1	76.22	0.13	12.68	1.32	0.46	0.02	0.06	0.19	4.02	4.77	0.04	0.30	99.75	1.08	1.04	8.79	1.19	
	3YQ19-1	75.31	0.13	13.34	1.18	0.23	0.03	0.12	0.22	3.77	4.64	0.04	0.79	99.57	1.19	1.15	8.41	1.23	
	3YQ22-1	75.10	0.14	13.34	1.30	0.13	0.03	0.13	0.22	3.94	4.81	0.04	0.66	99.71	1.14	1.10	8.75	1.22	
	5YQ19-1	75.90	0.08	13.19	1.00	0.22	0.03	0.05	0.21	4.12	4.52	0.03	0.46	99.59	1.13	1.09	8.64	1.10	
XZ	5YQ20-2	75.18	0.13	13.37	1.25	0.39	0.03	0.15	0.23	4.14	4.60	0.04	0.55	99.67	1.13	1.09	8.74	1.11	
	5YQ21-1	74.40	0.16	13.59	1.48	0.75	0.04	0.10	0.27	3.81	5.29	0.04	0.57	99.75	1.13	1.09	9.10	1.39	
		73.10	0.44	12.99	1.54	1.29	0.06	0.45	1.23	3.94	4.18	0.15	0.74	100.12	1.18	0.98	9.10	1.39	
FJ		77.49	0.11	12.24	0.59	0.16	0.06	0.08	0.64	4.16	4.25	0.01	0.24	100.03	1.07	0.97	8.12	1.06	
	Gabro	73.04	0.37	12.62	1.63	1.51	0.08	0.33	0.96	3.70	4.11	0.08		98.43	1.20	1.03	8.41	1.02	

注: A/CNK = Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O)(摩尔比); A/NK = Al₂O₃/(Na₂O + K₂O)(摩尔比); XZ 表示西雅喀尔地区与库鲁木苏序列同时期 11 个 A 型花岗岩平均值(赤玉平等, 2006; 周涛发等, 2006; 靳松等, 2010; 庞振甲等, 2010; 魏荣珠, 2010; 王晓伟等, 2011); FJ 表示福建沿海 9 个铝质 A 型花岗岩平均值(邱益生等, 2000); Gabro 表示澳大利亚东南部 Gabro 岩体 9 个铝质 A 型花岗岩平均值(Collins *et al.*, 1982)。

表 2 库鲁木苏序列微量元素分析结果

Table 2 Analytical results of trace elements for Kulumus series

$w_B/10^{-6}$

岩性	样号	Sc	Cr	Ni	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Hf	Ta	Th	U
二长花岗岩	5YQ11-1	5.08	4.20	2.26	18.82	68.70	85.16	31.96	318.25	10.54	634.78	8.74	0.78	9.96	2.16
	5YQ14-1	2.21	4.47	1.46	15.73	93.58	8.09	20.27	252.42	13.82	127.70	7.68	1.09	6.87	2.22
细粒正长花岗岩	3YQ7-1	1.88	7.46	4.53	15.78	77.22	21.65	26.84	161.27	11.37	71.61	6.06	1.03	9.73	1.50
	3YQ8-1	2.00	1.91	1.02	17.35	117.13	12.57	29.16	184.88	8.47	58.30	6.37	0.71	11.10	2.00
	3YQ10-1	2.05	1.18	0.55	17.76	115.23	2.15	17.15	279.78	12.09	8.54	10.20	1.05	6.37	1.97
	3YQ10-2	2.05	2.29	1.19	16.72	120.45	3.66	12.17	273.81	10.04	10.18	9.60	0.73	5.28	3.54
中粗粒正长花岗岩	3YQ12-1	2.04	5.14	3.31	16.08	103.26	8.53	22.37	240.65	7.48	38.09	7.92	0.52	6.71	1.28
	3YQ1-2	2.94	3.04	1.50	16.40	77.20	15.02	9.85	271.11	6.28	187.95	6.92	0.56	5.40	1.15
	3YQ2-2	3.01	1.67	0.48	16.17	100.21	10.81	12.80	312.69	6.62	210.78	7.87	0.50	5.38	1.95
	3YQ3-1	1.82	4.88	2.63	17.51	38.22	49.43	18.30	175.00	7.90	231.86	5.73	0.78	9.26	1.51
	3YQ13-1	3.60	2.52	0.87	17.08	72.48	24.70	11.68	302.97	5.58	472.90	7.78	0.41	6.08	1.22
碱长花岗岩	5YQ15-1	2.00	1.71	1.09	16.76	109.78	28.78	17.58	160.37	6.45	317.27	5.05	0.54	7.22	1.75
	3YQ1-1	3.31	2.28	1.11	18.36	81.97	53.20	29.53	251.79	9.96	427.14	7.42	0.68	7.03	1.57
	3YQ9-1	2.35	4.67	2.10	18.04	110.85	37.03	31.44	256.22	10.10	333.20	7.71	0.82	8.35	1.72
	5YQ3-1	2.48	1.46	1.21	16.39	97.76	34.86	17.03	200.89	9.58	298.05	6.62	0.80	9.15	2.34
	5YQ7-1	2.43	1.10	0.52	17.99	133.74	18.71	24.10	191.71	13.15	158.46	6.81	1.09	11.22	3.48
	5YQ16-1	2.37	1.27	0.85	15.13	87.64	48.95	12.48	264.52	6.50	745.15	7.44	0.64	4.45	1.35
碱长花岗岩斑岩	5YQ16-3	2.08	1.80	0.99	16.45	115.51	12.46	15.59	191.28	10.79	192.34	6.40	0.87	7.94	2.07
	3YQ11-1	2.72	1.58	0.87	18.28	63.72	5.18	15.66	367.67	8.51	14.15	9.21	0.61	3.11	1.04
	3YQ19-1	2.24	6.22	2.64	15.28	109.85	7.96	21.91	249.12	13.79	103.15	7.61	1.10	6.23	1.93
	3YQ22-1	2.33	4.57	1.49	16.30	96.17	8.11	21.00	258.04	14.14	130.28	7.90	1.12	7.16	2.31
	5YQ19-1	1.16	2.14	0.80	16.33	131.08	7.82	20.58	139.46	16.85	47.14	6.53	0.85	6.14	2.50
5YQ20-2	2.12	8.23	2.91	15.41	104.89	17.51	25.56	195.30	11.62	302.00	6.51	1.01	8.28	2.54	
5YQ21-1	2.78	2.13	0.98	15.95	132.75	22.02	27.30	245.98	12.57	387.70	7.63	1.06	9.87	3.46	
XZ	5.68	17.74	11.52	20.42	98.35	94.78	45.18	335.34	14.82	385.71	9.55	1.00	10.12	2.06	
FJ	2.75		5.22	18.20	241.00	3.56	26.90	80.40	24.00	33.40	4.44	2.34	33.60	9.51	
Galbo	17.00	2.00	1.00	21.00	167.00	148.00	83.00	490.00	25.00	767.00	1.60	2.97	21.00	5.00	

续表 2
Continued Table 2

岩性	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	δEu
二长花岗岩	5YQ11-1	23.10	47.25	5.83	23.42	5.24	0.65	5.18	0.92	5.72	1.29	3.74	0.58	3.94	0.63	127.50	0.38
	5YQ14-1	7.78	23.75	1.58	6.58	1.71	0.08	2.20	0.51	3.66	0.87	2.55	0.41	2.78	0.44	54.92	0.13
细粒正长花岗岩	3YQ7-1	6.66	21.97	2.12	8.94	2.41	0.15	2.71	0.60	4.04	0.99	3.10	0.51	3.65	0.56	58.40	0.18
	3YQ8-1	30.87	56.31	7.08	27.43	5.65	0.11	5.27	0.87	5.25	1.14	3.36	0.54	3.59	0.55	148.01	0.06
	3YQ10-1	8.10	19.10	2.42	10.16	2.65	0.02	2.66	0.50	3.24	0.75	2.25	0.37	2.55	0.39	55.16	0.02
	3YQ10-2	5.61	10.64	1.06	4.48	1.19	0.02	1.28	0.29	2.22	0.59	2.06	0.36	2.58	0.41	32.81	0.06
	3YQ12-1	11.38	21.73	3.26	13.64	3.20	0.12	3.28	0.62	4.02	0.94	2.72	0.42	2.81	0.44	68.58	0.11
中粗粒正长花岗岩	3YQ1-2	19.60	25.66	2.87	11.47	2.11	0.19	1.95	0.32	1.97	0.45	1.35	0.22	1.60	0.28	70.04	0.29
	3YQ2-2	13.44	24.75	2.64	10.58	2.19	0.19	2.09	0.37	2.38	0.55	1.76	0.30	2.19	0.37	63.79	0.27
	3YQ3-1	14.46	29.89	3.79	15.35	3.15	0.32	3.03	0.55	3.00	0.69	1.98	0.34	2.30	0.40	79.22	0.31
	3YQ13-1	15.23	26.42	3.91	15.64	3.04	0.28	2.61	0.42	2.39	0.52	1.46	0.23	1.59	0.27	74.00	0.30
	5YQ15-1	21.94	27.65	3.65	14.74	3.25	0.22	3.17	0.56	3.50	0.78	2.24	0.35	2.35	0.38	84.76	0.20
碱长花岗岩	3YQ1-1	25.83	38.27	5.67	23.21	5.10	0.44	4.95	0.89	5.44	1.23	3.55	0.54	3.69	0.58	119.40	0.27
	3YQ9-1	14.76	26.70	4.02	16.70	3.98	0.39	4.26	0.82	5.25	1.23	3.60	0.57	3.94	0.62	86.85	0.29
	5YQ3-1	20.12	39.45	4.77	17.76	3.37	0.26	2.91	0.51	3.19	0.72	2.27	0.37	2.65	0.44	98.79	0.25
	5YQ7-1	27.78	46.06	5.89	22.42	4.55	0.16	4.30	0.76	4.76	1.08	3.20	0.53	3.66	0.58	125.74	0.11
	5YQ16-1	9.10	12.33	1.82	7.61	1.79	0.44	1.92	0.37	2.41	0.57	1.67	0.28	1.99	0.33	42.63	0.71
5YQ16-3	6.26	21.27	1.64	6.53	1.51	0.11	1.70	0.38	2.70	0.65	2.03	0.33	2.34	0.38	47.84	0.21	
碱长花岗岩斑岩	3YQ11-1	9.58	16.33	2.89	12.81	3.12	0.08	3.12	0.56	3.34	0.73	2.01	0.30	1.99	0.32	57.17	0.08
	3YQ19-1	5.83	15.36	1.65	6.79	1.75	0.09	2.13	0.51	3.78	0.91	2.78	0.43	2.82	0.43	45.26	0.14
	3YQ22-1	8.02	24.80	1.66	6.78	1.86	0.09	2.28	0.53	3.75	0.89	2.71	0.42	2.93	0.46	57.17	0.13
	5YQ19-1	5.70	10.93	1.22	5.24	1.64	0.02	2.21	0.53	3.77	0.90	2.64	0.42	2.82	0.44	38.50	0.04
	5YQ20-2	10.36	23.95	2.28	9.41	2.53	0.18	3.30	0.67	4.52	1.06	3.07	0.48	3.34	0.52	65.66	0.19
5YQ21-1	10.82	28.26	3.00	12.49	3.24	0.23	3.83	0.75	4.85	1.12	3.26	0.51	3.48	0.56	76.42	0.20	
XZ		37.94	81.84	10.29	39.31	8.16	0.81	7.86	1.32	7.99	1.69	4.98	0.78	5.19	0.79	208.95	0.30
FJ		31.00	53.90	6.08	20.30	3.96	0.36	3.91	0.64	3.79	0.90	2.80	0.47	3.28	0.48	131.87	0.28
Gabo		62.00	153.00		67.30	15.60	2.66	13.10			3.12		1.13	8.36	1.29	327.56	0.57

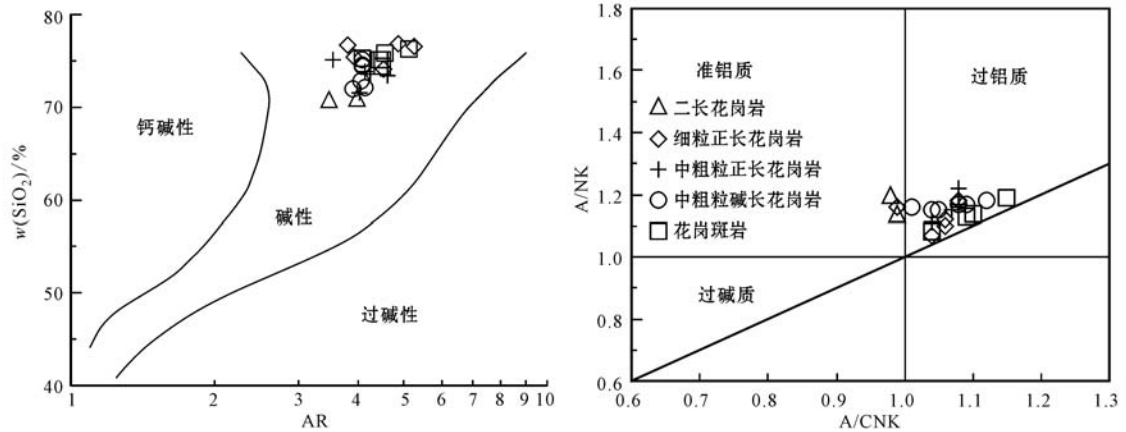


图 2 SiO₂ - AR 图和 A/NK - A/CNK 图
Fig. 2 Plots of SiO₂ - AR and A/NK - A/CNK

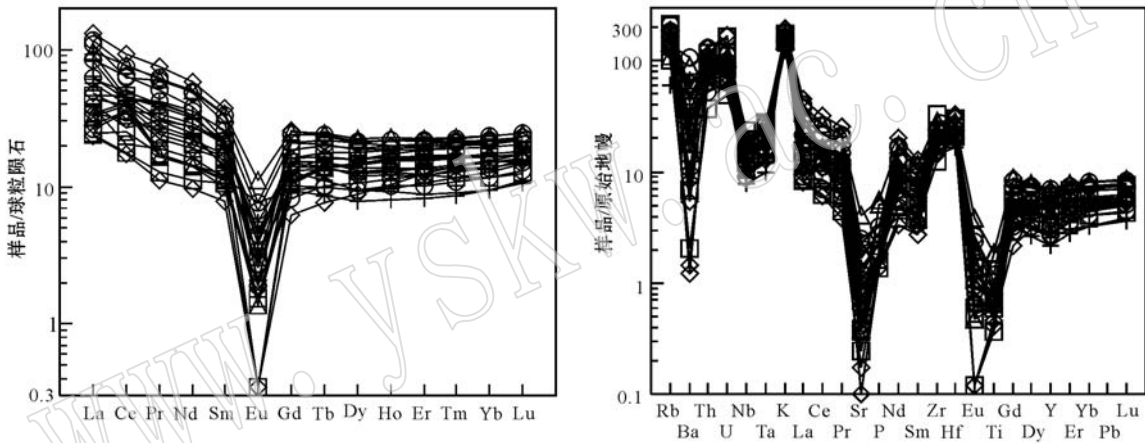


图 3 球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线图和原始地幔标准化的多元素配分曲线图(球粒陨石和原始地幔标准值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized multi-element patterns (chondrite data and primitive mantle data after Sun and McDonough, 1989)

4.5×10^{-6})含量。LREE/HREE 值为 1.80~7.61, 属轻稀土元素富集型, $(La/Yb)_N$ 、 $(La/Sm)_N$ 、 $(Gd/Yb)_N$ 分别为 1.23~8.24、1.74~5.83、0.40~1.33, 稀土元素配分曲线具有明显铕负异常 ($\delta Eu = 0.02 \sim 0.71$), 呈典型的“V”字形(图 3)。在多元配分曲线图(图 3)上可以看到, 库鲁木苏序列富集大离子亲石元素 Rb、Th、K 和高场强元素 Zr、Hf, 强烈亏损 Ba、Sr、P、Eu、Ti。

3 讨论

3.1 岩石类型

通过详细的岩石地球化学研究发现, 库鲁木苏序列具有高硅(SiO_2 含量 $> 70.78\%$)、富碱($K_2O +$

Na_2O 含量 $> 7.87\%$)、贫钙(CaO 含量 $< 1.42\%$)、贫镁(MgO 含量 $< 0.95\%$)及高 FeO^T/MgO (平均值为 12.84)值的特征。同时, 稀土元素配分曲线呈右倾海鸥型, 具有明显的负 Eu 异常, 相对富集 Rb、Th、K, 强烈亏损 Ba、Sr、P、Ti, 这些特征均显示库鲁木苏序列属于 A 型花岗岩。王强等(2000)认为, 相对于 A 型花岗岩, 高分异 S 型花岗岩具有更高的 P_2O_5 含量(均值 0.14%), 库鲁木苏序列具有较低的 P_2O_5 含量(均值 0.05%), 区别于高分异的 S 型花岗岩。高分异的 I 型花岗岩具有较低的 FeO^T (低于 1.00%) 和较高的 Rb 含量(高于 270×10^{-6}) (王强等, 2000), 而研究区 A 型花岗岩的 FeO^T 均大于 1.00% (均值 1.79%), Rb 含量均小于 270×10^{-6} (均值 98.31×10^{-6}), 因此库鲁木苏序列与高分异的 I 型

花岗岩也有明显区别,它应属于 A 型花岗岩。

3.2 构造环境

西准噶尔地区在晚石炭世已经进入后碰撞环境,并且在 320~260 Ma 期间发育大量 A 型花岗岩(韩宝福等, 2006; 苏玉平等, 2006; 陈家富等, 2010; 童英等, 2010), 在库鲁木苏序列碱长花岗岩和碱长花岗岩中已获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 291.5 ± 2.9 Ma (MSWD=0.54) 和 290.9 ± 2.9 Ma (MSWD=0.34)(张胜龙等, 2014), 与尹继元等(2013)在库鲁木苏序列二长花岗岩中获得的年龄 294 ± 2 Ma 十分接近, 均落在前人获得的西准噶尔 A 型花岗岩体的年龄范围之内。因此, 从区域构造演化的角度看, 库鲁木苏序列形成于后碰撞构造环境。

花岗岩的微量元素组成明显受其成岩的构造环境制约, 在以 Rb-(Y+Nb) 为判别标志的判别图上, 库鲁木苏序列岩石样品均落在西准噶尔 A 型花岗岩区域, 同时属于后碰撞花岗岩(图 4)。Eby 通过对大量 A 型花岗岩进行综合研究, 根据其地球化学特征把 A 型花岗岩分为 A₁ 和 A₂ 型, 其中 A₁ 型(Y/Nb < 1.2) 与大陆裂谷或板内环境有关, A₂ 型(Y/Nb > 1.2) 形成于造山后或后碰撞环境(Eby, 1992)。库

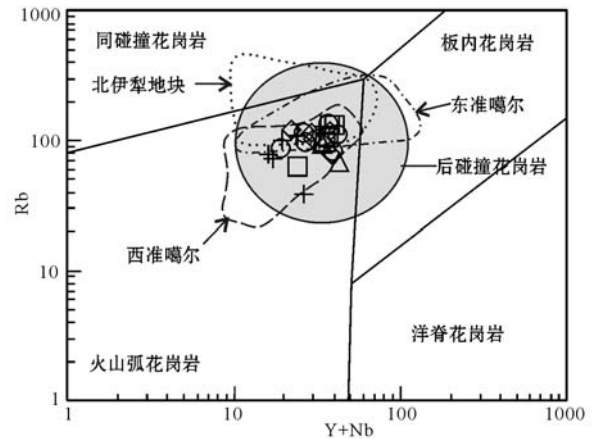


图 4 西准噶尔库鲁木苏序列构造环境判别图

(据 Han *et al.*, 2010)

Fig. 4 Rb versus Y+Nb tectonic discrimination diagram

(after Han *et al.*, 2010)

鲁木苏序列 Y/Nb 值为 1.21~3.44, 属于 A₂ 型, 这与 Rb/Nb-Y/Nb 及 Nb-Y-Ce 投图结果(图 5)相吻合。结合年代学、地球化学特征及前人研究成果, 我们认为库鲁木苏序列形成于后碰撞构造环境。

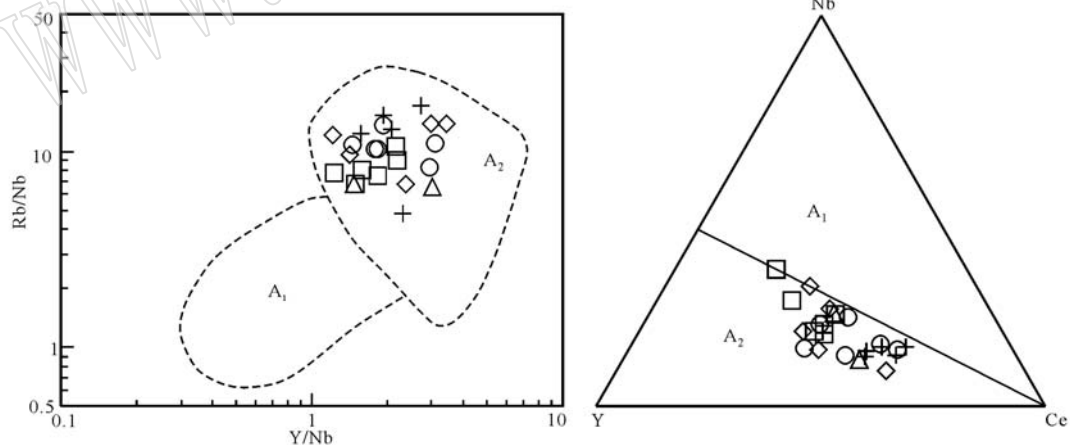


图 5 A 型花岗岩分类图(据 Eby, 1992)

Fig. 5 Classification diagram for A-type granitoids(after Eby, 1992)

4 结论

(1) 库鲁木苏序列岩石类型包括二长花岗岩、细粒正长花岗岩、中粗粒正长花岗岩、碱长花岗岩和碱长花岗岩斑岩, 具有高硅、富碱、低铝, 准铝质到弱过

铝质的特征, 富集 Rb、Th、K 等大离子亲石元素和 Zr、Hf 等高场强元素, 具有明显的负 Eu 异常, 显著亏损 Ba、Sr、P、Ti, 属于典型的铝质 A 型花岗岩。

(2) 库鲁木苏序列成岩年龄约 291 Ma, 在成因类型上属于 A₂ 型, 形成于后碰撞伸展环境。

致谢 野外工作得到了新疆地质矿产开发局第七地质大队的大力支持, 成文过程中得到长安大学王冉高级工程师、杨高学博士的重要指导和建议, 评审专家为本文提出了宝贵的修改意见和重要指正, 在此表示真诚的感谢。

References

- Chen B and Jahn B M. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 691~703.
- Chen Jiafu, Han Baofu and Zhang Lei. 2010. Geochemistry, Sr-Nd isotopes and tectonic implications of two generations of Late Paleozoic plutons in northern West Junggar, Northwest China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2317~2335(in Chinese with English abstract).
- Collins W J, Beams S D, White A J R, *et al.* 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80(2): 189~200.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. *Geology*, 20(7): 641~644.
- Gao Rui, Xiao Long, Wang Guochan, *et al.* 2013. Paleozoic magmatism and tectonic setting in West Junggar[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(10): 3413~3434(in Chinese with English abstract).
- Guo Fangfang, Jiang Changyi, Lu Ronghui, *et al.* 2010. Petrogenesis of the Huangyangshan alkali granites in Kalamaili area, northern Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2357~2373(in Chinese with English abstract).
- Gu Pingyang, Li Yongjun, Zhangbing, *et al.* 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Darbut ophiolite, western Junggar, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1364~1372(in Chinese with English abstract).
- Han B F, Guo Z J, Zhang Z C, *et al.* 2010. Age, geochemistry, and tectonic implications of a late Paleozoic stitching pluton in the North Tian Shan suture zone, western China[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 122: 627~640.
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, *et al.* 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China(Part I): Timing of post-collisional plutonism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 2357~2373(in Chinese with English abstract).
- Jin Song, Zhang Zhaoyi, Chen Zhibin, *et al.* 2010. Implications of A-type granite from Qiaqihai intrusion in Jeminay County, Xinjiang[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(6): 803~812(in Chinese with English abstract).
- Pang Zhenjia, Li Yongjun, Zhao Yumei, *et al.* 2010. The determination and its significance of Akebasitao aluminous A-type granites in West Junggar, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 28(2): 119~124(in Chinese with English abstract).
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Satoshi Kanisawa, *et al.* 2000. Geochemistry and petrogenesis of aluminous A-type granites in the coastal area of Fujian Province[J]. *Geochimica*, 29(4): 313~321(in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Li Jinyi, Zhang Jin, *et al.* 2011. Zircon SHRIMP U-Pb age of Targen monzogranite in western Junggar, Xinjiang, China: Initial time of left-lateral slip of the Tuoli fault[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(1): 19~25(in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[A]. Saunders A D and Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*[C]. Geological Society, London, Special Publication, 42: 313~345.
- Su Yuping, Tang Hongfeng, Hou Guangshun, *et al.* 2006. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang[J]. *Geochimica*, 35(1): 55~67(in Chinese with English abstract).
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, *et al.* 2010. Spatial and temporal distribution of the Carboniferous-Permian granitoids in northern Xinjiang and its adjacent areas, and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 619~641(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua and Xiong Xiaolin. 2000. The ascertainment of Late-Yanshanian A-type granite in Tongbai-Dabie orogenic belt[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(4): 297~306(in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaowei, Yang Chunxia, Liu Jingxian, *et al.* 2011. Geochemistry and tectonic significance of A-type granite in West Junggar[J]. *Gansu Geology*, 20(2): 11~19(in Chinese with English abstract).
- Wei Rongzhu. 2010. Geochemistry and chronology of the Laba intrusion in western Junggar, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 663~674(in Chinese with English abstract).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4): 407~419.
- Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, *et al.* 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 164: 31~47.
- Wu Suoping, Wang Meiying and Qi Kaijing. 2007. Present situation of researches on A-type granite: a review[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(1): 57~66(in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, *et al.* 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of North Xinjiang, NW China: implications for the tectonic evolution of Central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 102~117.
- Xiao W J, Kröner A and Windley B F. 2009. Geodynamic evolution of

- Central Asia in the Paleozoic and Mesozoic[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 98: 1 185~1 188.
- Xu Xin, He Guoqi, Li Huaqin, *et al.* 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélange, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating[J]. *Geology in China*, 33(3): 470~475(in Chinese with English abstract).
- Yin Jiyuan, Chen Wen, Yuan Chao, *et al.* 2013. Ages and tectonic implication of Late Paleozoic plutons in the West Junggar, North Xinjiang: Evidence from LA-ICPMS zircon geochronology [J]. *Geochimica*, 42(5): 414~429(in Chinese with English abstract).
- Yin Jiyuan, Yuan Chao, Wang Yujing, *et al.* 2011. Magmatic records on the Late Paleozoic tectonic evolution of western Junggar, Xinjiang[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(2): 278~291(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Ran Hao and Li Chengdong. 2012. A-type granite: what is the essence? [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(4): 621~626(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shenglong, Li Yongjun, Jiao Guanglei, *et al.* 2014. Zircon U-Pb geochronological evidence of the disintegration of the Kulumus granitic batholiths in Wuerkashier, West Junggar Basin[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(6): 1 073~1 085(in Chinese with English abstract).
- Zhou Taofa, Yuan Feng, Fan Yu, *et al.* 2006. Geodynamic significance of the A-type granites in the Sawuer region in west Junggar Xinjiang: Rock geochemistry and SHRIMP zircon age evidence[J]. *Science in China(Series D)*, 49(2): 113~123.
- Zhou T F, Yuan F, Fan Y, *et al.* 2008. Granites in the Sawuer region of the west Junggar, Xinjiang Province, China: Geochronological and geochemical characteristics and their geodynamic significance [J]. *Lithos*, 106: 191~206.
- Zhu Yongfeng, Xu Xin. 2006. The discovery of Early Ordovician ophiolite mélange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2 833~2 842(in Chinese with English abstract).
- 1 372.
- 韩宝福, 李建清, 宋 彪, 等. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 22(5): 1 077~1 086.
- 靳 松, 张兆祯, 陈志彬, 等. 2010. 新疆吉木乃县恰其海 A 型花岗岩的地球化学特征、年代学及构造意义[J]. *地球学报*, 31(6): 803~812.
- 庞振甲, 李永军, 赵玉梅, 等. 2010. 西准阿克巴斯陶铝质 A 型花岗岩厘定及意义[J]. *新疆地质*, 28(2): 119~124.
- 邱检生, 王德滋, 蟹泽聪史, 等. 2000. 福建沿海铝质 A 型花岗岩的地球化学及岩石成因[J]. *地球化学*, 29(4): 313~321.
- 宋 彪, 李锦轶, 张 进, 等. 2011. 西准噶尔托里地区塔尔根二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄——托里断裂左行走滑运动开始的时间约束[J]. *地质通报*, 30(1): 19~25.
- 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 等. 2006. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究[J]. *地球化学*, 35(1): 55~67.
- 童 英, 王 涛, 洪大卫, 等. 2010. 北疆及邻区石炭—二叠纪花岗岩时空分布特征及其构造意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(6): 619~641.
- 王 强, 赵振华, 熊小林. 2000. 桐柏—大别造山带燕山晚期 A 型花岗岩的厘定[J]. *岩石矿物学杂志*, 19(4): 297~306.
- 王晓伟, 杨春霞, 刘景显, 等. 2011. 西准噶尔 A 型花岗岩地球化学特征及构造意义[J]. *甘肃地质*, 20(2): 11~19.
- 魏荣珠. 2010. 新疆西准噶尔拉巴花岗岩地球化学特征及年代学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(6): 663~674.
- 吴锁平, 王梅英, 戚开静. 2007. A 型花岗岩研究现状及其评述[J]. *岩石矿物学杂志*, 26(1): 57~66.
- 徐 新, 何国琦, 李华芹, 等. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息[J]. *中国地质*, 33(3): 470~475.
- 尹继元, 陈 文, 袁 超, 等. 2013. 新疆西准噶尔晚古生代侵入岩的年龄和构造意义: 来自锆石 LA-ICPMS 定年的证据[J]. *地球化学*, 42(5): 414~429.
- 尹继元, 袁 超, 王毓婧, 等. 2011. 新疆西准噶尔玩古生代大地构造演化的岩浆活动记录[J]. *大地构造与成矿学*, 35(2): 278~291.
- 张 旗, 冉 焱, 李承东. 2012. A 型花岗岩的实质是什么? [J]. *岩石矿物学杂志*, 31(4): 621~626.
- 张胜龙, 李永军, 焦光磊, 等. 2014. 西准噶尔吾尔喀什山库鲁木苏岩基解体的锆石 U-Pb 年代学证据[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(6): 1 073~1 085.
- 周涛发, 袁 峰, 范 裕, 等. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区 A 型花岗岩的地球动力学意义: 来自岩石地球化学和锆石 SHRIMP 定年的证据[J]. *中国科学(D辑)*, 36(1): 39~48.
- 朱永峰, 徐 新. 2006. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩[J]. *岩石学报*, 22(12): 2 833~2 842.

附中文参考文献

- 陈家富, 韩宝福, 张 磊. 2010. 西准噶尔北部晚古生代两期侵入岩的地球化学、Sr-Nd 同位素特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 26(8): 2 317~2 335.
- 高 睿, 肖 龙, 王国灿, 等. 2013. 西准噶尔晚古生代岩浆活动和构造背景[J]. *岩石学报*, 29(10): 3 413~3 434.
- 郭芳放, 姜常义, 卢荣辉, 等. 2010. 新疆北部卡拉麦里地区黄羊山碱性花岗岩的岩石成因[J]. *岩石学报*, 26(8): 2 357~2 373.
- 辜平阳, 李永军, 张 兵, 等. 2009. 西准达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年[J]. *岩石学报*, 25(6): 1 364~