

## 新疆西准噶尔庙尔沟岩体的地球化学及年代学研究\*

胡洋<sup>1</sup> 王居里<sup>1\*\*</sup> 王建其<sup>1</sup> 杨猛<sup>1,2</sup> 袁攀<sup>3</sup> 令伟伟<sup>1</sup>HU Yang<sup>1</sup>, WANG JuLi<sup>1\*\*</sup>, WANG JianQi<sup>1</sup>, YANG Meng<sup>1,2</sup>, YUAN Pan<sup>3</sup> and LING WeiWei<sup>1</sup>

1. 大陆动力学国家重点实验室,西北大学地质学系,西安 710069

2. 西北有色地质勘查局,西安 710054

3. 陕西省地质矿产勘查开发局汉中地质大队,汉中 723000

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

2. Northwest Mining and Geology Group Co., Ltd for Nonferrous Metals (NWME), Xi'an 710054, China

3. Hanzhong Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Resources of Shaanxi, Hanzhong 723000, China

2014-06-15 收稿, 2014-12-23 改回.

**Hu Y, Wang JL, Wang JQ, Yang M, Yuan P and Ling WW. 2015. Geochemistry and geochronology of the Miaoergou granite pluton in West Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 31(2):505–522**

**Abstract** The Miaoergou pluton intruded in the Early Carboniferous marine volcano-sedimentary in West Junggar, Xinjiang, the pluton is mainly composed of the alkali-feldspar granite with a little charnockites and alkali-feldspar granite dikes. The alkali-feldspar granite and alkali-feldspar granite dike are characterized by high silicon, enrichment of alkali, low calcium, Rittman index ( $\delta$ ) = 2.17 ~ 2.98, A/CNK = 0.96 ~ 1.03, A/NK = 1.08 ~ 1.13, it belongs to metaluminous-weakly peraluminous high-K calc-alkaline granite. It is relatively enriched in LILEs (Rb, U, K, Th) but poor in HFSEs (Nb, Ta, P, Ti) as well as Ba, Sr, etc. It showed a strong negative Eu anomaly, low content of such transition metal mantle compatible elements as Cr, Ni, high content of such crustal enrichment elements as U, Th, Pb. Sr-Nd isotopic compositions of the alkali-feldspar granite are ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> = 0.70370 ~ 0.70541,  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +4.10 \sim +6.79$ ,  $t_{\text{DM}} = 0.57 \sim 0.99\text{Ga}$ . Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating for the granite yielded an age of  $309 \pm 1.4\text{Ma}$ , indicating the formation of the alkali-feldspar granite is in Late Carboniferous. Charnockites are characterized by SiO<sub>2</sub> content changing from 60.88% to 62.06%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content changing from 15.50% to 15.72%, Rittman index ( $\delta$ ) = 2.59 ~ 2.77, A/CNK = 0.86 ~ 0.88, A/NK = 1.50 ~ 1.53, it belongs to metaluminous calc-alkaline-high-K calc-alkaline granite. It is relatively enriched in LREE (Rb, U, K, Th), poor in HREE (Nb, Ta, P, Ti) and Sr, it showed significant negative Eu anomalies, low content of such transition metal mantle compatible elements as Cr, Ni, high content of such crustal enrichment elements as U, Th, Pb. Sr-Nd isotopic compositions of the charnockite are ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> = 0.70382 ~ 0.70388,  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.67 \sim +6.98$ ,  $t_{\text{DM}} = 0.59 \sim 0.62\text{Ga}$ . Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating yielded an age of  $302.1 \pm 2.1\text{Ma}$ , indicating the formation of charnockite is in Late Carboniferous. Compared with Miaoergou rock mass geochemical characteristics, geochronological information and regional geological setting, the author concluded that alkali-feldspar granite and alkali-feldspar granite dike are A2-type granites and charnockite showed geochemical characteristics of A-type granites. They are likely come from the same magma source, which took place during the post-collision magmatism stage in West Junggar.

**Key words** A-type granites; Zircon LA-ICP-MS U-Pb age; Post-collision; Miaoergou; West Junggar

**摘要** 新疆西准噶尔庙尔沟岩体侵入于早中石炭世海相火山-沉积建造中,主体由碱长花岗岩组成,局部分布有紫苏花岗岩和碱长花岗岩脉。碱长花岗岩及岩脉高硅、富碱、贫钙,里特曼指数( $\delta$ ) = 2.17 ~ 2.98, A/CNK = 0.96 ~ 1.03, A/NK = 1.08 ~ 1.13, 为准铝质-弱过铝质高钾钙碱性花岗岩,其富集 LILEs (Rb、U、K、Th), 相对亏损 HFSEs (Nb、Ta、P、Ti) 和 Ba、Sr 等, 以及强烈 Eu 负异常, 过渡族地幔相容元素 Cr、Ni 含量低, U、Th、Pb 等地壳富集元素含量较高。Sr、Nd 同位素组成: ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> =

\* 本文受“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAB06B01-03)资助。

第一作者简介: 胡洋, 男, 1989 年生, 硕士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: 345562426@qq.com

\*\* 通讯作者: 王居里, 男, 1958 年生, 教授, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: jlwang@nwu.edu.cn

0.70370~0.70541,  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +4.10 \sim +6.79$ ,  $t_{\text{DM}} = 0.57 \sim 0.99\text{Ga}$ 。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究获得锆石 U-Pb 年龄为  $309 \pm 1.4\text{Ma}$ , 表明岩体碱长花岗岩的形成时代为晚石炭世。紫苏花岗岩的  $\text{SiO}_2$  含量为 60.88%~62.06%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 15.50%~15.72%, 里特曼指数 ( $\delta$ ) = 2.59~2.77,  $A/\text{CNK} = 0.86 \sim 0.88$ ,  $A/\text{NK} = 1.50 \sim 1.53$ , 为准铝质钙碱性-高钾钙碱性过渡的花岗岩, 相对富集 LREE (Rb、U、K、Th), 而亏损 HREE (Nb、Ta、P、Ti) 和 Sr, 以及较显著的 Eu 负异常, 过渡族地幔相容元素 Cr、Ni 含量低, U、Th、Pb 等地壳富集元素含量较高。Sr、Nd 同位素组成:  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70382 \sim 0.70388$ ,  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.67 \sim +6.98$ ,  $t_{\text{DM}} = 0.59 \sim 0.62\text{Ga}$ 。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究获得锆石 U-Pb 年龄为  $302.1 \pm 2.1\text{Ma}$ , 表明岩体紫苏花岗岩的形成时代为晚石炭世。综合庙尔沟岩体的地质特征、地球化学特征、年代学和区域地质背景, 认为庙尔沟岩体碱长花岗岩及岩脉为 A2 型花岗岩, 紫苏花岗岩具有 A 型花岗岩的地球化学性质, 且它们是可能来自同一个岩浆源区, 属于西准噶尔后碰撞阶段的岩浆活动产物。

**关键词** A 型花岗岩; 锆石 U-Pb 年龄; 后碰撞; 庙尔沟; 西准噶尔

**中图法分类号** P588.121; P597.3

## 1 引言

新疆西准噶尔地区发育着一系列 NE-NNE 向的断裂, 其中沿大型的达拉布特断裂分布着大大小小呈岩基状的花岗岩体, 如断裂以北的著名岩体有庙尔沟、阿克巴斯陶、哈图和铁厂沟岩体; 断裂以南的是包古图、红山、克拉玛依岩体。这些岩体大都侵入于泥盆-石炭系中 (高山林等, 2006)。韩宝福等 (2006) 根据该地区花岗岩的锆石 U-Pb 年代学资料认为, 后碰撞深成岩浆时限时为 340~275Ma, 高峰期为 310~295Ma。目前对于该区花岗岩的构造环境有不同的认识: 俯冲有关的岛弧环境 (Feng *et al.*, 1989; 高山林等, 2006; 肖文交等, 2006; 张连昌等, 2006)、洋脊俯冲环境 (Geng *et al.*, 2009; 唐功建等, 2009; Yin *et al.*, 2010; Tang *et al.*, 2010, 2012a, b; 尹继元等, 2012; Yang *et al.*, 2012a, b; Ma *et al.*, 2012) 和后碰撞环境 (Wang *et al.*, 2003; Chen and Jahn, 2004; Chen and Arakawa, 2005; 韩宝福等, 2006; 苏玉平等, 2006; 范裕等, 2007; Zhou *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010; 陈家富等, 2010; 高睿等, 2013)。

前人对庙尔沟岩体做了许多工作。苏玉平等 (2006) 通过地球化学和年代学研究得出庙尔沟岩体成岩年龄为  $305 \pm 2\text{Ma}$ , 岩石类型属于 A2 型, 形成于后碰撞张性环境中, 可能来自于年轻地壳部分熔融; 伍建机和陈斌 (2004) 用微量元素和 Sr-Nd 同位素证据得出庙尔沟后碰撞花岗岩由年轻的下地壳发生部分熔融而成, 不同的岩石类型代表不同的分离结晶产物; 张立飞等 (2004) 根据对庙尔沟含橄辉石的紫苏花岗岩体岩石学和地球化学特征的研究, 得出紫苏花岗岩的母岩浆来自下部地壳, 并混入了一些来自地幔的融体, 且该区碱长花岗岩的母岩也分异于同一岩浆源, 只是结晶深度较浅, 先于碱长花岗岩结晶; Geng *et al.* (2009) 分别对庙尔沟碱长花岗岩和紫苏花岗岩的地球化学、Sr-Nd 和 U-Pb-Hf 同位素进行研究, 认为其都来自年轻的下地壳的分离结晶, 但是可能来自不同的源区, 形成于洋脊俯冲环境。

笔者注意到庙尔沟岩体是一个由多种岩性组成的复合岩体, 分别对其中的碱长花岗岩、紫苏花岗岩和碱长花岗岩

脉进行了地质、地球化学及年代学研究, 以确定三者的时空关系、岩石类型、构造环境, 探讨岩石成因, 为西准噶尔地区构造演化提供新的证据。

## 2 区域地质背景及岩体地质简况

### 2.1 区域地质背景

何国琦等 (2004) 根据板块构造理论将新疆及邻近地区的大地构造单元主要划分为西伯利亚板块 (I)、哈萨克斯坦-准噶尔板块 (II)、塔里木-中朝板块 (III)、青藏板块 (IV) 和印度板块 (V), 每个板块之间由板块缝合构造带隔开。西准噶尔地区属于准噶尔-巴尔喀什微板块。由于受到了西伯利亚板块以及塔里木板块的影响, 区内断裂构造发育, 主要发育了四条 NE-NNE 向的断裂 (图 1a), 自西向东依次是巴尔鲁克断裂、玛依勒断裂、哈图断裂、达拉布特断裂 (朱宝清, 1984)。

西准噶尔南部地区主要分布有泥盆纪、石炭纪的海相火山-沉积地层 (图 1b)。泥盆纪的地层主要分布于玛依勒断裂西侧, 东侧零星出露。石炭纪的地层主要分布于达拉布特断裂的两侧, 为哈图-包古图地区出露最广泛的地层。另外, 该地区还有奥陶纪、志留纪和二叠纪的地层 (周良仁等, 1987)。泥盆系自上到下依次为库鲁木迪组 ( $D_3k$ )、喀依尔巴依组 ( $D_2k$ )、巴尔鲁克组 ( $D_2b$ )、马拉苏组 ( $D_1ml$ ), 其岩性主要为凝灰质粉砂岩、凝灰质砂岩、凝灰质砂砾岩和层凝灰岩等。其中库鲁木迪组主要出露于托里县的南部地区, 巴尔鲁克组主要出露于西缘的巴尔鲁克山中。石炭系为一套巨厚的半深海-大陆坡相火山活动-碎屑沉积建造, 主要由希贝库拉斯组、包古图组、太勒古拉组组成, 其岩性主要为凝灰岩、层凝灰岩、凝灰质粉砂岩、凝灰质粉砂质泥岩、中基性喷出岩、凝灰质砂岩、砂岩、硅质岩等 (郭丽爽等, 2010)。

哈图-包古图地区广泛发育大规模近似圆形的晚古生代花岗岩类的岩基 (图 1b), 主要侵入于下石炭统中 (党飞鹏等, 2011)。在达拉布特构造带周围出露由碱长花岗岩组成的岩基, 代表岩体有庙尔沟岩体、克拉玛依岩体、铁厂沟岩体、哈图岩体、阿克巴斯陶岩体和红山岩体等, 岩体年龄在 327~287Ma

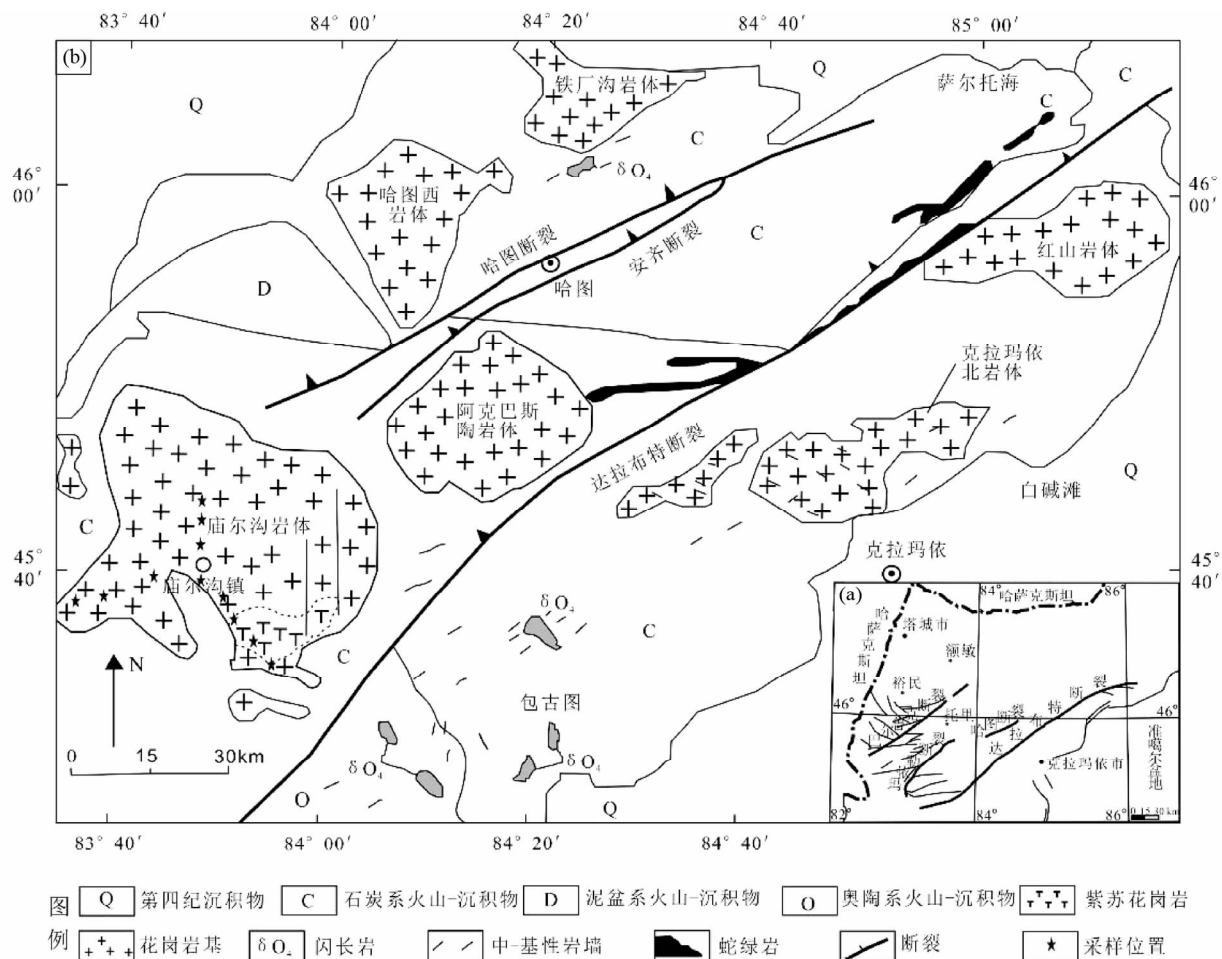


图1 西准噶尔地区地质简图(a,据 Tang *et al.*, 2010 修改;b,据尹继元等,2011;张立飞等,2004 修改)

Fig.1 Simplified geological map of the West Junggar (a, modified after Tang *et al.*, 2010; b, modified after Yin *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2004)

之间(金成伟和张秀棋,1993; Xian *et al.*, 2002; 苏玉平等, 2006; 韩宝福等, 2006; Geng *et al.*, 2009); 岩体成分复杂, 主要以钾长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩和碱长花岗岩为主(高山林等,2006;韩宝福等,2006;尹继元等,2011)。

## 2.2 岩体地质简况

庙尔沟岩体(图1b)位于西准噶尔扎伊尔山中段塔城地区托里县庙尔沟镇一带,地理坐标为 E83°35' ~ 84°05', N45°30' ~ 45°50'。岩体侵位于石炭系火山-沉积建造中。整体位于达拉布特断裂的北西侧,呈岩基状产出,平面展布呈近似圆形,约为 700km<sup>2</sup>(李宗怀等,2004),是该地区出露面积最大的岩体。岩体主体由中-粗粒碱长花岗岩组成,其东南缘有紫苏花岗岩出露,在局部地区细晶碱长花岗岩脉穿插于碱长花岗岩和紫苏花岗岩中,细脉宽 2 ~ 15cm,粗脉宽 1 ~ 3m 不等(图2)。

## 2.3 岩石学特征

碱长花岗岩 大部分为肉红色,少量为浅灰色,块状构

造,中-粗粒半自形粒状结构,局部见显微文象结构。主要矿物为碱性长石(以钾长石为主,少量的条纹长石和反条纹长石)(60% ~ 65%)、斜长石(5% ~ 7%)、石英(25% ~ 30%),次要矿物为黑云母(2% ~ 3%)、角闪石(3% ~ 4%),副矿物为锆石、磷灰石、磁铁矿(0.5% ~ 3%)。钾长石为中粒半自形板状,粒径为 3 ~ 5mm,主要由正长石(发育卡斯巴双晶)和微斜长石(发育格子双晶)组成,颗粒表面污浊,局部可见蠕英结构;条纹长石、反条纹长石呈板条状,中粒半自形,粒径为 2 ~ 3mm;斜长石为细粒半自形板状,粒径为 0.5 ~ 1.5mm,主要由奥长石(An<sub>10-17</sub>)组成,聚片双晶发育;石英为他形粒状,粒径大小不等,填隙分布(图3a, b)。

碱长花岗岩脉 岩石特征近同碱长花岗岩,只是其粒度较细,为细粒半自形粒状结构。

紫苏花岗岩 呈深灰色,块状构造,中-细粒花岗结构。主要矿物为紫苏辉石(14% ~ 16%)、斜长石(40% ~ 45%)、钾长石(9% ~ 11%)、条纹长石和反条纹长石(9% ~ 10%)、石英(7% ~ 10%)、角闪石和黑云母(9% ~ 11%),副矿物为

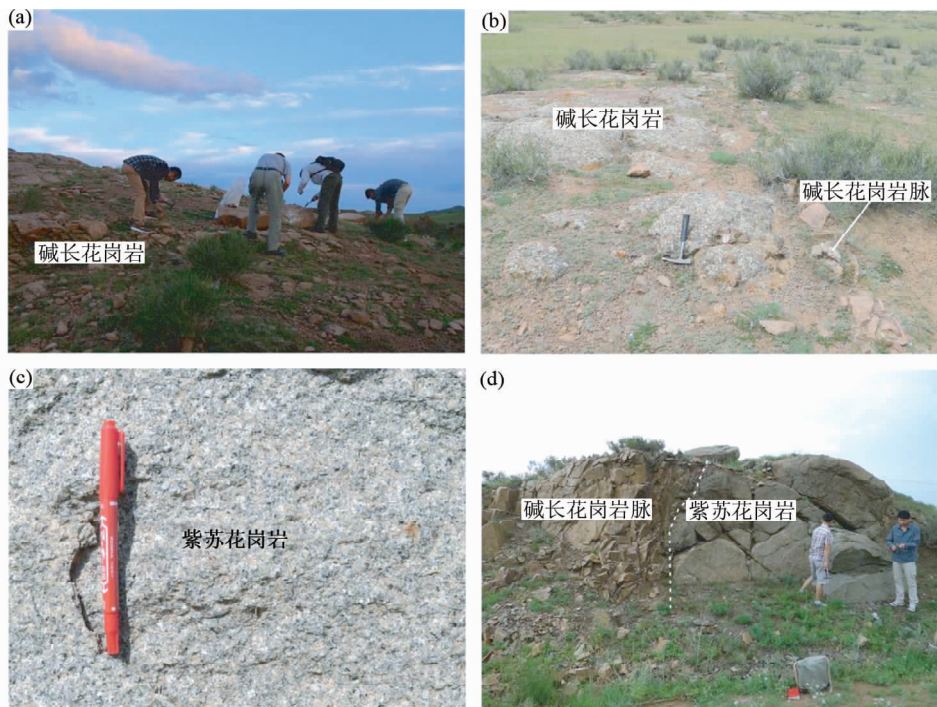


图2 庙尔沟岩体露头照片

Fig. 2 Outcrop photos of the Miaoergou granite pluton

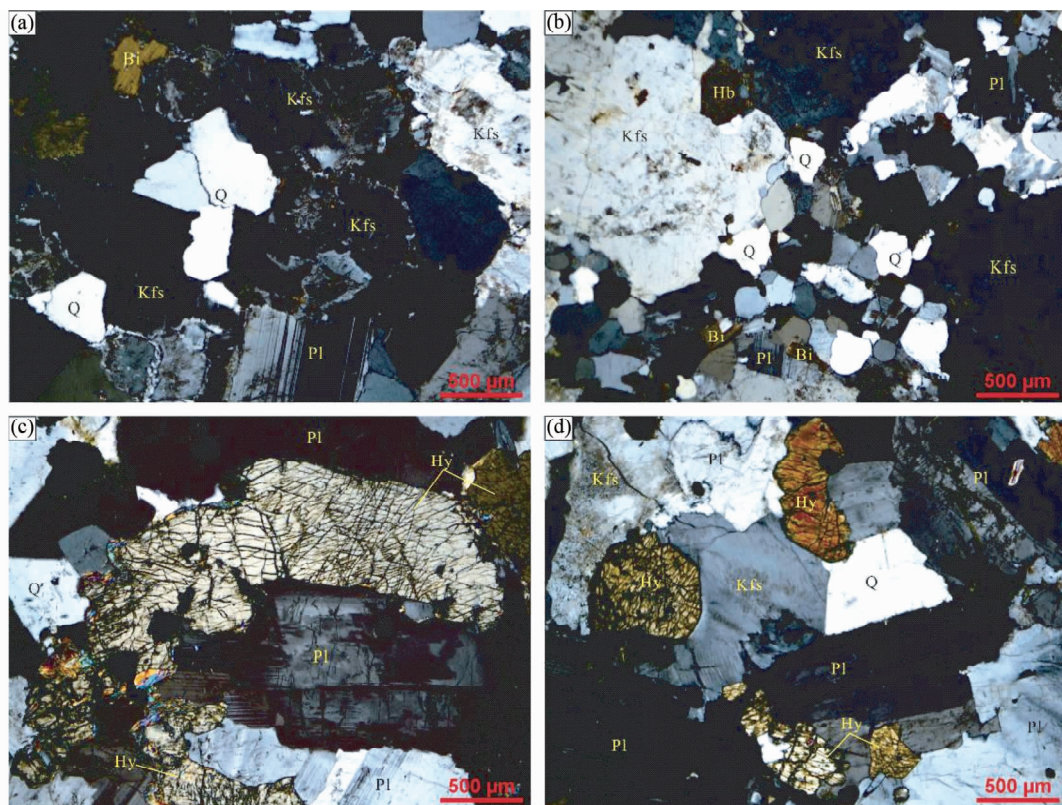


图3 庙尔沟岩体碱长花岗岩和紫苏花岗岩显微镜下特征

(a, b) 碱长花岗岩 (MG-17、MG-22); (c、d) 紫苏花岗岩 (MG-3-1、MG-14). 正交偏光. Q-石英; Bi-黑云母; Kfs 钾长石; Hy-紫苏辉石; Pl-斜长石; Hb-角闪石

Fig. 3 Microscopic photos of the alkali-feldspar granite (a, b) and charnockite (c, d) in the Miaoergou granite pluton

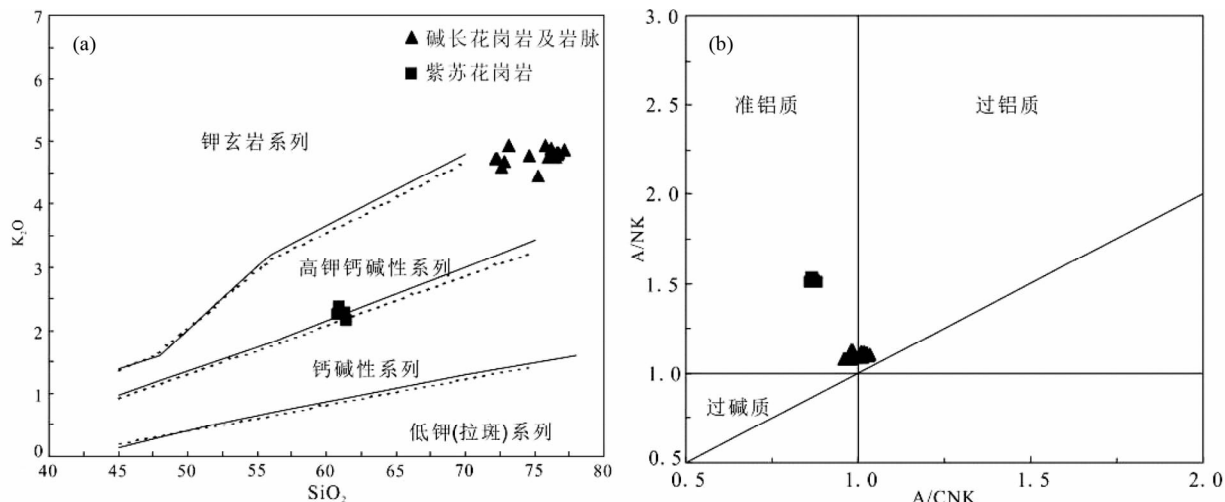


图4 庙尔沟岩体  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图(a, 实线据 Peccerillo and Taylor, 1976; 虚线据 Middlemost, 1985) 和  $\text{A}/\text{CNK}$ - $\text{A}/\text{NK}$  图(b, 据 Maniar and Piccoli, 1989)

Fig. 4  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  diagram (a, real line is after Peccerillo and Taylor, 1976; and broken line after Middlemost, 1985) and  $\text{A}/\text{CNK}$  vs.  $\text{A}/\text{NK}$  diagram (b, after Maniar and Piccoli, 1989) of the Miaogou granite pluton

磁铁矿、锆石、榍石等(3% ~ 5%)。紫苏辉石大体呈中粒自形粒状, 粒径为 2 ~ 3mm; 斜长石(斜长石组分一般是  $\text{An}_{30-50}$  的中长石)与他形石英共生, 粒径为 1 ~ 2mm; 钾长石多为微斜长石, 粒径为 3 ~ 4mm; 条纹长石、反条纹长石呈中粒自形-半自形, 粒径为 2 ~ 4mm(图 3c, d)。

### 3 分析方法

岩石的主量和微量元素、Sr-Nd 同位素、锆石阴极发光照相、锆石 U-Pb 同位素分析等均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。主量元素用样品的碱熔玻璃片在日本理学 RIX2100 XRF 仪上测定, 将样品岩石粉末与亚硼酸锂混合并熔融制成玻璃片分析, GBW07105 标样监控, 元素分析误差 < 5%。微量元素在美国 Perkin Elmer 公司 Elan6100DRC 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)上分析测定, 样品经 BHVO-2、AGV-1、BCR-2、G-2 国际标样监控, 多数微量元素的分析精度优于 5%。

岩石 Sr、Nd 同位素采用英国 Nu Instrument 公司生产的 Nu Plasma 多接收等离子体质谱仪测定, 仪器工作参数为 Power 1300w、Nebulizer gas 0.1 mL/min、Auxiliary gas 0.8 mL/min、Plasma gas 13L/min。分析所用试剂  $\text{HNO}_3$ 、HF、HCl 均为由优级纯酸经亚沸蒸馏装置制得的高纯试剂, 水为 18.2 MΩ · cm<sup>-1</sup> 的高纯水(Millipore Element, Millipore Corporation, USA)。分析全程采用 USGS 标准物质 BHVO-2、BCR-2、AGV-2 进行质量监控。仪器测试利用  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ 、 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$  按照指数法则进行内部校正, 质量监控样品分别选用 NBS 987 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710248$ ) 及 La Jolla ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511859$ ), 全流程过程本底 < 20pg。

在岩相学观察的基础上, 定年所选用的锆石样品按照常规重力和磁选方法分选, 并将分选出的锆石在双目镜下选择晶形较好、透明、无裂隙、没有包体的具有代表性的锆石颗粒用环氧树脂固定, 待其充分固化后抛光至锆石露出核部, 然后进行锆石的 CL 显微图像及 LA-ICP-MS 分析。锆石的 U-Pb 同位素组成用德国 Microlas 公司的 Geolas200M 激光剥蚀系统与 Elan6100DRC ICP-MS 联机进行测定, 分析采用的激光束直径为 30 μm, 激光脉冲为 10Hz, 能量在 32 ~ 36mJ, 激光剥蚀样品的深度为 20 ~ 40 μm。锆石年龄测定采用国际标准锆石 91500 作外标。年龄计算及协和图用 Isoplot (ver. 3) 程序(Ludwig, 2003)完成。详细分析步骤和数据处理方法见袁洪林等(2003)。

### 4 分析结果

#### 4.1 主量及微量元素

##### 4.1.1 碱长花岗岩及岩脉

西准噶尔庙尔沟地区碱长花岗岩及岩脉的主量及微量元素分析结果见表 1。

主量元素分析结果显示, 庙尔沟碱长花岗岩及岩脉高硅 ( $\text{SiO}_2$  含量为 72.22% ~ 77.15%)、富碱 ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8.48\% \sim 9.35\%$ ), CaO 含量 0.44% ~ 1.01%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量 12.37% ~ 13.76%,  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 、MnO、MgO、 $\text{P}_2\text{O}_5$  含量低; 里特曼指数 ( $\delta$ ) = 2.17 ~ 2.98,  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图中投点均落入高钾钙碱性系列区域(图 4a);  $\text{A}/\text{CNK} = 0.96 \sim 1.03$ ,  $\text{A}/\text{NK} = 1.08 \sim 1.13$ ,  $\text{A}/\text{CNK}$ - $\text{A}/\text{NK}$  图中投点落入准铝质-弱过铝质区域(图 4b)。

微量元素分析结果显示, 庙尔沟碱长花岗岩及岩脉稀土

表1 庙尔沟岩体碱长花岗岩及岩脉的主量(wt%)及微量元素( $\times 10^{-6}$ )分析结果  
 Table 1 Major elements (wt%) and trace elements ( $\times 10^{-6}$ ) of alkali-feldspar granite and dikes from the Miaogou pluton

样品号	MG-15	MG-17	MG-19	MG-22	MG-24	MG-28	MG-29	MG-32	MG-2-3	MG-2-4	MG-3-3	MG-1	MG-2	MG-3	MG-4	MG-5	MG-6	MG-7	MG-3-2	
岩性	碱长花岗岩										碱长花岗岩脉									
SiO <sub>2</sub>	75.84	75.98	75.98	72.62	72.89	75.29	73.20	72.36	73.20	72.36	72.22	74.59	76.27	76.69	76.36	76.65	77.15	76.18	76.53	76.59
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.12	0.13	0.32	0.29	0.14	0.27	0.32	0.27	0.32	0.32	0.22	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.49	12.61	12.68	13.39	13.38	12.78	13.26	13.76	13.26	13.76	13.69	13.10	12.62	12.37	12.72	12.54	12.62	12.66	12.49	12.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	1.43	1.20	1.22	2.61	2.41	1.57	2.36	2.32	2.36	2.32	2.32	1.97	0.96	0.85	0.86	0.90	0.86	0.91	0.93	0.95
MnO	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
MgO	0.09	0.09	0.10	0.33	0.30	0.16	0.17	0.34	0.17	0.34	0.33	0.16	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07
CaO	0.53	0.55	0.63	1.01	0.97	0.67	0.68	0.88	0.68	0.88	0.87	0.61	0.48	0.47	0.49	0.51	0.44	0.46	0.47	0.43
Na <sub>2</sub> O	3.66	3.75	3.74	4.19	4.11	4.03	4.23	4.63	4.23	4.63	4.61	4.17	3.81	3.75	3.82	3.76	3.75	3.78	3.78	3.82
K <sub>2</sub> O	4.93	4.75	4.76	4.59	4.69	4.45	4.93	4.73	4.93	4.73	4.73	4.78	4.81	4.82	4.85	4.79	4.86	4.89	4.76	4.83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06	0.04	0.07	0.04	0.07	0.07	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
LOI	0.36	0.43	0.26	0.39	0.37	0.36	0.42	0.36	0.42	0.36	0.34	0.38	0.41	0.42	0.34	0.38	0.39	0.45	0.46	0.42
Total	99.50	99.52	99.54	99.55	99.51	99.53	99.59	99.79	99.59	99.52	100.05	99.54	99.55	99.61	99.69	100.24	99.53	99.60	99.60	99.88
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	8.59	8.50	8.50	8.78	8.8	8.48	9.16	9.36	9.16	9.36	9.34	8.95	8.62	8.57	8.67	8.55	8.61	8.67	8.54	8.65
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	0.74	0.79	0.79	0.91	0.88	0.91	0.86	0.98	0.86	0.98	0.97	0.87	0.79	0.78	0.79	0.78	0.77	0.77	0.79	0.79
$\delta$	2.25	2.19	2.19	2.6	2.59	2.23	2.78	2.98	2.78	2.98	2.99	2.54	2.23	2.18	2.25	2.17	2.17	2.27	2.18	2.23
A/CNK	1.01	1.02	1.02	0.98	0.98	1.01	0.98	0.96	0.98	0.96	0.96	1.00	1.02	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.02	1.03
A/NK	1.10	1.12	1.12	1.13	1.13	1.12	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.09	1.10	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Li	39.4	44.8	26.2	44.1	36.2	31.5	23.7	32.5	29.6	22.4	19.3	24.5	20.8	22.2	25.1	19.3	19.8	19.0	19.5	19.5
Be	3.39	4.35	4.29	3.10	3.02	4.36	1.99	3.01	3.57	3.39	3.19	2.01	4.89	3.38	3.83	4.40	5.32	4.98	4.81	4.25
Sc	3.02	3.18	3.36	6.64	6.19	2.74	7.24	6.12	4.12	3.99	3.81	4.63	1.78	1.65	1.74	1.75	2.00	1.78	1.95	1.83
V	4.77	4.32	4.69	14.3	13.1	7.42	9.61	14.9	18.5	16.4	15.3	7.49	3.67	4.17	4.38	3.27	2.97	3.83	3.95	3.29
Cr	2.04	1.15	0.99	6.12	4.16	1.91	2.34	2.99	5.59	4.31	7.75	2.53	1.20	8.64	1.65	2.82	4.70	3.10	4.28	1.20
Co	112	146	138	116	114	111	111	76.7	1.37	1.29	1.51	44.1	134	142	109	149	150	154	151	60.4
Ni	1.01	0.66	0.55	3.26	2.34	1.02	1.34	1.86	3.54	2.92	4.61	2.61	0.72	3.87	1.19	1.46	2.76	1.72	2.33	1.29
Cu	13.2	2.73	3.69	2.60	2.34	7.59	3.16	10.5	7.40	9.96	6.26	2.90	11.9	3.32	7.32	7.23	27.8	17.9	19.7	25.8
Zn	30.9	23.5	27.3	60.0	54.6	42.1	58.8	27.1	62.4	71.8	57.4	45.9	31.7	37.5	38.5	34.9	25.6	34.5	37.6	29.7
Ga	16.7	17.4	16.5	20.6	20	20.1	19.8	20.6	18.6	18.5	17.8	18.6	20.9	20.5	21.0	20.9	21.2	20.8	21.0	20.3
Ge	1.64	1.75	1.58	1.62	1.60	1.74	1.52	1.59	1.50	1.48	1.47	1.31	1.81	1.74	1.81	1.80	1.84	1.76	1.78	1.64
Rb	160	165	132	112	111	128	86.4	105	122	121	113	84.2	188	193	196	201	191	179	183	178
Sr	54.8	54.5	67.5	82.6	77.0	54.3	55.6	83.2	55.8	52.4	53.8	51.1	40.5	36.0	40.5	39.4	32.0	43.1	40.6	35.4

续表 1

Continued Table 1

样品号	MG-15	MG-17	MG-19	MG-22	MG-24	MG-28	MG-29	MG-32	MG2-2	MG2-3	MG2-4	MG3-3	MG-1	MG-2	MG-3	MG-4	MG-5	MG-6	MG-7	MG3-2	
岩性	碱长花岗岩																				
Y	36.2	39.0	39.8	52.2	51.7	34.8	40.3	50.3	43.0	38.1	42.0	30.7	53.6	37.9	39.1	53.7	54.5	48.5	43.7	43.8	
Zr	124	122	118	370	418	178	478	346	340	324	345	328	111	102	117	108	107	122	114	128	
Nb	8.71	9.96	9.94	10.4	9.82	8.50	8.00	9.64	10.5	10.1	9.85	7.21	8.90	3.58	9.59	7.93	8.87	8.22	8.76	10.7	
Cs	5.01	6.60	3.79	4.30	4.01	2.27	3.99	2.05	4.36	4.94	5.34	3.01	6.44	9.79	12.1	7.75	5.11	5.58	7.03	4.96	
Ba	408	407	499	550	558	236	686	586	728	733	655	602	194	171	200	176	149	212	191	171	
Hf	4.08	4.23	4.07	9.56	10.5	6.33	11.3	8.89	9.32	8.82	9.31	8.35	4.29	3.93	4.52	4.17	4.51	4.75	4.45	5.29	
Ta	1.56	1.84	1.85	0.93	0.88	1.36	0.61	0.82	0.88	0.82	0.76	0.64	1.79	0.59	2.09	1.33	1.47	1.54	1.53	2.37	
Pb	16.5	13.9	15.6	15.8	15.8	13.8	14.7	12.9	18.8	19.5	17.7	13.7	16.4	18.5	19.9	18.9	17.1	14.7	15.7	16.8	
Th	26.2	25.5	20.8	9.68	9.82	18.4	6.92	8.89	11.0	9.42	8.97	6.77	23.3	26.3	26.7	22.9	38.5	25.8	24.6	26.8	
U	6.40	5.16	8.35	1.66	1.51	2.08	1.65	1.41	2.16	1.85	1.99	1.36	5.18	4.03	4.74	6.25	6.04	5.56	5.67	6.66	
La	20.9	30.0	24.8	25.0	31.0	25.4	27.4	29.6	26.6	23.4	18.9	17.9	22.2	20.2	23.8	24.5	22.5	25.8	21.6	22.2	
Ce	44.4	53.7	51.6	77.1	69.4	55.8	69.5	66.4	72.3	59.5	53.3	47.3	49.7	46.0	51.3	53.7	50.2	55.6	50.2	50.9	
Pr	4.92	6.92	5.62	7.77	8.59	6.41	7.81	8.17	7.41	6.66	5.76	5.29	5.95	5.46	5.96	6.42	6.00	6.48	5.53	5.95	
Nd	18.4	25.6	20.6	32.4	35.7	23.4	32.6	33.8	30.0	27.5	24.6	22.1	23.6	21.7	23.0	25.3	24.0	25.2	21.3	23.0	
Sm	4.22	5.66	4.71	8.09	8.21	4.64	7.44	7.74	6.75	6.26	5.91	5.16	6.01	5.42	5.35	6.3	6.25	6.02	5.13	5.74	
Eu	0.35	0.36	0.46	0.7	0.71	0.38	0.73	0.75	0.59	0.57	0.56	0.62	0.2	0.2	0.22	0.21	0.17	0.23	0.21	0.19	
Gd	4.72	5.98	5.21	8.63	8.57	4.73	7.48	8.11	6.22	5.83	5.80	4.93	6.98	5.77	5.67	7.03	7.29	6.70	5.88	5.50	
Tb	0.74	0.92	0.82	1.33	1.31	0.71	1.12	1.24	1.08	1.00	1.04	0.84	1.12	0.89	0.87	1.11	1.18	1.06	0.94	1.04	
Dy	5.06	5.99	5.62	8.55	8.3	4.76	6.99	7.97	7.03	6.47	6.84	5.36	7.67	5.84	5.73	7.31	8.04	7.04	6.42	6.96	
Ho	1.10	1.25	1.23	1.77	1.72	1.05	1.43	1.65	1.49	1.34	1.44	1.11	1.70	1.26	1.25	1.6	1.77	1.54	1.42	1.52	
Er	3.61	4.03	4.07	5.33	5.11	3.41	4.17	4.99	4.54	4.06	4.4	3.29	5.61	4.08	4.15	5.21	5.85	5.08	4.75	4.99	
Tm	0.63	0.71	0.73	0.83	0.79	0.6	0.63	0.77	0.71	0.62	0.68	0.51	0.95	0.7	0.72	0.87	1.03	0.87	0.85	0.89	
Yb	4.67	5.23	5.45	5.42	5.13	4.36	4.14	5.1	4.83	4.19	4.57	3.45	6.93	5.06	5.42	6.22	7.63	6.47	6.44	6.78	
Lu	0.73	0.81	0.85	0.80	0.77	0.70	0.62	0.76	0.73	0.64	0.68	0.50	1.08	0.78	0.84	0.96	1.20	1.01	1.01	1.03	
ΣREE	114.4	147.2	131.7	183.7	185.2	136.2	172.0	177.0	170.2	148.0	134.6	118.4	139.7	123.4	134.3	146.8	143.1	149.1	131.6	136.7	
LREE/HREE	4.38	4.91	4.49	4.62	4.85	5.71	5.47	4.79	5.4	5.13	4.29	4.93	3.36	4.06	4.45	3.84	3.21	4.01	3.75	3.76	
(La/Yb) <sub>N</sub>	3.21	4.12	3.26	3.31	4.34	4.18	4.74	4.16	3.95	4.00	2.97	3.73	2.3	2.87	3.15	2.82	2.11	2.86	2.4	2.35	
δEu	0.24	0.19	0.28	0.25	0.26	0.25	0.30	0.29	0.27	0.28	0.29	0.37	0.10	0.11	0.12	0.09	0.08	0.11	0.12	0.10	
δCe	1.04	0.88	1.03	1.34	1.02	1.04	1.15	1.03	1.24	1.15	1.24	1.18	1.04	1.05	1.03	1.03	1.04	1.02	1.10	1.06	

注：A/CNK(摩尔比) = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)；A/NK(摩尔比) = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)；δEu = [Eu<sub>N</sub>/(Sm + Gd)<sub>N</sub>]<sup>1/2</sup>

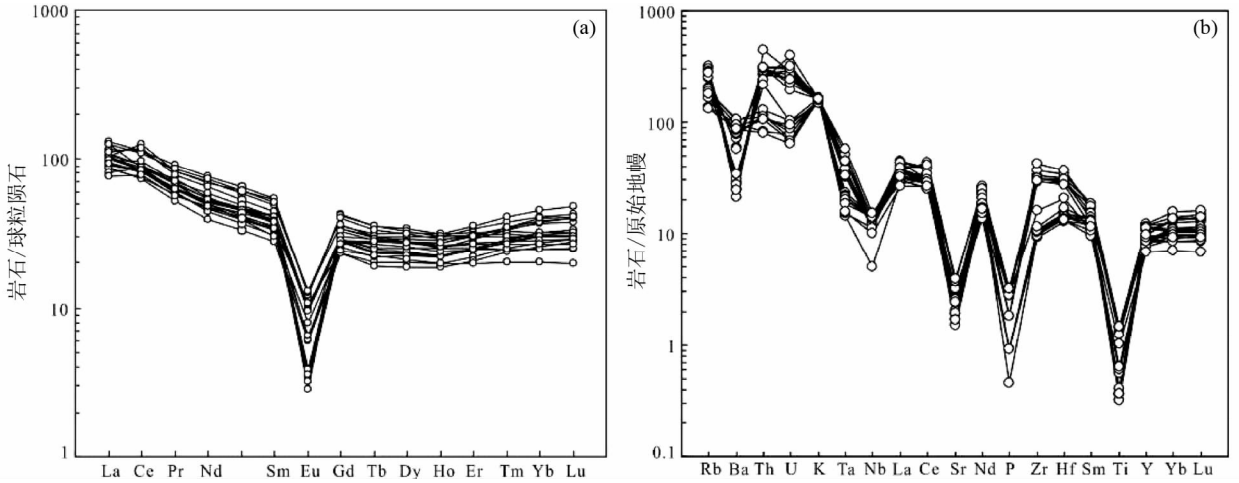


图5 庙尔沟岩体碱长花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(a)及原始地幔标准化微量元素蛛网图(b) (标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized spider diagrams (b) for the alkali-feldspar granite of the Miaoergou granite pluton (normalization values after Sun and McDonough, 1989)

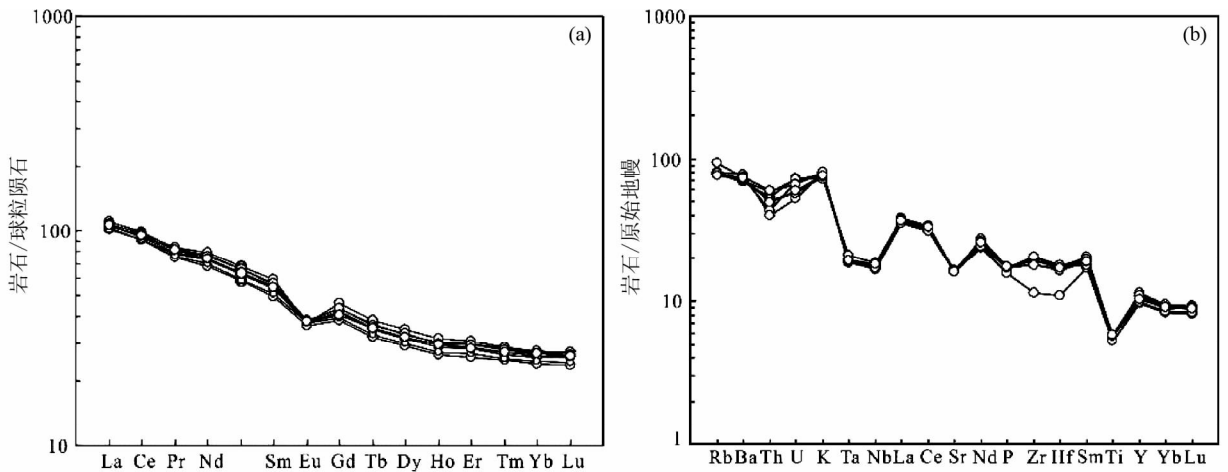


图6 庙尔沟岩体紫苏花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(a)及原始地幔标准化微量元素蛛网图(b) (标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized spider diagrams (b) for charnockites of the Miaoergou granite pluton (normalization values after Sun and McDonough, 1989)

总量较高,  $\Sigma \text{REE} = 114.4 \times 10^{-6} \sim 185.2 \times 10^{-6}$ , 轻重稀土分馏程度较低,  $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.21 \sim 5.71$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 2.11 \sim 4.74$ , 相对富集 LREE, 而亏损 HREE, 强烈的 Eu 负异常,  $\delta \text{Eu} = 0.08 \sim 0.37$ , 球粒陨石标准化配分模式图中显示轻稀土段较陡、重稀土段平坦的右倾“V”字型配分样式(图 5a)。岩石的原始地幔标准化微量元素比值蛛网图(图 5b)显示 Rb、Th、U、K、La、Ce、Zr、Hf 相对富集, Ba、Nb、Sr、P、Ti 相对亏损。

#### 4.1.2 紫苏花岗岩

紫苏花岗岩的主量和微量元素分析结果见表 2。紫苏花岗岩的  $\text{SiO}_2$  含量为 60.88% ~ 62.06%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 15.50% ~ 15.72%, 里特曼指数( $\delta$ ) = 2.59 ~ 2.77,  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$

图中投点均落入钙碱性-高钾钙碱性系列过渡区域(图 4a);  $\text{A}/\text{CNK} = 0.86 \sim 0.88$ ,  $\text{A}/\text{NK} = 1.50 \sim 1.53$ ,  $\text{A}/\text{CNK}$ - $\text{A}/\text{NK}$  图中投点落入准铝质区域(图 4b)。

微量元素分析结果显示, 该岩体紫苏花岗岩稀土总量较高,  $\Sigma \text{REE} = 156.0 \times 10^{-6} \sim 173.6 \times 10^{-6}$ , 轻重稀土分异程度较低,  $\text{LREE}/\text{HREE} = 4.33 \sim 4.66$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 3.93 \sim 4.29$ , 相对富集 LREE, 而亏损 HREE, 较显著的 Eu 负异常,  $\delta \text{Eu} = 0.71 \sim 0.83$ , 球粒陨石标准化配分模式图中显示稀土配分曲线为右倾的、总体斜率中等(图 6a)。岩石的原始地幔标准化微量元素比值蛛网图(图 6b)显示 Rb、Th、U、K、相对富集, Ta、Nb、Sr、P、Ti 相对亏损。



表2 庙尔沟岩体紫苏花岗岩的主量(wt%)及微量元素( $\times 10^{-6}$ )分析结果Table 2 Major elements (wt%) and trace elements ( $\times 10^{-6}$ ) of charnockites from Miaogou pluton

样品号	MG-8	MG-9	MG-10	MG-11	MG-12	MG-13	MG-14	MG3-1	样品号	MG-8	MG-9	MG-10	MG-11	MG-12	MG-13	MG-14	MG3-1
岩性	紫苏花岗岩								岩性	紫苏花岗岩							
SiO <sub>2</sub>	60.88	61.51	60.99	61.35	60.97	62.06	61.31	61.07	Sr	341	344	333	337	346	333	340	337
TiO <sub>2</sub>	1.24	1.26	1.25	1.24	1.24	1.15	1.24	1.28	Y	47.7	50.4	52.3	48.5	50.2	44.3	45.1	46.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.58	15.57	15.52	15.63	15.58	15.72	15.56	15.5	Zr	194	215	215	204	225	128	230	199
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	8.03	8.06	8.00	7.99	7.94	7.52	7.71	8.13	Nb	12.5	13.1	12.4	12.6	12.9	11.8	12.1	12.9
MnO	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	Cs	1.82	3.00	1.74	3.19	2.09	3.15	3.30	1.90
MgO	1.80	1.79	1.81	1.78	1.77	1.67	1.70	1.84	Ba	505	475	505	486	541	515	494	509
CaO	4.26	4.28	4.29	4.25	4.23	4.06	4.16	4.27	Hf	4.82	5.26	5.22	5.02	5.47	3.38	5.49	5.18
Na <sub>2</sub> O	4.74	4.77	4.69	4.77	4.69	4.77	4.76	4.76	Ta	0.77	0.85	0.75	0.79	0.79	0.77	0.77	0.79
K <sub>2</sub> O	2.25	2.16	2.27	2.26	2.36	2.42	2.25	2.27	Pb	9.83	13.6	10.1	13.6	10.4	10.5	12.7	10.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.37	0.37	0.38	0.37	0.37	0.34	0.37	0.38	Th	3.75	4.50	3.72	4.86	3.43	5.02	4.32	4.16
LOI	0.28	0.24	0.26	0.30	0.25	0.20	0.32	0.27	U	1.17	1.52	1.42	1.50	1.09	1.37	1.18	1.24
Total	99.57	100.15	99.60	100.08	99.54	100.05	99.52	99.92	La	24.2	26.1	25.5	25.0	24.8	24.4	24.2	25.1
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	6.99	6.93	6.96	7.03	7.05	7.19	7.01	7.03	Ce	55.8	60.0	59.7	57.4	58.8	55.5	55.4	58.2
Na <sub>2</sub> O/ K <sub>2</sub> O	2.11	2.21	2.07	2.11	1.99	1.97	2.12	2.10	Pr	7.37	7.84	7.92	7.53	7.76	7.14	7.20	7.75
$\delta$	2.73	2.59	2.69	2.69	2.77	2.71	2.68	2.73	Nd	33.9	35.7	36.7	34.4	35.5	31.8	32.4	34.5
A/CNK	0.87	0.87	0.86	0.87	0.87	0.88	0.87	0.86	Sm	8.22	8.60	9.07	8.39	8.71	7.59	7.77	8.33
A/NK	1.52	1.53	1.53	1.52	1.52	1.50	1.52	1.51	Eu	2.16	2.20	2.17	2.16	2.22	2.10	2.17	2.18
Li	30.5	36.5	28.2	45.7	30.8	42.4	38.0	30.3	Gd	8.52	8.98	9.43	8.69	9.00	7.88	8.09	8.29
Be	1.95	2.15	1.95	2.12	1.97	2.24	1.93	1.83	Tb	1.30	1.37	1.44	1.32	1.37	1.20	1.23	1.31
Sc	17.9	18.4	19.1	17.7	18.1	16.0	16.2	17.4	Dy	8.03	8.43	8.79	8.14	8.46	7.41	7.58	8.14
V	103	107	107	105	106	93.7	97.4	105	Ho	1.63	1.71	1.78	1.66	1.70	1.49	1.53	1.67
Cr	9.55	8.85	8.87	8.01	9.23	7.58	7.42	8.05	Er	4.68	4.94	5.08	4.73	4.85	4.26	4.41	4.66
Co	71.7	82.2	72.3	73.6	63.9	63.2	62.6	34.5	Tm	0.67	0.72	0.73	0.69	0.71	0.64	0.65	0.69
Ni	5.74	5.19	5.03	4.63	6.02	4.56	4.32	5.27	Yb	4.36	4.64	4.65	4.40	4.52	4.08	4.18	4.52
Cu	21.7	24.0	22.6	22.2	19.6	22.7	22.2	22.2	Lu	0.66	0.69	0.69	0.67	0.67	0.60	0.62	0.66
Zn	125	138	125	134	124	116	129	124	$\Sigma$ REE	161.4	172.0	173.6	165.2	169.1	156.0	157.4	166.1
Ga	23.0	23.8	22.9	23.0	23.2	22.9	22.8	23.0	LREE/ HREE	4.41	4.46	4.33	4.45	4.40	4.66	4.57	4.55
Ge	1.61	1.66	1.61	1.59	1.64	1.58	1.55	1.51	(La/Yb) <sub>N</sub>	3.97	4.03	3.93	4.08	3.94	4.29	4.15	3.98
Rb	47.2	49.3	48.9	50.9	50.9	58.7	50.1	48.0	$\delta$ Eu	0.78	0.76	0.71	0.77	0.76	0.82	0.83	0.79
									$\delta$ Ce	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.01

注：A/CNK(摩尔比) = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)；A/NK(摩尔比) = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)； $\delta$ Eu = [Eu<sub>N</sub>/(Sm + Gd)<sub>N</sub>]<sup>1/2</sup>

#### 4.2 Sr、Nd 同位素

庙尔沟岩体的 Sr、Nd 同位素组成分析结果见表3。

表3数据表明,庙尔沟岩体碱长花岗岩的(<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> = 0.70370 ~ 0.70541(其中有些 Sr 的初始值甚至低于玄武质无球粒陨石初始比值 0.699,可能是由于本区花岗岩具有较高放射成因的 Sr 和高 Rb/Sr 比值,这些数值难以准确指示该区源岩的 Sr 同位素特征,可以略去(苏玉平等,2006)), (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)<sub>i</sub> = 0.51245 ~ 0.51259,  $\epsilon_{Nd}(t) = +4.10 \sim +6.79$ ,  $f_{Sm/Nd}$  值为  $-0.31 \sim -0.22$ , 介于  $-0.6 \sim -0.2$  之间,表明这些花岗岩的一阶段模式年龄很有意义,不会由于高度分离结晶使得  $t_{DM}$  太年轻而不准或没有意义(高睿等,2013),一阶段模式年龄  $t_{DM} = 0.57 \sim 0.99$  Ga; 紫苏花岗岩的 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> = 0.70382 ~ 0.70388, (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)<sub>i</sub> = 0.51258 ~ 0.51260,  $\epsilon_{Nd}(t) = +6.67 \sim +6.98$ ,  $f_{Sm/Nd}$  值为  $-0.26 \sim$

$-0.25$ , 介于  $-0.6 \sim -0.2$  之间,一阶段模式年龄  $t_{DM} = 0.59 \sim 0.62$  Ga。本文的测试结果与 Geng *et al.* (2009) 测得庙尔沟岩体碱长花岗岩 Sr-Nd 同位素组成 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> = 0.7034 ~ 0.7045,  $\epsilon_{Nd}(t) = +7.5 \sim +8.9$ 、紫苏花岗岩 Sr-Nd 同位素组成 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> = 0.7037 ~ 0.7039,  $\epsilon_{Nd}(t) = +5.2 \sim +8.0$  结果基本一致。

#### 4.3 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

用于测年的锆石选自样品 MG3-1(紫苏花岗岩)、MG3-2(碱长花岗岩脉)和 MG3-3(碱长花岗岩)。

阴极发光(CL)图像(图7a, b, c)显示,锆石以自形柱状晶体为主,颗粒长 100 ~ 200  $\mu$ m, 宽 50 ~ 100  $\mu$ m, 边界清晰、平直,柱面发育。锆石内部结构多不均一,同一颗锆石不同部位 CL 发光强度不同,反映各晶域具有不同的 U、Th、REE 含量。锆石颗粒多核幔结构,且核部常不均一,可能为老的残

表3 西准噶尔庙尔沟岩体 Sr、Nd 同位素组成

Table 3 Sr and Nd isotopic compositions of the Miaoergou granite pluton in West Junggar

样品号	岩性	$\frac{87\text{Rb}}{86\text{Sr}}$	$\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}}(2\sigma)$	$\left(\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}}\right)_i$	$\frac{147\text{Sm}}{144\text{Nd}}$	$\frac{143\text{Nd}}{144\text{Nd}}(2\sigma)$	$\left(\frac{143\text{Nd}}{144\text{Nd}}\right)_i$	$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$t_{\text{DM}}(\text{Ga})$
MG2-2	碱长花岗岩	6.322	0.731862	0.70406	0.1359	0.512728	0.51245	4.15	-0.31	0.83
MG2-4	碱长花岗岩	6.080	0.730439	0.70370	0.1454	0.512847	0.51255	6.10	-0.26	0.68
MG-15	碱长花岗岩	8.443	0.720617	0.68349	0.1388	0.512869	0.51259	6.79	-0.29	0.57
MG-22	碱长花岗岩	3.922	0.721761	0.70451	0.1510	0.512839	0.51253	5.72	-0.23	0.76
MG-32	碱长花岗岩	3.644	0.721439	0.70541	0.1385	0.512842	0.51256	6.27	-0.30	0.63
MG-1	碱长花岗岩脉	13.510	0.756901	0.69749	0.1541	0.512762	0.51245	4.10	-0.22	0.99
MG-7	碱长花岗岩脉	13.074	0.761542	0.70405	0.1455	0.512873	0.51258	6.62	-0.26	0.62
MG-8	紫苏花岗岩	0.400	0.705635	0.70388	0.1468	0.512879	0.51258	6.67	-0.25	0.62
MG-9	紫苏花岗岩	0.414	0.705645	0.70382	0.1455	0.512882	0.51259	6.79	-0.26	0.60
MG-12	紫苏花岗岩	0.426	0.705749	0.70388	0.1484	0.512898	0.51260	6.98	-0.25	0.59

注: ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>CHUR</sub> = 0.7045, ( $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>CHUR</sub> = 0.0827,  $\lambda_{\text{Rb}}$  = 0.0142Ga<sup>-1</sup>, ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>CHUR</sub> = 0.512638, ( $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>CHUR</sub> = 0.1967, ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>DM</sub> = 0.51315, ( $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>DM</sub> = 0.2137,  $\lambda_{\text{Sm}}$  = 0.00654Ga<sup>-1</sup>,  $t$  = 309Ma,  $f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$  值计算公式据王方正等 (2002),  $f_{\text{Sm}/\text{Nd}} = \frac{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_s}{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR-1}}}$ , s 代表样品

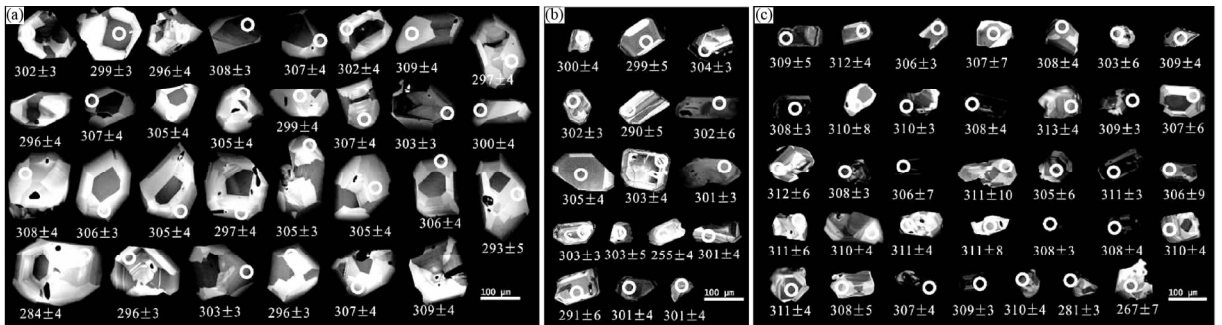


图7 庙尔沟岩体锆石 CL 图像

(a) MG3-1 紫苏花岗岩; (b) MG3-2 碱长花岗岩脉; (c) MG3-3 碱长花岗岩

Fig. 7 Zircon CL images of Miaoergou granite pluton

(a) MG3-1 charnockites; (b) MG3-2 the alkali-feldsper granite dike; (c) MG3-3 the alkali-feldsper granite

留锆石,幔部常发育岩浆振荡环带,表明其具有岩浆锆石特征(吴元保和郑永飞,2004)。锆石样品的 U-Pb 分析结果见表4。

由表4可见,锆石具有较高的 U、Th 含量, Th/U 均较高(0.32~0.72),显示岩浆锆石特征。剔除不谐和年龄数据后,紫苏花岗岩的年龄数据都落在谐和线及其附近,表现年龄介于 284.1~308.9Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $302.1 \pm 2.1\text{Ma}$  ( $n=30$ , MSWD = 2.3) (图8a),代表西准噶尔庙尔沟紫苏花岗岩的结晶年龄;碱长花岗岩脉的大多数数据也都落在谐和线及其附近,表现年龄介于 290~305Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $301 \pm 2.0\text{Ma}$  ( $n=15$ , MSWD = 0.77) (图8b),代表西准噶尔庙尔沟碱长花岗岩脉的结晶年龄;碱长花岗岩的年龄数据都落在谐和线及其附近,表现年龄介于 303~313Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $309 \pm 1.4\text{Ma}$  ( $n=33$ , MSWD = 0.22) (图8c),代表西准噶尔庙尔沟碱长花岗岩的结晶年龄,另外还有两个点年龄为  $281 \pm 3\text{Ma}$ 、 $267 \pm 7\text{Ma}$ ,可能为蚀变锆石年龄。

## 5 讨论

### 5.1 岩石类型

晚石炭世-早二叠世岩体在西准噶尔地区尤为发育,主要分布在达拉布特断裂周围,岩石类型多样,包括石英闪长岩、钾长花岗岩、紫苏花岗岩和碱长花岗岩等,大量的 A 型花岗岩在该时期发育(Chen and Jahn, 2004; 苏玉平等, 2006; Geng *et al.*, 2009; 童英等, 2010; 陈家富等, 2010; 高睿等, 2013; 杨高等, 2013)。该时期的花岗岩具有较高的正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值和年轻的一阶段 Nd 模式年龄  $t_{\text{DM}}$  (伍建机和陈斌, 2004; 韩宝福等, 2006; 袁峰等, 2006; 苏玉平等, 2006; Geng *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010)。西准噶尔庙尔沟岩体主体以碱长花岗岩为主,另外还有少许的紫苏花岗岩、碱长花岗岩脉等。

#### 5.1.1 碱长花岗岩及岩脉

岩相学和地球化学研究发现,碱长花岗岩及岩脉矿物学

表 4 西准噶尔庙尔沟岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果  
Table 4 LA-ICP-MS U-Pb isotopic data of the Miaogou granite pluton from the West Junggar

测点号	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )				Th/U	同位素比值				同位素年龄 (Ma)						
	$^{206}\text{Pb}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
MG3-1-01	19.9	98.8	55.4	0.56	0.05488	0.00236	0.3621	0.01383	0.0479	0.00057	407	93	314	10	302	3
MG3-1-03	22.2	111.1	67.6	0.61	0.05235	0.00225	0.34254	0.01308	0.0475	0.00055	301	95	299	10	299	3
MG3-1-04	16.9	85.8	35.6	0.42	0.0516	0.00255	0.3336	0.01501	0.0469	0.00058	268	109	292	11	296	4
MG3-1-05	35.6	172.4	71.3	0.41	0.05188	0.00184	0.34935	0.01038	0.04889	0.00051	280	79	304	8	308	3
MG3-1-06	18.0	86.4	35.1	0.41	0.05299	0.00248	0.35641	0.01504	0.04883	0.00059	328	102	310	11	307	4
MG3-1-07	9.4	46.0	14.6	0.32	0.05055	0.00356	0.3377	0.02263	0.04849	0.00072	220	155	295	17	305	4
MG3-1-08	12.9	65.7	26.9	0.41	0.05729	0.00304	0.37065	0.01807	0.04696	0.00065	502	113	320	13	296	4
MG3-1-09	17.1	82.0	35.5	0.43	0.05198	0.00253	0.34969	0.01552	0.04883	0.0006	285	108	305	12	307	4
MG3-1-10	22.2	111.7	43.3	0.39	0.05552	0.00239	0.36473	0.01393	0.04768	0.00057	433	93	316	10	300	4
MG3-1-11	12.4	65.0	26.1	0.40	0.0542	0.00314	0.35456	0.01913	0.04747	0.00068	379	125	308	14	299	4
MG3-1-12	26.9	133.9	71.3	0.53	0.05391	0.00214	0.35701	0.01236	0.04806	0.00054	367	87	310	9	303	3
MG3-1-14	15.5	76.4	30.2	0.40	0.05477	0.0028	0.36772	0.0172	0.04871	0.00064	403	110	318	13	307	4
MG3-1-15	20.3	101.3	41.8	0.41	0.05725	0.00248	0.38368	0.01476	0.04863	0.00059	501	93	330	11	306	4
MG3-1-16	22.7	112.8	47.4	0.42	0.05525	0.00241	0.36647	0.01423	0.04813	0.00057	422	94	317	11	303	3
MG3-1-17	13.0	64.0	25.7	0.40	0.05126	0.00304	0.34235	0.01897	0.04846	0.00068	253	131	299	14	305	4
MG3-1-18	9.8	50.5	19.0	0.38	0.04693	0.00359	0.30465	0.02237	0.0471	0.00073	45	174	270	17	297	4
MG3-1-20	26.3	131.1	53.6	0.41	0.05175	0.00192	0.34573	0.01099	0.04846	0.00052	475	83	302	8	305	3
MG3-1-21	11.0	57.2	24.0	0.42	0.05444	0.0037	0.34923	0.02247	0.04653	0.00075	389	145	304	17	293	5
MG3-1-22	10.9	57.0	22.6	0.40	0.05074	0.00307	0.31509	0.0179	0.04505	0.00064	229	134	278	14	284	4
MG3-1-23	25.5	130.2	73.8	0.57	0.05254	0.00209	0.34017	0.01182	0.04697	0.00053	309	88	297	9	296	3
MG3-1-24	16.2	79.8	35.0	0.44	0.05374	0.0027	0.36005	0.0165	0.04859	0.00064	360	109	312	12	306	4
MG3-1-26	17.3	85.4	34.4	0.40	0.05117	0.00244	0.34177	0.01483	0.04844	0.0006	249	106	299	11	305	4
MG3-1-27	20.1	103.1	43.5	0.42	0.05644	0.00233	0.36582	0.01329	0.04701	0.00055	469	90	317	10	296	3
MG3-1-28	10.5	51.4	19.3	0.38	0.05532	0.00336	0.37404	0.0213	0.04903	0.0007	425	130	323	16	309	4
MG3-1-29	12.9	65.0	28.8	0.44	0.05401	0.0029	0.35129	0.01742	0.04717	0.00064	371	116	306	13	297	4
MG3-1-30	15.4	77.3	36.8	0.48	0.0517	0.00267	0.34207	0.01622	0.04798	0.00063	272	114	299	12	302	4
MG3-1-31	20.1	97.1	39.8	0.41	0.05244	0.00239	0.35417	0.01452	0.04897	0.0006	305	101	308	11	308	4
MG3-1-32	11.3	57.1	22.3	0.39	0.05796	0.00325	0.38686	0.02013	0.0484	0.00069	528	119	332	15	305	4
MG3-1-33	12.6	60.4	23.1	0.38	0.05461	0.00293	0.36779	0.01823	0.04883	0.00065	396	116	318	14	307	4
MG3-1-35	14.4	69.9	29.9	0.43	0.05413	0.00277	0.36644	0.0172	0.04908	0.00065	376	111	317	13	309	4
MG3-2-01	71.9	368.9	230.4	0.62	0.05345	0.00239	0.35136	0.01416	0.04766	0.00061	348	98	300	4	318	7
MG3-2-02	28.9	141.1	62.2	0.44	0.05284	0.00322	0.34649	0.01986	0.04754	0.00076	322	133	299	5	300	11
MG3-2-03	48.7	241.3	174.9	0.72	0.05324	0.00183	0.35409	0.01019	0.04823	0.00052	339	76	304	3	288	5
MG3-2-04	48.1	238.3	108.6	0.46	0.05584	0.00469	0.35512	0.02857	0.04612	0.00102	406	177	291	6	361	17
MG3-2-05	60.1	277.9	145.1	0.52	0.05254	0.00213	0.34617	0.01234	0.04779	0.00057	349	90	301	4	291	6
MG3-2-06	55.3	272.6	136.7	0.50	0.05287	0.00174	0.34943	0.00945	0.04794	0.0005	323	73	302	3	307	5
MG3-2-07	71.5	358.5	152.7	0.43	0.05419	0.00353	0.34427	0.02114	0.04608	0.00081	379	140	290	5	312	12
MG3-2-08	9.9	46.7	27.4	0.59	0.05254	0.00518	0.34742	0.03317	0.04797	0.00105	309	210	302	6	340	17
MG3-2-09	99.1	505.3	328.1	0.65	0.05315	0.00154	0.34969	0.00783	0.04773	0.00047	335	65	301	3	287	4
MG3-2-10	51.5	266.0	177.1	0.67	0.05496	0.00295	0.36269	0.01799	0.04788	0.00072	411	116	302	4	333	9

续表 4

Continued Table 4

测点号	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )				Th/U	同位素比值				同位素年龄 (Ma)					
	$^{206}\text{Pb}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
MG3-2-11	87.9	416.7	240.3	0.58	0.58	0.3525	0.01163	0.04818	0.00056	84	303	3	325	6	
MG3-2-13	26.8	132.5	63.9	0.48	0.48	0.3371	0.01273	0.04813	0.00057	90	303	4	292	6	
MG3-2-14	79.4	355.1	155.9	0.44	0.44	0.71763	0.02097	0.04411	0.00059	1926	278	4	598	12	
MG3-2-16	26.6	129.5	61.9	0.48	0.48	0.35832	0.02083	0.04819	0.00079	368	303	5	323	10	
MG3-2-18	26.9	128.7	76.2	0.59	0.59	0.38382	0.01445	0.04842	0.00061	510	305	4	304	7	
MG3-2-20	71.8	262.7	156.0	0.59	0.59	0.35605	0.01616	0.04784	0.00067	369	301	4	299	9	
MG3-3-01	76.9	365.9	166.5	0.45	0.45	0.35474	0.01935	0.04909	0.00077	303	308	15	309	5	
MG3-3-02	52.9	267.0	124.1	0.46	0.46	0.36351	0.01813	0.04953	0.00073	338	315	14	312	4	
MG3-3-03	50.6	261.4	114.1	0.44	0.44	0.35184	0.01038	0.04867	0.00052	304	306	8	306	3	
MG3-3-04	12.1	60.2	33.4	0.55	0.55	0.35597	0.03394	0.04876	0.00111	326	309	25	307	7	
MG3-3-05	87.7	102.4	33.8	0.33	0.33	0.32487	0.03277	0.04228	0.00111	441	217	286	25	267	7
MG3-3-06	25.6	125.8	56.9	0.45	0.45	0.43735	0.02758	0.04875	0.00092	776	135	368	19	307	6
MG3-3-07	23.6	122.1	58.6	0.48	0.48	0.35486	0.0183	0.04905	0.0007	306	121	308	14	309	4
MG3-3-08	35.0	172.7	79.1	0.46	0.46	0.37855	0.0181	0.04898	0.00071	454	112	326	13	308	4
MG3-3-09	30.8	150.5	71.1	0.47	0.47	0.36364	0.0141	0.04925	0.0006	352	95	315	11	310	4
MG3-3-10	44.6	222.4	106.5	0.48	0.48	0.38793	0.01075	0.04908	0.00052	503	73	333	8	309	3
MG3-3-11	12.4	62.8	27.6	0.44	0.44	0.35838	0.03853	0.04934	0.0013	315	234	311	29	311	8
MG3-3-12	48.4	244.6	111.7	0.46	0.46	0.35537	0.01087	0.04922	0.00054	301	80	309	8	310	3
MG3-3-13	87.7	441.1	222.4	0.50	0.50	0.35819	0.01266	0.04889	0.00059	334	89	311	9	308	4
MG3-3-14	27.2	136.8	69.1	0.51	0.51	0.3868	0.01585	0.0497	0.00064	469	98	332	12	313	4
MG3-3-15	63.6	321.1	142.2	0.44	0.44	0.35966	0.00899	0.04911	0.0005	333	69	312	7	309	3
MG3-3-16	10.4	53.2	30.9	0.58	0.58	0.3592	0.02983	0.04955	0.00092	310	184	312	22	312	6
MG3-3-17	17.9	91.1	40.3	0.44	0.44	0.36876	0.02929	0.0487	0.001	409	175	319	22	307	6
MG3-3-18	38.0	192.5	94.5	0.49	0.49	0.35371	0.01202	0.04889	0.00056	306	87	308	9	308	3
MG3-3-19	46.4	239.3	126.4	0.53	0.53	0.39108	0.03388	0.04855	0.00117	545	186	335	25	306	7
MG3-3-20	23.4	123.2	59.2	0.48	0.48	0.38706	0.04734	0.0495	0.00157	479	257	332	35	311	10
MG3-3-22	19.3	101.1	69.2	0.68	0.68	0.35581	0.02949	0.04847	0.00104	339	184	309	22	305	6
MG3-3-23	42.9	218.3	102.0	0.47	0.47	0.38164	0.01135	0.04941	0.00054	453	77	328	8	311	3
MG3-3-24	20.6	95.5	50.2	0.53	0.53	0.38513	0.04688	0.04869	0.00153	505	255	331	34	307	9
MG3-3-25	77.1	394.5	162.9	0.41	0.41	0.37084	0.00868	0.04915	0.00049	400	66	320	6	309	3
MG3-3-26	65.8	344.5	146.0	0.42	0.42	0.3742	0.01647	0.04875	0.00067	439	105	323	12	307	4
MG3-3-27	20.7	103.2	47.5	0.46	0.46	0.38559	0.01749	0.04938	0.00067	476	107	331	13	311	4
MG3-3-28	11.6	59.9	28.0	0.47	0.47	0.3653	0.03854	0.04935	0.00126	357	229	316	29	311	8
MG3-3-29	49.3	263.6	171.4	0.65	0.65	0.32362	0.01138	0.04461	0.00053	312	88	285	9	281	3
MG3-3-30	19.0	94.7	41.8	0.44	0.44	0.38779	0.01797	0.04931	0.00067	492	108	333	13	310	4
MG3-3-31	11.6	59.8	24.3	0.41	0.41	0.35805	0.02972	0.04941	0.001	309	185	311	22	311	6
MG3-3-32	14.7	73.8	35.3	0.48	0.48	0.37181	0.02124	0.04894	0.00075	416	131	321	16	308	5
MG3-3-33	63.0	314.1	155.4	0.49	0.49	0.35229	0.00954	0.04887	0.00051	297	74	306	7	308	3
MG3-3-34	78.4	407.7	176.3	0.43	0.43	0.38598	0.01452	0.04888	0.00062	501	92	331	11	308	4
MG3-3-35	20.5	101.7	52.8	0.52	0.52	0.35821	0.01599	0.0494	0.00063	311	107	311	12	311	4
MG3-3-36	13.2	65.0	24.6	0.38	0.38	0.36762	0.02003	0.04931	0.00073	374	126	318	15	310	4

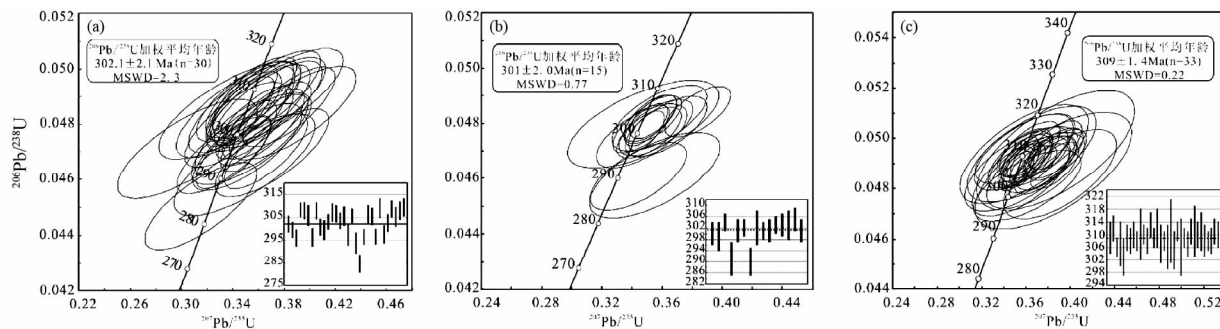


图8 庙尔沟岩体 U-Pb 定年结果

(a) MG3-1 紫苏花岗岩; (b) MG3-2 碱长花岗岩脉; (c) MG3-3 碱长花岗岩

Fig.8 Zircon U-Pb dating concordia ages of Miaoergou granite pluton

(a) MG3-1 charnockites; (b) MG3-2 the alkali-feldspar granite dike; (c) MG3-3 the alkali-feldspar granite

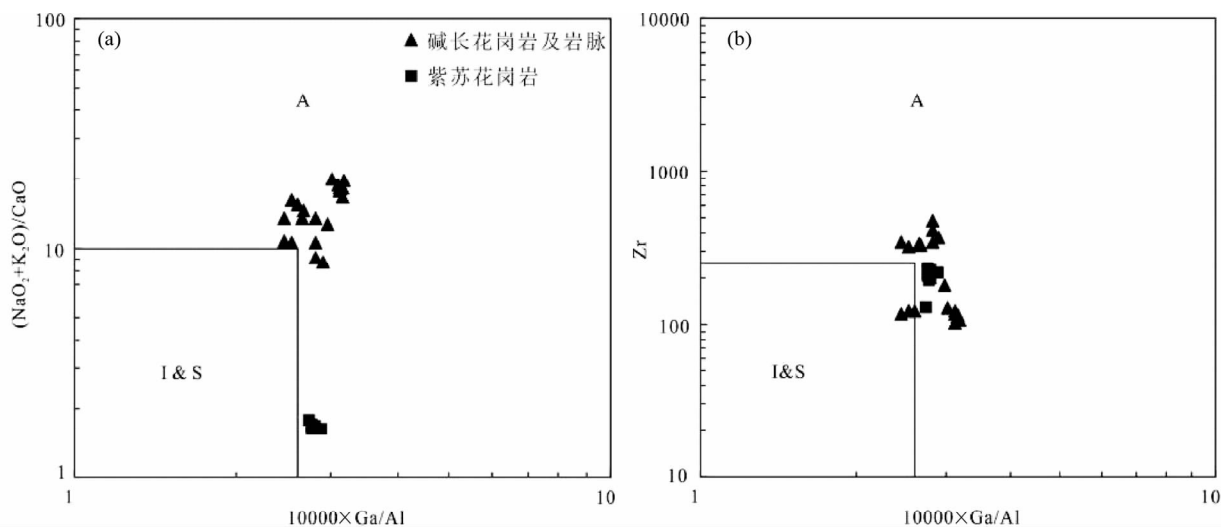


图9 西准噶尔庙尔沟岩体  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$  比值(a)和 Zr (b) 与  $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$  图解(据 Whalen *et al.*, 1987)

Fig.9  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$  (a) and Zr (b) vs.  $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$  diagrams for the Miaoergou granite pluton in West Junggar (after Whalen *et al.*, 1987)

上以碱性长石和石英为其主要矿物相,次要矿物以黑云母、角闪石等为特征。岩石高硅、富碱、贫钙,稀土总量较高 ( $\sum \text{REE} = 114.4 \times 10^{-6} \sim 185.2 \times 10^{-6}$ ),强烈 Eu 负异常 ( $\delta \text{Eu} = 0.08 \sim 0.37$ ),明显富集 Rb、K、Th 等大离子亲石元素和 Zr、Hf 等高场强元素,强烈亏损 Ba、Sr、Eu、Nb、Ti,具有较高的  $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$  比值 ( $> 2.44$ )。显示碱长花岗岩及岩脉具有 A 型花岗岩的特点,  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$  比值与 Zr- $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$  图解中大部分都落入 A 型花岗岩区域,少量落入 A 型与 I&S 的交界处(图 9)。再根据 Eby (1992) 把 A 型花岗岩分为 A1 和 A2 两种类型,庙尔沟岩体碱长花岗岩及岩脉属于典型的 A2 型(图 10)。

5.1.2 紫苏花岗岩

庙尔沟紫苏花岗岩的地球化学特征为:  $\text{SiO}_2$  含量为 60.88% ~ 62.06%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 15.50% ~ 15.72%, 里特曼指数 ( $\delta$ ) = 2.59 ~ 2.77, 稀土总量较高 ( $\sum \text{REE} = 156.0 \times$

$10^{-6} \sim 173.6 \times 10^{-6}$ ), 相对富集 LREE, 而亏损 HREE, 较显著的 Eu 负异常 ( $\delta \text{Eu} = 0.71 \sim 0.83$ ), Rb、Th、U、K 相对富集, Ta、Nb、Sr、P、Ti 相对亏损。这些地球化学特征类似于 Ardey 紫苏花岗岩侵入体 (Kilpatrick and Ellis, 1992), 属于典型的岩浆成因紫苏花岗岩。在  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$  比值与 Zr- $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$  图解中都落入 A 型花岗岩区域(图 9), 表明该区紫苏花岗岩具有 A 型花岗岩的地球化学特征(彭松柏等, 2004)。

5.2 构造环境

前人对西准噶尔地区在晚古生代所处构造环境的认识尚存争议(引言已述)。争论的焦点主要在于晚石炭世-早二叠世是岛弧环境, 还是洋脊俯冲环境, 抑或是后碰撞挤压-伸展环境。有学者认为西准噶尔地区在晚石炭世早期仍处于洋壳/洋盆俯冲消减的岛弧环境, 以产出石炭世(-早二叠世)

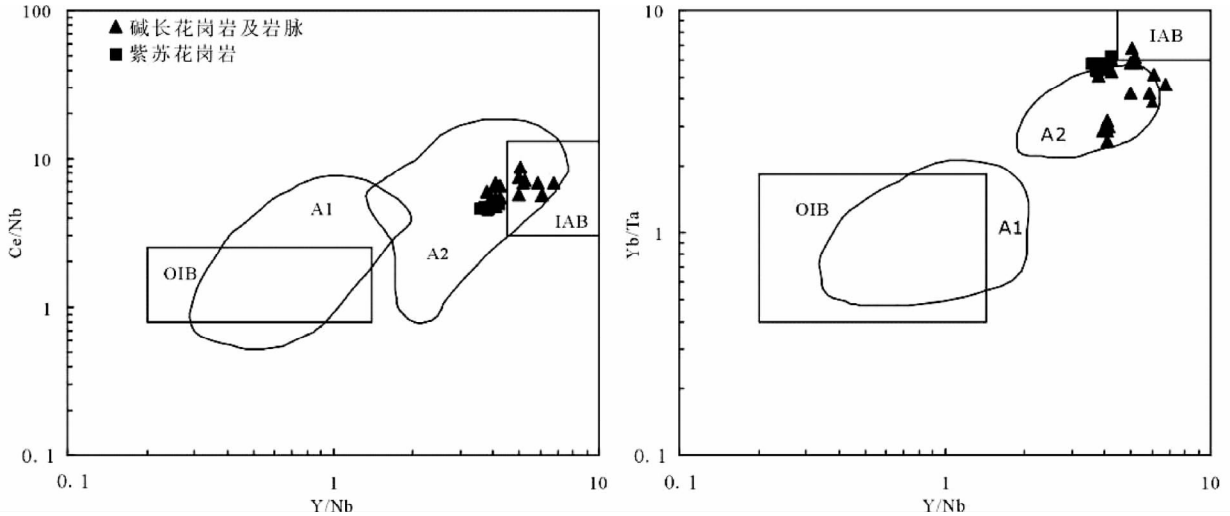


图 10 西准噶尔庙尔沟花岗岩岩石源区 Ce/Nb-Y/Nb 及 Yb/Ta-Y/Nb 判别图解(据 Eby, 1992)

IAB-岛弧玄武岩;OIB-洋岛玄武岩

Fig. 10 Ce/Nb vs. Y/Nb and Yb/Ta vs. Y/Nb discrimination diagrams for the Miaogou granite pluton in West Junggar (after Eby, 1992)

TAB-island arc basalt; OIB-ocean island basalt

埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 玄武质岩组合、阿拉斯加型基性-超基性杂岩和大量的与俯冲相关的钙碱性岩浆活动与成矿作用为代表(Feng *et al.*, 1989; 高山林等, 2006; 肖文交等, 2006; 张连昌等, 2006)。此外,还有学者依据对区内具有典型特征岩石(A 型花岗岩、紫苏花岗岩、I 型花岗岩、埃达克岩、富镁闪长岩)的研究结果(西准噶尔晚石炭世俯冲作用仍然存在,并可能持续到早二叠世早期),提出西准噶尔地区晚石炭世-二叠纪存在洋脊俯冲,可能处于洋脊俯冲环境(Geng *et al.*, 2009; 唐功建等, 2009; Yin *et al.*, 2010; Tang *et al.*, 2010, 2012a, b; 尹继元等, 2012; Yang *et al.*, 2012a, b; Ma *et al.*, 2012)。然而,另一些学者认为在晚石炭世晚期西准噶尔已经进入后碰撞环境,且持续到早二叠世(韩宝福等, 2006; Zhou *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010; 陈家富等, 2010; 童英等, 2010; 高睿等, 2013)。新近在西准噶尔地区发现最年轻的达拉布特蛇绿岩(带),形成于泥盆纪-早石炭世(辜平阳等, 2009; 陈石和郭召杰, 2010),该蛇绿岩被也格孜卡拉花岗岩体(308Ma)(陈石和郭召杰, 2010)切割,具有韩宝福等(2010)所定义的“钉合岩体”的特征,说明在晚石炭世俯冲增生作用已经结束。并且区内普遍出露的早石炭世地层和早石炭世-早二叠世花岗岩类岩基(体)在时间、空间上集中分布的特征不同于具有较明显区域侧向分带特征、形成于洋壳/洋盆的俯冲消减体制的花岗岩(苏玉平等, 2006; 周涛发等, 2006; 韩宝福等, 2010; 党飞鹏等, 2011)。再者,具有埃达克特征的岩石产出于后碰撞阶段的实例在西藏、土耳其等地均有发现(Gao *et al.*, 2003; Topuz *et al.*, 2005)。

笔者认为西准噶尔庙尔沟岩体形成于后碰撞拉张环境,西准噶尔在晚石炭世-早二叠世处于后碰撞环境。主要有以

下证据:(1)经过野外调研以及岩相学研究,发现庙尔沟岩体跟达拉布特断裂附近的其他岩体相似,大都呈近椭圆状或扇状分布,没有发生明显的挤压变形;另外,岩体周围的基性岩墙群具有张性特点(李辛子等, 2004),这都反映岩体形成于拉张环境。(2)根据 Pearce 提出的 Y + Nb-Rb、Yb-Ta 构造环境判别图解,该岩体不同类型岩石均落入火山弧花岗岩和板内花岗岩交界处(图 11),显示具有后碰撞花岗岩的特征(Pearce, 1996)。(3)前人研究表明,西准噶尔早石炭世(340~320Ma)发生俯冲-增生作用(Geng *et al.*, 2009; Xiao *et al.*, 2009, 2010; Tang *et al.*, 2010, 2012a, b),可能并未进入后造山阶段(陈家富等, 2010)。晚石炭世-早二叠世(310~290Ma)是西准噶尔花岗岩浆活动最强的时期,Geng *et al.* (2009)认为晚石炭世可能存在洋脊俯冲,并有可能延续到二叠纪,这与区内大量未变形的 A 型花岗岩的特点不相符(苏玉平等, 2006; 周涛发等, 2006; 韩宝福等, 2010),同时西准噶尔地区到晚二叠世岩浆活动明显减弱,并且区内并没有出现与俯冲相关的变质作用,都表明西准噶尔在该时期已转入后碰撞伸展阶段(苏玉平等, 2006; 周涛发等, 2006; Chen *et al.*, 2010; 韩宝福等, 2010)。本文获得庙尔沟岩体碱长花岗岩的年龄为  $309 \pm 1.4$  Ma,紫苏花岗岩的年龄为  $302.1 \pm 2.1$  Ma,碱长花岗岩脉的年龄为  $301 \pm 2.0$  Ma,在时代上属于晚石炭世,应该处于后碰撞伸展阶段。

### 5.3 成因

A 型花岗岩的形成过程较复杂,源岩具有多样性,关于其成因模式有多种说法:地幔玄武质岩浆高度结晶分异(Han *et al.*, 1997);壳幔物质混合(Konopelko *et al.*, 2007);不同源岩的部分熔融(Creaser *et al.*, 1991; King *et al.*,

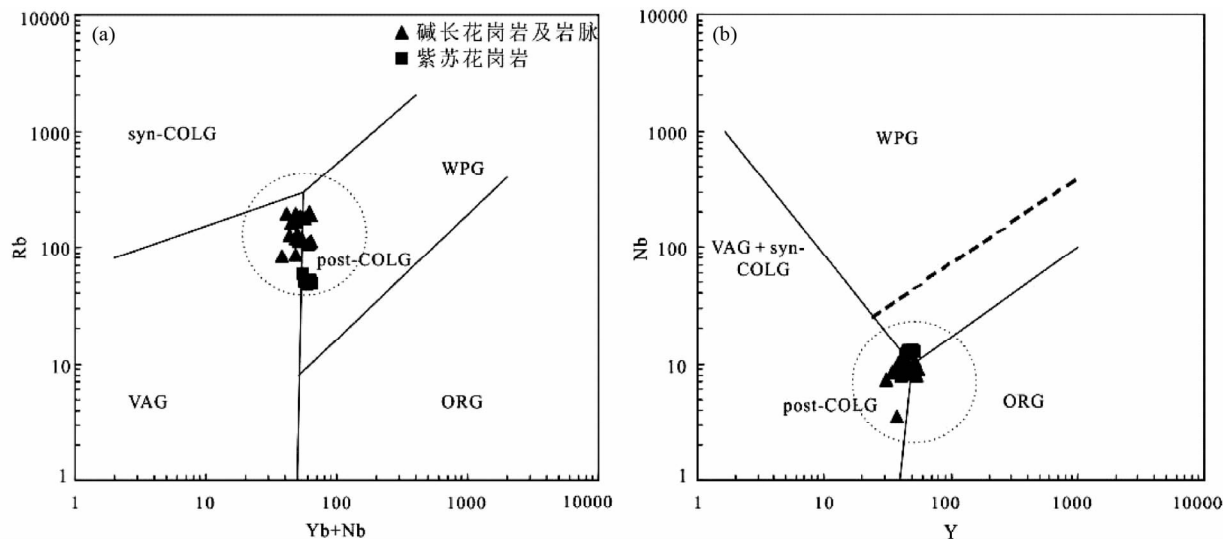


图 11 西准噶尔庙尔沟岩体的构造环境判别图解 (据 Pearce, 1996)

VAG-火山弧花岗岩; syn-COLG-同碰撞花岗岩; WPG-板内花岗岩; ORG-洋中脊花岗岩

Fig. 11 Tectonic discrimination diagrams for the Miaoergou granite pluton in West Junggar (after Pearce, 1996)

VAG: Volcano Arc Granite; Syn-COLG: Syn-collisional Granite; WPG: Intraplate granite; ORG: Ocean Ridge Granite

1997)。西准地区并未出现与庙尔沟碱长花岗岩时空关系密切的基性超基性岩(不排除基性岩浆底侵的可能),因此其直接来源于地幔玄武岩浆高度结晶分异的可能性不大(苏玉平等,2006)。本区碱长花岗岩及岩脉的  $Y/Nb = 3.8 \sim 10.6$ , 均大于 1.2, 属于典型 A2 型花岗岩, 显示其可能来源于大陆地壳或板下地壳, 且跟陆-陆碰撞或岛弧岩浆作用有关 (Eby, 1992)。高场强元素 (Nb、Ta、P、Ti) 的亏损指示存在有岛弧物质, 强烈 Eu 负异常, 是由玄武岩在地下壳发生部分熔融的过程中斜长石往往在源区残留所致。从 A 型花岗岩源区判别图解 (图 10) 可以看出, 该区花岗岩大都落入岛弧玄武岩 (IAB) 区域附近, 表明其源区可能具典型的岛弧玄武岩特征。Sr-Nd 同素数据 displays, 庙尔沟碱长花岗岩及岩脉具有低的初始 Sr 比值 ( $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70370 \sim 0.70541$ ), 较高的正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值 ( $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +4.10 \sim +6.79$ ), 年轻的一阶段模式年龄 ( $t_{\text{DM}} = 0.57 \sim 0.99\text{Ga}$ )。综上所述, 该区碱长花岗岩及岩脉不是壳幔物质混合成因, 可能是源自幔源物质的年轻下地壳部分熔融的产物, 这种下地壳可能由洋壳和岛弧建造组成。

紫苏花岗岩是麻粒岩相区的一类特殊岩石, 一般发育于前寒武纪, 在古生代以来的造山带中出露很少 (沈其韩和吉成林, 1992; 陈斌和庄育勋, 1994; 彭松柏等, 2004)。其成因类型争议很大, 目前认识主要有两种: 一种变质成因; 另一种是岩浆成因 (Kilpatrick and Ellis, 1992; Newton, 1992)。岩浆成因的紫苏花岗岩一般与非造山环境相关 (Duchesne and Wilmart, 1997; Markl, 1998)。关于庙尔沟地区的紫苏花岗岩, 张立飞等 (1998, 2004) 研究认为其形成于后造山岩浆作用环境, 与该区碱长花岗岩分异于同一个岩浆源, 且先于该地区碱长花岗岩结晶而成。本文研究得出该区紫苏花岗岩

具有 A 型花岗质岩石的地球化学特征, 其形成的构造环境与碱长花岗岩相同, 属于后碰撞环境。Sr、Nd 同位素显示, 紫苏花岗岩具有低的初始 Sr 比值 ( $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70382 \sim 0.70388$ ), 较高的正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值 ( $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.67 \sim +6.98$ ), 年轻的一阶段模式年龄 ( $t_{\text{DM}} = 0.59 \sim 0.62\text{Ga}$ )。其与该区碱长花岗岩的  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值和模式年龄比较接近, 表明其可能来自同一个岩浆源区。而偏基性的紫苏花岗岩形成却晚于碱长花岗岩, 与张立飞等 (1998, 2004) 的认识有出入。笔者认为可能是在后碰撞环境下, 岩石圈伸展促使软流圈地幔上涌并加热年轻的下地壳物质, 导致发生了俯冲的洋壳和底侵岛弧的部分熔融, 形成了具有岛弧印迹的 A2 型碱长花岗岩, 随着岩石圈进一步伸展, 可能在局部有更多偏基性物质的加入形成了紫苏花岗岩。

## 6 结论

(1) 庙尔沟碱长花岗岩形成年龄为  $309.8 \pm 1.7\text{Ma}$ 、紫苏花岗岩形成年龄为  $302.1 \pm 2.1\text{Ma}$ 、碱长花岗岩脉的形成年龄  $301 \pm 2.0\text{Ma}$ , 成岩时代均属于晚石炭世。

(2) 庙尔沟碱长花岗岩及岩脉属于典型的 A2 型花岗岩, 同期的紫苏花岗岩是具有 A 型地球化学特征的花岗质岩石。

(3) 庙尔沟岩体碱长花岗岩和紫苏花岗岩成于后碰撞环境, 来自相同源区, 可能是源自幔源物质的年轻下地壳部分熔融的产物, 先形成碱长花岗岩, 随着岩石圈进一步伸展, 可能在局部有更多偏基性物质的加入形成紫苏花岗岩。

致谢 感谢审稿人对完善本文提出的意见和建议!

## References

- Chen B and Zhuang YX. 1994. The petrology and petrogenesis of Yunlu charnockite and its granulite inclusion, West Guangdong, South China. *Acta Petrologica Sinica*, 10(2): 139 – 150 (in Chinese with English abstract)
- Chen B and Jahn BM. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 691 – 703
- Chen B and Arakawa Y. 2005. Elemental and Nd-Sr isotopic geochemistry of granitoids from the West Junggar foldbelt (NW China), with implications for Phanerozoic continental growth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(5): 1307 – 1320
- Chen JF, Han BF, Ji JQ, Zhang L, Xu Z, He GQ and Wang T. 2010. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China. *Lithos*, 115(1 – 4): 137 – 152
- Chen JF, Han BF and Zhang L. 2010. Geochemistry, Sr-Nd isotopes and tectonic implications of two generations of Late Paleozoic plutons in northern West Junggar, Northwest China. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2317 – 2335 (in Chinese with English abstract)
- Chen S and Guo ZJ. 2010. Time constraints, tectonic setting of Dalabute ophiolitic complex and its significance for Late Paleozoic tectonic evolution in West Junggar. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2336 – 2344 (in Chinese with English abstract)
- Creaser RA, Price RC and Wormald RJ. 1991. A-type granites revisited: Assessment of a residual-source model. *Geology*, 19(2): 163 – 166
- Dang FP, Wang JL, Yang M and Song ZS. 2011. Characteristics and tectonic setting of Late Paleozoic plutons in the south of western Junggar. *Geology and Resources*, 20(6): 440 – 451 (in Chinese with English abstract)
- Duchesne JC and Wilmart E. 1997. Igneous charnockites and related rocks from the Bjerkreim-Sokndal layered intrusion (Southwest Norway): A jotunite (Hypersthene Monzodiorite) derived A-type granitoid suite. *Journal of Petrology*, 38(3): 337 – 369
- Eby GN. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20(7): 641 – 644
- Fan Y, Zhou TF, Yuan F, Tan LG, Cooke D, Meffre S, Yang WP and He LX. 2007. LA-ICP MS zircon age of Tasite pluton in Sawuer region of West Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1901 – 1908 (in Chinese with English abstract)
- Feng Y, Coleman RG, Tilton G and Xiao X. 1989. Tectonic evolution of the West Junggar region, Xinjiang, China. *Tectonics*, 8(4): 729 – 752
- Gao R, Xiao L, Wang GC, He XX, Yang G and Yan SW. 2013. Paleozoic magmatism and tectonic setting in West Junggar. *Acta Petrologica Sinica*, 29(10): 3413 – 3434 (in Chinese with English abstract)
- Gao SL, He ZL and Zhou ZY. 2006. Geochemical characteristics of the Karamay granitoids and their significance in West Junggar, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 24(2): 125 – 130 (in Chinese with English abstract)
- Gao YF, Hou ZQ, Wei RH and Zhao RS. 2003. Post-collisional adakitic porphyries in Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on partial melting of oceanic lithosphere and crust-mantle interaction. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 194 – 203
- Geng HY, Sun M, Yuan C, Xiao WJ, Xian WS, Zhao GC, Zhang LF, Wong K and Wu FY. 2009. Geochemical, Sr-Nd and zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: Implications for ridge subduction? *Chemical Geology*, 266(3 – 4): 364 – 389
- Gu PY, Li YJ, Zhang B, Tong LL and Wang JN. 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Darbut ophiolite, western Junggar, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1364 – 1372 (in Chinese with English abstract)
- Guo LS, Liu YL, Wang ZH, Song D, Xu FJ and Su L. 2010. The zircon U-Pb LA-ICP-MS geochronology of volcanic rocks in Baogutu areas, western Junggar. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 471 – 477 (in Chinese with English abstract)
- Han BF, Wang SG, Jahn BM, Hong DW, Kagami H and Sun YL. 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth. *Chemical Geology*, 138(3 – 4): 135 – 159
- Han BF, Ji JQ, Song B, Chen LH and Zhang L. 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)
- Han BF, Guo ZJ and He GQ. 2010. Timing of major suture zones in North Xinjiang, China: Constraints from stitching plutons. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2233 – 2246 (in Chinese with English abstract)
- He GQ, Chen SD, Xu X, Li JY and Hao J. 2004. An Introduction to the Explanatory Text of the Map of Tectonics of Xinjiang and Its Neighboring Area 1: 1500000. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 65 (in Chinese)
- Jin CW and Zhang XQ. 1993. A geochronology and geneses of the western Junggar granitoids, Xinjiang, China. *Scientia Geologica Sinica*, 28(1): 28 – 36 (in Chinese with English abstract)
- Kilpatrick JA and Ellis DJ. 1992. C-type magmas; Igneous charnockites and their extrusive equivalents. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83(1 – 2): 155 – 164
- King PL, White AJR, Chappell BW and Allen CM. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan fold belt, Southeastern Australia. *Journal of Petrology*, 38(3): 371 – 391
- 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
- Li XZ, Han BF, Ji JQ, Li ZH, Liu ZQ and Yang B. 2004. Geology, geochemistry and K-Ar ages of the Karamay basic-intermediate dyke swarm from Xinjiang, China. *Geochimica*, 33(6): 574 – 584 (in Chinese with English abstract)
- Li ZH, Han BF, Li XZ, Du W and Yang B. 2004. Microgranular dioritic enclaves in Junggar granites and their implications for the origin and evolution of post-collisional granitic magmatism in North Xinjiang. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(3): 214 – 226 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication, No. 4: 1 – 73
- Ma C, Xiao WJ, Windley BF, Zhao GP, Han CM, Zhang JE, Luo J and Li C. 2012. Tracing a subducted ridge-transform system in a Late Carboniferous accretionary prism of the southern Altai: Orthogonal sanukitoid dyke swarms in western Junggar, NW China. *Lithos*, 140 – 141: 152 – 165
- Maniar PD and Piccoli PM. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5): 635 – 643
- Markl G, Frost BR and Bucher K. 1998. The origin of anorthosites and related rocks from the Lofoten Islands, Northern Norway: I. Field relations and estimation of intrinsic variables. *Journal of Petrology*, 39(8): 1425 – 1452
- Middlemost EAK. 1985. *Magmas and Magmatic Rocks*. London: Longman Group Ltd., 1 – 266
- Newton RC. 1992. An overview of charnockite. *Precambrian Research*, 55(1 – 4): 399 – 405
- Pearce JA. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19(4): 120 – 125
- Peccerillo A and Taylor SR. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1): 63 – 81



- Peng SB, Jin ZM, Fu JM and Liu YH. 2004. Origin of charnockite and its tectonic significance. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 63–70 (in Chinese with English abstract)
- Shen QH and Ji CL. 1992. Basic characteristics of the Precambrian charnockites in North China. *Acta Petrologica Sinica*, 8(1): 61–73 (in Chinese with English abstract)
- Su YP, Tang HF, Hou GS and Liu CQ. 2006. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang. *Geochimica*, 35(1): 55–67 (in Chinese with English abstract)
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Sauder AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications, 42(1): 313–345
- Tang GJ, Wang Q, Zhao ZH, Wyman DA, Chen HH, Jia XH and Jiang ZQ. 2009. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyries in the Baogutu area (western Junggar): Petrogenesis and their implications for tectonics and Cu-Au mineralization. *Earth Science*, 34(1): 56–74 (in Chinese with English abstract)
- Tang GJ, Wang Q, Wyman DA, Li ZX, Zhao ZH, Jia XH and Jiang ZQ. 2010. Ridge subduction and crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt: Evidence from Late Carboniferous adakites and high-Mg diorites in the western Junggar region, northern Xinjiang (West China). *Chemical Geology*, 277(3–4): 281–300
- Tang GJ, Wang Q, Wyman DA, Li ZX, Xu YG and Zhao ZH. 2012a. Recycling oceanic crust for continental crustal growth: Sr-Nd-Hf isotope evidence from granitoids in the western Junggar region, NW China. *Lithos*, 128–131: 73–83
- Tang GJ, Wang Q, Wyman DA, Li ZX, Zhao ZH and Yang YH. 2012b. Late Carboniferous high  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ - $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  granitoids, enclaves and dikes in western Junggar, NW China: Ridge-subduction-related magmatism and crustal growth. *Lithos*, 140–141: 86–102
- Tong Y, Wang T, Hong DW, Han BF, Zhang JJ, Shi XJ and Wang C. 2010. Spatial and temporal distribution of the Carboniferous-Permian granitoids in northern Xinjiang and its adjacent areas, and its tectonic significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 618–641 (in Chinese with English abstract)
- Topuz G, Altherr R, Schwarz WH, Siebel W, Satir M and Dokuz A. 2005. Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: The Eocene Saraycik granodiorite (Eastern Pontides, Turkey). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150(4): 441–455
- Wang FZ, Yang MZ and Zheng JP. 2002. Geochemical evidence of the basement assembled by island arc volcanics terranes in Junggar Basin. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(1): 1–10 (in Chinese with English abstract)
- Wang ZH, Sun S, Li JL, Hou QL, Qin KZ, Xiao WJ and Hao J. 2003. Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China: Geochemical and geochronological constraints from the ophiolites. *Tectonics*, 22(2): 1–15
- Whalen JB, Currie KL and Chappell BW. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4): 407–419
- Wu JJ and Chen B. 2004. Trace element and Nd-Sr isotope characteristics of the post-collisional granitoids from Miaogou west Junggar, and implication for petrogenesis. *Xinjiang Geology*, 22(1): 29–35 (in Chinese with English abstract)
- Wu YB and Zheng YF. 2004. Zircon genetic mineralogy and its constraint on applications of zircon U-Pb dating result. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589–1604 (in Chinese)
- Xian WS, Sun M, Zhang LF, Zhao GC and Malpas J. 2002. Late Paleozoic vertical crustal growth of western Junggar, Xinjiang in China: Evidence from petrology and Nd isotope in charnockites and alkaline granites. In: Wu FY, Wilde S and Jahn BM (eds.). *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia*. Abstract and Excursion Guidebook, 4<sup>th</sup> Workshop of IGCP, 420: 127–128
- Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Chen HL, Sun M, Lin SF, Li ZL, Mao QG, Zhang JE, Sun S and Li JL. 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleosian Domain. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1062–1076 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Kröner A and Windley B. 2009. Geodynamic evolution of Central Asia in the Paleozoic and Mesozoic. *International Journal of Earth Sciences*, 98(6): 1185–1188
- Xiao WJ, Huang BC, Han CM, Sun S and Li L. 2010. A review of the western part of the Altai: A key to understanding the architecture of accretionary orogens. *Gondwana Research*, 18(2–3): 253–273
- Yang GX, Li YJ, Gu PY, Yang BK, Tong L and Zhang HW. 2012a. Geochronological and geochemical study of the Darbut ophiolitic complex in the West Junggar (NW China): Implications for petrogenesis and tectonic evolution. *Gondwana Research*, 21(4): 1037–1049
- Yang GX, Li YJ, Santosh M, Gu PY, Yang BK, Zhang B, Wang HB, Zhong X and Tong L. 2012b. A Neoproterozoic seamount in the Paleosian Ocean: Evidence from zircon U-Pb geochronology and geochemistry of the Mayile ophiolitic mélange in West Junggar, NW China. *Lithos*, 140–141: 53–65
- Yang GX, Li YJ, Zhang B, Wang YB, Liu ZW, Yan J and Tian ZX. 2013. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Jietaobutiao A-type granites in West Junggar, Xinjiang. *Acta Geoscientia Sinica*, 34(3): 295–306 (in Chinese with English abstract)
- Yin JY, Yuan C, Sun M, Long XP, Zhao GC, Wong KP, Geng HY and Cai KD. 2010. Late Carboniferous high-Mg dioritic dikes in western Junggar, NW China: Geochemical features, petrogenesis and tectonic implications. *Gondwana Research*, 17(1): 145–152
- Yin JY, Yuan C, Wang YJ, Long XP and Guan YL. 2011. Magmatic records on the Late Paleozoic tectonic evolution of western Junggar, Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(2): 278–291 (in Chinese with English abstract)
- Yin JY, Yuan C, Sun M, Long XP, Qiu HN, Wang YJ, Ren JB and Guan YL. 2012. Age, geochemical features and possible petrogenesis mechanism of Early Permian magnesian diorite in Hatu, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 28(7): 2171–2182 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF, Tan LG, Fan Y, Yang WP, He LX and Yue SC. 2006. Isotopic ages of the I-type granites in West Junggar Sawuer region. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1238–1248 (in Chinese with English abstract)
- Yuan HL, Wu FY, Gao S, Liu XM, Xu P and Sun DY. 2003. Zircon laser probe U-Pb dating and REE compositional analysis of Cenozoic pluton in Northeast China. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511–1520 (in Chinese)
- Zhang LC, Wan B, Jiao XJ and Zhang R. 2006. Characteristics and geological significance of adakitic rocks in copper-bearing porphyry in Baogutu, western Junggar. *Geology in China*, 33(3): 626–631 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LF, Sun M, Yuan C and Jiang WB. 1998. Mela-enclaves and their host A-type granites in western Junggar, China: A petrological study. In: Jahn BM and Hong DW (eds.). *IGCP 420 Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from East-Central Asia First Workshop, Schedule and Abstracts*
- Zhang LF, Xian WS and Sun M. 2004. Petrogenesis of charnockites from western Junggar, Xinjiang, China. *Xinjiang Geology*, 22(1): 36–42 (in Chinese with English abstract)
- Zhou LR, Zhao ZC and Zhang JS. 1987. The essential features of geotectonic development and magmatic evolution on the western Junggar area Xinjiang China. *Northwest Geoscience*, (2): 3–55, 171–176 (in Chinese with English abstract)
- Zhou TF, Yuan F, Fan Y, Tan LG and Yue SC. 2006. Geodynamic significance of the A-type granites in the Sawuer region in West Junggar, Xinjiang: Rock geochemistry and SHRIMP zircon age evidence. *Science in China (Series D)*, 49(2): 113–123
- Zhou TF, Yuan F, Fan Y, Zhang DY, Cooke D and Zhao GC. 2008.

- Granites in the Sawuer region of the West Junggar, Xinjiang Province, China: Geochronological and geochemical characteristics and their geodynamic significance. *Lithos*, 106(3-4): 191-206
- Zhu BQ. 1984. Ancient oceanic crust and plate tectonics in southwestern section of western Junggar. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 10: 137-150 (in Chinese with English abstract)
- ### 附中文参考文献
- 陈斌, 庄育勋. 1994. 粤西云炉紫苏花岗岩及其麻粒岩包体的主要特点和成因讨论. *岩石学报*, 10(2): 139-150
- 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. *岩石学报*, 26(8): 2317-2335
- 陈石, 郭召杰. 2010. 达布特蛇绿岩带的时限和属性以及对西准噶尔晚古生代构造演化的讨论. *岩石学报*, 26(8): 2336-2344
- 党飞鹏, 王居里, 杨猛, 宋子升. 2011. 西准噶尔南部晚古生代侵入岩特征和构造背景. *地质与资源*, 20(6): 440-451
- 范裕, 周涛发, 袁峰, 谭绿贵, Cooke D, Meffre S, 杨文平, 何立新. 2007. 新疆西准噶尔地区塔斯特岩体锆石 LA-ICPMS 年龄及其意义. *岩石学报*, 23(8): 1901-1908
- 高睿, 肖龙, 王国灿, 贺新星, 杨刚, 鄢圣武. 2013. 西准噶尔晚古生代岩浆活动和构造背景. *岩石学报*, 29(10): 3413-3434
- 高山林, 何治亮, 周祖翼. 2006. 西准噶尔克拉玛依花岗岩体地球化学特征及其意义. *新疆地质*, 24(2): 125-130
- 辜平阳, 李永军, 张兵, 佟丽莉, 王军年. 2009. 西准噶尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年. *岩石学报*, 25(6): 1364-1372
- 郭丽爽, 刘玉琳, 王政华, 宋达, 许发军, 苏犁. 2010. 西准噶尔包古图地区地层火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究. *岩石学报*, 26(2): 471-477
- 韩宝福, 季建清, 宋彪, 陈立辉, 张磊. 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. *岩石学报*, 22(5): 1077-1086
- 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. 2010. “钨合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限. *岩石学报*, 26(8): 2233-2246
- 何国琦, 成守德, 徐新, 李锦轶, 郝杰. 2004. 中国新疆及邻区大地构造图(1:2500000;附说明书). 北京:地质出版社, 1-65
- 金成伟, 张秀棋. 1993. 新疆西准噶尔花岗岩类的时代及其成因. *地质科学*, 28(1): 28-36
- 李辛子, 韩宝福, 季建清, 李宗怀, 刘志强, 杨斌. 2004. 新疆克拉玛依中基性岩墙群的地质地球化学和 K-Ar 年代学. *地球化学*, 33(6): 574-584
- 李宗怀, 韩宝福, 李辛子, 杜蔚, 杨斌. 2004. 新疆准噶尔地区花岗岩中微粒闪长质包体特征及后碰撞花岗岩浆起源和演化. *岩石矿物学杂志*, 23(3): 214-226
- 彭松柏, 金振民, 付建明, 刘云华. 2004. 紫苏花岗岩成因及构造意义. *华南地质与矿产*, (4): 63-70
- 沈其韩, 吉成林. 1992. 华北前寒武纪紫苏花岗岩的基本特征和成因. *岩石学报*, 8(1): 61-73
- 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 刘从强. 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. *地球化学*, 35(1): 55-67
- 唐功建, 王强, 赵振华, Wyman DA, 陈海红, 贾小辉, 姜子琦. 2009. 西准噶尔包古图成矿斑岩年代学与地球化学: 岩石成因与构造、铜金成矿意义. *地球科学*, 34(1): 56-74
- 童英, 王涛, 洪大卫, 韩宝福, 张建军, 史兴俊, 王超. 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. *岩石矿物学杂志*, 29(6): 619-641
- 王方正, 杨梅珍, 郑建平. 2002. 准噶尔盆地岛弧火山岩地体拼合基地的地球化学证据. *岩石矿物学杂志*, 21(1): 1-10
- 伍建机, 陈斌. 2004. 西准噶尔庙尔沟后碰撞花岗岩微量元素和 Nd-Sr 同位素特征及成因. *新疆地质*, 22(1): 29-35
- 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
- 肖文交, 韩春明, 袁超, 陈汉林, 孙敏, 林寿发, 厉子龙, 毛启贵, 张继恩, 孙枢, 李继亮. 2006. 新疆北部石炭-二叠纪独特的构造-成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约. *岩石学报*, 22(5): 1062-1076
- 杨高学, 李永军, 张兵, 汪雅兵, 刘振伟, 严镜, 田陟贤. 2013. 新疆西准噶尔接待布调 A 型花岗岩年代学、地球化学及岩石成因. *地球学报*, 34(3): 295-306
- 尹继元, 袁超, 王毓婧, 龙晓平, 关义立. 2011. 新疆西准噶尔晚古生代大地构造演化的岩浆活动记录. *大地构造与成矿学*, 35(2): 278-291
- 尹继元, 袁超, 孙敏, 龙晓平, 邱华宁, 王毓婧, 任江波, 关义立. 2012. 新疆哈图早二叠世富镁闪长岩的时代、地球化学特征和可能的成因机制. *岩石学报*, 28(7): 2171-2182
- 袁峰, 周涛发, 谭绿贵, 范裕, 杨文平, 何立新, 岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区 I 型花岗岩同位素精确定年及其意义. *岩石学报*, 22(5): 1238-1248
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. *科学通报*, 48(14): 1511-1520
- 张连昌, 万博, 焦学军, 张锐. 2006. 西准噶尔包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义. *中国地质*, 33(3): 626-631
- 张立飞, 洗伟胜, 孙敏. 2004. 西准噶尔紫苏花岗岩成因岩石学研究. *新疆地质*, 22(1): 36-42
- 周良仁, 赵志长, 张金声. 1987. 西准噶尔地区地质构造发展及岩浆演化特征. *西北地质科学*, (2): 3-55, 171-176
- 周涛发, 袁峰, 范裕, 谭绿贵, 岳书仓. 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. *中国科学(D 辑)*, 36(1): 39-48
- 朱宝清. 1984. 西准噶尔西南地区古海洋地壳与板块构造. *中国地质科学院院报*, 10: 137-150