

# 西昆仑早古生代花岗岩类成因： 岩石地球化学、年代学与 Sr-Nd-Hf 同位素证据

徐进鸿<sup>1,2</sup>, 张正伟<sup>1\*</sup>, 吴承泉<sup>1</sup>, 朱维光<sup>1</sup>, 罗泰义<sup>1</sup>,  
胡鹏程<sup>1,2</sup>, 李溪遥<sup>1,2</sup>, 靳子茹<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

西昆仑造山带位于塔里木克拉通的西南缘, 是一个多期俯冲-增生复合造山带, 经历原特提斯和古特提斯构造演化(Xiao et al., 2005)。原特提斯沿着奥依塔格-科岗-库地-其曼于特缝合带俯冲消减闭合, 导致西昆仑地块与北侧的塔里木地块拼接, 构成早古生代加里东期岩浆岩带(崔建堂等, 2006; 康磊等, 2015)。这些火成岩以北西-南东向分布, 纪录了西昆仑造山带和原特提斯演化的重要信息。阿克达拉岩体和穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体位于该岩浆岩带的西北缘(河南省地质调查院, 2005), 出露于晚古生代恰尔隆盆地中, 但对于这些岩体没有深入研究工作。本文经过详细的野外地质考察, 对该岩体开展了岩相学、岩石地球化学、年代学以及同位素地球化学等方面的研究工作, 厘定了花岗斑岩的形成时代, 结合岩石地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素的分析结果, 探讨了岩体的成因及其形成的构造背景。

阿克达拉岩体和穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体主要由二长闪长岩-辉长闪长岩和花岗岩组成, 岩相学特征显示闪长岩为深灰色至灰黑色, 花岗岩灰白色, 块状构造。主量元素分析表明闪长岩比花岗岩具有较低的SiO<sub>2</sub>含量, 富TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>、MnO、MgO、CaO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 贫Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O。闪长岩里特曼指数 $\delta$ 分布在3.03~3.49之间, 平均值3.3。花岗岩里特曼指数 $\delta$ 分布在1.91~2.82之间, 小于3.3。在TAS图解上闪长岩落入亚碱性到碱性的边界上, 而花岗岩全部落入亚碱性花岗岩区域; 在SiO<sub>2</sub>对ASI图解上, 闪长岩落入I到S型区域, 而花岗岩落入I型区域。闪长岩的铝饱和指数A/CNK比值为0.77~1.41, 花岗岩的铝饱和指数A/CNK比值为1.91~2.82; 在A/CNK对A/NK图解上, 闪长岩为偏铝质到弱过铝质分界线附近, 而花岗岩为偏铝质。闪长岩CIPW标准矿物中刚玉的含量为0.00~5.86, 花岗岩CIPW标准矿物中刚玉的含量为0.00~1.59。闪长岩和花岗岩分异指数DI分别为55.70~62.89和82.16~92.34。在哈克图解(SiO<sub>2</sub>-氧化物)中, 主量元素TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>、MgO、CaO和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>随SiO<sub>2</sub>含量的增加有降低的趋势。

微量元素分析表明阿克达拉岩体和穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体闪长岩和花岗岩稀土元素总量较低, 总体呈现出轻稀土(LREE)富集, 重稀土(HREE)相对亏损的平缓右倾型特征; 闪长岩具有Eu弱的负异常0.83~0.98, 而花岗岩具有Eu弱的正异常0.95~1.28。在微量元素原始地幔标准化图解上, 闪长岩和花岗岩都表现为富集Rb、Ba、U、Sr、Hf、Zr, 亏损Th、Nb、Ta、Ti; 闪长岩Rb/Sr比值为0.15~0.33, Rb/Ba比值为0.11~0.23, Nb/Ta比值为10.83~18.57。花岗岩Rb/Sr比值为0.06~0.17, Rb/Ba比值为0.04~0.10, Nb/Ta比值为9.85~14.94。

锆石U-Pb 定年获得阿克达拉岩体闪长岩的谐和年龄为473~479 Ma, 阿克达拉岩体花岗岩的谐和年龄为461 Ma, 表明阿克达拉岩体就位于早古生代。穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体两件闪长岩阴极发光图像(CL)显示大部分锆石具有良好的晶形, 呈闪长岩锆石典型的明暗区域特征, 锆石的Th/U比值在0.39~0.70之间, 位于岩浆锆石的比值范围内, 具有岩浆锆石的特征。样品QEL-03的谐和年龄为478.6±2.6 Ma(MSWD=0.50), 加权平均年龄为478.9±2.5Ma (MSWD=0.49)。样品QEL-29的谐和年龄为467.4±2.0Ma(MSWD=1.01), 加权平均年龄为467.5±2.0Ma(MSWD=0.98)。花岗岩样品(QEL-06)获得的谐和年龄为463.1±3.0 Ma(MSWD=2.9), 加权平均年龄为463.3±3.7(MSWD=2.6)。表明穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体就位于早古生代。

锆石Hf同位素分析结果显示阿克达拉岩体闪长岩的 $\delta^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值介于-0.96~-0.98之间,  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值介于0.282533~0.282665之间,  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为0.1~6.6之间, 平均值3.8, 一阶段模式年龄( $T_{\text{DM}}^1$ )为824~1080Ma, 平均

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: No. U1603245)

作者简介: 徐进鸿, 男, 1989年生, 博士研究生, 主要从事矿床地球化学研究。

\*通讯作者, E-mail: zhangzhengwei@vip.gyig.ac.cn

值为935 Ma, 二阶段模式年龄( $T_{DM}^2$ )为964~1319 Ma, 平均值为1118 Ma。阿克达拉岩体花岗岩锆石Hf同位素分析结果显示绝大部分锆石的 $fLu/Hf$ 值介于-0.98~-0.96之间,  $\epsilon_{Hf}(t)$ 值为1.3~4.4之间, 平均值2.6, 一阶段模式年龄( $T_{DM}^1$ )为897~1020 Ma, 平均值为966 Ma, 二阶段模式年龄( $T_{DM}^2$ )为1072~1242 Ma, 平均值为1172 Ma。穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体锆石Hf同位素分析结果显示早期闪长岩(QEL-03)的 $fLu/Hf$ 值介于-0.97~-0.98之间,  $\epsilon_{Hf}(t)$ 值为0.6~3.0之间, 平均值1.9, 一阶段模式年龄( $T_{DM}^1$ )为969~1058 Ma, 平均值为1009 Ma, 二阶段模式年龄( $T_{DM}^2$ )为1162~1295 Ma, 平均值为1223 Ma。晚期闪长岩(QEL-29)的 $fLu/Hf$ 值介于-0.94~-0.97之间,  $\epsilon_{Hf}(t)$ 值为1.2~6.9之间, 平均值4.5, 一阶段模式年龄( $T_{DM}^1$ )为806~1034 Ma, 平均值为900 Ma, 二阶段模式年龄( $T_{DM}^2$ )为936~1250 Ma, 平均值为1067 Ma。花岗岩锆石Hf同位素分析结果显示绝大部分锆石的 $fLu/Hf$ 值介于-0.93~-0.98之间,  $\epsilon_{Hf}(t)$ 值为-5.6~4.3之间, 平均值0.3, 一阶段模式年龄( $T_{DM}^1$ )为904~1285 Ma, 平均值为1061 Ma, 二阶段模式年龄( $T_{DM}^2$ )为1075~1628 Ma, 平均值为1296 Ma。

全岩Sr-Nd同位素研究表明阿克达拉岩体闪长岩( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub>比值介于0.7041~0.7057之间,  $\epsilon_{Nd}(t)$ 值变化于-0.4~1.1之间, 二阶段Nd模式年龄在1115~1236 Ma之间; 花岗岩( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub>比值介于0.7044~0.7045之间,  $\epsilon_{Nd}(t)$ 值变化于0.3~4.3之间, 二阶段Nd模式年龄在840~1116 Ma之间。穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体闪长岩( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub>比值介于0.7046~0.7078之间,  $\epsilon_{Nd}(t)$ 值变化于-1.0~0.9之间, 二阶段Nd模式年龄在1106~1277 Ma之间; 花岗岩( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub>比值介于0.7105~0.7161之间,  $\epsilon_{Nd}(t)$ 值变化于-2.6~-3.3之间, 二阶段Nd模式年龄在1404~1464 Ma之间。

阿克达拉岩体闪长岩和花岗岩具有低( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub>, 正的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值, 表明成岩物质以来自幔源岩浆为主。穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体的闪长岩具有低( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub>, 正的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值, 而花岗岩具有相对高( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub>, 负的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值, 表明成岩物质有地壳物质的参与。在 $\epsilon_{Hf}(t)$ -t图解中, 均落在球粒陨石演化线附近, 亏损地幔演化线以下, 表明成岩过程应有年轻组分的参与。年轻组分参与过程的方式可能有两种情形, 其一为幔源岩浆与其诱发的地壳物质部分熔融形成的长英质岩浆在地壳深部混合形成壳幔混源岩浆; 另一种是幔源岩浆的底侵作用致使新生地壳发生部分熔融。这些岩体的二阶段Hf-Nd模式年龄变化范围为840~1319 Ma, 推测其是由中元古代新生地壳物质部分熔融所形成。

阿克达拉岩体和穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体的闪长岩和花岗岩在锆石结晶时代上具有10 Ma的间隔, 且Sr-Nd-Hf同位素比值变化较小且耦合, 暗示其来自相同的源区并经历10 Ma的结晶演化。这些岩体的闪长岩到花岗岩Eu异常由弱的负异常到正异常, 表明岩浆演化过程中经历了斜长石的分离结晶。同时, 稀土元素配分模式图上为平缓右倾型, 在微量元素原始地幔标准化图解上, 闪长岩和花岗岩都表现为富集Rb、Ba、U、Sr、Hf、Zr, 亏损Th、Nb、Ta、Ti, 表明特征这些岩浆岩形成于岛弧环境。阿克达拉岩体和穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体侵位于463~479 Ma之间。区域研究资料表明, 原特提斯在早古生代发生大规模俯冲消减。

综上所述, 阿克达拉岩体和穷布斯萨依-库里巴克吉勒嘎岩体都是早古生代原特提斯俯冲引发上覆地幔楔部分熔融的产物, 幔源岩浆上升过程中受到地壳物质的混染, 同时在岩浆演化过程中经历了斜长石的分离结晶。

## 参考文献:

- Xiao, W.J., Windley, B.F., Liu, D.Y., et al. 2005. Accretionary tectonics of the western Kunlun orogeny, 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.
- 崔建堂, 边小卫, 王根宝. 2014. 西昆仑地质组成与演化. *陕西地质*, 24(1): 1-11.
- 河南省地质调查院. 2005. 艾提开尔丁萨依幅-英吉沙县幅1:25万区域地质调查报告: 1-388.
- 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 2015. 西昆仑西段古生代-中生代花岗岩岩浆作用及构造演化过程. *中国地质*, 42(3): 533-552.