

# 云南马厂箐钾质碱性花岗岩特征和锆石 U-Pb 年龄

夏斌<sup>1,2</sup>, 刘立文<sup>2,3</sup>, 张玉泉<sup>2</sup>, 黄强太<sup>2,3</sup>, 夏连泽<sup>1</sup>, 王洪<sup>2,3</sup>, 董春艳<sup>4</sup>

(1. 中山大学 海洋学院 广东 广州 510275; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所 广东 广州 510640; 3. 中国科学院 研究生院 北京 100049; 4. 北京离子探针中心 北京 100037)

**摘要:** 马厂箐钾质碱性花岗岩岩石化学成分中富含碱高钾和富钙特征, 微量元素富集 Sr、Ba 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta 等高场强元素。在稀土元素组成上, 富集轻稀土( LREE/HREE = 22.2 ~ 25.0 ), 基本无铕异常(  $\delta Eu = 0.80 \sim 1.10$  )。锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(  $34 \pm 0.5$  ) Ma, 相当于晚始新世, 属喜马拉雅期。

**关键词:** 地球化学和 U-Pb 年龄; 钾质碱性花岗岩; 马厂箐, 云南

**中图分类号:** P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4552( 2011) 03-0452-05

碱性花岗岩包括岩浆成因和沉积岩变质成因两种( 张玉泉等, 2004 )。其中岩浆成因碱性花岗岩, 又分含霓石、钠闪石等碱性铁镁矿物的钠质碱性花岗岩( Sorensen, 1974 ) 和含透辉石等非碱性铁镁矿物的钾质碱性花岗岩( 张玉泉和谢应雯, 1994 )。无论是钠质碱性花岗岩, 还是钾质碱性花岗岩, 均产于特定的伸展构造环境( Petro et al., 1979 ), 常伴有稀有、稀土( 袁忠信和白鸽, 1997 ) 和铜钼铅金银等矿产资源( 唐仁鲤等, 1995 )。自从涂光炽等( 1984 ) 提出哀牢山 - 金沙江富碱性侵入岩带是华南两个富碱侵入岩带之一以来, 前人对该岩带有关岩体进行了地质、岩矿与地球化学等多方面的研究( 吕佰西等, 1993; 谢应雯和张玉泉, 1995; 胡瑞忠和毕献武, 1997; 毕献武等, 1999; 梁华英等, 2004; 彭建堂等, 2005; 郭晓东等, 2009, 2010 )。本文在前人工作基础上, 着重于马厂箐钾质碱性花岗岩的特征和锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究。

## 1 地质和岩石简况

马厂箐钾质碱性岩体, 位于祥云县与弥渡县交

界处。在区域构造上, 处在新生代红河 - 金沙江走滑拉分带与程海深断裂交会部位。区内出露的地层主要为下奥陶统向阳组上段薄层石英粉砂岩夹薄层灰岩, 下段粗粒长石石英砂岩夹砾岩、含砾粗砂岩, 中上志留统和泥盆系灰岩等。岩体侵入下奥陶统细碎屑岩和下泥盆统灰岩中, 呈北东东向(  $60^\circ$  ) 的椭圆形( 图 1 ), 长 2600m、宽 750m, 面积约  $1.3 \text{ km}^2$  ( 云南冶金地质 310 队, 1977 )。由钾质碱性花岗岩、角闪正长岩和石英二长斑岩等组成。岩石为灰白色, 斑状结构, 块状构造, 斑晶由条纹长石、斜长石、石英、黑云母和角闪石等组成。基质为显晶质, 成分同斑晶。副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石、榍石和褐帘石等。其中石英斑晶常被熔蚀呈孤岛状和港湾状, 而基质常伸入到石英斑晶内。岩石中黑云母普遍产生绿泥石化、斜长石绢云母化和钾长石化等。

## 2 地球化学特征

岩石化学分析在中国科学院广州地球化学研究所利用 Varian Vista-PRO 型 ICP-AES( CCD 全谱直读 ICP-AES ) 测定, 所有氧化物分析误差( RSD ) 小

收稿日期: 2010-11-24; 改回日期: 2011-03-05

项目资助: 受国家重点发展研究计划( 973 ) ( 编号: 2009CB219401 )、国家自然科学基金( 批准号: 40534019 ) 和矿床地球化学国家重点实验室开放基金( 2009008 ) 联合资助。

第一作者简介: 夏斌( 1959 - ), 男, 教授, 博士生导师, 构造地质学专业。Email: xiabin01@gmail.com

于5%。微量元素(包括稀土元素),在中国科学院广州地球化学研究所超净化实验室用 PE-Elan 6000 型 ICP-MS 测试,分析误差小于10%。

2.1 岩石化学特征

岩石化学分析结果(表1)显示,马厂箐钾质碱性花岗岩低硅(67.8%~69.9%)、富碱(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O=8.66%~9.21%)、高钾(K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=1.0~1.1)和富钙(CaO=1.77%~2.54%)。另外,在

Wright (1969) SiO<sub>2</sub>-AR 图(图2)中,其数据点都分布在碱性区。在 Irvine et al. (1971) 的 An-Ab-Or 图中(图3),其数据点都处在钾质区,在 Cox et al. (1979) 和 Wilson(1989) 的岩石化学分类和命名 TAS [SiO<sub>2</sub>-(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)] 图解中(图4),其数据点都分布在碱性花岗岩区,表明马厂箐铜矿化花岗岩属于钾质碱性花岗岩。

2.2 岩石微量元素特征

马厂箐钾质碱性花岗岩微量元素(包括稀土元素)结果如表2。其特点是富集 Sr、Ba 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta 等高场强元素(图5)。稀土元素总量变化在 209.12~240.17 μg/g 之间,富集轻稀土(LREE/HREE=22.2~25.0),铕异常不明显(δEu=0.80~1.10),表明其物质来源于没有经过分异的富集地幔源区(图6)。

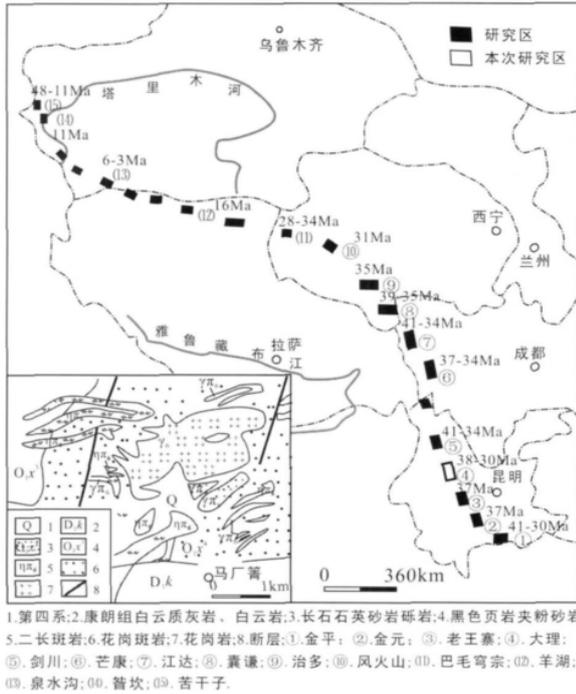


图1 马厂箐地质简图(据张玉泉和谢雯雯,1997)

Fig.1 Regional geological map of the Machangqing area

表1 马厂箐钾质碱性花岗岩岩石主量元素(%)

Table 1 Major element contents of the Machangqing kaligranite (%)

序号	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	67.8	69.48	68.81	69.1	69.94
TiO <sub>2</sub>	0.36	0.28	0.31	0.32	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.02	14.68	14.96	14.92	14.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.57	1.06	2.5	2.54	2.55
FeO	1.13	0.92			
MnO	0.11	0.07	0.08	0.07	0.09
MgO	1.08	0.96	1.63	1.1	0.93
CaO	2.54	1.88	1.99	2.05	1.77
Na <sub>2</sub> O	4.37	3.87	4.71	4.38	4.42
K <sub>2</sub> O	4.58	5.12	4.5	4.4	4.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2	0.18	0.16	0.17	0.15
total	99.23	99.12	100.17	99.44	99.4
AR	3.08	3.38	3.38	3.14	3.24

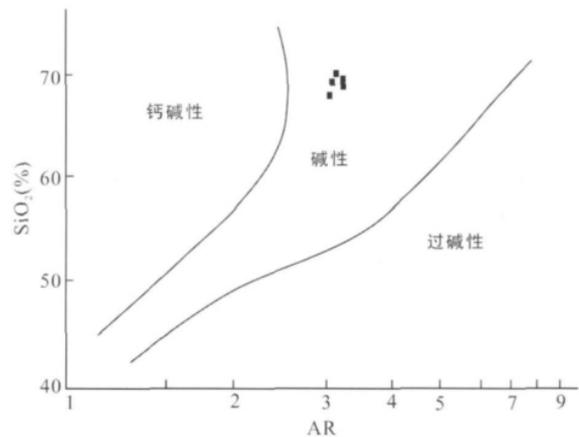


图2 马厂箐钾质碱性花岗岩 SiO<sub>2</sub>-AR 图

Fig.2 SiO<sub>2</sub>-AR diagram of the Machangqing kaligranite

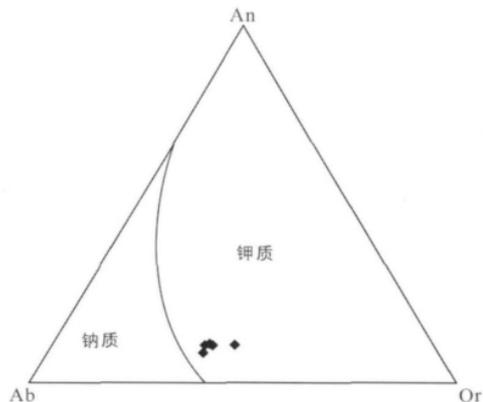


图3 马厂箐钾质碱性花岗岩 Ab-An-Or 图

Fig.3 Ab-An-Or diagram of the Machangqing kaligranite

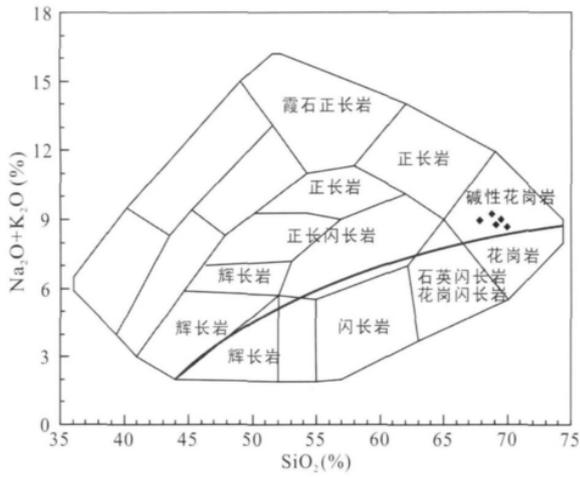


图 4 马厂箐岩体的 TAS 岩石分类图解

Fig. 4 TAS diagram of the Machangqing kaligranite

表 2 马厂箐钾质碱性花岗岩微量元素和稀土元素 (μg/g)

Table 2 Trace element concentrations (μg/g) of the Machangqing kaligranite

元素	83-620	83-623	83-626	a	b	c
V	37.40	49.30	34.50	27.20	33.29	23.73
Cr	32.70	45.10	30.80	19.40	21.30	12.40
Co	6.06	6.45	6.15	3.70	6.56	3.69
Ni	19.10	21.80	14.60	13.57	10.54	7.25
Cu	36.00	11.10	69.60	367.74	511.84	33.07
Zn	39.90	39.60	22.60	24.97	17.18	17.05
Rb	170.00	189.00	210.00	187.80	208.00	222.70
Sr	823.00	891.00	844.00	558.40	687.80	603.80
Y	14.03	14.25	13.25	10.58	12.43	14.89
Zr	138.00	173.00	215.00			
Nb	13.10	13.70	13.00	11.81	9.79	19.42
Ba	1340.00	1300.00	1070.00	1019.82	1348.69	1175.71
Hf	3.26	4.77	5.69	7.64	5.34	8.34
Ta	1.01	1.17	1.17	0.98	0.80	1.56
Th	24.20	29.10	29.40	19.77	25.10	30.65
Pb	32.40	33.80	28.30			
U	5.36	7.09	7.06	6.65	6.78	11.27
La	54.10	58.70	63.40	38.75	59.49	72.11
Ce	95.00	103.00	111.00	73.72	115.54	130.76
Pr	9.98	11.00	11.30	8.17	12.65	13.56
Nd	34.40	37.60	38.20	29.60	46.01	46.97
Sm	5.48	6.05	5.84	4.49	6.49	6.26
Eu	1.14	1.24	1.21	1.07	1.52	1.43
Gd	3.41	3.82	3.47	3.28	4.65	4.39
Tb	0.43	0.47	0.44	0.41	0.57	0.57
Dy	2.27	2.54	2.27	2.10	2.83	3.05
Ho	0.44	0.47	0.44	0.35	0.47	0.53
Er	1.22	1.30	1.23	0.95	1.28	1.45
Tm	0.18	0.19	0.17	0.15	0.20	0.23
Yb	0.91	1.12	1.02	0.94	1.18	1.51
Lu	0.16	0.18	0.18	0.12	0.16	0.20
Σ REE	209.12	227.41	240.17	164.10	253.04	283.02
LREE/HREE	22.20	22.20	25.00	18.77	21.31	22.72
Eu/Eu*	1.10	0.80	1.10	0.82	0.88	0.81

注: 编号 a、b、c 引自王治华等, 2009。

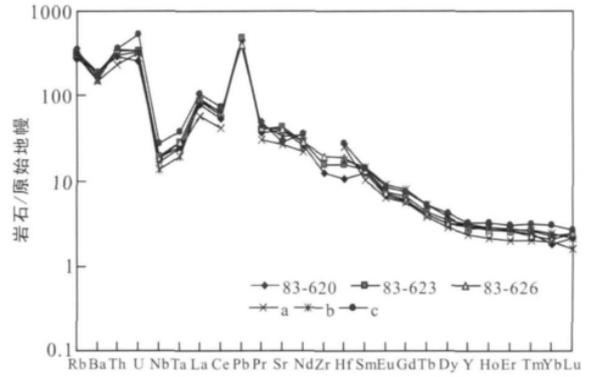


图 5 马厂箐钾质碱性花岗岩微量元素蛛网图

Fig. 5 Spider diagram of the Machangqing granite

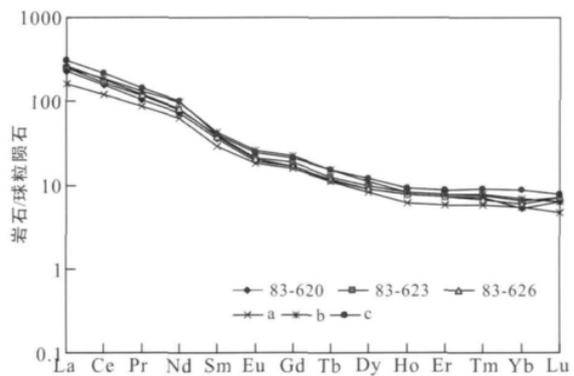


图 6 马厂箐钾质碱性花岗岩稀土元素配分图

Fig. 6 Chondrite normalized REE patterns of the Machangqing granite

### 3 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

#### 3.1 锆石分选

为了尽量排除交叉混样, 采用以下流程(张玉泉等, 2004)分选锆石: 把 0.5kg 左右的样品破碎成约 1cm<sup>3</sup> 的小块, 放入直径为 20cm 的不锈钢钵中, 在 XZW100 型振动磨样机中研磨 3~5s 后取出, 此过程反复进行到样品全部通过 0.3mm 的孔径筛, 洗去粉尘, 用铝制淘沙盘富集重矿物, 再通过磁选和电磁选, 将剩余非电磁部分再淘洗获得锆石精矿, 最后在双目镜下挑选出用于定年的锆石。

#### 3.2 分析方法和精度

锆石 SHRIMP U-Pb 年龄在中国地质科学院北京离子探针中心测定。将样品锆石和标样锆石 (TEM = 417Ma) 一起在玻璃板上用环氧树脂固定, 压平烘干后, 抛光到暴露出锆石的中心面, 喷墨照阴极发光相 (CL), 然后镀金, 即可进行 SHRIMP U-Pb 年龄测定。根据锆石的成因类型和研究目的, 再确定要测定的点, 测定时尽量避开裂纹和包裹体。详

细的实验流程和数据处理见文献(刘敦一和简平, 2004)。应用实测<sup>204</sup>Pb校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为1σ, 采用年龄为<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄, 其加权平均值为95%的置信度。

### 3.3 分析结果

样品中锆石的阴极发光图像如图7所示。可以看出锆石晶形自形程度高, 柱面和锥面清晰, 发育有规则的韵律生长环带, 显示典型的岩浆锆石的特点。本文对马厂箐钾质碱性花岗岩的定年锆石共测定10个点, U-Pb同位素年龄分析结果列于表3。所分析的锆石U和Th含量均较高, U含量变化范围为484~2229 μg/g, Th含量变化范围为263~1624 μg/g, Th/U比值亦较大, 变化范围在0.32~1.54。图8为锆石U-Pb年龄的谐和图, 其<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U加权平均年龄为(34.4 ± 0.5) Ma, MSWD = 1.4, 表明其年龄值的可信度较高。

### 3.4 马厂箐钾质碱性花岗岩的时代

马厂箐钾质碱性花岗岩的时代研究, 本次锆石SHRIMP U-Pb年龄为(34.4 ± 0.5) Ma。对比前人已有的测年结果: (1) 黑云母K-Ar年龄为(35.1 ± 0.5) Ma(张玉泉等, 1983); (2) 锆石ELA-ICP-MS微区定年结果为(35.0 ± 0.2) Ma(梁华英等, 2004)。三种定年方法获得结果基本一致, 属于古近纪, 相当于始新世晚期。同时, 也说明对于新生代新鲜的岩石, 其黑云母K-Ar年龄亦能够很好地反应岩浆结晶时间。

## 4 结论

(1) 马厂箐铜矿化的花岗岩, 岩石化学成分低硅、富碱、高钾和富钙, 具有典型的钾质碱性花岗岩的特点;

表3 马厂箐钾质碱性花岗岩锆石SHRIMP U-Pb数据

Table 3 SHRIMP zircon U-Pb results of the Machangqing kaligranite

Spot	<sup>206</sup> Pbc (%)	U (μg/g)	Th (μg/g)	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb* (μg/g)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb*	± %	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	± %	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	± %	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U Age (Ma)
83-620-1.1	4.26	814	291	0.37	3.84	0.032	35	0.0235	35	0.00526	2.4	33.8 ± 0.8
83-620-2.1	3.20	880	333	0.39	4.25	0.0451	17	0.0339	17	0.00545	1.9	35.0 ± 0.7
83-620-3.1	9.29	484	437	0.93	2.36	0.025	79	0.018	79	0.00514	3.0	33.1 ± 1.0
83-620-4.1	4.38	850	263	0.32	3.94	0.044	38	0.032	39	0.00516	2.6	33.2 ± 0.9
83-620-5.1	3.23	989	398	0.42	4.65	0.046	27	0.0338	27	0.00530	2.2	34.1 ± 0.7
83-620-6.1	0.63	2229	1624	0.75	10.2	0.0525	7.4	0.0384	7.6	0.005297	1.6	34.1 ± 0.5
83-620-7.1	3.27	897	1262	1.45	4.34	0.0389	24	0.0292	24	0.00545	2.0	35.0 ± 0.7
83-620-8.1	0.20	1309	538	0.42	6.05	0.0522	3.4	0.0386	3.8	0.005369	1.6	34.5 ± 0.6
83-620-9.1	2.48	996	491	0.51	5.07	0.0496	13	0.0395	13	0.00578	1.8	37.1 ± 0.7
83-620-10.1	4.30	574	331	0.60	2.90	0.040	31	0.0310	31	0.00563	2.4	36.2 ± 0.9

<sup>206</sup>Pbc (%) 为普通<sup>206</sup>Pb占总<sup>206</sup>Pb的百分比; Pb\* 为放射性成因铅; 普通铅用<sup>204</sup>Pb校正。

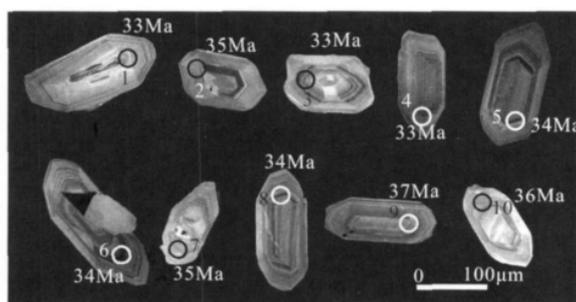


图7 马厂箐钾质碱性花岗岩锆石阴极发光照片及分析点位置图

Fig. 7 Cathodoluminescence images of zircons in the Machangqing granite

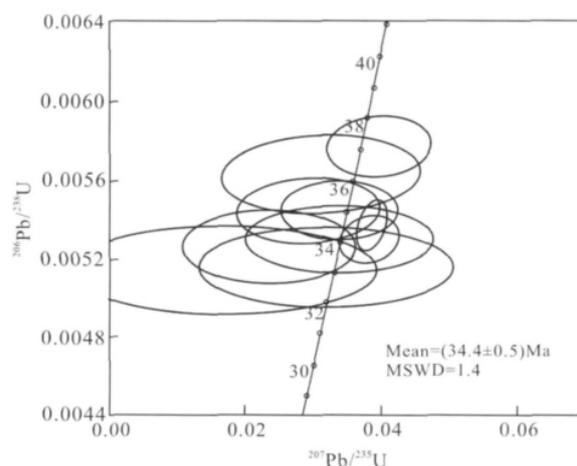


图8 马厂箐钾质碱性花岗岩锆石SHRIMP U-Pb谐和图

Fig. 8 U-Pb concordia diagram of zircons from the Machangqing kaligranite

(2) 锆石定年结果为(34 ± 0.5) Ma, 表明马厂箐钾质碱性花岗岩与哀牢山-金沙江新生带钾质碱性岩一道, 受控于欧亚两大陆碰撞导致的哀牢山-金沙江走滑拉分的深断裂。

#### 参考文献 (References):

- 毕献武, 胡瑞忠, 叶造军, 邵树勋. 1999. A 型花岗岩类与铜成矿关系研究——以马长箐铜矿为例. 中国科学(D), 29(6): 489-495.
- 郭晓东, 王治华, 陈祥, 王欣, 王淑贤. 2009. 云南马厂箐斑岩型铜(金)矿床地质特征与矿床成因. 地质学报, 83(12): 1901-1913.
- 郭晓东, 王治华, 王欣, 陈祥, 王绍明, 覃文明. 2010. 马厂箐斑岩型铜钼金多金属矿床构造控岩控矿作用. 大地构造与成矿学, 34(1): 55-62.
- 胡瑞忠, 毕献武. 1997. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系. 中国科学(D 辑), 27(6): 503-508.
- 梁华英, 谢应雯, 张玉泉. 2004. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿床成矿制约——以马厂箐铜矿为例. 自然科学进展, 14(1): 116-120.
- 刘敦一, 简平. 2004. 大别山双河硬玉石英岩的超高压变质和退变质事件——SHRIMP 测年的证据. 地质学报, 78(2): 211-217.
- 吕佰西, 王增, 张能德, 段建中等. 1993. 三江地区花岗岩类及成矿专属性. 北京: 地质出版社: 226-230.
- 彭建堂, 毕献武, 胡瑞忠, 吴开兴, 桑海清. 2005. 滇西马厂箐斑岩铜(钼)矿床成岩时限的厘定. 矿物学报, 25(1): 69-74.
- 唐仁鲤, 罗怀松等. 1995. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质. 地质出版社.
- 涂光炽, 张玉泉, 赵振华. 1984. 华南两个富碱侵入岩带初步研究 // 徐克勤, 涂光炽. 花岗岩地质和成矿关系. 南京: 江苏科学出版社: 21-37.
- 王治华, 郭晓东, 葛良胜, 王科强, 邹依林, 张勇, 喻万强. 2009. 云南祥云马厂箐富碱斑岩体的地球化学特征. 地质与勘探, 45(4): 343-351.
- 谢应雯, 张玉泉. 1995. 云南洱海东部新生代岩浆岩岩石化学. 岩石学报, 11(4): 423-433.
- 袁忠信, 白鸽. 1997. 中国碱性侵入岩的空间分布及有关金属矿床. 地质与勘探, 33(1): 42-48.
- 云南冶金地质 310 队. 1977. 马厂箐斑岩铜钼矿床地质特征及找矿方法. 地质与勘探, (2): 20-28.
- 张玉泉, 戴樟模, 洪阿实等. 1983. 横断山脉南段花岗岩类 K-Ar 年龄 // 青藏高原研究——横断山考察专集(一). 昆明: 云南人民出版社: 29-35.
- 张玉泉, 夏斌, 梁华英, 刘红英, 林清茶. 2004. 云南大平康棱岩化花岗岩的锆石特征及其地质意义. 高校地质学报, 10(3): 378-384.
- 张玉泉, 谢应雯. 1994. 青藏高原及邻区富碱侵入岩——以苦干子和太和二岩体为例. 中国科学(B 辑), 24(10): 1102-1108.
- 张玉泉, 谢应雯. 1997. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征. 中国科学(D 辑), 27(4): 289-293.
- Petro W L, Vogel T A and Wilband J T. 1979. Major-element chemistry of plutonic rock suites from compressional and extensional plate boundaries. *Chemical Geology*, 26: 217-235.
- Sorensen H. 1974. The alkaline rocks. New York: John Wiley and Sons.

## Geochemical Characteristics and Zircon SHRIMP U-Pb Age of the Machangqing Kaligranite in Yunnan Province

XIA Bin<sup>1,2</sup>, LIU Liwen<sup>2,3</sup>, ZHANG Yuquan<sup>2</sup>, HUANG Qiangtai<sup>2,3</sup>,  
XIA Lianze<sup>1</sup>, WANG Hong<sup>2,3</sup> and DONG Chunyan<sup>4</sup>

(1. School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Beijing SHRIMP Center, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The petrochemistry of the Machangqing kaligranite is characterized by rich alkali, high potassium and calcium. The kaligranite is enriched in large lithophile elements such as Sr and Ba and depleted in high strength field elements like Nb and Ta. The rocks are relatively enriched in LREE (LREE/HREE) = 22.2 ~ 25.0, showing on obvious Eu anomalies ( $\delta\text{Eu} = 0.80 \sim 1.10$ ). The granite was formed in Late Eocene with zircon SHRIMP U-Pb age of (34 ± 0.5) Ma.

**Keywords:** geochemistry and U-Pb age; kaligranite; Machangqing, Yunnan Province