

文章编号:1007-3701(2003)02-0016-07

# 湘南西山两江口高钾钙碱性火山岩的成因分析

付建明<sup>1,2</sup>, 谢才富<sup>2</sup>, 张业明<sup>2</sup>, 彭松柏<sup>2</sup>, 刘云华<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

**摘要:**两江口火山岩 Rb-Sr 年龄为 154 Ma, 以高  $K_2O/Na_2O$ ,  $K_2O+Na_2O>6\%$  为特征, 属于亚碱性高钾钙碱性系列岩石; 岩石稀土元素及大离子亲石元素富集, 有较明显的铕负异常 ( $\delta Eu = 0.50 \sim 0.70$ ); Nb, Ta, Ti 和 P 亏损, 具有岛弧型岩石的微量元素配分模式, 属板内钾质岩石; 较高的  $SiO_2$ 、较低的  $\epsilon_{Nd}(t)$  ( $-7.7 \sim -7.6$ ) 和相对低的  $t_{DM}$  (平均为 1499 Ma) 表明岩浆主要来源于地壳, 但有少量地幔物质参与; 其形成与该区中生代软流圈上升、岩石圈伸展—减薄有关。

**关键词:**火山岩; 元素地球化学; 岩石成因; 燕山期; 岩石圈伸展—减薄; 湘南

中图分类号: P588.14; P595

文献标识码: A

国内外的研究已经证实不同成因和不同大地构造背景中的富钾火成岩的岩石地球化学特征明显不同<sup>[1~5]</sup>, 据此可以用来揭示岩浆形成的深部过程和构造背景<sup>[1,4,6,7]</sup>。两江口火山岩具有高钾钙碱性火山岩性质, 且位于 Gilder 等<sup>[8]</sup>、Chen 等<sup>[9]</sup>和陈江峰等<sup>[10]</sup>在华南内陆识别出的一条高  $\epsilon_{Nd}(t)$ 、低  $t_{DM}$  花岗岩带上, 对其全面研究, 有助于深化湘南乃至整个华南地区在晚中生代火成岩岩石成因及岩石圈深部动力学方面的认识。

## 1 地质概况

湘南西山地区位处华夏板块与扬子板块的接合地带, 在华南大地构造位置上地位独特。两江口火山岩是湖南省境内出露面积最大的火山岩类岩体之一, 面积约 30 km<sup>2</sup>。主要分布于西山花岗岩体北侧由侏罗系组成的 NE—SW 向向斜中, 两翼火山岩系厚度分别为 438 和 698 m, 其底部为英安—流纹质火山角砾岩, 下部为流纹岩、凝灰岩、流纹质熔结凝灰岩及沉积岩, 中、上部以沉积—熔结凝灰

岩及流纹岩为主<sup>[11]</sup>, 是一套由酸性火山岩、火山碎屑岩夹砂泥质碎屑沉积岩层组成的火山岩系。该火山岩与下伏寒武纪或泥盆纪地层呈不整合接触关系, 且被西山花岗岩体侵入, 在西山花岗岩体中可见到酸性火山岩残留体(图 1)。

## 2 火山岩形成时代及其岩石学和岩石化学

对于两江口火山岩的形成时代, 彭学军等<sup>[12]</sup>曾作过总结, 他们从两江口火山岩与西山花岗岩体的成因联系出发, 结合火山岩中沉积岩夹层的化石和孢粉组合、西山花岗岩体已有的年龄数据综合考虑后, 认为火山岩形成于中侏罗世中期。最近, 我们根据流纹岩样品拟合的一条 Rb—Sr 等时线年龄为 154 Ma, 结合与火山岩有成因联系的西山花岗岩(156±2)Ma 的 SHRIMP U—Pb 年龄(另文发表), 认为本区高钾钙碱性火山岩形成于中侏罗世晚期, 为燕山早期火山喷发的产物。

火山岩岩石较新鲜, 无明显蚀变。主要岩石类型有: (1) 流纹(斑)岩, 为(聚)斑状结构, 流纹构造, 少见珍珠构造。斑晶由斜长石(An<sub>29—32</sub>; 5%~8%)、钾长石(3%~5%)和石英(5%~8%)组成, 长 1~4 mm, 大多为自形晶, 边缘常有熔蚀现象。

收稿日期: 2003-02-27

基金项目: 宜昌地质矿产研究所科技发展基金(K200302); 中国地质调查局基础地质综合研究项目(200113900018)。

作者简介: 付建明(1964—), 男(汉族), 副研究员, 在读博士, 主要从事岩石地球化学研究。

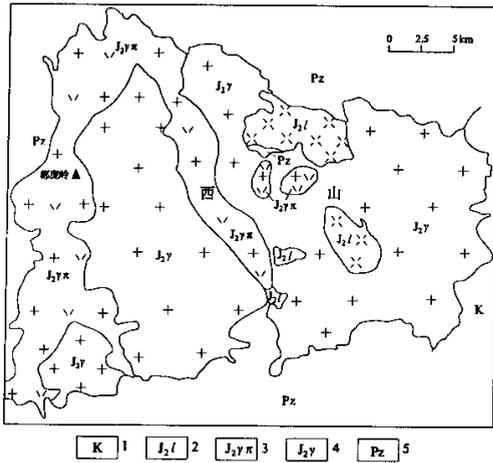


图 1 西山岩浆岩分布略图(据湖南地调院资料改编)  
Fig.1 Simplified geological map showing the distribution of Xishan magmatic rocks  
1. 白垩系;2. 两江口火山岩;3. 碎斑熔岩;4. 花岗岩;5. 古生代地层

基质为隐晶质—显微霏细结构,由长英质矿物(80%~85%)和少量绿泥石组成;(2)流纹质熔结凝灰岩,具晶屑—玻屑塑变结构,假流纹构造。晶屑约占 50%,大小不一,以大于 1.5 mm 者居多,呈棱角状,常见熔蚀现象,裂纹发育;由石英、钾长石、斜长石和少量黑云母组成。晶屑间为塑变的玻屑,定向排列,显假流纹构造。

据化学成分分析结果(表 1),该组火山岩 SiO<sub>2</sub> 变化范围为 69.29%~70.90%,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=6.23%~7.39%,K<sub>2</sub>O 质量分数高(4.60%~5.14%),K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值大(1.84~3.55),TiO<sub>2</sub> 质量分数低(0.47%~0.52%),A/CNK=1.09~1.26(平均 1.16),总体上属于亚碱性高钾钙碱性系列岩石组合(图 2)。就 K<sub>2</sub>O 含量而言,两江口火山岩不同于通常的岛弧区钙碱性系列火山岩,而具有陆内火山岩高钾的典型地球化学特征<sup>[13]</sup>。该组火山岩成分稳定,未见玄武质岩石等较基性的端元,

表 1 两江口火山岩的主量元素、稀土元素和微量元素分析结果

Table 1 Major element, rare earth element and trace element analyses of Liangjiangkou volcanic rocks

序号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	总量	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O A/CNK			
	$w_B/10^{-2}$																
1	69.59	0.52	14.29	3.64	1.26		1.98	2.10	1.37	4.86	0.18	0.67	100.46	3.55	1.26		
2	70.18	0.52	13.24	1.82	3.38	0.07	2.20	1.44	2.37	4.84	0.24	1.14	100.44	2.04	1.13		
3	68.94	0.50	13.25	3.67	2.94	0.06	2.12	1.12	2.50	4.60	0.21	0.91	100.82	1.84	1.19		
4	69.29	0.48	12.88	0.34	5.15	0.05	0.53	1.9	1.70	5.14	0.22	2.32	100.00	3.02	1.09		
5	70.9	0.47	12.99	1.36	3.97	0.04	0.39	1.19	2.29	5.10	0.20	1.10	100.00	2.23	1.13		
序号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	L/H	δEu
	$w_B/10^{-6}$																
1	77.78	160.76	18.62	72.42	14.47	2.38	11.77	1.67	11.04	2.15	6.15	0.86	5.71	0.82	386.60	7.88	0.54
2	70.63	144.15	16.96	65.67	13.49	1.99	10.99	1.73	10.22	2.17	6.46	0.82	6.12	0.88	352.28	7.94	0.50
3	68.82	144.38	16.96	65.45	13.32	2.05	11.25	1.66	10.1	2.03	5.9	0.82	5.9	0.81	349.45	8.24	0.50
4	76.07	143.4	18.53	68.54	12.77	2.46	10.97	1.76	9.74	1.87	5.5	0.85	5.26	0.79	361.42	8.12	0.68
5	72.57	144.1	18.46	69.38	12.66	2.59	11.86	1.93	10.61	2.03	6.17	0.94	5.83	0.87	360.01	7.94	0.70
序号	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	Pb	Hf	Ta	U	Co	Cr	Ni	Nb/La		
	$w_B/10^{-6}$																
1	1507	201	139	55.43	407	38.77	31.01	45.58	11.68	2.31	5.3.0	5.20	28.78	6.27	0.50		
2	1370	174	156	57.34	394	34.23	28.84	41.10	11.20	2.02	5.33	5.86	14.25	6.71	0.49		
3	1308	185	115	52.07	357	34.39	28.37	39.38	10.27	2.01	5.15	6.11	29.49	5.77	0.50		
4	1369	271	109	47.55	472	43.2	24.3	41.2		2.6	3.7	9.0	16.5	12.0	0.57		
5	1570	228	133	54.02	438	40.1	20.8	44.6		3.1	3.9	8.1	16.5	13.3	0.55		

注:1~3 为本文数据(主量元素由宜昌地质矿产研究所分析,稀土元素和微量元素由广州地化所 ICP-MS 室分析);4,5 引自文献<sup>[12]</sup>; 1~3 为流纹岩,4 为英安一流纹质火山角砾岩,5 为流纹(斑)岩;L/H=LREE/HREE。

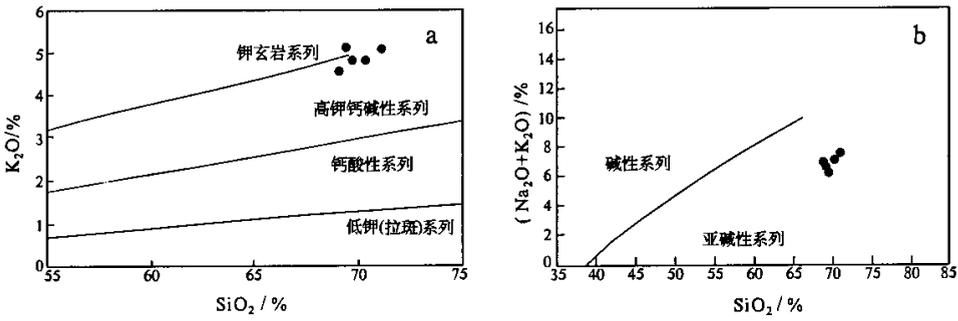


图 2 两江口火山岩的 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O(a)和 SiO<sub>2</sub>-(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)(b)图

Fig. 2 SiO<sub>2</sub> vs. K<sub>2</sub>O (a) and SiO<sub>2</sub> vs. (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) (b) diagrams of Liangjiangkou volcanic rocks

与来自大陆地壳的壳源酸性岩石组合具有相似的特征<sup>[13]</sup>。

### 3 稀土及微量元素地球化学

两江口火山岩稀土元素含量高(表 1),变化小( $349.45 \times 10^{-6} \sim 386.60 \times 10^{-6}$ ,平均为  $361.95 \times 10^{-6}$ );轻重稀土比值(LREE/HREE)较大(7.88~8.24),稀土元素球粒陨石标准化模式非常相似,均为轻稀土富集型(图 3,a);火山岩具有较明显的钕亏损, ( $\delta Eu = 0.50 \sim 0.70$ ),显示岩浆过程中有斜长石分离结晶作用。这一点与正常的岛弧性钙碱性系列中酸性火山岩和板内壳源中酸性岩浆岩相似。两江口火山岩代表性样品微量元素特征表现为亲石元素(Ba,Rb)和放射性元素(Th,U)明显富集,Rb 为( $174 \sim 271$ ) $\times 10^{-6}$ ,Ba 为( $1\ 308 \sim 1\ 570$ ) $\times$

$10^{-6}$ ,Th 为( $20.80 \sim 30.01$ ) $\times 10^{-6}$ ,U 为( $3.78 \sim 5.33$ ) $\times 10^{-6}$ ,分别为原始地幔中该元素丰度的数十倍至数百倍;过渡元素 Cr,Ni,Co 则明显亏损,仅为原始地幔中该元素丰度的数十分之一至数百分之一。在岩石不相容元素原始地幔标准化模式图上总体呈右倾型式,表现为大离子亲石元素(Rb,Th,U,K)明显富集的特点(图 3,b),同时也具有较显著的 Ba,Sr,P,Ti 亏损,这可能与斜长石、磷灰石和钛铁矿等矿物的分离结晶作用有关。所有样品均有 Nb,Ta 亏损,Nb/La 比值低(0.49~0.57)的特点,与桂东南钾玄质岩石无明显 Nb,Ta 亏损<sup>[6]</sup>特征不同,而与湘东南中生代花岗闪长岩特点近似<sup>[4]</sup>,具有岛弧钾质岩石的性质<sup>[13]</sup>。Nb,Ta 及 Ti 负异常和低的 Nb/La 值表明其不可能是软流圈直接部分熔融的产物<sup>[14]</sup>,其源区可能受到了俯冲组分的影响或者是源区在部分熔融过程中有钛酸岩矿

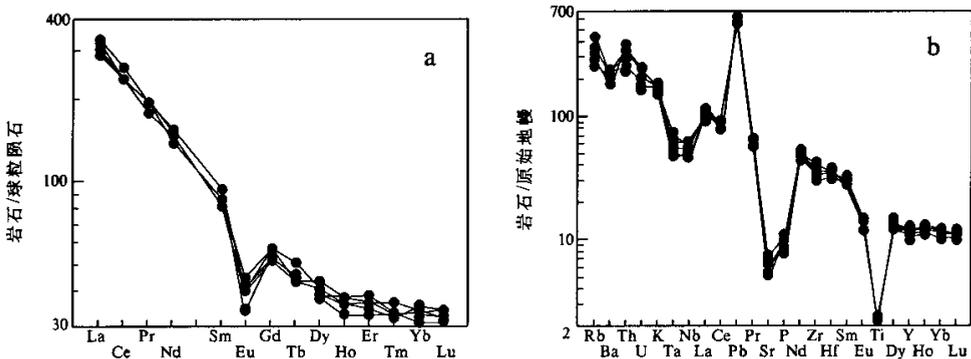


图 3 两江口火山岩的稀土元素球粒陨石标准化模式(a)和不相容元素原始地幔标准化模式(b)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized spidergrams (b) of Liangjiangkou volcanic rocks

物的残留<sup>[3]</sup>。王岳军等<sup>[4]</sup>在分析湘东南区的高钾岩石地球化学资料后认为源区有钛酸岩矿物残留的可能性不大,受到俯冲组分改造的岩石圈组分对这种岩浆的形成可能有重要影响;另一种可能是不同比例的软流圈组分与中下地壳物质混合后部分熔融的结果。

### 4 Sr,Nd 同位素地球化学

为数有限的同位素资料(表 2)表明,两江口高钾钙碱性火山岩具有较低的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值(-7.7~-7.6)和较高 ( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub> 值(0.71718~0.71800)。高的 SiO<sub>2</sub> 和低的  $\epsilon_{Nd}(t)$  揭示岩浆主要来源于地壳,是陆壳基底重熔的结果,与火山岩同源的西山花岗岩体的氧同位素资料( $\delta^{18}O > 10\text{‰}$ )

也佐证了这一点<sup>[12]</sup>。火山岩 Nd 模式年龄( $t_{DM}$ )为 1 496~1 502 Ma(平均为 1 499 Ma),明显地低于中国东南部中生代花岗岩 1.7~2.0 Ga 的 Nd 模式年龄集中区<sup>[10]</sup>,也比区域上铜山岭花岗闪长岩岩浆源区地壳端元组分的年龄( $1\ 753 \pm 26$ )Ma<sup>[5]</sup>和道县玄武岩中的片麻岩包体的变质年龄( $1\ 964 \pm 164$ )Ma<sup>[15]</sup>小得多。低 Nd 模式年龄可能有两种解释,一是源岩形成年龄年轻,二是花岗岩形成时有地幔物质的加入。由于本区基底岩石的  $t_{DM}$  年龄不倾向有年轻基底地壳的存在,因此,低 Nd 模式年龄火山岩的存在可能与地幔物质的混入有关。西山高钾火山岩正好位于 Gilder 等<sup>[8]</sup>、Chen 等<sup>[9]</sup>和陈江峰等<sup>[10]</sup>在华南内陆识别出的一条 NE 向高  $\epsilon_{Nd}(t)$ 、低  $t_{DM}$  花岗岩带上,这种 Nd 模式年龄相对低的流纹岩可能是拉张作用引起少量地幔物质的加入所致。

表 2 两江口火山岩的 Sr-Nd 同位素数据

Table 2 Sr,Nd isotopic data for Liangjiangkou volcanic rocks

样号	岩性	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$	$\epsilon_{Sr}(t)$	$t$ /Ma	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$	$\epsilon_{Nd}(t)$	$t_{DM}$ /Ma
D15-3	流	4.095	0.72726	0.71800	194						
D16-1	纹	3.214	0.72459	0.71733	185	154	0.1132	0.512160	0.512042	-7.6	1502
D17-1	岩	4.562	0.72749	0.71718	183		0.1125	0.512157	0.512040	-7.7	1496

注:由宜昌地矿所同位素地质研究室分析。

### 5 讨论

#### 5.1 火山岩形成的构造环境

前面已经提及,两江口高钾岩石微量元素具有某些岛弧型火成岩特征(Nb,Ta 亏损,Nb/La 低),但是已有的各种资料都显示出 180 Ma 以来湘南

以至华南地区已属于陆内造山作用阶段,不存在岛弧环境<sup>[16]</sup>,更不可能出现岛弧型火成岩。两江口高钾火山岩以富硅、过铝、富碱及 MgO,CaO 含量低、富含稀土元素和高场强元素等为特征。某些地球化学特征又与 A 型花岗岩类似(图 4),形成于板内拉张构造环境(图 5)。目前大量的研究已经证实

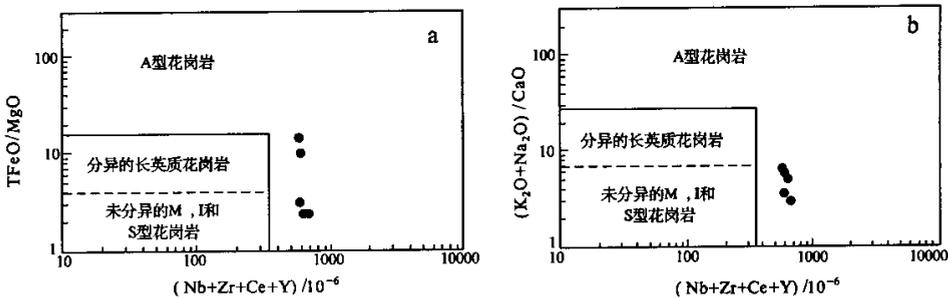


图 4 Nb+Zr+Ce+Y 对 TFeO/MgO(a)和(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/CaO(b)判别图

Figure 4 Nb+Zr+Ce+Y vs. TFeO/MgO (a) and (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/CaO (b) diagrams of Liangjiangkou volcanic rocks

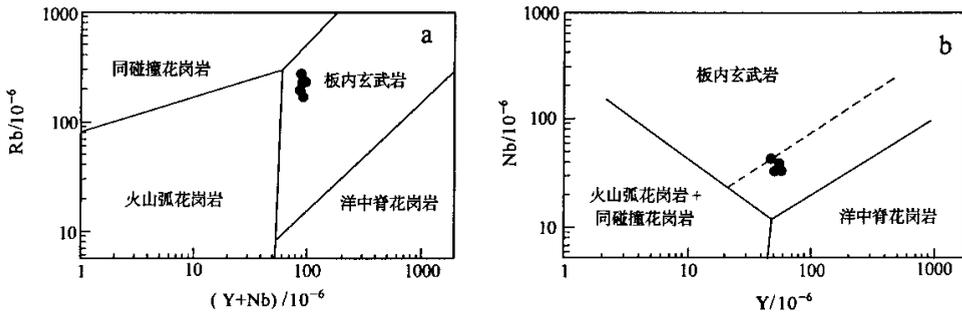


图5 (Yb+Nb)-Rb (a) 和 Y-Nb (b) 构造环境判别图

Fig. 5 (Yb+Nb)-Rb (a) and Y-Nb (b) diagrams of Liangjiangkou volcanic rocks

具有岛弧型微量元素特征的高钾岩石也可以形成于大陆板内环境<sup>[17,18]</sup>,这与我们的研究结果是一致的。因此可以推测两江口高钾火山岩为大陆板内构造环境的产物。

## 5.2 岩石成因

两江口高钾火山岩的  $\epsilon_{Nd}(t) = -7.7 \sim -7.6$ ,  $\epsilon_{Sr}(t) = 183 \sim 194$ , 而目前华南基底岩石的  $\epsilon_{Nd}(t) \leq -12$ ,  $\epsilon_{Sr}(t) > 200$ <sup>[19,20]</sup>, 因此高钾钙碱性岩浆单独通过地壳深熔作用形成的可能性不大, 如果没有地幔物质的参与也难以作为下地壳深熔作用产生高钾钙碱性岩浆提供足够的热能<sup>[4,14]</sup>。大陆地壳的  $^{87}Sr/^{86}Sr$  初始值平均值为 0.719<sup>[21]</sup>, 初始比值在 0.706~0.719 之间的花岗岩, 其岩浆来源主要为壳源, 但已受到了幔源物质的混染<sup>[22]</sup>。本区  $^{87}Sr/^{86}Sr$  初始值为 0.71718~0.71780, 略小于 0.719, 表明有少量幔源物质的加入, 岩石相对低的  $t_{DM}$  年龄和相对较高的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值也证明这一点。当然, 就本区而言地幔物质的加入是非常有限的, 其作用可能主要是提供热能。

岩石地球化学研究表明, 两江口高钾火山岩很可能与受到早期俯冲作用影响的岩石圈地幔有关, 或是软流圈岩浆与中下地壳物质混合后部分熔融的产物, 结合其形成的地质背景和稳定同位素资料分析, 我们认为后一种可能性更大。两江口高钾火山岩形成于燕山早期, 并且与湘东南高钾花岗闪长岩带 172~181 Ma 的形成年龄<sup>[4]</sup>和桂东南钾质侵入岩带 158~181 Ma 的侵位年龄<sup>[23]</sup>吻合。两江口高钾火山岩、湘东南高钾花岗闪长岩带<sup>[4]</sup>和桂东南

钾质侵入岩带<sup>[6]</sup>很可能共同构成华南中生代的一条高钾岩石带, 该带与陈江峰等<sup>[10]</sup>在华南内陆识别出的一条高 REE、高  $\epsilon_{Nd}(t)$ 、低  $t_{DM}$  中生代花岗岩带近于一致, 这些地方往往也是深断裂(如郴洲—蓝山深断裂、云开大山两侧断裂、大容山两侧断裂等)通过的地带。显然这些深断裂是幔源物质上升的通道, 大部分上涌的幔源物质可能没有侵入到上地壳, 而是留在地壳深处构成底垫物质。湘南地区早中生代(224 Ma)以来就存在多次幔源岩浆的底侵作用<sup>[4,15]</sup>, 由于岩浆的底侵作用必然导致该区岩石圈强烈拉张减薄、软流圈上隆, 地温梯度增高, 而引起幔源岩浆与中、下地壳物质的混合, 并部分熔融形成本区的高钾岩石。

## 6 结论

湘南两江口火山岩形成于燕山早期。岩石地球化学特征显示该火山岩属于亚碱性高钾钙碱性系列岩石, 形成于大陆板内构造环境。岩石富集 LREE 和 LILE, 但 Nb, Ta, Ti 及 P 亏损, 具有岛弧型岩石的微量元素配分模式, 暗示其岩浆源区可能是软流圈岩浆与中下地壳物质混合后部分熔融的产物。火山岩的形成与该区中生代软流圈上升、岩石圈伸展—减薄有关。

在成文过程中, 康先济研究员、赵子杰研究员提出了许多宝贵的意见, 野外工作期间得到了湖南地调院刘耀荣高工的大力帮助, 在此一并感谢。

## 参考文献:

- [1] Turner S, Arnaud N, Liu J, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. *J Petrol*, 1996, 37(1): 45—71.
- [2] Rogers NW, James D, Kelly SP. The generation of potassic lavas from the eastern Vinmga Province, Rwanda[J]. *J Petrol*, 1998, 39: 1223—1247.
- [3] Foley S, Amand N, Liu J. Potassic and ultrapotassic magmas and their origin[J]. *Lithos*, 1992, 28: 181—185.
- [4] 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 等. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征[J]. *岩石学报*, 2001a, 17(1): 169—175.
- [5] 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 等. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石 U—Pb 法定年及其成因指示[J]. *中国科学(D 辑)*, 2001b, 31(9): 745—751.
- [6] 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[J]. *科学通报*, 1999, 44(18): 1992—1998.
- [7] Nelson D R, McGulloch M T, Sun S S. The origins of ultrapotassic rocks as inferred from Sr, Nd and Pb isotopes [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1986, 50: 131—145.
- [8] Gilder SA, Gill J, Coe RS, et al. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China [J]. *J Geophys Res*, 1996, 101(B7): 16137—16154.
- [9] Chen JF, Jahn BM. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence[J]. *Tectonophysics*, 1998, 284: 101—133.
- [10] 陈江峰, 江博明. Nd, Sr, Pb 同位素踪和中国东南大陆地壳演化[A]. 郑永飞. 化学地球动力学论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1999. 255—264.
- [11] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志[J]. 北京: 地质出版社, 1988. 719.
- [12] 彭学军, 李泽泓, 倪艳军, 等. 湘南两江口火山岩的时代及其与西山岩体的成因联系[J]. *华南地质与矿产*, 2003, (1): 7—11.
- [13] Wilson M. *Igneous petrogenesis* [M]. London: Unwin Hyman Press, 1989, 295—323.
- [14] Miller C, Schuster R, Klotzli U, et al. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geological and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis [J]. *J Petrol*, 1999, 40(9): 1399—1424.
- [15] 郭锋, 范蔚茗, 林舸, 等. 湘南道县辉长岩包体的年代学研究及成因探讨[J]. *科学通报*, 1997, 42(15): 1661—1663.
- [16] 陈旭, 戎嘉余, Rowley DB 等. 对华南早古生代板溪群的质疑[J]. *地质论评*, 1995, 41(5): 389—398.
- [17] Wyborn D. The tectonic significance of Ordovician magmatism in the eastern Lachlan Fold Belt [J]. *Tectonophysics*, 1992, 214: 177—192.
- [18] Leat PT, Thompson RN, Morrison MA. Silitic magma derived by fractional-crystallization from Miocene minette, Elkhend Mountain, Colorado [J]. *Mineral Mag*, 1988, 52: 577—586.
- [19] 胡恭任, 章邦桐. 赣中变质基底的 Nd 同位素组成和物质来源[J]. *岩石矿物学杂志*, 1998, 17(1): 35—40.
- [20] 李献华. 诸广山岩体内中基性岩脉的成因初探——Sr, Nd, O 同位素证据[J]. *科学通报*, 1990, 35(16): 1247—1249.
- [21] Faure G. *Principles of isotope geology* (2nd ed) [M]. New York: John Wiley and Sons, 1986. 567.
- [22] 洪大卫, 谢锡林, 张季生. 花岗岩研究的同位素地球化学方法——以华南花岗岩为例[J]. 肖庆辉等. 花岗岩研究与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 71—101.
- [23] 徐磊明, 袁忠信. 清湖二长岩锆石 U—Pb 同位素年龄及其地质意义[J]. *广西地质*, 1992, 5(3): 225—235.

## Genesis of the Xishan high-K calc-alkaline volcanic rocks in South Hunan Province

FU Jian-ming<sup>1,2</sup>, XIE Cai-fu<sup>2</sup>, ZHANG Ye-ming<sup>2</sup>, PENG Song-bai<sup>2</sup>, LIU Yun-hua<sup>2</sup>

(1. *China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 2. *Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, China*)

**Abstract:** The Liangjiangkou volcanic rocks with the Rb-Sr isochron age of 154 Ma are characterized by high  $K_2O/Na_2O$  ratios and  $K_2O+Na_2O > 6\%$ , belonging to subalkalic high-K calc-alkaline series. Their chondrite-normalized REE patterns are characterized by enrichment of LREE with relatively obvious negative Eu anomalies ( $\delta Eu = 0.50 \sim 0.70$ ). Geochemically, the volcanic rocks are rich in LILE and poor in Nb, Ta, Ti and P, showing the characteristics of island arc volcanic rocks. High contents of  $SiO_2$  and low  $\epsilon_{Nd}(t)$  values ( $-7.7 \sim -7.6$ ) and relatively low  $t_{DM}$  values (averaging 1499 Ma) show that the magma was dominantly derived from the crust. Based on the geological characteristics and regional tectonic evolution history, it is concluded that forming of the Liangjiangkou volcanic rocks might be related to the asthenospheric upwelling and lithospheric extension and thinning during the Yanshanian Period.

**Key words:** volcanic rock; element geochemistry; petrogenesis; Yanshanian Period; lithospheric extension and thinning; South Hunan Province