

# 南岭中段诸广山南体燕山早期花岗岩地球化学特征及其形成的构造环境分析

马铁球 邝 军 柏道远 王先辉

(湖南省地质调查院, 湖南湘潭 411100)

**摘要:** 诸广山南体为一复式岩基, 形成于加里东期、印支期和燕山早期 3 个时代。本文着重讨论燕山早期主体花岗岩, 即中侏罗世三江口序列。该序列由 5 个岩石单元组成, 岩石类型为角闪石黑云母二长花岗岩—黑云母二长花岗岩—二云母二长花岗岩。较早次单元中富含镁铁质微粒包体, 经包体岩相学研究, 花岗岩浆具壳幔混合成因。 $\text{SiO}_2$  平均含量从早次 68.95% 向末次 76.30% 逐渐增加; 全碱较高,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  在 7.11%~8.24%, 平均为 7.73%, 且  $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ; ASI 值平均为 1.05 (0.92~1.19), 岩石为镁质—铁质, 准铝质—过铝质, 高钾钙碱性岩系。 $\Sigma\text{REE}$  含量中等, 平均为 213  $\mu\text{g/g}$ , 为轻稀土富集型, 铕亏损程度较大; 具 Ba、Nb、Sr、P、Ti、Eu、Ba 负异常和 Rb、U、Th、Nd、Zr、Sm、Y 正异常, 反映陆内构造—岩浆环境。 $I_{\text{Sr}}$  值为 0.7115~0.72466,  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值平均为 -10.97 (-10.0~-12.6),  $t_{\text{DM}}$  平均为 1.84 Ga (1.75~2.0 Ga), 与南岭中生代花岗岩平均值 (1.7~1.8 Ga) 相近, 反映成岩物质主要来源于中元古代地壳。多种氧化物与微量元素构造环境判别图解显示, 三江口序列花岗岩形成于挤压造山向非造山转换的后造山拉张环境, 同时也表明南岭乃至华南地区燕山早期构造环境为后造山而不是陆内裂谷。

**关键词:** 高钾钙碱性; 壳幔混源型; 地球化学; 后造山环境; 诸广山南体; 南岭

**中图分类号:** P558.12<sup>\*1</sup> **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)01-0119-13

诸广山南体位于南岭中段湘赣粤三省交界地带, 呈大型岩基产出, 出露面积达 2500 余平方千米, 是南岭中段花岗岩的重要组成部分, 也是南岭有色金属重要成矿花岗岩体之一。岩体内外接触带附近由于分布有诸如广东凡口特大型铅锌矿床、湖南小桓大型钨锡矿床、广东龙颈中—大型钨矿床以及湖南集龙—广东南雄一带的大—特大型铀矿床等, 长期以来一直成为许多地质工作者研究的重点。但是诸广山南体岩基巨大, 又地处三省交界的高山地带, 目前对整个岩基的系统研究资料缺乏, 已有的资料十分零散, 且局限于各个点上。前人在未对全岩基进行全面研究的情况下, 仅根据局部资料对岩体的认识十分有限, 且得出相反的结论。邓访陵<sup>[1]</sup>根据岩体南东

扶溪—澜河一带花岗岩同位素测年数据, 明确指出诸广山南体主体是在加里东期形成的。而湖南区域地质调查队在该区部分地区进行 1:5 万区调后, 认为诸广山南体主体应为燕山早期的产物<sup>①</sup>。近几年来, 对南岭岩浆岩特别是对该区玄武岩类、钾玄岩类、A 型花岗岩类等的研究表明, 华南地区在燕山早期侏罗纪时岩石圈便发生了伸展作用<sup>[2-19]</sup>, 但这一拉张伸展构造环境是“后造山”<sup>[3, 12, 20]</sup>还是“陆内裂谷”<sup>[16, 18]</sup>仍有争议。

笔者在 1:25 万郴州市幅区调工作中, 对岩基进行了较详细的分解, 并对前人所作近百余个同位素年龄进行了研究并发现, 诸广山南体为一复式岩基, 同位素年龄跨度较大 (128~548 Ma)<sup>[11-5]</sup>, 岩基东部南北两侧以益将、扶溪、富竹、澜河为

收稿日期: 2005-07-19; 改回日期: 2005-10-18

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (200213000035) 资助。

作者简介: 马铁球, 男, 1956 年生, 高级工程师, 长期从事区域地质调查工作; E-mail: matieqiu18@sina.com。

① 湖南省地矿局区调队, 1:5 万汝城县幅、大坪圩幅区调报告, 1985。

② 全国同位素地质年龄数据汇编小组, 全国同位素地质年龄数据汇编 (第一、二、三集), 1975~1977。

③ 广东省地质局区调队, 1:20 万韶关幅区调报告, 1982。

④ 湖南省地矿局区调队, 诸广山花岗岩专题研究报告, 1983。

⑤ 广东省地矿局区调队, 1:5 万黄坑幅区调报告, 2000。

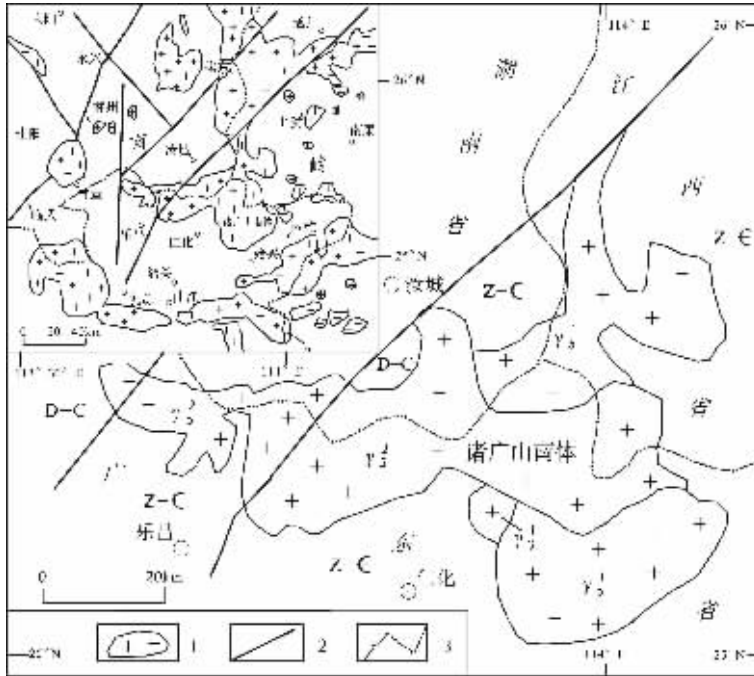


图 1 诸广山南体地质略图

1—花岗岩体;2—断裂;3—省界;Z-ε—震旦—寒武系;D-C—泥盆—石炭系; $\gamma_3^1$ —加里东期花岗岩; $\gamma_5^1$ —印支期花岗岩; $\gamma_5^2$ —燕山期花岗岩

Fig.1 Geological sketch map of the South Zhuguangshan pluton

1—Granite pluton;2—Fault;3—Province boundary;Z-ε—Sinian—Cambrian;D-C—Devonian—Carboniferous;

$\gamma_3^1$ —Caledonian granite; $\gamma_5^1$ —Indosinian granite; $\gamma_5^2$ —Yanshanian granite

代表的花岗闪长岩、石英闪长岩、花岗片麻岩形成年龄为370~548 Ma,属加里东期产物;热水、黄坑、闻韶一带的二长花岗岩年龄210~255 Ma,为印支期;而主体二长花岗岩形成年龄在179~128 Ma(绝大多数在179~149 Ma),显然是燕山早期的产物。一般较早时代形成的花岗岩体均被较晚时代形成的花岗岩体所蚕食成残留体状产出,出露面积也越来越小。笔者对燕山早期(主体)花岗岩包括岩石学、岩石地球化学、同

位素示踪、岩石成因与构造背景等方面进行了系统研究,认为诸广山南体主体为中侏罗世晚期—晚侏罗世早期形成的高钾钙碱性花岗岩,具有岩浆壳幔混合成因,形成于区域构造体制由挤压向伸展转换的后造山环境。

## 1 地质概况

诸广山南体燕山早期三江口序列花岗岩呈近东西向

表 1 三江口序列花岗岩岩石谱系单位划分及各单元矿物平均含量(%)

Table 1 Lithodemic units of granites of the Sanjiangkou sequence and average contents of minerals of each unit(%)

单元	岩性	同位素年龄 <sup>①②</sup> (Ma)	斜长石	An	钾长石	石英	黑云母	白云母	角闪石
介头	细粒二云母二长花岗岩	RS-w155、KA-m128	31.50	23	34.11	28.91	2.10	3.38	
杉树排	细粒斑状二云母二长花岗岩	KA-m173	31.82	23	36.33	27.74	3.38	0.73	
道仕仙	中细粒二云母二长花岗岩	RS-w149、162	30.81	27	35.19	28.59	4.97	0.44	
岩前	细中粒斑状黑云母二长花岗岩	Z161、KA-b156	30.33	30	36.89	27.78	4.67	微	
小桓	中粒斑状角闪黑云母二长花岗岩	Z179、RS-w174	33.10	36	29.70	27.70	7.62		1.88

注:RS-w—全岩铷锶等时线年龄;KA-m、KA-b—白云母、黑云母钾氩法年龄;Z—锆石铀铅模式年龄。

① 湖南省地矿局区调队. 1:5万汝城县幅、大坪圩幅区调报告,1985.

② 全国同位素地质年龄数据汇编小组. 全国同位素地质年龄数据汇编(第一、二、三集),1975-1977.

展布,侵入于震旦—寒武系、泥盆—石炭系、下侏罗统高家田组及加里东期、印支期花岗岩中,呈大岩基产出,出露面积约 2 000 km<sup>2</sup>(图 1)。从下至上可划分 5 个岩石单元(表 1),岩石类型主要为角闪石黑云母二长花岗岩—黑云母二长花岗岩—二云母二长花岗岩。各单元之间接触关系及先后次序清楚,大多呈脉动侵入接触,部分呈涌动侵入接触,为同源岩浆演化序列。花岗岩所侵入的围岩热接触变质现象明显,常见有大理岩化、角岩化、硅化、夕卡岩化等,变质带宽一般在 500~800 m。

岩石中暗色闪长质微粒包体较发育,特别是在较早次小桓、岩前单元中分布数量最多,个体大;包体具半自形细粒、嵌晶等火成岩结构,颜色比寄主岩暗,结构比寄主岩细;包体内出现明显的不平衡矿物组合和结构,普遍含有过冷结晶的针状、骸晶状磷灰石,其间包裹有寄主岩的卵球状碱性长石斑晶和混圆状的石英颗粒。从暗色镁铁质微粒包体岩相学特征表明,花岗岩浆的形成可能发生过岩浆混合作用,即基性岩浆和酸性岩浆混合而成<sup>[2]</sup>。各单元重矿物组合较复杂,并以普遍出现锆、钽矿物和钨、锡、稀土、铀钍矿物及电气石、石榴石和变种锆石等为特征。

## 2 分析方法

主元素、微量元素及稀土元素分析在湖北省武汉综合岩矿测试中心完成。主元素分析方法为:Si 和烧失量采用重量法;Al 和 Fe<sup>2+</sup>采用容量法;Fe<sup>3+</sup>、Ti 和 P 采用分光光度法;K、Na、Ca、Mg 和 Mn 采用原子吸收光谱法。微量元素及稀土元素

分析采用 PE Elan6000 型等离子体质谱测定(ICP-MS),除 Nb、Ta 采用碱溶法测定外,其他均采用酸溶法测定,以 AMH-1 和 GBPG-1 为参考标样,相对偏差(RSD)均小于 10%。

Sr、Nd 同位素分析在中国地质调查局宜昌地质矿产研究所中南实验检测中心完成。全岩样品采用 HF+HClO<sub>4</sub> 混合酸进行分解,采用直径 6 mm、长 100 mm 的 Dowex50×8 阳离子树脂交换柱,用 HCl 作为淋洗液分离 Rb、Sr 和 REE,Sm、Nd 的进一步分离采用直径 6 mm、长 120 mm 的 P204 萃淋树脂柱,用 HCl 作为淋洗液。全部化学分离流程均在超净化实验室中进行,全流程本底 Sr 为 1×10<sup>-9</sup>g, Nd 为 2.13×10<sup>-10</sup>g,质谱分析在 MAT261 多接收质谱仪上完成,用 <sup>88</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr=8.3752 和 <sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd=0.7219 对 Sr 和 Nd 作质量分馏校正,计算机自动处理数据,采用国际标准样 NBS987(Sr)和本实验室标准 ZkbzNd(Nd)控制仪器工作状态,国家一级标准物质 GBW04411(Rb-Sr)和 GBW04419(Sm-Nd)监控分析流程。精度 <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr 优于 0.5%,衰变常数采用 λ(<sup>87</sup>Rb)=1.42×10<sup>-11</sup> a<sup>-1</sup>,λ(<sup>147</sup>Sm)=6.54×10<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>。

## 3 岩石地球化学特征

### 3.1 主元素

各单元岩石化学分析结果见表 2。SiO<sub>2</sub> 平均含量从早次 68.95%向末次 76.30%逐渐增加;全碱较高,Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 在 7.11%~8.24%,平均为 7.73%,且 K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O;Fe、Mg、P、Ti、Ca

表 2 花岗岩岩石化学成分(%)

Table 2 Petrochemical composition of granites (%)

样号	单元	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>	灼失	Σ	ASI	ANK	MALI	F/(F+M)
C70-2		76.54	0.06	12.25	0.25	1.73	0.11	0.10	0.29	3.36	4.29	0.02	0.50	99.05	1.15	1.20	7.36	0.95
C77-1	介头	76.34	0.08	12.31	0.13	1.72	0.03	0.08	0.98	3.39	4.58	0.01	0.01	99.66	1.00	1.17	6.99	0.96
C79		76.10	0.03	12.79	0.14	1.82	0.09	0.17	0.41	3.84	3.99	0.03	0.15	99.56	1.12	1.20	7.42	0.91
C93-2		76.20	0.07	12.26	0.20	1.92	0.05	0.13	0.78	3.01	4.95	0.01	0.01	99.59	1.05	1.19	7.18	0.94
C63		67.63	0.49	15.39	0.61	2.85	0.07	0.85	2.83	3.22	4.60	0.28	0.55	99.37	1.00	1.50	4.99	0.77
C71	杉树排	76.10	0.08	12.17	0.29	2.15	0.07	0.15	0.72	3.47	4.24	0.02	0.10	99.56	1.05	1.18	6.99	0.93
C66		72.85	0.26	13.13	0.28	2.70	0.06	0.48	1.28	2.87	5.14	0.10	0.35	99.50	1.04	1.28	6.73	0.85
C91		73.78	0.18	13.39	0.08	1.80	0.06	0.31	1.38	2.97	5.27	0.05	0.30	99.57	1.02	1.26	6.86	0.85
C65-2		71.37	0.31	13.30	1.54	1.75	0.05	0.54	1.43	2.70	5.12	0.12	1.38	99.61	1.06	1.33	6.39	0.76
C85	道仕仙	74.51	0.14	13.05	0.32	2.20	0.06	0.29	0.65	3.09	4.38	0.27	0.60	99.56	1.19	1.33	6.82	0.88
C90		72.75	0.24	13.52	0.38	2.60	0.06	0.37	0.86	2.69	5.51	0.15	0.38	99.51	1.13	1.30	7.34	0.88
C62-1		68.01	0.51	13.74	0.75	3.97	0.08	1.22	2.55	2.80	4.71	0.15	0.82	99.31	0.96	1.42	4.96	0.76
C67		71.76	0.40	13.07	1.07	2.63	0.07	0.84	1.81	2.56	4.55	0.11	0.60	99.47	1.05	1.43	5.30	0.76
C75	岩前	75.67	0.07	12.40	0.47	2.10	0.07	0.15	0.75	3.28	4.57	0.03	0.01	99.57	1.06	1.20	7.10	0.93
C76		74.36	0.19	12.35	0.01	2.68	0.06	0.44	1.31	2.62	5.15	0.05	0.25	99.47	1.01	1.25	6.46	0.86
C93-1		74.40	0.14	12.52	0.20	2.58	0.08	0.26	1.05	2.85	5.37	0.03	0.01	99.49	1.01	1.19	7.17	0.91
C95		75.33	0.14	12.15	0.15	2.85	0.07	0.22	0.97	2.95	4.61	0.05	0.01	99.49	1.05	1.23	6.59	0.93
C64		69.04	0.48	13.87	0.99	2.50	0.09	1.05	2.89	3.05	4.45	0.15	0.9	99.46	0.92	1.41	4.61	0.70
C68	小桓	69.46	0.49	13.47	1.22	3.40	0.08	1.12	2.51	2.65	4.46	0.15	0.35	99.36	0.98	1.47	4.60	0.75
C69		68.36	0.53	14.14	0.92	3.95	0.08	1.13	1.93	2.37	4.89	0.16	0.85	99.31	1.11	1.54	5.33	0.78

注:ASI—铝饱和指数(Al/Ca-1.6P+Na+K.摩尔比);ANK—碱度指数(Al/Na+K 摩尔比);MALI—钙碱指数(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-CaO,%);F/(F+M)—镁铁百分比值(FeO/(FeO+MgO))。

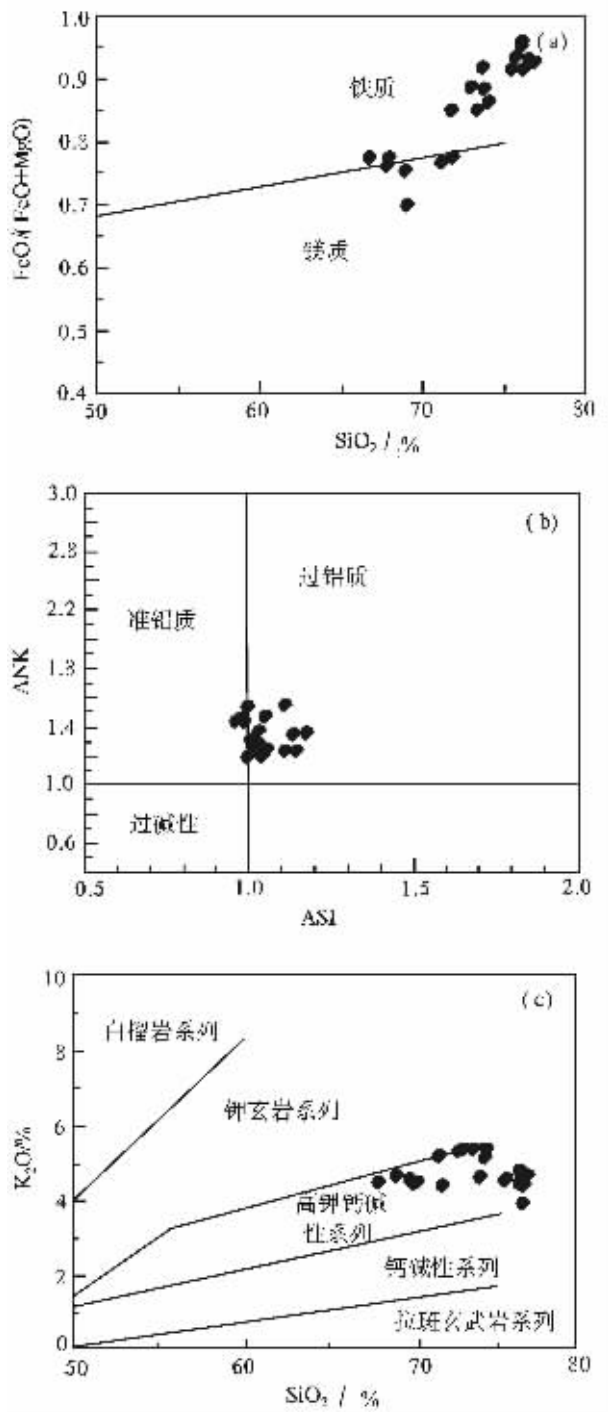


图2 花岗岩  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})-\text{SiO}_2$ (a),  $\text{ANK}-\text{ASI}$ (b),  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (c)图解 (a-c 据 Frost 等, 2001)

Fig.2 Diagrams of  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})-\text{SiO}_2$  (a),  $\text{ANK}-\text{ASI}$  (b),  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  (c) (a-c after Frost et al. 2001)

等含量从早次单元到晚次单元则有明显降低趋势。在主元素及特征参数判别图解中(图2), 主要为铁质岩系, 较早次小

框、岩前单元(部分)属镁质岩系(图2-a); ASI 值大多大于1, 平均为1.05(0.92~1.19), 下部单元中则有部分小于1, 为准铝质岩系, 上部单元则为过铝质(图2-b); 而经硅、钾等相关图解中, 岩石属高钾钙碱性岩系(图2-c)。岩石为镁质—铁质, 准铝质—微过铝质, 高钾钙碱性岩系。

### 3.2 稀土元素

岩石稀土元素分析表明(表3), 各单元稀土元素总量较高, 除较晚次单元中个别样较低外, 一般在  $200 \mu\text{g/g}$  以上, 平均为  $213 \mu\text{g/g}$ ; 轻重稀土比值( $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ )和  $(\text{Ce}/\text{Yb})_n$  比值在前四次单元中较大, 为轻稀土富集型; 而未次单元较小, 绝大多数小于1, 为重稀土富集型, 反映岩浆具有良好的分异性。钕亏损程度从早到晚有明显的变大趋势,  $\delta\text{Eu}$  值平均分别为  $0.57 \rightarrow 0.33 \rightarrow 0.27 \rightarrow 0.36 \rightarrow 0.15$ ;  $\delta\text{Ce}$  值较大  $0.59 \sim 1.36$ , 平均为0.84, 具铈的弱负异常。球粒陨石标准化配分曲线呈向右倾斜的轻稀土富集型, 钕谷较大(图3)。

### 3.3 微量元素

各单元岩石微量元素(表4)以高亲铜成矿元素及稀有、稀土、挥发份等元素为特征, 不相容元素具较高的 Rb、Th 丰度, 暗示岩石具过铝质花岗岩特征; 同时贫 Ba 和 Nb 又显示岩石成分具陆壳物质特点。在原始地幔标准化蛛网图上(图4), 以 Ba、Sr、P、Ti 等具较强的负异常, Nb 具弱的负异常, Rb 和 Th 正异常及微弱的 Ce、Zr、Hf 和 Sm 正异常为特征, 曲线样式与 S 型花岗岩不相容元素配分样式相近<sup>[2]</sup>。

### 3.4 Sr、Nd 同位素

将本文所测结果和收集到前人成果数据列于表5中。其结果反应为  $I_S$  值较大, 大于0.7115(平均0.7167);  $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$  值平均为167.70(74.44~265.43),  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值较小, 平均为-10.97(-13.0~-10.0),  $t_{\text{DM}}$  较大, 平均为1.84Ga (1.75~2.0 Ga);  $t_{\text{DM}}$  年龄与中国华南中生代花岗岩相同(1.7~2.0 Ga)<sup>[23]</sup>。Sr、Nd 同位素示踪表明, 三江口序列花岗岩与澳大利亚东南部 Lachlan 褶皱带 S 型花岗岩具有类似的 Sr、Nd 同位素组成 ( $\epsilon_{\text{Sr}}(t) = 77 \sim 204$ ,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -6.1$  和  $-9.8$ )<sup>[24]</sup>,  $I_S$  值大于0.707<sup>[25]</sup>, 与大陆地壳平均值相近(0.719)<sup>[26]</sup>。全岩氧同位素  $\delta^{18}\text{O} = 9.05\% \sim 12.0\%$  (SMOW); 因此可以推测花岗岩石主要是由古元古代陆壳物质改造形成。

## 4 构造环境分析

诸广山南体燕山早期花岗岩呈东西向狭长带状产出, 与南岭东西向构造带方向一致。接触边界呈明显的锯齿状、港湾状, 岩体外接触变质带较窄, 且未见同侵位挤压剪切构造形迹。岩体地质、地球化学特征及区域资料表明, 岩体均显示出受张性断裂控制, 沿张性断裂充填的就位机制。较早次的小框、岩前单元以黑云母二长花岗岩为主, 小框单元中普遍含有角闪石; 岩石化学上属高钾钙碱性、准铝质岩系, 微量元素具板内花岗岩的特征; 岩石内含有大量的暗色闪长质微粒包体, 其中火成结晶结构、快速淬火结构、斑纹结构, 针状、骸晶状磷灰石等十分普遍, 均反映出壳幔岩浆混合作用的典型

表 3 花岗岩稀土元素丰度( $\mu\text{g/g}$ )Table 3 REE abundance ( $\mu\text{g/g}$ ) in granites

样号	单元	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma$	$\Sigma\text{Ce/SY}$	$\delta\text{Eu}$	$d\text{Ce}$	$(\text{Ce/Yb})_n$
C70-2		4.55	19.31	1.93	6.49	2.97	0.05	3.95	1.00	8.05	1.88	7.07	1.37	11.67	2.09	57.99	130.38	0.37	0.05	1.36	0.33
C77-1	介头	3.52	6.02	1.22	6.29	2.32	0.23	2.97	0.64	4.66	0.97	3.00	0.50	3.20	0.50	25.27	61.29	0.47	0.30	0.61	0.38
C79		12.78	32.72	4.87	20.46	8.68	0.04	9.62	1.94	12.67	2.24	6.78	1.26	8.38	1.33	73.06	196.84	0.37	0.15	0.86	0.79
C93-2		27.92	43.14	8.23	33.82	9.73	0.31	10.49	1.95	12.41	2.45	7.21	1.11	7.18	1.04	68.53	235.51	1.10	0.10	0.59	1.21
C63	杉树排	72.90	136.3	15.30	53.89	8.33	1.60	5.92	0.80	3.94	0.76	2.14	0.34	2.18	0.33	19.31	324.05	8.07	0.72	0.82	12.60
C71		16.59	38.90	5.41	22.48	8.55	0.20	11.35	2.32	15.51	2.94	8.49	1.34	8.28	1.16	90.01	233.54	0.65	0.07	0.85	0.95
C66		37.77	72.75	8.72	30.94	6.83	0.70	5.88	1.00	5.79	1.10	3.12	0.52	3.22	0.47	29.83	208.64	3.10	0.36	0.81	4.57
C91		36.81	74.91	9.56	36.12	8.22	0.70	7.85	1.44	9.11	1.84	5.60	0.90	5.88	0.87	52.90	252.70	1.93	0.29	0.82	2.58
C65-2	道仕仙	44.34	85.83	9.82	36.76	7.39	0.86	6.57	1.04	5.91	1.12	3.07	0.49	3.15	0.46	30.14	236.94	3.56	0.41	0.83	5.51
C85		13.84	28.77	3.72	13.01	3.01	0.14	2.64	0.50	2.63	0.44	1.10	0.16	0.87	0.12	11.86	82.80	3.08	0.16	0.82	6.68
C90		46.83	100.10	11.90	43.72	8.72	0.61	7.05	1.10	5.79	1.02	2.55	0.36	2.14	0.30	25.40	257.6	4.64	0.25	0.87	9.45
C62-1	岩前	44.20	81.83	9.62	35.82	6.74	1.13	5.68	0.93	5.41	1.08	3.10	0.49	3.20	0.46	29.01	228.71	3.63	0.60	0.80	5.17
C67		37.05	67.30	8.69	30.34	5.78	0.92	5.00	0.81	4.78	0.94	2.68	0.43	2.87	0.44	25.74	193.76	3.44	0.56	0.76	4.74
C75		19.67	42.21	5.97	23.59	7.60	0.22	8.72	1.73	11.01	2.14	6.33	1.02	6.67	1.07	58.75	196.71	1.02	0.09	0.81	1.28
C76		31.53	60.86	7.37	26.99	5.59	0.56	5.114	0.90	5.61	1.12	3.45	0.60	4.09	0.62	32.10	186.53	2.48	0.35	0.81	3.01
C93-1		40.21	79.70	9.26	34.38	7.51	0.50	7.11	1.41	8.66	1.79	5.36	0.88	5.39	0.82	52.43	255.41	2.05	0.23	0.84	2.99
C95		34.57	70.19	8.93	33.13	8.20	0.39	7.75	1.38	8.41	1.61	4.66	0.73	4.65	0.69	43.41	228.69	2.12	0.16	0.82	3.05
C64	小桓	46.21	87.24	10.21	37.07	6.85	1.16	5.67	0.91	5.10	1.01	2.77	0.44	2.77	0.44	26.59	234.46	4.13	0.61	0.81	6.37
C68		47.59	91.72	11.06	39.37	7.66	1.18	6.78	1.08	6.18	1.20	3.33	0.54	3.46	0.51	31.04	252.68	3.67	0.54	0.81	5.36
C69		42.97	104.7	10.68	38.57	7.73	1.20	6.49	1.09	6.38	1.26	3.55	0.60	3.96	0.60	32.91	262.68	3.62	0.55	1.00	5.34

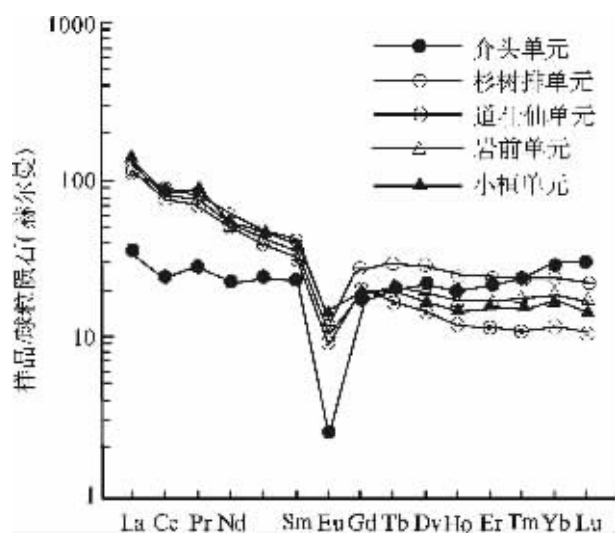


图 3 三江口序列稀土元素配分型式

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of granites of the Sanjiangkou sequence

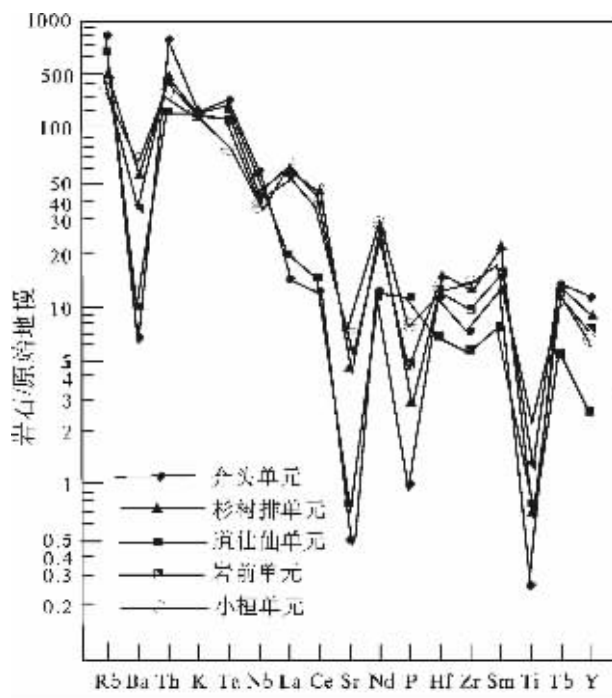
图 4 花岗岩微量元素原始地幔标准化蛛网图  
(原始地幔数据 Wood, 1979)

Fig.4 Primitive mantle-normalized trace element spidergram for granites (primitive mantle data from Wood, 1979)

特征。

近年来的研究发现南岭东段燕山早期的赣南寨背岩体<sup>[2]</sup>与陂头岩体<sup>[23]</sup>均为 A 型花岗岩, 指示燕山早期为拉张环境。而在南岭中段也有研究表明在中侏罗世晚期—晚侏罗世早期存在显著的深部壳幔作用及岩石圈伸展, 如千里山岩体与骑田岭岩体<sup>[7, 17, 21]</sup>的主体形成过程中均有强烈的壳—幔混合作用, 而其成岩年代主要为 152~163 Ma<sup>[17, 27-31]</sup>, 与三江口序列属

同时代产物。张敏等<sup>[23]</sup>研究认为南岭中段燕山早期高钾钙碱性的东大山岩体侵位在岩石圈减薄和伸展的构造背景。王岳军等<sup>[23]</sup>指出, 宝山与水口山中生代花岗岩闪长质小岩体(172~

表 4 花岗岩微量元素丰度( $\mu\text{g/g}$ )  
Table 4 Contents of trace elements in granites ( $\mu\text{g/g}$ )

样号	单元	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Sb	Hg	Sr	Ba	V	Th	U	Cl
C70-2		20.38	42.5	7.22	5.60	63.0	66.2	44	0.042	4.2	0.6	0.037	7	77	9.8	28.2	22.6	50
C77-1	介头	3.44	6.6	8.40	1.60	67.1	58.1	16	0.056	2.6	0.3	0.039	17	35	9.3	47.0	38.4	90
C79		12.04	65.6	8.40	29.3	48.8	42.9	53	0.122	2.4	0.3	0.111	4	30	6.6	12.8	6.8	110
C93-2		3.61	23.6	5.71	0.30	164.7	57.8	56	0.069	1.7	0.3	<0.005	18	51	9.7	53.2	18.7	160
C63	杉树排	6.58	17.0	1.02	1.5	95.5	33.2	82	0.051	2.7	0.3	0.016	303	942	45.7	25.1	6.7	10
C71		13.63	32.1	8.67	0.8	65.7	51.8	39	0.038	4.5	0.3	0.025	19	57	11.1	37.8	18.4	100
C66		227.6	23.5	8.30	0.6	68.4	50	49	0.065	3.0	0.5	0.009	88	404	26.0	32.5	9.7	10
C91		5.18	32.2	1.94	3.2	212.1	53.9	69	0.043	1.6	0.2	0.042	69	267	21.9	55.1	21.7	70
C65-2	道仕仙	9.66	27.0	9.81	0.9	40.0	40.9	35	0.056	3.0	0.4	0.015	76	446	26.1	38.5	9.1	30
C85		10.31	45.5	8.48	7.7	58.5	16.8	50	0.193	30.9	0.4	0.045	17	69	12.8	14.0	17.8	30
C90		4.93	15.4	8.03	1.9	37.8	41.6	62	0.063	2.9	0.4	0.021	58	248	22.8	47.0	11.9	70
C62-1	岩前	10.64	14.9	7.27	0.9	59.2	36.9	58	0.058	5.2	0.5	0.019	156	611	64.5	27.9	14.0	180
C67		4.90	11.4	5.45	0.3	51.9	37.9	55	0.077	1.7	0.3	0.011	127	397	50.8	33.1	18.8	10
C75		8.32	25.9	8.48	0.4	51.0	49.2	42	0.035	4.0	0.4	<0.005	24	71	10.1	33.8	8.4	50
C76		3.52	17.1	6.15	0.2	174.4	53.7	56	0.031	3.9	0.3	<0.005	70	198	26.5	40.7	21.9	90
C93-1		2.28	20.0	7.66	0.2	55.8	49.8	65	0.043	3.4	0.4	0.008	52	156	19.6	49.6	16.3	50
C95		3.03	27.0	9.78	0.2	31.5	44.9	48	0.043	3.2	0.4	0.029	336	136	13.6	45.8	13.7	280
C64	小桓	50.28	12.6	1.79	1.0	35.0	32.2	79	0.166	1.5	0.3	0.008	205	463	67.4	34.3	7.2	10
C68		9.06	15.3	4.33	0.7	94.0	51.2	68	0.040	2.2	0.6	0.008	157	502	65.6	34.4	8.8	100
C69		4.43	10.1	5.53	0.6	37.4	36.8	69	0.047	2.6	0.4	0.071	129	562	70.1	36.0	10.5	140
维氏值(1962)		1.5	3	1	0.01	20	20	60	0.05	1.5	0.26	0.08	300	830	40	18	3.5	240
样号	单元	Co	Ni	Li	Be	Ta	Nb	Zr	Hf	Rb	Cs	Cr	Ga	Sc	Cd	F	B	
C70-2		2.4	7.8	75.4	9.9	24.2	43.3	104	5.7	1044.4	72.6	20.2	15.7	9.7	0.05	338	8.6	
C77-1	介头	3.0	5.5	13.4	7.2	5.2	25.7	78	3.1	380.2	16.8	15.3	16.1	1.8	0.03	158	5.9	
C79		2.7	6.2	229.5	40.5	17.3	51.2	46	2.5	860.6	34.5	15.5	30.3	8.5	0.24	2234	17.0	
C93-2		3.0	8.0	54.5	6.3	3.1	20.7	98	4.0	440.1	21.2	14.5	15.4	2.9	0.18	899	5.7	
C63	杉树排	7.5	6.2	102.6	5.6	2.7	20.6	228	6.2	233.2	28.9	11.0	19.6	4.5	0.07	955	16.0	
C71		3.0	6.3	174.4	15.7	9.1	37.4	90	3.9	515.9	63.3	20.0	18.8	7.4	0.02	1754	18.0	
C66		5.2	9.6	84.2	8.0	4.3	24.5	137	4.8	379.4	29.4	7.5	15.8	5.0	0.12	1192	11.0	
C91		3.6	5.4	58.6	5.8	4.9	22.9	145	7.6	387.9	21.2	11.3	17.5	5.2	0.05	1117	10.0	
C65-2	道仕仙	5.1	7.9	80.9	5.3	3.1	27.7	173	6.3	426.5	37.6	13.8	15.7	6.1	0.05	1882	9.4	
C85		3.2	7.5	181.6	7.2	8.2	34.8	61	2.2	558.6	74.1	7.6	19.4	3.8	0.09	2243	129.0	
C90		4.3	8.9	80.4	8	3.8	29.9	134	5.0	446.7	21.2	14.9	24.4	4.0	0.06	1570	13.0	
C62-1	岩前	8.6	10.4	70.3	5.7	3.3	21.6	142	5.6	295.5	30.0	24.7	14.7	9.0	0.1	929	6.5	
C67		7.2	10.5	85.3	6.9	3.4	20.9	133	4.4	285.3	20.1	16.0	13.6	5.9	0.25	631	9.3	
C75		3.1	6.3	154.6	10.8	7.2	31.0	72	3.1	525.0	33.2	13.7	19.4	5.6	0.07	1450	13.0	
C76		4.9	9.9	68.0	7.3	4.6	23.0	99	3.8	408.7	24.5	12.6	17.5	4.2	0.04	1028	6.5	
C93-1		3.9	9.5	130.4	6.0	4.4	22.7	97	4.1	409.6	27.8	17.0	14.9	4.5	0.11	1615	8.6	
C95		3.4	7.3	185.4	6.5	5.4	27.6	98	4.6	439.4	25.0	27.5	15.4	4.6	0.14	1683	12.0	
C64	小桓	7.8	8.8	238.7	7.7	2.7	19.5	136	5.6	294.6	31.1	16.6	18.1	7.7	0.16	2950	6.9	
C68		8.8	11.2	95.7	5.8	3.7	21.9	173	5.4	271.7	19.6	34.7	14.8	8.0	0.05	867	8.3	
C69		9.4	11.0	179.4	7.8	3.3	24.2	180	6.7	330.6	30.0	13.2	19.2	8.7	0.11	1116	16.0	
维氏值(1962)		5	8	40	5.5	3.5	20	200	1	200	5	25	20	0.05	0.1	800	15.0	

维氏值为维诺格拉多夫花岗岩平均值。

173 Ma)的形成也与燕山早期岩石圈的伸展-减薄作用有关。

如前述,三江口序列花岗岩的微量元素蛛网图和稀土元素配分曲线与寨背岩体、陂头岩体及大东山岩体十分相似,暗示其形成于相似的拉张环境。由于印支运动使华南地区经受的一次重要的挤压造山运动,而南岭地区在燕山早期缺乏陆内俯冲和地壳增生的证据,但深部构造岩浆活动强烈,紧随华南印支期挤压造山运动而来的燕山早期的构造松弛和拉张减薄,很可能是导致地幔物质上涌、地壳物质重熔、壳幔

相互作用和三江口序列花岗岩形成的地质动力学背景。

综上所述,南岭中段诸广山南体中的三江口序列花岗岩形成于拉张构造环境无疑,但属后造山拉张环境还是裂谷拉张环境,需做进一步的分析判别。在 Maniar 和 Piccoli(1989)多组主元素构造环境判别图解中,三江口序列花岗岩清楚显示为后造山花岗岩类(POG)(图 5),而不是裂谷花岗岩。在部分较稳定的微量元素构造环境判别图中(图 6),各样点大多落入板内花岗岩或与同碰撞花岗岩的分界线附近,也暗示

表 5 花岗岩 Sr-Nd-δ<sup>18</sup>O 同位素组成  
Table 5 Sr, Nd and O isotopic compositions of granites

单元	样号	年龄	Rb/10 <sup>-6</sup>	Sr/10 <sup>-6</sup>	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	Sm	I <sub>s</sub>	δ <sup>18</sup> O‰(SMOW)	资料来源
介头	C79	RS-w155						0.7115	12.0	本文
	Z96									
道仕仙	Z121	RS-w162						0.7246		湖南区调队 <sup>①</sup>
	C85									
岩前	C62-1	Z161	301.3	176.7	4.925	0.72529	40	0.7144	9.05	本文
小桓	Z123	RS-w172						0.7162		湖南区调队 <sup>①</sup>

单元	样号	Sm/10 <sup>-6</sup>	Nd/10 <sup>-6</sup>	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	Sm	<sup>143</sup> Nd/ <sup>146</sup> Nd(T)	εNd(t)	t <sub>DM</sub> (Ga)	t <sub>DM</sub> (Ga)	资料来源
介头	C79	6.985	19.21	0.2199	0.512016	10	0.511783	-12.6	-30.89	1.97	本文
	Q88-1	4.146	21.3	0.1177	0.511962		0.511843	-11.6	1.88	1.89	郭新生 <sup>②</sup>
Q88-5	4.984	19.99	0.1508	0.512058		0.511905	-10.4	2.63	1.79		
道仕仙	C85	2.997	12.4	0.1463	0.511919	9	0.511765	-13	2.77	2.00	本文
岩前	C62-1	6.42	34.08	0.114	0.512042	6	0.511926	-10	1.69	1.75	
小桓	J88-3	5.953	30.32	0.1188	0.512020		0.511886	-10.3	1.81	1.80	郭新生 <sup>②</sup>
	J88-6	5.613	23.94	0.1418	0.512046		0.511886	-10.3	2.33	1.80	
	J88-8	7.723	41.21	0.1134	0.512017		0.511899	-10.3	1.72	1.79	
	J88-10	6.940	34.12	0.1230	0.512034		0.511896	-10.2	1.87	1.78	

注:ε<sub>Nd</sub>(t)、I<sub>s</sub>和 t<sub>DM</sub>的计算据陈江峰和江博明(1999)提供的公式;计算参数为:(<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)<sub>CHUR</sub>=0.512638, (<sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd)<sub>CHUR</sub>=0.1967, (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>UR</sub>=0.7045, (<sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd)<sub>CC</sub>=0.118, (<sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd)<sub>DM</sub>=0.2137, (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)<sub>DM</sub>=0.513151, λ<sub>Sm</sub>=6.54×10<sup>-12</sup>a<sup>-1</sup>, λ<sub>Rb</sub>=1.42×10<sup>-11</sup>a<sup>-1</sup>。参数中下角字母代表的含义:UR—铷同位素均一储库;CHUR—球粒陨石均一储库;DM—亏损地幔;CC—大陆地壳。

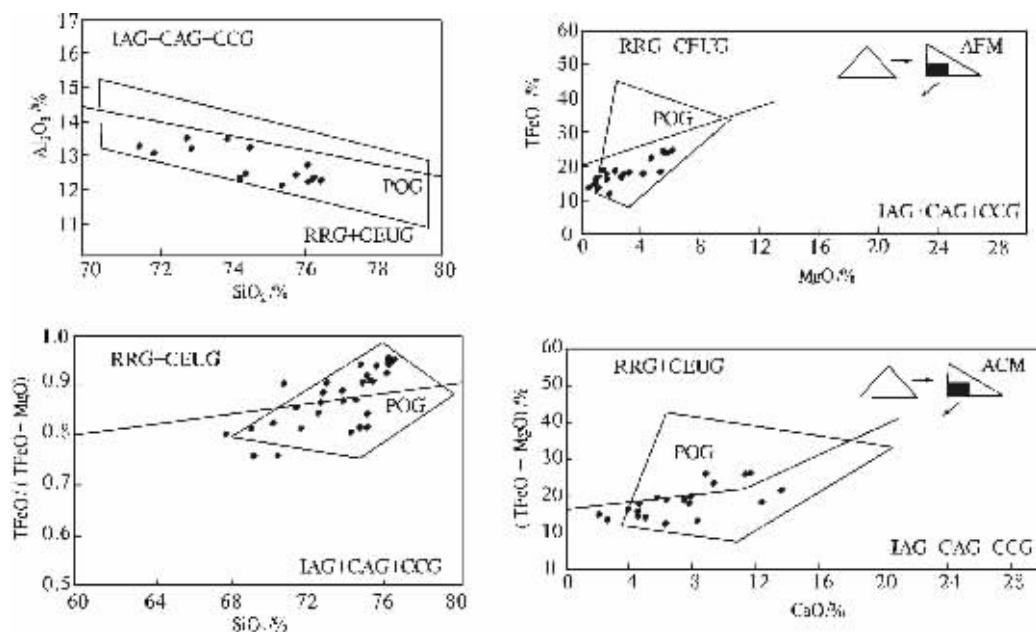


图 5 花岗岩形成的构造环境判别图(据 Maniar 等,1989)

IAG—岛弧花岗岩;RRG—与裂谷有关的花岗岩;CAG—大陆弧花岗岩类;CEUG—大陆的造陆抬升花岗岩类;  
CCG—大陆碰撞花岗岩类;POG—后造山花岗岩类

Fig.5 Tectonic setting discrimination diagrams for granites (after Maniar et al., 1989)

IAG—Island-arc granite;RRG—Rift-related granite;CAG—Continental arc granite;CEUG—Continental epeirogenetic uplift granite;  
CCG—Continental collision granite;POG—Postorogenic granite

① 湖南省地调局区调队. 诸广山复式岩体的成因、演化及其与成矿作用关系,1984.

② 郭新生. 华南低铷模式年龄花岗岩的地球化学特征及其构造意义,1999.

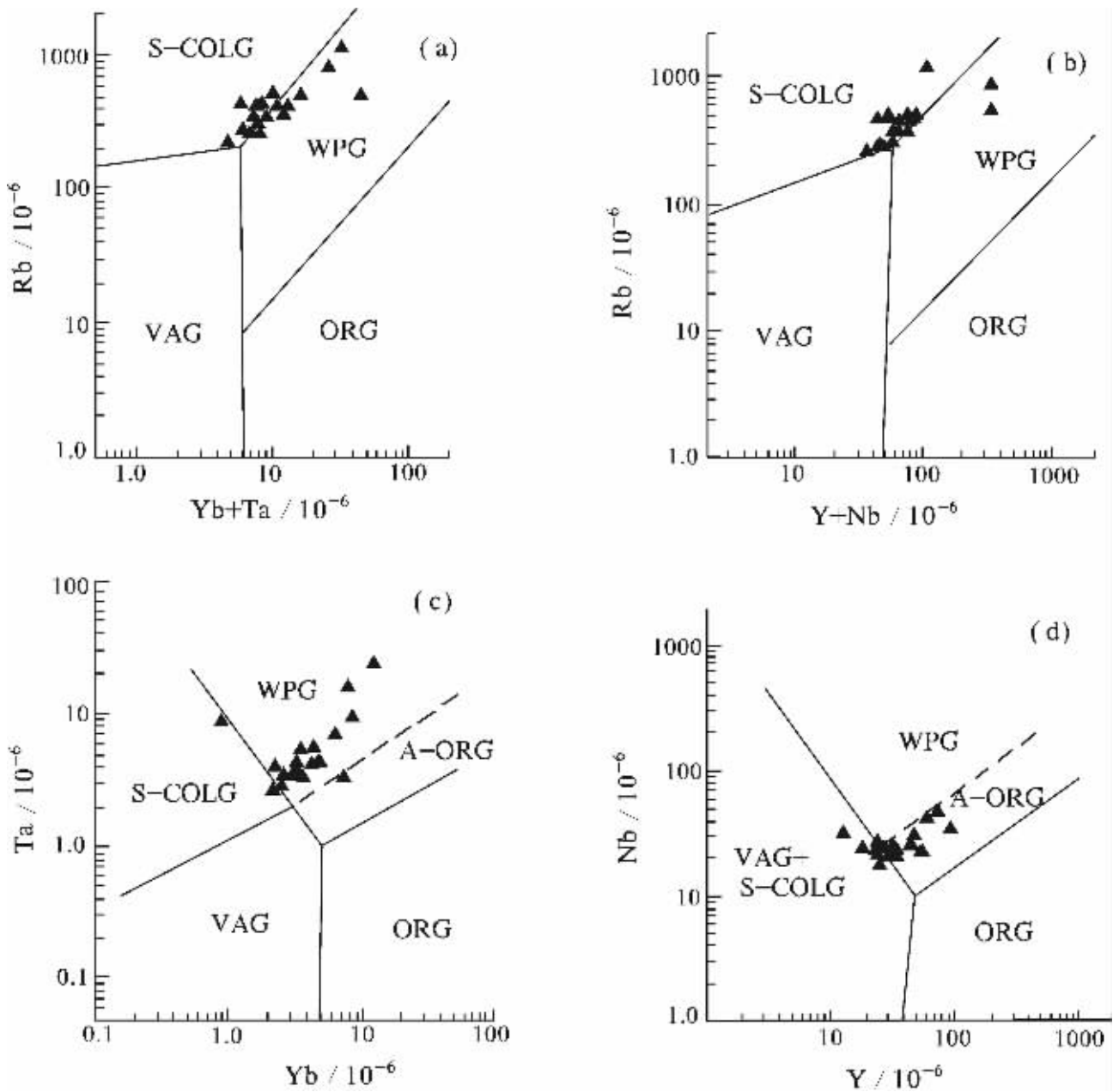


图6 花岗岩微量元素构造环境判别图解(据 Pearce 等,1984)

VAG—火山弧花岗岩;WPG—板内花岗岩;S-COLG—同碰撞花岗岩;ORG—洋中脊花岗岩;A-ORG—异常洋中脊花岗岩

Fig.6 Trace element discrimination diagrams for the interpretation of the tectonic environment of granites (after Pearce et al., 1984)

VAG—Volcanic—arc granite;WPG—Within—plate granite;S-COLG—Syn-collision granite;ORG—Ocean—ridge granite

花岗岩形成于陆内造山向板内裂谷的过渡环境——后造山环境。在 Brown<sup>[33]</sup>  $Ig[CaO/(K_2O+Na_2O)]-SiO_2$  图解上(图7), 样点落入挤压型与伸展型重叠区或伸展区内, 表明岩浆形成于挤压环境向伸展环境转变时期, 即后造山阶段。后造山环

境处于构造体制转换时期, 通常处于挤压造山作用以后的区域拉伸构造环境, 往往是岩石圈去根作用的产物<sup>[34]</sup>。南岭地区区域构造背景和岩石地球化学等多方面研究均表明, 三江口序列花岗岩形成于后造山环境。



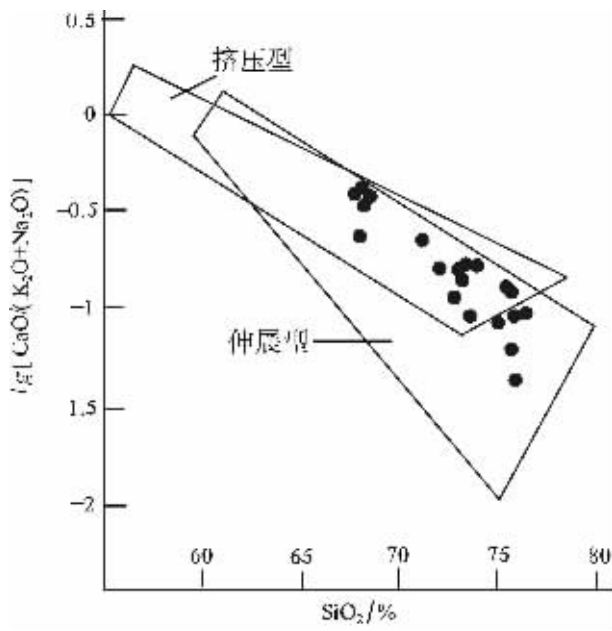


图 7  $\lg[\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]-\text{SiO}_2$  图解 (据 Brown, 1982)

Fig.7  $\lg[\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]-\text{SiO}_2$  diagram (after Brown, 1982)

## 5 讨论

对华南燕山早期构造岩浆活动带形成的构造背景多数学者通过研究认为,华南地区在晚白垩世之前的地球动力学背景是与 Kula 或 Izanagi 板块的俯冲作用有关的安第斯型大陆边缘<sup>[35-44]</sup>,华南地区晚白垩世时俯冲作用终止,岩石圈才开始伸展<sup>[45]</sup>,提出中国东南大陆中生代时最早的裂解作用发生在燕山晚期,距今 120~140 Ma<sup>[46,47]</sup>。汪洋等<sup>[48]</sup>研究吴川—四会断裂带内燕山期强过铝花岗岩类后,认为该地区在燕山期处于古太平洋板块向亚洲大陆东南部之下俯冲形成的活动大陆边缘靠近内陆的一侧,地壳浅部构造背景为在整体挤压的大区域背景下发生的局部伸展。鉴于江西赣江一线的“火山岩线”代表了华南地区受太平洋板块影响的西界<sup>[49]</sup>;已有资料表明 180 Ma 以来湘东南或华南地区已属陆内造山作用阶段无疑,当时该区古地理、古生物及花岗岩分布等证据也不支持湘东南在燕山早期存在洋—陆或弧—陆俯冲碰撞作用的假设<sup>[50,51]</sup>。因此湘东南地区及华南地区燕山早期显然不宜作为与太平洋板块向欧亚板块俯冲有关的岛弧或弧后背景<sup>[13]</sup>。笔者综合各方面研究及对湘东南地区中生代构造—岩浆作用的研究后,认同燕山早期为“后造山”环境观点,主要理由简述

如下:

(1)南岭地区分布面积极为广泛的燕山早期花岗岩类主要为(高钾)钙碱性岩类,这种花岗岩常作为同碰撞岩石圈加厚之后伸展垮塌、向非造山板内活动过渡时期的岩浆作用产物出现<sup>[52]</sup>,而板内裂谷环境中则以发育数量很少的正长岩、二长岩等为主。而诸广山体所在的南岭中段大面积分布的花岗岩以侏罗纪岩体占大部分(包括湘粤赣边区的诸广山北岩体、大东山岩体等),这些岩体在 Maniar 和 Piccoli(1989)提出的多组主元素构造环境判别图解中,以及 Pearce(1984)的微量元素构造环境判别图解中,几乎全部明确显示为“后造山”环境而非“大陆裂谷”环境<sup>①</sup>,与蔡明海等<sup>[53]</sup>对桂西北丹池成矿带花岗岩的研究结论相一致。尽管南岭东段赣南全南、塔背等地的正长岩<sup>[16,18]</sup>及局部的双峰式火山岩<sup>[4,5]</sup>的发育等,在一定程度上显示出裂谷环境特征,但这毕竟不是华南地区燕山早期构造—岩浆活动的主流,而很可能是局部强拉张作用的产物。

(2)南岭地区普遍存在上三叠统(或侏罗系)与中三叠统间的角度不整合,代表印支期陆内造山运动的存在,并发育造山挤压环境花岗岩(如王仙岭三叠纪强过铝花岗岩)。华南地区印支运动主要表现为陆内汇聚、剪切挤压及逆冲推覆等造成陆壳及岩石圈加厚的陆内后继造山<sup>[54]</sup>,已是不争事实,其构造性质与经典的陆—陆碰撞造山的后碰撞环境(主要表现为陆内的剪切与推覆)无本质区别。同时王岳军<sup>[14]</sup>等研究也表明湖南印支期花岗岩是在陆壳挤压汇聚加厚的环境下形成的。从造山演化的客观规律来看,燕山早期构造体制是紧随印支期的陆壳增厚作用之后而发生的伸展减薄,故笔者认为将其厘定为后造山环境是合理的。

## 6 结论

(1)南岭中段诸广山体中的燕山早期花岗岩为壳幔混合成因的镁质—铁质、准铝质—微过铝质、高钾钙碱性岩系。其岩石地球化学特征表明,具陆内构造—岩浆环境。

(2)诸广山体中的燕山早期花岗岩是紧随印支挤压造山运动之后的构造松弛和拉张减薄条件下形成,即后造山伸展拉张环境,而不是非造山环境。

### 参考文献(References):

- [1] 邓访陵. 诸广山花岗岩复式岩基南部的同位素地质年代学[J]. 地球化学, 1987, (2): 141~152.  
Deng Fangling. Isotopic chronology of south segment of Zhuguangshan composite granitic pluton[J]. Geochimica, 1987, (2): 141~152 (in Chinese with English abstract).
- [2] 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(增刊): 7~14.

① 湖南省地质调查院. 1:25 万郴州市幅、衡阳市幅区域地质调查报告, 2005.

- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou. Geochemistry of the Mesozoic basaltic rocks in southern Hunan Province [J]. Science in China (Series D), 1998, 28(supp.): 102~112 (in Chinese).
- [3] 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 等. 赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义 [J]. 岩石学报, 1998, 14(3): 289~298.
- Chen Peirong, Zhang Bangtong, Kong Xinggong, et al. Geochemical characteristics and tectonic implication of Zhaibe A-type Granitic intrusives in south Jiangxi Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 14(3): 289~298 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈培荣, 孔兴功, 倪琦生, 等. 赣南燕山早期双峰式火山-侵入杂岩厘定和意义 [J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 734~741.
- Chen Peirong, Kong Xinggong, Ni Qisheng, et al. Ascertainment and implication of the early Yanshanian bimodal volcanic associations from south Jiangxi Province [J]. Geological Review, 1999, 45(supp.): 734~741 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈培荣, 孔兴功, 王银喜, 等. 赣南燕山早期双峰式火山-侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素定年及意义 [J]. 高校地质学报, 1999, 5(4): 378~383.
- Chen Peirong, Kong Xinggong, Wang Yinxi, et al. Rb-Sr isotopic dating and significance of early Yanshanian bimodal volcanic-intrusive complex from south Jiangxi Province [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(4): 378~383 (in Chinese with English abstract).
- [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.
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, et al. Shoshonitic intrusive suite in SE Guangxi: petrology and geochronology [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(18): 1992~1998 (in Chinese).
- [7] 赵振华, 包志伟, 张伯友, 等. 柿竹园大型钨多金属矿床的壳幔相互作用背景 [J]. 中国科学(D 辑), 2000, 30(增刊): 161~168.
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou, et al. The crust-mantle interaction setting of the Shizhuyuan W-polymetallic deposit [J]. Science in China (Series D), 2000, 30(supp.): 161~168. (in Chinese).
- [8] 孔兴功, 陈培荣, 章邦桐. 江西南部白面石-东坑盆地 A 型火山岩的确定及地质意义 [J]. 地球化学, 2000, 29(6): 521~524.
- Kong Xinggong, Chen Peirong, Zhang Bangtong. Confirmation of A-type volcanics in Baimianshi and Dongdeng Basin, South Jiangxi Province and their geological implication [J]. Geochimica, 2000, 29(6): 521~524 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: I. 岩石学和同位素地质年代学 [J]. 地球化学, 2000, 29(6): 513~520.
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, et al. Mesozoic shoshonitic intrusives in the Yangchun Basin, western Guangdong, and their tectonic significance: I. Petrology and isotope geochronology [J]. Geochimica, 2000, 29(6): 513~520 (in Chinese with English abstract).
- [10] 包志伟, 赵振华, 熊小林. 广东恶鸡脑碱性正长岩的地球化学及其地球动力学意义 [J]. 地球化学, 2000, 29(5): 462~468.
- Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin. Geochemistry of Eji-nao alkali syenite and its geodynamic significance [J]. Geochimica, 2000, 29(5): 462~468 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: II. 微量元素和 Sr-Nb 同位素地球化学 [J]. 地球化学, 2001, 30(1): 57~65.
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, et al. Mesozoic shoshonitic intrusives in the Yangchun Basin, western Guangdong, and their tectonic significance: II. Trace elements and Sr-Nd isotopes [J]. Geochimica, 2001, 30(1): 57~65 (in Chinese with English abstract).
- [12] 范春方, 陈培荣. 赣南陂头 A 型花岗岩的地质地球化学特征及其形成的构造背景 [J]. 地球化学, 2001, 29(4): 358~366.
- Fan Chunfang, Chen Peirong. Geochemical characteristics and tectonic implication of Beitou A-type granitic intrusive in south Jiangxi Province [J]. Geochimica, 2001, 29(4): 358~366 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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, 2001, 17(1): 169~175.
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, et al. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic granodioritic intrusions in southeast Hunan Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(1): 169~175 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王岳军, Y.H. Zhang, 范蔚茗, 等. 湖南印支期过铝质花岗岩的形成: 岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟 [J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(6): 491~499.
- Wang Yuejun, Zhang Y H, Fan Weiming, et al. Numerical modeling of the formation of Indo-Sinian peraluminous granitoids in Hunan Province: Basaltic underplating versus tectonic thickening [J]. Science in China (Series D), 2002, 45(11): 1042~1056 (in Chinese).
- [15] 邱瑞照, 邓晋福, 蔡志勇, 等. 湖南香花岭 430 花岗岩体 Nd 同位素特征及岩石成因 [J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(1): 41~46.
- Qiu Ruizhao, Deng Jinfu, Cai Zhiyong, et al. Nd isotopic characteristics and genesis of Xianghualing 430 granitic body, Hunan Province [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2003, 22(1): 41~46 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈志刚, 李献华, 李武显, 等. 赣南全南正长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对华南燕山早期构造背景的制约 [J]. 地球化学, 2003, 32(3): 223~229.
- Chen Zhigang, Li Xianhua, Li Wuxian, et al. SHRIMP U-Pb zircon age of the Quannan syenite, southern Jiangxi: Constraints on the early Yanshanian tectonic setting of SE China [J]. Geochimica, 2003, 32(3): 223~229 (in Chinese with English abstract).
- [17] 朱金初, 黄革非, 张佩华, 等. 湖南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究 [J]. 地质论评, 2003, 49(3): 245~252.
- Zhu Jinchu, Huang Gefei, Zhang Peihua, et al. On the emplacement age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling Pluton, south Hunan Province [J]. Geological Review, 2003, 49(3): 245~252 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陈培荣, 周新民, 张文兰, 等. 南岭东段燕山早期正长岩-花岗岩杂岩的成因和意义 [J]. 中国科学(D 辑), 2004, 34(6): 493~503.
- Chen Peirong, Zhou Xinming, Zhang Wenlan, et al. Genesis of

- the Early Yanshanian syenitic-granitic complexes in the east segment of the Nanling Mountains and its implication[J]. Science in China( series D), 2004, 34(6): 493~503(in Chinese).
- [19] 王岳军, 廖超林, 范蔚茗, 等. 赣中地区早中生代 OIB 碱性玄武岩的厘定及构造意义[J]. 地球化学, 2004, 33(2): 109~117.  
Wang Yuejun, Liao Chaolin, Fan Weiming, et al. Early Mesozoic OIB-type alkaline basalt in central Jiangxi Province and its tectonic implications[J]. Geochimica, 2004, 33(2): 109~117 (in Chinese with English abstract).
- [20] 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球化学动力学背景[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(4): 279~289.  
Chen Peirong, Hua Renmin, Zhang Bangtong, et al. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region: Petrological constraints on and geodynamic settings[J]. Science in China(series D), 2002, 45(8): 755~768(in Chinese).
- [21] 马铁球, 伍光英, 贾宝华, 等. 南岭中段郴州一带中、晚侏罗世花岗岩浆的混合作用——来自镁铁质微粒包体的证据[J]. 地质通报, 2005, 6(6): 506~512.  
Ma Tieqiu, Wu Guangying, Jia Baohua, et al. Middle-Late Jurassic granite magma-mixing in the middle segment of the Nanling Mountains, South China: Evidence from mafic microgranular enclaves [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 6 (6): 506~512(in Chinese with English abstract).
- [22] Condie K C. Plate Tectonics and Crustal Evolution[M]. Oxford: Pergamon Press, 1989. 1~476.
- [23] 陈江峰, 郭新生, 汤加富, 等. 中国东南地壳增长与 Nd 同位素模式年龄[J]. 南京大学学报(自然科学), 1999, 35(6): 649~658.  
Chen Jiangfeng, Guo Xinsheng, Tang Jiafu, et al. Nd isotopic model ages: implications of the growth of the continental crust of southeastern China[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 1999, 35(6): 649~658(in Chinese with English abstract).
- [24] McCulloch M T, Chappell B W. Nd isotopic characteristics of S-type and I-type granites[J]. Earth Planet Sci Lett, 1982, 58(1): 51~64.
- [25] White A J R, Chappell B W. Granitoid types and their distribution in the Lacklan foldbelt, southeast Australia[A]. In: Roddick (ed.). Circum-Pacific Plutonic Terranes. Mem, Geol. Soc. Am. 1983, 159: 21~34.
- [26] Faure G. Principles of Isotope Geology(2nd ed.)[M]. New York: John Wiley and Sons, 1986. 567.
- [27] 刘义茂, 戴檀漠, 卢焕章, 等. 千里山花岗岩成岩成矿的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  和 Sm-Nd 同位素年龄[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(5): 425~430.  
Liu Yimao, Dai Tongmo, Lu Huanzhang, et al. Isotopic date of  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  and Sm-Nd for Petrogenesis-metallogenesis of the Qianlishan granite[J]. Science in China(Series D), 1997, 27(5): 425~430(in Chinese).
- [28] 刘义茂, 许继峰, 戴檀漠, 骑田岭花岗岩  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素年龄及其地质意义[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 2(增刊): 41~48.  
Liu Yimao, Xu Jifeng, Dai Tongmo. Isotopic date of  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  and its geological significance[J]. Science in China(Series D), 32(supp.): 41~48(in Chinese).
- [29] 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 湖南千里山花岗岩体的 Nd-Sr 同位素及岩石成因研究[J]. 矿床地质, 1995, 14(3): 235~242.  
Mao Jingwen, Li Hongyan, Pei Rongfu. Nd-Sr isotopic and petrogenetic studies of the Qianlishan granite stock, Hunan Province [J]. Mineral Deposits, 1995, 14(3): 235~242 (in Chinese with English abstract).
- [30] 毛景文, 李晓峰, Bernd Lehmann, 等. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄及其地球动力学意义 [J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 164~174.  
Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Bernd Lehmann, et al.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield, Hunan Province, and its geodynamic significance [J]. Mineral Deposits, 2004, 23(2): 164~174(in Chinese with English abstract).
- [31] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 中国地质, 2004, 31(1): 96~100.  
Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan, South China, and its significance [J]. Geology in China, 2004, 31(1): 96~100(in Chinese with English abstract).
- [32] 张敏, 陈培荣, 张文兰, 等. 南岭中段大东山花岗岩体的地球化学特征和成因[J]. 地球化学, 2003, 32(6): 529~539.  
Zhang Min, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of Dadongshan granite pluton in mid Nanling range [J]. Geochimica, 2003, 32 (6): 529~539 (in Chinese with English abstract).
- [33] Brown G C. Calc-alkaline intrusive rocks: their diversity, evolution and relation to volcanic arcs[A]. In: Thorpe R S, (ed.). Andesites-Orogenic Andesites and Related Rocks[C]. New York: John Wiley and Sons, 1982. 437~464.
- [34] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 1~36.  
Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. The Ways of Investigation on Granitoids[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002, 1~36 (in Chinese with English abstract).
- [35] 伍光英, 潘仲芳, 李金东, 等. 湖南大义山花岗岩地质地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 434~442.  
Wu Guangying, Pan Zhongfang, Li Jindong, et al. Geological and geochemical characteristics of the Dayishan granitoids in southern Hunan and their relations to mineralization [J]. Geology in China 2005, 32(3): 434~442 (in Chinese with English abstract).
- [36] Jahn B M. Mesozoic thermal events in southeastern China[J]. Nature, 1974, 248: 480~483.
- [37] Hide D. The evolution of Western Pacific plate and its margin[J]. Tectonophysics, 1977, 38: 115~165.
- [38] 黄萱, 孙世华, Depaolo D J, 等. 福建省白垩纪岩浆岩 Nd, Sr 同位素研究[J]. 岩石学报, 1986, 2(2): 50~63.  
Huang Xuan, Sun Shihua, Depaolo D J, et al. Nd-Sr isotope study of Cretaceous magmatic rocks from Fujian Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 1986, 2(2): 50~63 (in Chinese with English abstract).

- [39] Jahn B M, Zhou X H, Li J L. Formation and tectonic evolution of southeastern China and Taiwan: Isotopic and geochemical constraints[J]. *Tectonophysics*, 1990, 183:145~160.
- [40] Charvet J, Lapierre H, Yu Y W. Geodynamic significance of the Mesozoic volcanism of southeastern China[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994, 9:387~396.
- [41] Lan C Y, Jahn B M, Mertzman S A. Subduction-related granitic rocks of Taiwan [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1996,14:11~28.
- [42] Lapierrre H, Jahn B M, Charvet J. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with the tectonic activity in southeastern China [J]. *Tectonophysics*, 1997, 274:321~338.
- [43] 郭令智,施央申,马瑞士.西太平洋中生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化[J].*地质学报*, 1983,(1):11~21.  
Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi. The formation and evolution of the West-Pacific Mesozoic active continental margin and island arc[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1983,(1):11~21 (in Chinese with English abstract).
- [44] 王鸿祯,杨森楠,李思田.中国东部及邻区中、新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展[J].*地质学报*, 1983,(3):213~223.  
Wang Hongzhen, Yang Sennan, Li Sitian. The basins and tectonic evolution of the continental margin in East China and its surrounding areas from Mesozoic to Cenozoic [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1983,(3):213~223(in Chinese with English abstract).
- [45] 俞云文,周泰喜,陈江峰.浙江玄坛地早白垩世晚期双峰式火山岩特征及其成因[J].*南京大学学报(地球科学)*, 1993,5(4):420~429.  
Yu Yunwen, Zhou Taixi, Chen Jiangfeng. Characteristics and genesis of the lately Late Cretaceous bimodal volcanics in the Xuantandi area, Zhejiang[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 1993,5(4):420~429 (in Chinese with English abstract).
- [46] 李献华.华南地壳增长和构造演化的年代学格架与同位素体系制约[J].*矿物岩石地球化学通报*, 1993,(3):111~115.  
Li Xianhua. The chronology framework and isotope system constraint on the crustal growing and tectonic evolution in Southern China [J].*Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1993,(3): 113~115. (in Chinese with English abstract).
- [47] Li X H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000,18:293~305.
- [48] 汪洋,邓晋福.广东吴川—四会断裂带燕山期强过铝质花岗岩岩石化学特征的地球动力学意义 [J]. *大地构造与成矿学*,2003,27(1):56~63.  
Wang Yang,Deng Jinfu. Geodynamic implication of petrochemical features of Yanshanian strongly peraluminous granitoids in Wuchuan-Sihui fracture belt of Guangdong [J].*Geotectonica et Metallogenia*, 2003, 27(1):56~63 (in Chinese with English abstract).
- [49] 王德滋,沈渭洲.中国东南部花岗岩成因与地壳演化[J].*地学前缘*, 2003,10(3):209~220.  
Wang Dezi,Shen Weizhou. Genesis of granitoids and crustal evolution in southeast China[J].*Earth Science Frontiers*, 2003,10(3):209~220 (in Chinese with English abstract).
- [50] 张宁,夏文臣.华南晚古生代硅质岩时空分布及再扩张残留海槽演化[J].*地球科学*,1998,23(5):480~486  
Zhang Ning, Xia Wenchen. Time-space distribution of late Paleozoic cherts and evolution of respreading trench in South China [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*,1998,23(5):480~486 (in Chinese with English abstract).
- [51] 陈旭,戎嘉余,Rowley D B,等.对华南早古生代板溪群的质疑[J].*地质论评*, 1995,41(5):389~398.  
Chen Xu, Rong Jiayu, Rowley D B, et al. Is the early Paleozoic Banxiocean in South China necessary? [J].*Geological Review*, 1995, 41(5):389~398 (in Chinese with English abstract).
- [52] Liegeois J-P, Navez J, Hertogen J. Contrasting origin of post-collisional high-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids, the use of sliding normalization[J].*Lithos*, 1998,45(com): 1~28.
- [53] 蔡明海,梁婷,吴德成,等.桂西北丹池成矿带花岗岩地球化学特征及其构造环境[J]. *大地构造与成矿学*, 2004, 28(3): 306~313.  
Cai Minghai, Liang Ting, Wu Decheng, et al. Geochemical characteristics of granites and its structural genetic environment in the Nandan-Hechi metallogenetic belt, northwestern Guangxi[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28(3): 306~313 (in Chinese with English abstract).

## Geochemical characteristics and tectonic setting of the early Yanshanian South Zhuguangshan granite in the central segment of the Nanling Mountains

MA Tie-qiu, KUANG Jun, BAI Dao-yuan, WANG Xian-hui

(Hunan Institute of Geology Survey, Xiangtan 411100, Hunan, China)

**Abstract:** The South Zhuguangshan pluton is a composite granite batholith formed in the Caledonian, Indosinian and early Yanshanian periods. This paper mainly discusses early Yanshanian granites, namely, the Middle Jurassic Sanjiangkou sequence. The sequence is composed of five rock-units, and the rock type is hornblende-biotite monzogranite-biotite monzogranite-two-mica monzogranite. The earlier units contain abundant mafic micro-enclaves, and the petrographic study of the enclaves indicates the crust-mantle mixing origin of the granitic magma. The average content of  $\text{SiO}_2$  increases from 68.95% in the early-formed granite units to 76.3% in the late-formed granite units. The rocks are alkali-rich. Their  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  ranges from 7.11% to 8.24%, with an average of 7.73% and  $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ , and their ASI values range from 0.92 to 1.19, with an average of 1.05; so they belong to the magnesian-ferruginous, metaluminous-peraluminous, high-K calc-alkaline series. The rocks are of light REE-enriched type, with a moderate  $\Sigma\text{REE}$  content of  $213\mu\text{g/g}$  and strong Eu depletion, and have negative anomalies of Ba, Nb, Sr, P, Ti, Eu and Ba and positive anomalies of Rb, U, Th, Nd, Zr, Sm and Y, which indicate an intracontinental tectonomagmatic environment. The rocks have  $I_{\text{Sr}}$  values of 0.7115 to 0.72466,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  values of  $-10.0$  to  $-12.6$  with an average of  $-10.97$  and  $t_{2\text{DM}}$  ages of 1.75 to 2.0 Ga with an average of 1.84 Ga. The average age is close to that (1.7 to 1.8 Ga) of Mesozoic granites in the Nanling Mountains, indicating that the rock-forming materials were mainly derived from the Mesoproterozoic crust. The tectonic setting discrimination diagrams based on multiple oxides and trace elements suggest that granites of the Sanjiangkou sequence formed in a post-orogenic extensional environment during the transition from compressional orogeny to non-orogeny. The authors consider that the early Yanshanian tectonic setting in the Nanling Mountains and even South China is post-orogenic rather than an intracontinental rift.

**Key words:** high-K calc-alkaline; crust-mantle mixing type; geochemistry; post-orogenic tectonic setting; South Zhuguangshan pluton; Nanling Mountains

---

**About the first author:** MA Tie-qiu, male, born in 1956, senior engineer, engages in regional geological survey; E-mail: matieqiu18@sina.com.