

文章编号: 0379-1726(2003)03-0223-07

# 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

陈志刚<sup>1</sup>, 李献华<sup>1\*</sup>, 李武显<sup>1</sup>, 刘敦一<sup>2</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定结果表明, 赣南全南正长岩的形成年龄为  $(161 \pm 4)$  Ma。受地壳混染影响程度最低的正长岩样品具高钾 ( $K_2O/Na_2O \geq 1$ )、富集大离子亲石元素、轻稀土元素和高场强元素 ( $Nb/La \approx 1.4$ 、 $Nb/Th \approx 15$ )、 $\varepsilon_{Nd}(t) \approx +3.4$  的特征, 属板内“裂谷型”钾质碱性岩(和桂东南地区侏罗纪正长岩类似), 而明显不同于“岛弧型”钾质碱性岩。上述结果以及区域岩浆岩组合特征表明, 华南内陆侏罗纪的构造环境类似于板内裂谷或“盆岭构造”。

关键词: 正长岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄; 赣南

中图分类号: P597

文献标识码: A

## 0 引言

华南中生代地质的最重要特征是岩浆活动强烈, 形成大面积分布的火成岩。然而, 关于这些火成岩形成的构造背景却一直是地学界长期争论的问题, 许多学者认为华南中生代属于“安第斯型活动大陆边缘”, 岩浆活动(特别是东南沿海广泛分布的钙碱性岩浆岩)与古太平洋板块向欧亚大陆俯冲有关<sup>[1-9]</sup>。值得指出的是, 华南中生代岩浆活动时代有向沿海方向变年轻的趋势, 且岩浆岩带宽度超过 600 km, 不同于典型安第斯型活动大陆边缘(岩浆岩带宽度 < 300 km), 为此, Zhou *et al.*<sup>[10]</sup> 最近提出了一个改进的俯冲模式, 即古太平洋板块从早侏罗世小角度俯冲逐渐增加到晚白垩世的中等角度俯冲。但是, 另一些学者则认为华南在中侏罗世-白垩纪为板内伸展-裂谷环境, 类似于“盆岭构造”<sup>[11-14]</sup>, 花岗质岩浆活动与岩石圈伸展、幔源岩浆底侵和地温梯度增高有关。本文拟报道赣南全南正长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, 并结合元素-同位素地球化学资料, 制约其成因和形成的构造背景。

## 1 地质背景和样品特征

赣南位于华南中生代岩浆岩带中部, 南岭东西

向岩浆岩带东侧(图 1a)。区内火成岩主要有分布在燕山早期火山岩盆地内的双峰式火山岩, A 型花岗岩(陂头岩体、寨背岩体)和正长岩(图 1b)。正长岩体主要以小岩株形式存在, 据 1:20 万龙南幅地质报告<sup>[15]</sup>, 区内有大峰脑岩体、塘尾岩体、周屋洞岩体、塔背岩体、全南黄埠岩体和狗头脑岩体共 6 个正长岩体。周屋洞岩体和塔背岩体侵入陂头 A 型花岗岩中(陂头 A 型花岗岩的年龄为 178 Ma<sup>[16]</sup>); 全南黄埠岩体侵入古生代地层中; 狗头脑岩体侵入燕山早期的付竹山岩体中, 并被下白垩统地层不整合覆盖。上述野外地质关系表明, 这些正长岩体形成的时代晚于早侏罗世, 而早于白垩纪。

全南黄埠正长岩体位于全南县城的北部, 面积约 6 km<sup>2</sup>, 岩体侵入古生代下石炭统煤系地层中, 为碱性杂岩体。岩性主要为霓辉石正长岩-石英正长岩。矿物组成为钾长石(85%~90%)、石英(0%~10%), 暗色矿物为霓辉石(0%~10%)、黑云母和角闪石(0%~7%), 副矿物主要为锆石、磷灰石和磁铁矿。霓辉石高正突起, 核部常常因含较高的普通辉石成分而近无色, 边部绿色多色性明显, 浅黄色-深绿色, 负延性, 横切面对称消光, 纵切面近平行消光, 横切面呈不规则八面形并具辉石式解理, 半自形, 未见被钾长石包裹, 因此应与钾长石同时结晶或略晚。岩石不同程度地遭受蚀变影响, 主要为绿泥石化。本文 SHRIMP 锆石定年的样品(2KGN16-1)采自

收稿日期: 2002-09-15; 接受日期: 2003-01-29

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-102)

作者简介: 陈志刚(1974-), 男, 硕士, 元素和同位素地球化学专业, 现在厦门大学海洋化学系工作。\* 通讯作者

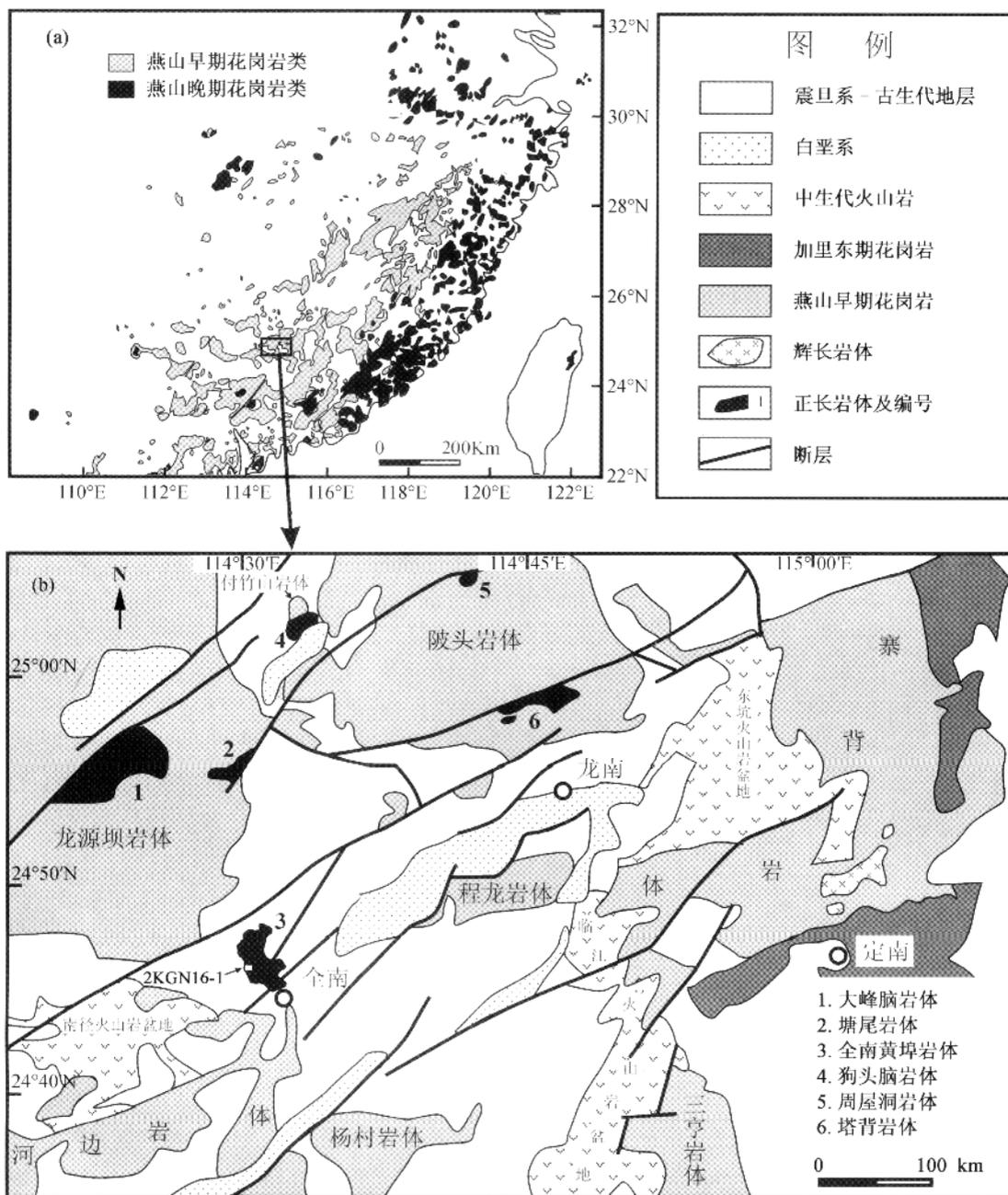


图 1 华南燕山期侵入岩分布图(a)及赣南全南-定南地区地质略图(b)

Fig. 1 Simplified map (a) showing the distribution of the early Yanshanian igneous rocks in SE China and sketched geological map (b) of Quannan-Dingnan region, southern Jiangxi

全南黄埠正长岩体中部(24°46'20.4"N, 114°29'55.7"E)岩性为石英正长岩。

## 2 分析及结果

用常规的浮选和电磁选方法分选出锆石,然后在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒,将其和标准锆石 TEM(年龄为 417 Ma)在玻璃板上用环氧树脂固定、抛光,然后进行反射光和透射光照

相,并用阴极发光扫描电镜进行图像分析,检查锆石内部的结构。锆石 U-Pb 同位素分析用北京离子探针中心 SHRIMP-II 型离子探针测定,详细的实验流程见宋彪等<sup>[17]</sup>。

锆石 U-Pb 年龄分析结果列于表 1。所分析的锆石颗粒为透明的自形晶体,阴极发光图像均显示出岩浆结晶成分环带。大多数分析点的 U 含量较高(大多数为 300~600 μg/g)、Th/U=0.54~1.35。所有 15 个分析点在误差范围内有一致的 U-Pb 比

表 1 全南正长岩 (2KGN16-1) 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 SHRIMP U-Pb data for zircon from the Quannan syenite sample 2KGN16-1

点号	U ( $\mu\text{g/g}$ )	Th ( $\mu\text{g/g}$ )	Th/U	Pb* ( $\mu\text{g/g}$ )	$f_{206}$ (%)	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^* \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$t_{206/238}$ (Ma, $1\sigma$ )
1	364	396	1.09	11	1.03	0.000 64 $\pm$ 0.000 32	0.043 8 $\pm$ 0.005 2	0.024 7 $\pm$ 0.001 4	0.149 0 $\pm$ 0.020 6	157.2 $\pm$ 8.9
2	330	314	0.95	10	1.41	0.000 88 $\pm$ 0.000 20	0.040 7 $\pm$ 0.003 3	0.025 4 $\pm$ 0.001 0	0.142 3 $\pm$ 0.013 5	161.5 $\pm$ 6.3
3	495	618	1.25	15	1.35	0.000 84 $\pm$ 0.000 24	0.040 9 $\pm$ 0.004 0	0.024 6 $\pm$ 0.001 1	0.138 8 $\pm$ 0.015 8	156.7 $\pm$ 7.1
4	496	668	1.35	16	0.80	0.000 50 $\pm$ 0.000 09	0.045 2 $\pm$ 0.001 8	0.025 3 $\pm$ 0.001 0	0.158 0 $\pm$ 0.009 6	161.2 $\pm$ 6.5
5	412	397	0.96	12	1.07	0.000 67 $\pm$ 0.000 12	0.043 6 $\pm$ 0.002 3	0.025 2 $\pm$ 0.001 0	0.151 3 $\pm$ 0.010 7	160.1 $\pm$ 6.5
6	353	406	1.15	11	0.60	0.000 38 $\pm$ 0.000 18	0.049 0 $\pm$ 0.003 0	0.025 1 $\pm$ 0.001 3	0.169 2 $\pm$ 0.014 2	159.5 $\pm$ 8.1
7	641	753	1.17	20	1.41	0.000 88 $\pm$ 0.000 17	0.037 1 $\pm$ 0.003 1	0.026 0 $\pm$ 0.001 0	0.133 1 $\pm$ 0.012 8	165.6 $\pm$ 6.5
8	568	325	0.57	16	0.86	0.000 54 $\pm$ 0.000 12	0.044 1 $\pm$ 0.002 1	0.026 3 $\pm$ 0.001 1	0.159 7 $\pm$ 0.010 9	167.3 $\pm$ 7.0
9	613	798	1.30	19	0.69	0.000 43 $\pm$ 0.000 11	0.047 4 $\pm$ 0.002 0	0.025 3 $\pm$ 0.001 2	0.165 3 $\pm$ 0.011 1	160.9 $\pm$ 7.5
10	529	537	1.02	17	0.28	0.000 18 $\pm$ 0.000 10	0.050 1 $\pm$ 0.001 8	0.026 4 $\pm$ 0.001 0	0.182 3 $\pm$ 0.010 3	167.8 $\pm$ 6.5
11	261	239	0.92	7	2.49	0.001 56 $\pm$ 0.000 30	0.033 1 $\pm$ 0.005 3	0.023 3 $\pm$ 0.001 0	0.106 4 $\pm$ 0.018 2	148.5 $\pm$ 6.4
12	630	376	0.60	16	1.13	0.000 70 $\pm$ 0.000 20	0.039 5 $\pm$ 0.003 3	0.024 9 $\pm$ 0.001 2	0.135 4 $\pm$ 0.013 6	158.3 $\pm$ 7.3
13	1 661	899	0.54	43	0.28	0.000 18 $\pm$ 0.000 03	0.048 6 $\pm$ 0.000 8	0.024 9 $\pm$ 0.001 0	0.166 5 $\pm$ 0.007 2	158.2 $\pm$ 6.0
14	386	288	0.75	11	1.79	0.001 12 $\pm$ 0.000 18	0.039 1 $\pm$ 0.003 1	0.026 6 $\pm$ 0.001 3	0.143 4 $\pm$ 0.013 9	169.2 $\pm$ 8.0
15	317	270	0.85	8	1.98	0.001 24 $\pm$ 0.000 32	0.037 3 $\pm$ 0.005 1	0.024 4 $\pm$ 0.001 4	0.125 6 $\pm$ 0.019 6	155.4 $\pm$ 9.0

注:  $f_{206}$  表示普通  $^{206}\text{Pb}$  占总  $^{206}\text{Pb}$  的百分比, 用测量的  $^{204}\text{Pb}$  校正普通 Pb; Pb\* 表示放射成因 Pb。

值, 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄的加权平均值为  $(161 \pm 4)$  Ma ( $2\sigma$ ) (图 2), 代表了正长岩的结晶年龄。

Sr、Nd 同位素在中国科学院广州地球化学研究所分析。用阳离子树脂分离 Rb、Sr 和 REE, 用 HDEHP 进一步分离 Sm、Nd。Sr、Nd 同位素组成用 Micromass Isoprobe 型多接收器等离子质谱仪 (MC-ICPMS) 测定。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  和  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比值用  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.119 4$  和  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.721 9$  标准化。详细的 Sr、Nd 同位素分析方法分别见 [18] 和 [19]。在本文样品分析过程中, 该仪器测定的 NBS 987 标准的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值为  $0.710 337 \pm 39(2\sigma)$ ; Shin Etsu JNdi-1 标准的  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512 115 \pm 15(2\sigma)$ 。

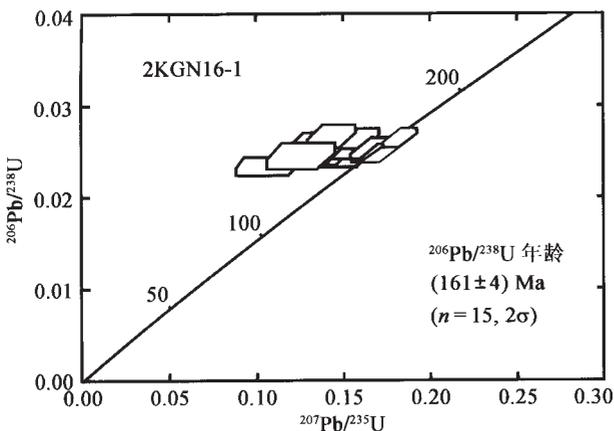


图 2 全南正长岩锆石 U-Pb 一致图解

Fig. 2 U-Pb zircon concordia diagram for the Quannan syenite

### 3 讨论

全南正长岩具有高碱 ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 10.6\% \sim 12.1\%$ ) 和高  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值 ( $0.95 \sim 1.29$ ) 的特征, 为钾质碱性岩 [20]。钾质碱性岩石可以大致分为两类 [21]: (1) “岛弧型”: 绝大多数钾质碱性岩石形成于与俯冲或岛弧有关的构造环境, 如大洋弧、大陆弧和后碰撞弧等, 具有典型的“岛弧地球化学”特征, 如富集大离子亲石元素和轻稀土元素, 亏损高场强元素; (2) “板内型”: 少数钾质碱性岩石形成于大陆和大洋内部, 如裂谷和热点, 具有类似于洋岛玄武岩 (OIB) 的微量元素特征。

如表 2 所示, 全南正长岩的  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化范围较小 ( $+1.04 \sim +3.44$ ), 并和 Nb/Th 比呈正相关关系, 其中高  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值 ( $\approx +3.4$ ) 的两个样品 2KGN16-5 和 2KGN16-11 具有高 Nb/Th 比 ( $15 \sim 16$ ), 与洋岛玄武岩 (Nb/Th =  $14 \sim 20$ ) 类似 [22], 表明这两个样品基本没有受到地壳物质的混染。相反, 其他样品的  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值 ( $+3.10 \sim +1.04$ ) 和 Nb/Th 比 ( $5 \sim 11$ ) 偏低, 表明可能有少量的地壳物质混染。样品的 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 变化范围较大 ( $0.704 8 \sim 0.710 3$ ), 和  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 、Nb/Th 没有明显的相关关系, 可能与后期蚀变作用使 Rb-Sr 体系开放有关。与桂东南受地壳混染程度最低的正长岩 [ $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) \approx +4.2 \sim +5.5$ ]

表 2 全南正长岩 Sr-Nd 同位素和元素比值特征

Table 2 Sr-Nd isotopic and elemental ratio characteristics for the Quannan syenite

样号	2KGN16-1	2KGN16-3	2KGN16-5	2KGN16-7	2KGN16-9	2KGN16-10	2KGN16-11
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.125 0	0.112 5	0.124 1	0.120 7	0.123 5	0.130 7	0.120 3
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512 618	0.512 687	0.512 734	0.512 611	0.512 720	0.512 643	0.512 734
( $2\sigma_m$ )	0.000 006	0.000 006	0.000 007	0.000 005	0.000 006	0.000 006	0.000 007
$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$	1.08	2.69	3.37	1.04	3.10	1.45	3.44
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	7.613	5.809	4.984	15.50		8.336	4.258
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.723 552	0.718 889	0.717 849	0.745 800		0.723 849	0.716 893
( $2\sigma_m$ )	0.000 020	0.000 035	0.000 011	0.000 015		0.000 017	0.000 013
( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) <sub>i</sub>	0.706 1	0.705 6	0.706 4	0.710 3		0.704 8	0.707 1
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	0.95	1.11	1.00	1.00	1.01	1.29	1.09
$\text{Nb}/\text{La}$	1.31	0.76	1.42	1.13	1.43	1.37	1.41
$\text{Nb}/\text{Th}$	5.79	5.77	14.8	5.89	11.1	5.43	15.8

注：元素比值引自文献[20]。

相比，全南受地壳混染程度最低正长岩样品的  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  (+3.44) 略低。在微量元素“蛛网图”上(图3)，全南正长岩的 Sr、P 和 Ti 负异常明显，反映了强烈的结晶分异作用。除样品 2KGN16-3 外，其他样品没有 Nb-Ta 负异常 ( $\text{Nb}/\text{La} > 1$ )，与板内“裂谷型”钾质碱性岩一致。总体上，全南正长岩在形成时代和元素地球化学特征上与桂东南地区 ~160 Ma 的正长岩完全一致，Nd 同位素组成特征也基本相似(存在微小差异)，是在板内裂谷环境下由富集的岩石圈地幔部分熔融形成的钾质碱性基性母岩浆经结晶分异形成的<sup>[14, 23]</sup>。正长岩的 OIB 型地球化学特征表明，其岩石圈地幔源区的 K 和大离子亲石元素富

集是软流圈地幔小比例部分熔融的碱性岩浆/熔体上升交代形成的，与俯冲带熔体/流体的交代无关，而  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  正值表明地幔交代作用发生在正长岩形成前不久。

全南正长岩的形成时代和成因为区域构造背景提供了重要的制约。

(1) 板内“裂谷型”钾质碱性岩浆活动表明，中侏罗世华南内部(桂东南-赣南)的区域构造背景应为板内伸展-裂谷环境。

(2) 从岩石圈地幔的组成特征可以看出，区域岩石圈地幔明显不同于俯冲带上方的“地幔楔”，表明没有受到过明显的早期俯冲或同时代俯冲作用的影响，既不支持侏罗世的小角度俯冲的“安第斯型活动大陆边缘”模式<sup>[10]</sup>，也不支持本区曾经为大陆弧和(或)后碰撞弧。

(3) 陈培荣等<sup>[24]</sup>最近提出华南燕山早期岩浆岩是印支期碰撞造山运动后的后造山岩石组合，区域燕山早期碱性玄武岩、双峰式火山岩和 A 型花岗岩是后碰撞事件结束和泛大陆开始裂解的标志。我们赞同燕山早期的岩浆活动在时间上确实属“印支期后”，在动力学背景上为“伸展-裂谷”，但我们不认为它们是与“碰撞造山”有关的后造山型岩浆活动。首先，中国东部“印支期”的碰撞造山作用表现为华南陆块向北与华北陆块碰撞<sup>[25, 26]</sup>和华南陆块(包括 Song Ma 以北的越南北部)向南与印支陆块碰撞<sup>[27]</sup>，而华南陆块

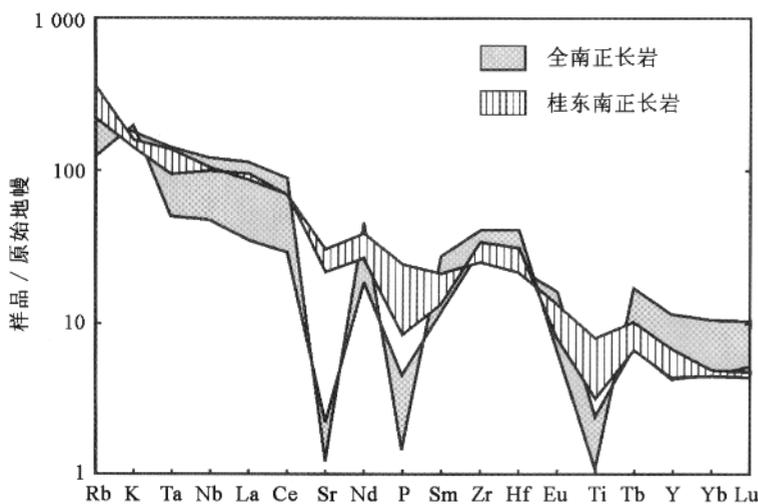


图 3 全南和桂东南正长岩的微量元素分布对比图

Fig. 3 Comparison of the trace element characteristics of syenites from Quannan and SE Guangxi

原始地幔数据引自文献 [22]；全南正长岩数据引自文献 [20]；桂东南正长岩数据引自文献 [23]。

内部所表现的是从南东向北西发展的陆内褶皱和逆冲<sup>[28]</sup>, 没有印支期的碰撞造山带和(或)蛇绿混杂岩带; 其次, 燕山早期的岩石组合是(湘南)~175 Ma 小规模的碱性玄武岩<sup>[14, 29]</sup>、(赣南)双峰式火山岩和 A 型花岗岩<sup>[24, 30, 31]</sup> 以及(桂东南和赣南)~160 Ma 小规模的板内“裂谷型”钾质碱性岩<sup>[14, 23, 32]</sup>, 类似于“被动型”裂谷环境的岩石组合<sup>[33]</sup>, 区域燕山早期 A 型花岗岩不同于典型的“后造山”A 型花岗岩——它们通常作为造山期钙碱性系列岩浆旋回的最后产物, 一般不与基性岩和 SiO<sub>2</sub> 不饱和的正长岩共生<sup>[34]</sup>。此外, 全南正长岩的高 Nb/La (> 1)、Nb/Th (> 14) 比值和正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值 (+3.4) 表明赣南正长岩为典型的“裂谷型”钾质碱性岩, 形成于“非造山”环境。

值得指出的是, 虽然赣南和桂东南燕山早期板内岩浆岩在时代上和成因上非常类似, 但是前者主要呈东西向展布, 后者大致为北东向, 因此不是一个简单的“伸展-裂谷”模式就可以完全解释的, 它们之间以及与区域燕山早期大规模花岗岩浆活动的关系及其所反映的区域动力学意义还有待于进一步的深入研究。

## 4 结 论

SHRIMP 锆石 U-Pb 定年和元素-同位素地球化学研究表明, 赣南全南正长岩的形成时代为 (161 ± 4) Ma, 属板内“裂谷型”钾质碱性岩, 和桂东南地区侏罗纪正长岩类似, 来源于交代富集的岩石圈地幔源区, 大离子亲石元素富集的交代流体/熔体为软流圈地幔小比例部分熔融的碱性岩浆/熔体, 而与俯冲带熔体/流体的交代无关。这些结果表明, 桂东南-赣南地区燕山早期的构造环境类似于陆内裂谷或“盆岭构造”, 而不支持小角度俯冲的“安第斯型活动大陆边缘”模式。

野外地质调查工作得到江西 264 地质大队易作凡高级工程师的帮助; 在年龄测定过程中得到简平和宋彪的支持和帮助; 葛小月、邓希光、汪洋、黄小龙、袁超和王强等给了很大帮助并提出了许多建设性建议, 在此深表谢忱。

### 参考文献 (References):

[1] Jahn B M. Mesozoic thermal events in Southeast China[J]. *Nature*, 1974, 248: 480 ~ 483.  
[2] Jahn B M, Chen P Y, Yen T P. Rb-Sr ages of granitic rocks in southeastern China and their tectonic significance[J]. *Geol Soc*

*Am Bull*, 1976, 86: 763 ~ 776.

- [3] 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(1-4): 145 ~ 160.  
[4] Holloway N H. North Palawan Block, Philippines — Its relation to Asian Mainland and role in evolution of South China Sea[J]. *AAPG Bull*, 1982, 66(9): 1 355 ~ 1 383.  
[5] 黄董, 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 Shi-hua, DePaolo D J, *et al.* Nd-Sr isotope study of Cretaceous magmatic rocks from Fujian Province[J]. *Acta Petrol Sinica*, 1986, 2(2): 50 ~ 63 (in Chinese with English abstract).  
[6] Charvet J, Lapierre H, Yu Y. Geodynamic significance of the Mesozoic volcanism of southeastern China[J]. *J SE Asian Earth Sci*, 1994, 9(4): 387 ~ 396.  
[7] Martin H, Bonin B, Capdevila R, *et al.* The Kuiqi peralkaline granitic complex (SE China): Petrology and geochemistry[J]. *J Petrol*, 1994, 35(4): 983 ~ 1 015.  
[8] Lan C Y, Jahn B M, Mertzman S A, *et al.* Subduction-related granitic rocks of Taiwan[J]. *J SE Asian Earth Sci*, 1996, 14: 11 ~ 28.  
[9] Lapierre H, Jahn B M, Charvet J, *et al.* 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(4): 321 ~ 338.  
[10] Zhou X M, Li W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas[J]. *Tectonophysics*, 2000, 326 (3-4): 269 ~ 287.  
[11] Gilder S A, Keller G R, Luo M, *et al.* Timing and spatial distribution of rifting in China[J]. *Tectonophysics*, 1991, 197(2-4): 225 ~ 243.  
[12] Gilder S A, Gill J B, Coe R S, *et al.* Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China[J]. *J Geophys Res*, 1996, 101(B7): 16 137 ~ 16 154.  
[13] Li X H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China[J]. *J Asian Earth Sci*, 2000, 18(3): 293 ~ 305.  
[14] Li X H, Chung S L, Zhou H, *et al.* Jurassic intraplate magmatism in southern Hunan-eastern Guangxi: <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating, geochemistry, Sr-Nd isotopes and implications for tectonic evolution of SE China[J]. *Geol Soc London Spec Publ*, 2003, accepted.  
[15] 江西省重工业局, 广东省地质局. 中华人民共和国区域地质矿产调查报告(1:200000 龙南幅)[M]. 1970.  
Heavy Industry Bureau of Jiangxi Province, Geological Bureau of Guangdong Province. Region Geological Survey Report of Longnan Region of People's Republic of China (1:200000, Longnan)[M]. 1970 (in Chinese).  
[16] 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环境 [J]. *地球化学*, 2000, 29(4): 358 ~ 366.  
Fan Chun-fang, Chen Pei-rong. Geochemical characteristics and

- tectonic implication of Beitou A-type granitic intrusive in South Jiangxi Province[J]. *Geochimica*, 2000, 29(4): 358 ~ 366 (in Chinese with English abstract).
- [17] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. *地质论评*, 2002, 48(增刊): 26 ~ 30.
- Song Biao, Zhang Yu-hai, Wan Yu-sheng, *et al.* Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geol Rev*, 2002, 48 (suppl): 26 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- [18] 韦刚健, 梁细荣, 李献华, 等. (LP) MC-ICPMS 方法精确测定液体和固体样品的 Sr 同位素组成 [J]. *地球化学*, 2002, 31(3): 295 ~ 299.
- Wei Gang-jian, Liang Xi-rong, Li Xian-hua, *et al.* Precise measurement of Sr isotopic composition of liquid and solid base using (LP) MC-ICPMS[J]. *Geochimica*, 2002, 31(3): 295 ~ 299 (in Chinese with English abstract).
- [19] 梁细荣, 韦刚健, 李献华, 等. 利用 MC-ICPMS 精确测定  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  和  $\text{Sm}/\text{Nd}$  比值 [J]. *地球化学*, 2003, 32(1): 91 ~ 96.
- Liang Xi-rong, Wei Gang-jian, Li Xian-hua, *et al.* Precise measurement for  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  and  $\text{Sm}/\text{Nd}$  ratios using multiple-collectors inductively coupled plasma-mass spectrometer (MC-ICPMS) [J]. *Geochimica*, 2003, 32(1): 91 ~ 96 (in Chinese with English abstract).
- [20] 陈志刚, 李献华, 李武显. 全南正长岩的地球化学特征及成因[J]. *地质论评*, 2002, 48(增刊): 77 ~ 83.
- Chen Zhi-gang, Li Xian-hua, Li Wu-xian. Geochemical characteristics and origin of the Quannan syenite[J]. *Geol Rev*, 2002, 48(suppl): 77 ~ 83 (in Chinese with English abstract).
- [21] Müller D, Groves D I. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization[J]. Berlin: Springer-Verlag, 1995, 1 ~ 210.
- [22] Sun S-s, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. *Geol Soc London Spec Publ* 42, 1989. 333 ~ 347.
- [23] 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): 1 992 ~ 1 998.
- Li Xian-hua, Zhou Han-wen, Liu Ying, *et al.* Shoshonitic intrusive suite in SE Guangxi: Petrology and geochemistry[J]. *Chinese Sci Bull*, 2000, 45(7): 653 ~ 659.
- [24] 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 2002, 32(4): 279 ~ 289.
- Chen Pei-rong, Hua Ren-min, Zhang Bang-tong, *et al.* Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region: Petrological constraints and geodynamic settings[J]. *Sci China(D)*, 2002, 45(8): 755 ~ 768.
- [25] Li S, Xiao Y, Liu D, *et al.* Collision of the North China and Yangtse blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes[J]. *Chem Geol*, 1993, 109(1/4): 89 ~ 111.
- [26] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L E, *et al.* Exhumation of the ultrahigh-pressure continental crust in east-central China: Late Triassic - Early Jurassic extension[J]. *J Geophys Res*, 2000, 105: 13 339 ~ 13 364.
- [27] Lan C Y, Chung S L, Shen J J, *et al.* Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of granitic rocks from northern Vietnam[J]. *J Asian Earth Sci*, 2000, 18(3): 267 ~ 280.
- [28] Li Z X. Tectonic evolution of the major East Asian lithospheric blocks since mid-Proterozoic: A synthesis[A]. Martin F J, Chung S L, Lo C, *et al.* *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia (AGU Geodynamic Series 27)*[C]. Washington D C: American Geophysical Union, 1998. 221 ~ 243.
- [29] 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.
- Zhao Zhen-hua, Bao Zhi-wei, Zhang Bo-you. Geochemical characteristics of Mesozoic basaltic rocks in southern Hunan Province [J]. *Sci China (D)*, 1998, 28(suppl): 7 ~ 14 (in Chinese).
- [30] 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 Pei-rong, Zhang Bang-tong, Kong Xing-gong, *et al.* Geochemical characteristic and tectonic implication of Zhaipei A-type granitic intrusives in South Jiangxi Province[J]. *Acta Petrol Sinica*, 1998, 14(3): 289 ~ 298 (in Chinese with English abstract).
- [31] 陈培荣, 孔兴功, 倪琦生, 等. 赣南燕山早期双峰式火山岩的厘定和意义[J]. *地质论评*, 1999, 45(增刊): 734 ~ 741.
- Chen Pei-rong, Kong xing-gong, Ni Qi-sheng, *et al.* Ascertainment and implication of the Early Yanshanian bimodal volcanic associations from South Jiangxi Province[J]. *Geol Rev*, 1999, 45 (suppl): 734 ~ 741 (in Chinese with English abstract).
- [32] 徐磊明, 袁忠信. 清湖二长岩锆石的轴 - 铅同位素年龄及其地质意义[J]. *广西地质*, 1992, 5(3): 33 ~ 36.
- Xu Lei-ming, Yuan Zhong-xin. The zircon U-Pb isotope age and its geological significance of the Qinghu monzonite in Guangxi[J]. *Geol Guangxi*, 1992, 5(3): 33 ~ 36(in Chinese with English abstract).
- [33] Wilson M. *Igneous Petrogenesis*[M]. London: Unwin Hyman, 1989. 1 ~ 466.
- [34] 洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J]. *中国科学(B 辑)*, 1995, 25(4): 418 ~ 426.
- Hong Da-wei, Wang Shi-guang, Han Bao-fu, *et al.* Discrimination marks for tectonic setting of alkaline granites[J]. *Sci China (B)*, 1995, 25(4): 418 ~ 426 (in Chinese).

## SHRIMP U-Pb zircon age of the Quannan syenite, southern Jiangxi: Constraints on the early Yanshanian tectonic setting of SE China

CHEN Zhi-gang<sup>1</sup>, LI Xian-hua<sup>1</sup>, LI Wu-xian<sup>1</sup>, LIU Dun-yi<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The SHRIMP U-Pb zircon results indicate that the Quannan syenite from southern Jiangxi was formed at  $(161 \pm 4)$  Ma. The least crustal-contaminated syenites are enriched in  $K_2O$  ( $K_2O/Na_2O \geq 1$ ), LIL, LREE and HFS elements ( $La/Nb \approx 1.4$ ,  $Nb/Th \approx 15$ ) and display a positive  $\varepsilon_{Nd}(t)$  value of  $+3.4$ . While these geochemical features are similar to those of the intraplate, "rift-type" potassic alkaline rock such as the Jurassic syenites from SE Guangxi, they differ significantly from those of the "arc-type" potassic alkaline rock. These new results, together with the igneous rocks associations of the study area, favor an intraplate extensional/rifting tectonic regime in SE China in the early Yanshanian time, which was probably similar to present-day Basin and Range Province in the western United States.

**Key words:** syenite; SHRIMP U-Pb zircon age; southern Jiangxi