

# 湘东北新元古代花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地球化学特征

马铁球<sup>1</sup> 陈立新<sup>2</sup> 柏道远<sup>1</sup> 周柯军<sup>1</sup> 李 纲<sup>1</sup> 王先辉<sup>1</sup>

(1. 湖南省地质调查院, 湖南长沙 410011; 2. 湘潭市国土资源局, 湖南湘潭 411100)

**摘要:**在湘东北岳阳—平江一带分布有许多新元古代花岗岩体, 对其中的张邦源岩体进行锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定, 获得  $(816 \pm 4.6)$  Ma 的年龄。花岗岩体岩石基性程度较高,  $\text{SiO}_2$  平均为 70.25%; 低钾高钙,  $\text{CaO}$  平均为 2.38%; 全碱较低,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  平均为 5.97%, 且  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ; ASI 值平均 1.16 (0.97~1.29)。总体属镁质过铝质钙碱性花岗岩系列。不相容元素 Rb、Th 含量较高, 贫 Ba 和 Nb。稀土元素总量较低, 平均  $130 \mu\text{g/g}$ ; 轻稀土相对富集,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  比值在 6.76~8.50; 钕亏损不明显,  $\delta \text{Eu}$  值为 0.54~0.78。  $\epsilon \text{Nd}(t)$  值较高且变化范围较窄, 为 -1.5~-1.6,  $T_{2DM}$  1.35~1.60 Ga;  $\delta^{18}\text{O}_{V-SMOW}$  值为 8.1‰~11.1‰。岩石具典型的 I 型花岗岩或 ACG 型花岗岩特征, 为壳-幔混合型成因, 岩浆主要起源于亏损地幔源, 并伴有地壳物质加入。地球化学特征显示为岛弧火山岩系, 为会聚板块边缘(俯冲带)岩浆作用的产物, 不具备地幔柱岩浆特性, 不能作为 Rodinia 超大陆裂解的标志。

**关键词:**新元古代花岗岩; 锆石 SHRIMP 定年; 地球化学特征; 湘东北

中国分类号: P542+.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2009)01-0065-09

在扬子克拉通周缘及其内部地区如云南、四川、江西、安徽、湖北、贵州、广西等地区均发育有新元古代花岗岩体, 前人对其进行过较多年代学研究与其成因探讨<sup>[1-10]</sup>, 揭示成岩年龄为 810~830 Ma, 但关于其形成机制却存在有造山成因与地幔柱成因之分歧。

湖南境内于湘东北和雪峰山地区也分布有较多新元古代花岗岩体(其中雪峰山地区岩体为最近在 1:5 万矿调中新发现, 数据资料另文发表), 并发育有同时代火山岩<sup>[11]</sup>, 但研究程度总体较低。以往获得的年龄数据主要为 618~1021 Ma, 受测试方法等客观条件限制其可信度较低。近年来笔者在 1:25 万区域地质调查中, 对湘东北新元古代花岗岩体进行了岩石地球化学、同位素等方面的详细研究, 并选择其中代表性的张邦源岩体进行了锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定, 首次获得湖南境内新元古代花岗岩的高精度年龄数据。笔者将在此基础上简单讨论湖南新元古代花岗岩岩浆活动的构造背景。

## 1 岩体地质和样品特征

湘东北岳阳—平江地区新元古代花岗岩体分布广泛, 有大小岩体 25 个, 本次重点选择其中的张邦源、罗里、渭洞等侵入体进行研究。岩石一般呈小的岩株或岩滴状产出, 面积大多小于  $1 \text{ km}^2$ , 大者在  $4 \text{ km}^2$  左右, 岩体侵入于中元古代岩层之中(图 1)。岩性以含角闪石黑云母花岗闪长岩、英云闪长岩为主, 少量的黑/二云母花岗闪长岩。岩石结构以细中粒为主。岩体边部均或多或少有细粒角闪石黑云母英云闪长岩出现, 与花岗闪长岩呈过渡关系。岩石多风化, 新鲜岩石露头较少。内蚀变作用较普遍, 主要有钠长石化、绢云母化、绿泥石化、白云母化等。岩石中暗色微粒闪长质包体和片、角岩包体发育, 包体多呈长条状或扁圆状产出。

用于 SHRIMP U-Pb 定年分析的锆石来自于张邦源岩体。该岩体位于新元古代花岗岩带的北西

收稿日期: 2008-04-08; 改回日期: 2008-06-19

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(1212010610706)资助。

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

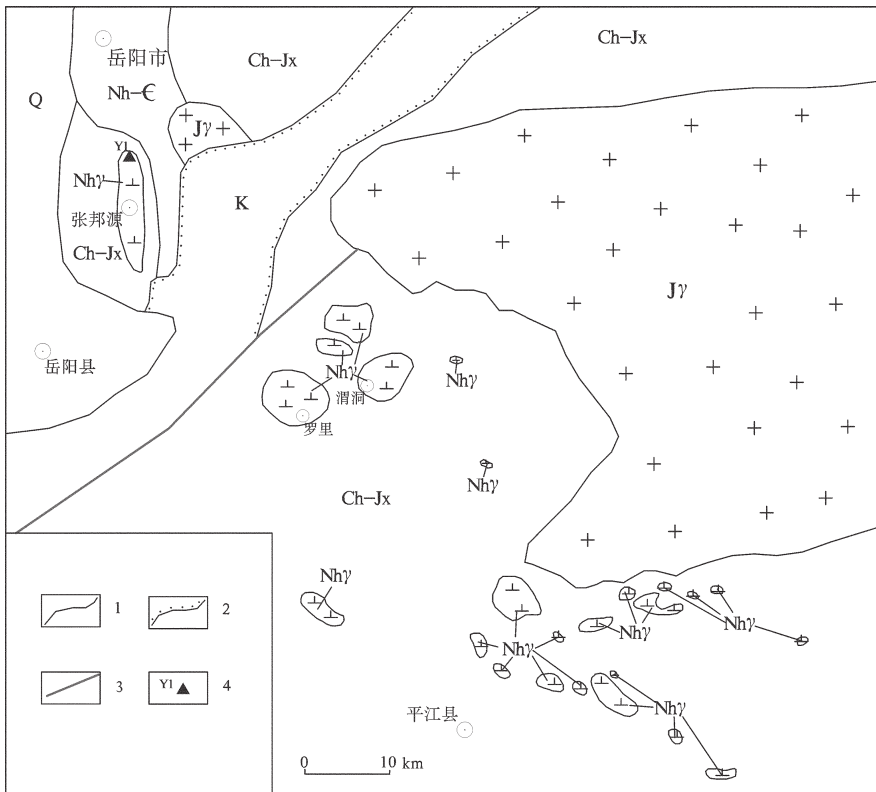


图1 南华纪花岗岩体地质简图

Q—第四系;K—白垩系;Nh—ε—南华系—寒武系;Ch—Jx—长城系—蓟县系;Jγ—侏罗纪花岗岩;  
Nhγ—南华纪花岗岩;1—地质界线;2—不整合地质界线;3—断裂;4—年龄样位置

Fig.1 Geological sketch map of Nanhuaian plutons

Q—Quaternary; K—Cretaceous; Nh—ε—Nanhuaian—Cambrian; Ch—Jx—Changchengian—Jixianian; Jγ—Jurassic granite; Nhγ—Nanhuaian granite; 1—Geological boundary; 2—Unconformity; 3—Fault; 4—Location of age sample

侧,呈南北向长条状分布,面积约 3.24 km<sup>2</sup>,岩体全风化,呈负地形。在岩体的北端有较新鲜岩石露头。主要岩性为中细粒黑云母花岗闪长岩,中细粒花岗结构,块状构造;矿物主要由斜长石(47%)、微斜微纹长石(15%)、石英(28%)、黑云母(≤10%)等组成;副矿物有锆石、磷灰石、褐帘石、白钛石等。斜长石为半自形板状,普遍被绢云母、黝帘石等交代变得模糊不清,晶形轮廓仍保留不变,粒度大小为 0.2~2 mm,部分为 2~4 mm。微斜微纹长石为他形板状,有不少的斜长石嵌晶包体,呈隐格状,钠长石微纹极不发育呈稀疏点滴状,半径为 1~3 mm。石英他形粒状连晶,形状受斜长石控制,甚至为充填状,粒径为 0.4~2.2 mm。黑云母为半自形板片状,可为聚晶出现,受应力作用有时见扭折现象,粒径为 0.3~2 mm,已被绿泥石交代。

## 2 分析方法及结果

采用常规浮选和电磁选方法,然后在双目镜下挑

选出晶形较好和透明度好的锆石颗粒,将其和标准锆石 TEM(年龄为 417 Ma)在玻璃板上用树脂固定、抛光,再进行反射光和透射光照相,以及阴极发光扫描电镜图像分析。锆石的阴极发光图像及其锆石微区 U—Pb 定年测试均在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成,分析原理和流程见 Compston 等<sup>[12]</sup>、Willians<sup>[13]</sup>。实验分多次完成,但测定过程和条件类似。一次离子流 O<sup>-2</sup> 强度为 5~8 nA。一次离子流束斑直径为 25~30 μm。样品点清洗时间为 120~180 s。每个数据点测定为 5 组扫描。标准为澳大利亚国立大学的 SL13 和 TEM。数据处理采用 Ludwig 博士编写的 Squid 1.0 及 Isoplot 程序<sup>[14,15]</sup>。单个分析值误差为 1σ,图和文中年龄平均值误差为(95%置信度)。

分析锆石多为透明的自形晶体,阴极发光图像均显示出岩浆结晶成分环带(图 2);其 U—Pb 年龄分析结果见表 1 和图 3。16 个测点的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄值变化于 663~834 Ma,但 MSWD 值较大,说明有些

数据为离群值。其中 6 个点年龄较接近 (Y1-1.1、Y1-2.1、Y1-6.1、Y1-8.1、Y1-13.1、Y1-15.1), 6 个点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄给出的加权平均年龄为  $816 \pm 4.6 \text{ Ma}$  ( $2\sigma$ ),  $\text{MSWD}=0.84$ , 为花岗岩的成岩年龄。从表 1 和图 3 可以看出, 还存在一组较年轻的数据, 大约在 750 Ma, 锆石的特征与前面 6 个点的锆石特征相似, 有可能是另一次岩浆-热力作用事件的记录反映, 据前人的研究<sup>[16,17,18]</sup>, 在 747~768 Ma 期间, 湘西、桂北等地存在有大量的基性岩浆活动, 也支持了这

一推测。

### 3 岩石地球化学特征

岩石主元素、微量元素、稀土元素、Sr-Nd 及氧同位素组成分析结果列于表 2 中。岩石基性程度较高,  $\text{SiO}_2$  含量 67.71%~72.48%, 平均为 70.25%; 全碱较低,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量 5.1%~6.75%, 平均为 5.97%, 且  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ; 铁、镁、钙等含量相对较高。ASI 值仅罗里岩体中一个小于 1(0.97), 其余均大于 1.1(1.11~1.29),

表 1 锆石 SHRIMP U-Pb 同位素分析结果  
Table 1 SHRIMP zircon U-Pb data

测点	$^{206}\text{Pb}/10^{-2}$	U/10 <sup>-6</sup>	Th/10 <sup>-6</sup>	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^* \pm 1\sigma\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} \pm 1\sigma\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm 1\sigma\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm 1\sigma\%$		
Y1-1.1	0.30	157	76	0.50	18.2	812.2 ± 6.3	849 ± 47	0.0674	2.3	1.247	2.4	0.1343	0.83
Y1-2.1	0.46	138	91	0.68	15.9	805.5 ± 6.7	747 ± 44	0.0642	2.1	1.178	2.3	0.1331	0.89
Y1-2.2	0.58	140	57	0.42	14.5	732.2 ± 8.2	884 ± 61	0.0685	2.9	1.136	3.2	0.1203	1.2
Y1-3.1	0.55	106	42	0.41	10.7	714.8 ± 7.5	769 ± 64	0.0648	3.0	1.048	3.2	0.1173	1.1
Y1-4.1	0.25	180	76	0.43	20.4	794.7 ± 5.7	862 ± 37	0.0678	1.8	1.226	2.0	0.1312	0.77
Y1-5.1	0.06	256	73	0.29	23.9	663.2 ± 4.4	823 ± 35	0.0665	1.7	0.994	1.8	0.10836	0.70
Y1-6.1	0.56	186	83	0.46	21.8	817.6 ± 5.9	761 ± 60	0.0646	2.8	1.204	2.9	0.1352	0.77
Y1-7.1	0.19	301	184	0.63	31.1	732.1 ± 4.8	843 ± 36	0.0672	1.7	1.113	1.9	0.12026	0.69
Y1-8.1	0.40	174	67	0.40	20.3	816.4 ± 5.9	911 ± 60	0.0694	2.9	1.292	3.0	0.1350	0.77
Y1-9.1	0.56	283	93	0.34	27.4	683.9 ± 4.7	726 ± 57	0.0635	2.7	0.981	2.8	0.11191	0.73
Y1-10.1	0.19	524	154	0.30	57.8	777.2 ± 4.4	784 ± 34	0.0653	1.6	1.154	1.7	0.12813	0.60
Y1-11.1	0.33	290	153	0.55	31.8	773.0 ± 5.6	778 ± 50	0.0651	2.4	1.144	2.5	0.12741	0.77
Y1-12.1	0.70	159	87	0.57	16.9	746.7 ± 6.8	767 ± 82	0.0648	3.9	1.097	4.0	0.1228	0.97
Y1-13.1	0.57	169	75	0.46	19.7	816.3 ± 6.8	844 ± 61	0.0672	2.9	1.251	3.1	0.1350	0.88
Y1-14.1	0.55	209	100	0.49	25.0	833.9 ± 5.9	795 ± 53	0.0657	2.5	1.250	2.6	0.1381	0.75
Y1-15.1	0.61	414	339	0.85	48.6	821.0 ± 4.3	741 ± 40	0.0640	1.9	1.198	2.0	0.13582	0.56

注:  $^{206}\text{Pbc}$ 、 $^{206}\text{Pb}^*$  分别属于普通铅的  $^{206}\text{Pb}$  在总 Pb 中的百分比和放射性成因  $^{206}\text{Pb}$  的含量; 普通铅根据实测  $^{238}\text{Pb}$  进行校正; 误差为  $1\sigma$ 。

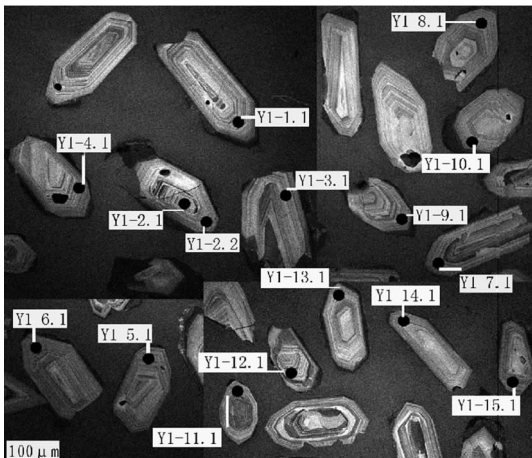


图 2 锆石阴极发光照片

Fig.2 Cathodoluminescence images of zircons

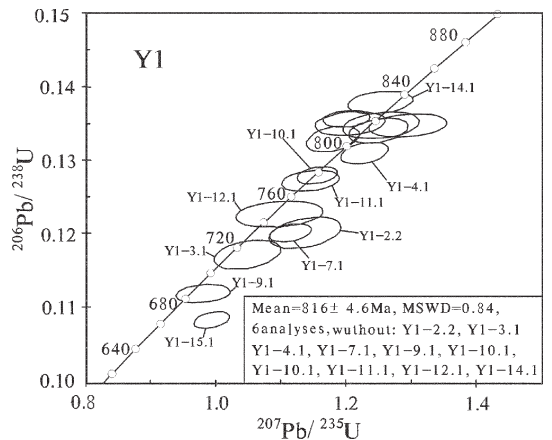


图 3 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

Fig.3 Zircon SHRIMP U-Pb concordia diagram

平均 1.16。在主元素及特征参数判别图解中(图 4),岩石为镁质,过铝质,钙碱性岩系。在  $K_2O-Na_2O$  相关图上,样点全落在“ I 型花岗岩”区内(图 5)。

岩石微量元素以低的亲铜成矿元素和稀有、稀土、挥发分等元素,以及高的亲铁元素为特征,不相容元素 Rb、Th 含量较高,暗示岩石具过铝质花岗岩特征;同时贫 Ba 和 Nb,显示岩石成分具陆壳物质特点。在原始地幔标准化蛛网图(图 6)上,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 I 型花岗岩及正常弧花岗质岩石蛛网图曲线相近<sup>[19]</sup>。

Sm-Nd 同位素由中国地质科学院地质研究所同位素实验室用 Nu Plasam HR MC-ICP-MS(Nu Instruments) 仪器测试完成,标准测定结果:JMC  $Nd_2O_3$   $^{143}Sm/^{144}Nd=0.511125\pm(2\sigma)$ ;Nd 同位素质量分馏采用  $^{143}Sm/^{144}Nd=0.7219$  校正(表 3)。岩石的  $^{147}Sm/^{144}Nd$  变化为 0.1277~0.1329, $^{143}Nd/^{144}Nd$  为

表 2 主量元素、微量元素和稀土元素分析  
Table 2 Analytical results of major elements, trace elements and REE

主量元素( $10^{-2}$ )及有关参数																						
样号	岩体	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 <sup>+</sup>	灼失	$\Sigma$	ASI	ANK	ALK	$K_2O/Na_2O$	A/MF	MALIF/F+M	
Y1	张邦源	68.16	0.47	14.71	0.92	3.03	0.07	1.88	2.46	3.73	2.37	0.11	1.80	1.28	99.19	1.13	1.69	6.10	1.57	1.62	3.64	0.62
HI*		67.71	0.38	15.01	1.02	2.66	0.09	1.74	3.13	2.70	2.40	0.08		2.97	99.89	1.19	2.13	5.10	1.13	1.84	1.97	0.60
Y2	I 罗里	68.20	0.35	14.59	0.93	3.37	0.08	1.23	3.00	4.31	2.44	0.10	1.03	0.49	99.09	0.97	1.5	6.75	1.77	1.85	3.75	0.73
6785*		71.34	0.38	14.82	0.58	2.49	0.06	1.18	2.70	3.56	2.38	0.01		0.5	100	1.11	1.76	5.94	1.50	2.27	3.24	0.68
Y3	I 渭洞	71.77	0.26	14.40	0.50	1.90	0.05	0.92	1.98	3.89	2.75	0.14	1.12	0.84	99.40	1.12	1.54	6.64	1.41	2.87	4.66	0.67
G131*		72.06	0.40	14.05	0.73	2.77	0.02	1.38	1.50	3.22	2.76	0.12		0.92	100	1.29	1.70	5.98	1.67	1.89	4.48	0.67
3593*		72.48	0.28	14.1	0.41	2.02	0.02	0.88	1.89	3.22	2.08	0.038		0.57	97.99	1.29	1.87	5.30	1.55	2.77	3.41	0.70
微量元素丰度(Au $\times 10^{-9}$ ; 其余为 $10^{-6}$ )																						
样号	岩体	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Sb	Hg	Sr	Ba	V	Th	U	Cl				
Y1	张邦源	12.0	2.9	2.0	0.17	29.0	16.3	66.6	0.065	4.4	0.41	<0.005	234	313	61.8	10.3	3.0	95.4				
Y2	罗里	0.67	3.3	6.5	0.15	28.9	25.8	56.7	0.057	2.7	0.55	<0.005	195	301	50.0	13.0	2.3	22.4				
Y3	渭洞	0.02	4.3	1.8	0.31	14.9	30.8	48.3	0.097	1.5	0.27	<0.005	128	350	33.0	8.1	2.6	36.8				
	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	岩体	Co	Ni	Li	Be	Ta	Nb	Zr	Hf	Rb	Au	Cs	Cr	Ga	Sc	Cd	F	B				
Y1	张邦源	10.3	24.6	30.4	1.8	0.83	7.4	134	4.6	94.2	2.2	9.3	40.2	18.7	9.6	<0.03	476	14.8				
Y2	罗里	8.6	21.1	52.0	2.2	0.76	6.4	104	3.2	91.1	1.1	8.9	28.2	17.2	7.3	0.15	487	6.2				
Y3	渭洞	5.1	17.4	49.6	2.2	0.79	7.1	108	3.7	130	0.79	12.6	23.2	17.4	5.8	0.064	492	10.8				
	维氏值(1962)	5	8	40	5.5	3.5	20	200	1	200	4.5	5	25	20	0.05	0.1	800	15				
稀土元素丰度 ( $10^{-6}$ )																						
样号	岩体	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma REE$	$\Sigma Ce/\Sigma Y$	(La/Yb) <sub>N</sub>	$\delta Eu$		
Y1	张邦源	22.78	43.91	5.73	19.8	4.11	0.91	3.57	0.58	3.33	0.66	1.76	0.27	1.62	0.25	16.07	125.4	3.46	8.35	0.54		
Y2	罗里	23.77	44.37	5.85	20.18	4.16	0.83	3.56	0.62	3.42	0.67	1.8	0.28	1.66	0.25	16.41	127.8	3.46	8.50	0.78		
A4601※		22.15	39.8	4.83	18.94	3.83	0.73	3.54	0.66	2.97	0.61	1.81	0.43	1.95	0.31	18.26	120.82	2.96	6.74	0.65		
Y3	渭洞	21.62	40.44	5.29	18.96	3.87	0.78	3.62	0.58	3.49	0.65	1.76	0.27	1.9	0.28	16.13	119.6	3.17	6.76	0.69		
D4701※		30	56	5.4	27	4.8	0.88	4	0.7	4.2	0.7	2.1	0.33	2.2	0.28	20	158.59	3.60	8.10	0.65		

注: \* 样品来源于湖南区调所花岗岩专题报告,1994;其余为本文。样品分析由湖北武汉综合岩矿测试中心完成。主量元素采用 ICP-AES 测定,微量元素和稀土元素采用 PE Elan6000 型等离子体质谱测定。ASI= Al/Ca-1.67P+Na+K; ANK=Al/(Na+K); ALK=Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O; A/MF=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(MgO+FeO), FeO 为全铁; MALI=Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-CaO; F/F+M=FeO/(FeO+MgO)。维氏值为维诺格拉多夫花岗岩平均值。

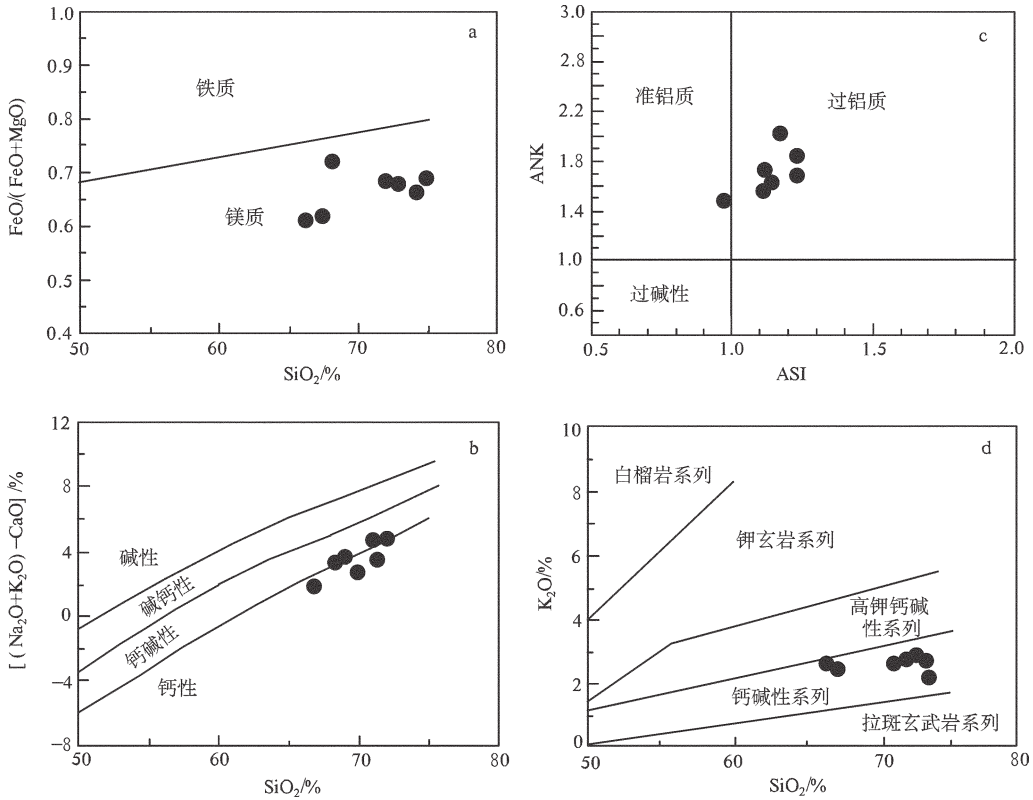


图 4 花岗岩 FeO/(FeO+MgO)-SiO<sub>2</sub>(a), ANK-ASI(b), K<sub>2</sub>O- SiO<sub>2</sub>(c)图解  
(a-c 据 Frost 等,2001; d 据 Peccerillo 等,1976)

Fig.4 FeO/(FeO+MgO)-SiO<sub>2</sub>(a), ANK-ASI(b), K<sub>2</sub>O- SiO<sub>2</sub>(c) diagrams of granite  
(a-c after Frost et al., 2001; d after Peccerillo et al.,1976)

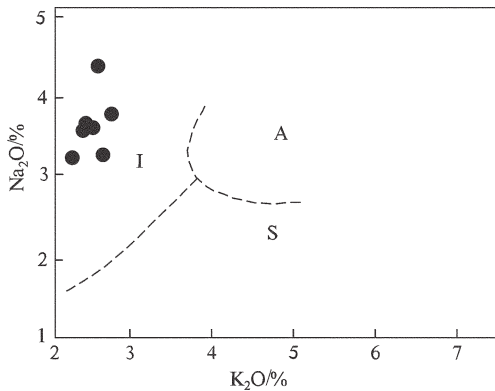


图 5 Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O 相关图解  
(据 Collions,1982)  
Fig.5 Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O diagram  
(after Collions, 1982)

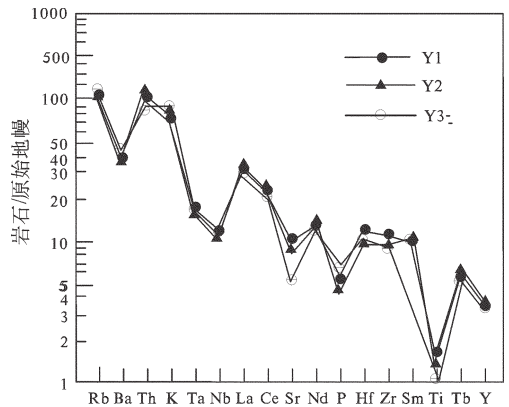


图 6 微量元素原始地幔标准化蛛网图  
原始地幔数据 Wood(1979), 转引自李昌年<sup>[19]</sup>

Fig.6 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram for granites  
Primitive mantle data quoted from Wood (1979), after Li Changnian<sup>[19]</sup>

0.512193~0.512379,以 816 Ma 计算出的  $\epsilon Nd(t)$  值较高且变化范围较窄,为-1.5~1.6,说明岩浆有可能

主要起源于亏损地幔源,同时有地壳物质加入。

氧同位素  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  为 8.1‰~11.1‰,反映成

表 3 Sm-Nd 及  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}\%$  同位素组成  
Table 3 Sm-Nd isotope and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}\%$  values

样号	岩体	年龄	Sm/ $10^{-6}$	Nd/ $10^{-6}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (T)	$\epsilon\text{Nd}$ (T)	$T_{\text{DM}}$ (Ga)	$T_{2\text{DM}}$ (Ga)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}\%$	
Y1	张邦源	SH809	2.995	13.626	0.1329	0.512379	5	0.5117	1.6	1.45	1.35	11.1
Y2	罗里	SH809	2.748	13.021	0.1277	0.512213	7	0.5115	-1.2	1.66	1.57	8.9
Y3	渭洞	SH809	2.416	11.445	0.1277	0.512193	5	0.5115	-1.5	1.69	1.60	8.1

注:中国地质科学院地质研究所同位素实验室测试。 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 、 $\epsilon\text{Sr}(t)$ 、 $I_{\text{Sr}}$  和  $t_{2\text{DM}}$  的计算据陈江峰和江博明(1999);计算参数为: $t=420\text{ Ma}$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}=0.512638$ ,  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}=0.1967$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}}=0.7045$ ,  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CC}}=0.118$ ,  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}=0.2137$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}=0.513151$ ,  $\lambda_{\text{Sm}}=6.54 \times 10^{-12}\text{ a}^{-1}$ ,  $\lambda_{\text{Rb}}=1.42 \times 10^{-11}\text{ a}^{-1}$ 。参数中下角字母代表的含义:UR: 铀同位素均一储库;CHUR:球粒陨石均一储库;DM:亏损地幔;CC:大陆地壳。

岩母物质部分来源于地壳。

## 4 讨论

从湖南周边地区(扬子块体周缘及其内部)新元古代花岗岩已有研究资料来看,年龄值集中在 820~830 Ma<sup>[1]</sup>。但各岩体的岩石组合与成因类型有较大差异,如湖北黄陵岩体主要为奥长花岗岩和少量英云闪长岩、花岗闪长岩,类似于太古代的 TTG 岩石组合,属典型的 I 型花岗岩<sup>[20]</sup>,或现代“埃达克质”花岗岩<sup>[21]</sup>,为区内太古代崧岭群变质基性岩重熔产物。而江西北部的九岭岩体和安徽南部的许村、休宁、歙县岩体均为含堇青石的黑云母花岗闪长岩,为典型的 S 型花岗岩或 CPG 型花岗岩(含堇青石及富黑云母过铝花岗岩),是区域中元古代泥质变质沉积岩重熔而成<sup>[1]</sup>。广西北部的花岗岩包括两类:一类是以三防、元宝山等岩体为代表的含白云母淡色花岗岩,属 S 型花岗岩或 MPG 型花岗岩(含白云母过铝花岗岩);另一类为黑云母花岗岩,属 S 型花岗岩或不含堇青石的 CPG 型花岗岩,这两类花岗岩主要是区域古—中元古代泥质变质沉积岩重熔而成<sup>[1]</sup>。云南峨山钾长花岗岩则为分异的 I 型花岗岩或 KCG 型花岗岩(高钾—低镓富钾长石斑晶的钙碱性花岗岩),是区域古—中元古代钙碱性火成岩重熔的产物<sup>[1]</sup>。李献华等<sup>[1]</sup>认为上述江西、安徽、广西、云南等地新元古代花岗岩的形成与地幔柱活动导致下地壳重熔有关。

据颜丹平等<sup>[22]</sup>的研究,上扬子及扬子地块西缘出露 726~864 Ma 的变质—岩浆杂岩体为典型的板块边缘岛弧型岩浆杂岩,与板块俯冲作用具有成因联系,而不可能是地幔柱成因。扬子地块东南缘也有保存较好的 830~750 Ma 的岩浆岩和沉积岩,视为江南元古宙岛弧南缘大洋板块俯冲标志<sup>[23,24]</sup>,认为扬子克拉通的东南边缘在中新元古代表现为活动大陆

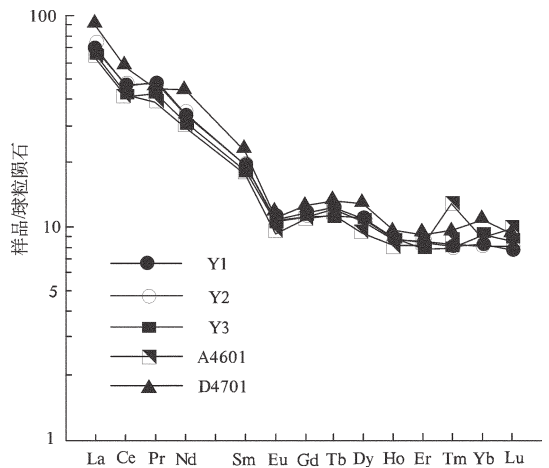


图 7 稀土元素配分型式图

Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns

边缘,涉及岛弧地体的碰撞增生,它们在构造活动时代及构造组成上完全可与典型的格林威尔期造山带对比,华北及扬子和华夏陆块均发育格林威尔期造山带的残留部分,证明它们为全球元古宙末期超大陆的组成部分<sup>[25]</sup>。包括扬子地块在内的华南地块,可能位于 Rodinia 超大陆印度板块东北缘,并可能在南东侧与澳大利亚板块相联接。

湘东北新元古代花岗岩形成年龄为 816 Ma,与周边地区新元古代花岗岩形成时间相近,但岩性主要是含角闪石黑云母花岗闪长岩及少量的英云闪长岩,属典型的 I 型花岗岩或 ACG 型花岗岩(低 K—高 Ca 含角闪石钙碱性花岗岩类),其成因为壳—幔混合型花岗岩,微量元素判别图解显示为典型岛弧花岗岩(图 8)。地球化学特征与扬子地块西缘出露同时代岩浆杂岩体十分相似,属岛弧火山岩系,不具备地幔柱岩浆特性,应为格林威尔造山运动(四堡运动)板块碰撞形成的,为汇聚板块边缘俯冲带岩浆作

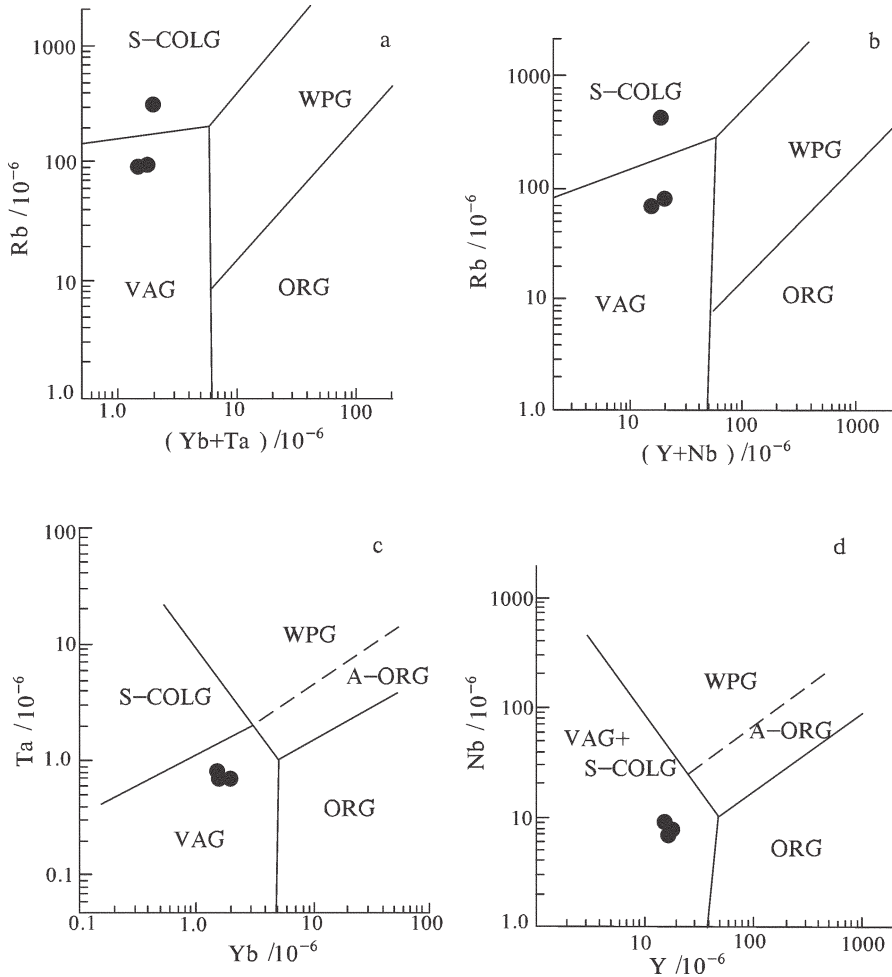


图 8 微量元素图解(据 Pearce 等,1984)

Fig.8 Trace element diagram (after Pearce et al., 1984)

用的产物,而不能作为 Rodinia 超大陆裂解的标志。这一认识与周金成<sup>[6]</sup>、颜丹平<sup>[23]</sup>等的研究结论一致。

值得指出的是,在研究区南西侧益阳附近的基性火山岩形成年龄为(823±6) Ma,具有典型的枕状构造,部分样品中见鬃刺结构,具典型科马提岩地球化学特征,研究认为很可能起源于地幔柱,与新元古代 Rodinia 超大陆裂解有关<sup>[26]</sup>。已有研究表明“弧”和“地幔柱”岩浆作用在某些情况下并不相互排斥,如加拿大的太古代 Abitibi 绿岩带同时代的岛弧类型的拉斑玄武岩、钙碱性火山岩与地幔柱来源的科马提岩伴生;在汤加弧,来自 Samoan 地幔柱的科马提岩浆流入附近的岛弧。而根据 Wyman 的模型,“弧火山作用”可以出现在“地幔柱活动”之前、之中或之后<sup>[27]</sup>。因此,湘东北新元古代花岗岩形成于岛弧环境的认识,与益阳科马提岩反映的地幔柱信息可能并不矛盾。

## 5 结论

(1)张邦源岩体为湘东北岳阳—平江一带新元古代花岗岩体之一,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(816±4.6) Ma。

(2)湘东北新元古代花岗岩属镁质过铝质钙碱性花岗岩系列(低 K-高 Ca 含角闪石钙碱性花岗岩类),具典型的 I 型花岗岩或 ACG 型花岗岩特征,为壳-幔混合成因,岩浆主要起源于亏损地幔源,并伴有地壳物质加入。

(3)岩石显示岛弧火山岩系地球化学特征,很可能为格林威尔造山运动(四堡运动)中汇聚板块边缘(俯冲带)岩浆作用的产物,不具备地幔柱岩浆特性,不能作为 Rodinia 超大陆裂解的标志。

**致谢:**SHRIMP 分析样品制备、分析测试始终得到了北京离子探针中心工作人员及刘敦一研究员、董

春艳等老师的支持和具体指导,在此深表谢忱。

## 参考文献 (References):

- [1] 李献华, 李正祥, 葛文春, 等. 华南新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4):271-273.  
Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, et al. U-Pb zircon ages of the Neoproterozoic granitoids in South China and their tectonic implications[J]. Bull mineral Petrol Geochem, 2001, 20(4): 271-273 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李志昌, 王桂华, 张自超. 鄂西黄陵花岗岩基同位素年龄谱[J]. 华南地质与矿产, 2002, (3):19-28.  
Li Zhichang, Wang Guihua, Zhang Zichao. Isotopic age spectrum of the Huangling granitic batholith, western Hubei [J]. Geol Mineral Resour South Chian, 2002, (3):19-28 (in Chinese with English abstract).
- [3] 马大全, 杜绍华, 肖志发. 黄陵花岗岩基的成因[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(2):151-161.  
Ma Daquan, Du Shaohua, Xiao Zhifa. The origin of Huangling granite batholith [J]. Acta Patrol Mineral, 2002, 21 (2):151-161 (in Chinese with English abstract).
- [4] 邱检生, 周金城, 张光辉, 等. 桂北前寒武纪花岗岩类岩石的地球化学与成因[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(3):197-208.  
Qiu Jiansheng, Zhou Jincheng, Zhang Guanghui, et al. Geochemistry and petrogenesis of Precambrian gmitoid rocks in northern Guangxi[J]. Acat Petrol Mineral, 2002, 21(3):197-208 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张桂林, 梁金城, 刘之葵, 等. 桂北元古代本洞花岗岩闪长岩体中发现左旋-正滑型韧性剪切带[J]. 桂林工学院学报, 2003, 23(1):1-4.  
Zhang Guilin, Liang Jincheng, Liu Zhikui, et al. Discovery of sinistral-normal dnctile shear zone in Proterozoic Bendong granodiorite pluton [J]. J Guilin Inst Technol, 2003, 23 (1):1-4 (in Chinese with English abstract).
- [6] 周金城, 王孝磊, 邱检生, 等. 桂北中-新元古代镁铁质-超镁铁质岩的岩石地球化学[J]. 岩石学报, 2003, 19(1):9-18.  
Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng, et al. Lithogeochemistry of Meso- and Noproterozoic mafic-ultramafic rocks from northern Guangxi [J]. Acta Petrol Sinica, 2003, 19 (1):9-18 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李献华. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球化学, 1999, 28(1):1-9.  
Li Xianhua. U-Pb zircon ages of granites from northern Guangxi ang their tectonic significance[J]. Geochimica, 1999, 28(1):1-9 (in Chinese with English abstract).
- [8] 葛文春, 李献华, 李正祥, 等. 桂北新元古代两类过铝花岗岩的地球化学研究[J]. 地球化学, 2001, 30(1):24-34.  
Ge Wrnchun, Li Xianhua, Li Zhengxiang, et al. Geochemical studies on two types of Neoproterozoic peraluminous granitoids in noethern Guangxi [J]. Geochinica 2001, 30(1):24-34 (in Chinese with English abstract).
- [9] 邢凤鸣, 徐祥, 陈江峰, 等. 江南古陆东南缘晚元古代大陆增长史[J]. 地质学报, 1992, 66(1):59-72.  
Xing Fengming, Xu Xiang, Chen Jiangfeng, et al. The Late proterozoic continental accretionary history of the southeastern margin of the Yangtze platform [J]. Acta Geologica Sinic, 1992, (1): 59-72 (in Chinese with English abstract).
- [10] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia:did it start with a mantle plume plume beneath South China? [J]. Earth Planet., Sci., Lett., 1999:173-181.
- [11] 王剑, 李献华, T.Z.duan, 等. 沧水铺火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及“南华系”底界新证据[J]. 科学通报, 2003, 48(16):1726-1731.  
Wang Jian, Li Xianhua, Duan T Z, et al. Zircon SHIMP U-Pb age of the Cangshui pu volcanic and new evidence of the basal boundary of “the Nanhuaan System”[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(46):1726-1731 (in Chinese).
- [12] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale [J]. J.Geol.Soc.,1992, 149:171-184.
- [13] Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high gradeparagneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II .Ior microporpe zircon U-Th-Pb [J]. Contrib. Mineral. Petrol, 1987, 97:205-217.
- [14] Ludwig K R. Using Isoplot/EX, version 2, a Geolocronolical Toolkit for Microsoft Excei[M]. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a, 1999, 47.
- [15] Ludwig K R. Squid 1.02: A User Manual [M]. Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2001, 2.
- [16] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带是否格林威尔期造山带? ——关于华南前寒武纪地质的几个问题[J]. 高校地质学报, 2008, 14(1):64-72.  
Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng. Is the Jiangnan Orogenic Beit a Grenvillian Orogenic Belt:Some Problems about Precambrian Geology of South China [J]. Geological Journal of Chian Universities, 2008, 14(1):64-72.
- [17] Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, et al. Geochronology and geochemistry of the Neoproterozoic mafic rocks from Western Hunan, South China:implications for petrogenesis and postorogenic extension[J]. Geol Mag, 2007.
- [18] Zhou J B, Li X H, Ge W C, et al. Age and origin of middle Neoproterozoic mafic magmatism in southern Yangtze Block and relevance to the break-up of Rodinia[J]. Gr.2006. 10.011.
- [19] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992:109.  
Li Changnian. Trace Element Lithology of Magmatic Rock [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1992:109 (in Chinese).
- [20] Li Z X, Li X H, Zhou H W, et al. Grenville aged continental



- collision in South China; new SHRIMP U-Pb zircon results and implications for Rodinia configuration [J]. *Geology*, 2001, (submitted).
- [21] Barin B A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. *Lithos*, 1999, 46: 605-626.
- [22] 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, 等. 华南在 Rodinia 古陆中位置的讨论—扬子地块西缘变质—岩浆杂岩证据及其 Seychelles 地块的对比[J]. *地学前缘*, 2002, 9(4):249-256.  
Yan Danping, Zhou Meifu, Song Honglin, et al. Where was south China located in the reconstruction of Rodinia? [J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4):249-256 (in Chinese with English abstract).
- [23] 郭令智, 俞剑华, 施央申, 等. 中国东南部花岗岩类的时空分布与大地构造格架形成和演化的关系[C]//徐克勤, 涂光炽; 主编. 花岗岩地质和成矿关系. 南京:江苏科学技术出版社, 1984:38-48.  
Guo Lingzhi, Yu Jianhua, Shi Yangshen, et al. On the time and spatial distribution of the granitic framework and crustal evolution [C]//Xu Keqin, Tu Guangchi(eds.). *Geology of Granites and Their Metallogenetic Relations*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1984. 38-48.
- [24] 夏斌. 广西龙胜元古代二种不同成因蛇绿岩岩石地球化学及侵位方式研究[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 1984 (3):554-566.  
Xia Bin. A study on geochemical characteristic and enplaced styeie in two different ophiolites of lates Proterozoic Xuefeng Stage in the Longsheng regions, Guangxi, southeast China [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Science edition)*. 1984. (3):554-566 (in Chinese with English abstract).
- [25] 郭令智, 卢华复, 施央申, 等. 江南中新元古代岛弧的运动学和动力学[J]. *高校地质学报*, 1996, 2(1):1-13.  
Guo Lingzhi, Lu Huaifu, Shi Yangshen, et al. On the Meso - Neoproterozoic Jiangnan island arc: its kinematics and dynamics [J]. *Geological Journal of Universities*, 1996, 2 (1):1-13 (in Chinese with English abstract).
- [26] Wang Xuance, Li Xianhua, Li Wuxian, et al. Ca. 825Ma komatiitic basalts in South China: first evidence for >1500°C mantle melts by a Rodinian mantle plume [J]. *Geology*, December 2007; 1103-1106.
- [27] Wyman D A. A 2.7 Ga depleted tholeiite suite: evidence of plume-arc interaction in the Abitibi Greenstone belt, Canada [J]. *Precam. Res.*, 1999, 97:27-42.

## Zircon SHRIMP dating and geochemical characteristics of Neoproterozoic granites in southeastern Hunan

MA Tie-qiu<sup>1</sup>, CHEN Li-xin<sup>2</sup>, BAI Dao-yuan<sup>1</sup>,  
ZHOU Ke-jun<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1</sup>, WANG Xian-hui<sup>1</sup>

(1. *Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410011, Hunan, China*;  
2. *Xiangtan Bureau of Land and Resources Management, Xiangtan 411100, Hunan, China*)

**Abstract:** There occur Neoproterozoic granitic bodies in Yueyang-Pinjiang area, northeast Hunan. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the granite from Zhangbangyuan pluton was performed, yielding an age of  $816 \pm 4.6$  Ma. The rocks are lightly basic with an average  $\text{SiO}_2$  content of 70.25%, have low potassium and high calcium with an average CaO content of 2.38 %, and contain poor alkali with an average  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  content of 5.97 % and the feature  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ . The ASI values are 0.97-1.29 with an average of 1.16. Thus the granites are of the magnesian peraluminous calc-alkaline series. Rb and Th are rich, while Ba and Nb are poor. The rocks have low  $\Sigma\text{REE}$  values with an average of  $130 \mu\text{g/g}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  values of 6.76-8.50,  $\delta \text{Eu}$  values of 0.54-0.78,  $\varepsilon \text{Nd} (t)$  values of -1.5-1.6,  $T_{\text{DM}}$  ages of 1.35-1.60 Ga, and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$  values of 8.1-11.1. According to the above data, the granites should belong to I-type or ACG formed by crust-mantle magmatic mixing, and the main source was derived from the depleted mantle with the participation of a small amount of crustal matter. Geochemical characteristics suggest that the granites are of the island arc volcanic system, and derived their materials from magmatism in the convergent margin of the plate instead of from mantle plume magmatism. Hence they cannot serve as the indicator of Rodinia Breakup.

**Key words:** Neoproterozoic granite; zircon SHRIMP dating; geochemical characteristics; northeast Hunan