

# 峡江—广丰和三南—寻乌火山岩带晚中生代粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

巫建华<sup>1,2)</sup>, 刘飞宇<sup>3)</sup>, 刘帅<sup>1)</sup>

1) 东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室, 南昌, 330013;

2) 东华理工大学地球科学学院, 江西抚州, 344000;

3) 中国核工业 230 研究所, 长沙, 410011

**内容提要:** 江西及广东北缘呈近 EW 向展布的峡江—广丰火山岩带和三南(全南、定南、龙南)—寻乌火山岩带, 是我国东南部中生代以高钾钙碱性长英质火山岩为主体的火山岩带的组成部分。峡江—广丰火山岩带的石溪盆地、三南—寻乌火山岩带的三百山盆地和大长沙盆地出露少量粗面岩, 粗面岩所含锆石具有明显的振荡环带, Th/U 比值高, 属典型的岩浆成因锆石。SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定结果表明, 石溪、三百山和大长沙粗面岩的形成年龄分别为  $137.0 \pm 0.94\text{Ma}$ 、 $141.6 \pm 0.96\text{Ma}$  和  $135.4 \pm 1.50\text{Ma}$ , 根据国际地层表, 属早白垩世早期。中国东南部中生代大规模高钾钙碱性长英质火山活动发生在早白垩世早期, 江西及广东北缘绢英岩型铀矿也形成于早白垩世早期(120~140Ma), 石溪、三百山和大长沙早白垩早期粗面岩地质时代的厘定, 说明高钾钙碱性长英质火山活动与幔源岩浆活动有关, 绢英岩型铀矿化与碱性岩浆活动合拍。粗面岩的地质时代与钙碱性长英质火山岩和碱交代型铀矿化的地质时代一致, 为钙碱性长英质火山岩的成因与幔源岩浆活动有关提供了岩石学证据, 也为绢英岩型铀矿化的成因可能与幔源流体活动有关提供了旁证。

**关键词:** 粗面岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄; 早白垩世早期; 江西; 广东

江西及广东北缘晚中生代火山活动强烈, 形成了大小不等、形态不一的十余个火山盆地, 构成了呈近 EW 向展布的两个火山岩带, 即北部的峡江—广丰火山岩带和南部的三南(全南、定南、龙南)—寻乌火山岩带(江西省地质矿产局, 1984; 江西省地质矿产厅, 1997)。峡江—广丰火山岩带的火山岩系以高钾钙碱性长英质火山岩为主体; 三南—寻乌火山岩带的火山岩系包括下、中、上三个火山岩系: 下火山岩系以“玄武岩—流纹岩”组合为特征, 中火山岩系以高钾钙碱性长英质火山岩组合为主体, 上火山岩系以流纹岩为主体的“玄武岩—流纹岩”组合为特征(巫建华等, 1996a, 1996b, 2000, 2002)。引人注目的是, 峡江—广丰火山岩带石溪盆地和三南—寻乌火山岩带三百山盆地、大长沙盆地出露有少量的粗面岩, 为深入研究上述两个火山岩带的成因提供了条件。为此, 笔者等对石溪、三百山和大长沙粗面岩的同位素年代学和地球化学特征进行了系统研究, 认识到粗面岩形成于早白垩世早期, 具有高压型粗面

岩的特征, 属地壳加厚构造背景下的产物。本文就粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测试结果进行分析, 并探讨其地质意义。

## 1 地质背景及样品信息

### 1.1 盆地及样品岩相学信息

石溪盆地西起江西省铅山县新安埠, 东至上饶县高原, 总面积约  $453.8\text{km}^2$ 。盆地内火山岩发育, 喷发强度大, 形成了一套厚度较大的以火山碎屑岩为主、熔岩次之的火山岩系。火山喷发活动以微弱的喷发开始, 继之为强烈的爆发, 最终以喷溢结束。火山岩系可划分为双峰岭组、鹅湖岭组和石溪组三个组(巫建华等, 2002)。双峰岭组成层性较好, 主要由沉积岩及火山碎屑岩组成, 夹安山质凝灰岩, 属火山活动初始期的产物; 鹅湖岭组主要为火山碎屑沉积岩类, 角砾熔结凝灰岩、熔结凝灰岩分布比较稳定、厚度大, 各处岩性变化不明显, 属火山活动喷发期的产物; 石溪组由下部的杂色泥岩和上部的火山

注: 本文为中国核工业总公司“中国中—新生代铀成矿作用研究”项目的成果。

收稿日期: 2010-02-22; 改回日期: 2010-10-28; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 巫建华, 男, 1960年生。博士, 教授。主要从事火山地质学与铀矿地质学研究。通讯地址: 344000, 江西省抚州市学府路56号, 东华理工大学; Email: jhwu@ecit.cn。

熔岩组成,属火山活动沉陷期的产物。粗面岩出露于石溪组上部,常呈规模大小不等的侵入相穹隆产出,如方家山穹隆和祝家石穹隆。SHRIMP 锆石定年样品(样号:SHX003)采自上饶县茶亭乡乌山丘简易沙石公路旁(经度 117°54'4.3",纬度 28°17'27.7"),露头岩石呈浅灰红色,致密块状,玻基斑状结构,斑晶以发育钾质长石为主,如透长石,粒径约 1.5mm,含量 10%~15%。常遭受熔蚀而呈浑圆状或港湾状,次生加大现象显著。含少量斜长石、石英斑晶,裂纹发育,遭受熔蚀而呈浑圆粒状。基质由细小的钾长石微晶及玻璃组成,具粗面、似粗面结构。

三百山盆地位于江西省安远县南部,总体呈形似反“,”的字符形,南西端狭窄、北东端浑圆,总面积约 336km<sup>2</sup>,由西部的半天塘破火山口构造和东部的仰天湖破火山口构造组成,以顶部或中心具有较大的圆形破火山口为特征,环形、放射状断裂发育。火山熔岩出露在仰天湖破火山口构造北部,主要岩石类型为粗面岩、粗面英安岩、英安岩、流纹岩。SHRIMP 锆石定年样品(样号:AY015)采自安远县城南富田尾(经度 115°26'10.6",纬度 25°6'12.9"),露头岩石致密坚硬,灰绿色,块状构造,斑状结构。斑晶含量约 30%,以碱性长石为主,其次为斜长石、角闪石、石英等。钾长石斑晶具自形板状,多为镶嵌状消光,部分斑晶变形或破碎,具有熔蚀现象,粒径

0.8~1.2 mm;斜长石斑晶半自形—自形板状,裂纹发育,部分斑晶破碎或被蚀圆化,呈港湾状,偶见斜长石环带结构及具钾长石外壳或环边的现象,粒径约 1mm;石英斑晶大多破碎,常被熔蚀成港湾状或浑圆状。基质呈微晶—隐晶质结构、粗面结构。

大长沙盆地位于广东省龙川县北部,盆地呈近圆形,火山岩系自下而上可以分为三部分:下部为沉积岩和凝灰岩互层,分布在盆地的东部;中部以粗面岩为主,主要分布在盆地的中西部;上部以粗安岩为主,主要分布在盆地的西北部。SHRIMP 锆石定年的样品(样号:DCS110)采自大长沙村至上别村的简易公路旁(经度 115°22'28.1",纬度 24°39'10.0"),岩石致密坚硬,灰—灰绿色,块状构造,斑状结构,斑晶含量约 30%~35%,以碱性长石为主,其次为斜长石、角闪石、石英等。钾长石斑晶具自形斑状,部分斑晶变形或碎裂,具有熔蚀现象,具简单双晶结构,粒径 1.0~1.5mm;斜长石斑晶自形—半自形板状,裂纹发育,部分斑晶被熔蚀为浑圆状,粒径 0.5~1.0mm,常见斜长石外具钾长石壳的现象;石英斑晶大多数破碎,常被熔蚀成港湾状。基质呈微晶—隐晶质结构、粗面结构。

1.2 样品的岩石化学和地球化学信息

石溪、三百山和大长沙粗面岩 SHRIMP 锆石定年样品的主元素、微量元素和稀土元素的分析结果

表 1 峡江—广丰和三南—寻乌火山岩带粗面岩主元素(%),微量元素( $\times 10^{-6}$ )和稀土元素( $\times 10^{-6}$ )含量及主要化学参数

Table 1 Contents of major(%), trace( $\times 10^{-6}$ ) and rare earth elements ( $\times 10^{-6}$ ) and related parameters of the Trachyte in the Xiajiang—Guangfeng and Sannan(Quannan, Dingnan and Longnan) —Xunwu volcanic belt

样号	地点	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</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>
SHX003	石溪	65.92	16.68	0.53	3.76	0.52	0.05	0.24	0.67	3.21	6.86	0.12
AY015	三百山	65.03	15.58	0.42	1.26	1.94	0.08	0.52	2.18	3.17	6.77	0.09
DCS110	大长沙	63.13	16.66	0.65	1.27	3.3	0.21	0.5	2.35	3.21	6.4	0.16
样号	地点	烧失量	总量	K <sub>2</sub> O+ Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O/ Na <sub>2</sub> O	Sr	Rb	Ba	Th	U	Ta	Nb
SHX003	石溪	1.53	99.56	10.07	2.14	46.3	187	197	18.3	6.33	1.1	17.8
AY015	三百山	2.59	99.63	9.94	2.14	284	169	1825	14.97	3.37	1.22	15.38
DCS110	大长沙	1.73	99.57	9.61	1.99	383	163	1610	20.14	4.02	1.87	37.21
样号	地点	Zr	Hf	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
SHX003	石溪	464	10.7	40.4	81.9	134	16.6	58.4	10.2	1.78	8.78	1.23
AY015	三百山	536	11.52	22.6	47.56	105	10.88	37.41	6.78	2.74	5.51	0.77
DCS110	大长沙	479	12.36	30.12	60.84	107	11.85	43.26	7.81	2.13	6.96	0.75
样号	地点	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	( $\frac{La}{Yb}$ ) <sub>N</sub>	( $\frac{La}{Sm}$ ) <sub>N</sub>	( $\frac{Gd}{Yb}$ ) <sub>N</sub>	δEu
SHX003	石溪	6.63	1.35	3.62	0.52	3.28	0.52	329	16.9	5.05	2.17	0.56
AY015	三百山	4.27	0.87	2.38	0.37	2.47	0.34	227	13	4.42	1.8	1.33
DCS110	大长沙	6.01	1.28	2.91	0.54	3.66	0.46	256	11.2	4.9	1.54	0.86

列于表 1。从表 1 中可以看出, 石溪、三百山和大长沙粗面岩具有高铝、钾、全碱含量和  $K_2O/Na_2O$  值, 低钙、全铁含量的特点,  $K_2O > Na_2O$ ,  $K_2O/Na_2O$  大于 2, 在  $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$  图解上落入碱性系列范围之内, 在 AFM 图解上落在钙碱性系列岩区, 在  $SiO_2-K_2O$  图解上均落入橄榄玄粗岩系列范围之内; 稀土元素总量较高, 富集轻稀土元素, Eu 为弱的负异常到不明显的正异常, 具有高压型粗面岩的特征; 富集高场强元素和大离子亲石元素, 在 Ta/Yb—Ce/Yb 图解中落入橄榄玄粗岩系范围。具体岩石化学和地球化学特征见张敏等(2009)。

## 2 分析及结果

用一般人工重砂方法分选出锆石, 然后在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒, 将其和数粒标准锆石 TEM(417 Ma) 固定于环氧树脂中, 然后磨至约一半, 使锆石内部暴露, 在光学显微镜下对其进行透射光、反射光照相, 再用阴极发光(CL)扫描电镜进行图像分析, 研究其内部结构。锆石的阴极发光图像分析在中国地质科学院电子探针实验室完成, SHRIMP U-Pb 同位素分析在北京离

子探针中心 SHRIMP II 上完成。详细的分析原理及实验流程参考宋彪等(2002)的文献。

锆石 SHRIMP U—Th—Pb 分析数据列于表 2。所分析的锆石颗粒长度约 200~300  $\mu m$ , 长宽比 1.5~3.0, 呈自形短柱状或双锥状, 阴极发光图像显示锆石多具有清晰的韵律环带结构(图 1), 为典型岩浆结晶锆石的内部结构。大多数分析点的 U 含量较高(大多数为 200~400  $\mu g/g$ ), Th/U 比值均在 0.55 以上, 具有典型的岩浆锆石成分特征(Wu and Zheng, 2004)。对年龄较老( $>1$  Ga)的锆石使用  $^{207}Pb/^{206}Pb$  年龄更加准确, 而对年龄较小( $<1$  Ga)的锆石使用  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄更加准确(Griffin et al., 2004)。因此, 本文选取锆石的  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄进行加权平均计算。

石溪粗面岩(SHX003)的 14 个分析数据  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄为 132~143 Ma, 在 U—Pb 一致曲线之上(图 2)有 3 个点的数据偏离数据组(虚线环所示), 剔除这 3 个点号后其余 11 个测定点的  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄加权平均值  $137.0 \pm 0.94$  Ma, MSWD 为 1.5。三百山粗面岩(AY015)的 14 个数据  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄除 1 个为 231 Ma(点号为

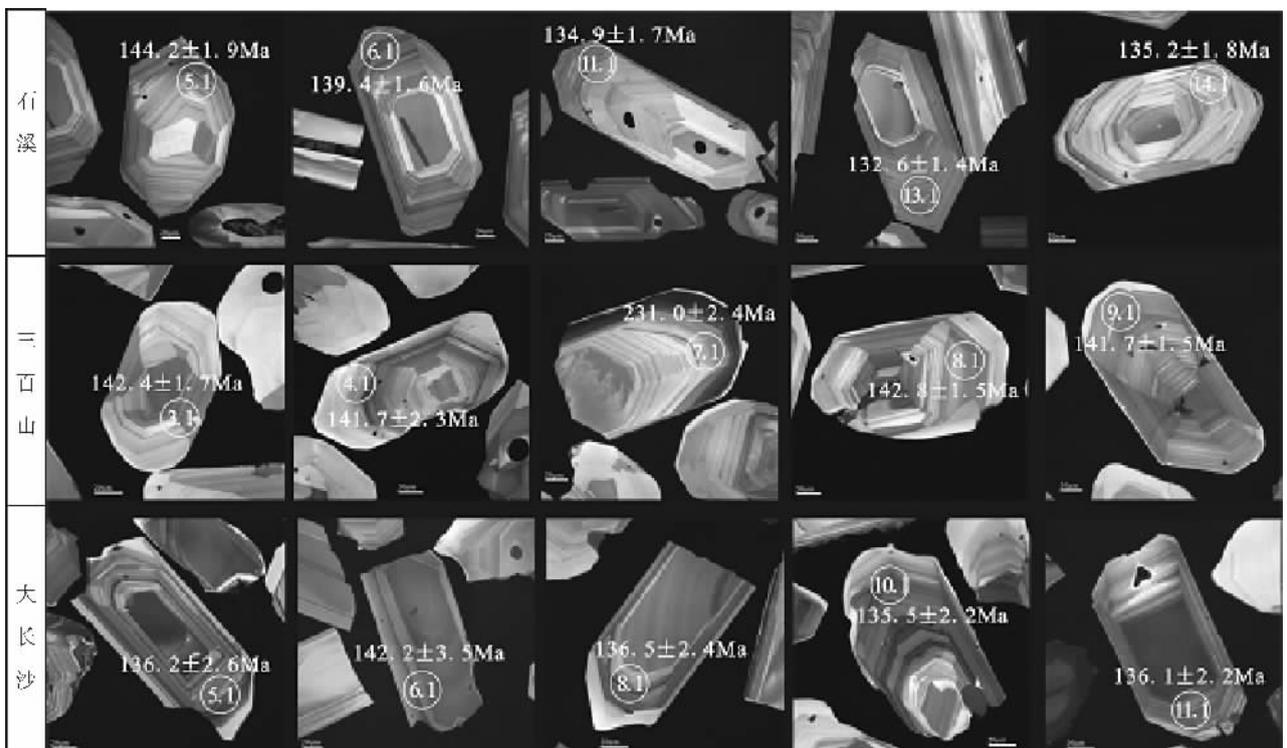


图 1 峡江—广丰和三南—寻乌火山岩带粗面岩部分锆石阴极发光图像

Fig. 1 Cathode luminescence photos of the Zircons from Trachyte in the Xiajiang—Guangfeng and Sannan(Quannan, Dingnan and Longnan) —Xunwu volcanic belt

表2 峡江—广丰和三南—寻乌火山岩带粗面岩 SHRIMP 锆石 U—Th—Pb 分析结果  
Table 2 Analysis result of SHRIMP Zircons U—Th—Pb from Trachyte in the  
Xiajiang—Guangfeng and Sannan(Quannan, Dingnan and Longnan) —Xunwu volcanic belt

样品号和点号	$^{206}\text{Pb}_e$ (%)	U	Th	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ( $\times 10^{-6}$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)	$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb}^*)}{n(^{238}\text{U})}$		err corr
		( $\times 10^{-6}$ )					测值	相对误差 (%)	测值	相对误差 (%)	
SHX003-1.1	0.64	290	294	1.05	5.46	139.0 $\pm$ 1.4	0.1437	3.6	0.02180	1.1	0.291
SHX003-2.1	0.58	320	271	0.87	5.94	137.1 $\pm$ 1.4	0.1381	4.8	0.02150	1.0	0.221
SHX003-3.1	0.84	332	291	0.91	5.98	132.7 $\pm$ 1.4	0.1350	6.4	0.02081	1.1	0.167
SHX003-4.1	0.66	352	338	0.99	6.54	136.8 $\pm$ 1.5	0.1390	7.6	0.02145	1.1	0.142
SHX003-5.1	2.13	128	106	0.86	2.51	142.6 $\pm$ 2.1	0.1230	17.0	0.02237	1.5	0.090
SHX003-6.1	0.53	294	269	0.95	5.55	139.4 $\pm$ 1.5	0.1472	4.5	0.02186	1.1	0.248
SHX003-7.1	1.43	173	245	1.47	3.28	139.1 $\pm$ 1.8	0.1410	11	0.02182	1.3	0.120
SHX003-8.1	0.85	363	314	0.89	6.60	134.0 $\pm$ 1.6	0.1293	6.1	0.02101	1.2	0.202
SHX003-9.1	0.26	598	467	0.81	11.1	136.8 $\pm$ 1.3	0.1494	2.4	0.02145	0.93	.382
SHX003-10.1	0.70	388	300	0.80	7.09	134.9 $\pm$ 1.6	0.1400	5.7	0.02115	1.2	0.217
SHX003-11.1	0.58	186	189	1.05	3.41	135.3 $\pm$ 1.8	0.1510	7.4	0.02122	1.3	0.180
SHX003-12.1	1.35	306	286	0.96	5.82	139.1 $\pm$ 1.6	0.1360	7.9	0.02181	1.2	0.151
SHX003-13.1	0.69	328	301	0.95	5.88	132.1 $\pm$ 1.4	0.1310	6.4	0.02071	1.1	0.171
SHX003-14.1	2.20	131	133	1.04	2.42	134.1 $\pm$ 1.9	0.1220	12	0.02102	1.4	0.121
AY015-1.1	1.91	88	75	0.88	1.68	138.9 $\pm$ 2.1	0.1440	9.7	0.02178	1.5	0.157
AY015-2.1	0.65	95	59	0.64	1.87	144.2 $\pm$ 2.3	0.1860	6.9	0.02263	1.6	0.231
AY015-3.1	1.16	235	170	0.75	4.56	142.4 $\pm$ 1.7	0.1403	5.1	0.02234	1.2	0.231
AY015-4.1	0.95	258	216	0.86	4.98	141.6 $\pm$ 2.3	0.1400	4.5	0.02221	1.6	0.361
AY015-5.1	—	216	125	0.60	4.12	141.5 $\pm$ 1.7	0.1791	3.8	0.02220	1.2	0.329
AY015-6.1	0.81	184	123	0.69	3.53	140.9 $\pm$ 1.7	0.1486	5.8	0.02210	1.3	0.214
AY015-7.1	0.07	289	139	0.49	9.08	231.0 $\pm$ 2.4	0.2709	3.6	0.03649	1.0	0.287
AY015-8.1	0.41	253	136	0.55	4.88	142.8 $\pm$ 1.5	0.1546	4.2	0.02240	1.1	0.256
AY015-9.1	—	347	246	0.73	6.59	141.7 $\pm$ 1.5	0.1834	4.4	0.02222	1.0	0.235
AY015-10.1	0.86	205	129	0.65	3.91	140.8 $\pm$ 1.6	0.1496	5.5	0.02208	1.1	0.207
AY015-11.1	0.52	353	227	0.66	6.73	140.6 $\pm$ 1.5	0.1493	4.7	0.02205	1.1	0.226
AY015-12.1	0.33	253	150	0.61	4.99	145.8 $\pm$ 2.2	0.1651	4.7	0.02287	1.6	0.329
AY015-13.1	0.24	288	196	0.70	5.57	143.1 $\pm$ 1.6	0.1560	6.5	0.02245	1.1	0.168
AY015-14.1	1.41	189	120	0.66	3.57	137.8 $\pm$ 1.7	0.1310	8.4	0.02160	1.2	0.145
DCS-110-1.1	0.33	194	144	0.76	3.61	133.2 $\pm$ 3.0	0.1350	11.0	0.02088	1.9	0.172
DCS-110-2.1	0.23	695	452	0.67	12.8	136.3 $\pm$ 2.5	0.1451	3.3	0.02136	1.6	0.494
DCS-110-3.1	0.88	172	79	0.48	3.03	130.2 $\pm$ 2.8	0.1393	4.8	0.02041	1.9	0.401
DCS-110-4.1	1.69	200	177	0.91	3.76	137.1 $\pm$ 3.2	0.1500	9.7	0.02149	1.9	0.193
DCS-110-5.1	0.50	485	338	0.72	8.92	135.7 $\pm$ 3.0	0.1494	4.3	0.02127	1.9	0.451
DCS-110-6.1	0.76	500	349	0.72	9.57	141.2 $\pm$ 4.0	0.1456	5.4	0.02214	2.5	0.460
DCS-110-7.1	0.68	506	292	0.60	9.38	136.7 $\pm$ 2.5	0.1366	3.1	0.02143	1.7	0.529
DCS-110-8.1	0.69	377	271	0.74	6.93	135.6 $\pm$ 2.7	0.1469	3.5	0.02126	1.8	0.509
DCS-110-9.1	0.75	387	279	0.75	7.32	139.5 $\pm$ 2.8	0.1461	3.5	0.02187	1.8	0.511
DCS-110-10.1	0.33	644	480	0.77	11.7	135.1 $\pm$ 2.5	0.1484	2.8	0.02117	1.6	0.576
DCS-110-11.1	0.08	579	575	1.02	10.6	136.0 $\pm$ 2.7	0.1505	3.0	0.02132	1.6	0.545
DCS-110-12.1	0.43	572	484	0.88	10.3	133.6 $\pm$ 2.6	0.1367	2.9	0.02094	1.6	0.565
DCS-110-13.1	0.54	569	448	0.81	10.3	133.3 $\pm$ 2.6	0.1436	2.8	0.02090	1.7	0.596

AY015-7.1)外,其余13个为138~146 Ma,加权平均值为141.6 $\pm$ 0.96 Ma,MSWD为1.2(图2);大长沙粗面岩(DCS110)的13个分析数据 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为130~141 Ma,在U—Pb一致曲线之上(图

2)数据点集中分布,加权平均值为135.4 $\pm$ 1.5 Ma,MSWD为0.84。可见,石溪、三百山、大长沙粗面岩的锆石 SHRIMP U—Pb 年龄为135~142Ma。根据国际地层表(Gradstein et al., 2004; 章森桂等,

2008), 晚侏罗世与早白垩世的界线划在  $145.5 \pm 4$  Ma, 说明石溪、三百山、大长沙粗面岩都形成于早白垩世早期。

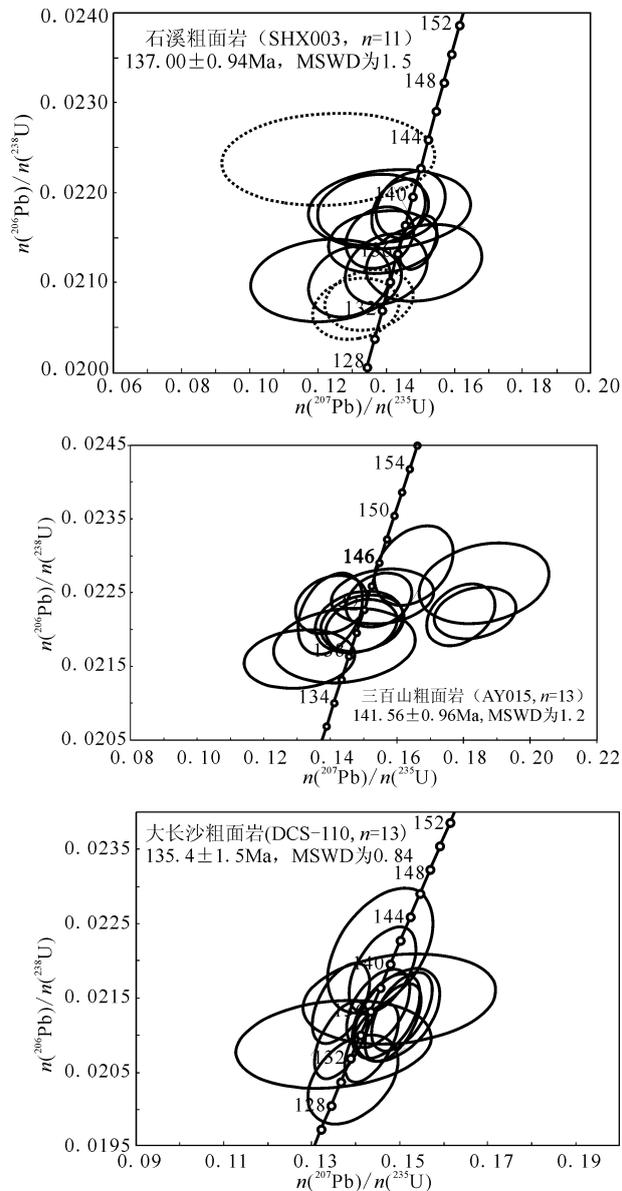


图 2 峡江—广丰和三南—寻乌火山岩带粗面岩锆石 U-Pb 一致曲线图

Fig. 2 U-Pb Concordia diagram of Zircons from Trachyte in the Xiajiang—Guangfeng and Sannan (Quannan, Dingnan and Longnan)—Xunwu volcanic belt

### 3 地质意义

#### 3.1 不同同位素测年方法本身存在的误差可能不同

石溪盆地石溪组火山岩已获得多种方法测试的

同位素年龄资料, 李中英等(1989)测得铅山七里亭粗面岩透长石 K-Ar 稀释法年龄为  $119.2 \pm 1.3$  Ma, 张利民(1990)测得粗面岩透长石斑晶  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $128.3 \pm 0.4$  Ma, 王勇等(1996)测得粗面英安岩—粗面岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $124.51 \pm 11.90$  Ma, 本文测得粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $137.0 \pm 0.94$  Ma, 这些同位素年龄数据都指示石溪组粗面岩的地质时代为早白垩世, 并与石溪组粗面岩之下杂色泥岩层的化石资料指示的地质时代一致(许玩宏等, 1994)。三百山盆地和大长沙盆地火山岩系的沉积夹层较少, 且岩石颗粒较粗, 难以提供生物年代学的信息。赖章忠等(1996)曾报道三百山盆地火山岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 140 Ma, 卫三元(1999)曾报道大长沙盆地火山岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $191.43 \pm 8.4$  Ma, 本文测得三百山盆地粗面岩和大长沙盆地粗面岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为  $141.6 \pm 0.96$  Ma 和  $135.4 \pm 1.50$  Ma, 前者与赖章忠等(1996)的全岩 Rb-Sr 等时线年龄在误差范围内一致, 后者与卫三元(1997)全岩 Rb-Sr 等时线年龄相差 56 Ma。

由上可知, 不同同位素测年方法取得的石溪、三百山和大长沙盆地粗面岩的年龄存在明显的差异。石溪盆地粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄大于透长石斑晶  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄, 后者又大于全岩 Rb-Sr 等时线年龄, 似乎说明不同方法的测试对象不同其年龄所代表的地质含义也不同。通常认为, 在岩浆的上升过程中, 随着温度的降低, 锆石先于长石、石英、云母等造岩矿物结晶, 锆石 U-Pb 同位素体系先于透长石斑晶  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素体系达到封闭温度; 当岩浆溢出地表时, 岩浆迅速固结成岩, 全岩 Rb-Sr 同位素体系也迅速封闭。因此, 在花岗岩同位素年代学研究中, 许多学者提出花岗岩锆石 U-Pb 年龄代表花岗岩侵位年龄(付建明等, 2004; 石玉若等, 2004; 吴福元等, 2005; 杨德明等, 2005; 丁昕等, 2005; 路孝平等, 2005; 葛文春等, 2005; 姚军明等, 2005; 赵子福等, 2005; 宋忠宝等, 2005; 隋振民等, 2006; 顾晟彦等, 2006); 而花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄代表花岗岩的结晶年龄(Harrison, 1979; Faure, 1986; 郑永飞等, 1997; Faure et al., 2005)。但章邦桐等(2008)通过花岗岩体 64 对锆石 U-Pb 年龄与全岩 Rb-Sr 等时线年龄的频数统计分析表明, 花岗岩体的锆石 U-Pb 定年测定结果与全岩 Rb-Sr 等时线定年测定结果是一致的。笔者认为, 火山岩是岩浆上升并喷出地表的产物, 不同同位素

体系封闭温度的差别对同位素定年的影响应该小于花岗岩,只要没有后期地质事件的影响而处于平衡状态,各种同位素体系的定年结果应该是一致的。三百山盆地粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄与全岩 Rb-Sr 等时线年龄在误差范围内一致,大长沙盆地粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄远小于全岩 Rb-Sr 等时线年龄,都没有为“不同方法的测试对象不同其年龄所代表的地质含义也不同”提供支撑。因此,笔者认为,火山岩不同同位素测年方法取得的年龄不同,主要与不同方法本身存在的误差不同有关。

众所周知,锆石作为岩石中普遍存在的副矿物,具有较高的封闭温度(大于 900 °C, Hourigan et al., 2004; 大于 1000 °C, Flowers et al., 2005; 大于 850 °C, 顾晟彦等, 2006)、强耐磨性和抗风化能力(章邦桐等, 2008; 肖媛媛, 2009),因此具有较好保存成岩信息的潜力,且锆石中较高的 Th、U 含量和较低的普通 Pb 含量,为岩石的 U-Pb 年代学研究提供了良好的测试媒介,随着离子探针技术成功应用于锆石 U-Pb 定年,高精度测定单颗粒锆石微区 U-Pb 年龄成为可能,SHRIMP 锆石 U-Pb 定年法能获得精确的年龄。而全岩 Rb-Sr 等时线定年法受到仪器测量误差、测试样品的代表性、同位素体系封闭温度等一系列因素的影响,获得的年龄常存在较大的误差:① Rb-Sr 同位素封闭温度较低(600 °C 左右),易受后期热事件如热液蚀变、变质作用等干扰(章邦桐等, 2008);②测试样品要求严格,同一组样品要尽可能选择 Rb/Sr 比值变化均匀及总变化范围较大的样品,否则,保证不了 Rb/Sr 比值在等时线上的合理分布,无法控制  $[n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})]_0$ ,也就无法精确测定年龄;③测得分析技术要求很高,要求在超纯的分析试剂和极低空气污染本底试验环境下试验(魏菊英, 1988);④对测试样品要求严格而且其误差也相对较大(5%~7%, 章邦桐等, 2008)。因此,石溪、三百山和大长沙盆地粗面岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄代表了粗面岩的形成年龄。

### 3.2 峡江—广丰和三南—寻乌火山岩带早白垩世早期钙碱性长英质火山岩的成因可能与幔源岩浆活动有关

江西和广东北缘的峡江—广丰火山岩带和三南—寻乌火山岩带以早白垩世早期高钾钙碱性长英质火山岩为主体(陆志刚等, 1997),峡江—广丰火山岩带石溪盆地和三南—寻乌火山岩带三百山盆地、大长沙盆地早白垩世早期粗面岩时代的厘定,说明

早白垩世早期高钾钙碱性长英质火山岩形成时期存在幔源岩浆活动。对于包括粗面岩在内的碱性岩浆起源有多种模式,主要包括:①一个地区在长期处于挤压环境并产生大量 S 型、I 型花岗岩之后,主要由地幔上拱,形成拉张条件和区域性大断裂,上地幔部分熔融产生富碱岩浆顺大断裂上升,与硅铝层混染较小时形成碱性岩,混染较多时形成碱性花岗岩(涂光炽, 1989);②碱性岩浆形成于软流圈,而且可以把下地幔、上地幔以及洋壳、陆壳和地幔再循环的物质组分带到地球浅部(Menzies, 1987);③碱性岩系列火山岩形成于岩石圈拉张环境,其物质来源较深,一般来自上地幔(阎国翰, 2001);④铁镁质岩浆的底侵引起地壳的熔融产生碱性岩浆(Su et al., 2007);⑤碱性岩浆由幔源玄武质岩浆和壳源花岗质岩浆混合产生(Zhao et al., 1995; Mingram et al., 2000)。而且,地壳岩石的熔融实验表明,碱性岩浆通常不能由地壳岩石的熔融作用直接形成(Montel et al., 1997)。可见,无论何种起源方式,粗面岩岩浆的起源必定有地幔物质组分的参与。因此,峡江—广丰火山岩带和三南—寻乌火山岩带早白垩世早期粗面岩的时代厘定,为这两个火山岩带大规模高钾钙碱性岩浆活动与幔源岩浆活动有关提供了直接的岩石证据。

### 3.3 火山岩型和花岗岩型铀矿的早期铀矿化可能与幔源岩浆活动有关

迄今为止,我国已发现的铀矿床主要赋存在火山岩、花岗岩、碳硅泥岩和砂岩中,俗称火山岩型、花岗岩型、碳硅泥岩型和砂岩型铀矿。其中,火山岩型和花岗岩型铀矿无论在矿床数量上还是在储量上都占据了主体地位,前者主要赋存在赣东北至浙西北的赣杭构造火山岩铀成矿带早白垩世早期高钾钙碱性长英质火山岩(含潜火山岩和与其有成因联系的爆破角砾岩筒)中,后者主要赋存在赣、闽、粤、湘、桂 5 省(区)交界处的南岭构造花岗岩铀成矿带印支期—燕山期花岗岩中。研究表明,火山岩型铀矿存在两期铀矿化,早期铀矿化属绢英岩化型,发生在 120~140 Ma 的早白垩世早期,以碱交代—绢英岩化为特征,与幔源流体活动有关;晚期铀矿化主要属硅化带、硅质脉类型,发生在 80~100 Ma 的早白垩世晚期,以酸交代为特征,主要与浅部流体活动有关(杜乐天等, 1984; 刘小于, 1991; 余达淦, 2001a, 2001b; 范洪海等, 2003; 巫建华等, 2005)。花岗岩型铀矿除存在 < 100 Ma 的晚期铀矿化外,也存在早白垩世早期的早期铀矿化(122~138 Ma),早、晚两期的铀

矿化特征与火山岩型铀矿一致,其中早期铀矿化也与幔源流体活动有关(余达淦;2001a,2001b;吴烈勤等,2003;杨建明等,2003;巫建华等,2005;杜乐天等,2009)。峡江—广丰火山岩带属赣杭构造火山岩铀成矿带的中段,三南—寻乌火山岩带位于南岭构造花岗岩铀成矿带的东段,这两个火山岩带中早白垩世早期粗面岩的厘定,为火山岩型、花岗岩型铀矿绢英岩化类型的铀矿化与幔源流体活动有关提供了旁证。

## 4 结论

综上所述,可得出以下结论:

(1) 江西北部及广东北缘峡江—广丰火山岩带的石溪盆地和南部三南—寻乌火山岩带的三百山、大长沙盆地含少量粗面岩,粗面岩所含锆石具有明显的振荡环带,Th/U 比值高,属典型的岩浆成因锆石。SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定结果表明,石溪、三百山和大长沙粗面岩的形成年龄分别为  $137.0 \pm 0.94\text{Ma}$ 、 $141.6 \pm 0.96\text{Ma}$  和  $135.4 \pm 1.50\text{Ma}$ ,根据国际地层表(Gradsrein et al.,2004;章森桂等,2009),属早白垩世早期。

(2) 粗面岩的地质时代与火山岩带内高钾钙碱性火山岩的地质时代一致,为后者的成因与幔源岩浆活动有关提供了岩石学证据。

(3) 粗面岩的地质时代与绢英岩化型铀矿的形成时代一致,为后者的成因可能与幔源流体活动有关提供了旁证。

**致谢:** SHRIMP U-Pb 年龄测定过程中得到中国地质科学院北京离子探针中心杜利林博士、翟庆国博士的大力支持和帮助,邓平教授、祝禧艳博士、刘平华博士为测试的准备工作给予了指导,参加部分野外工作和室内测试工作的还有硕士研究生王保峰、冀春雨等,在此一并致谢。

## 参 考 文 献 / References

丁昕,蒋少涌,倪培,顾连兴,姜耀辉.2005.江西武山和永平铜矿含矿质花岗岩体锆石 SIMSU-Pb 年代学.高校地质学报,1(3):383~389.

杜乐天,王明.1984.华南花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型、砂岩型铀成矿机理的统一性.放射性地质,3:1~10.

杜乐天,王广文.2009.华南花岗岩型铀矿找矿新目标—绢英岩化铀矿类型.铀矿地质,25(2):85~90.

范洪海,凌洪飞,王德滋,刘昌实,沈渭洲,姜耀辉.2003.相山铀矿田成矿机理研究.铀矿地质,19(4):208~213.

付建明,马昌前,谢才富,张业明,彭松柏.湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义.大地构造与成矿学,2004,28(4):379~387.

葛文春,吴福元,周长勇.2005.大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义.岩石学报,21(3):749~762.

顾晨彦,华仁民,戚华文.1997.广西姑婆山花岗岩单颗粒锆石定年及全岩同位素研究.地质学报,2006,80(4):543~553.

江西省地质矿产厅.1997.江西省岩石地层.武汉:中国地质大学出版社,266~290.

江西省地质矿产局.1984.江西省区域地质志.北京:地质出版社,260~385.

赖章中,王安诚.1996.赣南中生代火山活动时代及岩浆来源.江西地质,10(2):111~117.

刘小于.1991.中国火山岩型铀成矿期及矿化类型划分.铀矿地质,7(2):94~98.

路孝平,吴福元,郭敬辉,殷长建.2005.通化地区元古代晚期花岗岩浆作用与地壳演化.岩石学报,21(3):721~736.

姚军明,华仁民,林锦富.2005.湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石定年及岩石地球化学特征.岩石学报,21(3):688~696.

宋忠宝,任有祥,李智佩,杨建国,栗亚芝,王伟.2005.北祁连白山子花岗岩长岩成岩时代.西北地质,36(4):1~7.

隋振民,葛文春,吴福元,徐学纯,王清海.2006.大兴安岭东北部哈拉巴奇花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其成因.世界地质,25(3):229~236.

卫三元.1997.大长沙火山盆地铀成矿条件分析.铀矿地质,13(4):218~225.

卫三元.1999.大长沙盆地火山岩岩石地球化学特征及成因研究.铀矿地质,15(4):209~216.

王勇,管太阳,黄国夫,余达淦,陈丛林.2002.赣东北地区燕山晚期火山岩同位素年代学研究.地球学报,23:233~236.

吴福元,杨进辉,柳小明.2005.辽东半岛中生代花岗岩岩浆作用的年代学格架.高校地质学报,11(3):305~317.

巫建华.1996a.赣东北石溪组的再认识.地层学杂志,20(1):64~69.

巫建华.1996b.赣东北鹅湖岭组的再认识.地层学杂志,20(2):153~160.

巫建华,周维勋,章邦桐.2000.赣南—粤北晚中生代火山岩系划分和时代讨论.地质论评,46(4):362~370.

巫建华,周维勋,章邦桐.2002.江西及广东北部中生代晚期地层层序和时代——兼论《江西省岩石地层》中存在的问题.地质论评,48(1):44~53.

巫建华,刘帅,余达淦,章邦桐.2005.地幔流体与铀成矿模式.铀矿地质,21(4):196~203.

吴烈勤,谭正忠,刘汝洲,黄国龙.2003.粤北下庄矿田铀成矿时代探讨.铀矿地质,19(1):28~33.

肖媛媛.2009.中国东部承德盆地大北沟高 Ti 安山岩年代学与地球化学研究及其意义.西安:西北大学,24~30.

许玩宏,张利民,曹双林.1994.江西信江盆地石溪组生物群及其时代.地层学杂志,18(3):181~188.

杨德明,黄映聪,戴琳娜.2005.西藏嘉黎措麦地区含石榴子石二云母花岗岩锆石年龄及其意义.地质通报,24(3):235~238.

杨建明,熊韶峰.2003.浙赣若干火山岩型铀矿床成矿模式及找矿勘探方向.铀矿地质,19(5):283~289.

余达淦.1992.中国东南部中生代岩浆带中铀的成矿环境和成矿模式.铀矿地质,8(2):7~87.

余达淦.2001a.华南花岗岩、火山岩型、外接触带铀矿找矿思路(I).铀矿地质,17(2):257~266.

余达淦.2001b.华南化岗岩、火山岩型、外接触带铀矿找矿思路(II).铀矿地质,17(6):321~327.

章邦桐,吴俊奇,凌洪飞,陈培荣.2008.“花岗岩锆石 U-Pb 年龄能代

表花岗岩侵位年龄”质疑——花岗岩锆石 U-Pb 年龄与全岩 Rb-Sr 等时线对比证据. 地质论评, 54(6):775~785.

章森桂, 张允白, 严惠君. 2009. “国际地层表”(2008)简介. 地层学杂志, 33(1): 1~10.

张利民. 1990. 江西中生代火山岩系地层划分时代刍议. 华东地质学院学报, 13(2) 9~14.

赵子福, 郑永飞, 陈斌, 吴元保. 2005. 中国大陆科学钻探工程主孔榴辉岩和片麻岩元素及同位素地球化学研究. 岩石学报, 21(2): 325~328.

Faure G, Mensing T M. 2005. *Isotopes Principles and Applications*. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, :321~343.

Flowers R M, Bowring S A, Tulloch A J. 2005. Tempo of burial and exhumation within the deep roots of a magmatic arc, Fiordland New Zealand. *Geology*, 33(1):17~20.

Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, Bleeker W, & Lourens L J. 2004. A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27(2):83~100.

Hourigan J K, Solov'ev A V, Ledneva G V. 2004. Timing of syenite intrusions on the eastern slope of the Sredinnyi Range, Kamchatka: Rate of accretionary structure exhumation. *Geochemistry International*, 42 (2):131 ~141.

## SHRIMP U-Pb Zircon Age of Late Mesozoic Trachyte in Xiajiang— Guangfeng and Sannan(Quannan, Dingnan and Longnan) —Xunwu Volcanic Belts

WU Jianhua<sup>1,2)</sup>, LIU Feiyu<sup>3)</sup>, LIU Shuai<sup>1)</sup>

1) *Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment(ENR), Ministry of Education, Nanchang, 330013;*

2) *College of Earth Science, East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi, 344000;*

3) *Research Institute No. 230, CNNC, Changsha, 410011*

**Abstract:** There are two late Mesozoic volcanic rock belts with EW striking in Jiangxi Province and Northern Guangdong Province, called Xiajiang—Guangfeng volcanic rocks belt in the North and Sannan (Quannan, Dingnan and Longnan)—Xunwu volcanic rocks belt in the South, respectively. There are a little of the trachyte on Shixi Basin in Xiajiang—Guangfeng volcanic rocks belt and Sanbaishan Basin, Dachangsha Basin in Sannan—Xunwu volcanic rocks belt. The zircons of the trachyte have clear ring and high Th/U ratio which belong to the typical magmatic zircons. The Zircon SHRIMP U-Pb age of the Trachyte is  $137.0 \pm 0.94$  Ma in Shixi Basin,  $142 \pm 1$  Ma in Sanbaishan Basin,  $135.4 \pm 1.5$  Ma in Dachangsha Basin, which represent the diagenetic ages of volcanic rocks. On the latest International Stratigraphic Chart, the boundary of Jurassic and Cretaceous is  $145.4 \pm 4.0$  Ma, the geological ages of the Trachytes in the Xiajiang—Guangfeng and Sannan—Xunwu Volcanic Belts are early Early Cretaceous. The large-scale high-K calc-alkaline felsic volcanic activity and volcanic—granite uranium deposit related to alkali metasomatism uranium mineralization occurred in the early Early Cretaceous in the Xiajiang—Guangfeng and Sannan—Xunwu Volcanic Belts. The determination of the Early Cretaceous trachytes show that high-K calc-alkaline felsic volcanic activity have connection with mantle magmatic activity and Alkali metasomatism. Uranium mineralization have consistent with the Alkali magmatic activity.

**Key words:** trachyte; zircon SHRIMP U-Pb age; early Early Cretaceous; Jiangxi Province; Northern Guangdong Province