

# 南岭东段黄峰寨岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义<sup>\*</sup>

范飞鹏,肖惠良,陈乐柱,蔡逸涛,李海立,鲍晓明,周 延

(南京地质矿产研究所,南京 210016)

**摘要:**黄峰寨岩体位于南岭钨锡多金属成矿带的东段,对该岩体中的石英二长岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定、岩石学和地球化学研究。石英二长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $231 \pm 3$  Ma,属中三叠世晚期。岩石学和地球化学特征表明,该岩体具有高硅、富铝、高钾、中碱、高钙的特征,属高钾钙碱性系列弱过铝质 S 型花岗岩类;微量元素 Sr、Ba、Nb、P、Ti 强烈亏损,Rb、Th、Ce、Zr、Sm 相对富集;稀土元素总量高,轻稀土富集,轻、重稀土分离明显,Eu 中等负异常;Hf(t)为  $-15.25 \sim -2.88$ ,Hf 两阶段模式年龄值为  $1.87 \sim 2.22$  Ga,表明黄峰寨岩体为上地壳底部基性岩部分熔融的产物,推测该岩体可能形成于同碰撞构造环境。

**关键词:**南岭东段;黄峰寨岩体;印支期;SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;Hf 同位素

**中图分类号:**P558.12

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2016)03-166-08

南岭地区印支期花岗岩与铀矿、钨锡矿、稀有金属矿等存在密切的时空关系<sup>[1]</sup>,特别是印支晚期花岗岩,如桂东北苗儿山—越城岭复式岩体中云头界白云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄(约 220 Ma)与 W-Mo 矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄(216 Ma)<sup>[2]</sup>一致。另外,某些含矿花岗岩体为印支期,如广西栗木含 Sn-Nb-Ta 花岗岩锆石 U-Pb 年龄为  $214 \sim 218$  Ma<sup>[3-4]</sup>,湖南王仙岭含钨花岗岩锆石年龄为  $212.6 \sim 223.5$  Ma<sup>[5]</sup>,野鸡窝含钨花岗岩脉中辉钼矿 Re-Os 年龄为  $224$  Ma<sup>[6]</sup>,说明南岭地区印支期成矿特征明显。

已有研究<sup>[7-8]</sup>表明研究区内印支期黑云母二长花岗岩类 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $210 \sim 241$  Ma,并有燕山期岩浆侵位,在该类岩体及岩体接触带分布大量钨锡铀铌钽等多金属矿和铀矿<sup>[1,9]</sup>。野外地质调查发现,黄峰寨岩体与区内其它印支期岩体在岩石类型、产状等方面明显不同,且在该岩体及其附近出现多个化探和自然重砂矿化异常区。因此,研究该岩体形成时间、成因及构造环境等,有助

于了解研究区内基础矿产地质问题。

对黄峰寨岩体进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定,获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $231 \pm 3$  Ma。初步研究黄峰寨岩体地质地球化学特征,认为该岩体是在同碰撞构造环境下形成的 S 型花岗岩。Hf 同位素两阶段模式年龄显示源岩为上地壳底部,为基性岩部分熔融的产物,为进一步研究区域古生代早期构造—岩浆活动事件的期次、矿化贡献及影响范围等提供参考。

## 1 地质背景

黄峰寨岩体位于华夏古陆西南缘,闽赣加里东隆起带南缘<sup>[7-8]</sup>,属南岭东段(赣南隆起)W-Sn-Mo-Be-REE-Pb-Zn-Au 成矿亚带<sup>[10]</sup>。岩体呈近南北向分布,面积约  $59 \text{ km}^2$ ,西部与寒武系呈侵入接触,东部和南部分别与燕山早期花岗岩呈侵入接触,北部被南雄白垩纪盆地不整合覆盖(图 1)。岩体与泥盆—震旦系呈侵入接触,沿接触带可见角岩化、矽卡

\* 收稿日期:2016-01-03 改回日期:2016-03-17 责任编辑:谭桂丽

**基金项目:**中国地质调查局地质调查项目“江西竹山—广东澄江地区钨锡多金属矿远景调查”(项目编号:1212011120813)、“广东始兴南山坑—良源地区钨锡多金属矿评价”(项目编号:1212011120811)、“广东始兴—连平地区钨钼多金属矿调查评价”(项目编号:1212010881305)和“湘赣粤相邻地区钨矿远景调查”(项目编号:1212010533003)。

**第一作者简介:**范飞鹏,1982 年生,男,硕士,高级工程师,主要从事矿产资源勘查和矿床学研究。

岩化等接触交代变质,与上泥盆统天子岭组接触变质作用明显。区内盖层褶皱和断裂发育,盖层褶皱受岩浆侵位影响,形态复杂,褶皱轴向多变,呈波状和穹窿状。断裂构造以北西、北东、北东东、东西向为主。前人曾认为龙源坝岩体为燕山早期花岗岩<sup>[10]</sup>,后有学者认为其为复式岩体,主体属印支

期<sup>[7-8,11-12]</sup>,并有燕山期岩浆侵位。印支期花岗岩的  $Al_2O_3$ 、 $K_2O$ 、 $FeOT$ 、 $MgO$  和  $CaO$  较高,而燕山期花岗岩  $SiO_2$  和  $Na_2O$  较高<sup>[7-8]</sup>。印支期花岗岩与燕山期花岗岩的稀土元素特征不同,龙源坝复式岩体属壳源 S 型花岗岩,起源于早元古代壳—幔分异产生的地壳<sup>[7-8]</sup>。

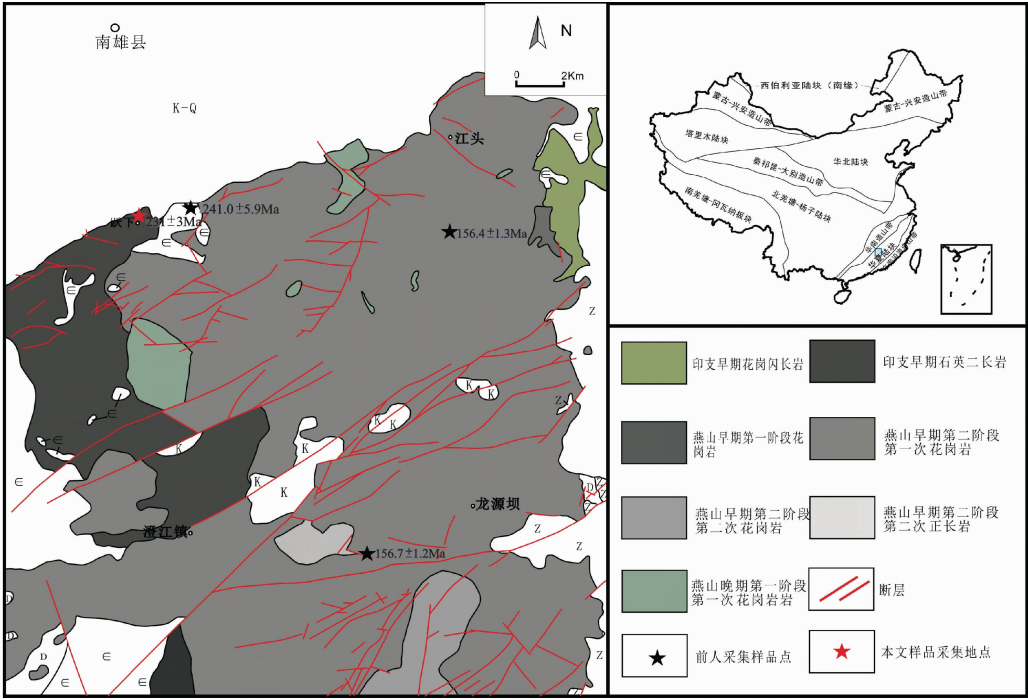


图 1 黄峰寨岩体地质简图(据文献[7-8,11-13]修改)  
Fig.1 Generalized geologic map of the Huangfengzhai pluton

2 岩体特征

2.1 地质特征

黄风寨岩体顶部风化蚀变强烈,呈圈层剥离状(图 2),主要为石英二长岩,岩石呈浅肉红色、灰白色,花岗结构,块状构造。矿物成分主要为钾长石(35%)、斜长石(40%)、石英(20%)、黑云母(5%)等,矿物粒径一般 0.5~3 cm。其中钾长石呈自形晶、伟晶状(图 3),肉红色,粒径约 0.5~3 cm,主要为正长石,长石表面见高岭石化;斜长石多为板状自形晶,发育聚片双晶,也见卡钠复合双晶(图 4),沿矿物解理面和边缘见零星绢云母化和高岭石化。

2.2 地球化学特征

2.2.1 主量元素地球化学特征

黄峰寨岩体  $SiO_2$  含量为 64.29%(本文实测),低于印支期和燕山期  $SiO_2$  含量<sup>[8,12]</sup>;  $Al_2O_3$  含量为 15.84%,铝饱和指数( $A/CNK$ )为 1.06,属于弱过铝质花岗岩类;全碱  $ALK=7.30\%$ , $K$  含量大于  $Na$  含量, $K_2O/Na_2O$  为 2.45,属高钾钙碱型花岗岩类。 $TiO_2$ 、 $MgO$ 、 $CaO$ 、 $P_2O_5$  和  $K_2O/Na_2O$  含量均大



图 2 黄风寨岩体风化特征照片  
Fig.2 Weathering characteristics of the Huangfengzhai pluton



图 3 黄峰寨二长花岗岩照片  
Fig.3 Monzonitic granite in the Huangfengzhai area

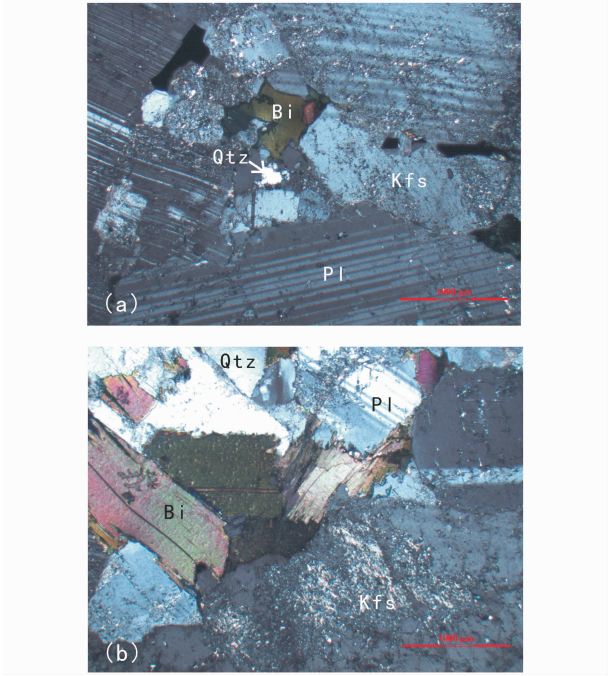


图 4 石英二长花岗岩显微照片

Fig. 4 Photomicrographs of the typical textures of quartz monzonite

Bi-黑云母;Qtz-石英;kfs-钾长石;Pl-斜长石

于印支期和燕山期花岗岩类<sup>[8,12]</sup>。

2.2.2 微量和稀土元素地球化学特征

黄峰寨岩体相对贫 Sr、Nb、P、Ti 等,印支期和燕山期岩体中 Sr、Ba、Nb、P、Ti 曲线的谷更深<sup>[8,12]</sup>(图 5)。岩体富集 K、Rb、Th、Ce 和 Sm 等元素,构成峰的元素除 Rb、Th 之外,Ce、Sm 差别均较大。

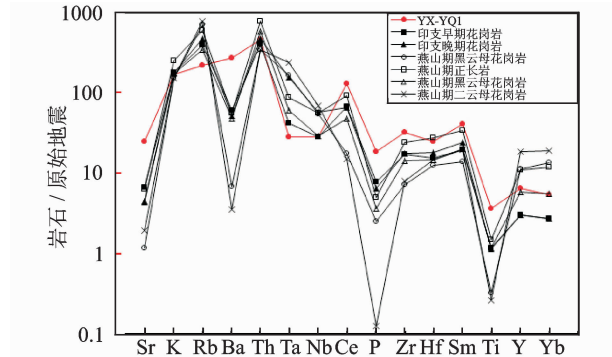


图 5 黄峰寨岩体与印支期及燕山期岩体的微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准化数值据文献<sup>[14]</sup>)

Fig. 5 Primitive mantle-normalized trace elements spiderdiagrams for Huangfengzhai pluton and Indosinian-Yanshanian pluton

黄峰寨岩体  $\Sigma\text{REE}$  为  $552.31 \times 10^{-6}$ ,明显高于其他印支期和燕山期花岗岩类  $\Sigma\text{REE}$  总量<sup>[8,12]</sup>。稀土元素球粒陨石标准化分配曲线图(图 6)显示黄峰寨岩体呈右倾型,轻、重稀土分异明显,轻稀土富集( $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=33.79$ ),印支早期花岗岩和燕山期正

长岩也明显富集轻稀土;Eu 中等负异常( $\delta\text{Eu}=0.70$ ),除二云母花岗岩类具有强烈 Eu 负异常外,其余均具有低的 Eu 负异常,燕山期黑云母花岗岩和二云母花岗岩具有稀土元素四分组效应。

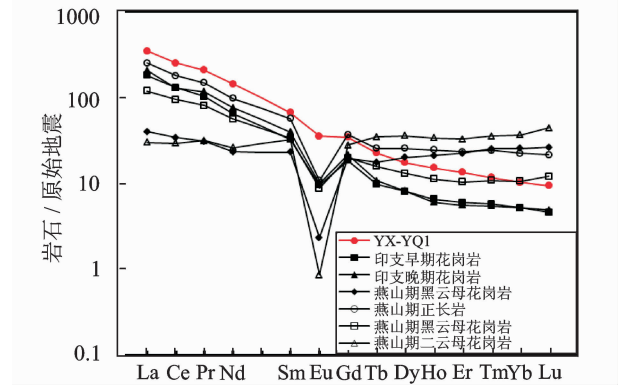


图 6 黄峰寨岩体与印支期及燕山期岩体稀土元素球粒陨石标准化分配曲线图(标准化值据文献<sup>[14]</sup>)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns for Huangfengzhai pluton and Indosinian-Yanshanian pluton

2.2.3 Hf 同位素地球化学特征

对印支期黄峰寨岩体岩石中的锆石进行 Hf 同位素分析(表 1)。锆石 Hf 同位素分析在 Neptune 多接收 MC-ICP-MS 配套的 GeoLas 2005 剥蚀系统上进行。Hf 同位素分析点在 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析点上进行,采用 He 作为剥蚀物质载气,剥蚀直径为  $50\text{ }\mu\text{m}$ ,使用锆石国际标样 GJ1 作为参考物质,分析点与 U-Pb 定年分析点相同。仪器运行条件及分析流程见文献<sup>[15]</sup>,分析过程中锆石标准 GJ1 的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  测试加权平均值为  $0.282015 \pm 28$ ,与文献报道值<sup>[15-16]</sup>在误差范围内一致。

锆石的  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  为  $0.0004 \sim 0.0009$ ,低于上地壳( $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}=0.0093$ ), $f_{\text{Lu}/\text{Hf}}$  为  $-0.99 \sim -0.97$ ,低于上地壳( $f_{\text{Lu}/\text{Hf}}=-0.72$ )<sup>[17]</sup>。锆石  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  为  $0.282021 \sim 0.282336$ , $\epsilon\text{Hf}(t)$  为负值( $-15.25 \sim -2.88$ ), $t(\text{Ma})-\epsilon\text{Hf}(t)$  图(图 7)中处于上地壳底部。

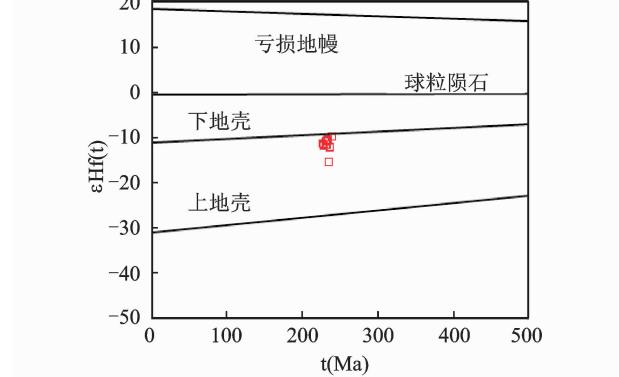


图 7 黄峰寨岩体  $t(\text{Ma})-\epsilon\text{Hf}(t)$  图解

Fig. 7  $t(\text{Ma})$  vs.  $\epsilon\text{Hf}(t)$  diagram of the Huangfengzhai pluton



表 1 锆石 Hf 同位素分析结果  
Table. 1 Hf isotope analysis results of zircons

点号	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U Ma	<sup>176</sup> Yb/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Lu/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf		<sup>(176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf) <sub>i</sub>	ε <sub>Hf</sub> (0)	ε <sub>Hf</sub> (t)	T <sub>DM</sub> /Ga	T <sub>DM</sub> <sup>C</sup> /Ga	f <sub>Lu/Hf</sub>
				比值	2σ						
TW2-1.1	231.2	0.0152	0.0006	0.282332	0.000033	0.282169	-15.5	-10.56	1.29	1.92	-0.98
TW2-2.1	233.4	0.0168	0.0006	0.282336	0.000030	0.282124	-15.4	-10.40	1.28	1.92	-0.98
TW2-3.1	229.7	0.0103	0.0004	0.282324	0.000031	0.282122	-15.9	-10.88	1.29	1.94	-0.99
TW2-4.1	231.7	0.0104	0.0004	0.282306	0.000039	0.282146	-16.5	-11.47	1.32	1.98	-0.99
TW2-5.1	238.1	0.0211	0.0008	0.282357	0.000037	0.282115	-14.7	-9.57	1.26	1.87	-0.98
TW2-6.1	236.2	0.0106	0.0004	0.282291	0.000041	0.282119	-17.0	-11.90	1.34	2.01	-0.99
TW2-7.1	231.2	0.0245	0.0009	0.282311	0.000036	0.282088	-16.3	-11.38	1.33	1.98	-0.97
TW2-8.1	227.5	0.0116	0.0004	0.282311	0.000035	0.282126	-16.3	-11.37	1.31	1.97	-0.99
TW2-9.1	1095	0.0204	0.0007	0.282021	0.000039	0.282139	-26.6	-2.88	1.72	2.10	-0.98
TW2-10.1	230.1	0.0128	0.0005	0.282309	0.000031	0.282435	-16.4	-11.40	1.32	1.98	-0.99
TW2-11.1	231.1	0.0127	0.0005	0.282326	0.000041	0.282435	-15.8	-10.78	1.29	1.94	-0.99
TW2-12.1	234.6	0.0138	0.0005	0.282198	0.000042	0.282435	-20.3	-15.25	1.47	2.22	-0.98
TW2-13.1	226.9	0.0126	0.0005	0.282299	0.000035	0.282414	-16.7	-11.81	1.33	2.00	-0.99
TW2-14.1	235.2	0.0100	0.0004	0.282285	0.000035	0.282460	-17.2	-12.11	1.34	2.02	-0.99
TW2-15.1	226.5	0.0174	0.0007	0.282317	0.000037	0.282433	-16.1	-11.23	1.31	1.96	-0.98

测试单位:南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室。

Hf 两阶段模式年龄为 1.87~2.22 Ga,说明岩石主要来源于古元古代基底岩石的部分熔融。

3 样品及测试方法

用于年龄测定的样品为石英二长岩(13-TW2),具体采样位置见图 1。

锆石单矿物分选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,样品破碎后进行人工分选和淘洗,在双目镜下根据锆石颜色、自形程度、形态和透明度等分类,挑选出测年的锆石颗粒。在北京离子探针中心,将挑选的锆石和标样一起放置在玻璃板上用环氧树脂制成样品靶,将靶上锆石抛光,使锆石内部暴露<sup>[18-19]</sup>。进行反射光照相及阴极发光扫描电镜图像分析,确定没有裂纹和包体不发育的测试点。

SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分析在中国地质科学院北京离子探针中心完成,分析原理和流程见文献<sup>[20-21]</sup>。分析过程中,一次离子流强度 4 nA,一次离子流束斑约为 25 μm,每个数据测点由 5 组扫描获得。标样选择、年龄校正、SHRIMP 分析流程、数据处理和年龄计算见文献<sup>[21-23]</sup>。铅校正直接测定<sup>204</sup>Pb<sup>[24]</sup>,衰变常数采用文献<sup>[25]</sup>,组成用 Stacey-Kramers 模式给出相应时间的地壳平均 Pb 同位素<sup>[25]</sup>。因锆石年龄<1000 Ma 的放射成因<sup>207</sup>Pb 较少,分析中易产生较大误差,因此对锆石年龄<1000 Ma 使用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄。本文数据表中所列数据均为同一测点连续 5 次分析的平均值,误差为 1σ,加权平均值误差为 2σ。年龄结果采用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U

加权平均值,误差为 95%的置信度。

4 测试结果

共测试 15 颗锆石点,大多数锆石为透明自形晶体,呈短柱状,长 150~250 μm,长/宽为 2:1~5:1。锆石阴极发光 CL 图像(图 8)显示岩浆结晶成分环带,具有明显的核一边结构,边部具有清晰的振荡韵律环带,为典型的岩浆锆石。

15 颗锆石点中有 2 个点数据偏离谐和线,其余 13 个点均落于谐和线上(表 2,图 9)。13 个点 U 含量为(170~1437)×10<sup>-6</sup>,Th 含量为(154~436)×10<sup>-6</sup>,Th/U 为 0.31~1.41(>0.1),具有典型的岩浆锆石特征。<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 227~236 Ma,加权平均年龄为 231±3 Ma,代表岩体的结晶年龄,表明岩体形成于中三叠世晚期,属于印支早期。

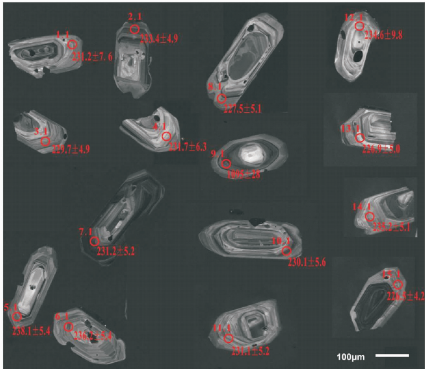


图 8 石英二长岩锆石阴极发光 CL 图像及测点位置

Fig. 8 Zircon CL images and plot locations of quartz monzonite

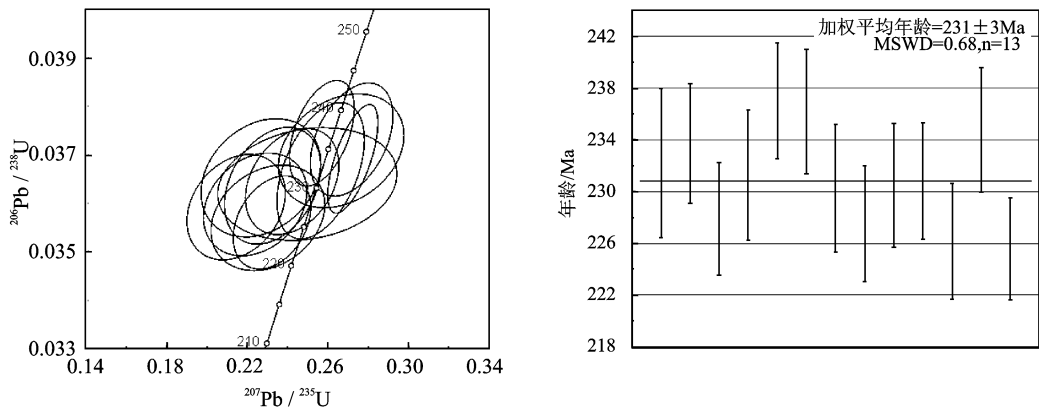


图 9 黄风寨石英二长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄谐和图和加权平均年龄

Fig. 9 SHRIMP zircon U-Pb concordia diagram and weighted average ages of quartz monzonite from Huangfengzhai

表 2 黄峰寨岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定结果

Table. 2 SHRIMP zircon U-Pb datas for the Huangfengzhai pluton

点号	$w(^{206}\text{Pb}_c)$	$w_B/10^{-6}$		$^{232}\text{Th}/$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}^*/$	误差	$^{207}\text{Pb}^*/$	误差	$^{206}\text{Pb}^*/$	误差
	%	U	Th	$^{238}\text{U}$	$10^{-6}$	Ma	Ma	$^{206}\text{Pb}^*$	%	$^{235}\text{U}$		%		$^{238}\text{U}$	
TW2-1.1	0.21	172	234	1.41	5.43	231.2	$\pm 7.6$	228	$\pm 110$	0.0473	4.4	0.238	5.1	0.03652	2.5
TW2-2.1	0.00	660	251	0.39	20.9	233.4	$\pm 4.9$	351	$\pm 51$	0.0524	2.3	0.2664	3.1	0.03687	2.0
TW2-3.1	0.92	304	216	0.73	9.48	229.7	$\pm 4.9$	-48	$\pm 180$	0.0516	3.1	0.2582	3.7	0.03627	1.9
TW2-4.1	1.07	170	190	1.15	5.41	231.7	$\pm 6.3$	-54	$\pm 200$	0.0465	4.8	0.235	5.3	0.03660	2.2
TW2-5.1	0.17	294	279	0.98	9.47	238.1	$\pm 5.4$	184	$\pm 85$	0.0537	3.0	0.2786	3.5	0.03763	1.9
TW2-6.1	0.00	225	154	0.71	7.19	236.2	$\pm 5.4$	321	$\pm 100$	0.0528	4.2	0.272	4.6	0.03732	2.1
TW2-7.1	0.98	1437	436	0.31	45.3	231.2	$\pm 5.2$	18	$\pm 150$	0.04963	1.5	0.2499	2.6	0.03652	2.2
TW2-8.1	0.67	244	167	0.71	7.59	227.5	$\pm 5.1$	-150	$\pm 180$	0.0432	4.1	0.2141	4.6	0.03592	2.0
TW2-9.1	0.00	525	59	0.12	83.5	1,095	$\pm 28$	1,086	$\pm 20$	0.07546	0.99	1.926	2.9	0.1851	2.7
TW2-10.1	1.58	356	231	0.67	11.3	230.1	$\pm 5.6$	184	$\pm 270$	0.0481	9.3	0.241	9.6	0.03633	2.1
TW2-11.1	0.59	251	204	0.84	7.90	231.1	$\pm 5.2$	109	$\pm 140$	0.0493	3.7	0.248	4.1	0.03651	2.0
TW2-12.1	16.39	215	236	1.14	8.37	234.6	$\pm 9.8$	716	$\pm 690$	0.042	27	0.216	27	0.03707	2.0
TW2-13.1	0.87	259	176	0.70	8.02	226.9	$\pm 5.0$	38	$\pm 190$	0.0495	3.7	0.244	4.2	0.03583	2.0
TW2-14.1	0.31	238	100	0.44	7.59	235.2	$\pm 5.1$	292	$\pm 170$	0.0538	4.6	0.276	5.0	0.03716	2.1
TW2-15.1	1.24	982	375	0.39	30.4	226.5	$\pm 4.2$	65	$\pm 120$	0.05049	1.9	0.2489	2.6	0.03575	1.8

注:  $\text{Pb}_c$  和  $\text{Pb}^*$  分别表示普通铅和放射性铅; 年龄值据  $^{204}\text{Pb}$  进行普通铅校正; 误差为  $1\sigma$ ; 测试单位: 中国地质科学院北京离子探针分析中心。

5 讨论

5.1 岩石成因

华南印支期花岗岩成因有强过铝质 S 型花岗岩和准铝质 I 型花岗岩两类<sup>[26-27]</sup>, 南岭地区印支期花岗岩多以 S 型花岗岩为主。

与黄峰寨岩体相邻的龙源坝岩体属于壳源 S 型花岗岩, 起源于早元古代壳—幔分异产生的地壳<sup>[7-8,10]</sup>, 而燕山期岩体为高分异 I 型花岗岩<sup>[11-12]</sup>。印支期黄峰寨岩体与泥盆纪—寒武纪地层多呈侵入接触关系, 接触带热变质明显, 镜下表现出典型的岩浆结晶结构和后期热液蚀变特征, 表明花岗岩为岩浆成因。

岩体的岩石地球化学特征及 Hf 同位素地球化

学特征表明源岩为上地壳底部基性岩的部分熔融, 岩浆形成过程受分离结晶作用控制, 分析如下:

(1) 主量元素特征显示岩体属于弱过铝质、钙碱性花岗岩类, 与壳源 S 型花岗岩的特征相似。

(2) 微量元素构成谷值的元素 Sr、Ba、Nb、P、Ti 深度与印支期—燕山期花岗岩类不同, 构成峰值元素 Ce 和 Sm 差别均较大。稀土总量明显高于其他期次花岗岩类, 轻稀土富集, 轻、重稀土分异明显, Eu 弱负异常, 与其它印支期和燕山期花岗岩类差异显著。这些特征表明其存在分离结晶作用, 分异指数(DI 为 70.93)也说明其具有分离结晶特征, 推测岩浆形成过程主要受分离结晶作用控制。

(3) 南岭地区花岗岩的成岩和成矿物质为来自熔融(重熔)的原地地层或岩石<sup>[28]</sup>。而锆石 Hf 同位

素组成对岩石成因研究和探讨岩浆起源与演化有重要作用<sup>[29]</sup>。黄峰寨岩体  $t(\text{Ma}) - \epsilon\text{Hf}(t)$  图(图 7) 中均分布在上地壳底部附近, 两阶段模式年龄(1.87~2.22 Ga) 显示其起源于古元古宙地壳岩石的部分熔融。从图 10 可以看出, 南岭印支早期花岗岩类来源复杂, 除变质泥岩和变质砂岩部分熔融外, 还有基性岩部分熔融; 印支晚期花岗岩类主要为变质泥岩和变质砂岩部分熔融, 黄峰寨岩体投点落在基性岩部分熔融区域。

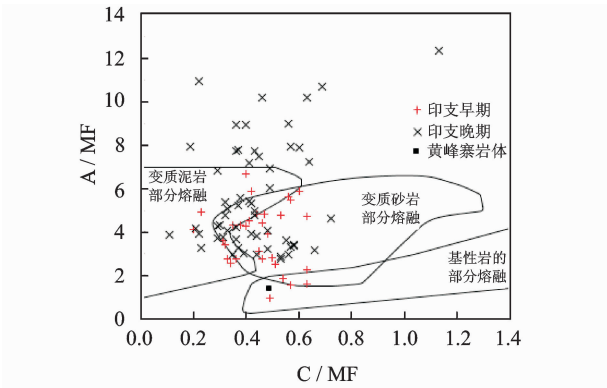


图 10 南岭印支期花岗岩 A/MF-C/MF 成因图(底图据文献[30];数据据文献[8, 10, 12, 29-32]整理)

Fig. 10 A/MF vs. C/MF diagram of Indosinian granites in the Nanling region

5.2 岩体形成构造环境

华南及南岭地区印支构造运动主要以碰撞为主, 主碰撞期为 250~230 Ma<sup>[7-8, 10-12, 26, 29-39]</sup>。区内印支期花岗岩从主碰撞就开始至后碰撞时期均有形成<sup>[35, 40]</sup>。

南岭地区印支早期花岗岩类主要分布在同碰撞和造山期后花岗岩区, 还有少量分布在板块碰撞前花岗岩区。在  $(Yb+Ta)-Rb$  图(图 11) 中印支早期花岗类多分布在 Syn-COLG 和 WPG 区, 印支晚期花岗类多分布在 Syn-COLG 区, 而黄峰寨岩体落在火山弧花岗岩类(VAG) 和同碰撞花岗岩类(Syn-COLG) 交界, 靠近同碰撞花岗岩类。因此, 黄峰寨岩体可能也是在同碰撞构造环境下形成的。

5.3 对区域构造背景的制约

黄峰寨岩体形成时间与区域构造—岩浆事件资料<sup>[7-8, 10-12, 28, 29-39]</sup> 相一致, 年龄主要为 251~202 Ma。中三叠末期和晚三叠世末期中国大陆发生过重大构造变形和碰撞事件<sup>[41]</sup>。该事件影响范围大, 使华南晚三叠世以前的地层褶皱隆起, 东亚及西太平洋地区海陆格局重新配置, 是古亚洲—特提斯构造域向

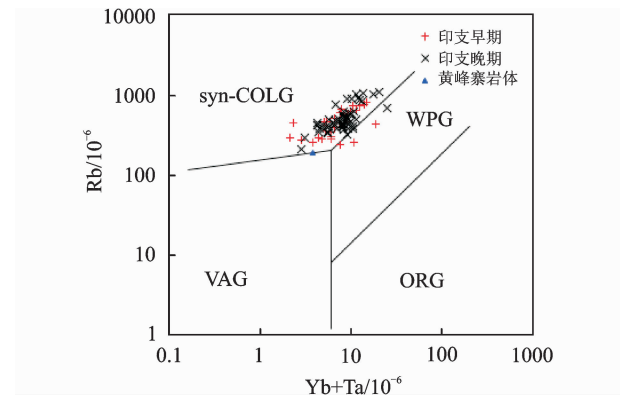


图 11 南岭地区花岗岩  $(Yb+Ta)-Rb$  构造环境判别图(底图据文献[41];数据据文献[8, 10-11, 29-31]整理)

Fig. 11  $(Yb+Ta)$  vs  $Rb$  tectonic environment discrimination of granites in the Nanling region VAG-火山弧花岗岩类; ORG-洋脊花岗岩; WPG-板内花岗岩; Syn-COLG-同碰撞花岗岩类

古太平洋构造域事件转换的标志<sup>[10]</sup>。

黄峰寨岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $231 \pm 3 \text{ Ma}$ , 属于中三叠世晚期, 与区内同位素测年数据以及区域矿化时限<sup>[2-6]</sup> 相对应, 进一步印证中三叠世存在的构造格局。

6 结论

(1) 黄风寨岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $231 \pm 3 \text{ Ma}$ , 反映印支期黄峰寨花岗岩形成于中三叠世晚期。岩体为高钾钙碱性系列弱过铝质花岗岩类, 属 S 型花岗岩, 源岩为上地壳底部基性岩。

(2) 黄峰寨岩体形成的构造环境同南岭印支期花岗岩形成的构造环境一致, 为同碰撞构造环境。

致谢: 本文是“江西竹山—广东澄江地区钨锡多金属矿远景调查”项目成果之一, 成文过程中得到南京地质调查中心张传林研究员的悉心指导, 北京离子探针中心顾硕强研究员、南京地质调查中心郭维民高级工程师、周洁高级工程师给予热情帮助, 在此表示衷心感谢!

参考文献

[1] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 99-107.

[2] 伍静, 梁华英, 黄文婷, 等. 桂东北苗儿山—越城岭南西部岩体和矿床同位素年龄及华南印支期成矿分析[J]. 科学通报, 2012, 57(13): 1126-1136.

[3] 李晓峰, 冯佐海, 肖荣, 等. 桂东北钨锡稀有金属矿床的成矿类型、成矿时代及其地质背景[J]. 地质学报,

2012, 86(11): 1713-1725.

- [4] 马丽艳,付建明,程顺波,等. 广西栗木锡铌钽矿田矿化花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义[J]. 华南地质与矿产, 2013, 29(4): 292-298.
- [5] 章荣清,陆建军,姚远,等. 湘南荷花坪锡多金属矿区花岗岩锆石年代学和岩石地球化学研究[J]. 矿床地质, 2010, (S1): 549-550.
- [6] 蔡明海,陈开旭,屈文俊,等. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 测年[J]. 矿床地质, 2006, 25(3): 263-268.
- [7] 张敏,陈培荣,黄国龙,等. 南岭东段龙源坝复式岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 984-994.
- [8] 张敏,陈培荣,黄国龙,等. 南岭龙源坝复式岩体的地球化学特征研究[J]. 铀矿地质, 2006, 22(6): 336-344.
- [9] 华仁民,陈培荣,张文兰,等. 南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 291-304.
- [10] 周新民. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 691.
- [11] 陶继华,李武显,李献华,等. 赣南龙源坝地区燕山期高分异花岗岩年代学、地球化学及锆石 Hf-O 同位素研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(5): 770-788.
- [12] 范飞鹏,肖惠良,陈乐柱,等. 南岭东段含稀土矿花岗岩体中暗色包体地质特征——以陂头岩体为例[J]. 华东地质, 2016, 37(1): 36-44.
- [13] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [14] Sun S-S, McDonough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications of Mantle Composition and Processes [C]//Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. London: Special Publications, 1989: 528-548.
- [15] 侯可军,李延河,邹天人,等. LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2595-2604.
- [16] Elhlou S, Belousova E, Griffin W L, et al. Trace element and isotopic composition of GJ-red zircon standard by laser ablation[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 2006, 70(18): 158.
- [17] Vervoort J D, Patchett P J, Gehrels G E, et al. Constraints on the early Earth differentiation from hafnium and neodymium isotopes [J]. Nature, 1996, 379(6566): 624-627.
- [18] 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(S1): 26-30.
- [19] 周剑雄,陈振宇. 锆石等测年矿物的电子探针及阴极射线致发光综合研究新方法[J]. 地质论评, 2002, 48(S1): 31-35.
- [20] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale [J]. Journal of the Geological Society, 1992, 149(2): 171-184.
- [21] Williams I S, Claesson S. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 97(2): 205-217.
- [22] Compston W, Williams I S, Meyer C. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1984, 89(S2): 525-B534.
- [23] Ludwig K R. Users Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2003.
- [24] Clauué-Long J C, Compston W, Roberts J, et al. Two carboniferous ages: A comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analysis[J]. Special Publications of Sepm, 1995: 3-21.
- [25] Steiger R H, Jaeger E. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1977, 36(3): 359-362.
- [26] Sun Tao, Zhou Xinmin, Chen Peirong, et al. Strongly peraluminous granites of Mesozoic in Eastern Nanling Range, southern China: Petrogenesis and implications for tectonics[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2005, 48(2): 165-174.
- [27] 徐先兵,张岳桥,贾东,等. 华南早中生代大地构造过程[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 573-593.
- [28] 姜峰,陈国能,李宏卫,等. 南岭地区中生代花岗岩成岩成矿物质来源研究[J]. 矿床地质, 2010, (S1): 239-240.
- [29] Griffin W L, Wang Xiang, Jackson S E, et al. Zircon chemistry and magma mixing, SE China: In-situ analysis of Hf isotopes, Tonglu and Pingtan igneous complexes[J]. Lithos, 2002, 61(3/4): 237 - 269.
- [30] Altherr R, Holl A, Hegner E, et al. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany)[J]. Lithos, 2000, 50(1/3): 51-73.
- [31] 郭春丽. 赣南崇义—上犹地区与成矿有关中生代花岗

岩类的研究及对南岭地区中生代成矿花岗岩的探讨[D]. 北京:中国地质科学院,2010.

[32] 杨振,张文兰,王汝成,等. 桂北油麻岭钨矿区成矿岩体的年代学、地球化学及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2013,19(1):159-172.

[33] 毛景文,谢桂青,郭春丽,等. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用:成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2007,23(10):2329-2338.

[34] 张文兰,华仁民,王汝成,等. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究[J]. 地质学报, 2006,80(7):956-962.

[35] 康志强,冯佐海,杨锋,等. 广西桂林地区东部栗木花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2012, 31(8):1306-1312.

[36] 张家菁,王登红,刘善宝,等. 江西省铅山县篁碧铅锌矿区同位素年代学和稳定同位素组成[J]. 岩石学报, 2012,28(10):3325-3333.

[37] 程顺波,付建明,马丽艳,等. 桂东北越城岭—苗儿山地区印支期成矿作用:油麻岭和界牌矿区成矿花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素制约[J]. 中国地质, 2013, 40(4):1189-1201.

[38] 张怀峰,陆建军,王汝成,等. 广西栗木矿区牛栏岭岩体印支期年龄的厘定及其意义[J]. 高校地质学报, 2013,19(2):220-232.

[39] 郑国栋,李建康,陈振宇,等. 赣南吉埠黄沙岩体的锆石铀—铅年代学研究及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2012,31(4):711-716.

[40] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chemical Geology, 1985,48(1/4):43-55.

[41] 万天丰,朱鸿. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁[J]. 现代地质,2002,16(2):107-120.

# SHRIMP zircon U-Pb dating of the Huangfengzhai pluton in eastern Nanling and its geological implications

FAN Fei-peng, XIAO Hui-liang, CHEN Le-zhu, CAI Yi-tao, Li Hai-li, BAO Xiao-ming, ZHOU Yan  
(*Nanjing Institute of Geology and Mineral Resource, Nanjing 210016, China*)

**Abstract:** The Huangfengzhai pluton is located in the eastern section of tungsten-tin polymetallic metallogenic belt in the Nanling region. This study carried out SHRIMP zircon U-Pb dating and lithological and geochemical anlyzses for quartz monazites from the Huangfengzhai pluton. The results show that a zircon U-Pb age of quartz monzonite from the Huangfengzhai pluton is  $231\pm3$  Ma, belonging to late Middle Triassic. Lithological, mineralogical and geochemical analyses suggest that the pluton is rich in Si, Al and Ca, with medium alkali, indicating that the pluton belongs to high-K, calc-alkaline series, weakly-per-luminous S-type granitoids. The pluton is also depleted in Sr, Ba, Nb, P and Ti, but relatively enriched in Rb, Th, Ce, Zr and Sm, with high  $\Sigma$ REE content, distinct LREE and HREE differentiation, and weak negative Eu anomalies. Zircon  $\epsilon$ Hf(t) values range from  $-15.25$  to  $-2.88$  and Hf two-stage model age values are  $1.87\sim2.22$  Ga, indicating that the Huangfengzhai pluton was derived from partial melting of mafic rocks at the bottom of upper crust. It can be inferred that the Huangfengzhai pluton might form at a syncollosion tectonic setting.

**Key words:** the eastern Nanling; Huangfengzhai pluton; Indosinian; SHRIMP zircon U-Pb age; Hf i-sotope



