

# 闽西南地区紫金山岩体 锆石 SHRIMP 定年及其地质意义

赵希林 毛建仁 陈 荣 许乃政

(南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016)

**摘要:**笔者通过锆石 SHRIMP 定年, 精确厘定了紫金山岩体的成岩成矿时代。紫金山黑云母花岗岩中锆石 CL 图像显示锆石分为 3 种形态, 定年结果显示这 3 种锆石有不同的年龄, 具有不同的地质意义。第一种锆石晶形发育、具有核-边双层结构, 核部的锆石呈磨圆状, 这类锆石为继承性锆石, 年龄为 1000 Ma 左右; 第二种锆石晶形发育良好, 但是呈不完整形态, 有不清晰的生长环带或者无生长环带, 呈现岩浆锆石的特征, 年龄为  $168 \pm 4$  Ma ( $n=13$ , MSWD=0.97), 这一年龄应代表了岩石的结晶年龄, 属于中侏罗世; 第三种锆石晶形发育良好, 有清晰的生长环带, 这种锆石受后期改造作用, 年龄为  $(119 \pm 15)$  Ma, 属于早白垩世。 $(168 \pm 4)$  Ma 时本区并未发生大规模的成矿事件, 因此紫金山岩体主体并非含矿岩体, 仅有轻微的锡矿化。紫金山花岗岩锆石 SHRIMP 定年的第三组年龄为  $(119 \pm 15)$  Ma 是大规模成矿作用的记录, 可能正是这一期的热液作用开始了本区大规模的长时期的多期次的岩浆热液作用的序幕, 从而为本区铜金成矿作用奠定了基础。

**关键词:**紫金山岩体; SHRIMP 锆石定年; 岩浆热液作用; 成岩成矿

**中图分类号:** P597.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)04-0590-08

福建紫金山地区作为一个典型的矿集区, 长期以来受到地质学界的广泛关注, 研究程度也相对较高。前人对紫金山地区中生代岩浆活动进行了详细的岩石地球化学及构造环境方面的研究工作, 并得出了一些阶段性的认识。已有研究表明, 紫金山铜金矿床形成于区域挤压转换到拉伸的构造环境, 其成矿作用兼有南岭带及环太平洋带两者的特征<sup>[1-5]</sup>。但是, 有关岩浆作用与成矿时代的研究仍然比较少, 仅有少数人对其进行过测试研究<sup>[2-6]</sup>, 但测试技术精度较差, 笔者通过精确的锆石 SHRIMP 定年, 结合前人资料, 探讨其成岩成矿时代。

## 1 岩体地质特征与岩石学特征

紫金山岩体位于福建省上杭县, 面积约 26 km<sup>2</sup> (图 1)。岩体呈 NE 走向的透镜状, 沿 NE 向复式背斜的轴部侵入于下古生界和震旦系浅变质岩中, 是

该区金银铜矿体的主要围岩, 区内的浅成热液型 Au-Ag-Cu 矿化大多产于靠近早白垩世火山岩的蚀变花岗岩中。早白垩世火山岩主要分布于区域西南侧的上杭白垩纪火山盆地中(石帽山群), 并不整合覆盖于早期花岗岩之上, 早白垩世侵入岩则趋向产于该区的北东部, 它们先后构成了英安岩( $125 \pm 9.8$  Ma, Rb-Sr 等时线法)/粗安岩/火山碎屑岩/花岗闪长岩( $128 \pm 9$  Ma, Rb-Sr 等时线法) → 英安斑岩-花岗闪长斑岩( $105 \pm 7.2$  Ma, Rb-Sr 等时线法) - 流纹岩( $94 \pm 7.7$  Ma, Rb-Sr 等时线法)/火山碎屑岩的岩石组合<sup>[9]</sup>。其中, 广泛隐伏于该区矿床(点)深部的花岗闪长斑岩与紫金山地区的 Au-Ag-Cu 成矿关系最密切, 它与围岩接触带发育斑岩型(浸染状) Cu(Mo) 硫化物矿化, 靠近不整合面的外接触带的中心式火山机构中发育酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿脉、再向外的远接触带火山盆地底部发育

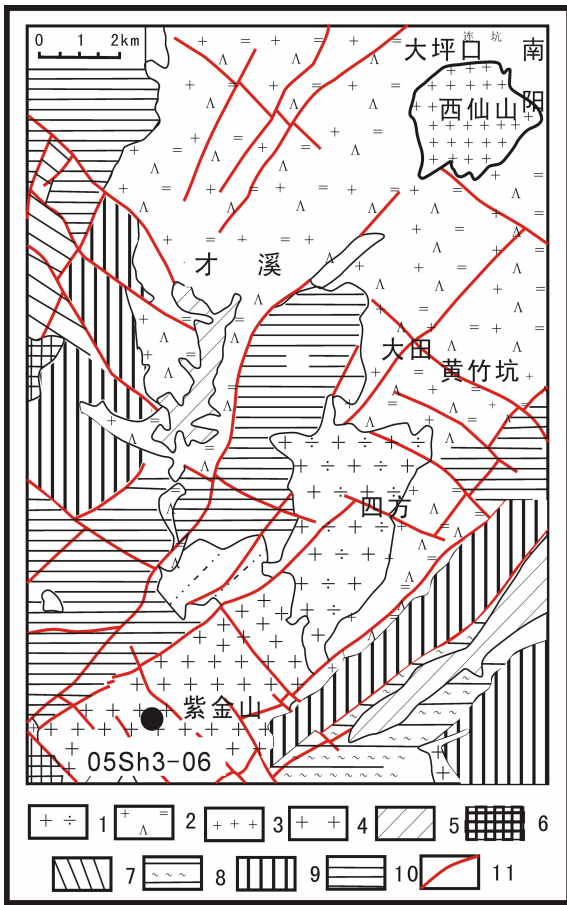


图 1 紫金山岩体地质图<sup>[10]</sup>

1—花岗闪长岩;2—二长花岗岩;3—细粒花岗岩;4—黑云母花岗岩;5—第四系冲积层;6—下白垩统石帽山群杂砂岩;7—下二叠统文宾山组杂砂岩;8—下石炭统林地组石英砂岩;9—泥盆系上统粉砂岩;10—震旦系变质岩系;11—断裂

Fig.1 Geological map of the Zijinshan pluton<sup>[10]</sup>

1—Granodiorite;2—Monzogranite;3—Fine-grained granite;4—Biotite granite;5—Quaternary alluvium;6—Graywacke of the Lower Cretaceous Shimaoshan Group;7—Graywacke of the Lower Permian Wenbishan Formation;8—Quartz sandstone of the Lower Carboniferous Lindi Formation;9—Upper Devonian siltstone;10—Sinian metamorphic series;11—Fault

绢云母—冰长石型浅成热液 Ag 矿化,分别代表了紫金山地区的绢云母—冰长石型浅成热液矿床、酸性硫酸盐型浅成热液矿床和斑岩型矿床,它们构成了与花岗闪长斑岩有关的斑岩—浅成热液成矿系统<sup>[7-9]</sup>。

紫金山花岗岩主要岩性为: 碎裂似斑状中粗粒花岗岩、中细粒花岗岩及细粒花岗岩。其中碎裂似斑状中粗粒花岗岩大致以 NE 向延长的长圆周状岩株分布于紫金山的南部,受后期侵入体的破坏,呈不规则状,前人将其称为迳美岩体,出露面积 8 km<sup>2</sup>,岩

石呈浅肉红色、灰白色,碎裂构造,中粒花岗结构,主要由钾长石(45%±)、斜长石(20%±)、石英(25%±)、黑云母(5%±)等组成,矿物粒径一般为 3~5 mm;中细粒花岗岩呈 NE 向延长的岩株,分布于紫金山岩体的中部,前人将其称为五龙寺岩体,面积约 7 km<sup>2</sup>,是紫金山花岗岩的主体,也是本区大多数矿床的赋矿围岩,矿物组成主要为微斜长石(35%±)、斜长石(25%±)、石英(25%±)、白云母(5%±)、黑云母(5%±)等矿物组成,五龙寺岩体在南部侵入于迳美岩体中;细粒花岗岩仅见于西北部,呈 NE 向的月牙形,前人将其称为金龙桥岩体,出露面积仅 2.6 km<sup>2</sup>,为紫金山铜矿的主要容矿围岩,主要矿物成分为钾长石(40%±)、石英(30%±)、斜长石(20%±)、黑云母(5%±),金龙桥岩体南部侵入于五龙寺岩体中。紫金山花岗岩的围岩蚀变强烈,区内出露的各类岩石均遭受强烈的热液蚀变作用,原岩的矿物成分、化学成分和结构、构造均发生重大变化,除原生石英外,其他造岩矿物几乎全被蚀变矿物所替代。主要蚀变类型有石英绢云母化、地开石化、石英明矾石化、低温硅化,黑云母已褪变为白云母或者绢云母,长石矿物普遍高岭土化或绢云母化,特征不明显;副矿物组合为:石榴石—绿帘石—黝帘石—锆石<sup>[6,7,11]</sup>。本次研究选取紫金山岩体的主体五龙寺中细粒花岗岩为研究对象。

## 2 测试方法

测试样品(样品号为 05Sh3-06,岩性为中细粒花岗岩)受后期热液作用改造,蚀变作用强烈,虽然镜下观察岩石保持了花岗结构及矿物的晶体形态,但是在成分上已经发生改变。锆石的选样工作是在河北省区调所实验室完成的,样品破碎后手工淘洗分离出重砂,经磁选和电磁选后,在双目镜下挑出锆石(大于 1000 粒),然后与澳大利亚国立大学地质地球科学研究所标准锆石 TEM 用环氧树脂制靶。锆石 SHRIMP 测试工作在北京离子探针中心完成,测定原理及方法见 Williams<sup>[12]</sup>。分析时离子束斑直径为 20~30 μm,数据处理采用 Ludwig 的 SQUID1.0d 及 Isoplot2.49h 程序。

## 3 测试结果

样品中锆石为无色透明,CL 图像显示锆石分为 3 种形态:第一种锆石晶形发育、具有核—边双层结构,核部的锆石呈磨圆状,这类锆石为继承性锆石,

本次研究对这种形态的锆石测试了其核部年龄;第二种锆石晶形发育良好,但是呈不完整形态,长宽比较大,介于 3:1~5:1 之间,有不清晰的生长环带或者无生长环带,呈现岩浆锆石的特征;第三种晶形发育良好,有清晰的生长环带,长宽比为 2:1~3:1,这些锆石受后期岩浆热液作用的影响,边缘部分有再生重结晶现象,对这种锆石测试其核部和边缘部分。样品分析的测试数据见表 1,单个数据点的误差为  $1\sigma$ 。对 18 粒锆石进行了年龄测定,得到的数据可以分为 3 个年龄段。其中,继承性锆石的 Th/U 比值比较小,为 0.26~0.32,年龄为 1000 Ma 左右;第二种锆石(包括第三种锆石的核部)的 Th/U 比值变化范围比较大,为 0.24~1.69,平均为 0.72,13 个测点有谐和的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  表面年龄,数据点全部落入谐和线上或者附近区域(图 2),采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄平均,获得的年龄为  $168\pm 4$  Ma( $n=13$ , MSWD=0.97),吴俊奇等<sup>[13]</sup>对国内外花岗质岩石的同位素年龄进行统计学研究后提出花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄表征的是花岗岩的结晶年龄,因此,紫金山岩体的( $168\pm 4$ ) Ma 年龄代表的应该是岩体的结晶年龄,属

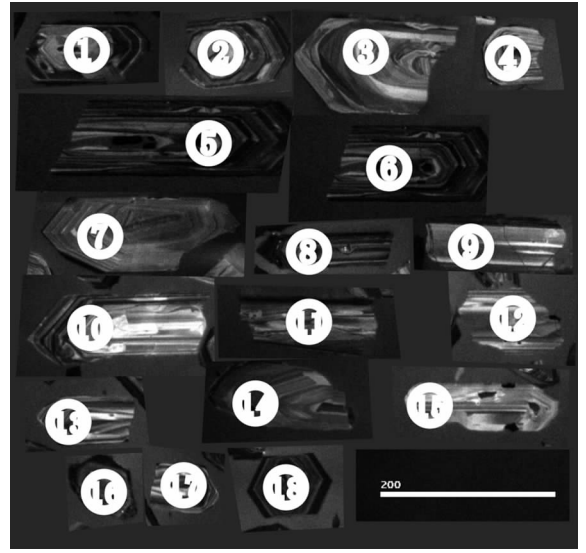


图 2 紫金山黑云母花岗岩锆石 CL 特征及测点位置  
Fig.2 CL characteristics and analyzed spots of zircons from the Zijinshan biotite granite

于中侏罗世;第三种锆石边缘部分 Th/U 比值介于前两者之间,平均为 0.69,其年龄为  $(119\pm 15)$  Ma,属于晚中生代的早白垩世。

表 1 紫金山黑云母花岗岩锆石 (05Sh3-06) SHRIMP U-Pb 测年数据  
Table 1 SHRIMP U-Pb dating of zircons from the Zijinshan biotite granite

Spot	U ( $10^{-6}$ )	Th ( $10^{-6}$ )	Th/U	$f_{206}^{\#}$ (%)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ( $\pm 1\sigma$ )	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ( $\pm 1\sigma$ )	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ( $\pm 1\sigma$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$				
								Age(Ma)	( $\pm 1\sigma$ )	Age(Ma)	( $\pm 1\sigma$ )			
1	481	149	0.32	75.5	0.1826	4.1	2.110	4.3	0.0838	1.3	1,081	$\pm 41$	1,289	$\pm 26$
2	253	64	0.26	33.8	0.1529	4.2	1.439	4.5	0.0682	1.8	917	$\pm 35$	876	$\pm 37$
3	2457	1682	0.71	54.2	0.0256	4.3	0.1797	4.8	0.0509	2.3	163.1	$\pm 6.9$	235	$\pm 53$
4	802	514	0.66	17.6	0.0256	4.4	0.183	10	0.0520	9.1	162.7	$\pm 7.0$	285	$\pm 210$
5	1562	520	0.34	37.5	0.0279	4.1	0.1837	4.8	0.0477	2.5	177.5	$\pm 7.2$	86	$\pm 59$
6	1326	385	0.30	32.1	0.0282	4.1	0.1910	4.7	0.0492	2.3	179.1	$\pm 7.2$	156	$\pm 53$
7	307	503	1.69	6.77	0.0253	4.4	0.178	12	0.0509	11	161.2	$\pm 7.0$	235	$\pm 260$
8	306	294	0.99	7.41	0.0279	4.4	0.186	14	0.0483	14	177.2	$\pm 7.6$	116	$\pm 320$
9	381	158	0.43	8.32	0.0252	4.5	0.179	8.0	0.0513	6.6	160.7	$\pm 7.2$	256	$\pm 150$
10	300	222	0.76	6.80	0.0261	4.4	0.155	17	0.0430	16	166.2	$\pm 7.2$	170	$\pm 400$
11	593	701	1.22	13.7	0.0267	4.2	0.170	7.8	0.0462	6.6	170.0	$\pm 7.1$	10	$\pm 160$
12	1483	796	0.55	34.8	0.0273	4.1	0.1919	5.0	0.0509	2.8	173.9	$\pm 7.1$	237	$\pm 65$
13	3379	790	0.24	78.1	0.0268	4.1	0.1880	5.0	0.0509	2.8	170.4	$\pm 6.9$	236	$\pm 65$
14	1306	1235	0.98	28.1	0.0250	4.2	0.173	6.6	0.0501	5.1	159.2	$\pm 6.6$	201	$\pm 120$
15	544	235	0.45	12.8	0.0273	5.8	0.199	7.1	0.0529	4.1	173.6	$\pm 10.0$	326	$\pm 92$
16	466	306	0.68	7.08	0.01757	4.4	0.107	11	0.0441	9.9	112.3	$\pm 4.9$	106	$\pm 240$
17	844	457	0.56	14.1	0.01935	4.2	0.1260	5.6	0.0472	3.7	123.6	$\pm 5.1$	61	$\pm 89$
18	773	488	0.65	12.9	0.01901	4.4	0.130	11	0.0497	10	121.4	$\pm 5.3$	181	$\pm 230$

## 4 讨论

中国东南部与火山活动有关的铜金矿化有两个明显的基本特点: 一是其成矿时代较为集中, 主要为晚中生代, 尤其是燕山期, 因而是中国东南部成矿的主要成矿内容之一; 二是火山成矿作用与斑岩成矿作用有密切的成因和时空联系, 而这正是俯冲板块边界岩浆活动成矿作用的普遍规律。

燕山中期本区发生大规模的花岗岩岩浆侵位, 并在 160 Ma 达到顶峰, 但尚未开始大规模的成矿作用<sup>[14]</sup>, 此时, 南岭地区岩石圈全面伸展-减薄, 地幔上涌产生的玄武质岩浆底侵引发了大规模的地壳熔融, 导致大量的以黑石母二长花岗岩为主体的“改造型”或“陆壳重熔型”花岗岩类在南岭及其周边地区出现。但是这些花岗岩的成因主要是地壳物质的部分熔

融, 其中的地幔物质参与仍然较少, 所以这些花岗岩总体上显示出明显的壳源岩石地球化学特征<sup>[15,16]</sup>, 如赣南张天堂岩体白云母花岗岩锆石 SHRIMP 年龄为 (156.9±1.7) Ma、湖南骑田岭岩体东缘菜岭花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (160±2) Ma、湘南大义山介头单元及道士仙单元的黑云母 K-Ar 年龄分别为 156~169 Ma、湘南九嶷山大坳钨锡矿花岗岩成岩年龄为 151~156 Ma、天门山岩体的锆石 SHRIMP 年龄为 (152±2) Ma、桂东北姑婆山 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为 (160.8±1.6) Ma、里松岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为 (163±1.3) Ma<sup>[17-22]</sup>。同时, 该时期在中国东南部也已经有伸展构造背景下形成的岩浆活动记录: 如赣南全南正长岩锆石 SHRIMP 年龄为 (161±4) Ma、湘东南骑田岭 A 型花岗岩锆石 SHRIMP 年龄为

表 2 研究区内 4 个岩体地球化学指标平均值  
Table 2 Mean values of geochemical indicators of four plutons

	紫金山岩体	才溪岩体	四方岩体	罗卜岭岩体
形成时代	168±4Ma	150±3Ma	108Ma	105Ma
SiO <sub>2</sub> /10 <sup>2</sup>	75.45	69.43	66.01	65.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.95	14.28	15.6	15.1
K <sub>2</sub> O	5.46	4.40	3.59	3.7
Na <sub>2</sub> O	2.65	2.99	3.05	3.02
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	2.06	1.47	1.18	1.23
A/CNK	1.22	1.02	0.97	0.97
Σ	2.03	2.06	1.92	2.05
K <sub>2</sub> O-SiO <sub>2</sub> 图	高钾钙碱性系列	高钾钙碱性系列	高钾钙碱性系列	高钾钙碱性系列
ΣREE	111.81	192.16	120.83	160.11
ΣLREE/ΣHREE	8.48	8.96	9.40	11.79
(La/Yb) <sub>N</sub>	8.50	9.79	9.59	14.24
Eu*	0.43	0.60	0.87	0.70
Rb	207.5	183.98	106.73	146.85
Sr	54.25	265.53	406.28	508.7
Ba	374.5	537.31	703.34	709.14
P	152.65	640	818.25	1003.5
( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr) <sub>i</sub>	0.709552	0.711114	0.707433	0.706573
εNd (t)	-9.88	-8.52	-5.07	-4.64
T <sub>2DM</sub>	1.67Ga	1.51Ga	1.22Ga	1.19Ga
其他	白云母总体富 Si、Al、K、Fe, Mg/(Fe+Mg) 值为 0.22, 显示强过铝的岩浆特征	黑云母 Mg/(Fe+Mg) 为 0.46, 属镁-铁质黑云母, 显示 S 型向 I 型过渡花岗岩中黑云母特征	黑云母 Mg/(Fe+Mg) 为 0.59, 属镁质黑云母, 显示 I 型花岗岩黑云母特征	黑云母 Mg/(Fe+Mg) 为 0.64, 属镁质黑云母, 显示 I 型花岗岩黑云母特征
岩石成因类型	S 型花岗岩	S-I 过渡型花岗岩	I 型花岗岩	I 型花岗岩
幔源组贡献比例在 CMF-AFM 图上	无 变泥质岩区域	随时代变新逐渐增大 变质砂岩区域	基性岩及变杂砂岩交界区域	基性岩及变杂砂岩交界区域

注: 才溪岩体数据引自参考文献[27], 其他系笔者未发表数据。

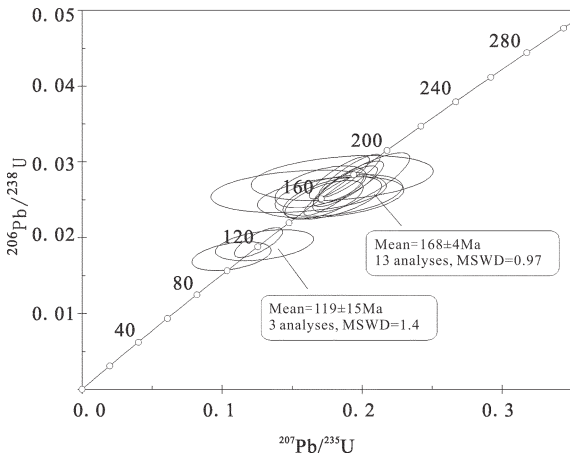


图3 紫金山黑云母花岗岩锆石 U-Pb 图解  
Fig.3 SHRIMP U-Pb diagram of zircons from the Zijinshan biotite granite

(156.7±1.7) Ma, 赣南寻邬白面石菖蒲组流纹岩的 Rb-Sr 等时线年龄为(165.1±7.07) Ma、寻邬留车鸡笼嶂组流纹岩年龄为(163±6) Ma<sup>[23-26]</sup>。笔者统计了闽西南紫金山地区 4 个中生代花岗质侵入体的各项地球化学指标(表 2),结果表明 4 个中生代花岗质侵入体在地球化学指标上和该区出露的中元古代变质沉积岩的值相似,推测可能主要是由这些中元古代变质沉积岩经部分熔融形成的。紫金山岩体形成于(168±4) Ma,该时期本区并未发生大规模的成矿事件,因此紫金山岩体主体并非含矿岩体,仅有轻微的锡矿化。

中国东南部岩石圈的大规模拉张发生于燕山晚期,由此引发了大规模的火山-侵入活动,并伴随大规模的成矿作用<sup>[28]</sup>。这一时期(139~100 Ma),中国东南部的动力学背景比较复杂,主要受太平洋构造体系的控制,处在太平洋板块俯冲带及其弧后扩张体系之中,总体是以太平洋板块的俯冲-挤压为主,形成大陆边缘广泛分布的钙碱性火山系列,且与 Au、Cu、Pb、Zn、Fe、S 等的成矿作用密切相关<sup>[29-31]</sup>,是中国东部地区最重要的金属成矿发生期,许多大型的金属矿床即是在这一时期形成的,如:长江中下游的 Cu-Au-Mo 成矿年龄集中于 142~137 Ma,玢岩铁矿的年龄为 125~123 Ma,西华山钨矿两个阶段成矿年龄分别为(139.8±4.5) Ma 和(137.4±3) Ma、岩背锡矿成矿年龄为(128±4.2) Ma,赣北葛源钨钽矿的成矿年龄为(128±11) Ma、大排铅锌矿成矿年龄为(127±1.8) Ma(毛建仁口述)、香炉山钨矿成矿年

龄为(126±6.2) Ma,粤西金银矿集区中坑金矿的年龄为(109.9±1.4) Ma~(110±1.3) Ma,这一时期是华南的一个主要的成矿期<sup>[32-37]</sup>。在 1:5 万才溪幅地质调查中也曾发现紫金山岩体 Pb、Ag、Sn 等的研究明显高于正常花岗岩值,具有锡矿化现象。本区石帽山群下部英安岩等时线年龄为(125±9.8) Ma,花岗闪长岩 Rb-Sr 等时线年龄为(128±9) Ma,四方岩体单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄为(107.8±1.2) Ma,火山根部的潜火山岩、罗卜岭花岗闪长斑岩的形成年龄为(105±7.7) Ma,而矿体中绢云母和明矾石的 K-Ar 年龄分别为 94 Ma 和 82 Ma<sup>[5,7,8]</sup>。紫金山锆石 SHRIMP 定年的第三组年龄为 119±15 Ma 可能是大规模成矿作用的记录。正是这一期的热液作用开始了本区大规模的长时期的多期次的岩浆热液作用的序幕,从而为本区铜金成矿作用奠定了基础。研究区在该阶段形成的四方花岗闪长岩和罗卜岭花岗闪长斑岩则是这一时期岩浆-热液活动的体现,形成了紫金山矿床的主要成矿母岩。

## 5 结论

(1)SHRIMP 定年结果显示,对 18 粒锆石的离子探针测试得到 3 个年龄段。第一种继承性锆石的年龄为 1000 Ma 左右。第二种锆石的 13 个测点获得的年龄为(168±4) Ma,这一年龄应代表了岩石的结晶年龄,属于中侏罗世;第三种锆石受后期改造作用,其年龄为(119±15) Ma,属于早白垩世。

(2)(168±4) Ma 时本区并未发生大规模的成矿事件,因此紫金山岩体主体并非含矿岩体,仅有轻微的锡矿化。紫金山花岗岩锆石 SHRIMP 定年的第三组年龄(119±15) Ma 是大规模成矿作用的记录,可能正是这一期的热液作用开始了本区大规模的长时期的多期次的岩浆热液作用的序幕,从而为本区铜金成矿作用奠定了基础。

**致谢:** 在野外工作中得到了福建地质调查院马金清总工和福建第八地质大队谢承涛高级工程师的帮助,在实验测试过程中北京离子探针中心万渝生研究员、张巧大高级工程师、陶华给予了指导,在此表示感谢。

## 参考文献(References):

- [1] 吴淦国, 张达, 张柏林, 等. 中国东南大陆中生代构造域的转换及其与成矿的关系——以闽西南地区为例[J]. 地球科学-中国地质

- 大学学报, 2000, 25(4):390-396.
- Wu Ganguo, Zhang Da, Zhang Bolin, et al. Transformation of Mesozoic tectonic domain and its relation to mineralization in southeastern China: evidence from southwestern Fujian province [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25 (4):390-396(in Chinese with English abstract).
- [2] 张德全, 余宏全, 阎升好, 等. 福建紫金山地区中生代构造环境转换的岩浆岩地球化学证据[J]. 地质论评, 2001, 47(6):608-616.
- Zhang Dequan, She Hongquan, Yan Shenghao, et al. Geochemistry of Mesozoic magmatites in the Zijinshan region and implication on regional tectonic inversion[J]. Geological Review, 2001, 47(6):608-616.
- [3] 张德全, 李大新, 丰成友, 等. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义[J]. 地球学报, 2001, 22(5):403-408.
- Zhang Dequan, Li Daxin, Feng Chengyou, et al. The temporal and spatial framework of the Mesozoic magmatic system in Zijinshan area and its geological significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2001, 22(5):403-408(in Chinese with English abstract).
- [4] 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统的成矿流体演化[J]. 地球学报, 2005, 26(2):127-136.
- Zhang Dequan, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. The evolution of ore-forming fluids in the porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan area[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26(2):127-136 (in Chinese with English abstract).
- [5] 毛建仁, 许乃政, 胡青, 等. 福建省上杭-大田地区中生代成岩成矿作用与构造环境演化[J]. 岩石学报, 2004, 20(2):285-296.
- Mao Jianren, Hu Qing, Xu Naizheng, et al. The Mesozoic rock-forming and ore-forming processes and tectonic environment evolution from Shanghang-Datian region, Fujian, SE China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2):285-296 (in Chinese with English abstract).
- [6] 毛建仁, 陶奎元, 李寄嶠, 等. 闽西南晚中生代四方岩体同位素年代学、地球化学及其构造意义 [J]. 岩石学报, 2002, 18 (4):449-458.
- Mao Jianren, Taokuiyuan, Li Jiyu, et al. Geochronology and geochemical characteristics in late Mesozoic Sifang pluton, southwestern Fujian, and their significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18(4):449-458(in Chinese with English abstract).
- [7] 张德全, 余宏全, 李大新, 等. 紫金山地区的斑岩-浅成热液成矿系统[J]. 地质学报, 2003, 77(2):253-260.
- Zhang Dequan, She Hongquan, Li Daxin, et al. The Porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan Region, Fujian Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77 (2):253-260 (in Chinese with English abstract).
- [8] 周肃, 陈好寿. 紫金山铜金矿同位素年代学及其地质意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 1996, 15(4):216-219.
- Zhou Su, Chen Haoshou, et al. Isotopic geochronology and its geological significance of the Zijinshan copper-gold deposit [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 1996, 15(4): 216-229(in Chinese).
- [9] 高天钧, 黄仁生. 福建省上杭紫金山矿田铜金银矿床类型及对比 [J]. 火山地质与矿产, 1998, 19(4):283-294.
- Gao Tianjun, Huang Rensheng. Comparison of typical characters of Zijinshan Copper-Gold-Silver Deposit Shanghang Fujian Province [J]. Volcanology & Mineral Resources, 1998, 19 (4):283-294 (in Chinese with English abstract).
- [10] 福建省地质矿产局. 中华人民共和国地质图(才溪幅)及说明书 [M]. 北京:地质出版社, 1990:1-20.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Fujian Province. 1990. Geological Map of Fujian Province, PRC (Caixi) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-20(in Chinese).
- [11] 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统的成矿液体演化[J]. 地球学报, 2005, 26(2):127-136.
- Zhang Dequan, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. The evolution of ore-forming fluids in the porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan Area [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26(2):127-136 (in Chinese with English abstract).
- [12] Williams I S. U-Th-Pb geochronology by iron microprobe [J]. Reviews in Economic Geology, 1998, 7:1-35.
- [13] 吴俊奇, 章邦桐, 凌洪飞, 等. 花岗岩锆石 U-Pb 年龄与全岩 Rb-Sr 等时线年龄对比研究及其地球化学意义 [J]. 高校地质学报, 2007, 13(2):272-281.
- Wu Junqi, Zhang Bangtong, Ling Hongfei, et al. Comparison between the zircon U-Pb ages and the whole-rock Rb-Sr ages of granite plutons and its geochemical implication [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13 (2):272-281 (in Chinese with English abstract).
- [14] 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):99-105.
- Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China [J]. Mineral Deposits, 2005, 24(2):99-105(in Chinese with English abstract).
- [15] 袁中信, 张宗清. 南岭花岗岩类岩石 Sm-Nd 同位素特征及岩石成因探讨[J]. 地质论评, 1992, 38(1):1-15.
- Yuan Zhongxin, Zhang Zongqing. Sm-Nd isotopic characteristics of granitoids in Nanling region and their petro-genetic analysis[J]. Geological Review, 1992, 38 (1):1-15 (in Chinese with English abstract).
- [16] 沈渭洲, 凌洪飞, 李武显, 等. 中国东南部花岗岩类的 Nd 模式年龄与地壳演化[J]. 中国科学(D 辑), 2000, 30(5):471-478.
- Shen Weizhou, Ling Hongfei, Li Wuxian, et al. Nd model ages of granitoids and crust evolution in Southeast [J]. Science in China, (SeriesD), 2000, 30:471-478(in Chinese).
- [17] 丰成友, 丰耀东, 许建祥, 等. 赣南张天堂地区岩体型钨矿晚侏罗世成岩成矿的同位素年代学证据 [J]. 中国地质, 2007, 34(4): 642-650.
- Feng Chengyou, Feng Yaodong, Xu Jianxiang, et al. Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi [J]. Geology in China, 2007,

- 34(4): 642-650(in Chinese with English abstract).
- [18] 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).
- [19] 伍光英, 潘仲芳, 李金冬, 等. 湘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).
- [20] 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等. 湘南九嶷山大坳锡钨矿的 Re-Os 同位素定年研究 [J]. 中国地质, 2007, 34(4): 651-656.
- Fu Jianming, Li Huaqin, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotope dating of the Da'ao tungsten-tin deposit in the Jiuyi Mountains, southern Hunan Province [J]. *Geology in China*, 2007, 34 (4):651-656(in Chinese with English abstract).
- [21] 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 等. 南岭东段赣南地区天门山花岗岩体及花岗岩斑岩脉的 SHRIMP 定年及其意义 [J]. 地质学报, 2007, 81(7):972-978.
- Liu Shanbao, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. SHRIMP dating of Tianmenshan granite pluton and granite-porphry dyke in southern Jiangxi Province, eastern Nanling region, and its significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81 (7):972-978(in Chinese with English abstract).
- [22] 顾晟彦, 华仁民, 戚华文. 广西姑婆山花岗岩单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及全岩 Sr-Nd 同位素研究 [J]. 高校地质学报, 2006, 80(4):543-553.
- Gu Shengyan, Hua Renmin, Qi huawen. Study on zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and Sr-Nd isotope of the guposhan granite in Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80 (4):543-553(in Chinese with English abstract).
- [23] 巫建华, 左跃明, 周维勋. 赣南-粤北中生代晚期火山岩系岩石地层划分 [J]. 中国区域地质, 1999, 18 (4):398-405.
- Wu Jianhua, Zuo Yaoming, Zhou Weixun. Subdivision of the late Mesozoic volcanic stratigraphy in South Jiangxi and North Guangdong [J]. *Regional Geology of China*, 1999, 18 (4):398-405 (in Chinese with English abstract).
- [24] 孔兴功, 陈培荣, 章邦桐. 赣南白面石盆地双峰式火山岩的 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素特征 [J]. 地质评论, 2000, 46(2):186-189.
- Kong Xingong, Chen Peirong, Zhang Bangtong. Isotopic characteristics of Rb-Sr and Sm-Nd in bimodal volcanics from the baimianshi basin, southern Jiangxi Province [J]. *Geological Review*, 2000, 46(2):186-189(in Chinese with English abstract).
- [25] 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, Liwuxian, 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).
- [26] 柏道远, 陈建超, 马铁球, 等. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境 [J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(4): 255-272.
- Bai Daoyuan, Chen Jianchao, Ma Tieqiu, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in southeast Hunan [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 24(4):255-272(in Chinese with English abstract).
- [27] 赵希林, 毛建仁, 陈荣, 等. 闽西南地区才溪岩体锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征 [J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(3):223-231.
- Zhao Xilin, Mao Jianren, Chen Rong, et al. Zircon SHRIMP age and geochemical characteristics of the Caixi pluton in southwestern Fujian Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2007, 26(3): 223-231(in Chinese with English abstract).
- [28] 李武显, 周新民. 浙闽沿海晚中生代火成岩成因的地球化学制约 [J]. 自然科学进展, 2000, 10(7):630-641.
- Li Wuxian, Zhou Xinmin. Geochemical Constraints on the Mesozoic volcanic rocks genesis from the coast of Zhejiang and Fujian [J]. *Progress in Natural Science*, 2000, 10(7):630-641(in Chinese).
- [29] Wang Dezi, Ren Qijiang, et al. The Mesozoic Volcanic-Intrusive Complexes and the Ir Metallogenic Relations in East China [J]. Beijing: Science Press, 1999:159.
- [30] 李文达, 毛建仁, 朱云鹤, 等. 中国东南部中生代火成岩与矿床. 北京:地震出版社, 1998:1-120.
- Li Wenda, Mao Jianren, Zhu Yunhe, et al. Mesozoic Igneous Rocks and Ore Deposits in Southeastern China. Beijing: Seismological Press, 1998:1-120 (in Chinese).
- [31] 王德滋, 周新民. 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化 [M]. 北京:科学出版社, 2002:1-300.
- Wang Dezi, Zhou Xinmin. Origin of late Mesozoic granitic volcanic-intrusive Complex and Crust Evolution in Southeastern China [M]. Beijing: Science Press, 2002:1-300(in Chinese).
- [32] 李华芹. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用 [M]. 北京:地质出版社, 1993.
- Li Huaqin. Chronology of Fluid Inclusions in Hydrothermal Deposits and Other Geological Applications [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1993 (in Chinese).
- [33] 黄常立, 唐维新, 桂永平, 等. 会昌岩背斑岩锡矿 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997.
- Huang Changli, Tang Weixin, Gui Yongping et al. Yanbei Porphyry Tin Deposit, Huichang [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997 (in Chinese).
- [34] 刘家齐, 汪雄武, 曾贻善, 等. 西华山花岗岩及钨锡铋矿田成矿流体演化 [J]. 华南地质与矿产, 2002, (3):91-96.
- Liu Jiaqi, Wang Xiongwu, Zeng Yishan, et al. Xihuashan granite and evolution of ore-forming fluid of tungsten-tin-beryllium ore

- field [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2002, (3):91-96(in Chinese with English abstract).
- [35] 孙晓明, 陈文, 王敏, 等. 微细粒浸染型金矿微区等时线年龄测定:以长坑大型金矿为例[J]. *科学通报*, 2003, 48(12):1355-1358. Sun Xiaomin, Chen Wen, Wang Ming, et al. Isochron ages of microprobe about fine disseminated type of gold deposit-example as Changkeng large-scale gold deposit[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(12):1355-1358(in Chinese).
- [36] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. *地学前缘*, 2004, 11(11):45-55. Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11 (1):45-55 (in Chinese with English abstract).
- [37] 毛景文, Holly STEIN, 杜安道, 等. 长江中下游地区铜金 (铂) 矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J]. *地质学报*, 2004, 78 (1):121-131. Mao Jingwen, Holly STEIN, Du Andao, et al. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River belt and its implications for mineralization [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78 (1):121-131(in Chinese with English abstract).

## SHRIMP zircon dating of the Zijinshan pluton in southwestern Fujian and its implications

ZHAO Xi-lin, MAO Jian-ren, CHEN Rong, XU Nai-zheng

(*Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China*)

**Abstract:** The rock- and ore-forming ages of the Zijinshan pluton were precisely redefined based on SHRIMP zircon dating. CL images of zircons in the Zijinshan biotite granite show that there are three zircon morphologies. The results of dating indicate that the three types of zircon have different ages and different geological implications. The first type of zircon crystal is perfect and has core-rim structure. The core is rounded. This type of zircon is considered inherited zircons dated at ~1000 Ma. The second type of zircon has well-developed but incomplete crystal morphology. It is half-baked with indistinct growth zoning or no growth zoning, showing the features of magmatic zircons. The age of the zircons is  $168 \pm 4$  Ma, which represents the crystallization age of the pluton, indicating an Early Mesozoic Middle Jurassic age. The third type of zircon is perfect and has clear growth zoning. It has undergone late-stage reworking. Its age is  $119 \pm 15$  Ma, suggesting an Early Cretaceous age. There is no report of large-scale mineralization at  $168 \pm 4$  Ma in the study area; so the main part of the Zijinshan pluton is not a mineralized pluton, only showing weak tin mineralization. The third group of SHRIMP U-Pb ages is considered as the record of large-scale Cu-Au mineralization. It is possibly just this stage of hydrothermal processes that commenced the prologue to the large-scale, long-continued, multistage magmatic hydrothermal processes and thus laid a foundation for the copper-gold mineralization in the area.

**Key words:** Zijinshan pluton; SHRIMP zircon dating; magmatic hydrothermal processes; petrogenesis and mineralization

**About the first author:** ZHAO Xi-lin, male, born in 1980, master, majors in mineralogy, petrology and mineral deposits; E-mail: zxl24@126.com or zxlgjm@sina.com.cn.