

文章编号: 0254 - 5357(2012)04 - 0724 - 06

赣南于都万田花岗岩锆石铀 - 铅定年及启示

刘善宝¹, 李鹏^{2*}, 陈振宇¹, 陈郑辉¹, 侯可军¹, 赵正³, 王成辉¹

(1. 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

2. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 3. 中国地质科学院, 北京 100037;)

摘要: 南岭是国内外著名的钨、锡及稀土成矿带, 以往的研究成果大多认为其成矿作用与中生代的岩浆活动关系密切。相对地, 关于加里东期花岗岩与成矿作用关系的研究较少, 而实际上加里东期花岗岩的出露面积在该区域仅次于中生代花岗岩, 与钨、锡及稀土成矿作用是否存在一定的联系。本文在野外调研的基础上, 利用激光剥蚀 - 电感耦合等离子体质谱(LA - ICP - MS)技术对位于赣南于都万田花岗岩进行了锆石 U - Pb 定年, 同时结合该区域已有的地层和花岗岩成矿元素钨、锡进行了对比分析。结果表明, 万田花岗岩体成岩确定年龄为 464.9 Ma, 由加里东期到燕山期, 花岗岩对成矿元素钨、锡富集程度呈逐渐增强的趋势, 可能暗示该区的成矿作用具有一定的继承性。

关键词: 于都万田花岗岩; 锆石 U - Pb 定年; 加里东期; 成矿作用; 继承性

中图分类号: P597.3; P612 **文献标识码:** A

Wantian Granite, Yudu of Southern Jiangxi: Zircon U-Pb Dating and Its Revelation

LIU Shan-bao¹, LI Peng^{2*}, CHEN Zhen-yu¹, CHEN Zheng-hui¹, HOU Ke-jun¹, ZHAO Zheng³, WANG Cheng-hui¹

(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

3. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Nanling region, a famous W, Sn and rare-earth metallogenetic belt, is closely related to Mesozoic magmatic activities based on previous research work. There has been little research on the relationship between Caledonian granite and mineralization. The outcrop area of Caledonian granite in this region is slightly less than that of the Mesozoic granite and may be related with mineralization of W, Sn and rare earth elements (REEs). Based on field research, Laser Ablation-Multicollector Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-MC-ICPMS) was applied to date the zircon from the Wantian granite. The W/Sn ratios from sediments and granites were compared in this area. The results show that the accurate diagenetic age of the Wantian granite is 464.9 Ma. From the Caledonian to Yanshanian eras, the enrichment of the ore-forming elements W/Sn has gradually increased, which hints that mineralization of the area may have some inheritance.

Key words: granite; zircon U-Pb dating; Caledonian; mineralization; inheritance

收稿日期: 2011 - 12 - 31; 接受日期: 2012 - 03 - 22

基金项目: 中国地质大调查项目“南岭地区岩浆岩成矿专属性研究”(1212011120989); “我国重要矿产和区域成矿规律研究”(1212010633903); 国家深部探测技术与实验研究专项“南岭成矿带地壳岩浆系统结构探测实验”课题(Sino Probe 0301); “南岭于都—赣县矿集区立体探测技术与深部成矿预测示范”课题(201011048)

作者简介: 刘善宝, 副研究员, 主要从事成矿规律及地质勘查工作。E-mail: liubaoshan7002@163.com。

通讯作者: 李鹏, 博士研究生, 专业为岩石学、矿物学、矿床学。E-mail: lipeng031111@163.com。

南岭成矿带是国内外著名的成矿区带,前人对该区花岗岩与成矿的关系进行了系统研究^[1-5],结果均表明南岭地区的有色、稀有金属矿产在成因上与花岗岩类有紧密的联系,尤其与中生代花岗岩类联系更为密切。近年来,众多学者采用高精度同位素年代测试方法(锆石 SHRIMP U-Pb、辉钼矿 Re-Os、云母 Arrear 等)对南岭地区中生代的花岗岩及其 W、Sn 等矿床进行了同位素年龄定年研究^[6-14],表明南岭地区的 W、Sn 矿床的成矿集中期为中侏罗世。同时,一批印支期的花岗岩也被鉴别出来^[15-18]。与之相对应的,印支期花岗岩的成矿作用也引起了许多学者的重视,印支期花岗岩除与铀矿有密切成因关系外^[19-20],还具有形成 Sn(W) 矿床的潜力^[21-23]。这些研究主要集中在对该区中生代花岗岩及有关矿床方面,加里东期花岗岩在该区的出露面积仅次于中生代花岗岩,该区域的金属矿产是否与加里东期花岗岩存在成因上的联系?本文选择了南岭东段北部赣南地区于都县境内的万田花岗岩进行初步研究,利用激光剥蚀-多接收器-电感耦合等离子体质谱法(LA-MC-ICPMS)测定了其成岩时代,综合分析该区域不同时代花岗岩空间分布特征及其成矿元素富集趋势、地层成矿元素丰度等数据,探讨了该区域 W、Sn 成矿作用的继承性。

1 地质特征和样品采集

万田岩体位于江西省于都县城东约 30 km 处,出露面积约为 225 km²。该岩体东、南、北侵入于前寒武纪变质岩,侵入界线清晰,围岩受到不同程度的热变质作用,角岩化较为常见,如云母长石石英角岩和白云母角闪二长片麻岩等。万田岩体还可见到不同程度的同化混染作用,内接触带则见杂斑构造,如二长角闪片麻岩的捕虏体,在南部较为常见,其西北部流线方向为 280°~340°。西北部被中泥盆统的云山组不整合其上,在中泥盆统云山组底部砾岩中,有花岗岩砾石,与下伏花岗岩的岩性一致,岩体形态似倒立的 V 型(见图 1)。这种特征表明万田花岗岩岩体形成时代早于中泥盆世,并受 NE 和 NS 向构造的控制。

万田岩体的岩石为灰色或浅灰色,呈中-细粒似斑状结构、块状构造。按其结构可分边缘相(细粒似斑状)及内部相(中-中粗粒似斑状),其边缘相以斜长石、钠长石、更长石为主,少数为中长石,而内部相则为钠长石、更长石,未见中长石,具外基内酸的特征。

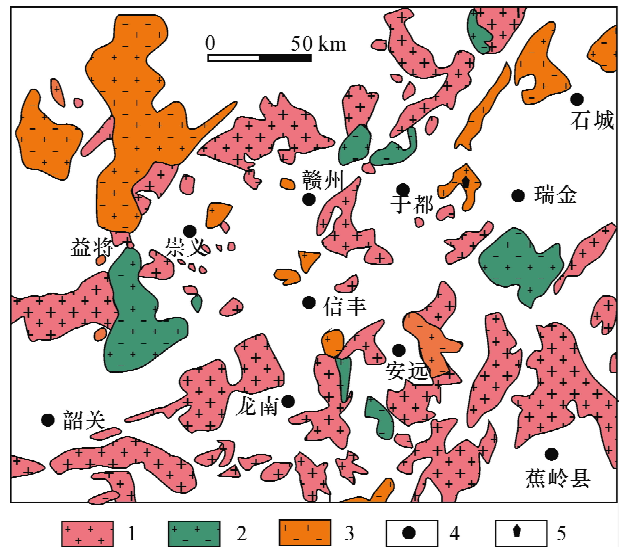


图 1 赣南及邻区花岗岩分布地质简图(据文献[16]修改)
Fig. 1 Geological sketch map of the granite distribution in Southern Jiangxi and adjacent areas (modified according to reference [16])

1—燕山期花岗岩; 2—海西-印支期花岗岩; 3—加里东期花岗岩;
4—城市; 5—采样位置。

本次采集的样品位于万田村北的一个露天采石场内,由于岩体受后期构造的影响,其裂隙构造相当发育,局部可见到有晶洞的石英细脉和长石斑晶(图 2a 和 2b)。岩石主要矿物成分为:石英(呈棱角状或集合体分布)约 35%,长石类约 46%,黑云母和白云母约 17%。

2 铀-铅测年分析和结果

2.1 分析方法

将岩石样品粉碎后进行人工分选淘洗,在双目镜下挑选出晶形完整的锆石。将锆石置于环氧树脂中,然后研磨抛光至约一半,使锆石内部暴露,用于阴极发光和背散射电子图像分析和 LA-MC-ICPMS 分析。锆石的阴极发光和背散射电子图像分析使用中国地质科学院矿产资源研究所的电子探针完成,分析时电压 20 kV,电流 50 nA;锆石的 U-Pb 测年使用矿产资源研究所的 LA-MC-ICPMS 质谱仪完成,激光剥蚀系统为 Newwave UP 213,能够产生 213 nm 的紫外激光,经过激光均化将能量聚焦在样品表面。多接收器等离子体质谱为 Finnigan Neptune,双聚焦(能量聚焦和质量聚焦)光路设计,采用动态变焦技术可以将质量色散扩大至 17%。分析时采用的激光直径为 25 μm,剥蚀频率为

10 Hz, 每10个样品点夹2个参考标准GJ1和1个Plešovice分析, 数据处理采用 ICPMSDataCal 软件。详细的仪器参数和分析方法参见文献[24]。

2.2 分析结果

所测锆石样品为无色透明, 呈自形柱状, 长宽比变化不较大, 一般为3:1。颗粒大小呈两极分化状态, 小颗粒者只有20~30 μm, 大颗粒者的长度则近300 μm。阴极发光图像(图3)显示, 锆石具有明显的韵律环带, 显示其岩浆结晶特征。个别锆石具有浑圆状或经过熔蚀再生长的核部, 核部的阴极发光特征和外部明显不同, 推测核部可能是来自围岩或地层的继承锆石。

对15个锆石颗粒进行15个点的LA-MC-ICPMS分析, 结果列于表1。15个测点U-Pb年龄比较集中, 变化在468.2~658.2 Ma之间。且谐和度较高, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和年龄为(464.9 ± 1.8) Ma, MSWD = 0.44; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均值为(464.9 ± 1.8) Ma, MSWD = 0.44, 二者十分一致, 该年龄应该代表了万田花岗岩体的成岩年龄(图4和图5)。

研究区加里东花岗岩就已经结累了大量同位素年龄数据, 公开的出版物上检索到的赣南地区加里东花岗岩类的锆石U-Pb测年数据共有13组^[25-32]。根据高精度测年数据, 区内加里东期花岗岩可以划分为早期和晚期: 早期花岗岩类的年龄数据介于440~510 Ma之间, 且主要为440~462 Ma, 相当于中-晚奥陶世; 晚期花岗岩的年龄值介于409~427 Ma之间, 相当于早志留世晚期-早泥盆



(a) 有石英细脉的花岗岩



(b) 产有长石斑晶的花岗岩

图2 不同类型的花岗岩

Fig. 2 Different types of granites

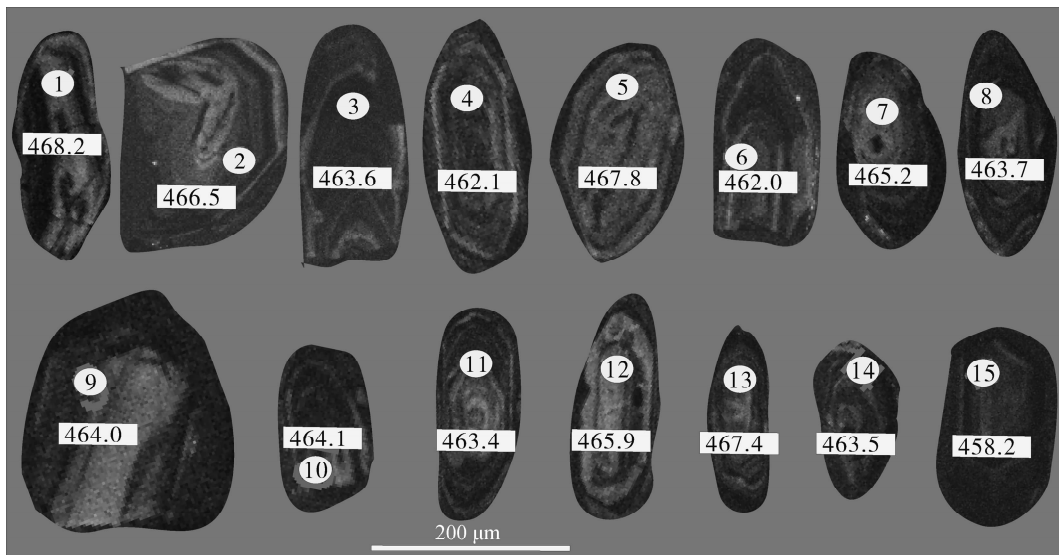


图3 万田花岗岩锆石的代表性阴极发光图像

Fig. 3 Representative cathodoluminescence images of zircon of Wantian granite

圆圈表示分析位置, 序号表示分析点位, 数据为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄, 数据单位为 Ma。

表1 于都万田花岗岩的锆石 LA-MC-ICPMS 分析结果

Table 1 Data of elements in zircon of Wantian granite by LA-MC-ICPMS

测试点位 编号	$w_B / (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		谐和度	
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄		1σ
Ydwt-1	184	504	0.37	0.060	0.0005	0.62	0.012	0.075	0.0019	613.0	17	490.5	8	468.2	12	95%
Ydwt-2	42	926	0.05	0.056	0.0006	0.58	0.010	0.075	0.0011	464.9	24	465.4	6	466.5	6	99%
Ydwt-3	39	796	0.05	0.056	0.0005	0.57	0.010	0.075	0.0012	455.6	19	460.2	6	463.6	7	99%
Ydwt-4	103	1006	0.10	0.058	0.0006	0.59	0.012	0.074	0.0021	522.3	16	469.2	8	462.1	13	98%
Ydwt-5	45	538	0.08	0.060	0.0018	0.62	0.028	0.075	0.0012	594.5	63	489.3	18	467.8	7	95%
Ydwt-6	113	1160	0.10	0.054	0.0005	0.56	0.018	0.074	0.0018	387.1	20	449.6	12	462.0	11	97%
Ydwt-7	66	273	0.24	0.060	0.0005	0.62	0.019	0.075	0.0027	611.1	19	487.9	12	465.2	16	95%
Ydwt-8	307	1116	0.28	0.057	0.0004	0.58	0.005	0.075	0.0009	476.0	19	463.0	3	463.7	6	99%
Ydwt-9	45	658	0.07	0.057	0.0002	0.58	0.005	0.075	0.0006	472.3	7	465.8	3	464.0	4	99%
Ydwt-10	792	893	0.89	0.056	0.0003	0.58	0.005	0.075	0.0006	464.9	11	464.1	3	464.1	3	99%
Ydwt-11	57	1035	0.05	0.056	0.0004	0.58	0.005	0.075	0.0004	477.8	17	464.7	3	463.4	3	99%
Ydwt-12	433	365	1.19	0.060	0.0002	0.62	0.005	0.075	0.0006	611.1	7	489.2	3	465.9	4	95%
Ydwt-13	93	660	0.14	0.056	0.0001	0.59	0.002	0.075	0.0003	477.8	6	467.9	1	467.4	2	99%
Ydwt-14	37	777	0.05	0.056	0.0002	0.58	0.002	0.075	0.0003	464.9	7	463.4	2	463.5	2	99%
Ydwt-15	262	509	0.52	0.058	0.0011	0.59	0.006	0.074	0.0007	538.9	43	472.2	4	458.2	4	96%

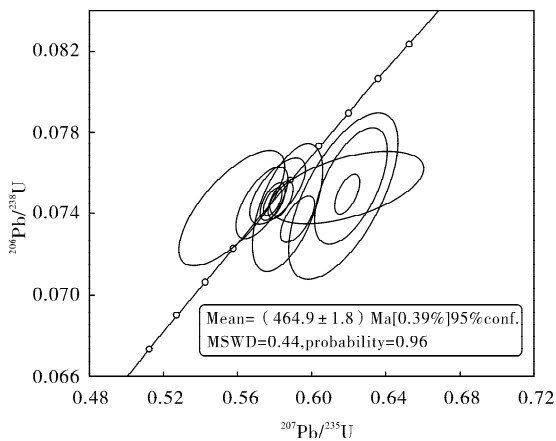


图4 万田花岗岩锆石的 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 U-Pb age concordance diagram of zircon from Wantian granite

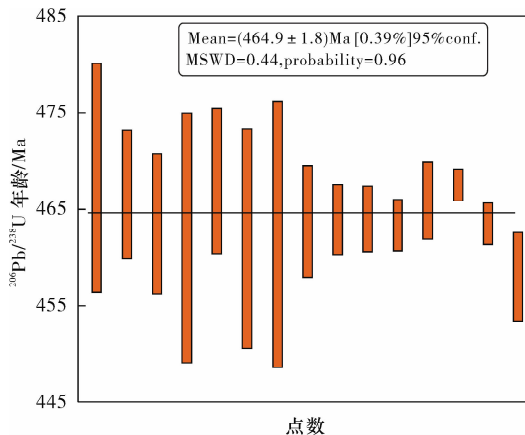


图5 万田花岗岩锆石的 U-Pb 年龄加权平均图

Fig. 5 U-Pb age weighted average diagram of zircon from Wantian granite

世早期。其中,早期花岗岩类出露面积较小,以小岩株为主,主要是英云闪长岩和花岗闪长岩,少量二长花岗岩;晚期花岗岩类出露面积较大,以岩基和面积较大的岩株为主,主要是二长花岗岩和钾长花岗岩,有少量花岗闪长岩。综上所述,于都万田岩体属于加里东早期花岗岩。

3 讨论

3.1 高成矿元素钨和锡背景区

研究区内地层中 W、Sn 含量是地壳克拉克值的 1.5~3 倍,说明研究区为一个 W、Sn 的高背景区;各主要成矿元素集中在基底构造层及泥盆系中富集,并各有侧重,如 Sn 主要富集在泥盆系、奥陶系,Ag 主要富集在奥陶系,Pb 主要富集在震旦系和寒武系,W 则富集在震旦系、寒武系、泥盆系,显示了广泛分布的基底地层及泥盆系对钨多金属矿成矿的贡献,其中成矿元素 W、Sn 在前泥盆系中具有类似于矿源层的作用^[33-34]。

3.2 不同时代的花岗岩对成矿元素不同程度的富集

经对赣南地区 109 个不同时代花岗岩的 W、Sn 成矿元素丰度数据的统计、分析(见表 2),其结果表明:自加里东期至燕山晚期不同时代的花岗岩对成矿元素 W、Sn 等均有不同程度的富集。其中该地区加里东期花岗岩 W、Sn 元素的丰度值分别变化在 $12.55 \times 10^{-6} \sim 57.12 \times 10^{-6}$ 和 $10.42 \times 10^{-6} \sim 40.19 \times 10^{-6}$ 之间,其平均值分别为 34.06×10^{-6} 和 24.65×10^{-6} ,相对于黎形贫钙花岗岩和赣南前志留纪地层丰度的富集系分别是 15.5、11.4 和 8.2、5.8;海西期花岗岩 W、Sn 元素的丰度值分别变化在 6.68

表2 赣南地区不同时代花岗岩的W、Sn元素丰度及其富集系数

Table 2 W, Sn abundances and enrichment factor in different ages for Southern Jiangxi granites $w_B/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$

期	亚期	阶段	W	x_1	x_2	Sn	x_1	x_2
燕山期	晚期	II	18.5	8.4	6.2	59.39	19.8	13.9
燕山期	晚期	I	28.49	13.0	9.5	25.56	8.5	6.0
燕山期	晚期	I	50.86	23.1	17.0	20.62	6.9	4.8
燕山期	晚期	I	15.05	6.8	5.0	18.01	6.0	4.2
均值			28.225	12.8	9.4	30.90	10.3	7.2
燕山期	早期	III	37.57	17.1	12.6	29.26	9.8	6.8
燕山期	早期	III	61.18	27.8	20.5	19.97	6.7	4.7
燕山期	早期	III	42.15	19.2	14.1	23.7	7.9	5.5
燕山期	早期	II	124.26	56.5	41.6	26.98	9.0	6.3
燕山期	早期	II	54.03	24.6	18.1	34.97	11.7	8.2
燕山期	早期	I	47.43	21.6	15.9	27.26	9.1	6.4
燕山期	早期	I	18.71	8.5	6.3	17.46	5.8	4.1
均值			55.05	25.0	18.4	25.66	8.6	6.0
印支期		II	42.26	19.2	14.1	4.98	1.7	1.2
印支期		II	46.40	21.1	15.5	20.57	6.9	4.8
印支期		I	36.44	16.6	12.2	9.21	3.1	2.2
印支期		I	9.09	4.1	3.0	22.62	7.5	5.3
均值			33.55	15.2	11.2	14.35	4.8	3.4
海西期	早期	III	6.68	3.0	2.2	42.91	14.3	10.0
海西期	早期	II	40.53	18.4	13.6	21.44	7.1	5.0
海西期	早期	I	11.29	5.1	3.8	6.64	2.2	1.6
均值			19.50	8.9	6.5	23.66	7.9	5.5
加里东期	晚期	II	32.50	14.8	10.9	23.33	7.8	5.5
加里东期	晚期	I	57.12	26.0	19.1	40.19	13.4	9.4
加里东期	中期		12.55	5.7	4.2	10.42	3.5	2.4
均值			34.06	15.5	11.4	24.65	8.2	5.8
黎形的贫钙花岗岩丰度值			2.20			3.00		
赣南前志留纪地层丰度值			2.99			4.20		

注:数据来源文献, x_1 为花岗岩元素丰度^[35]与黎形贫钙花岗岩元素丰度^[36]比值; x_2 为花岗岩元素丰度与赣南前志留纪地层元素丰度比值。

$\times 10^{-6} \sim 40.53 \times 10^{-6}$ 和 $6.64 \times 10^{-6} \sim 42.91 \times 10^{-6}$ 之间,其平均值分别为 19.5×10^{-6} 和 23.66×10^{-6} ,相对于黎形贫钙花岗岩和赣南前志留纪地层丰度的富集系数分别是8.9、6.5和7.9、5.5;印支期花岗岩W、Sn元素的丰度值分别变化在 $9.09 \times 10^{-6} \sim 46.4 \times 10^{-6}$ 和 $4.98 \times 10^{-6} \sim 22.62 \times 10^{-6}$ 之间,其平均值分别为 33.5×10^{-6} 和 14.35×10^{-6} ,相对于黎形贫钙花岗岩和赣南前志留纪地层丰度的富集系数分别是15.2、11.2和4.8、3.4;燕山早期花岗岩W、Sn元素的丰度值分别变化在 $18.71 \times 10^{-6} \sim 124.26 \times 10^{-6}$ 和 $17.46 \sim 34.97 \times 10^{-6}$ 之间,其平均值分别为 55.05×10^{-6} 和 25.66×10^{-6} ,相对于黎形贫钙花岗岩和赣南前志留纪地层丰度的富集系数分别是25、18.4和8.6、6.0;燕山晚期花岗岩W、Sn元素的丰度值分别变化在 $15.05 \times 10^{-6} \sim 50.86 \times 10^{-6}$ 和 $18.01 \times 10^{-6} \sim 59.39 \times 10^{-6}$ 之间,其平均值分别为 28.23×10^{-6} 和 $30.90 \times$

10^{-6} ,相对于黎形贫钙花岗岩和赣南前志留纪地层丰度的富集系数分别是12.8、9.4和10.3、7.2。成矿元素W在燕山早期花岗岩中得到了强烈富集,最大富集系数达到124.6;成矿元素Sn在燕山晚期花岗岩中得到了强烈富集,最大富集系数达到59.39。总的趋势是,自加里东期花岗岩到燕山期花岗岩,成矿元素W、Sn呈逐步富集的趋势,可能是导致该地区W、Sn矿床成矿时代集中在燕山期的原因所在。

3.3 不同时代花岗岩空间分布的相邻性或叠加性

前人曾提出华南钨锡矿的多旋回成矿问题,其中主旋回的成矿作用与加里东期的岩浆活动有关^[34]。加里东花岗岩类大多呈出露面积较大的岩基和岩株,侵位于穹状短轴背斜或复背斜轴部,如江西的付坊岩体(黑云母二长花岗岩为主)、湘赣边界的万洋山岩体(黑云母二长花岗岩为主)、赣闽边境的宁化岩体(黑云母二长花岗岩为主)的出露面积大于1000 km²,统计结果显示,在加里东期花岗岩体中,出露面积大于60 km²者达70%。单个岩体的长轴方向通常以NE-NNE向和EW向为主,反映这两个方向的线型构造控制了岩体的侵入,也表明本区现今十分发育的NE-NNE和EW向构造在加里东期就已经开始发育,并控制了后期的花岗岩空间分布特征。加里东期花岗岩类岩体大多被后期(海西-印支期、燕山期)的岩浆岩体侵入,从而构成复式侵入体,说明这些复式岩体的出露部位是长期的、继承式的构造热点。

3.4 泥盆系地层中古砂锡钨矿

赣南地区的砂锡钨矿除在白垩系、上-中更新统及全新统地层外,在泥盆系的地层中也有古砂锡钨矿的产出。如上犹陡水-三姐妹一带,产于泥盆系跳马涧组底部花岗质砾岩之上的石英砾岩中,含矿层厚2~10 cm,断续延长达10 km以上,含锡石一般为0.08 μg/g,最高达37105.628 μg/g,含黑钨矿一般为0.08 μg/g,最高达0.125 μg/g^[37]。这一地质事实表明该层位的砂锡钨矿来自于其下伏的加里东期上犹花岗岩体,即加里东期花岗岩也具有一定的成矿作用。

4 结语

南岭地区加里东期花岗岩研究程度相对较低,本次研究工作表明,赣南于都万田花岗岩的成岩年龄为(464.9 ± 1.8) Ma, MSWD = 0.44,即该岩体形成于加里东期。同时,区域地质及其花岗岩锆石同位素数据的综合分析表明,由加里东期到燕山期,本区花岗岩对成矿元素W、Sn富集程度呈逐渐增强的趋势,可能暗示该区的成矿作用具有一定的继承性。也就是说,在本区寻找加里东期W、Sn矿化具有较大的潜力。

5 参考文献

- [1] 陈毓川,裴荣富,张宏良. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社,1989:1-101.
- [2] 王德滋,刘昌实,沈渭洲,陈繁荣. 华南S型火山杂岩与成矿[J]. 南京大学学报:自然科学版,1994,30(2):322-333.
- [3] 华仁民,陈培荣,张文兰,刘晓东,陆建军,林锦富,姚军明,戚华文,张展适. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J]. 中国科学: D辑,2003,33(4):335-343.
- [4] 毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄. 华南地区中生代大规模成矿作用于岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘,2004,11(1):45-54.
- [5] 郭宗山,陈树荣,董琳,郭月敏. 南岭花岗岩及矿体中一些云母的研究[J]. 岩矿测试,1983,2(4):260-271.
- [6] 王岳军,范蔚茗,郭锋,李惠民,梁新权. 湘东南中生代花岗岩闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 法定年及其成因意义指示[J]. 中国科学: D辑,2001,31(9):745-751.
- [7] 彭建堂,胡瑞忠,赵军红,符亚洲,林源贤. 湘西沃溪 Au-Sib-W 矿床中白钨矿 Mind 和石英 Arrear 定年[J]. 科学通报,2003,48(18):1976-1981.
- [8] 孙涛,周新民,陈培荣,李惠民,周红英,王志成,沈渭洲. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及大地构造意义[J]. 中国科学: D辑,2003,33(12):1209-1218.
- [9] 姚明军,华仁民,林锦富. 湖南黄沙坪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地球化学特征[J]. 岩石学报,2005,21(3):688-696.
- [10] 陈郑辉,王登红,屈文俊,陈毓川,王平安,许建祥,张家菁. 赣南崇义淘锡坑钨矿的地质特征及成矿时代[J]. 地质通报,2006,25(4):496-501.
- [11] 张文兰,华仁民,王汝城,陈培荣,李惠民. 赣南大吉山花岗岩成岩与五矿成矿年龄研究[J]. 地质学报,2006,80(7):956-962.
- [12] 丰成友,许建祥,曾载淋,张德全,屈文俊,余宏全,李进文,李大新,杜安道,董英君. 赣南天门山-红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义[J]. 地质学报,2007,81(7):952-963.
- [13] 郭春丽,王登红,陈毓川,王彦斌,陈郑辉,刘善宝. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rib's 年龄测定[J]. 矿床地质,2007,26(4):432-442.
- [14] 刘善宝,王登红,陈毓川,许建祥,曾载淋,应立娟,王成辉. 南岭东段赣南地区天门山花岗岩体及华岗斑岩脉的 SHRIMP 定年及意义[J]. 地质学报,2007,81(7):972-978.
- [15] 李献华,桂唐唐. 花岗岩的定年方法学初论[J]. 地球化学,1990(4):303-311.
- [16] 孙涛. 新编华南花岗岩分布图及其说明[J]. 地质通报,2006,24(3):332-337.
- [17] 徐夕生,邓平, O'Reilly S Y, Griffin W L, 周新民, 谭正中. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针 ICPMS U-Pb 定年及其成岩意义[J]. 科学通报,2003,48(12):1328-1334.
- [18] 邓希光,陈志刚,李献华,刘敦一. 桂东南地区大容山一十万大山花岗岩带 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年[J]. 地质论评,2004,50(4):426-432.
- [19] 张成江. 华南几个杂岩体中产铀与非产铀花岗岩的成因及其与铀成矿关系[J]. 成都理工学院学报,1996,23(4):31-38.
- [20] 陈培荣,华仁民,章邦桐,陆建军,范春方. 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]. 地球科学,2002,32(4):279-289.
- [21] 赵蕾,于海津,王丽娟. 红山含黄玉花岗岩的形成时代及其成矿能力分析[J]. 矿床地质,2006,25(6):672-682.
- [22] 刘善宝,王登红,陈毓川. 赣南崇义一大余一上犹矿集区不同类型含锆石英中白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义[J]. 地质学报,2008,82(7):932-940.
- [23] 曾载淋,张永忠,朱祥培,陈郑辉,王成辉,屈文俊. 赣南崇义地区茅坪钨锡矿床铀-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试,2009,28(3):209-214.
- [24] 侯可军,李延河,邹天人,曲晓明,石玉若,谢桂青. 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.
- [25] 高维敬,方宗斌,刘邦秀. 武夷山西坡花岗岩类深成侵入体的岩石谱系[J]. 江西地质,1994,8(4):281-295.
- [26] 吴俊华,李铁华. 湘赣边界北诸广山超单元组合特征及构造意义[J]. 中国区域地质,1999,18(3):265-270.
- [27] 谢明明,冯国胜,刘益辉. 广昌付坊花岗岩地质特征及侵位机制[J]. 江西地质,2000,14(1):21-27.
- [28] 谢振东,杨永革. 江西信丰安西岩体同位素年龄及其地质意义[J]. 江西地质,2000,14(3):172-175.
- [29] 曾勇. 西武夷地区早古生代浅色花岗岩的厘定及其造山意义[J]. 江西地质,2000,14(1):1-4.
- [30] 吴富江,张芳容. 华南板块北缘东段武功山加里东期花岗岩特征及成因探讨[J]. 中国地质,2003,30(2):166-172.
- [31] 张爱梅,王岳军,范蔚茗,张菲菲,张玉芝. 闽西南清流地区加里东期花岗岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成研究[J]. 大地构造与成矿学,2010,34(3):408-418.
- [32] 李光来,华仁民,胡东泉,黄晓娥,张文兰,王旭东. 赣南地区石雷石英闪长岩的成因:岩石化学、副矿物微量元素、锆石 U-Pb 年代学与 Sr-Nd-Hf 同位素制约[J]. 岩石学报,2010,26(3):903-918.
- [33] 陈郑辉. 南岭东段钨矿成矿潜力评价及找矿方向建议[D]. 北京:中国地质科学院,2006:1-50.
- [34] 许建祥. 南岭东段—赣南地区成矿系列及成矿规律研究[D]. 北京:中国地质科学院,2009:30-45.
- [35] 刘文章. 赣南矿产地质综合研究及靶区选择[R]. 江西省地质矿产开发局赣南大队,1993:2-15.
- [36] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学,1976(3):167-174.
- [37] 地质部江西地质局区域测量队. 1:20万地质矿产图说明书(赣州幅)[R]. 1967:32-60.