

doi: 10.3969/j.issn.1007-3701.2013.03.005

湘南界牌岭锡多金属矿床含矿花岗斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究

卢友月, 付建明, 程顺波, 马丽艳, 张 鲲

LU You-Yue, FU Jian-Ming, CHENG Shun-Bo, MA Li-Yan, ZHANG Kun

(中国地质调查局 武汉地质调查中心, 花岗岩成岩成矿地质研究中心, 武汉 430205)

(Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, China; Institute of Granitic Diagenesis and Metallogeny, CGS, Wuhan 430205, China)

摘要: 界牌岭锡多金属矿床是湘南地区一个与花岗斑岩关系十分密切的大型矿床。本文通过对含矿花岗斑岩样品中的锆石进行 SHRIMP U-Pb 年代学研究, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $92.0 \pm 1.6 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=1.05$), 显示为晚白垩世侵位。含矿花岗斑岩成岩年龄与矿床锡矿成矿年龄基本一致, 它们应属于同一构造-岩浆活动的产物。

关键词: SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学; 花岗斑岩; 锡多金属矿; 界牌岭; 湘南

中图分类号: P588.12+1; P618.44

文献标识码: A

文章编号: 1007-3701(2013)03-199-08

Lu Y Y, Fu J M, Cheng S B, Ma L Y and Zhang K. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of the ore-bearing granite porphyry in the Jiepailing Tin-polymetallic deposit, Southern Hunan province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2013, 29(3):199–206.

Abstract: Jiepailing deposit is a large tin-polymetallic deposit in Southern Hunan Province, which is closely related with the granite porphyry. Based on the SHRIMP zircon U-Pb chronologic study of zircon samples from Jiepailing mineralized granite porphyry, the authors obtained a weighted average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of $(92.0 \pm 1.6) \text{ Ma}$ ($\text{MSDW}=1.05$), which suggests an early Yanshanian emplacement, and that its mineralization and magmatic-emplacement took place simultaneously and resulted from the same structure-magma system.

Key words: SHRIMP zircon U-Pb geochronology; granite porphyry; tin-polymetallic deposit; Jiepailing; Southern Hunan Province

湘南地区是我国重要的钨锡多金属矿产基地之一, 区内分布有柿竹园、芙蓉、香花岭、瑶岗仙、新田岭、黄沙坪、金船堂等一大批大型、超大型钨锡多金属矿床, 这些矿床与燕山早期花岗质岩体关系密切, 都产于花岗岩岩体接触带及其附近围岩之中。最近十年的高精度测年结果显示, 它们的成岩成矿

年龄集中分布在 150 ~ 165 Ma 之间, 形成于南岭大面积高强度钨锡矿的爆发期^[1-3]。在这一爆发期之后, 区内成岩成矿极为罕见。2007 年, 毛景文等通过对界牌岭锡多金属矿锡矿石中的黑云母进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年, 获得锡矿成矿年龄为 $91.1 \pm 1.1 \text{ Ma}$, 显示为燕山晚期构造岩浆活动的产物, 这是在湘南地区确

收稿日期: 2012-07-27; 修回日期: 2013-06-06.

基金项目: 中国地质调查局“南岭地区重要金属矿床成矿规律研究及选区评价”(1212011120804)及钦杭成矿带(西段)重要金属矿床成矿规律及找矿方向研究(1212011085405)资助。

第一作者: 卢友月(1983—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事矿床学研究, E-mail: luyouyue@126.com.

定的首例燕山晚期锡矿成矿作用,也是南岭地区钨锡矿目前已知的最小年龄数据之一^[3]。然而,有关该矿床与成矿有关的花岗斑岩的形成时代至今仍没有精确的年龄数据,前人对该矿床花岗斑岩已有的测年数据主要由全岩 Rb-Sr 等时线法获得,分布于 87.9~89.81 Ma^[4-5]。由于 Rb-Sr 同位素体系封闭温度较低,易受后期构造-热事件影响而导致其年龄值偏低,且矿区花岗斑岩体均受到不同程度的蚀变,因此上述 Rb-Sr 等时线法获得的年龄并不可靠^[6]。近年来研究表明,锆石 U-Pb 系统的封闭温度超过 850℃,且性质稳定,锆石 U-Pb 定年法是目前世界上最先进的测年技术之一,其所测岩浆锆石 U-Pb 年龄通常代表了岩体的结晶年代^[7]。因此,本文拟对界牌岭锡多金属矿含矿花岗斑岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究,以获得精确的成岩年龄,并结合已有的高精度锡矿成矿年龄数据,厘清矿区的成岩成矿时代,讨论矿床的成岩成矿动力学背景。

1 区域地质背景

湘南地区位于华夏地块与扬子地块的结合部位。本区构造格架大体是加里东期震旦系-奥陶系地层形成 NWW 向至 E-W 向褶皱基底,之后印支运动形成了大量以 E-W 向为主的断裂与褶皱,燕山运动形成了 NNE 向为主的陆相盆地。区内地层发育较全,除志留系缺失外,从震旦系到第四系均有出露。震旦系主要为砂岩、石英砂岩和板岩,寒武系主要为一套浅变质碎屑岩,奥陶系主要是泥、砂质沉积形成的类复理石建造,泥盆系在湘南广泛分布,为陆相至滨海相沉积碎屑岩、砂页岩和碳酸盐岩,是区内重要的含矿层位。石炭系主要为浅海相碳酸盐岩沉积,三叠系在区内出露很少,主要为碳酸盐岩、页岩,侏罗系在区内分布广泛,主要为陆相-海相交互沉积,白垩纪在区内出露较少,主要为陆相沉积。

湘南地区岩浆活动频繁,岩石种类繁多,有酸性岩、中性岩和基性岩。以酸性岩最为发育,占岩浆总面积的 90%以上,绝大部分为侵入岩,喷出岩极少。按时代由老至新可划分为加里东期、印支期、燕山期侵入体。加里东期岩石类型主要为花岗闪长岩、辉石闪长岩、英云闪长岩;印支期岩石类型主要有二长花岗岩、花岗闪长岩等;燕山早期岩浆活动

最为强烈,区内广泛发育,岩性主要为黑云母花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩等;燕山晚期仅见少量的花岗斑岩,呈岩株及岩脉产出^[8]。

2 矿床地质特征

界牌岭矿区位于湖南省宜章县境内,北距瑶岗仙钨矿约 10 km。地理坐标为:东经 113°16'32"~113°17'23",北纬 25°32'20"~25°33'09"。矿区出露地层为石炭系下统石磴子组(C_{1sh})、测水组(C_{1c})、梓门桥组(C_{1z})和中上统壶天群(C_{2+3ht}),岩性主要为灰岩、白云质灰岩,夹少量砂页岩。区内构造以 NNE 向为主,次为 NNW 向及近 E-W 向。褶皱主要为 NE 向界牌岭倾伏背斜,倾伏角约 23°;断裂按走向可分为 NNE 向、NNW 向和近 E-W 向三组。以上地层和构造交错展布形成棋盘式构造格局(图 1)。区内出露花岗斑岩体 10 余个,主要分布于背斜轴部及 F_4 断裂中,呈岩脉、岩株状产出,总体走向 NNE。根据岩体岩性、相互穿插关系及其与成矿的关系,大致可将岩浆活动划分为三期:第一期巨晶花岗斑岩,伴随有强烈的爆破作用;第二期中晶花岗斑岩,也伴随有隐爆角砾岩形成,是矿区的主要含矿岩体;第三期中细晶花岗斑岩,富含斜长石。

矿区存在两种类型的矿体,即萤石(铍)矿体和锡铅锌矿体。萤石(铍)矿体赋存于浅部层间破碎带中,共发现矿体 14 个,其中 I 号矿体规模最大,占矿区萤石储量的 95%以上,矿体长 860 m,倾斜延伸 160~350 m,矿体平均铅直厚度为 48.72 m。主要有用组分 CaF_2 品位在 20%~64.63%之间,平均品位为 38.01%;伴生的 BeO 含量在 0.001%~0.66%之间,平均品位为 0.252%。锡铅锌矿体赋存于背斜核部 128~132 线之间 80 m 标高以下,为典型的隐伏矿体,共圈出矿体 50 多个,其中具一定规模的主矿体 8 个,编号为 1~8。1~7 号为锡矿体,产于 F_4 派生的次一级断裂破碎带中,其中 1 号矿体规模最大,矿体沿走向长 700 m,倾斜延伸 250 m,厚度 4.99~40.61 m,平均厚度 16.51 m,靠近 F_4 矿体厚度较大。锡品位 0.33%~1.14%,平均品位 0.83%,伴生铜品位 0.594%。8 号矿体为铅锌锡矿体,产于沿 F_4 侵入的花岗斑岩上盘或内接触带中,走向长约 130 m,倾向延伸约 100 m,平均厚度 4.36 m,平均品位 Sn 0.38%、Pb 1.20%、Zn 1.17%、Cu 0.31%。

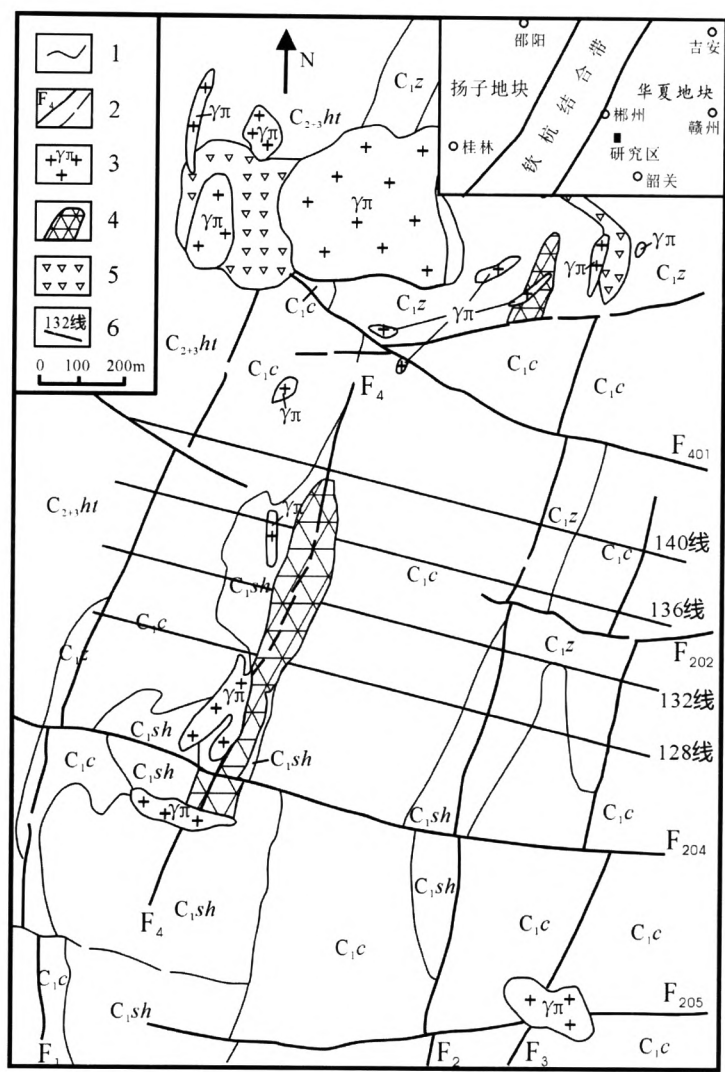


图1 界牌岭锡多金属矿区地质图(据文献[5, 9]修改)

Fig. 1 Geological map of the Jiepaoling tin-polymetallic orefield, Southern Hunan province

1-地层界线,2-实(推)测断层及编号,3-花岗斑岩,4-浅表萤石、铍矿化带,5-爆破角砾岩,6-勘探线及编号; $C_{2,3ht}$:石炭系中上统壶天群, C_{1z} :石炭系下统梓门桥组, C_{1c} :石炭系下统测水组, C_{1sh} :石炭系下统石碇子组。

矿物组分复杂,主要金属矿物有锡石、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等,次为黄铜矿、黑钨矿、毒砂、褐铁矿、菱锰矿;非金属矿物以萤石、黄玉、长石、石英为主,次为方解石、绢云母及粘土矿物等。

矿石结构简单,以半自形-自形粒状结构为主,次有它形粒状结构、乳滴状结构、环带状结构、聚鳞片花岗变晶结构等。常见的矿石构造有星点状构造、浸染状构造、脉状构造及块状构造。

受岩浆热力及热液活动作用的影响,区内围岩蚀变十分发育,蚀变程度高、类型多,集中分布在花岗斑岩体边部和含矿构造破碎带及顶底板围岩中。主要蚀变类型有云母化、黄玉化、云英岩化、萤石化、硅化、绿泥石化、矽卡岩化、大理岩化及碳酸盐

化等。其中云英岩化、云母化,黄玉化、绿泥石化等与锡铅锌矿关系较为密切^[9]。

3 样品采集及测试方法

用于 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年的测试样品采自界牌岭锡多金属矿井下 8 号铅锌锡矿体中(样品编号:06RC-1)。花岗斑岩浅灰-灰白色,中粒斑状结构,块状构造,斑晶以石英、钾长石为主,次为斜长石,粒径 5~8 mm,含量 15%~20%;基质为微细粒-隐晶质结构,成分主要为石英、钾长石、斜长石、黑云母等,暗色矿物含量 1%~3%;微弱 Sn、Pb、Zn 矿化。

岩石样品重约 5 kg, 通过人工破碎, 重砂淘洗法分选出锆石, 在双目镜下挑纯, 最后选出晶形完好、透明度高、无裂纹和包体少的锆石颗粒与标准锆石样品 TEM(417 Ma) 一起粘在环氧树脂靶上, 磨制样品, 使锆石内部暴露。对靶上待测样品进行透射光、反射光和阴极发光(图 2)显微照相分析, 据此选定锆石微区原位分析的靶位。阴极发光研究在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针研究室完成, SHRIMP 锆石 U-Pb 分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成, 详细的实验流程和原理参考文献[10-11]。对测试结果用 SHRIMP 定年标准物质对 U-Th 和 Pb 及年龄作了校正, 因锆石 ^{204}Pb 含量较高, 可能有后期普通铅的混入, 故采用实测

^{208}Pb 校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为 1σ , 所采用的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄具有 95% 的置信度[12-15]。

4 分析结果

花岗斑岩代表性锆石 CL 图像(图 2)显示, 锆石多呈长柱状, 晶形比较完整, 透明度高, 颗粒大小不一, 长宽比一般在 1~4 之间。锆石大部分为一个大小不一的核部和边缘具振荡韵律环带结构, 明显不同于变质锆石的内部结构特点[16], 为典型的岩浆结晶锆石。也有少量锆石内部有明显的它形继承锆石核存在, 如 06RC-1-6.1, 但外部生

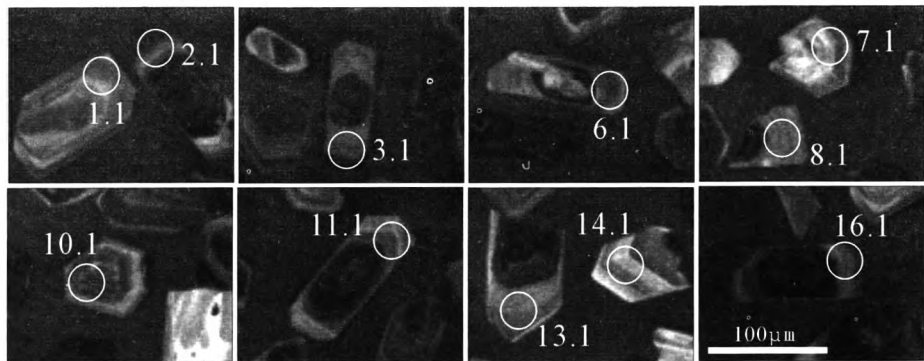


图2 界牌岭锡多金属矿床花岗斑岩代表性锆石CL图像

Fig. 2 Cathodoluminescence images for representative zircons from granite porphyry in the Jiepailing tin-polymetallic deposit, Southern Hunan province

长环带结构清晰。

从锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果(表 1)可见: 样品锆石中 Th 和 U 含量较低, Th 含量为 $(182 \sim 2294) \times 10^{-6}$, U 含量为 $(258 \sim 5932) \times 10^{-6}$, 大部分都在 1000×10^{-6} 以下, Th/U 比值介于 0.39~0.82 之间, 均值 0.61, 显示典型岩浆成因锆石的特点[17-18]。

样品 06RC-1 所选的 16 个分析点均位于锆石边部(图 2)。在所有分析点中, 06RC-1-6.1 给出了 101.3 Ma 的早白垩世 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄, 对应于锆石 CL 图像(图 2), 该点可能受继承锆石核的影响, 不具地质意义; 06RC-1-1.1、2.1、4.1、8.1、9.1、12.1 给出 80.0~88.4 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄, 较正常年龄值偏小, 但大部分均在谐和线附近, 表明锆石 U、Pb 同位素可能存在同步丢失; 06RC-1-7.1 给出了 62.4 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄, 且偏离谐和线较远, U、Th、Pb 含量较高, 对应于锆石 CL 图像(图 2), 该锆石为短柱状-浑圆状, 或为锆石同位素体

系受到后期地质热事件的干扰所致。其余 8 个测点年龄集中分布在 87.9~96.7 Ma, 且均落在谐和线上或附近, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 92.0 ± 1.6 Ma (95% 可信度, MSWD = 1.05)(图 3), 代表了花岗斑岩的结晶年龄。

5 讨论

5.1 成岩成矿时代

前人对界牌岭锡多金属矿床花岗斑岩成岩年龄的测试采用的是全岩 Rb-Sr 等时线法, 分布于 87.9~89.81 Ma。由于同位素年龄与相应体系封闭温度的关系密切, 不同同位素年代方法所对应的体系封闭温度不同, 所获得的同位素年龄往往存在差别[6]。界牌岭锡多金属矿床及其共生的花岗斑岩广泛存在着不同程度的热液蚀变, 这些蚀变可能导致成矿斑岩的 Rb-Sr 同位素体系的改变。研究表明,

表1 界牌岭锡多金属矿床花岗斑岩锆石SHRIMP年龄分析结果表

Table 1 SHRIMP U-Pb date of zircons from granite porphyry in the Jiepailing tin-polymetallic deposit

测点号	²⁰⁶ Pb _c	U	Th	²³² Th	²⁰⁶ Pb [*]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb [*] / ²⁰⁶ Pb [*]	±%	²⁰⁷ Pb [*]	±%	²⁰⁶ Pb [*]	±%	误差相关 系数
		× 10 ⁻⁶		/ ²³⁸ U	× 10 ⁻⁶	年龄/Ma			/ ²³⁵ U		/ ²³⁸ U		
06RC-1-1.1	5.42	258	182	0.73	2.97	81.1±4.2	0.0404	9.8	0.0705	10.7	0.0127	4.2	0.394
06RC-1-2.1	6.90	4478	2294	0.53	55.3	85.7±1.5	0.0500	2.6	0.0924	2.9	0.0134	1.4	0.471
06RC-1-3.1	11.85	965	454	0.49	13.6	92.6±2.5	0.0443	6.1	0.0883	6.3	0.0145	1.9	0.292
06RC-1-4.1	12.26	833	658	0.82	11.2	87.8±2.6	0.1051	41.4	0.1988	41.4	0.0137	1.5	0.037
06RC-1-5.1	1.55	508	296	0.60	6.39	92.4±1.9	0.0473	4.3	0.0942	4.6	0.0144	1.8	0.382
06RC-1-6.1	15.69	721	446	0.64	11.6	101.3±3.2	0.0478	28.2	0.1043	28.3	0.0158	1.6	0.058
06RC-1-7.1	63.28	3043	1300	0.44	69.3	62.4±12.5	0.1544	23.7	0.2072	23.8	0.0097	1.7	0.071
06RC-1-8.1	14.89	773	508	0.68	10.00	82.3±2.4	0.0428	9.2	0.0759	9.4	0.0128	1.6	0.170
06RC-1-9.1	11.53	522	376	0.75	6.33	80.0±2.4	0.0397	10.1	0.0684	10.3	0.0125	2.0	0.192
06RC-1-10.1	15.01	1010	730	0.75	14.4	90.5±2.7	0.0372	16.1	0.0725	16.1	0.0141	1.5	0.096
06RC-1-11.1	3.31	1061	605	0.59	14.0	95.2±2.2	0.0551	3.0	0.1131	3.6	0.0149	2.0	0.557
06RC-1-12.1	0.70	1665	1209	0.75	19.9	88.4±1.5	0.0478	2.2	0.0909	2.6	0.0138	1.4	0.555
06RC-1-13.1	1.60	700	414	0.61	8.85	92.7±1.6	0.0487	3.4	0.0972	3.8	0.0145	1.6	0.417
06RC-1-14.1	4.78	367	207	0.58	4.55	87.9±2.0	0.0448	7.0	0.0847	7.2	0.0137	1.8	0.255
06RC-1-15.1	23.38	5932	2221	0.39	96.5	92.8±3.7	0.0298	11.6	0.0595	11.6	0.0145	1.4	0.117
06RC-1-16.1	38.87	872	409	0.48	18.5	96.7±7.3	0.0236	72.9	0.0491	72.9	0.0151	1.5	0.021

注: FDC和FD^{*}为锆石U-Pb年龄和放射成因铅。

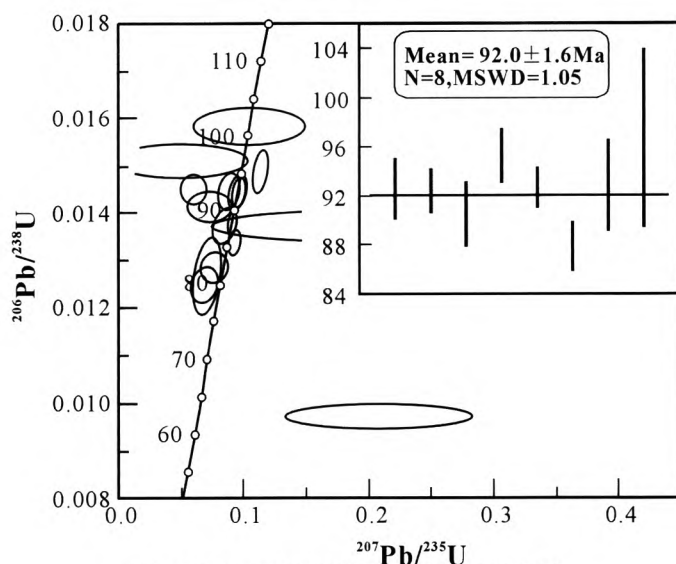


图3 06RC-1 SHRIMP锆石U-Pb年龄谐和图

Fig. 3 SHRIMP zircon U-Pb Concordia plot for sample 06RC-1

锆石 U-Pb 系统的封闭温度超过 850℃, 而全岩 - 矿物 Rb-Sr 系统的封闭温度一般为 600℃。锆石 U-Pb 体系的封闭温度较高, 且性质稳定, 锆石 U-Pb 定年法是目前世界上最先进的测年技术之一, 其所测岩浆锆石 U-Pb 年龄通常代表了岩体的结晶年代, 而 Rb-Sr 法的同位素年龄通常只能代表侵入体的冷却年龄或蚀变年龄。本次测试获得矿床含矿中晶花岗斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 92.0 ± 1.6 Ma, 与前人采用全岩 Rb-Sr 等时线法获得的花岗斑岩年龄 (87.9 ~ 89.81 Ma)^[4-9] 及采用黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法获得的锡矿成矿年龄 (91.1 ± 1.1 Ma)^[3] 在误差范围内一致, 表明本次所测得的花岗斑岩结晶年龄为 92.0 ± 1.6 Ma 是可靠的。与全岩 Rb-Sr 等时线年龄差异不明显, 说明花岗斑岩侵位后快速冷凝, 且成岩后受到后期热液活动的影响不大。矿床成岩与成矿年龄在误差范围内基本一致, 表明矿床成岩与成矿均发生于燕山晚期, 两者应属于同一构造 - 岩浆活动的产物。

5.2 成岩成矿地球动力学背景

毛景文等 (2008)^[10] 在广泛的地质调查和放射性同位素年龄精测数据的基础上, 提出华南地区中生代主要金属矿床成矿出现于三个阶段, 即晚三叠世 (230 ~ 210 Ma)、中晚侏罗世 (170 ~ 150 Ma) 和早中白垩世 (134 ~ 80 Ma)。晚三叠世矿化组合为钨锡钼钽; 中晚侏罗世的矿化组合进一步分为 170 ~ 160 Ma 斑岩 - 矽卡岩铜矿和 160 ~ 150 Ma 与花岗岩有关的钨锡多金属矿床; 白垩纪矿化主要峰期在 100 ~

90 Ma, 主要矿化组合为浅成低温热液型铜金银矿床和花岗岩有关的钨锡铜多金属矿床。晚三叠世钨锡钼钽矿化成因上与过铝质二云母花岗岩有关, 是华北、华南和印支三大板块后碰撞过程的成岩成矿响应。在 180 Ma 左右 Izanagi 板块向欧亚大陆俯冲, 于 170 ~ 160 Ma 期间可能由于俯冲板片局部多处撕裂而形成 I 型或埃达克质岩石和有关的斑岩铜矿, 紧接着在南岭地区于 160 ~ 150 Ma 期间俯冲板块开天窗, 软流圈物质直接涌入上地壳, 形成了一种壳幔混合型高分异花岗质岩石及其钨锡多金属矿床。在 135 Ma 左右由于俯冲板块改变了运动方向, 由斜向俯冲调整到几乎平行大陆边缘沿 NE 方向走滑, 造成大陆岩石圈大面积伸展而形成了大量白垩纪断陷盆地和变质核杂岩, 并伴随大规模火山活动和花岗质岩浆侵位及其浅成低温热液铜金银矿化系统、与花岗岩有关的钨锡多金属矿化系统和热液型铀矿的形成。翟伟等 (2011)^[13] 在总结前人工作的基础上, 提出华南地区进入中生代以来发生了三次大规模的岩浆作用及其伴随的大规模成矿作用: 第一次发生在燕山早期 (180 ~ 170 Ma), 以 Cu、Pb-Zn、(Au) 成矿为代表, 第二次发生在燕山中期 (约 170 ~ 140 Ma), 主要是以华南的 W、Sn、Nb-Ta 成矿为代表, 第三次发生在燕山晚期 (140 ~ 65 Ma), 以 Sn、U 成矿以及东南沿海的 Au-Cu-Pb-Zn-Ag 成矿为代表。付建明等 (2010)^[11] 提出南岭燕山期成矿可大致划分为 160 ~ 150 Ma, 140 ~ 130 Ma, 110 ~ 90 Ma 三个阶段。笔者测试的

界牌岭锡多金属矿床含矿花岗斑岩年龄和毛景文等测试的锡矿石中黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 ($91.1 \pm 1.1 \text{ Ma}$) 表明, 界牌岭锡多金属矿床成岩成矿同属于毛景文等提出的华南地区中生代第三阶段成矿事件的主要峰期阶段 ($100 \sim 90 \text{ Ma}$)。在这一阶段, 南岭及其邻区成岩成矿作用并不十分强烈, 除本矿区获得的成岩成矿年龄外, 仅见少量该时期侵位的花岗岩及锡多金属矿化, 如龙岩中甲锡多金属矿床石英斑岩成岩年龄为 ($98.5 \pm 1.7 \text{ Ma}$)^[20], 大厂锡多金属矿床成矿年龄为 $90 \sim 98 \text{ Ma}$, 成岩年龄为 $85.1 \sim 103.8 \text{ Ma}$ ^[21-24], 大明山钨矿成矿年龄为 (95.4 ± 0.97) Ma ^[25], 王社铜钨矿成矿年龄为 (93.8 ± 4.6) Ma ^[26], 社洞钨钼矿床花岗斑岩年龄为 (91.05 ± 0.31) Ma ^[27], 龙头山金矿黄铁矿化斑岩年龄为 (96.1 ± 3.0) Ma , 邻近的平天山侵入岩体年龄为 (96.2 ± 0.4) Ma ^[28]。在这一时期, 钨锡矿床及其相关岩体成星散状分布, 而不像晚侏罗世那样集中展布, 这可能与该时期华南地区处于局部伸展有关。但其成岩成矿地质背景仍有待于进一步深入研究^[29]。

6 结论

(1) 本文对南岭中段界牌岭锡多金属矿床花岗斑岩样品进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 法精确测年, 获得其成岩年龄为 $92.0 \pm 1.6 \text{ Ma}$, 这一结果与毛景文等获得的锡矿成矿年龄 ($91.1 \pm 1.1 \text{ Ma}$) 在误差范围内基本一致, 表明矿床成岩成矿发生在燕山晚期, 是华南地区燕山晚期成岩成矿事件的响应。

(2) 南岭及其邻区中生代存在着多期成岩成矿事件, 其中 $100 \sim 90 \text{ Ma}$ 成岩成矿可能与该区晚白垩的局部伸展有关。

参考文献:

- [1] 付建明, 徐德明, 杨晓君, 等. 南岭锡矿 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2011, 209-216.
- [2] 陈富文, 付建明. 南岭地区中生代主要成锡花岗岩地质地球化学特征与锡矿成矿规律 [J]. 华南地质与矿产, 2005, 21(2): 12-21.
- [3] 毛景文, 谢桂清, 郭春丽, 陈毓川. 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.
- [4] 谭运金, 彭振安, 郑献华, 彭光菊. 湘南地区锡矿床类型及成矿特征 [J]. 矿产与地质, 1988, 2(增刊): 55-62.
- [5] 刘辉辉, 李海龙, 李毅, 戴培根. 界牌岭锡矿床地质、地球化学特征及成因类型 [J]. 矿产与地质, 2006, 20(4-5): 327-333.
- [6] 陈培荣, 周新民, 张文兰, 李惠民, 范春方, 孙涛, 陈卫锋, 张敏. 南岭东段燕山早期正长岩-花岗岩杂岩的成因和意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34(6): 493-503.
- [7] 左力艳, 侯增谦, 孟祥金, 杨志明, 宋玉财, 李政. 冷水坑斑岩型银铅锌矿床含矿岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究 [J]. 中国地质, 2010, 37(5): 1450-1456.
- [8] 湖南省区域地质测量队. 郴县幅 1:20 万区域地质调查报告 [R]. 1969: 1-89.
- [9] 雷泽恒, 王晓甫, 乔玉生, 许以明, 刘友勋. 湖南宜章界牌岭锡多金属矿床地质特征及成因浅析 [J]. 华南地质与矿产, 2009, 25(3): 43-50.
- [10] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关对象讨论 [J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 2631.
- [11] 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋盆演化的同位素年代学制约 [J]. 地质学报, 2003, 77(2): 217-228.
- [12] 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 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.
- [13] 翟伟, 孙晓明, 邬云山, 孙红英, 华仁民, 李文铅. 粤北瑶岭钨矿成矿相关花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄与 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 成矿年龄及其意义 [J]. 矿床地质, 2011, 30(1): 21-32.
- [14] 陈希清, 付建明, 程顺波, 马丽艳, 徐德明. 桂北银山岭岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及锡铅锌多金属矿床形成时代讨论 [J]. 华南地质与矿产, 2011, 27(2): 85-89.
- [15] 钟玉芳, 马昌前, 余振兵. 锆石地球化学特征及地质应用研究综述 [J]. 地质科技情报, 2006, 25(1): 27-40.
- [16] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学和微量元素地球化学 [J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [17] Rubatto D, Williams I S. Imaging, trace element geochemistry and mineral inclusions: Link between U-Pb ages with metamorphic conditions [J]. EOS, 2000: 21-25.
- [18] Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism [J]. Chemical Geology, 2002, 184: 123-138.
- [19] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境 [J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 510-526.
- [20] 杨祖龙, 张德全, 丰成友, 余宏全, 李进文. 福建龙岩中甲锡多金属矿床石英斑岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2008, 27(3): 329-335.
- [21] 王登红, 陈毓川, 陈文, 桑海清, 李华芹, 路远发, 陈开礼, 林枝茂. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代 [J]. 地质学报, 2004, 78(1): 132-138.
- [22] 蔡明海, 何龙清, 刘国庆, 吴德成, 黄惠明. 广西大厂锡矿田侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其意义 [J]. 地质论评, 2006, 52(3): 409-414.

[23]蔡明海,梁婷,韦可利,黄惠明,刘国庆.大厂锡多金属矿田铜坑-长坡92号矿体Rb-Sr测年及其地质意义[J].华南地质与矿产,2006,22(2):31-36.

[24]梁婷,王登红,侯可军,李华芹,黄惠明,蔡明海,王东明.广西大厂笼箱盖复式岩体的LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb年龄及其地质意义[J].岩石学报,2011,27(6):1624-1636.

[25]李水如,王登红,梁婷,屈文俊,应立娟.广西大明山钨矿区成矿时代及其找矿前景分析[J].地质学报,2008,82(7):873-879.

[26]蒯志永,王登红,李水如.广西王社铜钨矿床的Re-Os同位素年龄及其地质意义[J].地质学报,2008,82(11):1565-1571.

[27]陈懋弘,莫次生,黄智忠,李斌,黄宏伟.广西苍梧县社洞钨钼矿床花岗岩类锆石LA-ICP-MS和辉钼矿Re-Os年龄及其地质意义[J].矿床地质,2011,30(6):963-978.

[28]段瑞春,凌文黎,李青,陈子万,杨红梅,刘立芬.华南燕山晚期构造-岩浆事件与成矿作用-来自广西大瑶山龙头山金矿床的地球化学约束[J].地质学报,2011,85(10):1644-1658.

[29]肖荣,李晓峰,冯佐海,杨锋,宋慈安.广西珊瑚钨锡矿床含钨石英脉中白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄及其地质意义[J].矿床地质,2011,30(3):488-496.

《华南地质与矿产》参考文献著录格式

本刊按引用文献在正文中出现的先后顺序连续编码,以阿拉伯数字排序,并用方括号标注。引用格式举例:“花岗岩成矿问题研究近年来取得了不少进展^[1,23-27]。”“高山和金振民^[1]最早将‘拆沉作用’的概念引入国内。”“原始地幔数据引自文献[26]。”

文后参考文献著录格式如下:

1 普通图书

[序号](顶格,下同)作者(全部列出).书名[M].版次(第1版不写).出版地:出版者,出版年:起止页码.例如:

[1]史明魁,傅必勤,靳西祥,周雪昌.湘中铋矿[M].长沙:湖南科学技术出版社,1993:56-67.

2 普通图书、会议论文集等中析出的文献

[序号]作者(全部列出).题名[文献类型标识]//原文献编者(全部列出).原文献题名.版次(第1版不写).出版地:出版者,出版年:起止页码.例如:

[1]陈丕基,万晓樵,曹流,等.中国陆相白垩系富饶阶研究进展[M]//王泽九,黄枝高.中国主要断代地层建阶研究报告(2001-2005).北京:地质出版社,2008:65-73.

3 连续出版物中析出的文献

[序号]论文作者(全部列出).题名[J].连续出版

物名,出版年,卷号(期号):起止页码.例如:

[1]李献华.扬子地块南苑四堡群Sm-Nd同位素体系及其地壳演化意义[J].地质科学,1996,31(3):218-228.

4 学位论文

[序号]作者.题名[D].保存地点:保存单位,年份.

例如:

[1]刘锐.华夏地块前海西期地壳深熔作用[D].武汉:中国地质大学(武汉),2009:65-69.

5 参考文献类型及其标识

文献类型	类型标识
普通图书	M
会议论文集	C
报纸文章	N
期刊文章	J
学位论文	D
报 告	R
汇 编	G
档 案	B
标 准	S
专 利	P
参考工具	K
其 他	Z