

广西桂林地区东部栗木花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

康志强^{1,2}, 冯佐海^{1,2}, 杨 锋^{1,2}, 廖家飞¹, 潘会彬¹

KANG Zhi-qiang^{1,2}, FENG Zuo-hai^{1,2}, YANG Feng^{1,2}, LIAO Jia-fei¹, PAN Hui-bin¹

1. 桂林理工大学 地球科学学院, 广西 桂林 541004;

2. 桂林理工大学 广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 广西 桂林 541004

1. School of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China

摘要:栗木矿区位于南岭钨锡多金属成矿带的中段,成矿作用与花岗岩密切相关。通过对栗木金竹源与三个黄牛地区云英化花岗岩的年代学研究,获得 2 个 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 $218.3\text{Ma} \pm 2.4\text{Ma}$ 和 $214.0\text{Ma} \pm 5.0\text{Ma}$,代表了栗木花岗岩体的形成年龄。结合前人的研究数据,栗木矿区成岩、成矿作用年龄近乎一致,应为晚三叠世同一期次岩浆作用的产物。

关键词:锡钨钽矿床;SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;金竹源;三个黄牛;栗木花岗岩;广西

中图分类号: P588.12¹; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2012)08-1306-07

Kang Z Q, Feng Z H, Yang F, Liao J F, Pan H B. SHRIMP zircon U-Pb age of the Limu granite in eastern Guilin, Guangxi. Geological Bulletin of China, 2012,31(8):1306-1312

Abstract: The Limu Sn-Nb-Ta ore deposit located in north Guangxi is an important component part of the Nanling W-Sn polymetallic belt. In this research, zircon SHRIMP U-Pb dating was conducted in Jinzhuyuan and Sangehuangniu area, and the resultant ages are $218.3 \pm 2.4\text{Ma}$ and $214.0 \pm 5.0\text{Ma}$, respectively, which represent the formation age of the Limu granite. Combined with the previous research data, it is suggested that the formation of Limu granite and the mineralization occurred almost simultaneously, and that they should be the same magmatic products in Late Triassic.

Key words: Sn-Nb-Ta ore deposit; SHRIMP zircon U-Pb age; Jinzhuyuan; Sangehuangniu; Limu granite; Guangxi

栗木锡钨钽矿位于南岭钨锡多金属成矿带的中段^[1-3],该矿自 1935 年发现以来,在矿区内先后发现并探明大型花岗岩型锡钨钽矿床和长石石英脉型锡钨矿床各 3 处、中型花岗伟晶岩脉型钨钽矿床 1 处、小型钨锡矿床多处^[4-5],此外还发现具有工业价值的含锡钨钽花岗岩原生矿,是一蜚声国内外的著名钨锡稀有金属矿集区。其中,20 世纪 60 年代矿区内老虎头大型钨钽花岗岩矿床的发现更是开启了该

类型矿床找矿的先河,此后南岭地区同类型矿床不断发现,在找矿理论和勘查实践上均具有里程碑的意义。

由于栗木锡钨钽矿在南岭钨锡多金属成矿带中占有重要的地位,前人对该矿床及与其密切相关的栗木花岗岩岩体进行了大量的研究,对矿床的研究主要集中于矿床特征、控矿因素、找矿评价等方面^[5-10];对栗木花岗岩体的研究则主要集中于

收稿日期:2011-11-09;修订日期:2012-03-29

资助项目:广西自然科学基金重点项目《广西中生代钨锡稀有金属矿床成矿规律及深部找矿预测》(编号:2010GXNSFD013001)和广西教育厅项目《桂东中生代花岗岩与有色金属成矿规律研究》(编号:201010LX170)

作者简介:康志强(1979-),男,副教授,岩石地球化学专业。E-mail: zk99201@163.com

通讯作者:冯佐海(1960-),男,教授,构造地质学专业。E-mail: fzh@glte.edu.cn

花岗岩的成因、演化等方面^[11-14]。前人虽然对研究区成岩成矿年龄也进行了一定的研究^[15-18],但由于所采用测试方法的精度和可信度较低,对该矿床的矿化年龄和栗木花岗岩体的形成时代一直存在争议。本文报道了栗木含锡钽铌矿花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄数据,精确厘定了栗木花岗岩的成岩年代。

1 地质背景

栗木矿区位于桂东北凹陷的北东缘^[19],恭城复式向斜北部扬起端附近,大地构造位置上隶属扬子板块,靠近扬子与华夏板块的拼接部位。矿区内出露的地层可分为基底构造层和盖层构造层 2 个部分。其中,基底由寒武系海相类复理石建造的碎屑岩组成,主要出露于矿区的西部;盖层由中、下泥盆统碎屑岩,中、上泥盆统及下石炭统碳酸盐岩组成,主要出露于矿区的中、东部。两者呈角度不整合接触关系。矿区内构造行迹以 SN 向为主,褶皱和断裂构造均较发育。寒武系基底以轴向 NNE 向褶皱为主;盖层的褶皱主要表现为轴向 SN 向的恭城复式向斜,该复式向斜向北扬起、向南倾伏,两翼次级褶皱较为发育,多为短轴开阔褶皱。区内断层以 SN 向和 EW 向为主,前者规模大、延伸长,多表现为先逆后正性质,为纵断层;后者规模相对较小,主要表现为正断层性质,为横断层;此外,还发育一些 NW 向和 NE 向断层,属斜断层。上述断层应主要形成于印支期,与恭城复式向斜存在明显统一的几何关系,是同一构造应力场作用的产物。

矿区内花岗岩呈零散、不规则的小岩株和岩钟形式出露,主要有泡水岭、香坛岭、牛栏岭、晒禾坪、老虎头、天鹅岭、虎头岭等十余处,总出露面积约 1.5 km²。此外,经工程证实在水溪庙、金竹源、马路桥、三个黄牛等地存在隐伏小岩体,钻孔工程已控制的隐伏岩体面积约 8 km²,推测这些零散出露和隐伏的小岩体在深部是相连接的,故统称为栗木花岗岩体,其主要岩性包括细粒似斑状铁云母花岗岩、中—中粗粒斑状锂铁白云母花岗岩和中细粒含锂云母花岗岩^[5]。岩体与寒武系、泥盆系、石炭系多呈陡倾斜的侵入接触关系(深部或地表),外接触带热接触变质作用较弱,其中在碎屑岩地层中一般仅出现绢云母化和硅化;在碳酸盐岩地层中仅出现褪色和大理岩化。

栗木矿区矿产以内生金属矿为主,可划分为 4 种矿床类型:花岗岩型锡钽铌矿床、锡钨石英脉型矿床、锡钨长石石英脉型矿床和花岗伟晶岩脉型锡钽铌矿床。其中含锡钽铌花岗岩型矿床分布于老虎头、水溪庙、金竹源、狮子岭,赋存于花岗岩边缘隆起或隐伏于地下向围岩凸起部位,其矿化除与钠长石化有关外,还与云英岩化的关系更密切;钨锡石英脉型矿床主要见于香檀岭、牛栏岭两地,前者分布于栗木花岗岩体西南边缘,后者在花岗岩体的东北侧,相距约 500m。钨锡长石石英脉型矿床见于水溪庙、三个黄牛两地,平行排列,相距 600m;花岗伟晶岩脉型锡钽铌矿床分布在水溪庙,矿体产于铁锂云母(或锂云母)钠长石花岗岩脊部外接触带的上泥盆统融县组灰岩、大理岩构造裂隙中,呈脉状产出(图 1)。

2 分析测试方法

2.1 分析样品

为了精确厘定栗木花岗岩体的形成年龄,本次研究在栗木金竹源和三个黄牛地区采集了 2 块花岗岩样品(LM-7 和 LM-8),挑选其中的锆石进行 SHRIMP U-Pb 年代学研究。花岗岩样品呈灰白色,中细粒结构、块状构造,主要矿物有斜长石、钾长石和石英,次要矿物有白云母,副矿物有锡石、锆石、铁锂云母、绿柱石等,定名为白云母二长花岗岩(图 2)。

2.2 锆石 SHRIMP U-Pb 测试

先将新鲜的岩石样品破碎至 0.27mm 以下,用常规的人工淘洗、电磁选及重液选方法处理样品,分离出锆石。然后在双目镜下挑纯,选出晶形完好、无裂纹和无包裹体的锆石进行年龄测试。制样时先将锆石样品与标样锆石 TEM(年龄为 417Ma)在玻璃板上用环氧树脂固定、抛光,将锆石颗粒磨至约一半,以便观察锆石内部结构。然后对其进行透射光、反射光和阴极发光扫描电镜照相,以了解锆石的内部结构,选择最佳的测试部位。锆石的阴极发光图像在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室完成,最后再镀上黄金膜以备上机测试。SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素分析在北京离子探针中心 SHRIMP-II 仪器上完成。样品详细分析流程和相关原理见参考文献[21-22]。应用标准锆石 TEM(年龄为 417Ma)进行元素间的分馏校正,Pb/U 比值校正公式采用 $Pb/U=A(UO/U)$,锆石的 U、Th、Pb 含量采用锆石标准样 SL13($t=572\text{Ma}$, $U=238\times 10^{-6}$)进

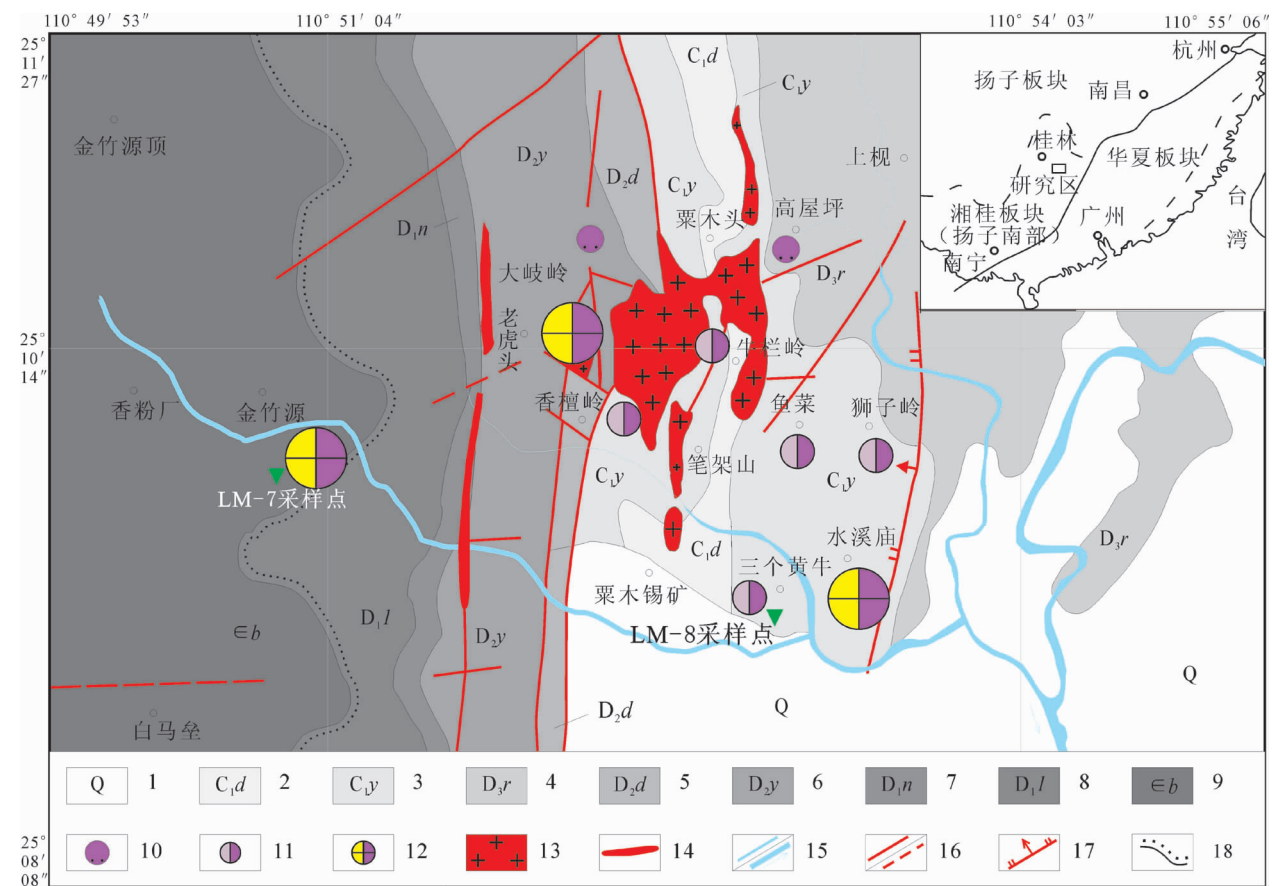


图 1 栗木矿区地质简图(据参考文献[20]修改)

Fig. 1 Simplified geological map of the Limu mining area

1—第四系;2—下石炭统大塘组;3—下石炭统岩关组 4—上泥盆统融县组;5—中泥盆统东岗岭组;6—中泥盆统郁江组;
7—下泥盆统那高岭组;8—下泥盆统莲花山组;9—寒武系边溪组;10—砂锡矿床;11—钨锡矿床;12—锡铌钽矿床;
13—栗木花岗岩体;14—花岗斑岩脉;15—水溪;16—实测和推测断层;17—正断层;18—角度不整合地质界线



图 2 样品 LM-7 和 LM-8 手标本照片

Fig. 2 Photographs of hand samples LM-7 and LM-8

行标定。年龄计算和作图采用 Ludwig(1991)SQUID (1.02)和 ISOPLOT 程序^[23]。普通铅校正根据实测的 ²⁰⁴Pb 值进行,同位素比值误差为 1σ,加权平均年龄为 95%置信度。分析结果列于表 1 和表 2。

表 1 栗木花岗岩(LM-7)SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素测试结果

Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb analytical results of Limu granite (LM-7) in Guangxi

点号	U/10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	Th/U	²⁰⁶ Pb _c /%	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	相对误 差/%	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U	相对误 差/%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	相对误 差/%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄±1/Ma
1.1	2985	422	92.8	0.15	0.38	0.0528	0.8	2.1	0.0361	0.0361	1.4	228.4±3.1
2.1	2960	475	90.0	0.17	0.21	0.0517	0.8	1.4	0.0353	0.0353	0.9	223.8±2.0
3.1	1295	326	38.2	0.26	0.33	0.0527	1.2	2.5	0.0342	0.0342	1.0	216.9±2.1
4.1	502	243	14.6	0.50	0.54	0.0544	1.9	4.6	0.0335	0.0335	1.1	212.7±2.3
5.1	1614	291	48.7	0.19	1.11	0.0597	1.1	3.3	0.0348	0.0348	1.0	220.3±2.1
6.1	577	296	17.0	0.53	0.47	0.0531	1.8	3.4	0.0342	0.0342	1.1	216.5±2.3
7.1	1495	301	44.4	0.21	0.11	0.0510	1.1	1.7	0.0345	0.0345	1.0	218.8±2.1
8.1	723	254	21.5	0.36	2.59	0.0710	1.4	6.7	0.0337	0.0337	1.3	213.5±2.6
9.1	624	434	18.5	0.72	0.43	0.0529	1.7	3.0	0.0344	0.0344	1.1	218.1±2.3
10.1	432	298	12.8	0.71	0.21	0.0523	2.1	3.6	0.0343	0.0343	1.1	217.4±2.4
11.1	857	765	25.2	0.92	0.20	0.0530	1.4	2.2	0.0341	0.0341	1.0	216.1±2.1
12.1	882	467	26.4	0.55	0.74	0.0575	1.4	3.4	0.0345	0.0345	1.0	218.9±2.3

注:同位素比值均为普通铅校正后的结果

表 2 栗木花岗岩(LM-8)SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素测试结果

Table 2 Zircon SHRIMP U-Pb analytical results of Limu granite (LM-8) in Guangxi

点号	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	Th/U	²⁰⁶ Pb _c /%	²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb*	相对误 差/%	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U	相对误 差/%	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	相对误 差/%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ±1/Ma
1.1	1208	193	37.7	0.17	0.16	0.0512	1.2	0.25	4.0	0.0363	3.7	229.6±8.4
2.1	693	250	21.2	0.37	0.15	0.0517	1.8	0.25	4.5	0.0355	3.7	224.9±8.2
3.1	517	337	15.3	0.67	0.32	0.0527	2.6	0.24	5.1	0.0343	3.8	217.6±8.2
4.1	2916	2733	80.1	0.97	0.60	0.0536	1.4	0.21	4.9	0.0318	3.7	201.7±7.4
5.1	16100	552	430.9	0.04	0.05	0.0500	0.5	0.21	3.7	0.0311	3.7	197.7±7.2
6.1	10383	1306	304.6	0.13	0.41	0.0544	0.7	0.24	3.8	0.0340	3.7	215.5±7.8
7.1	874	432	26.9	0.51	0.11	0.0518	1.9	0.25	4.4	0.0358	3.7	226.5±8.3
8.1	1100	329	31.7	0.31	0.00	0.0490	2.0	0.23	4.2	0.0336	3.7	212.8±7.8
9.1	3905	477	110.9	0.13	0.68	0.0578	1.9	0.24	4.7	0.0328	3.7	208.2±7.6
10.1	7400	445	220.4	0.06	0.07	0.0506	0.8	0.24	3.8	0.0346	3.7	219.6±8.0
11.1	39	19	10.9	0.51	1.00	0.1194	2.6	4.96	5.9	0.3217	4.3	1798.1±67.4

注:同位素比值均为普通铅校正后的结果

3 分析结果

3.1 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素分析结果

样品 LM-7 和 LM-8 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素分析结果分别列于表 1 和表 2。样品 LM-7 的锆石颗粒以透明为主,局部半透明,裂纹不发育,为柱状、长柱状自形晶锆石。在 CL 图像上,锆石具有明显的震荡韵律环带结构,属典型的岩浆锆石(图

3);样品 LM-8 的锆石形态比较复杂,CL 图像显示锆石颗粒一般具柱状、长柱状,部分锆石颗粒无规则形态,且大部分锆石颗粒颜色灰暗,看不到明显的内部结构,为了定年准确,测点均选择晶型完好、震荡韵律环带相对清晰的锆石(图 4)。从表 1、表 2 可知,2 个样品的锆石 Th、U 含量变化相对较小,且所测试锆石的 Th/U 值均小于 1,分别在 0.15~0.92 和 0.04~0.97 之间,具有岩浆成因锆石的特点^[24-25]。

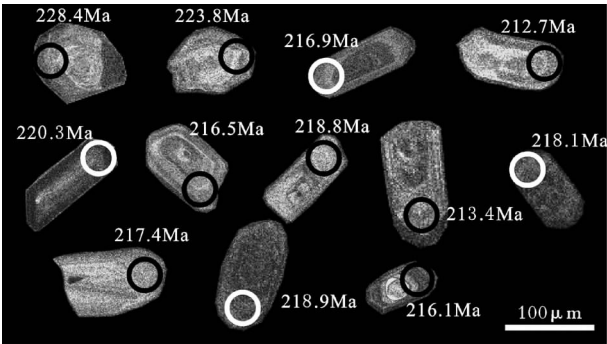


图3 栗木花岗岩(LM-7)锆石阴极发光图像
Fig. 3 CL images of analyzed zircons from
Limu granite (LM-7) in Guangxi

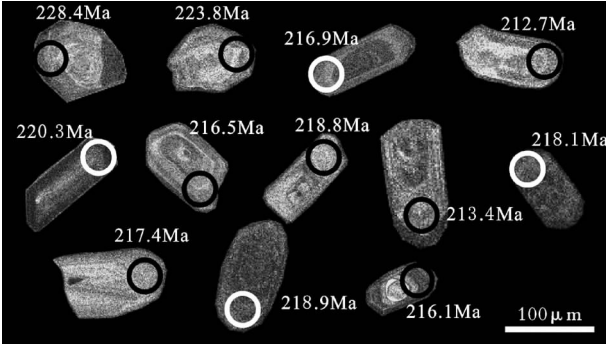


图4 栗木花岗岩(LM-8)锆石阴极发光图像
Fig. 4 CL images of analyzed zircons from
Limu granite (LM-8) in Guangxi

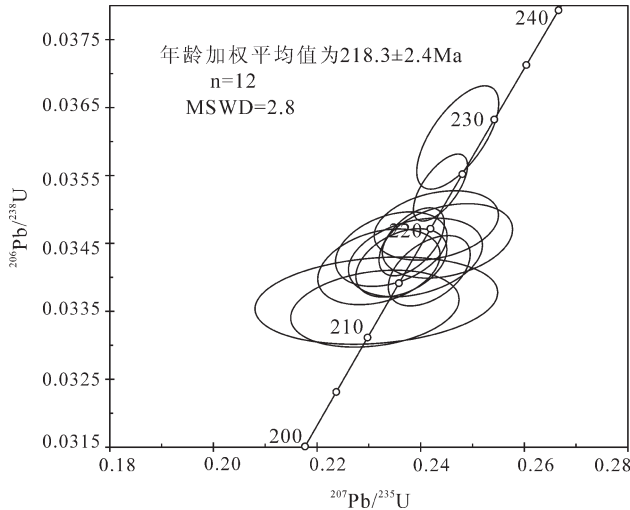
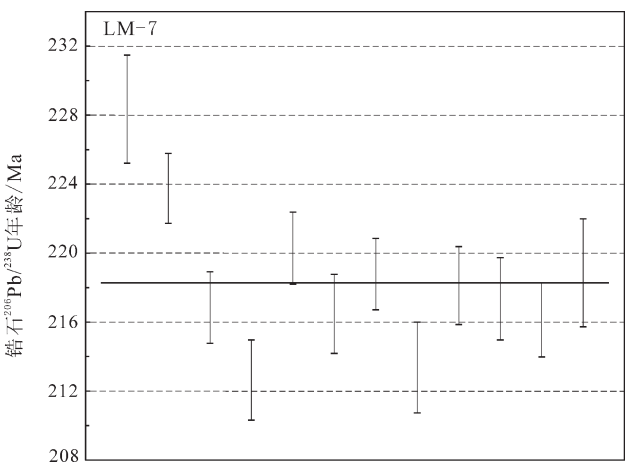


图5 栗木花岗岩(LM-7)U-Pb 谐和图和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄
Fig. 5 Zircon $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages and U-Pb concordia diagrams of Limu granite (LM-7) in Guangxi

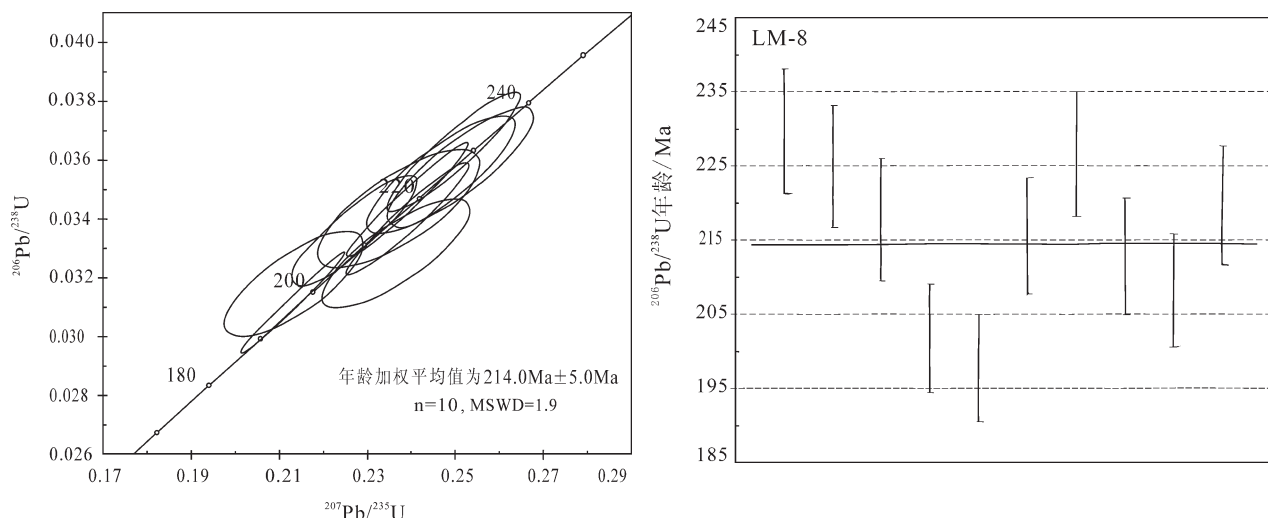
为了保证测试数据的准确性,所有测点都选择在韵律环带结构清晰的部位,尽可能避开核部,样品 LM-7 共计 12 个测试点,获得较为一致的年龄值,在图 5 中均位于谐和曲线上,加权平均年龄为 $218.3\text{Ma}\pm2.4\text{Ma}$, $\text{MSWD}=2.8$,代表了岩浆的结晶年龄,表明栗木矿区金竹源花岗岩体形成于印支期;样品 LM-8 共计 11 个测试点,其中 10 个测试点获得了较为一致的年龄值,在图 6 中均位于谐和曲线上,年龄加权平均值为 $214.0\text{Ma}\pm5.0\text{Ma}$, $\text{MSWD}=1.9$,代表岩浆的结晶年龄,表明栗木矿区 3 个黄牛花岗岩体也形成于印支期,另外该样品中 LM-8-11.1 测试点获得了一个很老的年龄值 $1798.1\text{Ma}\pm67.4\text{Ma}$,可能代表岩浆侵位过程中所捕获的基底老锆石的年龄。



4 讨 论

4.1 栗木花岗岩体的形成年龄

有关栗木花岗岩体成岩年代学的研究主要集中在 20 世纪 80 年代和 90 年代的初期,其中史明魁等^[15]利用锆石 U-Pb 法测得泡水岭花岗岩的年龄为 195Ma 和 184Ma,香坛岭和水溪庙花岗岩的年龄分别为 173Ma 和 159Ma,同时利用云母 K-Ar 法测得花岗岩 3 个阶段的年龄分别为 235Ma、185Ma 和 172~164Ma;林德松等^[16]利用 Rb-Sr 法测得金竹源花岗岩全岩等时线年龄为 $195.5\text{Ma}\pm4\text{Ma}$;章锦统^[17]利用 Rb-Sr 法测得泡水岭、牛栏坪和金竹源三地的花岗岩等时线年龄分别为 $201\text{Ma}\pm4\text{Ma}$ 、 $204\text{Ma}\pm7\text{Ma}$ 和 $183\text{Ma}\pm3\text{Ma}$ ^[17];甘晓春等^[18]测得水溪庙花岗

图 6 栗木花岗岩(LM-8)锆石 U-Pb 谐和图和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄Fig. 6 Zircon $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages and U-Pb concordia diagrams of Limu granite (LM-8) in Guangxi

岩体 Rb-Sr 等时线年龄为 $186\text{Ma} \pm 12\text{Ma}$ ^[18]。从这些已有的同位素年龄结果看,栗木花岗岩主要为印支晚期至燕山早期岩浆活动的产物,但已有数据时代跨度过大,且同一岩体不同学者、不同方法得出的结果相去甚远。本次研究采用高精度 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年技术,对栗木金竹源和三个黄牛的花岗岩进行精确的年龄测试,获得误差范围内几乎一致的 2 个年龄数据,分别为 $214.0\text{Ma} \pm 5.0\text{Ma}$ 和 $218.3\text{Ma} \pm 2.4\text{Ma}$,表明栗木花岗岩体为印支期岩浆作用的产物。

4.2 华南印支期花岗岩与成矿

华南处于近东西向的印支构造带和燕山期与太平洋板块俯冲有关的北北东向构造带的叠加转换部位,经历了加里东期、印支期及燕山期的多期次构造、岩浆作用^[26-28],形成了中国乃至全球重要的钨、锡多金属成矿区——南岭钨、锡多金属矿成矿区^[1-3,29]。燕山期作为南岭大规模成矿作用或“成矿大爆发”的重要时期,在华南岩浆作用与内生金属成矿研究中占有重要的位置,前人对其投入了极大的热情和注意力,并取得了大量的研究成果^[30-32]。与之相对应的是南岭地区是否存在印支期的重要成矿事件?以往关于南岭地区印支期成矿事件的报道颇少,并未引起矿床学界的足够关注,这可能是由于印支期形成的岩体或矿床常受到后期构造-岩浆-热液活动的改造或破坏,而难以得到完整的保存或记录^[33]。最近华南印支期岩浆作用及成矿研究

逐步得到重视,研究表明,华南地区大规模成矿作用分为多个阶段^[2-3,29],其中印支期成岩、成矿作用在华南地区普遍存在^[2,33-35]。杨锋等^[20]测定的广西栗木老虎头锡矿床云英岩化花岗岩的白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 214Ma 左右,结合本研究在栗木金竹源云英岩化花岗岩中测定的白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄 ($212.4\text{Ma} \pm 1.4\text{Ma}$,另文发表),两者在误差范围内完全一致,表明栗木锡钨钼矿床的成矿年代为晚三叠世,同时也证明印支期华南地区存在广泛的钨、锡成矿作用。

5 结 论

本文首次对栗木金竹源和三个黄牛花岗岩体进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测试,年龄结果分别为 $214.0\text{Ma} \pm 5.0\text{Ma}$ 和 $218.3\text{Ma} \pm 2.4\text{Ma}$,两者在误差范围内一致,表明栗木花岗岩体为印支期岩浆作用的产物。

结合前人及本研究未发表的成矿年龄数据,栗木矿区成岩、成矿年龄同为晚三叠世,是同一期次岩浆活动的产物,进一步证明华南地区除了燕山期成矿大爆发外,印支期也是钨锡成矿的又一个重要时期,理应引起足够的重视。

致谢: 野外采样工作得到桂林矿产地质研究院相关人员的大力帮助,锆石 SHRIMP 分析测试得到北京离子探针中心相关老师的指导和帮助,成文过程中得到中国科学院地球化学研究所李晓峰老师的

有益指导,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

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] 毛景文,谢桂青,郭春丽,等.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.
- [3] 毛景文,谢桂青,程彦博,等.华南地区中生代主要金属矿床模型[J].地质论评,2009,55(3):347-354.
- [4] 李人科,潘其云.广西恭城栗木钨锡稀有金属矿区发现史[J].广西地质,1994,7(4):85-88.
- [5] 覃宗光,邓贵安,董业才,等.栗木矿田鱼菜花岗岩型钨锡矿床[J].矿产与地质,2011,25(1):1-8.
- [6] 陈耀南,王英.栗木隐伏花岗岩的形态特征与隐伏锡矿床的依存关系[J].桂林冶金地质学院学报,1987,7(4):253-260.
- [7] 林德松,谢世业.广西水溪庙矿床的带状分布研究[J].矿产与地质,1989,3(1):17-23.
- [8] 汪恕生,张起钻,覃宗光,等.广西栗木花岗岩型锡钨矿床地质特征及控矿因素[J].大众科技,2008,(11):111-112.
- [9] 覃宗光,姚锦其.广西栗木锡-钨-钼矿床中氟的作用及地表找矿评价标志[J].矿产与地质,2008,22(1):1-5.
- [10] 姚锦其,李惠.广西栗木锡钨钼矿床地球化学分带模型与找矿评价标志[J].矿物学报,2008,28(2):221-226.
- [11] 徐启东,章锦统.广西栗木稀有金属花岗岩的稀土元素配分模式及其意义[J].地球科学,1988,13(2):187-193.
- [12] 徐启东.广西栗木稀有金属花岗岩中长石的成因与意义[J].矿物岩石,1989,(3):15-24.
- [13] 甘晓春,朱金初,沈渭州.广西栗木水溪庙稀有金属花岗岩成因[J].地质找矿论丛,1992,(2):35-43.
- [14] 朱金初,李人科,周凤英,等.广西栗木水溪庙不对称层状伟晶岩-细晶岩岩脉的成因讨论[J].地球化学,1996,25(1):1-8.
- [15] 史明魁,孙恭安.广西栗木稀有金属花岗岩的岩石学和地球化学特征[J].宜昌地质研究所所刊,1981,(3):96-107.
- [16] 林德松,王开庆.栗木矿田花岗岩型锡矿床的成矿特征[J].矿产与地质,1987,1(2):1-9.
- [17] 章锦统.广西栗木钨、钼、锡矿床[M]//陈毓川.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.北京:地质出版社,1989:130-140.
- [18] 甘晓春,沈渭州,朱金初.广西栗木水溪庙矿床同位素地质研究[J].南京大学学报:地球科学,1991,(1):48-55.
- [19] 广西壮族自治区地质矿产局.广西壮族自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1985:662-688.
- [20] 杨锋,李晓峰,冯佐海,等.栗木锡矿云英岩化花岗岩白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J].桂林理工大学学报,2009,29(1):21-24.
- [21] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale[J]. J. Geol. Soc. London, 1992,149:171-184.
- [22] 宋彪,张玉海,万渝生,等.锆石 SHRIMP 样品霸制作、做年龄定及有关现象讨论[J].地质论评,2002,48(增刊):26-30.
- [23] Ludwig K R. ISOPLOT: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data[J]. U.S.Geological Survey Open-file Report, 1991:39.
- [24] Williams I S, Buick A, Cartwright I. An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynold Region, central Australia[J]. J. Metamorphic Geol., 1996,14: 29-47.
- [25] Pidgeon R T, Nemchin A A, Hitchen G J. Internal structures of zircon from Archean granites from the Darling Range batholith: implication for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages[J]. Contrib. Mkineral. Petrol., 1998,132: 288-299.
- [26] 陈培荣,华仁民,张邦桐,等.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].中国科学(D辑),2002,32(4):279-289.
- [27] 华仁民,陈培荣,张文兰,等.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.
- [28] 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.
- [29] 华仁民,李光来,张文兰,等.华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探[J].矿床地质,2010,29(1):9-23.
- [30] 华仁民,毛景文.试论中国东部中生代成矿大爆发[J].矿床地质,1999,18(4):300-308.
- [31] 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,2006,11(1):45-55.
- [32] 冯佐海,王春增,王葆华.花岗岩侵位机制与成矿作用[J].桂林工学院学报,2009,29(2):183-194.
- [33] 章永梅,顾雪祥,董树义,等.内蒙古西沙德盖钨矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J].矿物岩石,2011,31(2):33-41.
- [34] 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.
- [35] 刘善宝,王登红,陈毓川,等.赣南崇义-大余-上犹矿集区不同类型含矿石英中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J].地质学报,2008,82(7):932-940.
- [36] 赵蕾,于津海,王丽娟,等.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.