

编号: 0258-7106(2011)01-0021-12

粤北瑶岭钨矿成矿相关花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄 与 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 成矿年龄及其地质意义*

翟伟^{1,2}, 孙晓明^{1,2,3}, 鄢云山³, 孙红英³, 华仁民⁴, 李文铅⁵

(1 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室, 广东 广州 510006; 2 中山大学海洋学院, 广东 广州 510275;
3 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275; 4 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室,
江苏 南京 210093; 5 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要 粤北瑶岭钨矿区存在石英脉型黑钨矿和矽卡岩型白钨矿两种成矿类型, 与石英脉型黑钨矿成矿同期形成的白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 (149.44 ± 0.73) Ma, 与华南中生代燕山期大规模的 W、Sn 成矿作用的年龄一致, 代表石英脉型黑钨矿的成矿年龄。与石英脉型黑钨矿成矿相关的隐伏灰白色黑云母花岗岩的 SHRIMP 锆石年龄为 (158 ± 2) Ma, 与矽卡岩型白钨矿成矿相关的浅肉红色白基寨黑云母花岗岩的 SHRIMP 锆石年龄为 (158 ± 1) Ma, 这两个花岗岩体的年龄完全相同, 代表了与瑶岭钨矿成矿相关的花岗岩结晶年龄。白基寨花岗岩中存在年龄为 182.3~189.8 Ma 的继承性岩浆锆石核, 矿区隐伏黑云母花岗岩中存在年龄为 400.9~428.5 Ma 的继承性锆石核, 表明与成矿相关花岗岩的原岩含有加里东期和燕山早期火成岩的成分。

关键词 地球化学; 白基寨花岗岩; 隐伏花岗岩; SHRIMP 锆石年龄; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 成矿年龄; 瑶岭钨矿
中图分类号: P618.67 **文献标志码**: A

$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of Yaoling tungsten deposit in northern Guangdong Province and SHRIMP U-Pb zircon age of related granites

ZHAI Wei¹, SUN XiaoMing^{1,2,3}, WU YunShan², SUN HongYing², HUA RenMin⁴ and LI WenQian⁵

(1 Guangdong Key Laboratory of Marine Resources and Coastal Engineering, Guangzhou 510006, Guangdong, China; 2 School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 3 Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 4 State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 5 Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract

The Yaoling tungsten deposit has two types of tungsten mineralization, i. e., wolframite-quartz veins and scheelite skarn. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of muscovite formed in the ore-forming period of wolframite-quartz veins is (149.44 ± 0.73) Ma, consistent with large-scale tungsten and tin mineralization in Mesozoic Yanshanian period in South China, and this age represents the ore-forming time of wolframite-quartz vein deposits. The SHRIMP zircon age of the buried biotite plagioclase granite body related to mineralization of wolframite-quartz veins is (158 ± 2) Ma, whereas the SHRIMP zircon age of Baijizhai biotite granite body related to mineralization of scheelite skarn is (158 ± 1) Ma. The two ages are almost identical and represent crystallization age of the granite related to tungsten mineralization. In the ore district, there exist inherited zircon cores with ages of 182.3~

* 本文为国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号:2007CB411404)资助的研究成果

第一作者简介 翟伟,男,1965年生,博士,高级工程师,主要从事矿床地球化学的教学和研究工作。

收稿日期 2010-04-01; 改回日期 2010-10-09。张绮玲编辑。

189.8 Ma and 400.9~428.5 Ma respectively in Baijizhai biotite granite and buried biotite plagioclase granite, implying that the protolith of granites related to mineralization has igneous rock components of both early Yanshanian period and Caledonia period.

Key words: geochemistry, Baijizhai granite, buried granite, SHRIMP zircon age, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineralization age, Yaoling tungsten deposit

中国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、印支期以及燕山期的多期次构造、岩浆作用(陈培荣等,2002;华仁民等,2003;2005a),形成了中国乃至全球重要的钨、锡成矿区——南岭钨、锡矿成矿区(华仁民等,2005b;毛景文等,2008;2009)。瑶岭钨矿位于华南钨、锡成矿区的南部,广东省韶关市正东约36 km处,是华南典型的石英脉型黑钨矿床。该矿床于上世纪初被发现,50年代到80年代广东省地质局及广东省有色地质勘查局陆续对该矿床进行了勘查和科研工作,并结合粤北梅子窝等钨矿床的综合研究,总结出了典型的石英脉型黑钨矿床“五层楼”成矿模式(冶金部南岭钨矿专题,1985)。王燕等(2006;2007)、刘东宏(2009)结合近年来开展的全国新一轮地质找矿和危机矿山找矿工作对瑶岭钨矿的矿化类型进行了总结,但与瑶岭钨矿成矿相关花岗岩以及成矿的具体年龄仍然不清楚。本文对瑶岭钨矿区石英脉型黑钨矿脉带下部隐伏的灰白色黑云母花岗岩以及与矽卡岩型白钨矿相关的浅肉红色白基寨黑云母花岗岩进行了SHRIMP锆石年龄测定,同时用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法对黑钨矿石英脉的成矿年龄进行了测定,并对其地质意义进行了讨论。

1 成矿区域地质背景

瑶岭钨矿床位于粤北瑶岭-梅子窝钨矿带的西部(图1)。瑶岭-梅子窝钨矿带处于北西向瑶岭复背斜的核部,西起瑶岭钨矿,东到梅子窝钨矿,南北宽约12 km,东西长约30 km。在瑶岭复背斜核部钨矿资源丰富,为钨矿床(点)集中区。自西向东分布有瑶岭、石人嶂、梅子窝3个中-大型石英脉(脉带)型钨矿床,以及师姑山、河口山等小型矿床、矿点。在瑶岭-梅子窝钨矿带的北部、东南部、南部分别有江西西华山、大吉山、岢美山、广东锯板坑等著名的大型钨矿床。

区域地层的分布受瑶岭复背斜的控制,在背斜

核部出露的地层为寒武系—奥陶系的浅变质石英岩、板岩、硅质岩、页岩等;泥盆系、石炭系分布于复背斜的南北翼,与下伏的寒武系、奥陶系呈角度不整合接触。泥盆系下部岩性为石英砂岩、砂砾岩,中、上部为灰岩、泥灰岩夹生物碎屑灰岩以及粉砂岩;石炭系的主要岩性为石灰岩、泥质粉砂岩等。白垩系陆相碎屑岩及火山岩地层主要分布于北部的南雄盆地。

区域上侵入岩发育,瑶岭-梅子窝北部的南雄盆地出露有燕山期的九峰花岗岩体(γ_5^2),南部出露大面积分布的燕山期贵东花岗岩体(γ_5^3),瑶岭钨矿区的南部出露燕山期的白基寨黑云母花岗岩体(γ_5^3)。瑶岭-梅子窝复背斜的核部零星出露印支期的花岗闪长岩($\gamma_{\delta_5}^1$)、英安斑岩($\epsilon_{\eta_5}^1$)以及燕山期的二云母花岗岩(γ_5^3)等。

区域上断裂构造发育,以NWW向、NE向以及NNE向3组为主,钨的成矿主要与NWW向和NE向2组断裂构造产生的张裂隙有关。

2 矿床地质特征

瑶岭钨矿区出露的地层为寒武系、奥陶系的浅变质的陆源碎屑岩以及泥盆系石英砂岩、砂砾岩、灰岩、泥灰岩、粉砂岩(图2),矿区南部出露燕山期的白基寨黑云母花岗岩(γ_5^3),矿区西部及东部有燕山期的花岗岩(γ_5^3)及石英斑岩脉($\lambda\pi$)出露。

瑶岭钨矿区钨的成矿类型主要有2类(王燕等,2006;2007;刘东宏,2009):第一类是石英脉型黑钨矿,呈脉状沿NWW向和NE向两组断裂裂隙产于寒武系、奥陶系和隐伏的灰白色黑云母花岗岩体中。矿带沿NWW向延长约2 000 m,宽1 200 m,单脉最长可达500 m,矿化标高在350~1 100 m。矿脉产状近于直立,倾向北东或南西,倾角65~85°,具有典型的“五层楼”成矿模式(冶金部南岭钨矿专题,1985)。矿体(或矿化体)由地表(标高约1 100 m)至目前开采的450中段,依次出现微脉蚀变带(脉宽小于0.3 cm)、稀疏平行细脉带(脉宽一般几个cm)、密集

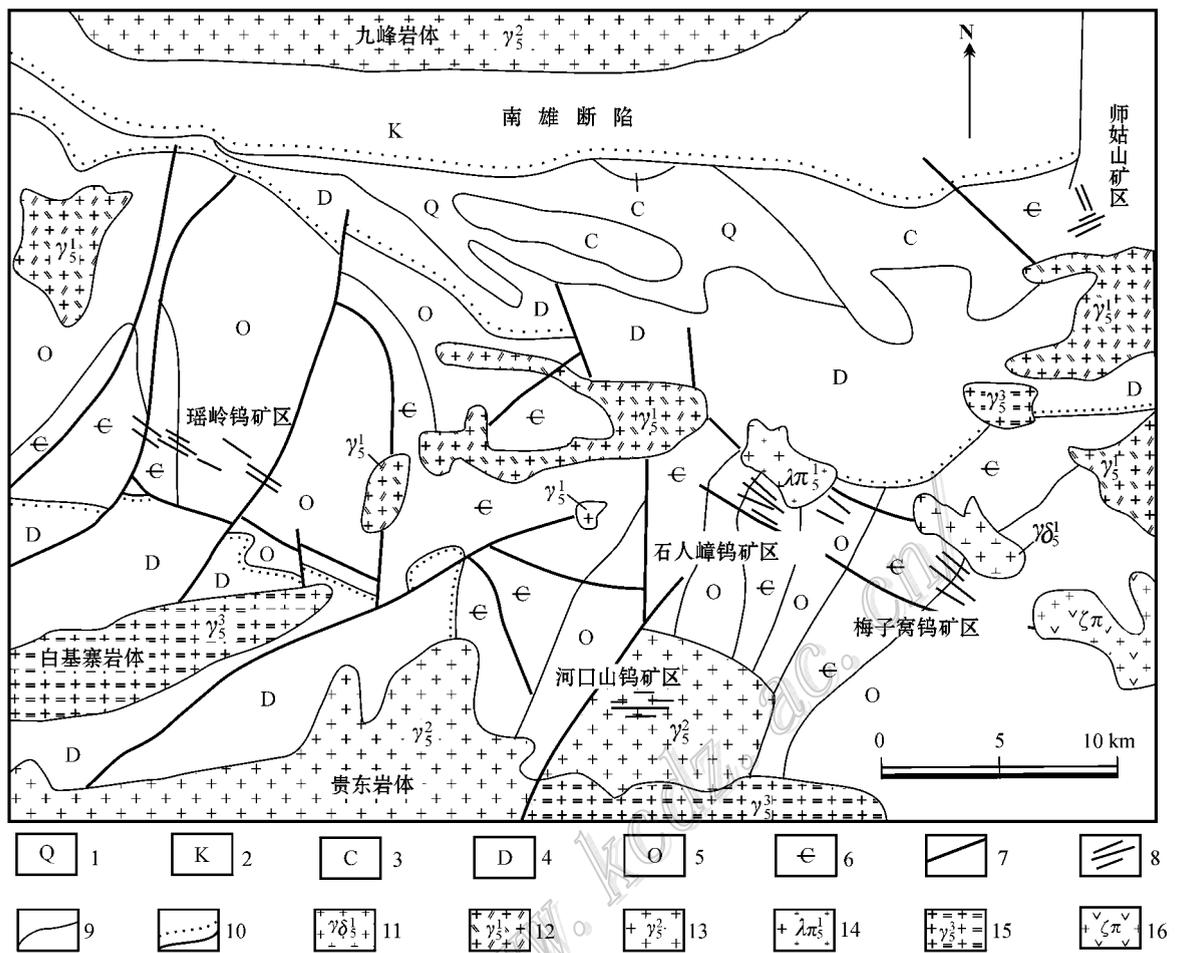


图 1 瑶岭-梅子窝钨矿带区域地质图(据中国有色金属矿产地质调查中心,2007 修改)

1—第四系;2—白垩系;3—石炭系;4—泥盆系;5—奥陶系;6—寒武系;7—断层;8—黑钨矿脉;9—地质界线;10—不整合界线;
11—花岗闪长岩;12—二长花岗岩;13—花岗岩;14—石英斑岩;15—二云母花岗岩;16—英安斑岩

Fig. 1 Regional geological map of the Yaoling-Meiziwo tungsten ore belt (modified after China Nonferrous Metals Resource Geological Survey, 2007)

1—Quaternary; 2—Cretaceous; 3—Carboniferous; 4—Devonian; 5—Ordovician; 6—Cambrian; 7—Fault; 8—Wolframite vein;
9—Geological boundary; 10—Unconformity; 11—Granodiorite; 12—Monzogranite; 13—Granite; 14—Quartz porphyry;
15—Muscovite biotite granite; 16—Dacitic porphyry

细脉-薄脉带(主脉宽 >10 cm,次脉宽 $3\sim 7$ cm)薄脉带(主要由几条 10 cm的脉组成)和大脉带(脉宽多大于 40 cm)。矿石的主要组成矿物为黑钨矿、白钨矿、锡石、黄铜矿、黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿以及非金属矿物石英、电气石、萤石、白云母等,围岩蚀变主要为云英岩化、硅化、绢云母化、萤石化等。石英脉型黑钨矿是瑶岭钨矿的主要成矿类型,自发现开始到目前,开采的矿石主要为此类型矿石。第二类成矿类型为砂卡岩型白钨矿,矿体产于矿区西南部浅肉红色白基寨黑云母花岗岩与泥盆系灰岩、泥灰岩、粉砂岩接触带的砂卡岩中,目前控制矿体长度

840 m,厚约 50 m,延深约 200 m。主要组成矿物有石英、石榴子石、绿帘石、绿泥石以及矿石矿物磁铁矿、白钨矿、黄铁矿等。对此类型矿床的成矿前景,目前正在进行进一步的勘查。

石英脉型黑钨矿矿体下部在 450 m中段附近出现隐伏的侵入岩体,岩性为灰色中粒黑云母花岗岩,石英含量(质量分数,下同)约 30% ,斜长石约 40% ,钾长石约 25% ,黑云母约 5% ,岩石蚀变强烈,黑云母部分已蚀变为白云母,钾长石出现钠长石化。此中段可见黑钨矿石英脉切入隐伏的花岗岩体中,矿体进入隐伏花岗岩之后品位逐渐降低,因而认为此

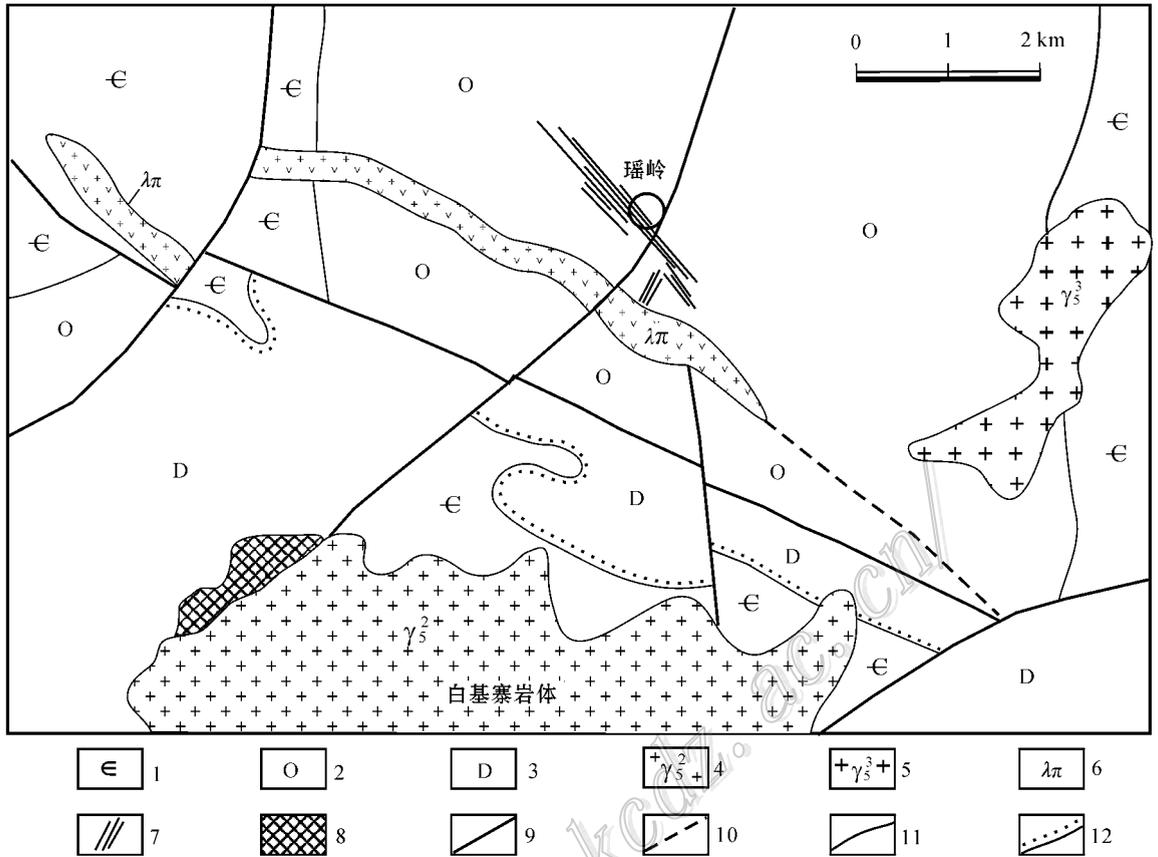


图2 瑶岭钨矿地质图(据王燕等 2006 2007)

1—寒武系;2—奥陶系;3—泥盆系;4—燕山二期的黑云母花岗岩;5—燕山三期的花岗岩;6—燕山期的石英斑岩;7—黑钨矿石英脉;
8—含白钨矿砂卡岩;9—断层;10—推测断层;11—地质界线;12—角度不整合接触界线

Fig. 2 Geological map of the Yaoling tungsten deposit (after Wang et al., 2006 2007)

1—Cambrian;2—Ordovician;3—Devonian;4—Biotite granite of second Yanshanian period;5—Granite of third Yanshanian period;6—Quartz porphyry of Yanshanian period;7—Wolframite-quartz vein;8—Scheelite skarn;9—Fault;10—Inferred fault;11—Geological boundary; 12—Angular unconformity

花岗岩体就是与石英脉型黑钨矿成矿相关的花岗岩。

3 样品特征及分析测试方法

用于 SHRIMP 锆石测年的 2 件样品,一件采自瑶岭矿区西南的白基寨花岗岩体(图 2),岩性为浅肉红色黑云母花岗岩,样品编号为 08YL-2;另一件采自瑶岭钨矿石英脉型黑钨矿体下部 450 m 中段 122 号勘探线隐伏的灰白色黑云母花岗岩体,样品编号为 08YL-3。样品清洗干净后在温度 < 100℃ 下烘干,单矿物锆石的分离由河北省廊坊区域地质调查研究所完成,锆石样品制靶(编号 G2752),阴极发光照像分别由北京离子探针中心的制样室和电子探针

室完成。锆石 U-Pb 同位素分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成,详细的分析原理和流程参见相关文献(Williams et al., 1987; Compston et al., 1992; Nasdala, 2008),仪器工作条件和分析方法详见宋彪等(2002)的相关文献。样品与标准锆石 TEM(417 Ma)交替测定,每测定 3 个样品点,测定 1 次标准锆石。样品测试过程中尽量选择阴极发光生长环带明显、无包裹体、无裂纹的锆石晶体或避开锆石中的裂纹和包裹体。数据处理由北京离子探针中心的张维研究员用 Ludwig 的 Isoplot 3.0 软件完成,普通铅根据实测 ^{204}Pb 校正,年龄值选用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,单个数据点误差均为 1σ ,加权平均值误差为 2σ 。

用于 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 成矿年龄测定的白云母样品采

自瑶岭钨矿 450 m 中段 126 号勘探线上,在此勘探线上 26 号含黑钨矿石英脉最宽可达 50~60 cm,石英脉中有宽约 5 cm 的与黑钨矿石英脉同期形成的由石英脉体捕获的围岩碎块蚀变形成的云英岩化蚀变体(图 3)因而云英岩化蚀变体中的白云母基本与成矿同时。白云母样品就采自此云英岩化蚀变体中。样品中云母的粒度较粗,一般 2~5 mm 样品破碎后在双目镜下人工选出纯净的白云母单矿物样品约 200 mg 在中国原子能科学研究所的 49-2 核反应堆完成照射 49-2 核反应堆的快中子通量为 $(6.0 \sim 6.5) \times 10^{12} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。在中国科学院广州地球化学研究所的 Ar-Ar 同位素实验室完成测试,采用激光加热 Ar-Ar 法测定,测试仪器为英国 GV Instruments C5400 ArR 质谱计和深圳光大 COHERENT-50W 二氧化碳激光器,数据处理由邱华宁研究员用 ArAr-CALC(Koppers, 2002)软件完成,详细的分析测试方法参见相关文献(邱华宁, 2006)。

4 分析结果

4.1 白基寨黑云母花岗岩的年龄

白基寨浅肉红色黑云母花岗岩中的锆石呈自形的长柱状、柱状或短柱状晶体,长约 100~300 μm ,淡黄色或近于无色透明。通过对锆石晶体在透射光及阴极发光图像观察,可将其分为 2 类:一类存在继承性锆石核和新生的锆石边,继承性锆石核无明显的磨圆现象,可能为继承性岩浆锆石;另一类为新生

岩浆锆石,两类锆石均具有明显的生长环带(图 4A)。

通过对新生锆石以及继承性锆石新生边部的 SHRIMP 分析,得出了一致的和谐年龄(表 1)。这些锆石中的 $w(\text{Th})$ 为 $152 \times 10^{-6} \sim 916 \times 10^{-6}$, $w(\text{U})$ 为 $290 \times 10^{-6} \sim 1320 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.28~1.57, 12 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值在 $(155.2 \pm 1.9) \sim (162.5 \pm 2.1)$ Ma 之间,在谐和曲线图中集中成群分布,加权平均值为 (158 ± 1) Ma (图 5) 此年龄值代表瑶岭钨矿区白基寨花岗岩的形成年龄。3 个继承性锆石核的分析结果显示,其年龄为 $(182.3 \pm 2.1) \sim (189.8 \pm 21)$ Ma, 且其 U 含量高, $w(\text{U})$ 为 $3758 \times 10^{-6} \sim 45997 \times 10^{-6}$, Th/U 比值低,为 0.10~0.21, 明显不同于前者,显示白基寨花岗岩的原岩含有燕山早期火成岩的成分。

4.2 隐伏黑云母花岗岩的年龄

隐伏的灰白色黑云母花岗岩中的锆石呈自形的大小不一的柱状晶体,长约 150~350 μm ,淡黄色或近于无色透明。通过对锆石晶体在透射光及阴极发光图像观察,也存在 2 类锆石晶体:一类有继承性锆石核和新生的锆石边组成,继承性锆石核无明显的磨圆现象,可能为继承性岩浆锆石;另一类为新生岩浆锆石,两类锆石均具有明显的生长环带(图 4B)。

通过对新生锆石和继承性锆石新生边部的 SHRIMP 分析,得出了一致的和谐年龄(表 1),其锆石中 $w(\text{Th})$ 为 $123 \times 10^{-6} \sim 842 \times 10^{-6}$, $w(\text{U})$ 为 $232 \times 10^{-6} \sim 8435 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.1~0.55, 10 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值在 $(154.6 \pm 1.9) \sim (164.0 \pm 1.9)$ Ma 之间,在谐和曲线图中集中成群分布,加权平均值为 (158 ± 2) Ma (图 5) 此年龄值代表瑶岭钨矿区隐伏黑云母花岗岩的年龄。3 个继承性锆石核的分析结果显示,其年龄为 $(400.9 \pm 8.7) \sim (428.5 \pm 5.0)$ Ma, $w(\text{U})$ 为 $273 \times 10^{-6} \sim 1259 \times 10^{-6}$, $w(\text{Th})$ 为 $97 \times 10^{-6} \sim 198 \times 10^{-6}$, Th/U 比值低,为 0.16~0.37, 显示隐伏黑云母花岗岩的原岩含有加里东期火成岩的成分。

4.3 石英脉型黑钨矿的成矿年龄

与黑钨矿石英脉同时形成的云英岩化体中白云母样品的激光加热 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 年龄分析结果见表 2, 共有 20 个激光加热分析阶段,获得了较平坦的年龄谱(图 6)。第 1~2 阶段的年龄较小,为 122.76~141.41 Ma, 第 20 阶段的年龄较大,为 153.23 Ma, 而第 3~19 阶段的年龄变化很小,形成了平坦的年

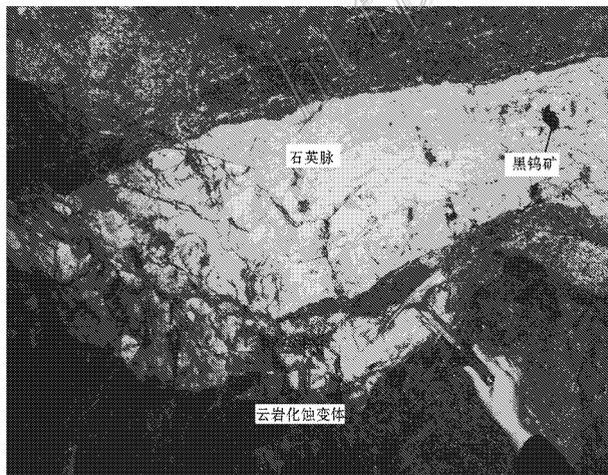


图 3 黑钨矿石英脉照片及白云母样品采样位置
Fig. 3 Photo of wolframite-quartz vein and location of muscovite sample

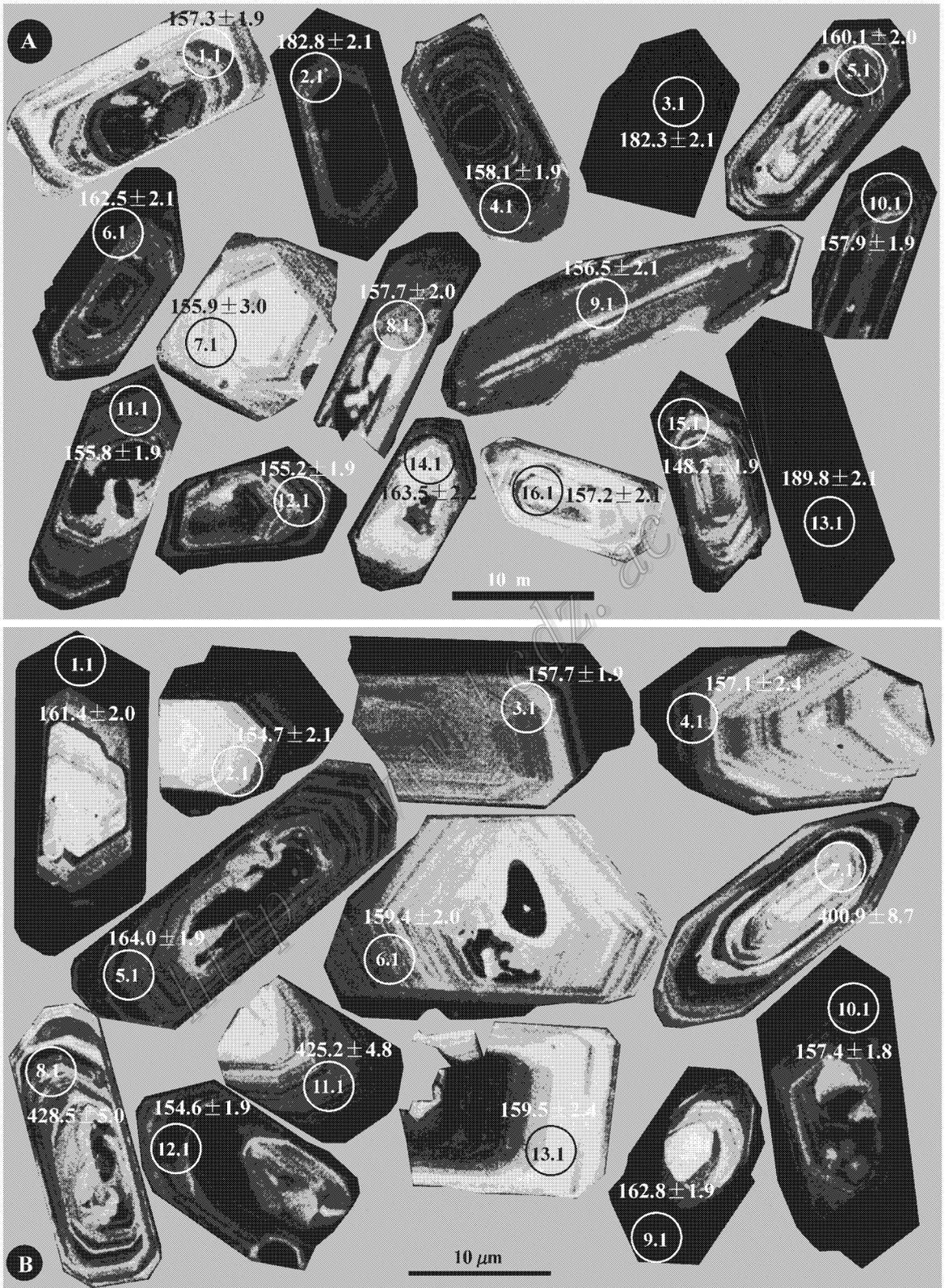


图 4 瑶岭钨矿白基黑云花岗岩(A)和隐伏黑云母花岗岩(B)中的锆石阴极发光照片

Fig. 4 CL photos of zircons from Baijizhai biotite granite (A) and buried biotite granite in the Yaoling tungsten deposit

表 1 瑶岭钨矿与成矿相关的花岗岩锆石 SHRIMP 年龄分析结果表

Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircons from granite-related tungsten mineralization in the Yaoling tungsten deposit

测点 编号	²⁰⁶ Pb _c /%	$\alpha(\text{U})$ 10 ⁻⁶	$\alpha(\text{Th})$ 10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* / 10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄/Ma	²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb* ± %	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U ± %	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U ± %	误差相关 系数			
白基寨黑云母花岗岩(编号 08YL-2)													
1.1	0.82	833	323	0.40	17.8	157.3±1.9	0.0484	3.5	0.1648	3.7	0.02470	1.2	0.332
2.1	2.70	3758	683	0.19	95.4	182.8±2.1	0.0586	2.9	0.2323	3.1	0.02876	1.2	0.372
3.1	1.92	4454	913	0.21	112	182.3±2.1	0.0721	3.1	0.2850	3.3	0.02868	1.2	0.358
4.1	0.41	1329	916	0.71	28.5	158.1±1.9	0.0492	2.1	0.1683	2.4	0.02483	1.2	0.492
5.1	0.51	865	440	0.53	18.8	160.1±2.0	0.0515	2.5	0.1785	2.8	0.02515	1.3	0.457
6.1	2.71	939	511	0.56	21.2	162.5±2.1	0.0443	7.4	0.156	7.5	0.02553	1.3	0.173
7.1	1.97	288	229	0.82	6.18	156.0±3.0	0.0455	10	0.154	10	0.02449	2.0	0.193
8.1	0.93	547	225	0.42	11.7	157.7±2.0	0.0488	6.9	0.167	7.1	0.02477	1.3	0.185
9.1	1.46	506	135	0.28	10.8	156.5±2.1	0.0492	7.1	0.167	7.2	0.02457	1.4	0.187
10.1	1.39	1226	574	0.48	26.5	157.9±1.9	0.0589	4.1	0.2014	4.3	0.02480	1.2	0.291
11.1	0.64	1320	578	0.45	27.9	155.8±1.9	0.0573	2.8	0.1932	3.1	0.02446	1.2	0.399
12.1	0.34	745	420	0.58	15.7	155.2±1.9	0.0495	2.5	0.1664	2.8	0.02437	1.2	0.442
13.1	0.02	45997	4545	0.10	1.180	189.8±2.1	0.04831	0.60	0.1991	1.3	0.02989	1.1	0.884
14.1	1.44	290	152	0.54	6.50	163.5±2.2	0.0500	6.3	0.177	6.5	0.02569	1.3	0.208
15.1	1.31	444	676	1.57	9.53	157.2±2.1	0.0483	5.6	0.1643	5.8	0.02469	1.4	0.240
隐伏黑云母花岗岩(编号 08YL-3)													
1.1	0.13	8435	842	0.10	184	161.4±2.0	0.04898	0.62	0.1713	1.4	0.02536	1.2	0.893
2.1	1.16	278	141	0.53	5.87	154.7±2.1	0.0522	6.5	0.175	6.6	0.02429	1.4	0.208
3.1	0.08	719	308	0.44	15.3	157.7±1.9	0.0515	2.2	0.1757	2.5	0.02477	1.2	0.480
4.1	0.45	334	149	0.46	7.11	157.1±2.4	0.0517	5.1	0.1757	5.3	0.02466	1.6	0.292
5.1	0.47	1236	430	0.36	27.5	164.0±1.9	0.0477	2.2	0.1695	2.5	0.02576	1.2	0.478
6.1	0.14	1082	373	0.36	23.3	159.4±2.0	0.05140	1.6	0.1774	2.0	0.02504	1.2	0.624
7.1	0.22	273	97	0.37	15.1	400.9±8.7	0.0558	2.0	0.493	3.0	0.0642	2.2	0.749
8.1	—	642	120	0.19	37.9	428.5±5.0	0.05891	0.89	0.5583	1.5	0.06874	1.2	0.807
9.1	0.12	6591	506	0.08	145	162.8±1.9	0.04974	0.58	0.1754	1.3	0.02557	1.2	0.902
10.1	0.04	5092	838	0.17	108	157.4±1.8	0.05044	0.63	0.1719	1.3	0.02471	1.2	0.878
11.1	0.07	1295	198	0.16	75.9	425.2±4.8	0.05538	1.1	0.5207	1.6	0.06818	1.2	0.728
12.1	0.32	966	313	0.33	20.2	154.6±1.9	0.0518	3.2	0.1732	3.5	0.02427	1.2	0.358
13.1	1.80	232	123	0.55	5.08	159.6±2.4	0.0500	11	0.173	11	0.02506	1.5	0.145

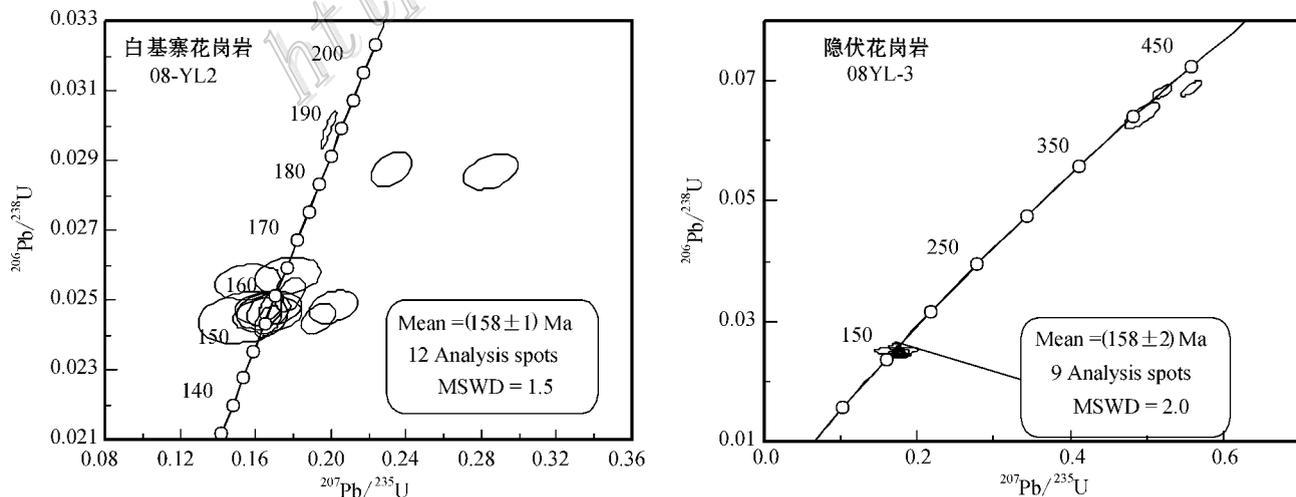
注：Pb_c 和 Pb* 分别为普通铅和放射性成因铅，误差为 1σ。

图 5 瑶岭钨矿区白基寨花岗岩和隐伏花岗岩中锆石 U-Pb 谐和曲线图

Fig. 5 U-Pb concordia diagram of zircons from Baijizhai granite and buried granite in the Yaoling tungsten deposit

表 2 白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素分析结果表Table 2 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ isotopic analyses of muscovite

阶段	激光能量/W	$^{36}\text{Ar}_{\text{A}}$	$^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}$	$^{38}\text{Ar}_{\text{Cl}}$	$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$	$^{40}\text{Ar}_{\text{R}}$	$t \pm 2\sigma/\text{Ma}$	$^{40}\text{Ar}_{\text{R}}/\%$	$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}/\%$
1	4.5 %	0.000011	0.000036	0.000000	0.000983	0.007000	122.76 ± 3.86	68.45	0.36
2	5.0 %	0.000018	0.000076	0.000000	0.003268	0.026944	141.41 ± 1.81	83.29	1.19
3	5.5 %	0.000021	0.000058	0.000000	0.010176	0.08901	149.66 ± 0.88	93.47	3.69
4	6.0 %	0.000012	0.000065	0.000000	0.013318	0.116108	149.19 ± 0.64	96.98	4.83
5	6.5 %	0.000022	0.000068	0.000000	0.013566	0.118652	149.64 ± 0.70	94.73	4.92
6	7.0 %	0.000016	0.000076	0.000000	0.011994	0.105422	150.36 ± 0.83	95.67	4.35
7	7.5 %	0.000019	0.000032	0.000000	0.011199	0.097094	148.39 ± 1.04	94.61	4.07
8	8.0 %	0.000019	0.000057	0.000000	0.012047	0.104027	147.82 ± 0.86	94.88	4.37
9	8.5 %	0.000010	0.000091	0.000000	0.012105	0.104669	148.01 ± 0.88	97.11	4.39
10	9.0 %	0.000010	0.000088	0.000000	0.014923	0.128866	147.83 ± 0.77	97.62	5.42
11	9.5 %	0.000009	0.000128	0.000000	0.015228	0.131483	147.81 ± 0.78	98.03	5.53
12	10.0 %	0.000008	0.000143	0.000000	0.015549	0.134703	148.28 ± 0.70	98.11	5.64
13	10.5 %	0.000007	0.000076	0.000000	0.014201	0.124575	150.08 ± 0.85	98.37	5.15
14	11.0 %	0.000007	0.000070	0.000000	0.014685	0.128709	149.95 ± 0.74	98.35	5.33
15	11.5 %	0.000008	0.000067	0.000000	0.011777	0.103335	150.11 ± 0.86	97.59	4.27
16	12.0 %	0.000005	0.000053	0.000000	0.010398	0.091402	150.37 ± 0.91	98.41	3.77
17	14.0 %	0.000017	0.000541	0.000000	0.020796	0.181732	149.53 ± 0.67	97.17	7.55
18	16.0 %	0.000056	0.000002	0.000000	0.020022	0.176880	151.09 ± 0.80	91.44	7.27
19	20.0 %	0.000013	0.000000	0.000000	0.015734	0.139731	151.85 ± 0.72	97.30	5.71
20	25.0 %	0.000009	0.000114	0.000000	0.033532	0.300607	153.23 ± 0.63	99.02	12.17

注: 氩同位素单位为 V, 电子倍增器的灵敏度为 1.64×10^{-15} mol/mV。

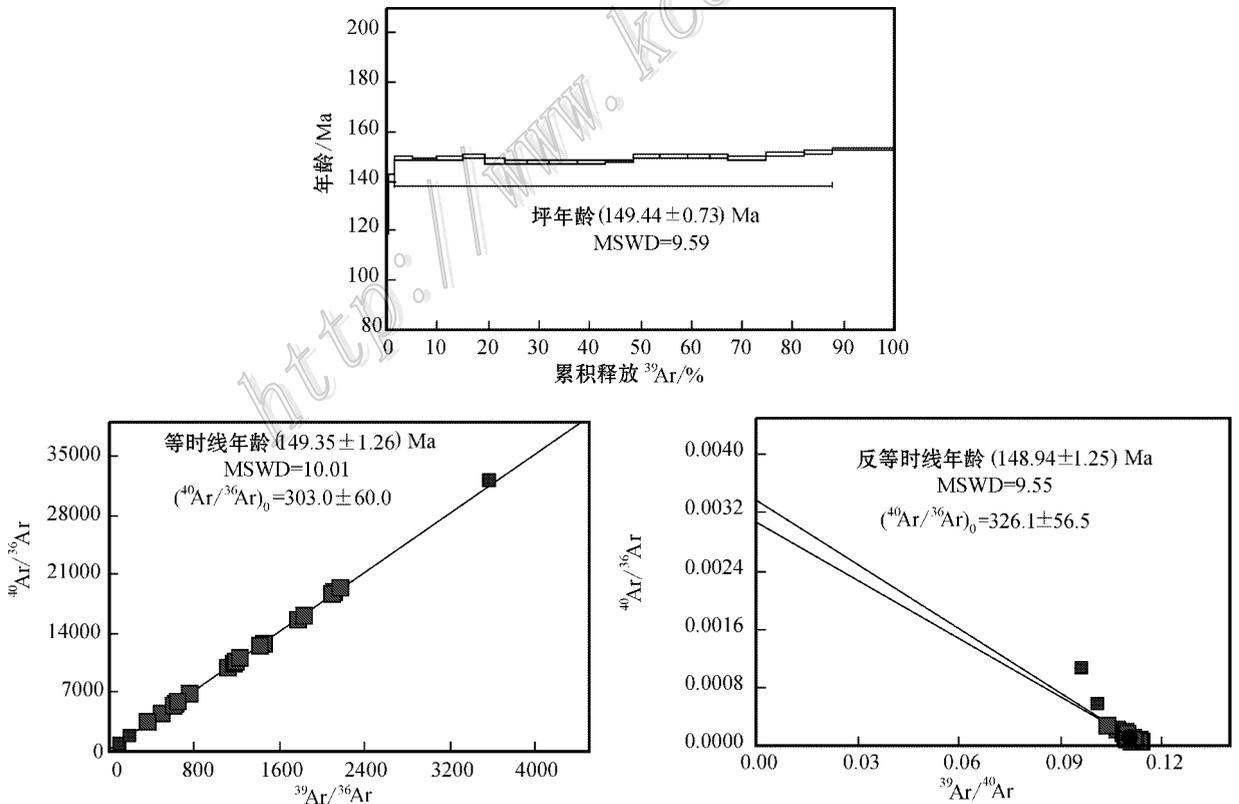
图 6 瑶岭钨矿白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄、等时线及反等时线年龄图

Fig. 6 Plot of $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ plateau age spectrum, isochron and inverse isochron of muscovite from the Yaoling tungsten deposit

龄坪,坪年龄为 $(149.44 \pm 0.73) \text{Ma}$, ^{39}Ar 的总释放量占总量的 86.29%。在 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 图上所有测试点构成的等时线年龄为 $(149.35 \pm 1.26) \text{Ma}$,等时线年龄、反等时线年龄及坪年龄均完全一致(图 6)。由等时线与反等时线获得的 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0$ 值为 303 和 326,与现代大气氩比值近似,说明所测的样品基本不含过剩氩,所获得的坪年龄和等时线年龄是可靠的,代表了瑶岭钨矿黑钨矿石英脉的成矿年龄。

5 讨 论

华南是中国重要的有色金属成矿富集区,特别是进入中生代以来华南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(华仁民等,1999;2005a,2005b;毛景文等,2008),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。

燕山中期是华南重要的 W、Sn 成矿期,由于华南岩石圈的伸展减薄作用,地幔软流圈上涌产生玄武质岩浆的底侵,导致大规模改造型或陆壳重熔型花岗岩形成,伴随花岗岩的产生形成一系列大型、超大型的 W、Sn 矿床,且成矿年龄主要集中在 160~140 Ma。如江西大吉山钨矿的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 144~147 Ma(张文兰等,2004),白云母的 K-Ar 年龄为 153~158 Ma(蒋国豪等,2004),漂塘钨矿的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 155~159 Ma(张文兰等,2009),柯树岭钨矿的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 159 Ma(刘善宝等,2008),西华山钨矿的黑钨矿 Sm-Nd 等时线年龄和石英中流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄分别为 139 Ma 和 140 Ma(李华芹等,1993),湖南柿竹园锡多金属矿床的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 151 Ma(李红艳等,1996),芙蓉锡矿的形成年龄为 151~160 Ma(彭建堂等,2007)。位于粤北瑶岭-梅子窝钨矿带中部和北部的石人嶂钨矿和师姑山钨矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄分别为 154 Ma 和 159 Ma(付建明等,2008;杨晓君等,2008),瑶岭-梅子窝钨矿带东部的梅子窝钨矿的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 156 Ma(翟伟等,2010),显示出燕山中期华南 W、Sn 大规模成矿集中爆发的特点。本文测得瑶岭钨

矿的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 $(149.44 \pm 0.73) \text{Ma}$ 与华南大规模的 W、Sn 成矿作用时间一致,是华南大规模 W、Sn 成矿的组成部分,代表瑶岭钨矿的成矿年龄。

而中生代华南与 W、Sn 成矿有关花岗岩的年龄与成矿年龄基本一致或稍大于成矿年龄,也主要集中在燕山中期,约 170~150 Ma(华仁民等,2005b;毛景文等,2009),如与湖南芙蓉锡矿相关的骑田岭花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄为 155~160 Ma(付建明等,2004;朱金初等,2005;赵葵东等,2006),与柿竹园钨锡多金属矿相关的千里山花岗岩的年龄为 158~162 Ma(刘义茂等,1997);江西大吉山钨矿与成矿相关的两期花岗岩的年龄分别为 159 Ma 和 161 Ma(孙恭安等,1989),漂塘钨矿成矿花岗岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 162 Ma 和 153 Ma(张文兰等,2009),西华山钨矿成矿花岗岩的年龄主要为 150~157 Ma(吴永乐等,1987;陈志雄等,1989;McKee et al.,1987;Maruejol et al.,1990)。本文测得瑶岭钨矿与矽卡岩型白钨矿成矿相关的白基寨黑云母花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄为 $(158 \pm 1) \text{Ma}$,与石英脉型黑钨矿成矿相关的隐伏黑云母花岗岩的年龄为 $(158 \pm 2) \text{Ma}$,这两个岩性不同的花岗岩体的年龄完全一致,且也与燕山中期华南大规模 W、Sn 成矿相关花岗岩的年龄一致,代表了与瑶岭钨矿成矿相关花岗岩的结晶年龄。

此外,在白基寨花岗岩中还存在年龄为 182.3~189.8 Ma 继承性岩浆锆石核, $w(\text{U})$ 高,为 $273 \times 10^{-6} \sim 1259 \times 10^{-6}$,继承性锆石核没有磨圆现象,且生长环带发育,说明白基寨花岗岩的原岩中存在燕山早期花岗质火成岩的成分。瑶岭钨矿区隐伏黑云母花岗岩中存在年龄为 400.9~428.5 Ma 的继承性锆石核,这些锆石核也无磨圆现象,生长环带发育,且与新生边无明显的区别(图 4),说明隐伏黑云母花岗岩的原岩含有加里东期花岗质岩石的成分,而在瑶岭-梅子窝钨矿带的东部,梅子窝钨矿区的下部就存在隐伏的加里东期的花岗闪长岩体(翟伟等,2010)。

华仁民(2005c)注意到华南中生代与花岗岩类成矿密切相关的大规模 U、W、Sn 等矿床的成矿年龄与成岩年龄之间存在十几个百万年的时差,认为这种时差反映了花岗岩成岩与成矿在形成机制上的差异。而瑶岭钨矿石英脉型黑钨矿白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 成矿年龄与成矿相关花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄

之间也存在 9 Ma 的时差,这种差异可能反映了所选测年矿物特性的差异及华南中生代独特的成矿大地构造背景。因为云母类矿物对氩的封闭温度较低,如白云母为 350℃,黑云母为 280℃(McDougall et al., 1988),而花岗岩中的副矿物锆石在岩浆作用的早期结晶,其封闭温度远高于云母类矿物,一般认为可达 800~900℃。同时华南燕山中期(170~140 Ma)发生持续的地壳伸展与减薄作用和多期次的岩浆作用(华仁民等, 2005a),地壳处于持续的高热流值状态,因而可能使瑶岭钨矿成矿同期形成的白云母的封闭时间远晚于与成矿相关花岗岩中的锆石,使两者之间产生比较大的时差。

6 结 论

(1) 粤北瑶岭钨矿石英脉型黑钨矿中与成矿同期形成的白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $(149.44 \pm 0.73)\text{Ma}$, 代表石英脉型黑钨矿的成矿年龄, 与华南中生代燕山期大规模 W、Sn 成矿作用的年龄一致。

(2) 瑶岭钨矿区中与矽卡岩型白钨矿成矿相关的白基寨黑云母花岗岩的 SHRIMP 锆石年龄为 $(158 \pm 1)\text{Ma}$, 与石英脉型黑钨矿成矿相关的隐伏黑云母花岗岩的年龄为 $(158 \pm 2)\text{Ma}$, 这两个花岗岩体的结晶年龄完全一致, 代表与瑶岭钨矿成矿相关花岗岩的结晶年龄。

(3) 白基寨花岗岩中存在年龄为 182.3~189.8 Ma 的继承性岩浆锆石核, 矿区隐伏黑云母花岗岩中存在年龄为 400.9~428.5 Ma 的继承性岩浆锆石核, 与成矿相关花岗岩的原岩含有加里东期和燕山早期火成岩的成分。

志 谢 项目野外工作中得到瑶岭钨矿地质科同行以及广东有色地质勘查局地质勘查研究院曹志明高级工程师的支持与帮助, 同位素测年工作得到北京离子探针中心张维、宋彪研究员以及中国科学院广州地球化学研究所邱华宁研究员的大力协助, 在此致以诚挚的谢意!

References

Cheng P R, Hua R M, Zhang B T, Lu J J and Fan C F. 2002. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region—petrological constrains and geodynamic settings[J]. Science in China (Series D), 32(4): 279-289 (in Chinese).

Chen Z X, Li S Z and Zhu J G. 1989. Studies on metallogenic features of Xihuashan and Hongling tungsten deposits[A]. In: Yichang Institute of Geology, ed. Scientific reports of geology and mineral resources in Nanling (2)[C]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 277-325 (in Chinese).

China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey. 2007. Exploration design report of relaying mineral resource project of Meiziwo tungsten deposit in Shixing county, Guangdong Province[R]. 1-90 (in Chinese).

Compton W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale[J]. Journal of Geological Society. 149: 171-184.

Fu J M, Ma C Q, Xie C F, Zhang Y M and Peng S B. 2004. 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, 31(1): 96-100 (in Chinese with English abstract).

Fu J M, Li H Q, Qu W J, Ma L Y, Yang X J, Wei J Q and Liu G Q. 2008. Determination of mineralization epoch of quartz-vein type tungsten deposits in Shixing region, Northern Guangdong and its geological significance[J]. Geotectonica et Metallogenica, 32(1): 57-62 (in Chinese with English abstract).

Hua R M and Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in east China[J]. Mineral Deposits, 18(4): 300-307 (in Chinese with English abstract).

Hua R M, Chen P R, Zhang W L, Liu X D, Lu J J, Lin J F, Yao J M, Qi H W, Zhang Z S and Gu C Y. 2003. Metallogenic systems related to Mesozoic and Cenozoic granitoids in South China[J]. Science in China (Series D), 46(8): 816-829 (in Chinese).

Hua R M, Chen P R, Zhang W L, Yao J M, Lin J F, Zhang Z S and Gu C Y. 2005a. Metallogenesis and their Geodynamic settings related to Mesozoic granitoids in the Nanling range[J]. Geological Journal of China Universities, 11(3): 291-304 (in Chinese with English abstract).

Hua R M, Chen P R, Zhang W L and Lu J J. 2005b. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. Mineral Deposits, 24(2): 99-107 (in Chinese with English abstract).

Hua R M. 2005c. Differences between rock-forming and related ore-forming times of the Mesozoic granitoids of crust remelting types in the Nanling range, south China, and its geological significance[J]. Geological Review, 51(6): 632-639 (in Chinese with English abstract).

Jiang G H, Hu R Z, Xie G Q, Zhao J H and Tang Q L. 2004. K-Ar ages of plutonism and mineralization at the Dajishan Tungsten deposit, Jiangxi Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 24(3): 253-256 (in Chinese with English abstract).

Koppers A A P. 2002. ArArCALC-software for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age calculations[J]. Computers & Geosciences, 28(5): 605-619.

Li H Q, Liu J Q, Wei L. 1993. Study on geochronology of fluid inclusion in hydrothermal ore deposits and its geological applications [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-126 (in Chinese).

- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, Zou X Q, He H L and Du A D. 1996. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, southern Huan[J]. *Geological Review*, 42(3): 262-267 (in Chinese with English abstract).
- Liu D H. 2009. Superseded resource prospecting of Yaoling W deposit in Guangdong[J]. *Mineral Deposits*, 28(Supp): 43-48 (in Chinese).
- Liu S B, Wang D H, Chen Y C, Li J K, Ying L J, Xu J X and Zeng Z L. 2008. ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of muscovite from different types tungsten-bearing quartz veins in the Chong-Yu-You concentrated mineral area in Gannan region and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 932-940 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y M, Dai T M, Lu H Z, Xu Y Z, Wang C L and Kang W Q. 1997. ⁴⁰Ar-³⁹Ar and Sm-Nd isotopic ages of the lithogenesis and mineralization of the Qianlishan granite[J]. *Science in China(Series D)*, 27(5): 425-430 (in Chinese).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L, Yuan S D, Cheng Y B and Chen Y C. 2008. Spatial-Temporal distribution of Mesozoic Ore deposits in south China and their metallogenic settings[J]. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 510-526 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Cheng Y B and Chen Y C. 2009. Mineral deposit models of Mesozoic ore deposits in south China[J]. *Geological Review*, 55(3): 347-354 (in Chinese with English abstract).
- Maruejol P, Cuney M, Turpin L. 1990. Magmatic and hydrothermal REE fractionation in the Xihuashan granites(SE China)[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104 : 668-680.
- McDougall I and Harrison T. M. 1988. Geochronology and thermochronology by the ⁴⁰Ar-³⁹Ar method[M]. New York: Oxford University Press, 1-212.
- McKee E H, Rytuba J and Xu K Q. 1987. Geochronology of the Xihuashan composite granitic body and tungsten mineralization, Jiangxi Province, south China[J]. *Econ. Geol.*, 82 : 218-223.
- Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, et al. 2008. Zircon M257- a homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 32 : 247-265.
- Peng J T, Hu R Z, Bi X W, Dai T M, Li Z L, Li X M, Shuang Y, Yuan S D and Liu S R. 2007. ⁴⁰Ar/³⁹Ar isotopic dating of tin mineralization in Furong deposit of Hunan province and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 26(3): 237-248 (in Chinese with English abstract).
- Qiu H N. 2006. Construction and development of new Ar-Ar laboratories in China: Insight from GV-5400 Ar-Ar laboratory in Guangzhou institute of geochemistry, Chinese academy of sciences [J]. *Geochimica*, 35(2): 133-140 (in Chinese with English abstract).
- Song B, Zhang Y H, Wan Y S and Jian P. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geological Review*, 48 (Supp.): 26-30 (in Chinese).
- Special Group of Metallurgical Ministry on Nanling Tungsten Deposits. 1985. Tungsten deposits in South China[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press. 1-496 (in Chinese).
- Sun G A, Shi M K, Zhang H L, et al. 1989. Study of petrology, geochemistry, and metallogeny of Dajishan granite[A]. In: Yichang Institute of Geology, ed. *Scientific reports of geology and mineral resources in Nanling* (2 [C]). Wuhan: Press of China University of Geosciences. 326-363 (in Chinese).
- Wang Y, Cheng M X, Li M G and Zeng Y X. 2006. Study on variety and rule of mineralization in Yaoling tungsten mine in Guangdong province, South China[J]. *Mineral Resources and Geology*, 20(4-5): 334-339 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y, Zhou S H, Chen M X, Li M G and Zeng Y X. 2007. Variety and superposition in the Yaoling tungsten deposit, northern Guangdong Province[J]. *Geology and Prospecting*, 43(3): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S and Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappe, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97 : 205-217.
- Wu Y L, Mei Y W, Liu P C, Cai C L and Lu T Y. 1987. Geology of the Xihuashan tungsten deposit[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Yang X J, Fu J M, Ma L Y, Li X N, Xu D M and Wei J Q. 2008. Geological characteristics and mineralization age of Meiziwo Tungsten-Tin deposit in Shixing Region, Northern Guangdong[J]. *Tectonica et Metallogenia*, 32(3): 346-351 (in Chinese with English abstract).
- Zhai W, Sun X M, Wu Y S, Sun H Y, Hua R M, Yang Y Q, Li W Q and Li S H. 2010. SHRIMP U-Pb zircon ages of buried granodiorite, muscovite ⁴⁰Ar/³⁹Ar mineralization age and their geological implications of Meiziwo tungsten deposit, north Guangdong Province, China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2010(2): 161-176 (in Chinese with English abstract).
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, Li H M and Chen P R. 2004. Single zircon U-Pb isotope age of the Wuliting granite in Dajishan area of Jiangxi, and its geological implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 352-358 (in Chinese with English abstract).
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, Li H M, Qu W J and Ji J Q. 2009. New dating of the Piaotang granite and related Tungsten mineralization in southern Jiangxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 660-670 (in Chinese with English abstract).
- Zhao K D, Jiang S Y, Jiang Y H and Liu D Y. 2006. SHRIMP U-Pb dating of the Furong unit of Qianling granite from southeast Hunan province and their geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2611-2616 (in Chinese with English abstract).
- Zhu J C, Zhang H, Xie C F, Zhang P H and Yang C. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology, petrology and geochemistry of the Zhujianshui granite, Qitianling pluton, southern Hunan province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 335-342 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 陆建军, 范春方. 2002. 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), 32(4): 279-289.
- 陈志雄, 李善择, 朱晋干. 1989. 西华山和红岭钨矿床成矿地质特征的研究[A]. 见: 宜昌地质矿产研究所, 编. 南岭地质矿产科研报告集(二)[C]. 武汉: 中国地质大学出版社. 277-325.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 2004. 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, 31(1): 96-100.
- 付建明, 李华芹, 屈文俊, 马丽艳, 杨晓君, 魏君奇, 刘国庆. 2008. 粤北始兴地区石英脉型钨矿成矿时代的确定及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 32(1): 57-62.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 18(4): 300-307.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 刘晓东, 陆建军, 林锦富, 姚李明, 戚华文, 张展适, 顾晟彦. 2003. 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), 33(4): 335-341.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 姚李明, 林锦富, 张展适, 顾晟彦. 2005a. 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, 11(3): 291-304.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005b. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 24(2): 99-107.
- 华仁民. 2005c. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义[J]. 地质论评, 51(6): 633-639.
- 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 赵军红, 唐群力. 2004. 江西大吉山钨矿成矿年代学研究[J]. 矿物学报, 24(3): 253-256.
- 李华芹, 刘家齐, 魏林. 1993. 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. 1-126.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚利, 邹晓秋, 何红蓼, 杜安道. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评, 42(3): 262-267.
- 刘东宏. 2009. 广东省韶关市瑶岭钨矿接替资源前景分析[J]. 矿床地质, 28(Supp): 43-48.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 李建康, 应立娟, 许建祥, 曾戟淋. 2008. 赣南崇义—大余—上犹矿集区不同类型含石英中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 82(7): 932-940.
- 刘义茂, 戴模, 卢焕章, 胥友志, 王昌烈, 康卫清. 1997. 千里山花岗岩成岩成矿的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 和 Sm-Nd 同位素年龄[J]. 中国科学(D辑), 27(5): 425-430.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008. 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, 14(4): 510-526.
- 毛景文, 谢桂青, 程彦博, 陈毓川. 2009. 华南地区中生代主要金属矿床模型[J]. 地质论评, 55(3): 347-354.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 戴模, 李兆丽, 李晓敏, 双燕, 袁顺达, 刘世荣. 2007. 湖南芙蓉锡矿床 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 26(3): 237-248.
- 邱华宁. 2006. 新一代 Ar-Ar 实验室建设与发展趋势: 以中国科学院广州地球化学研究所 Ar-Ar 实验室为例[J]. 地球化学, 35(2): 133-140.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26-30.
- 孙恭安, 史明魁, 张宏良, 等. 1989. 大吉山花岗岩体岩石学、地球化学、及成矿作用的研究. 宜昌地质研究所编. 南岭地质矿产科研报告集(二)[C]. 武汉: 中国地质大学出版社. 326-363.
- 王燕, 陈梦熊, 李明高, 曾永熊. 2006. 广东瑶岭钨矿化类型多样性及成矿规律研究[J]. 矿产与地质, 20(4-5): 334-339.
- 王燕, 周圣华, 陈梦熊, 李明高, 曾永熊. 2007. 粤北瑶岭钨矿化类型多样性与叠加性研究[J]. 地质与勘探, 43(3): 1-5.
- 吴永乐, 梅勇文, 刘鹏程, 蔡常良, 卢同衍. 1987. 西华山钨矿地质[A]. 钨矿地质(地质专报)[M]. 北京: 地质出版社.
- 杨晓君, 付建明, 马丽艳, 李祥能, 徐德明, 魏君奇. 2008. 粤北梅子窝钨锡矿床地质特征及其成矿年龄研究[J]. 大地构造与成矿学, 32(3): 346-351.
- 冶金部南岭钨矿专题. 1985. 华南钨矿[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1-496.
- 翟伟, 孙晓明, 邬云山, 孙红英, 华仁民, 杨永强, 李文铅, 李社宏. 2010. 粤北梅子窝钨矿区隐伏花岗闪长岩锆石 SHRIMP 年龄与 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 成矿年龄及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2010(2): 161-176.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 李惠民, 陈培荣. 2004. 江西大吉山五里亭花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义探讨[J]. 地质学报, 78(3): 352-358.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 李惠民, 屈文俊, 季建清. 2009. 赣南漂塘钨矿花岗岩成岩年龄与成矿年龄的精确测定[J]. 地质学报, 83(5): 660-670.
- 赵葵东, 蒋少涌, 姜耀辉, 刘敦一. 2006. 湖南骑田岭岩体芙蓉超单元锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(10): 2611-2616.
- 中国有色金属矿产地质调查中心. 2007. 广东省始兴县石人嶂钨矿接替资源勘查项目设计[R]. 1-90.
- 朱金初, 张辉, 谢才富, 张佩华, 杨策. 2005. 湘南骑田岭竹视水花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和岩石学[J]. 高校地质学报, 11(3): 335-342.