

刘伟, 曾佐勋, 李绍凡, 等. 广西富川岩鹰嘴 W-Mo-Cu 多金属矿区斑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 797-813.

Liu Wei, Zeng Zuoxun, Li Shaofan, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the granitic and granodioritic porphyries from the Yanyingzui W-Mo-Cu polymetallic ore district in Fuchuan area, Guangxi, and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2014, 41(3): 797-813(in Chinese with English abstract).

广西富川岩鹰嘴 W-Mo-Cu 多金属矿区斑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义

刘伟^{1,2} 曾佐勋^{1,3} 李绍凡¹ 贺赤诚¹ 杨宝忠¹ 刘建雄⁴

(1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国人民武装警察部队黄金指挥部, 北京 100055;

3. 华中构造力学研究中心, 湖北 武汉 430074; 4. 广东省佛山地质局, 广东 佛山 528000)

摘要: 岩鹰嘴 W-Mo-Cu 多金属矿床位于桂东北 W-Mo 多金属成矿带中部, 矿体产于岩鹰嘴斑岩体内及其接触带砂卡岩中, 成矿作用与斑岩体密切相关, 但对于该矿床成矿斑岩形成时代至今仍未有精确的年龄数据。本文通过对与该矿床成矿有关的花岗斑岩和花岗闪长斑岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年, 获得其成岩年龄分别为 (426.2 ± 2.3) Ma 和 (426.9 ± 2.3) Ma, 说明岩鹰嘴斑岩体是加里东期区域构造-岩浆活动的产物。结合区域构造演化、区域成岩成矿时代对比和矿床地质特征, 推测岩鹰嘴 W-Mo-Cu 多金属矿区成矿作用和岩浆活动可能发生于晚志留世, 形成于华南加里东运动由挤压向伸展转换的构造背景下, 并与桂东北地区加里东期 W-Mo 成矿作用产于同一时期、同一构造背景, 间接表明在加里东期桂东北地区可能存在一定强度的 W-Mo-Cu 成矿作用。此外, NE 向构造-岩浆带、斑岩体分布带及矿化区外围是寻找斑岩-砂卡岩型 W-Mo-Cu 多金属矿床、同系列矿床以及隐伏矿床的有利地区, 今后应加强该区加里东期花岗岩、花岗斑岩出露区的找矿勘查工作。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 花岗斑岩; 花岗闪长斑岩; 岩鹰嘴 W-Mo-Cu 多金属矿床; 桂东北成矿带
中图分类号: P618.44; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)03-0797-17

南岭地区是中国东南部重要的岩浆活动带, 广泛发育东安期、雪峰期、加里东期、印支期、燕山期等各个时期的花岗岩类岩石, 其中燕山期花岗岩类在强度和广度上最大, 而加里东期花岗岩类次之, 但也是华南花岗岩的重要组成部分^[1,2]。同时, 南岭地区也是中国乃至世界上钨、锡、钼、铋、锂、铍、铌、钽及稀土等金属矿产资源极其丰富的地区。研究表明这些金属矿产的形成与花岗岩类有着密切的成因关系, 尤其是与燕山期的花岗岩类最为密切, 相比之下, 其他时代的花岗岩类成矿作用微不足道^[1,3-6]。近年来, 随着在低密度矿化富集区找矿勘查取得一系列重大突破, 并运用高精度放射性同位素测年技

术, 获得了大量精确的成岩成矿年龄^[7-16]。除燕山期花岗岩有关成矿作用外, 相继报道了印支期花岗岩有关的成矿作用, 有学者已经认为印支期可能是南岭地区金属成矿作用的重要成矿期之一^[17-24], 但到目前为止, 对与加里东期花岗岩有关的成矿作用报道较少, 从而限制了对华南加里东期花岗岩类与成矿作用的认识。

广西富川瑶族自治县朝东镇岩鹰嘴地区, 地质构造复杂, 加里东期岩浆作用强烈, 发育有钨、锡、钼、铋、铜、黄铁矿等规模大小不等的矿床(点), 成矿地质条件良好, 成矿潜力较大。从 20 世纪 50 年代末至今, 各地矿部门曾相继对岩鹰嘴 W-Mo-Cu

收稿日期: 2013-08-29; 改回日期: 2014-01-12

基金项目: 中国地质调查局区域地质矿产调查项目(1212011120824)资助。

作者简介: 刘伟, 男, 1989 年生, 硕士生, 从事构造地质学与矿床学研究; E-mail: weilu2011@163.com。

通讯作者: 曾佐勋, 男, 1954 年生, 博士生导师, 教授, 从事构造地质学及成矿构造研究; E-mail: zuoxun.zeng@126.com。

多金属矿化区及外围进行过系统的区域地质调查和找矿勘查工作,但由于工作重点为矿床的勘探与开发,因此相关研究工作较少。1:20万^①和1:25万^②区调资料根据斑岩体侵入接触关系将矿区内与成矿有关的斑岩体划归为志留纪晚期。徐文杰等^[25]对与斑岩体有关的钨钼铜多金属矿床地质特征和成矿模式进行了初步的研究,但是对与岩鹰嘴 W-Mo-Cu 多金属矿床有关的岩鹰嘴斑岩体形成时代和岩浆动力学背景未做深入研究。李晓峰等^[12]根据与成矿有关岩体中锆石的 Th-U 含量及阴极发光图像特征及其邻区花岗岩的对比关系,初步判断成岩成矿发生于晚三叠世的印支期,但没有开展相关的年代学研究,故迄今为止该区成岩成矿的年代学研究仍非常薄弱。

本文以岩鹰嘴地区 W-Mo-Cu 多金属矿区内花岗岩斑岩体(统称)为研究对象,利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年对其侵位时代进行同位素测定,这对厘定矿床岩浆侵位时代、成矿时代,探讨区域成矿作用、成岩成矿动力学背景具有重要意义,并为进一步找矿勘查工作提供科学依据。

1 区域地质背景

矿区位于东西向南岭成矿带与钦杭结合带复合部位,桂东北成矿带中部。在大地构造位置上,处于扬子地块与华夏地块的衔接部位(图1),南岭构造带的西段,花山隆起北部的倾伏端,与都庞岭一起构成经向隆起构造带。区内地层发育较为齐全,从寒武系、奥陶系、泥盆系至石炭系均有分布,其中以下古生界寒武系和上古生界泥盆系为主。寒武系以浅海相碎屑沉积岩为主,岩石类型主要有砂岩、板岩、炭质板岩、硅质板岩及少量灰岩;泥盆系以浅海相碳酸盐类沉积岩为主,其次发育滨海相或海陆交互相碎屑岩,岩石类型主要有砂岩、泥岩、白云岩、灰岩等。其中下泥盆统的莲花山组受加里东期构造运动影响,不整合覆盖于寒武纪地层之上。区域上褶皱和断裂十分发育,规模大小不等,构造叠加现象普遍,主体构造格架由加里东期 NE 向和 NS 向基底褶皱和花山隆起为中心的一系列 NNE 向紧密褶皱的盖层构造组成^[25, 26]。区内岩浆活动频繁,多为中酸性-酸性中浅成复式侵入岩为主,

呈岩基、岩株、岩脉产出,具有多期侵入的特点,岩性主要为花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩。其中加里东期花岗岩及一些海西期—印支期花岗岩侵入于都庞岭、海洋山等 NE 向加里东期复背斜核部,燕山期花岗岩大面积侵位于大瑶山台隆花山—婆姑山、金鸡顶等地区(图1)。多期次花岗岩侵位的同时,在花岗岩体周围伴随发育了一系列与花岗岩有关的 W-Sn-Mo-Pb-Zn-Nb-Ta 等矿床。

目前为止,在岩鹰嘴斑岩体周围已发现中型钨钼矿床1处,小型矿床多处,在外接触带寒武系中还发现铜矿点、铋矿点、黄铁矿点。杨斌等^[27]和李晓峰等^[12]认为岩鹰嘴钨钼铜多金属矿床属于桂东北钨钼铜铅锌金银成矿带。

2 矿床地质特征

矿区及外围出露的地层主要有寒武系边溪组一、二段以及泥盆系莲花山组、信都组、黄公塘组(图2)。寒武系边溪组出露于矿区大部分地区,岩性以细粒杂砂岩和泥页岩为主,夹少量灰岩、泥灰岩,下泥盆统莲花山组出露于矿区西部、东南部,近东西向展布,岩性主要为一套细砂岩、粗-细粒石英砂岩,底部为厚度大于5 cm 的底砾岩、含砾粗砂岩,中泥盆统信都组出露于矿区西南部、东北部,岩性以粉砂岩、页岩为主,局部夹泥灰岩和白云岩,中泥盆统黄公塘组出露于矿区东南部,岩性以白云岩为主,夹灰岩和白云质灰岩。矿区内的岩浆岩以加里东期岩浆为主,岩性为花岗斑岩和花岗闪长斑岩,岩体侵入于寒武系围岩,接触面向外倾,倾角很陡,蚀变带宽度约500 m。其中下泥盆统莲花山组呈帽盖状不整合于寒武纪地层之上,并以沉积接触覆盖在岩鹰嘴岩体之上(图2)。矿区地层构造变形强烈,多期构造叠加现象明显,具有以下特点:①加里东期基底褶皱由3个次级背斜和2个次级向斜组成的线状紧闭复式背斜,核部由寒武纪边溪组一段组成,翼部由寒武纪边溪组二段组成;岩层产状陡倾,两翼基本对称,倾角一般为30°~70°,褶皱轴线方向近 NE 60°;②印支期盖层褶皱主要是由泥盆纪地层组成的小型东西向褶皱;③矿区内以 NW 向张性断裂为主,NE 向压扭性断裂次之。总体上,斑岩体的平面产出形态、岩体分枝方向、岩脉走向、

①湖南省地质矿产勘查开发局. 1:20万江永幅区域地质调查调查报告. 1974.

②广西壮族自治区地质调查院. 1:25万贺州市幅区域地质调查报告. 2005.

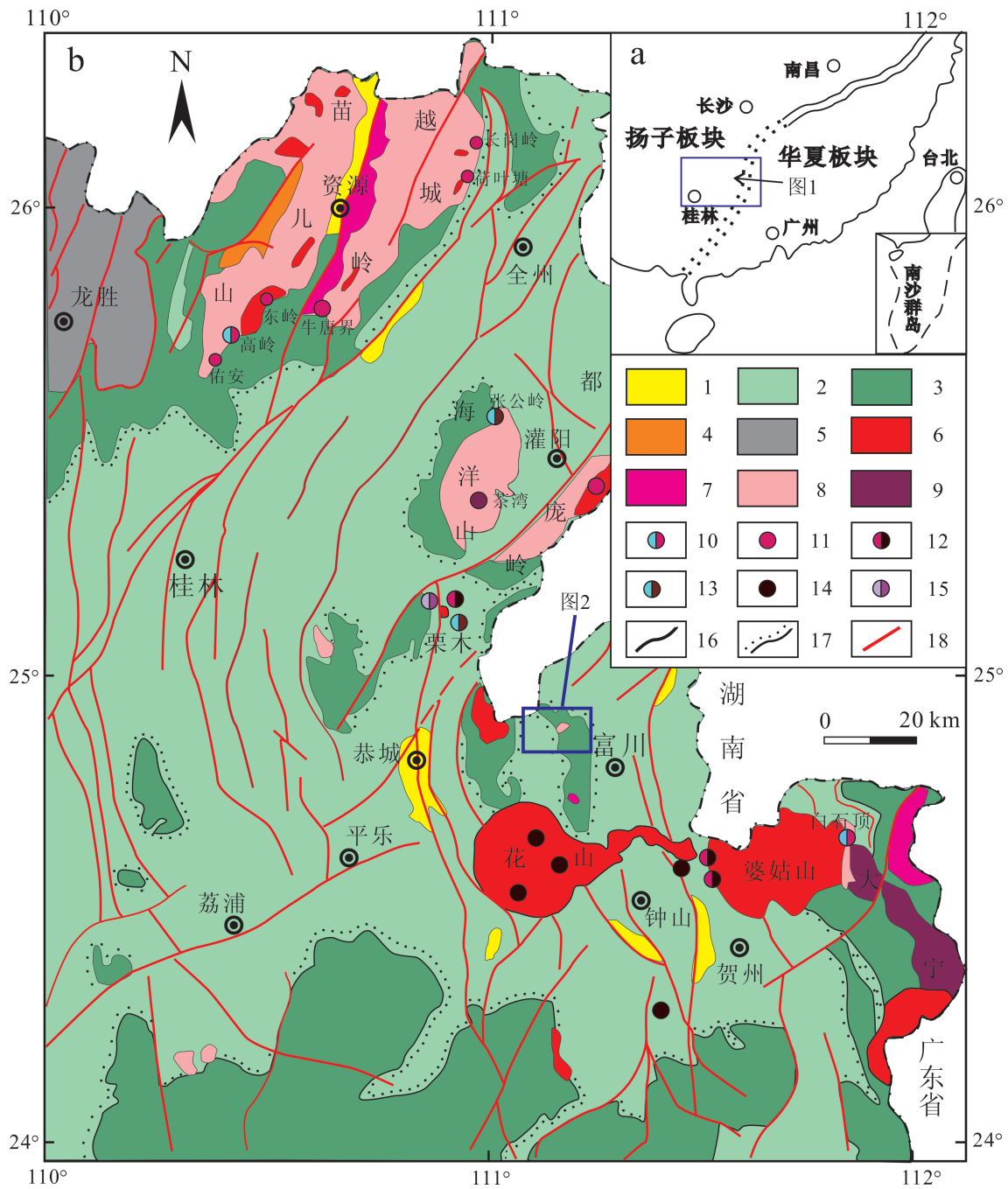


图1 桂东北地区大地构造位置图(a)和区域地质矿产图(b, 据文献[12]修改)

1—中生界砂、泥岩;2—晚古生界碳酸盐岩;3—早古生界杂砂岩;4—南华系硅质岩、页岩;5—元古宙变质杂砂岩;
6—燕山期花岗岩;7—印支期花岗岩;8—加里东期花岗岩;9—加里东期花岗闪长岩;10—钨-钼矿床;11—钨矿床;
12—钨锡矿床;13—铅锌矿床;14—锡矿床;15—锡-铌-钽矿床;16—地层界线;17—不整合界线;18—断层

Fig.1 Sketch map showing tectonic location of the study area (a) and geological map showing distribution of deposits in northeast Guangxi (b, modified after Reference [12])

1—Mesozoic sandstone and shale; 2—Late Paleozoic Carbonate; 3—Early Paleozoic greywacke; 4—Nanhua system silica rock and shale; 5—Proterozoic metagreywacke; 6—Yanshanian granite; 7—Indosinian granite; 8—Kwangian granite; 9—Kwangian granodiorite; 10—W-Mo deposit; 11—W deposit; 12—W-Sn deposit; 13—Pb-Zn deposit; 14—Sn deposit; 15—Sn-Nb-Ta deposit; 16—Stratigraphic boundary; 17—Unconformity; 18—Fault

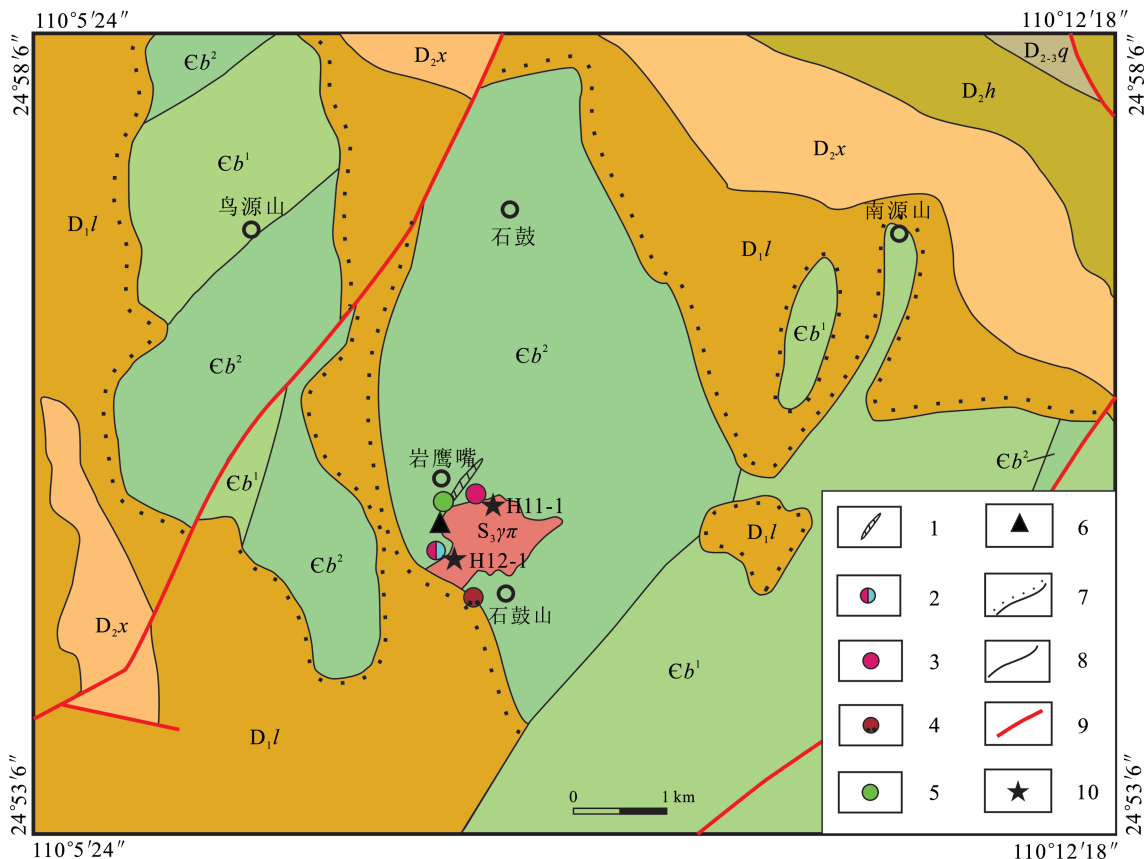


图2 岩鹰嘴W-Mo-Cu多金属矿区区域地质图

D_{2-q} —中上泥盆统棋梓桥组; D_{2-x} —中泥盆统信都组; D_{2-h} —中泥盆统黄公塘组; D_{1-l} —下泥盆统莲花山组; E_{b^1} —寒武系边溪组一段; E_{b^2} —寒武系边溪组二段; $S_{3,\gamma\pi}$ —晚志留世花岗斑岩(总称); 1—石英脉; 2—钨钼矿床(点); 3—钨矿床(点); 4—锑矿床(点); 5—铜矿床(点); 6—黄铁矿床(点); 7—不整合界线; 8—地层界线; 9—断层; 10—采样点

Fig.2 Geological sketch map of the Yangyingzui W-Mo-Cu ore district

D_{2-q} —Middle and Lower Devonian Qizhiqiao Formation; D_{2-x} —Middle Devonian Xindu Formation; D_{2-h} —Middle Devonian Huanggongtang Formation; D_{1-l} —Lower Devonian Lianhuashan Formation; E_{b^1} —Lower member of Cambrian Bianxi Formation; E_{b^2} —Upper member of Cambrian Bianxi Formation; $S_{3,\gamma\pi}$ —Late Silurian granite porphyry; 1—Quartz vein; 2—W-Mo deposit; 3—W deposit; 4—Sb deposit; 5—Cu deposit; 6—Pyrite deposit; 7—Unconformity; 8—Geological boundary; 9—Fault; 10—Sampling point

含矿矽卡岩的总体走向、铜钨矿化石英细脉带的走向、寒武纪地层及其褶皱轴的走向受区域NE向基底构造控制^[25]。

矿区内主要矿床类型是与斑岩紧密共生的斑岩型钨钼铜矿床和矽卡岩型白钨矿床^[25],矿床产于斑岩体西部内外接触带(图2)。斑岩型钨钼铜矿体产于斑岩体内部和内外接触带中,矿体呈浸染状、细脉状产出,细脉厚一般为3~5 mm,呈平行密集产出,构成马尾丝状细脉带,脉带出露长800余米、宽40~80 m,产状 $135^\circ\angle 80^\circ$,控制深度已达300余米。矿石构造主要以细脉浸染状为主,矿石结构主要以

他形晶结构和半自形晶结构为主,矿石矿物主要是黄铁矿、辉钨矿、白钨矿、黄铜矿、蓝铜矿、孔雀石等。其中,白钨矿呈他形细粒状分布于石英细脉中,黄铜矿呈0.1~0.5 mm的他形细粒分布于细脉壁及细脉之外的花岗闪长斑岩中,辉钨矿呈浸染状、鳞片状散布于细脉内外或呈宽1~4 mm的单矿物细脉在花岗闪长斑岩中产出。脉石矿物主要是石英、绢云母、高岭石等矿物。矽卡岩型白钨矿体主要分布于矿区南部及西南部,大多产于斑岩体与围岩内接触带,由寒武纪地层的捕虏体交代而成,呈透镜状、似层状(图3-b),比较集中地成群出现,且大

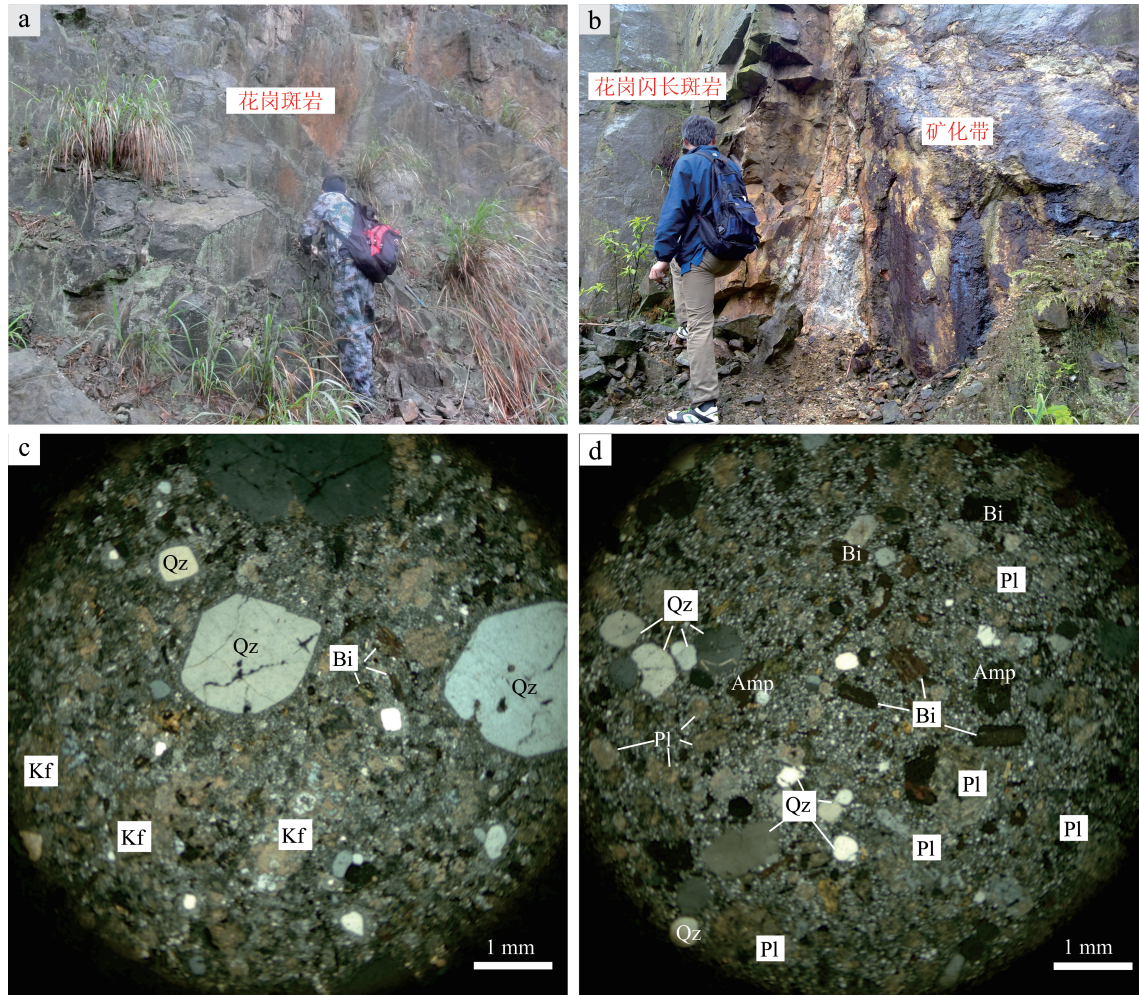


图3 岩鹰嘴花岗斑岩和花岗闪长斑岩野外产出特征和镜下矿物组成

a—肉红色花岗斑岩;b—灰白色花岗闪长斑岩矿化;c—花岗斑岩镜下特征(+)斑状结构,斑晶主要由他形石英、半自形钾长石及少量自形片状组成;d—花岗闪长斑岩镜下特征(+)斑状结构,斑晶主要由半自形斜长石和少量的半自形角闪石、自形片状黑云母组成;Qz—石英;Kf—钾长石;Pl—斜长石;Bi—黑云母;Amb—角闪石

Fig.3 Field characteristics and mineral compositions of granite porphyry and granodiorite porphyry in Yangyingzui
a—Reddish pink granite porphyry; b—Mineralized gray granodiorite porphyry; c—Microscope characteristics of granite porphyry, porphyrocrystic texture, phenocryst consisting of anhedral quartz, hypautomorphic K-feldspar and minor automorphic-lamella biotite; d— Microscope characteristics of granodiorite porphyry, porphyrocrystic texture, phenocryst consisting of hypautomorphic plagioclase and minor hypautomorphic amphibole, automorphic-lamella biotite
Qz—Quartz; Kf—K-feldspar; Pl—Plagioclase; Bi—Biotite; Amb—Amphibole

多相互平行,走向NE,倾向SE,倾角 $30^{\circ}\sim 80^{\circ}$,少数走向近EW乃至NW,并有分枝与弯曲现象。矿物组合主要有钙铝石榴子石、石英、绿泥石、白云母、绢云母等。矿石构造主要为浸染状、条带状、团块状,矿石结构主要为粒状变晶结构、交代结构。矿石矿物较简单,以白钨矿为主,少量黄铁矿、黄铜矿、孔雀石、铜蓝、辉钼矿、褐铁矿等。脉石矿物主要是石英、石榴石、绢云母等。

围岩蚀变主要以矽卡岩化、绢云母化和黄铁绢

英岩化为主,其次有硅化、绿泥石化、高岭石化,偶见钾长石化、白云母化等,其中与成矿关系最为密切同时也是重要找矿标志的是矽卡岩化与硅化。

3 岩鹰嘴成矿斑岩体特征

岩鹰嘴成矿斑岩体侵入于岩鹰嘴复式背斜次级向斜核部,呈椭球状小岩株产出,近东西向展布,出露总面积约 1.09 km^2 (图2)。在野外观察中很难分辨斑岩体的岩相界线,但各部位的岩性存在着一

定的差别,按长石种类、斑晶的发育程度、粒度大小及暗色矿物含量的不同,大致可以分为:花岗斑岩相、斜长花岗斑岩相、花岗闪长斑岩相,另外,岩体内还侵入有闪长岩脉、石英闪长玢岩脉等。而直接参与成矿的是花岗斑岩和花岗闪长斑岩(图3-a、3-b)。

花岗斑岩新鲜面呈白色-肉红色,斑状结构,块状构造,斑晶主要成分为钾长石和石英及少量的黑云母,斑晶粒径为0.2~2 mm,斑晶含量25%~30%(图3-c)。钾长石斑晶呈半自形板状,表面具有绢云母化和泥化现象,石英斑晶主要呈他形粒状,发育少量裂隙,边缘有熔蚀现象,黑云母斑晶呈自形片状,多发生绿泥石化(图3-c)。基质粒径一般为0.01~0.08 mm,含量为70%~75%,具花岗状结构,由钾长石(微纹长石)、斜长石、石英、黑云母和少量角闪石等组成。副矿物有榍石、磷灰石、锆石、褐帘石、黄铁矿、电气石等。

花岗闪长斑岩新鲜面呈灰白色,斑状结构,块状构造,斑晶主要由斜长石组成,还有少量的角闪石、黑云母以及石英等矿物,斑晶粒径为0.2~1 mm不等,斑晶含量30%~35%。斜长石斑晶呈半自形板状,表面具有绢云母化,有较为明显的聚片双晶,角闪石斑晶呈半自形柱状,黑云母斑晶呈自形片状,均发生绿泥石化,石英斑晶主要呈他形粒状,发育少量裂隙(图3-d)。基质粒径一般0.01~0.08 mm,含量为65%~70%,具花岗结构,由钾长石(微纹长石)、斜长石、石英、黑云母和角闪石等组成。副矿物有榍石、磷灰石、锆石、褐帘石、黄铁矿、电气石等。

岩石地球化学显示^①,花岗斑岩和花岗闪长斑岩属高钾钙碱性过铝质岩石火成岩,与中国花岗闪长岩平均值相比,具有高硅、高碱,低的镁、钙、铁,标准矿物以出现较多数量的紫苏辉石及少量磁铁矿、刚玉等,A/NK=1.73,铝饱和度A/CNK=1,微量元素含量总体以贫Nb、Ta、Sr为特征。Pb、Zn、W含量偏高,Zr/Sn、K/Rb值较高,其中W的含量高出维氏酸性岩数百倍,表明岩体属含矿岩体,稀土总量低,稀土元素球粒陨石标准化曲线中,LREE为较陡的右倾趋势,HREE相对平缓,总体呈现出右倾“V”型,岩石类型及岩石地球化学特征与晚志留桂

岭、大宁等岩体相似,均为幔源岩浆底侵诱发的下地壳变砂屑岩部分熔融形成。

4 样品采集及测试

花岗斑岩(样品编号:H11-1)和花岗闪长斑岩(样品编号:H12-1)样品分别采自斑岩型钨钼铜矿化带和含矿砂卡岩体附近,岩石较新鲜未风化,地理坐标分别为:110°08'09"E, 24°55'56"N和110°08'05"E, 24°56'03"N,对上述两组样品挑选锆石,进行LA-ICP-MS锆石U-Pb测年,具体采样位置见图2。

4.1 测试方法

本文涉及的所有测试分析均在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。

锆石分选由廊坊诚信地质技术服务公司采用浮选和电磁选完成。在双目镜下挑选出完整、纯净的锆石颗粒,用双面胶将其粘附,再用无色透明的环氧树脂充分固定,磨制抛光使锆石内部结构完整出露,便于对待测锆石进行透射光、反射光和阴极发光图像分析。阴极发光显微照片利用装载于JXA-8100扫描电子显微镜上的Gatan阴极发光仪(CL)完成,阴极发光(CL)显微图像分析用于观察锆石内部结构,从而确定待测锆石的最佳部位和数据解释。锆石原位U-Pb同位素年龄测定在激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)上用标准测定程序进行。分析仪器为电感耦合等离子体质谱计(Agilent 7500a)和准分子激光剥蚀系统Geo-Las200M型(Microlas Gottingen Germany)联机并配备有193nmArF-excimer激光器。在测试中激光剥蚀斑束直径为32 μm,剥蚀深度为20~40 μm,激光脉冲为10 Hz,能量为32~36 mJ。实验中采用He、Ar作为剥蚀物质的载气,锆石年龄校正采用标准锆石91500作为外标^[28],元素含量校正采用美国国家标准局研制的人工合成硅酸盐玻璃NIST SRM610作为外标^[29],²⁹Si作为内标进行校正。样品锆石的同位素比值和元素含量数据处理采用ICPMSDataCal8.3程序计算软件^[30],得出²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb/²³⁵U、²⁰⁶Pb/²³⁸U和²⁰⁸Pb/²³²Th四组同位素比值、年龄及误差,并采用Andersen软件对测试数据进行普通铅校正^[31],各样品锆石的加权平均年龄计算及谐和图的绘制采用Isoplot3(2006)程序^[32]完成。有关

①广西壮族自治区地质调查院.1:25万贺州市幅区域地质调查报告,2005.

具体的实验条件、实验原理和锆石 U-Pb 年龄测定流程及仪器参数见文献[33,34]。

4.2 分析结果

锆石颗粒大小基本一致,粒径为 100~150 μm ,长宽比值为 1:1~3:1。锆石自形程度好,呈长柱状或短柱状,个别呈板状。在阴极发光图像(CL)上,大多数锆石内部显示明显的岩浆环带结构,属典型的岩浆结晶锆石,如 H11-1-01、02、07、08、09, H12-1-14、15、16、17、18、19(图 4);少数具核-边双层结

构,一些锆石核部 CL 较弱,与边部的接触带具有微弱的岩浆环带,属早阶段结晶的岩浆锆石,如 H12-1-02(图 4),另一些锆石的核部 CL 较强,具有源区继承锆石的特点^[35-37],如 H12-1-03(图 4),这些锆石的边部都具有韵律环带,应为岩浆成因的锆石。

对花岗斑岩(H11-1)20 颗锆石进行了 20 个点测试分析,分析结果见表 1。大部分分析点均位于谐和线或附近(或呈线状分布在谐和线的右侧)(图 5),虽然部分分析点不同程度的水平偏离谐和线,



图 4 岩鹰嘴花岗斑岩(H11-1)和花岗闪长斑岩(H12-1)单颗粒锆石 CL 图像
Fig.4 Representative CL images of granite porphyry and granodiorite porphyry in Yangyingzui

表1 岩鹰嘴花岗岩和花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analyses of granite porphyry and granodiorite porphyry in Yangyingzui

测点	元素含量		同位素比值				同位素年龄/Ma						
	Th/ ¹⁰ -6	U/ ¹⁰ -6	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U				
花岗岩样品 (H11-1) :													
H11-01	3762	5769	0.65	0.0022	0.7190	0.0221	0.0681	0.0007	1072	57	550	425	4
H11-02	2843	6063	0.47	0.0014	0.5421	0.0133	0.0683	0.0006	480	49	440	426	4
H11-03	2382	5955	0.40	0.0022	0.7044	0.0234	0.0682	0.0007	1033	61	541	425	4
H11-04	1161	3948	0.29	0.0016	0.6399	0.0173	0.0770	0.0008	583	58	502	478	5
H11-05	2328	5824	0.40	0.0032	0.7387	0.0346	0.0683	0.0008	1107	85	562	426	5
H11-06	1275	3416	0.37	0.0018	0.5379	0.0171	0.0685	0.0008	465	70	437	427	5
H11-07	1731	4477	0.39	0.0017	0.5501	0.0160	0.0684	0.0007	522	67	445	426	4
H11-08	1653	4676	0.35	0.0023	0.6417	0.0219	0.0681	0.0007	850	71	503	425	4
H11-09	1923	5102	0.38	0.0016	0.5417	0.0139	0.0684	0.0007	483	61	440	427	4
H11-10	908	2110	0.43	0.0018	0.7555	0.0250	0.0904	0.0018	591	63	571	425	4
H11-11	4132	2786	1.48	0.0028	0.6116	0.0288	0.0685	0.0008	722	93	485	427	5
H11-12	1169	3980	0.29	0.0018	0.5343	0.0162	0.0685	0.0009	443	77	435	427	6
H11-13	2116	5633	0.38	0.0017	0.5222	0.0155	0.0683	0.0007	391	70	427	426	4
H11-14	1245	4398	0.28	0.0016	0.5229	0.0147	0.0685	0.0008	391	65	427	427	5
H11-15	1237	4550	0.27	0.0016	0.5360	0.0153	0.0684	0.0008	454	65	436	426	5
H11-16	1904	5398	0.35	0.0014	0.5082	0.0131	0.0682	0.0008	346.4	91.7	417	425	5
H11-17	1187	2009	0.59	0.0020	0.6448	0.0210	0.0775	0.0012	613	72.21	505	481	7
H11-18	1568	5176	0.30	0.0017	0.5285	0.0167	0.0681	0.0009	439	70	431	425	5
H11-19	3086	6190	0.50	0.0016	0.5176	0.0146	0.0688	0.0009	389	60	424	429	5
H11-20	2465	3295	0.75	0.0018	0.6555	0.0182	0.0752	0.0009	702	60	512	468	5
花岗闪长斑岩样品 (H12-1) :													
H12-1-01	1295	4264	0.30	0.0016	0.5786	0.0159	0.0688	0.0008	633	56	464	429	5
H12-1-02	160	1176	0.14	0.0018	0.5986	0.0189	0.0760	0.0009	500	72	476	472	5
H12-1-03	918	3102	0.30	0.0018	1.8295	0.0445	0.1778	0.0019	1050	42	1056	1055	10
H12-1-04	1758	5171	0.34	0.0015	0.5270	0.0151	0.0688	0.0009	433	59	430	429	5
H12-1-05	1606	5294	0.30	0.0016	0.5125	0.0162	0.0693	0.0008	343	67	420	432	5
H12-1-06	434	2808	0.15	0.0017	1.8373	0.0452	0.1837	0.0020	994	46	1059	1087	11
H12-1-07	2752	6105	0.45	0.0012	0.5210	0.0123	0.0686	0.0007	406	45	426	428	4
H12-1-08	2977	5847	0.51	0.0010	0.4980	0.0103	0.0684	0.0008	317	44	410	427	5
H12-1-09	2186	5109	0.43	0.0010	0.5057	0.0097	0.0683	0.0006	350	41	416	426	4
H12-1-10	1750	4793	0.37	0.0008	0.4984	0.0088	0.0681	0.0006	324	37	411	425	4
H12-1-11	1899	5265	0.36	0.0009	0.4933	0.0097	0.0685	0.0010	295	39	407	427	6
H12-1-12	1641	4333	0.38	0.0011	0.6091	0.0136	0.0757	0.0007	528	43	483	470	4
H12-1-13	703	1108	0.63	0.0012	1.6126	0.0395	0.1694	0.0013	887.0	46.3	975	1009	7
H12-1-14	1761	5350	0.33	0.0014	0.4982	0.0137	0.0686	0.0006	306	59	411	428	4
H12-1-15	2740	5999	0.46	0.0015	0.4957	0.0152	0.0684	0.0007	298	67	409	427	4
H12-1-16	2382	5534	0.43	0.0019	0.5006	0.0187	0.0681	0.0008	331.5	79.6	412	424	5
H12-1-17	1289	3692	0.35	0.0023	0.5344	0.0232	0.0681	0.0008	472	86	435	425	5
H12-1-18	1533	5236	0.29	0.0016	0.4886	0.0157	0.0684	0.0006	257	70	404	427	4
H12-1-19	876	3779	0.23	0.0016	0.5058	0.0161	0.0684	0.0007	332	69	416	427	4
H12-1-20	889	2458	0.36	0.0020	0.6941	0.0357	0.0786	0.0022	665	75	535	488	13

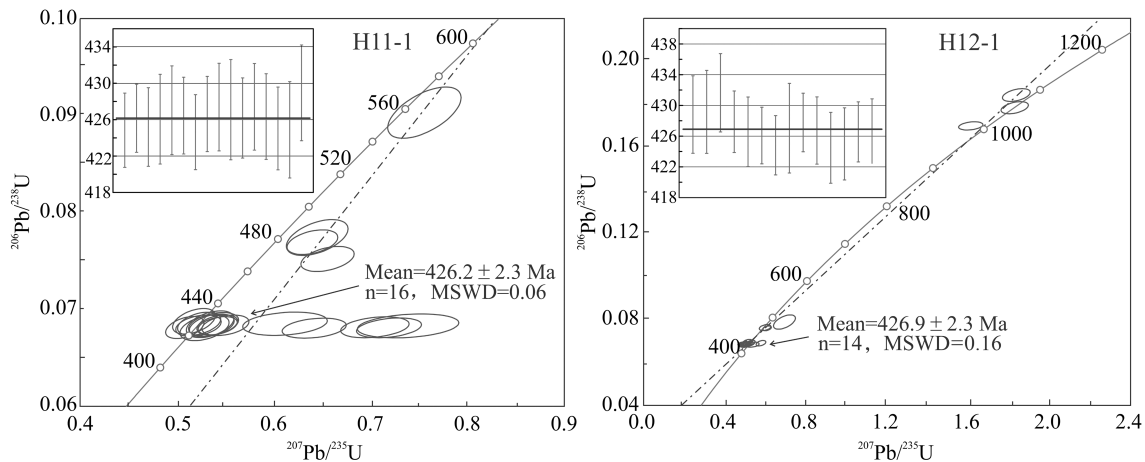


图5 花岗斑岩(H11-1)和花岗闪长斑岩(H12-1)锆石U-Pb谐和图
Fig.5 Concordia plots for zircon of granite porphyry and granodiorite porphyry in Yangyingzui

但其分布形式与Pb丢失所引起的不谐和明显不同,可能与²⁰⁷Pb较难测准有关。4个分析点(H11-1-04、10、17、20),Th/U值分别为:0.29、0.43、0.59、0.75,²⁰⁶Pb/²³⁸U表面年龄分别为:478 Ma、558 Ma、481 Ma、468 Ma,年龄值偏高,可能为继承锆石。16个分析点,Th/U值为0.27~1.48,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为425~429 Ma,加权平均年龄为(426.2±2.3)Ma,代表花岗斑岩体的形成年龄。

对花岗闪长斑岩(H12-1)20颗锆石进行了20个点测试分析,分析结果见表1,所有分析点位于谐和线或其附近(图5)。3个分析点(H12-1-03、06、13)的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb表面年龄分别为:1050 Ma、944 Ma、887 Ma,Th/U值为:0.30、0.15、0.63,CL显示锆石具有熔蚀、重结晶等现象,可能为继承锆石或岩浆捕获锆石。3个分析点(H12-1-02、12、20)²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄分别为:472 Ma、470 Ma、488 Ma,Th/U值为:0.14、0.38、0.36,CL显示锆石内部环带模糊,且呈椭圆状晶形,可能为源区继承锆石。其余14个分析点,Th/U值为0.23~0.51,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为425~429 Ma,加权平均年龄为(426.9±2.3)Ma,代表花岗斑岩体的形成年龄。

此外,花岗斑岩和花岗闪长斑岩中测得高于岩浆结晶年龄的锆石年龄分别为:468~558 Ma和470~488 Ma、887~1050 Ma,这些锆石可能为源区继承锆石或岩浆上侵时捕获的锆石,其所代表的地质意义还有待进一步研究:该区是否存在加里东期多期岩浆活动?岩浆侵位过程中是否捕获了早期岩

浆锆石?花岗斑岩和花岗闪长斑岩是否来自不同时代源区物质重熔而成?这对研究桂东北地区地壳演化与成矿作用有重要的意义。

5 讨论

5.1 区域构造-岩浆作用与成岩时代

加里东运动是华南地质构造演化历史中一次重要的褶皱造山和构造热事件。多数学者认为加里东运动是在全球板块碰撞聚合的背景下,扬子、华夏、湘桂等地块发生碰撞拼贴,形成一个初步统一的华南陆块,基本上奠定了其构造格局,并致使华夏地块边缘和内部发生强烈陆内变形和低绿片岩相变质,且伴随着广泛而强烈的花岗质岩浆作用^[38-41]。花岗岩呈面状分布,以岩基或岩盖形式产出,岩性主要是过铝质二云母二长花岗岩,黑云母二长花岗岩,白云母(石榴石)花岗岩,花岗闪长岩和角闪花岗岩较少,大多出露在扬子板块与华夏板块界线地区,如武夷-云开地区、万洋山-诸广山地区、武功山地区、桂东北地区等,其中以桂东北地区越城岭、海洋山、苗儿山花岗岩出露面积最大,总计约2000 km²。但是目前对华南加里东期花岗岩形成的动力学机制还存在较大的争议^[1, 42-45],主要有3种观点:①属沟-弧-盆复合构造体系的岛弧花岗岩;②由地体碰撞拼贴作用形成的花岗岩;③板内造山作用形成的板内性质的花岗岩。周新民^[45]认为华南加里东期花岗岩没有伴随同时期大规模火山岩系,不具备洋-陆俯冲活动大陆边缘。Wang等^[46]

在研究华南地区加里东花岗岩体时,认为成岩年龄主要集中在400~450 Ma,对应于晚奥陶世到志留纪,地球化学特征表明为壳源S型花岗岩,无洋陆俯冲碰撞属性与带状控制特点,是陆内碰撞造山事件的结果。在赣南、南岭、云开大山地区发现了大量锆石U-Pb年龄为460~380 Ma的强过铝质S型花岗岩,绝大多数为板内花岗岩或碰撞型花岗岩^[47]。在湘赣桂地区加里东期地层的沉积古地理特征研究表明,在郴州—临武断裂带两侧的加里东期沉积不存在两大古地理体系的截然跳相现象,而是表现为两侧沉积相带的指状交叉、过渡或完全相同,统一的岩相古地理元,说明在加里东期扬子地块与华夏地块间没有大洋相隔^[48],也不可能存在陆-陆碰撞造山事件^[49]。华仁民等^[1]指出加里东期桂东北地区可能是一个陆内造山带,构造变形与岩浆活动均在地壳内发生,地幔软流圈上涌提供了大量的热源。

一直以来,广西是研究中国加里东期陆内造山运动的典型地区。晚寒武世—早奥陶世郁南运动期间,云开地块由南向北运动与桂滇—北越地块发生碰撞,造成了云开地区褶皱隆升和由南向北的推覆构造^[50],导致云开大山地区形成下古生界混合岩、混合花岗岩^[51]。在桂北九万大山地区出现一些宽缓的EW向褶皱且只出露寒武系地层而无奥陶系分布,表明在寒武纪末已经开始构造隆升。同时在大明山、大瑶山地区形成了近EW向的寒武系褶皱^[52]。晚奥陶世—早志留世的崇余运动(460~440 Ma)期间,华夏地块由SE向NW运动与扬子地块发生收缩挤压,导致中地壳进入变质峰期,达到中压角闪岩相,下地壳层次也达到了高压麻粒岩相^[53-55],并形成桂东北地区早古生界NE-NNE向的褶皱-断裂带、下泥盆统莲花组超覆于下古生界寒武系之上,云开地区也发生了一些构造-岩浆热事件,形成与该时期相对应的花岗岩体,是陆内造山带强烈挤压的表现。440~390 Ma,华南形成大面积的加里东晚期中酸性岩浆侵入活动,多处可见伸展滑脱构造和韧性剪切构造^[47,56-59],表明由碰撞造山带渐变转入伸展垮塌阶段。吴浩若等^[60]在研究广西加里东运动构造古地理时提出,在志留纪末,广西地区可能并无造山运动,并在早泥盆世开始,可能由于地幔柱活动广西地区总体上处于伸展裂解的构造背景下。

本文通过LA-ICP-MS锆石U-Pb定年法获得

岩鹰嘴成矿花岗斑岩和花岗闪长斑岩的年龄分别为(426.2±2.3)Ma、(426.9±2.3)Ma,确定了岩鹰嘴钨铜多金属矿床成矿斑岩体形成于晚志留世,与临近区域广西婆姑山桂岭黑云母二长花岗岩体(424.4±5.6)Ma^[7],和大宁花岗闪长岩(419.1±6.4)Ma^[8],桂东北海洋山黑云母花岗岩(431±7)Ma^[10]和银山岭黑云母二长花岗岩(426.3±4.2)Ma^[10],桂北越城岭多个花岗岩体年龄范围417~435 Ma^[16],桂北苗儿山多个花岗岩体年龄范围404~432 Ma^[1],桂北牛塘界花岗岩体(429.6±4.3)Ma^[12]等岩体基本一致(表2)。在上述构造演化序列中,桂东北中酸性岩浆侵位事件都发生在挤压(进变质)峰期(460~440 Ma)之后和走滑韧性剪切作用(420~390 Ma)之前,表明桂东北加里东期岩体形成时代刚好处于挤压环境向伸展环境转换的过渡时期,随着应力逐渐从挤压向伸展转换,造山带地壳开始沿NE-NNE向深大断裂带减薄,导致新生幔源物质沿这些深大断裂带底侵于地壳之下,受烘烤的中下地壳变质杂砂岩在适合的温压条件下部分熔融形成花岗质岩浆,并沿深大断裂次级构造侵位形成了一系列加里东晚期花岗质岩体及相关矿床^[7,10,12,13,61](表2~3)。因此,岩鹰嘴斑岩体是在华夏地块与扬子地块由碰撞挤压造山后向伸展转换的构造背景下形成。

5.2 桂东北地区加里东期成矿作用

徐克勤先生于20世纪50年代在华南发现未变质的加里东期花岗岩,引起了众多地质学家对华南加里东期花岗岩时空分布、地质地球化学特征、岩石成因及构造背景等的关注。但是对加里东期花岗岩类与成矿关系研究很少,甚至早期的研究认为加里东期花岗岩一般不成矿^[1]。近年来,随着国家实施危机矿山找矿计划、国土资源大调查和地方政府地质勘查基金等项目的实施,在华南地区陆续发现了一些加里东期W-Mo多金属矿床^[1,12,62-64],这也打破了华南加里东期花岗岩不成矿的传统观念,迫切需要地质工作者转变找矿思路,正确理解华南加里东期花岗质岩浆活动与成矿作用的关系。

南岭成矿带加里东期成岩和成矿整体呈现出一定的空间分布规律,与成矿有关系的加里东期侵入岩均受北东向褶皱-断裂控制,由南东向北西可分为3个区带:①大宁、永和、太宝、桂东;②彭公庙、汤湖、万洋山、雪花顶;③桂东北的苗儿山、越城岭、

表2 桂东北地区加里东期典型花岗岩成岩年龄
Table 2 Isotopic age statistics of typical Caledonian granites in northeast Guangxi

地区	岩体位置	岩石类型	成岩年龄/Ma	分析方法	参考文献
苗儿山	北部	黑云母花岗岩	407.6±3.5	LA-ICP-MS	文献[1]
		黑云母花岗岩	404±4	SHRIMP	文献[14]
	中部	花岗岩	424.6±3.3; 413.7±4.3	LA-ICP-MS	文献[1]
		张家岭	花岗岩	432.5±2.7; 431.8±7.0	LA-ICP-MS
越城岭	牛塘界	黑云母花岗岩	429.6±4.3	SHRIMP	文献[12]
	东南部	黑云母花岗岩	435±4	SHRIMP	文献[14]
	西南部	含角闪石黑云母花岗岩	427±4	SHRIMP	文献[14]
		中部	黑云母花岗岩	417±6	SHRIMP
	中西部	黑云母花岗岩	424±3	SIM	文献[15]
	海洋山	中西部	黑云母二长花岗岩	426.3±4.2; 431±7	SHRIMP
都庞岭	中部	黑云母二长花岗岩	428±4	SIM	文献[15]
婆姑山	桂岭	黑云母二长花岗岩	424.4±5.6	SHRIMP	文献[7]
	大宁	花岗闪长岩	419.1±6.4	SHRIMP	文献[8]

都庞岭、海洋山等,总体呈北东向展布,岩石类型由花岗闪长岩向二长花岗岩过渡,具有较好钨多金属和铅锌多金属成矿潜力^[6]。在桂东北地区,志留纪越城岭、猫儿山、海洋山、大宁、桂岭等花岗岩体周围分布着一系列钨锡钼铜多金属矿床。对于桂东北地区加里东期成矿作用,以往研究相对较薄弱。早期陈毓川等(1995)^[65]认为由于加里东期花岗岩分异程度较低,成矿较差或不成矿,仅有越城岭牛塘界白钨矿矿床可以达到中型规模,且成矿时代又缺乏测年资料。李晓峰等(2009)^[7]通过对桂东北姑婆山白石顶钼矿床成矿黑云母二长花岗岩(锆石 SHRIMP U-Pb)和辉钼矿(Re-Os 同位素)进行了测年,黑云母二长花岗岩年龄为(424.4±5.6)Ma,6件辉钼矿 Re-Os 的加权平均年龄为(424.6±5.7)Ma,矿床规模可达中型,矿床形成于志留纪,属于加里东期构造岩浆活动的产物,形成于由挤压向伸展转换

构造环境中,认为在华南地区志留纪发生了金属钨的富集成矿作用。随后,李晓峰等(2012)^[12]对桂东北越城岭牛塘界矿床成矿黑云母花岗岩(锆石 SHRIMP U-Pb)和矽卡岩中的白钨矿(Sm-Nd 同位素)进行了测年,黑云母花岗岩年龄为(429.6±4.3)Ma,白钨矿年龄为(431±12)Ma,成岩成矿时代均为志留纪。相继研究表明,桂东北海洋山、银山岭、张公岭等岩体有关的 W、Sn-Pb-Zn、Pb-Zn 等矿床成岩成矿均发生在加里东期志留纪^[7,8,10,12],成岩成矿时代基本一致(表3),也进一步证实了桂东北地区存在加里东期(志留纪)成矿作用。

李晓等(2012)^[12]对岩鹰嘴 W-Mo-Cu 矿床成矿斑岩体锆石中 Th-U 的含量,以及阴极发光特征及邻区岩体对比分析,推断该矿床形成与印支期,可能为晚三叠世,但缺乏测年资料给予证实。本次研究中所获得测年样品均与 W、Mo 矿化密切相关的

表3 桂东北地区典型金属矿床成岩成矿时代
Table 3 Rock-forming and ore-forming ages of typical ore deposits in northeast Guangxi

矿床名称	矿种类型	与成矿有关岩石类型	成岩年龄/Ma	成矿年龄/Ma	分析方法	成矿时代	参考文献
越城岭牛塘界	W	黑云母花岗岩	429.6±4.3	431±12	白钨矿 Sm-Nd	志留纪	文献[12]
桂岭白石顶	Mo-W	(角闪石)黑云母二长花岗岩	424.4±5.6	424.6±5.7	辉钼矿 Re-Os	志留纪	文献[7]
大宁张公岭	Pb-Zn	花岗闪长岩	419.1±6.4			志留纪	文献[8]
银山岭	Sn-Pb-Zn	黑云母二长花岗岩	426.3±4.2			志留纪	文献[10]
海洋山	W	黑云母花岗岩	431±7			志留纪	文献[10]

成矿斑岩体,获得的加里东期成岩年龄分别为(426.2±2.3)Ma、(426.9±2.3)Ma,与桂东北加里东期矿床的成矿花岗岩成岩年龄和成矿时代基本一致,且处于相同大地构造位置(均属华夏板块与扬子板块结合部位),均受桂东北NE向构造控制,暗示了可能受同一构造热事件影响,即该地区钨多金属矿床成矿岩体形成于加里东期华夏地块与扬子地块由挤压向伸展转换的动力学背景下。岩鹰嘴斑岩-矽卡岩型矿床矿体赋存在斑岩体内及岩体的内、外接触带,矿床的形成与花岗斑岩和花岗闪长斑岩在空间上关系密切。徐文杰等^[25]通过矿床地质特征认为,岩浆活动可能直接为岩鹰嘴钨钼铜多金属矿区提供了成矿物质来源。以上信息,间接地说明了岩鹰嘴斑岩-矽卡岩型矿床可能形成于加里东期,即桂东北富川地区可能存在加里东期成矿作用。因此,桂东北地区加里东期的花岗岩还是值得研究,同时,深入研究加里东期花岗岩及其有关的金属成矿作用,对于认识华南地区加里东期构造岩浆演化也具有重要的科学意义。

6 对找矿勘查的指导意义

岩鹰嘴地区受区域构造控制明显,加里东期岩体主要受该期都庞岭、海洋山、银定山NNE向和近NS向基底褶皱控制,岩体均侵入于复背斜核部的寒武纪—奥陶纪地层中,并发育一系列与花岗岩有关的W—Mo—Sn—Pb—Zn矿床,而且不同地段背斜内产铜、汞等矿产^[12],矿化成因与加里东期岩浆活动关系密切,且NNE向构造带是加里东期主要的控岩控矿构造,岩鹰嘴地区W—Mo—Cu多金属矿区斑岩体成岩时代的确定,佐证了南岭桂东北成矿带在加里东期发生过重要的成岩—成矿事件,这对区域成矿研究及找矿具有重要的理论与实践意义。此外,在矿区西北部地表处,见逾6 m厚的矽卡岩矿体及逾10 m厚的细脉带矿体,Cu平均品位为0.13%、WO₃平均品位为0.22%、Mo平均品位为0.11%;在坑道内见近20余米厚的斑岩型钨钼矿体,WO₃平均品位为0.23%、Mo平均品位0.03%;在东部地表见10 m多厚的细脉带斑岩型矿体,Cu平均品位0.13%、WO₃平均品位0.1%、Mo平均品位0.02%,显示该区钨钼铜矿化普遍并以斑岩型钨钼矿为主。从成矿因素

分析,钼矿化与硅化关系较为密切,而该地区花岗斑岩硅化强烈,说明该区是寻找铜钨钼矿床的有利地区。

值得注意的是,岩鹰嘴钨钼铜多金属矿化区及外围水系沉积物Au、Sb、Cu、W、Ag、Pb异常和重砂异常,以分布面积大、异常值高、衬度清晰为特征^①;区内泥盆纪地层与下伏寒武纪边溪组的角度不整合界线附近,下伏的寒武纪边溪组角岩化明显,宽几十米,可见到斑点状的变质矿物,可能为红柱石。因此,岩鹰嘴矿化区外围同样是寻找加里东期隐伏钨钼铜矿床的有利地段。

7 结 论

(1)笔者在前人研究的基础上首次采用高精度LA-ICP-MS锆石U—Pb测年技术对岩鹰嘴钨钼铜多金属矿床成矿花岗斑岩和花岗闪长斑岩进行了年代学研究,获得花岗斑岩和花岗闪长斑岩的锆石年龄分别为(426.2±2.3)Ma和(426.9±2.3)Ma,为晚志留世,表明这些成矿岩体是华南加里东造山运动在晚志留世由挤压向伸展转换的构造环境下岩浆活动的产物。

(2)结合区域构造演化、区域成岩成矿时代对比和矿床地质特征,推测岩鹰嘴W—Mo—Cu多金属矿区成矿作用可能发生于晚志留世,与桂东北地区加里东期W—Mo矿床产于同一时期、同一构造背景,表明在志留纪桂东北地区存在一定强度的钨钼成矿作用。

(3)花岗斑岩、花岗闪长斑岩分布带和NE向构造—岩浆带,是区内寻找斑岩型多金属矿床的有利地区;岩鹰嘴矿化区外围同样是寻找加里东期隐伏钨钼铜矿床的有利地段。

致谢: 锆石阴极发光图像和LA-ICP-MS实验得到中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室郑暑和胡兆初老师的支持,匿名审稿人给本文提出建设性的修改意见,在此一并致以衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 华仁民,张文兰,陈培荣,等. 初论华南加里东花岗岩与大规模成矿作用的关系[J]. 高校地质学报, 2013, 19(1): 1-11.

①广西壮族自治区地质矿产勘查开发局. 1:20万江永幅水系沉积物测量报告, 1994.

- Hua Renmin, Zhang Wenlan, Chen Peirong, et al. Relationship between Caledonian granitoids and large-scale mineralization in south China[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- [2] 孙涛. 新编华南花岗岩分布图及其说明[J]. 地质通报, 2006, 25(3): 332-335.
Sun Tao. A new map showing the distribution of granites in South China and its explanatory notes[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(3): 332-335(in Chinese with English abstract).
- [3] 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): 300-307.
Hua Renmin, Mao Jingwen. A Preliminary discussion on the mesozoic metallogenic explosion in east China[J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 300-307(in Chinese with English abstract).
- [4] 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 291-299.
Miao Jingwen, Hua Renmin, Li Xiaobo. A Preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits[J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 291-299. (in Chinese with English abstract).
- [5] 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.
Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(2): 99-107(in Chinese with English abstract).
- [6] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 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.
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, et al. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2329-2338(in Chinese with English abstract).
- [7] 李晓峰, 冯佐海, 李容森, 等. 华南志留纪钨的矿化: 桂岭岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和白石顶石英脉型钨矿矿体的 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 403-412.
Li Xiaofeng, Feng Zuohai, Li Rongsen, et al. Silurian Mo mineralization at Baishiding molybdenum deposit in northern Guangxi: Constraints from zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os ages[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(4): 403-412(in Chinese with English abstract).
- [8] 程顺波, 付建明, 徐德明, 等. 桂东北大宁岩体锆石 SHRIMP 年代学和地球化学研究[J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1278-1288.
Cheng Shunbo, Fu Jianming, Xu Deming, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemical characteristics of Daning batholith in northeast Guangxi[J]. Geology in China, 2009, 36(6): 1278-1288 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王彦斌, 王登红, 韩娟, 等. 湖南益将稀土-钨矿的石英闪长岩锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素特征: 湘南加里东期岩浆活动的年代学证据[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1062-1070.
Wang Yanbin, Wang Denghong, Han Juan, et al. U-Pb dating and Hf isotopic characteristics of zircons from quartz-diorite in the Yijiang REE-Sc deposit, Rucheng County, Hunan: Constraints on the timing of Caledonian magmatic activity in South China[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1062-1070(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈希清, 付建明, 程顺波, 等. 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.
Chen Xiqing, Fu Jianming, Cheng Shunbo, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and Mineralization Significance of Yinshanling Granite, Northeastern Guangxi Province[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2011, 27(2): 85-89(in Chinese with English abstract).
- [11] 陈懋弘, 莫次生, 黄智忠, 等. 广西苍梧县社洞钨钼矿床花岗岩类锆石 LA-ICP-MS 和辉钨矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 963-978.
Chen Maohong, Mo Chisheng, Huang Zhizhong, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of granitoid rocks and molybdenite Re-Os age of Shedong W-Mo deposit in Cangwu County of Guangxi and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2011, 30(6): 963-978(in Chinese with English abstract).
- [12] 李晓峰, 冯佐海, 肖荣, 等. 桂东北钨锡稀有金属矿床的成矿类型、成矿时代及其地质背景[J]. 地质学报, 2012, 86(11): 1713-1725.
Li Xiaofeng, Feng Zuohai, Xiao Rong, et al. Spatial and Temporal Distributions and the Geological Setting of the W-Sn-Mo-Nb-Ta Deposits at the Northeast Guangxi, South China[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(11): 1713-1725(in Chinese with English abstract).
- [13] 程顺波, 付建明, 陈希清, 等. 桂东北海洋山岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年和地球化学研究[J]. 华南地质与矿产, 2012, 29(2): 132-140.
Cheng Shunbo, Fu Jianming, Chen Xiqing, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and Geochemical characteristics of Haiyangshan Monzogranitic Batholith, Northeast Guangxi[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2012, 29(2): 132-140(in Chinese with English abstract).
- [14] 赵奎东, 江少勇, 孙涛, 等. 锆石 U-Pb 定年, 微量元素和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学的 Paleozoic 花岗岩在苗岭-越城岭岩体, 华南: 对成岩作用和构造-岩浆演化的启示[J]. 亚洲地球科学杂志, 2013, 74: 244-264.
Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong, Sun Tao, et al. Zircon U-Pb dating, trace element and Sr-Nd-Hf isotope geochemistry of Paleozoic granites in the Miao'ershan-Yuechengling batholith, South China: Implication for petrogenesis and tectonic-magmatic evolution[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 74: 244-264.
- [15] 储阳, 林伟, Faure M, 等. 泛生代构造热事件: 湘南徐凤山带, 中央华南: 来自 U-Pb 年龄和 Lu-Hf 测定花岗岩的启示[J]. 岩石, 2012, 150: 243-255.
- [16] 程顺波, 付建明, 马丽艳, 等. 南岭地区加里东期花岗岩地球化

- 学特征、岩石成因及含矿性评价[J]. 华南地质与矿产, 2013, 29(1): 1-11.
- Cheng Shunbo, Fu Jianming, Ma Liyan, et al. Geochemical characteristics, petrogenesis and ore potential evaluation of Caledonian granitoids in Nanling Range, South China[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2013, 29(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- [17] 马铁球, 柏道远, 邝军, 等. 湘东南茶陵地区锡田岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2005, 24(5): 415-419.
- Ma Tieqiu, Bai Daoyuan, Kuang Jun, et al. Zircon SHRIMP dating of the Xitian granite pluton, Chaling, southeastern Hunan, and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(5): 415-419(in Chinese with English abstract).
- [18] 柏道远, 陈建成, 马铁球, 等. 王仙岭岩体地质地球化学特征及其对湘东南印支晚期构造环境的制约[J]. 地球化学, 2006, 35(2): 113-125.
- Bai Daoyuan, Chen Jiancheng, Ma Tieqiu, et al. Geochemical characteristics of Wangxianling granitic pluton and its constraints on Late Indosinian tectonic setting of Southeast Hunan[J]. *Geochimica*, 2006, 35(2): 113-125(in Chinese with English abstract).
- [19] 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.
- Cai Minghai, Chen Kaixu, Qu Wenjun, et al. Geological characteristics and Re-Os dating of molybdenites in Hehuaping tin-polymetallic deposit, southern Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(3): 263-268.
- [20] 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.
- Liu Shanbao, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of muscovite from different types tungsten-bearing quartz veins in the Chong—Yu—You concentrated mineral areain gannan region and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(7): 932-940(in Chinese with English abstract).
- [21] 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]. 桂林工学院学报, 2009, 26(1): 21-24.
- Yang Feng, Li Xiaofeng, Feng Zuohai, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of muscovite from greisenized granite and geological significance in Limu tin deposit[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2009, 26(1): 21-24(in Chinese with English abstract).
- [22] 邹先武, 崔森, 屈文俊, 等. 广西都庞岭李贵福钨锡多金属矿 Re-Os 同位素定年研究[J]. 中国地质, 2009, 36(4): 837-844.
- Zou Xianwu, Cui Sen, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotope dating of the Ligufu tungsten-tin polymetallic deposit in Dupangling area, Guangxi[J]. *Geology in China*, 2009, 36(4): 837-844(in Chinese with English abstract).
- [23] 程顺波, 付建明, 马丽艳, 等. 桂东北越城岭—苗儿山地区印支期成矿作用: 油麻岭和界牌矿区成矿花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素制约[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1189-1201.
- Cheng Shunbo, Fu Jianming, Ma Liyan, et al. Indosinian metallogenic activity in Yuechengling-Miaoershan area, northeastern Guangxi: Implications from zircon U-Pb ages and Hf isotopic constraint on ore-forming granites in Youmaling and Jiepai deposits[J]. *Geology in China*, 2013, 40(4): 1189-1201(in Chinese with English abstract).
- [24] 杨振, 张文兰, 王汝成, 等. 桂北油麻岭钨矿区成矿岩体的年代学, 地球化学及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2013, (1): 159-172.
- Yang Zhen, Zhang Wenlan, Wang Rucheng, et al. Geochronology and Geochemical Characteristics of Metallogenic Pluton in the Youmaling Tungsten Mining Area, Northern Guangxi Province, and Its Geological Significance[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2013, (1): 159-172.
- [25] 徐文杰, 刘伟, 刘运锴, 等. 广西岩鹰嘴地区钨铜多金属矿床地质特征及成矿模式[J]. 南方国土资源, 2010, 26(9): 25-27.
- Xu Wenjie, Liu Wei, Liu Yune, et al. Geological features of W-Mo-Cu mineral deposits and its metallogenic model in Yanyingzui, Guangxi[J]. *Land and Resources of Southern China*, 2010, 26(9): 25-27(in Chinese with English abstract).
- [26] 陆小平. 桂东北地区钨锡找矿潜力与成矿预测初步探讨[J]. 矿产与地质, 2009, 23(4): 316-321.
- Lu Xiaoping. Discussion of exploration potential and mineralization forecast of tungsten and tin deposit in northeast Guangxi[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2009, 23(4): 316-321(in Chinese with English abstract).
- [27] 杨斌, 彭省临, 李水如, 等. 广西有色金属成矿系列与成矿区带[J]. 矿产与地质, 2007, 21(1): 8-11.
- Yang Bing, Peng Shenglin, Li Shuiru, et al. Metallogenic series and metallogenic belt of nonferrous metals in Guangxi[J]. *Mineral Resource and Geology*, 2007, 21(1): 8-11(in Chinese with English abstract).
- [28] Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. *Geostandards Newsletter*, 1995, 19(1): 1-23.
- [29] Pearce N J, Perkins W T, Westgate J A, et al. A compilation of new and published major and trace element data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 glass reference materials[J]. *Geostandards Newsletter*, 1997, 21(1): 115-144.
- [30] Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [31] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical geology*, 2002, 192(1): 59-79.
- [32] Ludwig K R. Isoplot/Ex Version 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochron Centre Special Publication, 2003(4): 1-70.

- [33] Gao San, Rudnick R L, Yuan Hongling, et al. Recycling lower continental crust in the North China craton[J]. *Nature*, 2004, 432 (7019): 892-897.
- [34] Yuan Hongling, Gao San, Liu Xiaoming, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2004, 28(3): 353-370.
- [35] Pidgeon R T, Nemchin A A, Hitchen G J. Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range batholith: Implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1998, 132 (3): 288-299.
- [36] Corfu F, Hanchar J M, Hoskin P W, et al. Atlas of zircon textures[J]. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 2003, 53 (1): 469-500.
- [37] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16): 1589-1604.
Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Petrogenesis study of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age dating[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(16): 1589-1604(in Chinese with English abstract).
- [38] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 418-431.
Shu Liangshu. Predevonian tectonic evolution of South China: from Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(4): 418-431(in Chinese with English abstract).
- [39] 王鹤年, 周丽娅. 华南地质构造的再认识[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 457-465.
Wang Henian, Zhou Liya. A Further understanding in geological structure of South China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(4): 457-465(in Chinese with English abstract).
- [40] 舒良树. 华南构造演化的基本特征[J]. *地质通报*, 2012, 31(7): 1035-1053.
Shu Liangshu. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(7): 1035-1053(in Chinese with English abstract).
- [41] Wang Yuejun, Fan Wei ming, Zhang Guowei, et al. Phanerozoic tectonics of the South China Block: key observations and controversies[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1273-1305.
- [42] 郭令智, 施央申, 马瑞士. 华南大地构造格架和地壳演化[C]//26届国际地质大会论文集, 北京: 地质出版社, 1980: 109-116.
Guo Linzhi, Shi Yangsheng, Ma Ruishi. The geotectonic framework and crustal evolution of South China[C]//Proceedings of the 26th IGC(vol. 1), . Beijing: Geological Publishing House, 1980: 109-116(in Chinese).
- [43] 刘宝珺, 许效松, 潘杏南. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 9-33.
Liu BaoJun, Xu Xiaosong, Pan Xingnan. Sedimentary Crustal Evolution and Metallogenesis of the South China Palecontinent[M]. Beijing: Science Press, 1993: 9-33(in Chinese).
- [44] 邱元禧, 张渝昌, 马文璞. 雪峰山的构造性质与演化——一个陆内造山带的形成演化模式[M]. 广州: 中山大学出版社, 1999: 1-153.
Qiu Yuanxi, Zhang Yuchang, Ma Wenpu. Structural Feature and its Evolution in Xuefeng Mts—Intracontinental Orogenic Zone[M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 1999: 1-153 (in Chinese).
- [45] 周新民. 对华南花岗岩研究的若干思考[J]. *高校地质学报*, 2003, 9(4): 556-565.
Zhou Ximin. 2003. My thinking about granite geneses of South China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(4): 556-565(in Chinese with English abstract).
- [46] Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, et al. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China Block[J]. *Gondwana Research*, 2007, 12(4): 404-416.
- [47] 舒良树, 于津海, 贾东, 等. 华南东段早古生代造山带研究[J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1581-1593.
Shu Liangshu, Yu Jinhai, Jia Dong, et al. Early Paleozoic orogenic belt in the eastern segment of South China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(10): 1581-1593(in Chinese with English abstract).
- [48] 李聪, 陈世悦, 张鹏飞, 等. 华南加里东期陆内构造属性探讨[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2010, 34(5): 18-24.
Li Cong, Chen Shiyue, Zhang Pengfei, et al. Research of South China Caledonian intracontinental tectonic attribute[J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2010, 34(5): 18-24(in Chinese with English abstract).
- [49] 郝义, 李三忠, 金宠, 等. 湘赣桂地区加里东期构造变形特征及成因分析[J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 34(2): 166-180.
Hao Yi, Li San-zhong, Jin Chong, et al. Caledonian Structural Characteristics and Mechanism in Hunan- Jiangxi- Guangxi Provinces[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2010, 34(2): 166-180 (in Chinese with English abstract).
- [50] 丘元禧, 梁新权. 两广云开大山—十万大山地区盆山耦合构造演化——兼论华南若干区域构造问题[J]. *地质通报*, 2006, 25 (3): 340-347.
Qiu Yuanxi, Liang Xinquan. Evolution of basin-range coupling in the Yunkai Dashan-Shiwan area, Guangdong and Guangxi: with a discussion of several tectonic problems of South China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(3): 340-347(in Chinese with English abstract).
- [51] 丘元禧. 云开大山及其邻区构造演化[C]//邱元禧、陈焕疆主编. 云开大山及其邻区地质构造论文集. 北京: 地质出版社, 1993: 1-11.
Qiu Yuanxi. Tectonics and its evolution of the Yunkai Mountains and adjacent area[C]//Qiu, Yuanxi, Chen Huanjiang (eds.),

- Anthology of Thesis on the Geological Structures of the Yunkaidashan Mountains and Adjacent Region. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1–11(in Chinese).
- [52] 刘博, 李三忠, 周永刚, 等. 桂北河池—宜州断裂带构造特征及其演化: 柳城段浅部到深部结构的启示[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(4): 488–496.
- Liu Bo, Li Sanzhong, Zhou Yonggang, et al. Structural features and evolution of the Hechi—Yizhou fault zone, Northern Guangxi: insights from shallow to deep structures of its Liucheng segment[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(4): 488–496 (in Chinese with English abstract).
- [53] 王德滋, 林承毅, 周新民. 江西慈竹英云闪长岩体及其周围区域变质岩石的成因[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1978(1): 81–99.
- Wang Dezi, Lin Chengyi, Zhou Xinmin. Petrogenesis of tonalite and the surrounding regional metamorphic rocks in Cizu, Jiangxi Province[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 1978, (1): 81–99(in Chinese with English abstract).
- [54] 邓国辉, 肖志坚, 朱庆敏. 浅析江西宜黄地区中深变质岩系与浅变质岩系的关系[J]. 中国区域地质, 1998, 17(4): 83–87.
- Deng Guohui, Xiao Zhijian, Zhu Qingming. Relation between the medium and high-grade metamorphic series and low-grade metamorphic series in the YiHuang area, JiangXi[J]. *Regional Geology of China*, 1998, 17(4): 83–87(in Chinese with English abstract).
- [55] 于津海, 周新民, 赵蕾, 等. 南岭东段麻粒岩相变质岩的发现及其地质意义[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 461–467.
- Yu Jinhai, Zhou Xinmin, Zhao Lei, et al. Discovery and implications of granulite facies metamorphic rocks in the eastern Nanling, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(3): 461–467 (in Chinese with English abstract).
- [56] 赖绍聪, 隆平. 江西茅排金矿床含金韧性剪切带构造特征[J]. 西北地质, 1997, 18(3): 53–58.
- Lai Shaocong, Long Ping. Tectonic characteristics of the ductile shear zone in Maopai gold deposit area, Jiangxi Province, China[J]. *Northwest Geology*, 1997, 18(3): 53–58(in Chinese with English abstract).
- [57] 侯光久, 索书田, 郑贵州, 等. 雪峰山加里东造山运动及其体制转换[J]. 湖南地质, 1998, 17(3): 4–7.
- Hou Guangjiu, Suo Shutian, Zheng Guizhou, et al. Caledonian orogenesis and system-transition in the Xueengshan area[J]. *Hunan Geology*, 1998, 17(3): 4–7(in Chinese with English abstract).
- [58] 张桂林, 梁金城, 冯佐海, 等. 越城岭花岗岩体西侧滑脱型韧性剪切带的发现及其形成的构造体制[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(2): 131–137.
- Zhang Guilin, Liang Jincheng, Feng Zuomei, et al. Discovery of detached ductile shear zone and its sturctual mechanism in the west of Yuechengling granite plunton[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2002, 26(2): 131–137(in Chinese with English abstract).
- [59] 舒良树, 卢华复, 贾东, 等. 华南武夷山早古生代构造事件的⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年龄研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1999, 35(6): 26–32.
- Shu Liangshu, Lu Huaifu, Jia Dong, et al. Study of the ⁴⁰Ar/³⁹Ar isotopic age for the early paleozoic tectonothermal event in the Wuyishan region, South China[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 1999, 35(6): 26–32(in Chinese with English abstract).
- [60] 吴浩若. 广西加里东运动构造古地理问题[J]. 古地理学报, 2000, 2(1): 70–76.
- Wu Haoruo. A discussion on the tectonic palaeogeography related to the caledonian movement in Guangxi[J]. *Journal of Paleogeography*, 2000, 2(1): 70–76(in Chinese).
- [61] 程顺波, 付建明, 庞迎春, 等. 桂东北海洋山岩体的地球化学特征及锆石 SHRIMP U–Pb 定年[J]. 矿床地质, 2010, 29(S1): 1079–1080.
- Cheng Shunbo, Fu Jianming, Pang Yingchun, et al. Geochemical characteristics and of Zircon SHRIMP U–Pb Dating Haiyangshan Monzogranitic Batholith, Northeast Guangxi[J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29(S1): 1079–1080(in Chinese with English abstract).
- [62] 李光来, 华仁民, 胡东泉, 等. 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.
- Li Guanglai, Hua Renmin, Hu Dongquan, et al. Petrogenesis of Shilei quartz diorite in southern Jiangxi: Constraints from petrochemistry, trace elements of accessory minerals, zircon U–Pb dating, and Sr–Nd–Hf isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(3): 903–918(in Chinese with English abstract).
- [63] 翟伟, 孙晓明, 邬云山, 等. 粤北梅子窝钨矿区隐伏花岗闪长岩锆石 SHRIMP U–Pb 年龄与⁴⁰Ar/³⁹Ar 成矿年龄及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2010, 16(2): 177–185.
- Zhai Wei, Sun Xiaoming, Wu Yunshan, et al. Zircon SHRIMP U–Pb dating of the buried granodiorite and muscovite ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of mineralization and geological implications of Meiziwo tungsten deposit, Northern Guangdong Province, China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2010, 16(2): 177–185 (in Chinese with English abstract).
- [64] Zhang Wenlan, Wang Rucheng, Lei Zhehe, et al. Zircon U–Pb dating confirms existence of a Caledonian scheelite-bearing aplitic vein in the Penggongmiao granite batholith, South Hunan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(19): 2031–2036.
- [65] 陈毓川, 毛景文, 邹天人. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1995: 1–433.
- Chen Yuchuan, Man Jingwen, Zou Tianren. *Metallogenic Series of Ore Deposits and Metallogenic Evolution through Geological History in North Guangxi*[M]. Nanning: Guangxi Scientific and Technological Press, 1995: 1–433(in Chinese).

LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the granitic and granodioritic porphyries from the Yanyingzui W-Mo-Cu polymetallic ore district in Fuchuan area, Guangxi, and its geological implications

LIU Wei^{1,2}, ZENG Zuo-xun^{1,3}, LI Shao-fan¹, HE Chi-cheng¹,
YANG Bao-zhong¹, LIU Jian-xiong⁴

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Gold Headquarters of Chinese Armed Police Force, Beijing 100055, China;

3. Huazhong Tectonomechanical Research Center, Wuhan 430074, Hubei, China;

4. Foshan Geological Bureau of Guangdong Province, Foshan 528000, Guangdong, China)

Abstract: The Yanyingzui W-Mo-Cu polymetallic deposit is located in the middle segment of the northeast Guangxi metallogenic belt. Orebodies occur within the porphyry and skarn of the contact zone, and mineralization is closely related to the Yanyingzui porphyry. Up till now, however, there have been no precise data concerning the porphyry mineralization age of this ore deposit. The authors conducted the LA-ICP-MS zircon U-Pb chronologic study of the mineralized granite porphyry and granodiorite porphyry in the Yanyingzui W-Mo-Cu deposit and obtained ages of (426.2 ± 2.3) Ma and (426.9 ± 2.3) Ma, indicating that the porphyry is a product of tectonic-magmatic activity during the Caledonian. Combined with regional tectonic evolution, contrastive study of the timing for diagenesis and mineralization as well as geological characteristics of ores, it is suggested that the ore-forming and igneous activities of the Yanyingzui W-Mo-Cu polymetallic deposit occurred during Late Silurian, when the tectonic setting of the deposit was in the transition period from collision orogeny compression to extension. The Yanyingzui W-Mo-Cu polymetallic deposit has the same metallogenic age and same structural setting as the northeast Guangxi W-Mo mineralization belt, implying that the probable existence of an intense W-Mo-Cu mineralization during Caledonian period in northeast Guangxi. In addition, the NE-trending tectonomagmatic belt, the porphyry body zone and the periphery of the mineralization area are favorable areas in search for porphyry-skarn-type W-Mo-Cu polymetallic deposits, homologous series deposits and concealed ore deposits, and hence more attention should be paid to the exploration and evaluation of the study area in the future.

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; granite porphyry; granodiorite porphyry; Yanyingzui W-Mo-Cu polymetallic deposit; northeast Guangxi metallogenic belt

About the first author: LIU Wei, male, born in 1989, master candidate, majors in structural geology and mineral deposit; E-mail: weiliu2011@163.com.

About the corresponding author: ZENG Zuo-xun, male, born in 1954, supervisor of doctor candidates, engages in structural geology and ore-forming structure; E-mail: zuoxun.zeng@126.com.