

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

李晓峰¹⁾, 冯佐海²⁾, 肖荣³⁾, 宋慈安²⁾, 杨锋²⁾, 王翠云²⁾, 康志强¹⁾, 毛伟¹⁾

1) 矿床地球化学国家重点实验室, 中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002;

2) 桂林理工大学地球科学学院, 广西桂林, 541004; 3) 湖南地质调查院, 长沙, 410116

内容提要:在大地构造位置上, 桂东北地区位于江南造山带与华南褶皱带的过渡部位, 具有独特的构造地理位置。在精细测试一系列典型矿床及其有关的花岗岩年代学的基础上, 本文根据矿床类型、成矿元素组合, 把该地区矿床分为6个成矿系统: ①与志留纪花岗岩有关 W-Mo 矿; ②与二叠世花岗岩有关 Pb-Zn 矿床; ③与晚三叠世花岗岩有关 W-Mo 和 Sn-Nb-Ta 矿床; ④与中一晚侏罗世花岗岩有关的 W-Sn 矿床; ⑤与白垩世花岗岩有关的 W-Sn 矿床; ⑥与花岗岩有关的铀矿。这些矿床的形成与不同时期构造-岩浆演化密切相关, 主要形成于同碰撞挤压环境或者碰撞后伸展环境。

关键词:加里东期花岗岩; 印支期花岗岩; 燕山期花岗岩; W-Sn-Mo-Nb-Ta 矿床成矿作用; 桂东北; 华南

桂东北地区(本文指东经 111°以东, 北纬 24°以北的广西壮族自治区地区)位于南岭成矿带的西段, 扬子地块与华南褶皱带的衔接部位, 跨越桂中-桂东台陷、桂东早-中海西台陷和大瑶山台隆等 3 个构造单元。近 10 年来, 随着高精度测年分析技术的运用, 桂东北地区重要花岗岩的成岩年龄及其有关的矿床的成矿时代得到了精细的厘定, 一些疑难的问题得到了解决, 如花山-姑婆山地区原先认为是印支期的牛庙岩体和同安岩体被厘定为燕山期岩体; 原先被认为是印支岩体的桂岭岩体被厘定为加里东期岩体。随着地质工作程度的不断深入, 越来越精细的地质过程得以正确解析。本文在野外详细观察的基础上, 通过对该地区典型矿床成矿时代(辉钼矿 Re-Os 法、白云母 Ar-Ar 法)及其有关的花岗岩的成岩时代(锆石 SHRIMP U-Pb 法和 LA-ICP-MS U-Pb 法)的精确测定, 并结合矿床类型及其有关的花岗岩特点, 建立了桂东北地区主要金属矿床的成矿系统, 并初步探讨了其成矿地质背景。

1 区域地质背景

桂东北地区位于江南造山带与华南褶皱带的过渡部位。由于其独特的地质构造位置, 一直是华南

大地构造演化及其成矿作用研究的重点地区。自元古宙以来, 桂东北地区经历了多期次构造岩浆活动, 并形成相应的成矿作用及成矿系统。在大地构造位置上, 它跨越桂中-桂东台陷、桂东早-中海西台陷和大瑶山台隆等 3 个构造单元(图 1)(广西壮族自治区地质矿产局, 1985)。桂北台隆位于广西北部九万大山-越城岭一带。它是在经历了古一中元古代地槽和新元古代一早古生代地槽发展后, 经广西运动(加里东运动)成为海西—印支构造阶段的隆起。该地区仅出露少许丹洲群和震旦系, 主要是寒武系和奥陶系。加里东期运动在该区形成海洋山、苗儿山和越城岭 3 个复背斜, 并在复背斜的核部有加里东期花岗岩侵入。燕山运动早期在苗儿山和越城岭形成一些规模较小的花岗岩体, 并伴有钨锡等多金属矿床。桂东早-中海西台陷主要发育泥盆系和石炭系地台型碎屑岩沉积。在某些复向斜核部还保存二叠系和下三叠统。在都庞岭、海洋山、驾桥岭和银顶山 NNE 向和近 NS 向复背斜核部出露寒武系—奥陶系褶皱基底和加里东期花岗岩及一些海西期—印支期花岗岩。该区可能是桂东北地区加里东地槽的一部分(广西壮族自治区地质矿产局, 1985)。大瑶山台隆位于研究区南部, 除广泛出露寒武系外, 还有

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 41272112, 40872065)、国家重点基础研究发展规划项目(编号 2012CB416705)、中国科学院“百人计划”项目、广西自然科学基金重点项目(编号 2010GXNSFD013001)、中国地质调查项目(编号 1212011085408)资助成果。

收稿日期: 2012-04-22; 改回日期: 2012-07-08; 责任编辑: 周健。

作者简介: 李晓峰, 男, 1971 年生。博士, 研究员, 主要从事金属矿床地质地球化学研究工作。Email: x-f-li@hotmail.com。

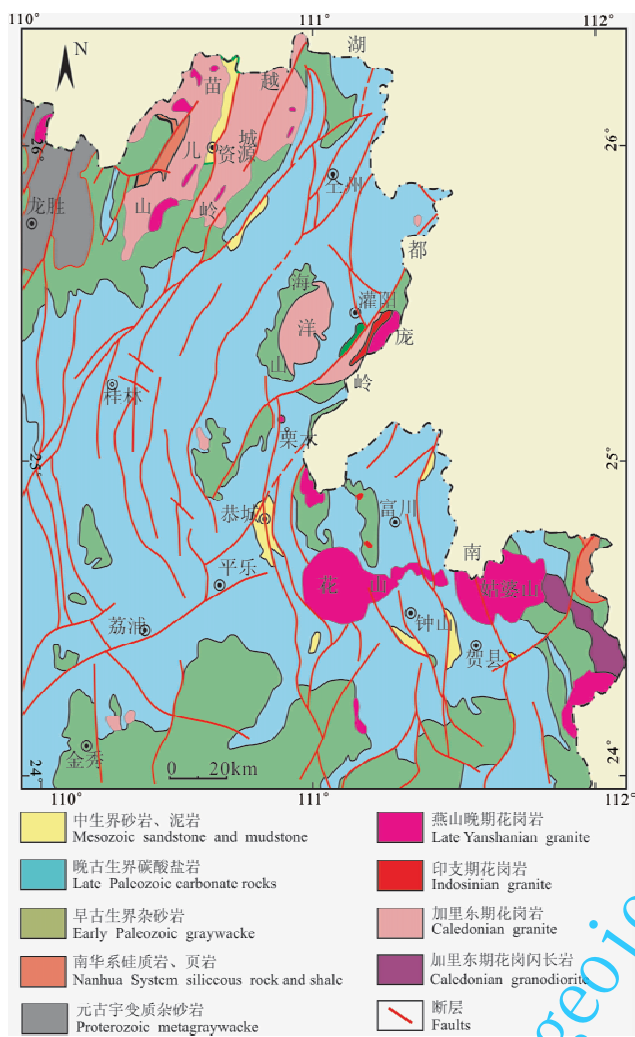


图 1 桂东北地区区域地质图(据广西壮族自治区地质矿产局,1985,有修改)

Fig.1 The geological map in northeast Guangxi (modified from Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985)

震旦系、泥盆系及石炭系—二叠系出露。震旦系主要为深海相泥质岩,夹细碧岩-石英角斑岩等,并发育陆坡环境的含铁建造。寒武系的郁南运动使该区褶皱、隆起。早泥盆世早期沉积了一套陆相、滨浅海相碎屑岩。印支期形成宽缓褶皱、断裂和岩浆侵入,并控制侏罗纪断陷盆地。燕山期在大瑶山台隆花山-姑婆山、金鸡顶等地区发育大面积的花岗岩体侵入。在桂北地区,伴随不同时期花岗岩的侵入,发育了一系列与花岗岩有关的 W-Sn-Mo-Nb-Ta 矿床。

2 主要金属矿床的空间分布规律

根据该地区花岗岩以及主要金属矿床的分布,本文把桂东北地区与花岗岩有关的金属成矿作用划

分为 3 个成矿集中区,即越城岭-苗儿山成矿区,海(洋山)都(庞岭)栗(木)成矿区和花山-姑婆山成矿区。这 3 个成矿集中区发育不同类型的金属矿床及不同时代的花岗岩。

2.1 越城岭-苗儿山成矿区

越城岭-苗儿山成矿区主要指与越城岭岩体和苗儿山岩体侵入有关的金属矿床成矿区(图 2)。该区金属矿床的形成主要与越城岭岩体、苗儿山岩体多期次岩浆侵入作用有关,以 W-Sn-Mo 金属矿床为主。主要矿床类型有砂卡岩型、云英岩型和石英脉型等。矿床主要围绕苗儿山岩体和越城岭岩体周围分布,如,全州黄毛源钨矿、资源陈家冲钨矿、兴安佑安钨矿、全州将军岭锡矿、城步县箭杆坪锡矿和兴

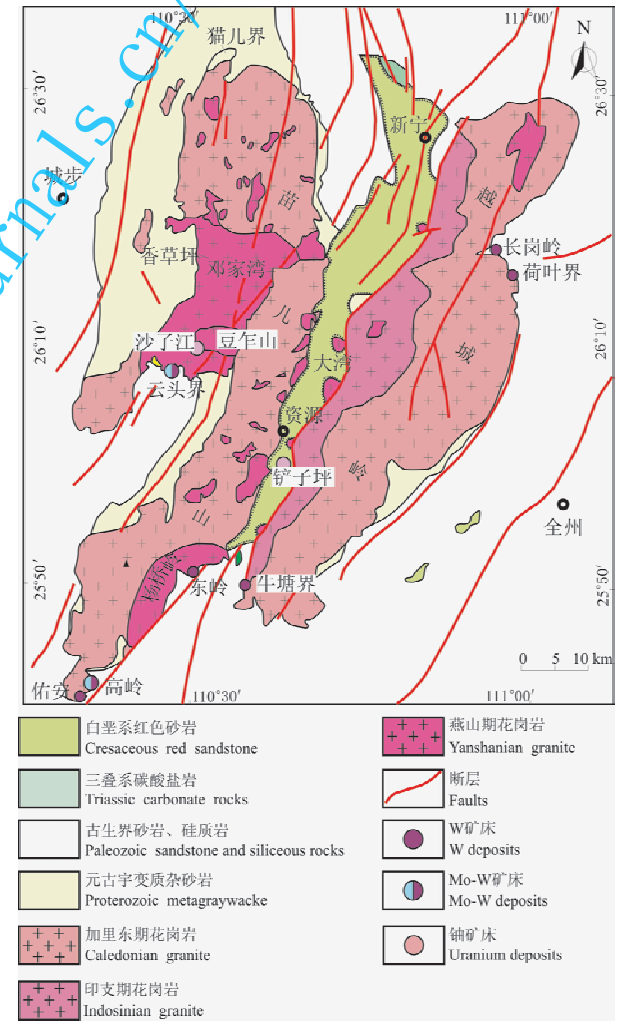


图 2 越城岭—苗儿山地区区域地质图(据广西壮族自治区地质矿产局,1985,有修改)

Fig.2 The geological map in Yuechengling—Miaoershan district (modified from Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985)

安油麻岭钨矿等。在岩体内部也发育有一些稍晚期的 Mo-W 矿床,如高岭 Mo-W 矿床和云头界 Mo-W 矿床等。

另外,在越城岭岩体和苗儿山岩体内部还发育有一些铀矿床,如,沙子江花岗岩型铀矿和铲子坪碳硅泥岩型铀矿等(石少华等,2010)。虽然这些铀矿的形成要大大晚于花岗岩体的侵位,但是这些铀矿的形成与这些花岗岩的地球化学性状密不可分。

2.2 海(洋山)都(庞岭)栗(木)成矿区

海(洋山)都(庞岭)栗(木)成矿区主要是指与海洋山岩体、都庞岭岩体(图 3)以及栗木岩体侵入有关的 Sn-Nb-Ta 矿床(图 4)。该区与海洋山岩体和都庞岭岩体有关的金属矿床不甚发育,规模不大,如,银山岭锡铅多金属、茶湾钨矿和李贵福钨锡多金属等矿床,主要矿床类型有:石英脉型、构造破碎带蚀变岩型等。该区具有重要经济价值的矿床主要发育于栗木地区,与栗木岩体的多阶段侵入有关。栗木地区花岗岩侵入可以分为 3 期,即:①细粒斑状铁白云母花岗岩主要分布于泡水岭一带;②细一中粒斑状锂铁白云母花岗岩和中粒似斑状锂铁白云母花岗岩主要分布于牛栏岭、香檀岭和金竹源一带;③细一中粒铁锂云母(或锂云母)钠长石花岗岩主要分

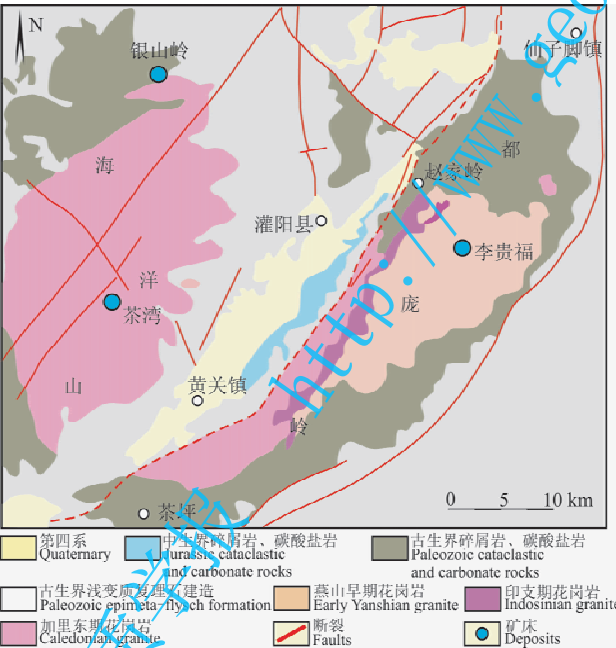


图 3 海洋山—都庞岭地区区域地质图
(据广西壮族自治区地质矿产局,1985,有修改)
Fig. 3 The geological map in Haiyangshan—Dupangling district (modified from Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985)

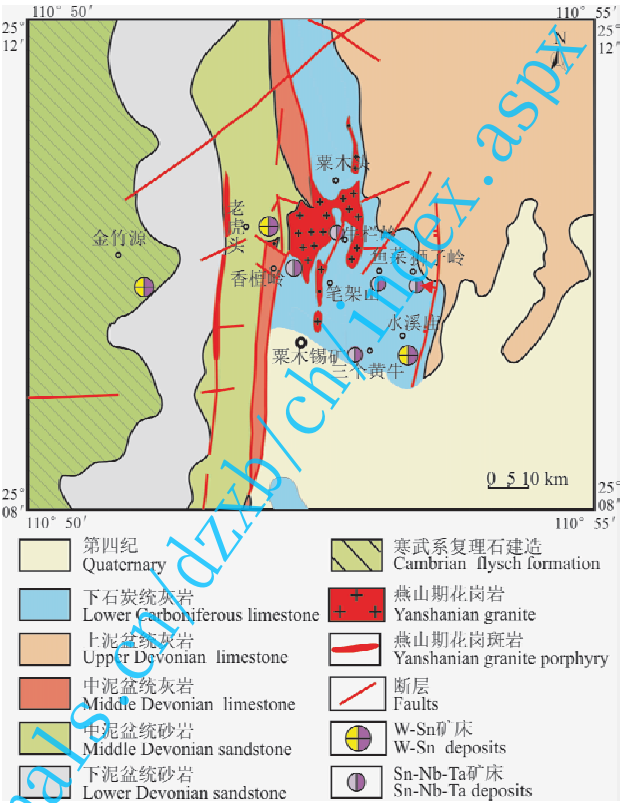


图 4 栗木地区区域地质简图(据林德松等,1987,有修改)
Fig. 4 The geological map at Limu district
(modified from Lin et al., 1987)

布于老虎头、水溪庙和金竹源一带。栗木地区主要矿床类型有:①钨石英脉型(如,牛栏岭和香檀岭);②锡钨长石石英脉型(如,水溪庙和三个黄牛);③花岗伟晶岩脉型锡钽铌矿床(如,水溪庙);④含锡钽铌花岗岩型(如,老虎头、水溪庙、金竹源和狮子岭等)。其中前两阶段岩体与脉状 Li、Be、W、Pb 及 Nb、Ta 矿化具有成因联系,后者本身就是一种含 Nb、Ta 的钠长岩浆矿体(陈毓川等,1995)。

2.3 花山-姑婆山成矿区

在花山-姑婆山成矿区,发育不同时期、不同时代的花岗岩(图 5),如,加里东期的大宁岩体和桂岭岩体;燕山期的花山花岗岩、姑婆山花岗岩、盐田岭花岗岩等,相应地,其矿产分别与不同时代的花岗岩有关。如与大宁岩体有关的张公岭铅锌矿和龙水金矿等;与桂岭岩体有关的白石顶 Mo-W 矿等;与姑婆山岩体有关的可达钨锡矿、新路锡矿和水岩坝锡矿等;与盐田岭花岗岩有关的珊瑚锡矿等。该地区,与中生代花岗岩有关的内生金属矿床主要有 W、Sn、Mo 多金属矿床,并伴生有 Pb、Zn、Fe、REE 和 Nb、Ta 矿等,其成因可划分为锡石硫化物型、石英脉型、矽卡岩型、构造破碎带蚀变岩型、矽卡岩-构造

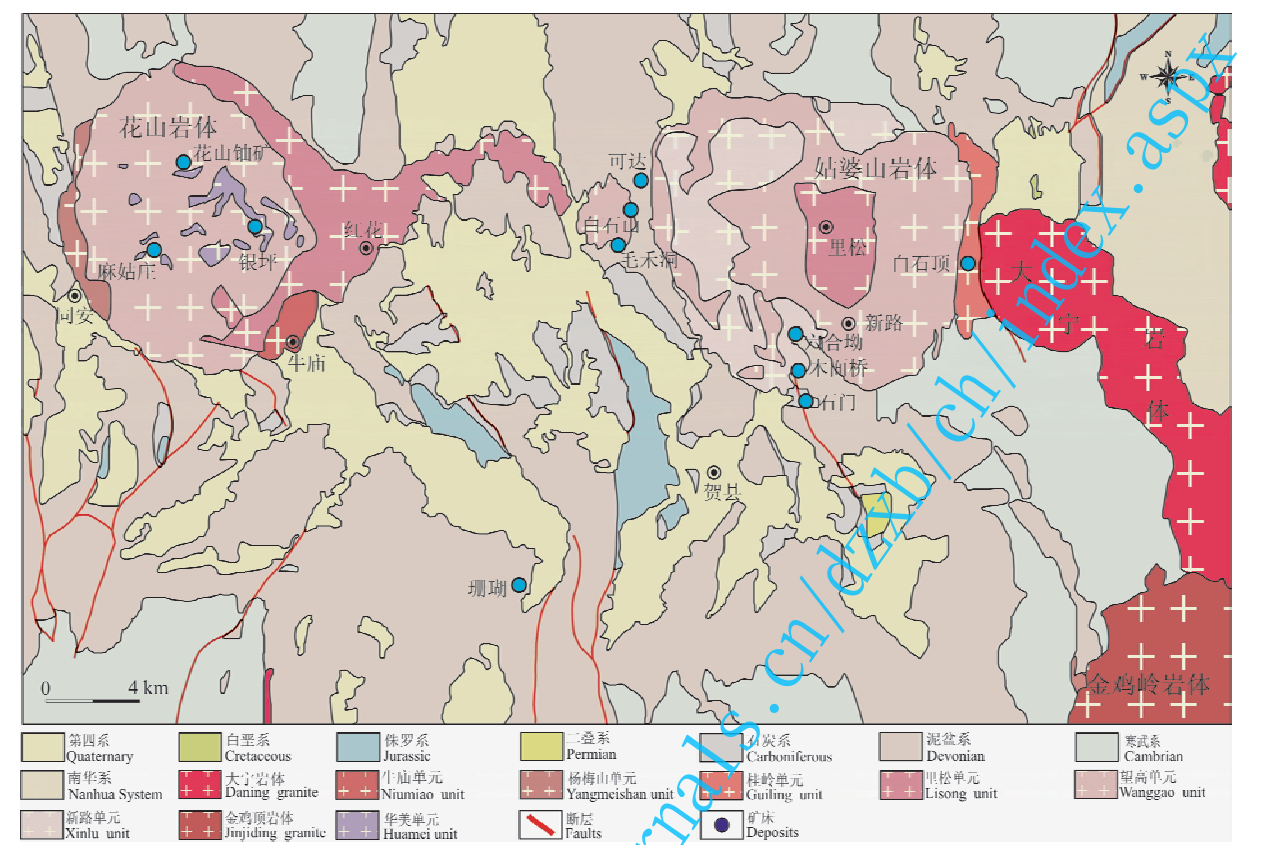


图 5 姑婆山—花山地区区域地质图 (据冯佐海等,2002, 有修改)
Fig. 5 The geological map in GuposhanHuashan district (modified from Feng et al. , 2002)

破碎带复合型、石英脉型等 6 种主要类型。与姑婆山-花山岩体有关的 W-Sn 多金属矿床主要集中分布于姑婆山花岗岩体的西缘内、外接触带和花山花岗岩体的中心部位。前者沿姑婆山花岗岩体边缘从北西向南呈环带状分布,依次有大关塘、麻子湾、石浪冲、北沟、野鸡坳、可达、水岩坝、八块田和新路等矿床(田);后者则是以银坪和麻姑庄锡矿为代表的一系列石英脉型锡矿点。其中,白石顶石英脉型 Mo 矿是在该地区新近发现的加里东期石英脉 Mo 矿(李晓峰等,2009)。

3 典型矿床基本地质特征及其成岩成矿年龄

3.1 越城岭-苗儿山成矿区

在越城岭-苗儿山成矿区,比较有规模的矿床主要有牛塘界钨矿、高岭钨钼矿、云头界钨钼矿等,以及在越城岭和苗儿山岩体中发育的一系列的铀矿床(点)。其中高岭钨钼矿和云头界钨钼矿是近几年在地质勘查过程中发现的矿床(点)(图 2)。

牛塘界钨矿位于越城岭花岗岩体的西南缘,矿体主要产于加里东期黑云母花岗岩的外接触带寒武系

清溪组变质泥质粉砂岩、透镜状大理岩或者矽卡岩化角岩中。矿石类型主要有含白钨矿矽卡岩化角岩、含白钨矿矽卡岩化大理岩、含白钨矿泥质粉砂岩等。围岩蚀变主要有长石化、绿泥石化、萤石化、硅化和电气石化等。主要金属矿物有白钨矿、锡石、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿和毒砂等。黑云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 429.6 ± 4.3 Ma。白钨矿 Sm-Nd 等时线年龄为 431 ± 12 Ma(表 1),这说明牛塘界钨矿形成于早志留期末期。牛塘界钨矿与加里东期黑云母花岗岩有密切的成因联系(王化云,1986;汪金榜等,1988;张相训,1994)。

高岭 W-Mo 矿位于苗儿山岩体东部,越城岭岩体南部,主要产于印支期二长花岗岩中,含 W、Cu、Mo 石英脉型矿床。石英脉宽一般为 80~90 cm,在石英脉壁的花岗岩中发育云英岩化蚀变,蚀变带宽为 3~10 cm,主要成分为白云母、石英和黄铁矿等。主要金属矿物为白钨矿、黑钨矿、辉钼矿及少量的毒砂等。4 件辉钼矿 Re-Os 年龄分别为 215.3 ± 8.6 Ma、 213.6 ± 5.6 Ma、 225.1 ± 5.8 Ma、 227.3 ± 3.4 Ma。二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 221 ± 2.4 Ma,显示了高岭 W-Mo 矿床的形成在晚三叠

世二长花岗岩侵位之后。4 件辉钼矿年龄可以分为两个时间段(即 214 Ma 左右和 226 Ma 左右),有可能代表两次 Mo 的成矿作用(表 1)。

云头界 W-Mo 矿区出露岩体主要有加里东期猫儿山中粗粒斑状花岗岩及产于岩基中燕山期白云母及二云母花岗岩,矿脉连续性好,在垂向剖面上具有明显分带,顶部为黑钨矿,中部为白钨矿,下部则为钨钼矿(伍静等,2010)。主要矿物为白钨矿、黑钨矿、辉钼矿及少量的黄铜矿、黄铁矿等,脉石矿物主要为石英、白云母及电气石。两件辉钼矿 Re-Os 年龄为 226.2 ± 4.1 Ma 和 219.3 ± 4.0 Ma(表 1);最近,梁华英等(2011)测得云头界 W-Mo 矿床辉钼矿 Re-Os 年龄为 213.3 ± 0.8 Ma。本文测得云头界黑云母花岗岩锆石 LA-ICP-MS 年龄为 216.8 ± 4.9 Ma(表 1)。锆石 U-Pb 年龄和辉钼矿 Re-Os 年龄都揭示云头界 W-Mo 矿床也形成于晚三叠世,与高岭 W-Mo 矿床形成于同一时期。

石少华等(2010)对苗儿山岩体和越城岭岩体内的铀矿进行了总结和分析,并测得沙子江铀矿的年龄有两组,分别为 104.4 Ma 和 53.0 ± 6.4 Ma;铲子坪铀矿的年龄为 74.1 ± 9.9 Ma,显示在该地区存在 3 个时期铀的矿化。

3.2 海(洋山)都(庞岭)栗(木)成矿区

海(洋山)都(庞岭)栗(木)成矿区典型矿床主要有银山岭锡铅锌多金属矿床、李贵福钨锡多金属矿床(图 3)和栗木 Sn-Nb-Ta 矿床(图 4)等。

银山岭锡铅锌多金属矿床位于南岭东西纬向构造带中段、海洋山穹窿北部、银山岭背斜的核部中细粒含斑黑云母二长花岗岩体(图 3)。其中,银山岭岩体面积约 0.07 km^2 ,呈岩株状侵入于寒武纪地层中。含锡矿(化)脉体及铅(银)铜矿(化)体主要赋存于 NEE—NE 向断裂硅化破碎带中,其中锡矿化的赋矿围岩是黑云母花岗岩,铅铜矿化的赋矿围岩为寒武系变质砂岩。矿床类型为构造蚀变岩型。银山岭中细粒含斑黑云母二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 426.3 ± 4.2 Ma(陈希清等,2011)。海洋山黑云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 431 ± 7 Ma(陈希清等,2011)。

李贵福钨锡多金属矿赋存于都庞岭复式花岗岩体东部,矿床类型主要为云英岩-石英脉型。通过对矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素测年,获得等时线年龄为 211.9 ± 6.4 Ma ($n=7$, MSWD = 4.1),模式年龄的加权平均值为 213.3 ± 2.9 Ma (MSWD = 4.0)(邹先武等,2009)。结果显示成矿作用发生在

表 1 桂东北地区主要花岗岩体和典型金属矿床成岩成矿时代
Table 1 The ages of ore deposit and related granite in Northeast Guangxi

矿床名称	矿床类型	与成矿有关岩石类型	成岩年龄(Ma)	成矿年龄(Ma)	成矿时代	参考文献
牛塘界	W	黑云母花岗岩	429.6 ± 4.3 (锆石 SHRIMP U-Pb)	431 ± 12 (白钨矿 Sm-Nd)	志留纪	本文
白石顶	Mo-W	(角闪石)黑云母二长花岗岩	424.4 ± 5.6 (锆石 SHRIMP U-Pb)	424.6 ± 5.7 (辉钼矿 Re-Os)		Li et al., 2009
张公岭	Pb-Zn	花岗岩闪长岩	419.1 ± 6.4 (锆石 SHRIMP U-Pb)			程顺波等,2009
银山岭	Sn-Pb-Zn	黑云母二长花岗岩	426.3 ± 4.2 (锆石 SHRIMP U-Pb)			陈希清等,2011
海洋山	W	黑云母花岗岩	431 ± 7 (锆石 SHRIMP U-Pb)			陈希清等,2011
云头界	Mo-W	花岗岩	216.8 ± 4.9 (锆石 SHRIMP U-Pb)	226.2 ± 4.1 ; 219.3 ± 4.0 (辉钼矿 Re-Os)	晚三叠世	本文
栗木	Sn-Nb-Ta	白云母花岗岩 铁锂云母钠长石	217.1 ± 1.4 ; 214.0 ± 5.0 212.3 ± 1.8 (锆石 SHRIMP U-Pb)	214.1 ± 1.9 ; 212.4 ± 1.4 (白云母 Ar-Ar)		本文 陈希清等,2011
李贵富	W	二云母二长花岗岩	209 (锆石 LA-ICP-MS U-Pb)	211.9 ± 6.4 (辉钼矿 Re-Os)		邹先武等,2009
高岭	Mo-W	二长花岗岩	221.6 ± 2.4 (锆石 SHRIMP U-Pb)	215.3 ± 8.6 ; 219.3 ± 4.0 225.1 ± 5.8 ; 227.3 ± 3.4 (辉钼矿 Re-Os)		本文
水岩坝	Sn	黑云母花岗岩		162.5 ± 1.2	中晚侏罗世	本文
可达	Sh	黑云母花岗岩		160.6 ± 1.5		
枫木冲	Sn	黑云母花岗岩	146.8 ± 2.3 (锆石 LA-ICP-MS U-Pb)		早白垩世	本文
石门	Sn	黑云母花岗岩 花岗岩闪长岩	136.6 ± 1.3 (锆石 LA-ICP-MS U-Pb) 139.3 ± 8.7 (锆石 LA-ICP-MS U-Pb)			
茅禾洞	W-Sn	黑云母花岗岩				
珊瑚	W	花岗岩	106 ± 13 (锆石 LA-ICP-MS U-Pb)	100.84 ± 0.72 ; 102.7 ± 1.7 (白云母 Ar-Ar)		
沙子江	U			104.4 ; 53.0 ± 6.4	晚白垩世	石少华等,2010
铲子坪	U			74.1 ± 9.9		

印支期,表明都庞岭地区存在早中生代钨锡多金属成矿事件。矿石类型主要有云英岩型锡钼矿石、石英脉型钨钼矿石、硅化蚀变花岗岩型钨矿石及伟晶岩型钨矿石(邹先武等,2009)。

栗木岩体呈小岩株产出,岩性主要为细、中粒白云母花岗岩及细一中粒铁锂云母钠长石花岗岩,侵入寒武系、泥盆系、下石炭统中(图4)。栗木岩体是同源、同期、不同阶段的复式岩体,可以分为3幕。第一幕为细粒斑状铁白云母花岗岩,主要分布于泡水岭;第二幕为细一中粒斑状锂铁白云母花岗岩和中粒似斑状锂铁白云母花岗岩,被第三幕花岗岩切割并同时有云英化蚀变边,细一中粒似斑状结构,具弱钨锡矿化,是内接触带钨锡石英脉型矿床的成母岩,主要分布于牛栏岭、香檀岭、金竹源等地;第三幕为细一中粒铁锂云母(或锂云母)钠长石花岗岩,中细粒结构,呈岩钟状突起,是钽铌、锡矿体赋存部位,分布于老虎头、水溪庙、金竹源。栗木 Sn-Nb-Ta 矿田矿床类型主要有:①锡钨石英脉型;②锡钨长石石英脉型;③花岗伟晶岩脉型钨钽铌矿床;④含锡钽铌花岗岩型(陈毓川等,1995)。

钨锡石英脉型矿床主要见于香檀岭、牛栏岭两地,前者分布于栗木岩体西南边缘,后者在岩体东、东北侧,相距约 500 m。两区均出露下石炭统薄层硅质条带灰岩、碳质页岩,岩浆岩为燕山早期第二幕细一中粒斑状锂铁白云母花岗岩和中粒似斑状锂铁白云母花岗岩及第三幕细中粒铁锂云母钠长花岗岩。钨锡石英脉充填在第二幕花岗岩体边缘冷缩张裂隙中,由岩体中心向边缘成侧幕状展布。金属矿物主要为黑钨矿、锡石、黝锡矿、黄铜矿、毒砂,脉石主要为石英、长石、白云母;近矿围岩蚀变主要为云英岩化。锡主要富集于岩体接触面附近的脉体中,在矿脉密集地段,围岩云英岩化蚀变强,常形成浸染状团包富矿。

钨锡长石石英脉型矿床主要见于水溪庙、三个黄牛两地。该地层出露下石炭统薄层碳质灰岩、中厚层灰岩、硅质、碳质页岩和上泥盆统融县组灰岩,岩浆岩为燕山早期第三幕隐伏铁锂云母(或锂云母)钠长石花岗岩。水溪庙区共有矿脉约 80 余条,单品位一般 Sn 0.34%~1.26%、 WO_3 0.02%~1.76%。三个黄牛分东、西两个矿带,呈近 SN 向延伸。东矿带长 650 m,平均品位 Sn 0.46%、 WO_3 0.36%;西矿带长约 200 m,品位一般 Sn 0.39%~1.58%、 WO_3 0.05%~2.95%,矿脉受断层旁侧次级裂隙控制。金属矿物主要为锡石、黑钨矿、白钨矿、黝锡矿、

毒砂、闪锌矿、黄铜矿;脉石主要为石英、长石、铁锂云母;近矿围岩蚀变主要为萤石化、大理岩化。矿化以锡为主,钨次之,具上富下贫、南富北贫特点。

花岗伟晶岩脉型钨钽铌矿床主要分布在水溪庙,矿体产于燕山早期第三幕铁锂云母(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,分枝复合变化明显。矿脉走向近南北,倾向西,倾角 $45^\circ\sim 80^\circ$ 。品位: Ta_2O_5 0.02%, Nb_2O_5 0.01%; Sn 0.16%; WO_3 0.02%。其主要特点是矿体呈脉状产出,形态复杂,产状多变,规模小。金属矿物主要为锡石、钽铁金红石、黑钨矿、白钨矿、黝锡矿和毒砂,脉石主要为微斜长石、石英和铁锂云母;近矿围岩蚀变主要为钠长石化、黄玉化、萤石化和大理岩化等。

含锡钽铌花岗岩型矿床主要分布于老虎头、水溪庙和金竹源三地。赋存于第三幕花岗岩体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,与云英岩化的关系更密切。①老虎头含锡钽铌花岗岩型矿床矿体产于栗木岩体西部边缘接触带的隆起部位。矿体为南北向的椭圆形体,似层状,平均品位: Ta_2O_5 0.01%、 Nb_2O_5 0.01%、Sn 0.16%。②水溪庙含锡钽铌花岗岩型矿床可分为锡矿体和钽铌矿体。这类矿床矿石矿物主要为钽铁金红石、细晶石、钽铁矿、钽金红石、锡石、黑钨矿、钨锰矿、白钨矿、毒砂、黝锡矿、黄铜矿、闪锌矿、铁锂云母等;脉石矿物主要有长石、石英、云母、黄玉等。近矿围岩蚀变主要为云英岩化、钠长石化、黄玉化、萤石化、大理岩化、电气石化、黄铁矿化(林德松等,1987)。

杨锋等(2009)测得老虎头蚀变白云母 Ar-Ar 坪年龄 214.1 ± 1.9 Ma,等时线年龄 214.3 ± 4.5 Ma;陈希清等(2011)测得水溪庙钠长石花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 212.3 ± 1.8 Ma;本文测得金竹源花岗岩蚀变白云母 Ar-Ar 坪年龄 212.4 ± 1.4 Ma;金竹源花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 217.1 ± 1.4 Ma;三个黄牛含钽钽花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 214 ± 5 Ma(表1)。这些年龄数据一致显示栗木 Sn-Nb-Ta 矿床形成于晚三叠世。

3.3 花山-姑婆山成矿区

花山-姑婆山成矿区典型矿床主要包括珊瑚矿田、水岩坝矿田、可达矿田、新路矿田以及白石顶 W-Mo 矿床、张公岭铅锌矿、龙水金矿和花山铀矿等(图5)。

白石顶 Mo-W 矿位于桂岭岩体中。矿区内出

露的地层主要是南华系正园岭组长石石英砂岩,岩浆岩主要有志留纪(角闪石)黑云母二长花岗岩和晚侏罗世正长花岗岩。白石顶钼矿分为白石顶和园山顶两个矿段。白石顶矿段共发现钼多金属矿体 4 个,呈北东向、北东东向、近南北向展布,以北东向、北东东向较发育;园山顶矿段发现钼多金属矿体 3 个,均为北东向,平行产出。矿化类型以石英-辉钼矿脉为主。从矿脉往外,依次发育钾长石化、绢云母化和绿泥石化蚀变。黄铁矿化主要发育于矿脉和近矿围岩中。矿体中矿石矿物主要为辉钼矿,次为黄铜矿、方铅矿、黄铁矿、白钨矿,还有少量磁黄铁矿、闪锌矿、辉铋矿和毒砂。非金属矿物以石英为主,含少量绢云母、方解石和绿泥石。辉钼矿呈浸染状、团块状、片状分布于石英脉中或者呈浸染状分布于近石英脉的围岩中。局部地段可以看到白钨矿与辉钼矿共生在一起。赋存于南华系正园岭组长石石英砂岩中的石英-辉钼矿脉主要呈网脉状发育,在长石石英砂岩中,石英-辉钼矿脉外侧的围岩蚀变较不发育。李晓峰等(2009)测得黑云母二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 424.4 ± 5.6 Ma,辉钼矿 Re-Os 年龄为 424.6 ± 5.7 Ma。

珊瑚矿田位于姑婆山西南 20 km,分为盐田岭矿区和长营岭矿区。盐田岭矿床是以产于盐田岭花岗岩外接触带的 Sn 多金属似层状矿体为主,向外有钨锡石英脉产出。矿体分布于盐田岭云英岩化细粒花岗岩外侧,沿下泥盆统莲花山组上段和那高岭组下段中白云岩质灰岩夹层交代而成。矿体呈似层状及透镜状。成矿元素组合以 Sn、W、Zn 为主。矿石矿物组合为锡石、黑钨矿、白钨矿、辉钨矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、萤石、重晶石、方解石等。围岩蚀变有硅化、矽卡岩化、萤石化、黄铁矿化和碳酸盐化等。长营岭矿床以钨锡石英脉为主,向外依次有钨锡石英脉、钨铁石英角砾脉分布。矿脉旁侧围岩蚀变强烈。主要类型有萤石化、绢云母化、电气石化、绿泥石化、黄铁矿化、毒砂化和碳酸盐化等(宋慈安,2001)。珊瑚矿床白云母 Ar-Ar 年龄为 100.84 ± 0.72 Ma、 102.7 ± 1.7 Ma(肖荣等,2011),与成矿有关的盐田岭花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 106 ± 13 Ma(表 1)。

新路矿田和水岩坝矿田分别位于姑婆山花岗岩体南缘接触带凹陷部位和西南边缘处,出露地层主要为中上泥盆统及下石炭统。区内断裂构造极为发育,与新路矿田有关的断裂主要为近南北向的观音山-三八岭-茂冲顶大断裂、白面山-南竹斗断裂和金

鸡岭-黄金坪断裂,以及六合坳东西向断裂带;新路矿田的主要矿化类型为:锡石硫化物矽卡岩型矿床(六合坳)、脉状似层状锡锌硫化物型矿床(白面山、石门)、脉状锡石云英岩型矿床(金鸡岭)、脉状钨锡萤石型矿床(黄金坪)及锡石磁铁矿矽卡岩型矿床(石灰冲)。水岩坝矿田的矿床类型主要为:钨锡石英脉型矿床(烂头山)、锡石硫化物矽卡岩型矿床(大庙山)及锡石角砾岩型矿床(董家坳)(陆小平等,2005)。其中六合坳的锡石硫化物矽卡岩型和烂头山的钨锡石英脉型矿床工业价值较大。与新路矿田空间分布关系较密切的花岗岩为石英斑岩和花岗闪长斑岩(陆小平等,2005)。石门石英斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 136.6 ± 1.3 Ma,花岗闪长斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 139.3 ± 8.7 Ma(表 1)。

水岩坝矿田的主干断裂格架由北西向的沙子冲断裂、大庙山断裂及北东向的枫木冲断裂、鸡婆塘断裂组成。在六合坳矿床坑道里可以直接观察到花岗岩与锡矿体直接的接触关系,矿体附近的花岗岩体发生钾长石化、钠长石化、矽卡岩化、电气石化等蚀变;矿石中含磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、闪锌矿、锡石及萤石等矿物,其中锡石与石英等矿物共生,呈似层状、浸染状或脉状产出。水岩坝矿田虽然与姑婆山花岗岩的西体相距很近,但烂头山矿床周围没有直接与其接触的花岗岩;围岩蚀变主要为云英岩化、硅化、萤石化,矿石矿物主要有黑钨矿、白钨矿、锡石、黄铁矿、毒砂、阳起石、石英及萤石等矿,呈脉状或细脉状产出(陆小平等,2005)。水岩坝云英岩化矿石白云母 Ar-Ar 年龄为 162.5 ± 1.2 Ma(表 1)。这些数据说明新路矿床的形成时代即不同于珊瑚矿床的形成时代,也不同于水岩坝矿床的形成时代。

八块田锡矿床主要沿姑婆山岩体西至西南缘细一中粒黑云母花岗岩与中泥盆统东岗岭组碳酸盐岩地层的接触带处广泛分布,在可达一八仙冲、八块田一枫木冲等处见有规模不等的锡矿体。在可达一八仙冲一带,含矿岩性主要为褐铁矿化碎裂岩、磁铁矿化碎裂矽卡岩以及碎裂花岗岩等。围岩蚀变主要有叶腊石化、绿泥石化、硅化等。矿石金属矿物有磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、锡石、毒砂及闪锌矿;脉石矿物有石英、透闪石、透辉石、石榴子石、白云母、金云母、方解石等。在八块田一枫木冲一带花岗岩体内,矿化类型主要为矽卡岩-破碎带蚀变岩复合型锡矿。其中以Ⅲ号锡矿带规模较大,含矿性较好。Ⅲ号含锡矿带分布于枫木冲一枫木坪一带。含矿岩性主要

由透闪石透辉石矽卡岩、石榴子石透辉石矽卡岩、磁铁矿透闪石矽卡岩、磁铁矿透辉石矽卡岩、磁铁矿化碎裂状矽卡岩等组成。平均 Sn 品位 0.418% (陆小平等, 2005)。围岩蚀变主要有绿泥石化、云英岩化、硅化等。本文测得枫木冲英云岩化花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 146.8 ± 2.3 Ma (表 1)。

路花矿床属矽卡岩型锡矿床, 含锡矽卡岩主要分布于大湾塘、大冲、大岭脚、六合坳及浩洞一带, 呈似层状产出。含锡矽卡岩类型主要有含磁铁矿符山石矽卡岩、含磁铁矿透辉石符山石矽卡岩、石榴子石透辉石矽卡岩和透辉石符山石矽卡岩等。矿物成分主要为透辉石、钙铁辉石、磁铁矿、闪锌矿、方铅矿、符山石、石榴子石、阳起石和萤石等。局部可见后期闪锌矿、方铅矿呈条带状、浸染状及团块状沿裂隙分布于矽卡岩锡矿石中 (陆小平等, 2005)。

另外, 位于富川县的岩鹰嘴 W-Mo-Cu 矿床主要有 3 种矿化类型: 一是含白钨矿矽卡岩型; 二是位于岩体内外接触带的石英脉型黄铜矿脉和含铜含钨黄铁矿脉; 三是细脉浸染状 Cu-Mo 矿。根据与成矿有关岩体中锆石中 U-Th 的含量, 以及阴极发光图像特征及其与邻区花岗岩体的对比关系, 初步判断该矿床形成于印支期, 可能为晚三叠世。

4 主要金属矿床成矿系统划分

根据主要金属矿床的类型、成矿时代、与成矿有关花岗岩的特点以及前人的研究成果, 本文把桂东北地区主要金属矿床划分为 6 个成矿系统。①与志留纪花岗岩有关 W-Mo 矿; ②与二叠世花岗岩有关的 Pb-Zn 矿床; ③与晚三叠世花岗岩有关 Sn-Nb-Ta 矿床和 W-Mo 矿床; ④与中一晚侏罗世花岗岩有关的 W-Sn 矿床; ⑤与白垩世花岗岩有关的 W-Sn 矿床。⑥与花岗岩有关的铀矿。

4.1 与志留纪花岗岩有关的 W-Mo 矿床

在桂东北地区, 加里东钨矿床、钨锡矿床和锡铜多金属矿床均围绕越城岭、苗儿山和海洋山、大宁、桂岭等岩体分布。对于桂东北地区加里东期的成矿作用, 以往资料积累较少。陈毓川等 (1995) 认为由于加里东期花岗岩分异程度较低, 因而成矿较差, 仅有牛塘界白钨矿矿床达到中型规模。近几年的锆石 SHRIMP 年代学研究表明, 早先认为的印支期岩体, 如桂岭岩体 (424.4 ± 5.6 Ma)、大宁岩体 (419.1 ± 6.4 Ma) 被证明为加里东期。牛塘界花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄显示其侵位年龄为早志留世 (429.6 ± 4.3 Ma), 白钨矿 Sm-Nd 年龄表明其成矿

时代为早志留世 (张文兰等, 2011)。白石顶 Mo-W 矿床的成矿时代也为志留纪 (辉钼矿 Re-Os 年龄 424.6 ± 6.7 Ma, 李晓峰等, 2009), 说明桂东北地区也有寻找加里东期石英脉型钼矿的潜力。该时期也发育有少量的 Pb-Zn 矿, 如大宁岩体中的张公岭铅锌矿。

4.2 与二叠世花岗岩有关的 Pb-Zn 矿床

主要分布于新寨岩体, 代表型矿床为老厂 Pb-Zn 矿床 (陈毓川等, 1995), 但是其成岩成矿时代还需要进一步的精细厘定。

4.3 与晚三叠世花岗岩有关的 W-Mo 和 Sn-Nb-Ta 矿床

晚三叠世花岗岩主要分布于越城岭岩体、苗儿山岩体、都庞岭岩体、栗木岩体等。这些岩体均发育不同程度的 W-Mo 或者 Nb-Ta-Sn 矿化。如与苗儿山岩体有关的高岭石英脉型 W-Mo 矿床 (辉钼矿 Re-Os 年龄 215.3 ± 8.6 Ma、 213.6 ± 5.6 Ma、 225.1 ± 5.8 Ma 和 227.3 ± 3.4 Ma)、与栗木岩体有关的 Sn-Nb-Ta 矿床 (白云母 Ar-Ar 年龄 214.1 ± 1.9 Ma 和 214.3 ± 4.5 Ma)、与都庞岭岩体有关的李贵富 W-Mo 矿床 (辉钼矿 Re-Os 年龄 211.9 ± 6.4 Ma)、与苗儿山岩体有关的云头界 W-Mo 矿床 (226.2 ± 4.1 Ma 和 219.3 ± 4.0 Ma) 等, 这些矿床集中形成于晚三叠世。

4.4 与中一晚侏罗世花岗岩有关的 W-Sn 矿床

与中一晚侏罗世花岗岩有关的 W-Sn 矿床主要分布与花山一姑婆山地区, 主要围绕花山一姑婆山岩体的内外接触带分布。主要矿床类型有石英脉型、锡石硫化物型、矽卡岩型和云英岩型、构造破碎带型。代表性矿床有新路锡矿、可达锡矿和路花锡矿等。最近一系列花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年揭示与这些矿床形成有关的花岗岩侵位于中一晚侏罗世 (冯佐海等, 2002; 朱金初等, 2006), 与钨锡矿化有关的蚀变白云母 Ar-Ar 年龄也为中晚侏罗世。如水岩坝矿床白云母 Ar-Ar 年龄为 162.5 ± 1.2 Ma, 可达锡矿白云母 Ar-Ar 年龄为 160.6 ± 1.5 Ma, 与枫木冲矿床有关的黑云母花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 146.8 ± 2.3 Ma (表 1)。

4.5 与白垩世花岗岩有关的 W-Sn 矿床

与早一晚白垩世花岗岩有关的岩 W-Sn 矿床又可以分为几个阶段, 分别与姑婆山岩体侵位之后岩浆的多期次侵入有关。如, 与新路石门矿床有关的花岗闪长斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 139.3 ± 8.7 Ma, 石英斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

136.6 ± 1.3 Ma。与珊瑚 W-Sn 矿床有关的盐田岭云英岩化花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄 106 ± 13 Ma;而两件蚀变白云母 Ar-Ar 年龄为 100.84 ± 0.72 Ma 和 102.7 ± 1.7 Ma(肖荣等,2011),则进一步显示该地区 W-Sn 矿床的形成与不同阶段花岗岩的侵入有密切的关系。

4.6 与花岗岩有关的铀矿

与花岗岩有关的铀矿主要分布于苗儿山岩体和花山岩体。石少华等(2010)对苗儿山岩体内沙子江铀矿和铲子坪铀矿进行了精确的年龄测定。沙子江铀矿的年龄有两组,分别为 104.4 Ma 和 53.0 ± 6.4 Ma;铲子坪铀矿的年龄为 74.1 ± 9.9 Ma,显示在桂东北地区存在 3 个时期铀的矿化。最近,在花山岩体发现的花山铀矿的成矿年龄有可能也属于这 3 个时期内。该地区铀矿的形成虽然是燕山期,但是与铀矿有关的花岗岩均是印支期花岗岩,印支期花岗岩提供了成矿物质,而燕山期花岗岩仅提供了热源(陈培荣,2004)。

5 成矿地质背景探讨

由于所处地理位置的特殊性,桂东北地区具有独特地质构造演化历史,在不同的地质历史演化时期,其所处的地质构造背景也不尽相同。因此,桂东北地区不同时期矿床的地球动力学背景也是不同的。自志留纪以来,桂东北地区经历了多期次的构造岩浆作用及其成矿响应。在加里东期,桂东北曾是大陆板块边缘带,当受到 NE 向挤压时,龙胜裂陷槽闭合,然后在其东部一带发育古元古代壳源黑云母花岗岩。海西早期,古陆南部边缘大幅度下沉入海,沉积了厚度巨大的碳酸盐岩;至海西晚期—印支期,受海南板块向北俯冲的制约,该凹陷槽回返成陆,并伴随一些深源花岗岩长质岩浆的生成和侵入。印支—燕山期,该区为挤压环境。与重熔型黑云母花岗岩有关 W、Sn、Nb、Ta、Pb、Zn、Cu 矿床随之形成。目前,加里东期花岗岩及其成矿作用、印支期花岗岩及其成矿作用的研究还相对较少,有待进一步深入研究(陈毓川等,1995;周新民,2003;舒良树,2006;李晓峰等,1997a,1997b,2009)。

5.1 加里东期花岗岩及其成矿作用

自徐克勤先生在华南地区发现加里东期花岗岩以来,加里东期花岗岩及其成矿作用得到人们的关注,但是加里东期花岗岩不如燕山期花岗岩那样分布广泛且有多期次、多旋回性。加里东期花岗岩主要分布于湘-赣、湘-桂和桂-粤交界地区,以武夷山和

云开地区最为集中,其中以强过铝质花岗岩为主。在桂北地区,加里东期花岗岩主要有越城岭岩体、猫儿山岩体、都庞岭岩体、海洋山岩体和大宁岩体等,与该期花岗岩有关的金属矿床主要有 W 和 Sn 矿床,其中钨矿床主要分布在江南隆起南缘的猫儿山及赣湘桂粤褶皱带的海洋山等地(黄汲清等,1986)。猫儿山岩体侵入寒武系,海洋山岩体侵入奥陶系,均被泥盆系沉积不整合覆盖,岩体的岩性一般为中—细粒似斑状花岗岩或斑状黑云母花岗岩(李晓峰等,1997b)。在花岗岩体的接触带附近常见有黑钨矿石英脉发育,可达中、小型规模,如与苗儿山岩体有关的佑安钨矿、与海洋山岩体有关的茶湾钨矿以及越城岭岩体有关的牛塘界钨矿(汪金榜等,1988)等。石英脉型钨矿的发现将进一步完善华南加里东期花岗岩及其成矿作用的研究(Li et al.,2010)。

郭令智等(1980)认为加里东期桂东北一带属于弧后盆地范围,构造体制是拉张环境,并进一步演化为残余岛弧。继奥陶纪浙闽粤岛弧与浙东地体碰撞后,在桂东北志留纪末的加里东运动使弧后盆地封闭,碰撞作用可以传递到内陆相当远的距离,出现花岗岩侵位和变质。刘宝珺等(1993)认为华南加里东期盆地消亡过程中,虽然发生过有限的俯冲作用,但没有形成典型的岛弧型或科迪勒拉型或地体拼贴型造山带,也不同于坳拉槽造山作用形成的陆内造山带,而是华夏板块向北西漂移,导致华南盆地脉动式收缩形成的一种独特的“南华型”造山带。丘元禧等(1999)则认为华南加里东褶皱系是弧后盆地进一步演化而形成的陆弧碰撞拼贴造山带,桂东北位于扬子古陆东南边缘的褶断山系。任纪舜(1964)、任纪舜等(1990)等认为华南加里东褶皱系为坳拉槽造山作用形成的一陆内褶皱系,而非碰撞造山带。丘元禧等(1999)在桂北四堡—融水—融安一带加里东强烈褶皱层中识别出了自 SSE 向 NNW 逆冲的推覆构造,证明了加里东期区域性巨型推(滑)覆体的存在。周新民(2003)认为加里东期花岗岩缺少相匹配的大规模同期火山岩系,不具备洋-陆俯冲活动大陆边缘的特征,主要表现为板内性质的岩浆活动。陈毓川等(1995)也认为在加里东期,桂东北地区处于挤压环境。张桂林(2004)对桂北前寒武纪花岗岩中的滑脱型韧性剪切带糜棱岩(本洞花岗质糜棱岩、摩天岭花岗质糜棱片麻岩、元宝山花岗质糜棱片麻岩的) ^{40}Ar - ^{39}Ar 法坪年龄结果分别为 404.3 ± 6.2 Ma、 425.67 ± 0.9 Ma、 324.82 ± 0.58 Ma,说明在这 3 个时期桂北地区处于伸展环境。这说明在 420

Ma 以前,桂北地区处于挤压环境,随后进入后造山的伸展环境。笔者最近对桂岭岩体志留纪(角闪石)黑云母二长花岗岩及其中闪长质包体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄以及全岩 Nd-Sr 同位素结果显示,桂岭岩体黑云母二长花岗岩锆石年龄为 424 Ma,其中闪长质包体年龄 428 Ma,说明二者的结晶时间基本相同,但是黑云母二长花岗岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -8.9 \sim -5.0$, $t_{2\text{DM}} = 1.6 \sim 2.2$ Ga; 闪长质包体的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 3.4 \sim 3.6$, $t_{2\text{DM}} = 0.88 \sim 0.89$ Ga,说明桂岭岩体黑云母二长花岗岩主要是地壳的产物,而闪长质包体则主要是地幔物质的产物,但是二者 $t_{2\text{DM}}$ 年龄差别很大,这可能是桂岭岩体及其中的闪长质包体是同一热源的产物,但是其岩浆的源区可能是不一样的。该时期壳幔之间仅有能量的交换,而没有物质的交换。陈懋弘等(2011)测定广西苍梧县社洞钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄为 437.8 ± 3.4 Ma,与成矿有关的花岗闪长岩锆石 LA-ICP-MS 年龄为 435.8 ± 1.3 Ma。因此,在加里东期,桂北地区可能是一个陆内造山带,地幔软流圈上涌提供了大量的热源。与早古生代构造-岩浆事件有关的断裂并没有切穿地壳,没有到达地幔,所有构造变形与岩浆活动均在地壳范围内发生,属于陆内造山性质。

5.2 印支期花岗岩及其成矿作用

华南印支期花岗岩多为古变质沉积岩部分熔融的产物,它们大多被认为是过铝质 I 型或 S 型花岗岩(王德滋等,1986)。华南印支期岩浆事件多为 T_3 时期,介于 230~205 Ma 之间(周新民,2003)。李献华等(2004)则认为华南内陆三叠纪花岗岩的形成时代主要集中在 230~250 Ma;王岳军等(2005)则认为华南印支期过铝质花岗岩有着非常局限的时代(230~244 Ma);陈卫峰等(2006,2007)则认为广西、广东、海南及福建的岩浆活动以印支早期为主,湖南则以印支晚期为主。Wang 等(2007a)认为,印支早期花岗岩(243~228 Ma)为挤压环境下的同碰撞花岗岩,而印支晚期(220~206 Ma)则转变为伸展环境下的后碰撞花岗岩;于津海等(2007)则认为,华南的印支期变质-岩浆活动具有两阶段特征,第一阶段花岗岩(249~225 Ma)形成于同碰撞环境,第二阶段花岗岩(225~207 Ma)为后碰撞或碰撞晚期的产物。也就是说,华南印支期花岗岩,早期形成于挤压环境,晚期形成于伸展环境。邵建国等(1995a, 1995b)对云开地区碰撞挤压作用形成的 3 个糜棱岩化花岗岩的新生白云母的 Ar-Ar 定年结果分别为 255.3 ± 3.0 Ma, 249.7 ± 2.6 Ma 及 229.4 ± 2.5

Ma;彭少梅等(1996)对云开分界地区逆冲断层的新生白云母的 Ar-Ar 定年结果为 235~247 Ma;陈多福等(1998)对浙江遂昌及景宁地区的变质锆石的 U-Pb 定年结果为 234~252 Ma。Wang 等(2005, 2007b)在对雪峰山构造带和十万大山构造带的研究中,获得了与伸展构造有关的年龄分别为 195~217 Ma 和 208~218 Ma;李万友等(2012)也测得浙江靖居铝质 A 型正长花岗岩结晶年龄为 215 ± 2 Ma,这意味着至少在 215 Ma 时浙西南地区就处于伸展的构造背景下。

华南地区晚三叠世花岗岩及其成矿作用是近几年逐渐普遍受到人们关注的地质科学问题。由于独特的地理位置,华南地区晚三叠世花岗岩的成因一直被认为是华北板块与扬子板块或者华南板块与越北 Song Chay 地体发生碰撞的结果。周新民等(2003)认为古特提斯海域在中国呈多支叉自西向东分布,随其闭合和碰撞时限的差异,形成广泛的印支期花岗岩。张岳桥(2009)也认为华南地区加里东期花岗岩和印支期花岗岩是同构造地壳深熔作用的产物,这些岩体均形成于同碰撞的环境中。从华南地区印支期花岗岩的分布图上就可以看出端倪,华南印支期花岗岩又从东北向西南、从两侧向中心有逐渐变年轻的特点,其分布具有向西南剪刀状分布特点。在华南板块南缘的云开地体和越北的 Song Chay 地体发育了早中生代的向北东逆冲推覆的韧性变形。同位素年代学的定年结果指示了变形事件发生在 220 Ma 左右。在越南北部, Song Chay 地体的岩石和构造特征与云开地体极其相似(Lin et al., 2011),这些构造特征均表现为向北东的逆冲推覆,变形时间从晚三叠世至早侏罗世。这期构造事件的动力学机制被认为同印支板块与华南板块晚古生代一早中生代的构造拼合密切相关。Liang 等(2005)和梁新权等(2005)认为扬子地块和华夏地块在印支早期发生了强烈的陆内碰撞与汇聚及前陆盆地的沉积作用,中、晚三叠世由挤压构造向伸展构造转换。华南内部晚二叠世一中三叠世构造运动性质及转换受古特提斯洋的闭合及印支板块与华南陆块的碰撞作用影响。近年来,华南地区印支期成矿作用有越来越多的报道(蔡明海等,2006;刘善宝等,2008;杨锋等,2009;冯佳睿等,2011;梁华英等,2011),这些印支期的成矿作用多集中于 210 Ma 和 220 Ma 两个阶段,与桂北地区印支期成矿作用的时间段基本一致,即 220 Ma 左右和 210 Ma。从整个华南地区的区域背景来看,桂北地区印支期花岗岩

及其成矿作用可能是古特提斯逐渐向西南消亡的结果。两阶段的成矿作用分别形成于不同的地球动力学背景,即 220 Ma 左右的 W-Mo 矿床可能形成于挤压背景,而 210 Ma 的 W-Mo 矿床和 Sn-Nb-Ta 矿床则可能形成于伸展的背景中。

5.3 燕山期花岗岩及其成矿作用

华南地区燕山期花岗岩及其成矿作用已有丰硕的研究成果,其成因模型也比较多。但是,由于研究对象集中于中国的东南部地区,因此,桂东北地区燕山期花岗岩及其成矿响应的地质背景还不十分清楚。桂东北地区位于华南海域与扬子板块过渡地带,因此,造就了其地质历史环境演化的独特性。

华仁民等(2005)指出华南地区中、新生代不同来源的花岗岩类及与其有关的成矿作用都是在伸展-拉张环境下壳幔相互作用的结果。华南地区中生代尤其是燕山期的陆壳重熔型花岗岩类主要不是在造山挤压背景下形成的,而是在造山之后的伸展-裂解背景下形成的,而且与玄武岩浆底侵等壳-幔相互作用密切相关。华南地区几个成矿系统之间的差异是由它们形成于不同的成岩成矿构造动力学背景而造成的。其形成的构造动力学环境主要的不是以挤压为主,而是不同程度的伸展、拉张。正是由于地幔物质在不同程度上、不同形式的参与,才引起华南地区中生代大规模的岩浆活动,并促成了该地区丰富多彩的大规模金属成矿作用;周新民(2003)认为华南地区晚中生代活动主要以陆缘伸展增生造山作用为主;李晓峰等(2008)也认为华南地区不同时期的 Cu-Mo-W-Sn 矿床的形成与不同时期大洋板块俯冲有关,不同时期所对应的地球动力学背景不同。桂东北地区燕山期成矿作用主要集中于花山-姑婆山地区,它进一步分为 4 个阶段,即 160 Ma 左右、146 Ma 左右、138 Ma 左右和 100 Ma 左右。这 4 个阶段共同的特点就是成矿类型相同、集中产出。这可能反映了桂东北花山-姑婆山地区在燕山期多阶段的局部伸展有关(华仁民等,2005;胡瑞忠等,2010;毛景文等,2007,2008,2011)。

6 结论

(1)桂东北地区主要金属矿床有 W-Sn-Mo-Nb-Ta,可以分为 6 个成矿系统,即与志留纪花岗岩有关 W-Mo 矿、与二叠纪花岗岩有关的 Pb-Zn 矿床、与晚三叠世花岗岩有关 Sn-Nb-Ta 和 W-Mo、与中一晚侏罗世花岗岩有关的 W-Sn 矿床、与早一晚白垩世花岗岩有关的 W-Sn 矿床和与花岗岩有关的

钨矿。

(2)桂北地区成岩成矿时代具有多时代、多期次的特征,主要为志留纪、晚三叠世、中一晚侏罗世、白垩纪等,其中,白垩纪成矿作用表现出多阶段的特点。

(3)桂东北地区金属矿床的形成是不同时期构造-岩浆演化的结果。这些金属矿床主要形成于同碰撞挤压以及碰撞后伸展环境。

(4)南岭地区找矿部署工作除了燕山期岩体外,还要关注加里东期花岗岩和印支期花岗岩的成矿作用。

参 考 文 献

蔡明海,陈开旭,屈文俊,刘国庆,付建明,印建平. 2006. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及辉钨矿 Re-Os 测年. 矿床地质, 25: 263~268.

陈多福,李献华,潘晶铭,等. 1998. 浙江景宁鹤溪群斜长角闪岩变质新生锆石特征、离子探针 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义. 矿物学报, 18: 96~400.

陈懋弘,莫次生,黄智忠,李斌,黄宏伟. 2011. 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. 矿床地质, 30(6): 963~978.

陈培荣. 2004. 华南东部中生代岩浆作用的动力学背景及其与钨成矿关系. 钨矿地质, 20(5): 266~270.

陈卫锋,陈培荣,周新民,等. 2006. 湖南阳明山岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成因研究. 地质学报, 80: 1065~1077.

陈卫锋,陈培荣,黄宏业,等. 2007. 湖南白马山岩体花岗岩及其包体的年代学和地球化学研究. 中国科学(D辑:地球科学), 37: 873~893.

陈希清,付建明,程顺波,马丽艳,徐德明. 2011. 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. 华南地质与矿产, 27(2): 85~89.

陈毓川,毛景文. 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹. 南宁: 广西科学技术出版社.

冯佳睿,毛景文,裴荣富,李超. 2011. 滇东南老君山地区印支期成矿事件初探. 矿床地质, 31(1): 56~73.

冯佐海,梁金城,张桂林,李晓峰,邓继新. 2002. 论广西东部中生代花岗岩类岩石谱系单位——以姑婆山-花山花岗岩体为例. 桂林工学院学报, 22(3): 333~340.

广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志. 北京:地质出版社.

郭令智,施央申,马瑞士. 1980. 华南大地构造格架和地壳演化. 国际交流地质学术论文集. 北京:地质出版社, 109~116.

胡瑞忠,毛景文,华仁民,毕献武,钟宏,宋谢炎,陶琰. 2010. 华南陆块陆内成矿作用的一些科学问题. 地学前缘, 17(2): 13~26.

华仁民,陈培荣,张文兰,陆建军. 2005. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用. 矿床地质, 24: 99~107.

黄汲清,陈廷愚. 1986. 华南钨锡矿之多旋回成矿问题. 地质论评, 32(2): 138~143.

李万友,马昌前,刘园园,Robinson P T. 2012. 浙江印支期铝质 A 型

- 花岗岩的发现及其地质意义. 中国科学:地球科学, 42(2):164~177.
- 李献华, 李武显. 2004. 华南早中生代岩浆作用的时代、成因及构造意义. 2004 年全国岩石学与地球动力学研讨会, 107~108.
- 李晓峰, 梁金城, 冯佐海. 1997a. 广西海洋山花岗岩体侵位机制. 广西科学, 4(3):188~191.
- 李晓峰, 梁金城, 冯佐海. 1997b. 广西海洋山花岗岩体地球化学演变及其形成环境. 桂林工学院学报, 17(3):228~233.
- 李晓峰, Watanabe Yasushi, 华仁民. 2008. 华南地区中生代 Cu-Mo-W-Sn 成矿作用与洋岭/转换断层俯冲. 地质学报, 82(5):625~640.
- 李晓峰, 冯佐海, 李荣森, 唐专红, 迟国栋. 2009. 华南志留纪钼的矿化: 桂岭岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和白石顶石英脉型钼矿体的 Re-Os 年龄证据. 矿床地质, 28(4):403~412.
- 梁华英, 伍静, 孙卫东, 莫济海, 黄文婷. 2011. 华南印支成矿讨论. 矿物学报, 31(增刊), 53~54.
- 梁新权, 李献华, 丘元禧, 等. 2005. 华南印支期碰撞造山——十万大山盆地构造和沉积学证据. 大地构造与成矿学, 29:99~112.
- Lin Wei, Michel F, Claude L, 陈泽超, 褚杨, 王清晨, Nguyen V V, Vu V T. 2011. 华南板块南缘早中生代的逆冲推覆构造及其相关的动力学背景. 地质科学, 46(1):134~145.
- 林德松, 王开远. 1987. 栗木矿田花岗岩型锡矿床成矿地质特征. 矿产与地质, 1(2):1~9.
- 刘宝珺, 许效松, 潘杏南. 1993. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿. 北京: 科学出版社, 9~33.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 李建康, 应立娟, 许建祥, 曾载淋. 2008. 赣南崇余-犹矿集区不同类型含矿石英脉中白云母 Ar-Ar 年龄及其地质意义. 地质学报, 82:932~940.
- 陆小平, 陆孝赞, 龚名文, 路启福, 石士定. 2005. 广西姑婆山锡矿田矿床地质特征及矿床成因. 华南地质与矿产, 53~60.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模锡钨多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景. 岩石学报, 23:2329~2338.
- 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. 高校地质学报, 14:510~526.
- 毛景文, 陈慈勉, 袁顺达, 郭春丽. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律. 地质学报, 85(5):636~658.
- 彭少梅, 伍广宇. 1996. 云开地块的构造演化史及其动力学特征. 广东地质, 11:39~46.
- 丘元禧, 张渝昌, 马文璞. 1999. 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. 广州: 中山大学出版社, 1~153.
- 任纪舜. 1964. 中国东南部泥盆纪前几个大地构造问题的初步探讨. 地质学报, 44(4):418~431.
- 任纪舜, 陈廷恩, 牛宝贵. 1990. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社.
- 邵建国, 彭少梅. 1995a. 云开地区前海西期构造演化的同位素年代学研究. 广东地质, 10:41~50.
- 邵建国, 彭少梅. 1995b. 云开地块周边断裂带 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线定年. 广东地质, 10:34~40.
- 石少华, 胡瑞忠, 温汉捷, 孙如良, 王加昇, 陈恒. 2010. 桂北沙子江钨矿床成矿年代学研究: 沥青铀矿 U-Pb 同位素年龄及其地质意义. 地质学报, 84(8):1175~1182.
- 宋慈安. 2001. 珊瑚钨锡矿床. 北京: 北京工业大学出版社.
- 舒良树. 2006. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东造山带. 高校地质学报, 12(4):418~431.
- 汪金榜, 唐怀禹. 1988. 广西牛塘界白钨矿矿床地质特征及其成因探讨. 广西地质, 1:11~18.
- 王德滋, 刘昌实. 1986. 中国东南沿海海西—印支旋回花岗岩类的分布规律及成因系列. 岩石学报, 2(4):1~12.
- 王化云. 1986. 广西桂北牛塘界地区岩浆岩地球化学特征及时代划分探讨. 广西区域地质, 1:27~32.
- 王岳军, 范蔚若, 梁新权. 2005. 湖南印支期花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其成因启示. 科学通报, 50:101~108.
- 伍静, 梁华英, 姜峰, 张献河, 胡光黔. 2010. 常规次生晕法在广西资源县云头界钨钼矿找矿中的成果及意义. 矿床地质, 29(2):301~307.
- 肖荣, 李晓峰, 冯佐海, 杨锋, 宋慈安. 2011. 广西珊瑚钨锡矿床含钨石英脉中白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义. 矿床地质, 30(3):488~496.
- 杨锋, 李晓峰, 冯佐海, 白艳萍. 2009. 栗木锡矿云英岩化花岗岩白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义. 桂林工学院学报, 29(1):21~24.
- 于津海, 王丽娟, 王孝磊, 等. 2007. 赣东南富城杂岩体的地球化学和年代学研究. 岩石学报, 23:1441~1456.
- 张桂林. 2004. 扬子陆块南缘(桂北地区)前泥盆纪构造演化的运动学和动力学研究. 中南大学博士学位论文, 1~182.
- 张相训. 1994. 广西资源县牛塘界花岗岩体时代探讨. 广西地质, 7(3):3~20.
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考. 高校地质学报, 9(4):556~565.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 2006. 南岭西段花山-姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄格架及其地质意义. 岩石学报, 22(9):2270~2278.
- 邹先武, 崔森, 屈文俊, 白云山, 陈希清. 2009. 广西都庞岭李贵福钨锡多金属矿 Re-Os 同位素定年研究. 中国地质, 36:837~844.
- Li X F, Feng Z H, Wang C Z, Li R S, Tang Z H. 2010. Molybdenite Re-Os and zircon SHRIMP U-Pb dating at the Baishiding deposit, Guposhan district: new evidence for Silurian Mo mineralization in South China. Resource Geology, 60(3):260~270.
- Liang X Q, Li X H. 2005. Late Permian to Middle Triassic sedimentary records in Shiwandashan basin: implication for the Indosinian Yunkai orogenic belt, South China. Journal of Sedimentary Geology, 177:297~320.
- Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M, et al. 2005. Structural signatures and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block. Journal of Structure Geology, 27:985~998.
- Wang Y J, Fan W M, Sun M, et al. 2007a. Geochronological, geochemical and geothermal constraints on petrogenesis of the Indosinian peraluminous granites in the South China Block: a case study in the Hunan Province. Lithos, 96:75~502.
- Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, et al. 2007b. Zircon U-Pb

geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its
implications on the Caledonian event in the South China Block.

Gondwana Research, 12: 404~416.

**Spatial and Temporal Distributions and the Geological Setting of the
W-Sn-Mo-Nb-Ta Deposits at the Northeast Guangxi, Southe China**

LI Xiaofeng¹⁾, FENG Zuohai²⁾, XIAO Rong³⁾, SONG Ci'an²⁾,
YANG Feng²⁾, WANG Cuiyun²⁾, KANG Zhiqiang¹⁾, MAO Wei¹⁾

- 1) *State Key Laboratory Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry,
Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002;*
2) *Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541004;*
3) *Hunan Institute of Geological Survey, Changsha, 410116*

Abstract

Northeastern Guangxi is tectonically located in the transition zone between the Jiangnan orogenic belt and the South China fold belt, and has a unique tectonic position. Using detailed analysis of a series of typical deposits and chronological data of granite related, along with deposit types and ore-forming elements, this study divided the deposits in this area into six metallogenic systems. (1) W-Mo deposits related to the Silurian granite; (2) Pb-Zn deposits related to the late Triassic granite; (3) W-Mo deposits and Sn-Nb-Ta deposits associated with the Triassic granite; (4) W-Sn deposits related to the Middle-Late Jurassic granite; (5) W-Sn deposits associated with the Cretaceous granite; (6) Uranium deposit related to the granite. The formation of these deposits is closely related to tectonic-magmatic evolution in different periods and formed mainly at syn-collision compressional setting and/or post-collision extensional setting.

Key words: Caledonian granite; Indosinian granite; Yanshanian granite; W-Sn-Mo-Nb-Ta mineralization; Northeast Guangxi, South China