

DOI: 10.13745/j.esf.yx.2017-1-11

赣南樟(东坑)一九(龙脑)钨多金属矿床矿物学、年代学特征及其地质意义

王少轶^{1,2}, 赵正², 方贵聪^{3,*}, 欧阳翔⁴, 陈振宇², 侯可军²

1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170
2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037
3. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004
4. 江西荡坪钨矿, 江西 大余 341514

WANG Shaoyi^{1,2}, ZHAO Zheng², FANG Guicong^{3,*}, OUYANG Xiang⁴, CHEN Zhenyu², HOU Kejun²

1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China
3. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China
4. Jiangxi Dangping Tungsten Co., Ltd., Dayu 341514, China

WANG Shaoyi, ZHAO Zheng, FANG Guicong, et al. Mineralogical and geochronological characteristics of the Zhang (dongkeng) — Jiu(longnao) tungsten polymetallic deposit, southern Jiangxi Province, and its geological implications. *Earth Science Frontiers*, 2017, 24(5): 120-130

Abstract: Zhang(dongkeng) — Jiu(longnao) tungsten polymetallic deposit, located in east section of Nanling region, is an important part of the Chongyi — Dayu — Shangyou concentrated mineral area. The deposit clustered mainly in Zhangdongkeng section and Jiulongnao section, which respectively have “outer mineralized quartz vein” and “inner mineralized quartz vein”, is considered to be a typical example of “Five levels + Basement” model. Based on the scientific research project of ore deposit geology, the author carried out a systematic comparison on the mineral assemblage of the inner and outer contact zone, the electron microprobe test of wolframite, and the zircon U-Pb dating of biotite granite rock mass which is closely related to mineralization. The zircon U-Pb average isochron age is 151.1 ± 2.2 Ma and reflects the diagenetic age of the Jiulongnao mining area. That is highly consistent within the error range of mineralization age of internal ore body (151.1 Ma) and external ore body (151.3 Ma). The results show that Zhang-Jiu granitic magmatism and mineralization occurred nearly at the same time. Electron microprobe analysis shows that there is a linear relationship between Mn and Fe, therefore, the inner quartz vein and outer quartz vein could be considered as the product of the same magmatic activity. The outer ore with higher Fe/Mn ratio predicts the outer ore-forming temperature is higher than the inner one. Based on the detailed study above, this paper establishes the metallogenic model and makes a prospecting direction.

Key words: Chongyi — Dayu — Shangyou concentrated mineral area; tungsten molybdenum deposits; “Five levels + Basement” model; U-Pb dating of zircon; mineral chemical composition; Zhang(Dongkeng) — Jiu(Longnao) tungsten polymetallic deposit

摘要:樟(东坑)一九(龙脑)钨矿位于南岭成矿带东段,是赣南崇一余一犹世界级钨多金属矿集区的重要组

收稿日期:2017-01-01;修回日期:2017-02-23

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项(2014111050);国家自然科学基金项目(41372092);国家重点研发计划课题(2016YFC0600208)

作者简介:王少轶(1990—),男,助理工程师,主要从事矿床学研究。E-mail:wangshaoyiligong@126.com

*通讯作者简介:方贵聪(1985—),男,博士,讲师,主要从事矿床学研究和教学。E-mail:fanggucong@163.com

<http://www.earthsciencefrontiers.net.cn> 地学前缘,2017,24(5)

成部分。矿床分樟东坑和九龙脑两个矿段,前者以外带石英脉钨矿化为主、后者以内带石英脉型钨矿化为主,是赣南地区“五层楼+地下室”找矿模型侧向分带的典型代表。本文在矿床地质调查基础上,对内外接触带矿物组合进行了系统对比,并对其中黑钨矿开展了电子探针测试,同时测定了与成矿密切相关的黑云母花岗岩体锆石 U-Pb 年龄。结果表明九龙脑矿区的成岩年龄为(151.1±2.2) Ma,与其内、外带矿体成矿年龄(分别为 151.1 Ma 和 151.3 Ma)在误差范围内高度一致,表明成岩与成矿作用基本同步。内、外带黑钨矿矿物化学成分连续,Mn-Fe 含量呈明显线性相关,为同一次岩浆热液成矿作用产物。外带黑钨矿较内带黑钨矿 Fe/Mn 值偏高,反映外带矿体成矿温度高于内带矿体。基于上述研究成果,本文建立了樟东坑—九龙脑钨矿成矿模型,并提出了下一步找矿方向。

关键词:崇余犹矿集区;钨多金属矿;“五层楼+地下室”找矿模型;锆石 U-Pb 测年;矿物化学;樟—九钨矿
中图分类号:P618.67;P597 文献标志码:A 文章编号:1005-2321(2017)05-0120-11

樟—九钨矿发现于 1967 年,是赣南崇—余—犹世界级钨多金属矿集区的重要组成部分,内带与外带矿化发育,被认为是“五层楼+地下室”找矿模型侧向分带的典型代表^[1]。其附近发育有梅树坪、大水坑、桥子坑、下洞子、石龙牧等石英脉型钨矿床,均与九龙脑复式岩体具有重要的时空和成因联系^[2],是本区有利的找矿远景区。

前人对该矿床基础地质做了详细的描述^[3-5],还有部分学者分别对九龙脑矿段和樟东坑矿段成矿年龄进行厘定^[6-7],而对“五层楼+地下室”结构中矿物成分的分带规律、成矿花岗岩时代、成岩成矿关系等未给予重视,在一定程度上制约了找矿工作的深入开展。

本文在详细的野外地质调查基础上,对内外接触带的黑钨矿化学成分开展了电子探针测试,并对成矿花岗岩体进行了锆石 U-Pb 年龄测定,以期加深对该矿床“五层楼+地下室”结构及成岩成矿关系的进一步认识,为今后找矿勘查提供指导。

1 成矿地质背景

樟—九钨矿隶属赣南崇(义)—(大)余—(上)犹钨多金属矿集区西部的九龙脑矿田。地区所处的构造位置,属南岭东西向构造带(二级构造)东段与武夷山北东—北北东向构造带南段的复合部位。九龙脑矿田地处赣南东西向构造带大余—瑞金 EW 向构造亚带中的大余—信丰褶断带与赣南 NE 向构造带中的大余—宁都黄陂深断裂的复合交汇处(图 1),构造变形强烈,决定了本区以东西向、北北东向构造为主,叠加北东向、北西向和近南北向构造的多旋回格架。

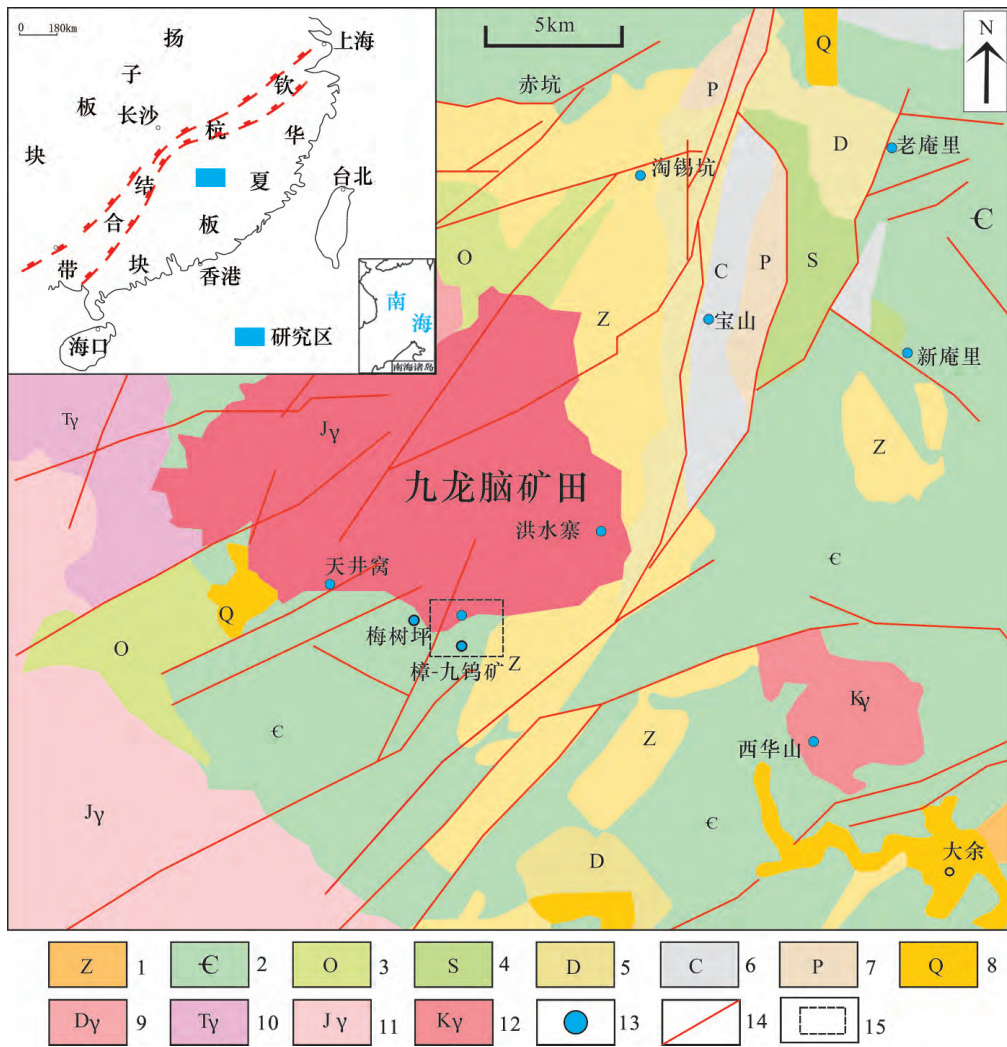
全区地层明显分为基底(Z—O)、盖层(D—T)、断陷盆地沉积(K—E)3 个构造层,广泛出露早古生

代基底岩系,泥盆系、石炭系、二叠系、侏罗系、第三系等零星分布。震旦系(Z)—奥陶系(O)为浅变质海底火山碎屑为主的复理石建造,泥盆系、石炭系和二叠系为滨海相泥砂质建造及碳酸盐岩建造。

区内岩浆活动频繁,岩浆活动方式主要以侵入为主,以多期次、多阶段为特征,形成了大面积分布的岩浆岩体,浅部有隐伏岩体发育,岩体以花岗岩为主,包括加里东期、海西—印支期和燕山期三个岩浆旋回。主要岩浆活动时期为燕山期,与本区丰富的内生矿产的成矿作用关系十分密切。其中燕山期九龙脑复式岩体是矿化最为集中区域,以九龙脑岩体为中心,产出代表性矿床有淘锡坑、梅树萍、天井窝和樟东坑—九龙脑等,构成了重要的钨多金属矿田。九龙脑岩体主要有由中—粗粒黑云母花岗岩和细粒二云母花岗岩组成,与地层呈侵入接触,波状弯曲近东西向展布,岩体南端为中—粗粒黑云花岗岩,向北逐渐过渡为二云母花岗岩。

2 矿床地质

矿床产于九龙脑岩体南端与震旦系的接触带内,研究区内地层单一,为寒武系中统高滩组(*E₂gt*)变质石英砂岩、板岩及二者互层。矿床位于唐埔向斜北东东端的次一级构造中,以穿过矿区中部的樟东坑复式背斜为主轴线,西北部还有一与之平行的复式向斜褶皱,东南翼被一系列的北东向断裂错断,而变得直立(图 1)。矿区内断裂发育,有近 SW 向、NEE 向、NE 向和 NW-SE 向。三条走向近东西向、倾向正南的断裂控制了矿体的产出,其中 F1、F2 断层将矿床划分为九龙脑矿段和樟东坑矿段。九龙脑矿段发育于 F1 断层下盘的岩体内部,寒武系高滩组与九龙脑岩体南缘的内接触带,樟东坑矿段发育于 F2 断层上盘的九龙脑外接触带的寒



1—震旦系; 2—寒武系; 3—奥陶系; 4—志留系; 5—泥盆系; 6—石炭系; 7—二叠系; 8—第四系; 9—泥盆纪花岗岩; 10—三叠纪花岗岩; 11—侏罗纪花岗岩; 12—白垩纪花岗岩; 13—矿点; 14—断层; 15—工作区范围。

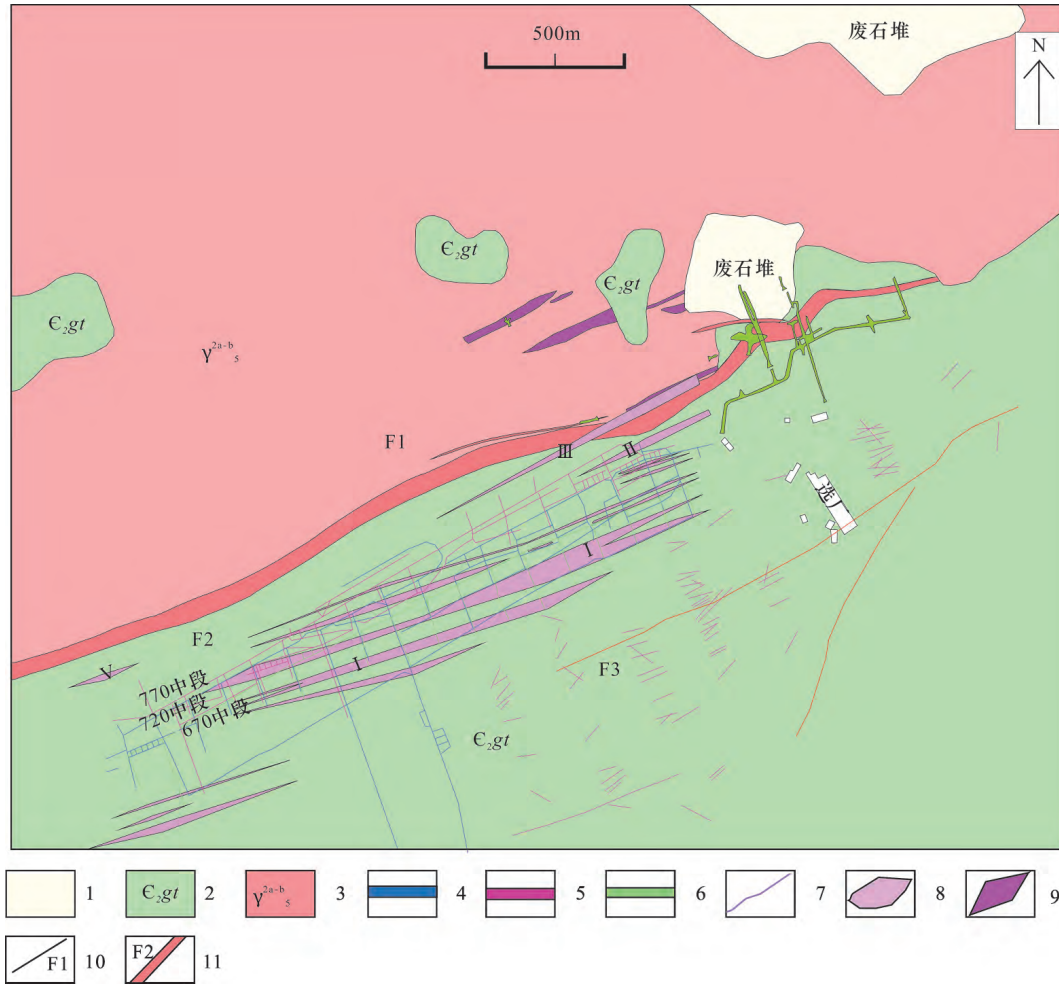
图 1 崇—于—犹矿集区构造简图

Fig. 1 Tectonic position of ChongYi-Dayu-Shangyou ore concentration area

武系高滩组地层之中, F3 断层为樟东坑矿段南界 (图 2)。NW-SE 向裂隙带是矿区内主要容矿构造。矿床主要出露于九龙脑岩体南端, 燕山早期第二阶段中粒黑云母花岗岩中, 呈岩基状出露于九龙脑矿田中部, 属九龙脑岩基。揭露隐伏花岗岩至少可分两种产出岩相, 一是花岗岩主体, 岩性为中细粒黑云母花岗岩, 岩体顶面海拔高度为 126~276 m; 二是见于矿区深部 370 m 标高附近从岩体顶部向上延伸的火焰状花岗岩脉, 鉴定为细粒黑云花岗岩, 与主体岩性一致, 但生成时间稍晚。

该矿床由内带石英脉、云英岩型和外带石英脉型矿体组成, 自南向北依次排列分布, 具有典型的“五层楼+地下室”侧向分带特征(图 2)。九

脑矿段赋存于中—粗粒黑云母花岗岩之中, 主要产出内带石英脉型矿脉, 具典型的“地下室”矿化特征。目前编号矿脉共 10 条, 其中 V1、V1-1、V1'、V1''、V1、V4 号脉产于岩体与地层接触带上和破碎带中, 属于云英岩细脉矿体。内带石英脉型矿脉分别为 V3、V5、V6、V7、V8, 呈北东向分布, 形态复杂(图 4c、d、e、f)。樟东坑矿段赋矿围岩为寒武系高滩组 (€_{2gt}), 矿体全部为外带石英脉型矿脉, 具有“五层楼”矿化特征, 探明工业矿脉 90 条, 呈北东向排列, 分为北、中、南组, 其间隔约为 100 m, 各组之间时有稀疏小脉出现。中组为主干脉组, 不仅规模最大, 工业矿脉也最多(图 4a、b)。各矿体简要特征详见表 1。



1—废石堆; 2—寒武系高滩组; 3—燕山期花岗岩; 4—720中段; 5—670中段; 6—770中段; 7—含钨网状脉; 8—含钨石英脉; 9—云英岩石英细脉带; 10—断裂编号; 11—硅化破碎带及编号。

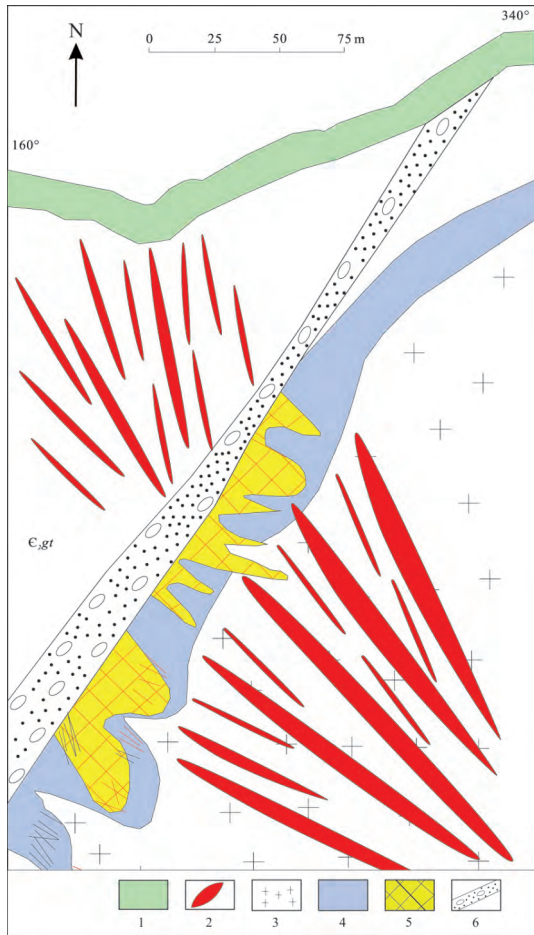
图2 樟一九矿床地质简图

Fig. 2 Geological map of the Pangushan Zhang-Jiu tungsten deposit

表1 樟一九钨矿床矿体特征

Table 1 Characteristics of Zhang-Jiu tungsten orebody

矿段	类型	矿脉	倾向	倾角/(°)	描述
龙脑矿段	云英岩细脉	V1	南东	60~76	脉体沿倾向呈宽缓波状, 局部地段矿脉具膨大收缩, 分枝复合, 该组矿脉地表厚度大于5 cm, 脉宽最大处约8.1 m, 一般为2~5 m。
		V1-1	南东	60~76	沿走向呈宽缓波状弯曲, 与围岩分界较明显, 局部呈渐变关系, 具膨胀缩小, 脉体最宽处6 m, 一般为2~3.8 m。
		V1'			V1', V1'', V4号矿体仅有钻孔控制, 产状分别为8°∠66°, 320°∠75°, 10°∠64°, 带宽分别为1 m, 0.55 m, 1 m。黑钨矿化连续性较好。
		V1''			
	内带石英脉型	V4			
		V3	3°	65~70	
		V5	10°		常成组成带分布, 各矿脉大致呈右行侧幕状平行排列, 脉距一般10~35 m。矿体形态较为复杂, 尤其沿走向较沿倾向复杂得多, 膨缩、弯曲、分枝复合和尖灭侧现等现象常见, 局部为网状状。
		V6	350°		
V7	10°				
V8	10°				
樟东坑矿段	外带石英脉型	分为北、中、南三个脉组	南东	75~85	中组为主干脉组, 工业矿脉最多, 绝大多数矿脉为不连续的单脉。在两复脉之间有稀疏的细脉分布, 就一条矿脉而言, 其脉体形态主要是尖灭侧现、膨大、缩小、分枝复合和尖灭重现为其特征, 尖灭侧现较为普遍。



1—寒武系; 2—石英脉型矿体; 3—中粒黑云母花岗岩; 4—云英岩化带; 5—云英岩型矿体; 6—破碎带。

图3 106 勘探线剖面图

Fig. 3 NO. 106 prospecting line profile in Meishuping mining area

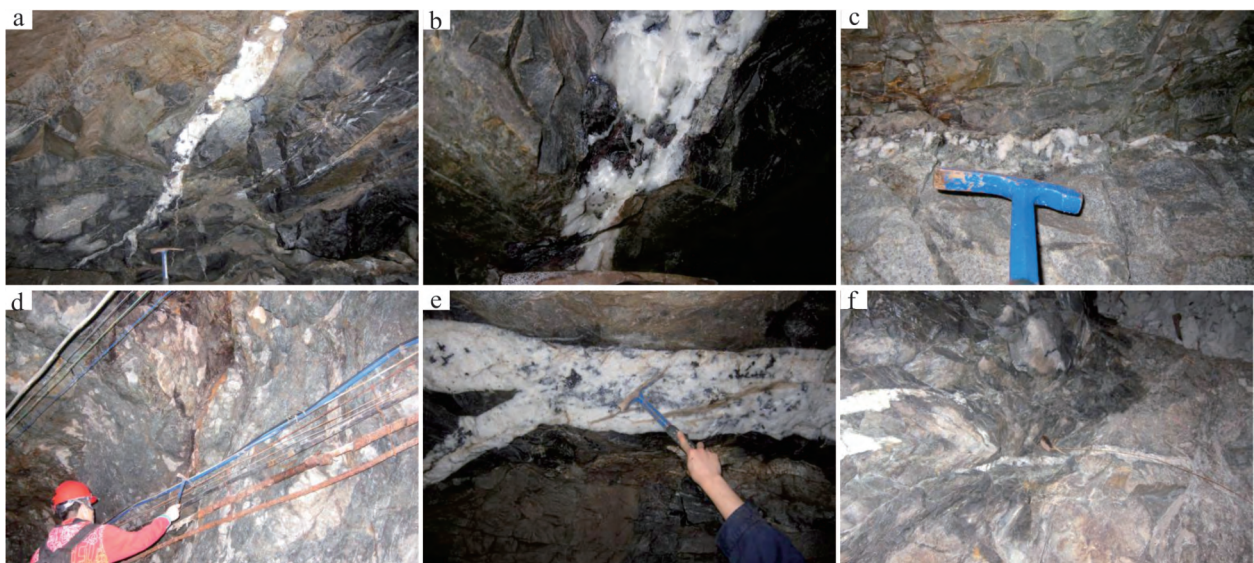
樟东坑矿段有益组分为黑钨矿、辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿,垂向上表现为“上钨下钼”。矿石构造以团块状构造和对称条带状构造为主,矿石结构以交代结构、交代残余结构、固溶体分离结构和自形粒状结构最为常见(图 5a、b、e、f)。九龙脑矿段主要金属矿物有:黑钨矿、白钨矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿和毒砂。其中锡石、辉钼矿、黄铜矿为伴生矿物。矿石结构主要有自形一半自形、它形晶粒结构和交代残余结构。矿石构造主要有致密块状构造、浸染状构造、晶洞状或梳状构造、角砾状构造和条带状构造(图 5c、d、g、h)。

根据矿体特征、矿物学特征、矿物之间的共生关系,本区矿化分为两期,各期又分为三个阶段。外带期包括石英—黑钨矿阶段、石英—黑钨矿—硫化物阶段、石英—硫化物阶段。内带期包括石英—黑钨矿阶段、石英—黑钨矿—硫化物阶段、石英—硫化物阶段。矿区与成矿关系密切的围岩蚀变主要为云英岩化、绢云母化、硅化、碱性长石化等。

3 实验方法及测试结果

3.1 电子探针分析

样品共采集 11 块,其中樟东坑矿段 370 标高 4 块,九龙脑矿段 740 标高 7 块。电子探针工作在中国地质科学院矿产资源研究所,采用日本 JXA8800 型电子探针对矿区内的黑钨矿进行了电子探针测

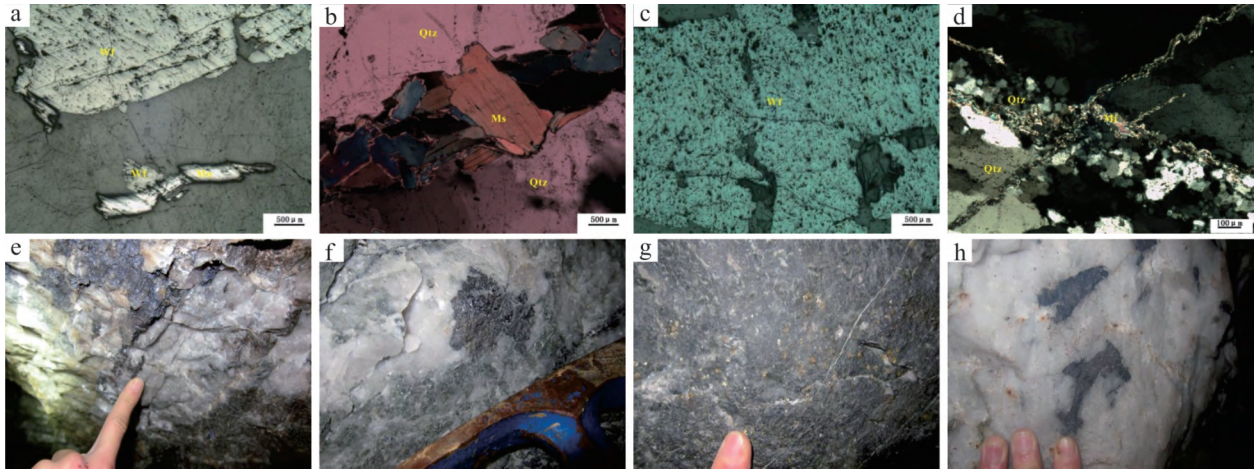


a—樟东坑矿段矿脉的尖灭现象; b—樟东坑矿段石英脉的膨大现象; c—九龙脑矿段云英岩化; d—九龙脑矿段岩体与地层间的破碎带; e—九龙脑矿段矿脉的分支; f—九龙脑矿段矿脉的复合。

图4 樟—九钨矿床矿脉特征

Fig. 4 Orebody characteristics of Zhang-Jiu deposit

<http://www.earthsciencefrontiers.net.cn> 地学前缘, 2017, 24(5)



a—樟东坑矿段自形一半自形黑钨矿; b—樟东坑矿段石英脉中产出有细小脉状的云母脉; c—九龙脑钨矿段自形一半自形结构; d—九龙脑矿段黑钨矿后期被石英脉穿插而过; e—樟东坑矿段辉钼矿化; f—樟东坑矿段黑钨矿化; g—九龙脑矿段黄铜矿矿化; h—九龙脑矿段黑钨矿化。

图 5 樟—九钨矿矿物学特征

Fig. 5 Mineralization characteristics of Zhang-Jiu deposit

试,工作电压 15 kV,电流 10 μA,标准样品为美国国家标准局的 53 个国际标准样品。

樟东坑和九龙脑矿床样品黑钨矿的化学成分电子探针分析结果见表 2。测试样品共有 11 件、11 个点,在镜下鉴定后,选择不同矿段、晶型较好的黑钨矿进行电子探针测试,其中九龙脑内脉带黑钨矿 7 件,樟东坑外脉带黑钨矿 4 件。九龙脑矿段内带石英脉成分:WO₃ 含量在 74.156%~75.653%,平均值为 73.79%;MnO 含量在 9.597%~13.944%,平均值为 11.80%;FeO 含量在 11.264%~15.726%,平均值为 13.93%。樟东坑外带石英脉型黑钨矿

WO₃ 含量在 74.709%~75.321%,平均值为 75.45%;MnO 含量在 7.789%~8.645%,平均值为 7.87%;FeO 含量在 16.039%~16.786%,平均值为 16.72%。可见内带和外带黑钨矿 WO₃ 含量大致相当,内脉带稍低。内脉带黑钨矿 FeO 含量较外脉带含量较高,MnO 含量较低。

此外本文还收集整理崇—余—犹矿集区的内西华山钨矿和盘古山钨矿黑钨矿矿物化学数据(表 3),西华山钨矿为区内著名的内带型矿床,盘古山为典型的外带型矿床。西华山钨矿 WO₃ 含量在 72.25%~75.9%,平均值为 74.57%;FeO 含量在 6.73%~15.05%,平均值为 13.05%,且以 12.35%~14.54% 居多;MnO 含量在 8.23%~11.13%,平均值为 10.20%。盘古山钨矿 WO₃ 含量在 74.79%~76.39%,成分变化不大,平均值为 75.34%;FeO 含量在 6.54%~22.79%,平均值为 16.4%;MnO 含量在 2.06%~11.92%,平均值为 8.17%。典型外带型矿床 Mn/Fe 比值明显低于内带型矿床。

表 2 樟—九钨矿床黑钨矿单矿物主要化学成分电子探针分析结果

Table 2 Analytical results of chemical composition in wolframite of Zhang-Jiu deposit by electron probe

矿体	样品编号	w(WO ₃)/%	w(FeO)/%	w(MnO)/%
内带石英脉型矿体	jln-1	75.59	11.26	13.94
	jln-2	75.65	15.16	9.59
	jln-3	74.43	15.73	9.69
	jln-4	74.56	14.69	10.50
	jln-5	74.55	12.81	12.73
	jln-6	74.15	13.14	12.52
	jln-7	75.59	11.26	13.94
	平均值	73.79	13.93	11.80
外带石英脉型矿体	zdk-1	75.01	16.32	8.6
	zdk-2	74.71	16.0	8.81
	zdk-3	75.32	16.18	8.81
	zdk-4	75.29	16.79	7.79
	平均值	75.45	16.72	7.87

表 3 盘古山、西华山黑钨矿单矿物主要化学成分电子探针分析结果

Table 3 Analytical results of chemical composition in wolframite of Xihuashan and Pangushan deposit by electron probe

样品来源	w(WO ₃)/%	w(FeO)/%	w(MnO)/%
西华山 ^[8]	72.25~75.9 (74.57)	6.73~15.05 (13.05)	8.23~11.13 (10.20)
	74.79~76.39 (75.34)	6.54~22.79 (16.4)	2.06~11.92 (8.17)

注:括号内数值为平均值。

3.2 花岗岩锆石 U-Pb 测年方法

本次用于 U-Pb 同位素分析的样品采自九龙脑矿床九龙脑矿段 740 标高(样号 JLN-1, 地理坐标 N37°12'13.25"), 岩性为中细粒似斑状黑云钾长花岗岩, 呈褐红色, 中细粒结构, 块状构造, 碎裂状构造; 组成矿物主要为钾长石、石英、斜长石等, 岩石中有含矿石英脉侵入, 石英脉边缘云英岩化, 石英脉中可见暗褐-黑色板状黑钨矿。

锆石的挑选在河北省廊坊区域地质调查研究所实验室利用标准重矿物分离技术分选完成。锆石 U-Pb 测年在中国地质科学院矿产资源所 LA-MC-ICPMS 实验室完成, 测试仪器为 Finnigan Neptune 等离子质谱仪和 Newwave UP213 激光剥蚀系统。本次测试采用的激光剥蚀束斑直径为 30 μm; 具体测试过程详见文献[10]。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标, 元素含量采用 NIST SRM610 作为外标, ²⁹Si 作为内标元素(锆石中 SiO₂ 含量为 32.8%); 样品的同位素比值及元素含量计算采用 ICPMSDATECAL 程序年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot3.0 软件。

根据该样品的锆石形态及内部结, 样品 JLN-1 的锆石显示出典型岩浆锆石的特征(图 6)。本次研究总计选取了 14 个锆石微区开展 U-Pb 测年分析,

分析结果显示(表 4), 所有点都投影于谐和曲线或曲线附近, 表明这些锆石颗粒在形成后的 U-Pb 同位素体系是封闭的, 没有 U 或 Pb 同位素的明显丢失或加入。²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄与²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄高度协和一致, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 和²⁰⁷Pb/²³⁵U 的协和度为 90%~99%, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄分布在 145.2~154.8 Ma, 其加权平均年龄为(151.1±2.2) Ma, 可以代表其结晶年龄(图 7)。

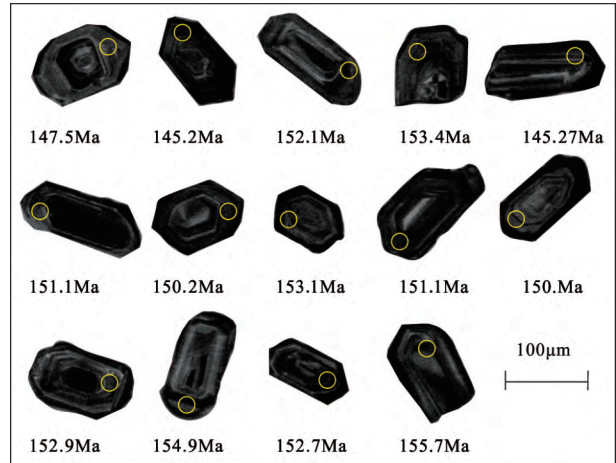


图 6 樟-九钨矿中粒黑云母花岗岩锆石阴极发光图
Fig. 6 Cathodoluminescence images of typical zircons from Zhang-Jiu deposit

表 4 樟-九矿区花岗岩锆石 U-Pb 测年数据
Table 4 LA-ICP-MS U-Pb dating results of zircon from the Zhang-Jiu granite

测点	$w_b/10^{-6}$			Th/U	比值				年龄/Ma				协和度		
	Pb	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
JLN-1	77.71	474.11	2 677.79	0.17	0.023 1	0.006 7	0.005 7	0.470 1	216.74	99.98	151.83	5.87	147.59	2.85	97%
JLN-2	79.83	1 069.97	2 701.25	0.39	0.022 7	0.006 6	0.003 7	0.343 2	283.39	76.84	154.64	5.80	145.23	1.99	93%
JLN-3	30.21	408.16	951.51	0.42	0.023 8	0.012 8	0.006 4	0.678 4	433.38	163.87	166.30	11.09	152.14	7.37	91%
JLN-4	124.20	1 734.66	4 182.89	0.41	0.024 0	0.007 0	0.004 1	0.439 4	364.87	81.47	167.77	6.04	153.40	2.60	91%
JLN-5	33.47	523.94	1 143.71	0.45	0.022 7	0.010 1	0.005 5	0.409 3	316.72	122.20	156.86	8.85	145.27	3.58	92%
JLN-6	18.09	440.11	1 193.92	0.36	0.023 7	0.029 0	0.005 4	0.192 4	187.12	377.73	153.04	25.34	151.11	5.12	98%
JLN-7	10.53	595.08	586.61	1.01	0.023 5	0.015 4	0.006 5	0.317 4	172.31	222.19	150.81	13.53	150.23	4.50	99%
JLN-8	4.54	147.81	306.24	0.48	0.024 0	0.020 0	0.007 2	0.369 1	375.98	275.88	162.30	17.33	153.07	6.45	94%
JLN-9	8.51	296.26	615.17	0.48	0.023 7	0.024 1	0.006 7	0.319 5	194.53	327.73	151.84	21.15	151.09	7.15	99%
JLN-10	146.68	2 177.33	7 073.75	0.31	0.023 5	0.007 7	0.001 2	0.392 6	346.35	93.51	163.62	6.72	150.14	2.59	91%
JLN-11	242.10	2 701.36	10 965.88	0.25	0.023 9	0.005 0	0.002 8	0.434 6	333.39	73.12	161.21	4.38	152.88	1.93	94%
JLN-12	338.65	8 584.47	13 357.14	0.64	0.024 3	0.005 7	0.002 8	0.427 8	264.88	75.91	163.04	4.99	154.85	2.17	94%
JLN-13	12.94	354.19	570.61	0.62	0.023 9	0.035 8	0.003 0	0.222 9	600.02	269.41	167.66	30.89	152.66	6.72	90%
JLN-14	180.24	1 464.49	8 479.84	0.17	0.024 4	0.006 0	0.003 0	0.462 9	320.43	113.87	167.71	5.18	155.73	2.38	92%

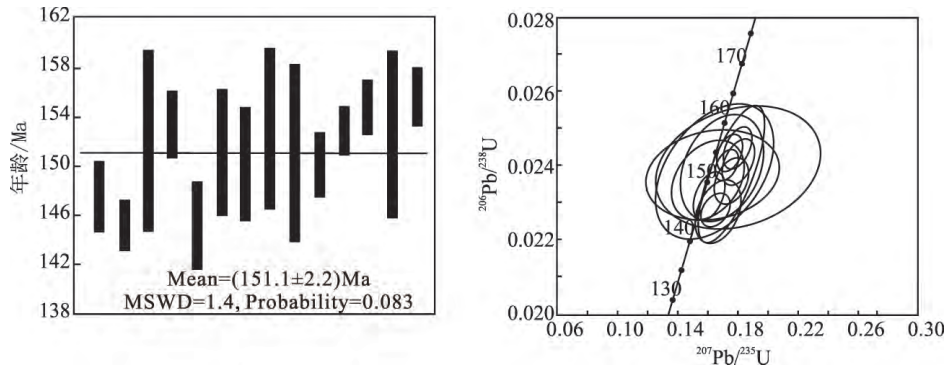


图7 樟一九钨矿中粒黑云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和曲线和加权平均值
Fig.7 U-Pb isochron age and model ages of zircons in molybdenite of Zhang-Jiu deposit

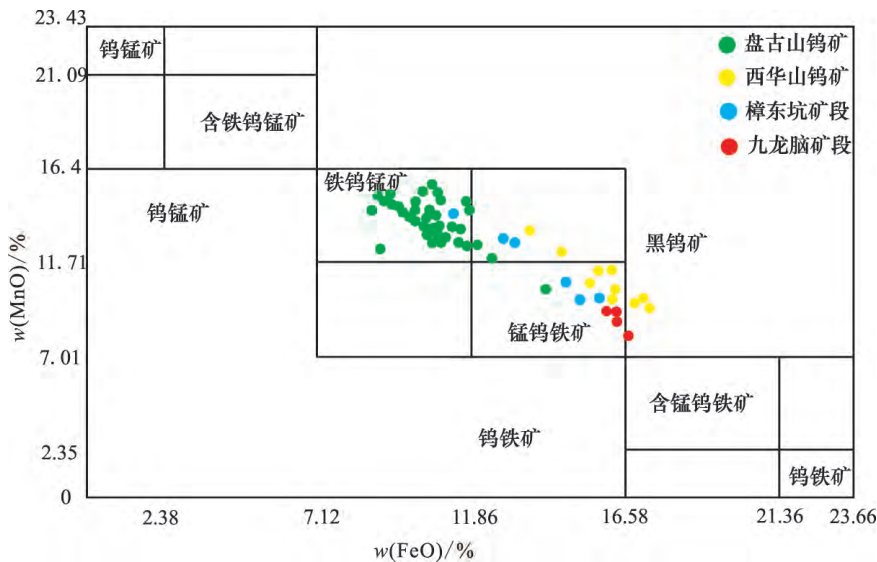


图8 黑钨矿 MnO、FeO 比值投点图
Fig.8 FeO and MnO diagram of wolframite

4 讨论

4.1 内带和外带石英脉矿物化学对比

黑钨矿主要由 WO_3 、 FeO 、 MnO 组成, $FeWO_4$ 和 $MnWO_4$ 以类质同相存在, 黑钨矿的化学成分具有重要的指示意义。根据李逸群等^[11]对黑钨矿的分类, 认为不同地区矿床或同一地区矿床黑钨矿—钨锰铁矿—钨铁矿这一系列固溶体各个成员代表的形成温度变化很大, 且温度低时钨元素先结晶, 高温时铁元素先结晶。本文对赣南地区形成于同一时期的典型内带型黑钨矿(西华山钨矿)和外带型黑钨矿(盘古山钨矿), 及本矿床区进行 MnO 、 FeO 比值投点(图8), 除典型的内带型矿床西华山钨矿, 投点基本落在钨锰铁矿区间, 典型的内带型矿床盘古山钨矿投点分布在铁钨锰矿

间, 内带型矿床 Mn/Fe 值明显低于外带型矿床, 说明西华山的成矿温度低于盘古山钨矿成矿温度, 叶诗文等^[12]获得盘古山钨矿气液两相包裹体均一温度高温区间集中于 $270 \sim 370 \text{ } ^\circ\text{C}$, 许泰等^[13]获得西华山钨矿气液两相包裹体均一温度集中在 $200 \sim 280 \text{ } ^\circ\text{C}$, 也进一步印证了西华山钨矿主成矿期成矿温度低于盘古山钨矿。

樟一九钨矿床两矿段黑钨矿 MnO 、 FeO 比值投点具有与西华山、盘古山钨矿相似分布趋势, 外带矿脉 Mn/Fe 比值低于内带, 说明九龙脑矿段主成矿期成矿温度稍微低于樟东坑矿段, 樟一九钨矿成矿温度介于西华山钨矿和盘古山钨矿之间, 且更接近西华山钨矿。成矿流体具逆向演化特征, 成矿温度自地层向岩体呈逐渐降低趋势, 且黑钨矿的铁锰成分变化成连续序列, 为同一次构造—岩浆—演化的产物。

4.2 成岩成矿时代

本次研究首次获得九龙脑矿区的中粒黑云母花岗岩 U-Pb 年龄为 (151.1 ± 2.2) Ma, 指示成矿相关岩体侵位于晚侏罗世。前人曾获得九龙脑矿段、樟东坑矿段成矿年龄分别为 (151.1 ± 1.2) Ma、 (151.3 ± 1.7) Ma^[7], 与该区成矿年龄在误差范围内是高度一致的, 这可能是由于花岗岩成矿需要经历冷凝、挥发分的聚集、热液运移、金属矿物沉淀的过程, 使得二者的时限基本一致。

位于九龙脑岩体附近的樟一九石英脉型黑钨矿、宝山夕卡岩型白钨矿和淘锡坑石英脉型黑钨矿是九龙脑矿集区较为典型的三个矿床, 其成岩成矿年龄前人均有详细报道。陈郑辉等^[14]报道了淘锡坑钨矿中辉钨矿 Re-Os 同位素成矿年龄为 (154.4 ± 3.8) Ma, 郭春丽等^[15-16]测定淘锡坑钨矿花岗岩的锆石 U-Pb 年龄 $(158.7 \pm 3.9) \sim (157.6 \pm 3.5)$ Ma, 这几组数据也表明淘锡坑花岗岩的成岩年龄和钨矿成矿年龄没有时间差; 丰成友等^[17]报道宝山夕卡岩型钨成矿岩体年龄 (156.6 ± 3.9) Ma, 成矿年龄 (161.0 ± 1.9) Ma, 二者近乎一致; 樟一九钨矿成矿岩体及内、外带矿体成矿年龄三者误差范围内是高度一致的。从空间位置及成岩年龄可看出成岩年龄自九龙脑复式岩体向外逐渐变年轻, 岩浆以九龙脑岩体为中心向外扩散, 成脉动式演化特征。成矿年龄也具有相似的特征, 说明成矿热液运移与岩浆活动同时进行, 但宝山夕卡岩型矿床成矿年龄较其他三个石英脉型钨矿均年轻, 其成岩年龄与成矿年龄具有一定时差, 这可能与夕卡岩矿床成矿热液运移、矿物沉淀过程较缓慢相关。此外, 丰成友等^[18]认为赣南地区成岩作用与成矿作用同时进行, 该区钨锡矿床成矿年龄和与之相关的花岗岩类岩体侵位时间一般相差约 1~6 Ma, 皆形成于同一成岩成矿系统, 进一步说明九龙脑岩体是区内钨、锡矿床的主要成矿母岩。

此外在早燕山期, 赣南地区处于西太平洋板块 SE-NW 俯冲的动力背景下, 九龙脑花岗岩浆在 160 Ma 以前开始侵位、分异演化酸性岩浆岩在古亭—船肚里断裂带与崇义—九龙脑断裂带复合部位侵入^[19]。岩体侵入部位的围岩为震旦系, 在花岗岩体与浅变质岩岩层接触带上, 由于富矿化剂和成矿元素流体的作用下在岩体顶部发生钠长石化和云英岩化, 并形成含钨等多金属矿化石英脉, 推测一段地质时间内构造条件相对稳定, 花岗岩岩浆的结晶分异作用

持续进行, 后期成矿物质不断补给, 从而保证了矿床具有较为完整的“五层楼+地下室”模式。此时为燕山中期第一阶段, 也正是南岭及相邻地区 W、Sn、Nb-Ta 和 Pb-Zn 等有色—稀有金属矿化为主成矿作用的高峰期^[2]。

4.3 成矿模式及找矿方向

前人将樟一九钨矿两矿段作为两个独立的矿床来研究, 认为二者具有不同的成矿过程^[4-5]。樟东坑矿段和九龙脑矿段在成因上密切相关, 为—期岩浆活动, 不同阶段的产物, 现给出如下证据: (1) 横穿整个矿区的 F1、F2 断裂将樟一九钨矿床分为两段, 在破碎带中发育有云英岩型矿体, 断层上盘、下盘发育石英脉型矿体, 证明 F1、F2 为成矿前断裂, 是区内重要的导矿和储矿构造; (2) 成矿相关岩体均为燕山早期中粒黑云母花岗岩, 成岩年龄、内外带成矿年龄在误差范围内高度一致, 成矿作用紧随岩体侵位发生; (3) 内、外带型矿物组合基本一致, 仅含量上有所差别, 内带以黑钨矿、黄铜矿为主, 而外带以黑钨矿、辉钨矿为主; (4) 内、外带黑钨矿 Mn-Fe 呈连续线性变化, 是成矿热液逐渐演化的结果, 外带矿脉 Mn/Fe 比值低于内带, 说明外带成矿温度高于内带, 认为成矿热液为由外向内的演化过程。

在燕山早期, 由于太平洋板块向欧亚大陆边缘沟—弧—盆俯冲机制效应, 地壳部分熔融, 形成的富钨的花岗质岩浆沿深大断裂向浅部地壳运移, 随着温度、压力逐渐下降, 酸性挥发分逸失和氧逸度升高, 钨在中粒黑云母花岗岩中大量富集, 形成九龙脑矿集区的成矿母岩。伴随大量造岩矿物的大量结晶, 九龙脑岩体演化到末期, 成矿岩浆演化出的富含挥发分的成矿热液沿 F1、F2 断裂运移, 率先充填于 F1、F2 上盘的次级东西向断裂中, 形成了外带型矿脉, 即樟东坑矿段, 这与南岭地区石英脉型钨矿多赋存在断裂的上盘规律^[20]相一致。伴随着深部岩浆第二次脉动, 成矿热液向前期就位的九龙脑岩体内部运移, 在断裂下盘成矿有利地区富集成矿, 形成内带矿体。形成了独特的“五层楼+地下室”侧向分带的特征(图 9)。

在成岩成矿时代、矿化类型和成矿地质条件上, 樟一九钨矿内外带与区内典型的内带型西华山钨矿和外带型盘古山钨矿颇有相似, 两个典型矿床垂向延伸均接近 1 000 m^[21]。预测樟东坑外围具有较大的找矿前景, 九龙脑岩体内也具有一定找矿潜力。

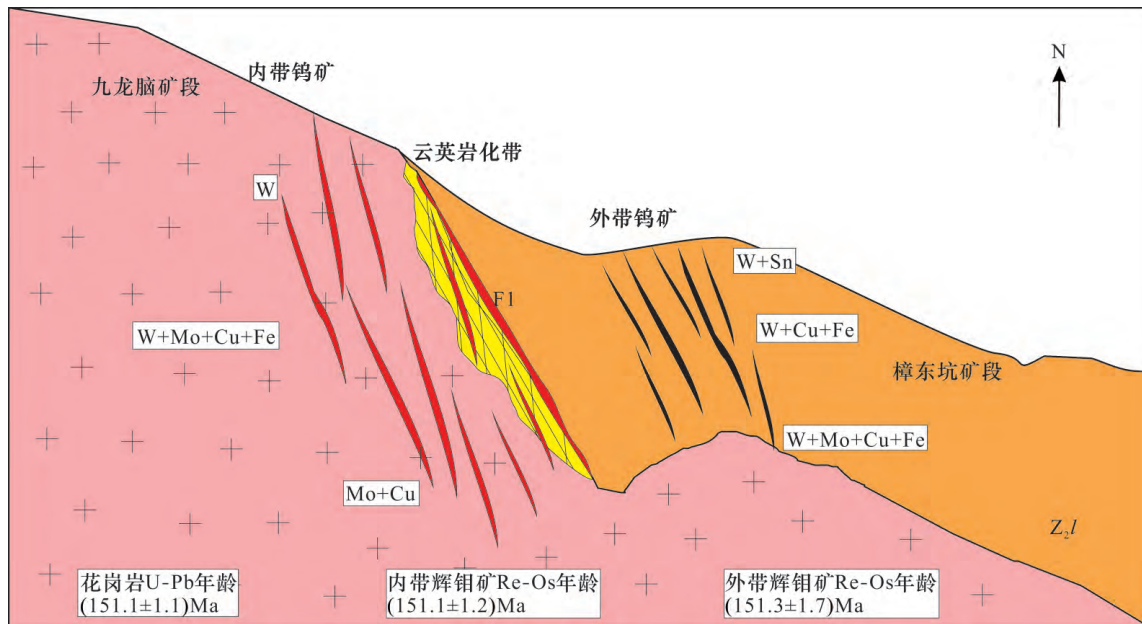


图9 樟—九钨矿床成矿模式图

Fig.9 Metallogenic model of Zhang-Jiu deposit

5 结论

(1)樟—九钨矿床是典型的“五层楼+地下室”找矿模型侧向分带较完整的钨矿床之一,成岩年龄为 (151.1 ± 2.2) Ma,与内、外带成矿年龄在误差范围内高度一致,成矿作用紧随岩浆侵位发生。

(2)樟—九钨矿床内带以黑钨矿和黄铜矿为主,而外带以黑钨矿和辉钼矿为主。外带成矿温度高于内带,成矿流体呈逆向演化特征,樟东坑矿段和九龙脑矿段黑钨矿化学成分连续,为同一次岩浆侵位的产物。

(3)根据“五层楼+地下室”模式,结合本次研究成果,樟东坑矿段外围为下一步重要的找矿方向。

衷心感谢中国地质科学院赵正副研究员在本人研究生期间对本人的悉心指导。本文在修改过程中,两位审稿人对文章提出了建设性意见;野外工作得到了荡坪钨矿和西华山钨矿多位工程师的配合和帮助,在此一并致以诚挚的谢意。

参考文献

- [1] 古明星, 古林, 李坊洲. 江西大余樟东坑钨钼矿床地质特征与深部成矿预测[J]. 中国钨业, 2012(2): 6-9.
- [2] 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.

- [3] 黄小娥, 李光来, 郭家松, 等. 赣南樟东坑钨矿成矿花岗岩及矿化特征[J]. 地质与勘探, 2012, 48(4): 685-692.
- [4] 王登红, 唐菊星, 应丽娟, 等. “五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(4): 733-738.
- [5] 吴永乐, 梅勇文, 刘鹏程, 等. 西华山钨矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [6] 丰城友, 黄凡, 屈文俊, 等. 赣南九龙脑矿田东南部不同类型钨矿的辉钼矿 Re-Os 年龄及地质意义[J]. 中国钨业, 2011, 26(4): 6-12.
- [7] 李光来, 华仁民, 韦星林, 等. 周龙泉. 赣南樟东坑钨矿两类矿化中辉钼矿的 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2014(2): 165-172.
- [8] 吴燕荣, 黄符桢, 钟骏泰, 等. 九龙脑矿床成矿地质特征及成因探讨[J]. 西部探矿工程, 2011, 7: 163-167.
- [9] 方贵聪. 赣南盘古山钨矿床岩浆-热液-成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2014: 1-183.
- [10] YUAN H L, SHANG, LIU X M, 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: 353-370.
- [11] 李逸群, 颜晓钟. 中国南岭及邻区钨矿床矿物学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
- [12] 叶诗文, 路远发, 童启荃, 等. 盘古山钨矿成矿流体特征及其地质意义[J]. 华南地质与矿产, 2014, 30(1): 26-35.
- [13] 许泰, 李振华. 江西西华山钨矿床流体包裹体特征及成矿流体来源[J]. 资源调查与环境, 2013, 34(2): 95-101.
- [14] 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 等. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J]. 地质通报, 2006, 25(4): 496-501.

- [15] GUO C L, CHEN Y C, ZENG Z L, et al. Petrogenesis of the Xihuashan granites in southeastern China: constraints from geochemistry and in-situ analyses of zircon U-Pb-Hf-O isotopes[J]. *Lithos*, 2012, 148: 209-227.
- [16] 郭春丽, 王登红, 陈毓川, 等. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rb-Sr 年龄测定[J]. *矿床地质*, 2007, 26(4): 432-442.
- [17] 丰成友, 曾载淋, 王松, 等. 赣南夕卡岩型钨矿成岩成矿年代学及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(3): 337-349.
- [18] 丰成友, 曾载淋, 屈文俊, 等. 赣南钨矿成矿年代学及成岩成矿时差讨论[J]. *矿床地质*, 2010, 29(增刊): 431-432.
- [19] 幸世军, 陈冬生, 李光来. 江西樟东坑钨钼矿床“上钨下钼”垂向分带规律浅析[J]. *中国钨业*, 2010, 25(5): 8-12.
- [20] 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 等. 华南区域成矿和中生代岩浆岩成矿规律概要[J]. *大地构造与成矿学*, 2014, 38(2): 219-229.
- [21] GUO C L, MAO J W, BIERLEIN F, et al. SHRIMP U-Pb (zircon), Ar-Ar(muscovite) and Re-Os(molybdenite) isotopic dating of the Taoxikeng tungsten deposit, South China Block[J]. *Ore Geology Reviews*, 2011, 43(1): 26-39.