

江西钨锡多金属矿床成矿系列与找矿

王先广^{1, 2)}, 曹圣华^{3)*}, 龚良信³⁾, 胡正华⁴⁾,
曹明轩⁵⁾, 张德富²⁾, 陈麒如²⁾

1)江西省矿产资源保障服务中心, 江西南昌 330025; 2)东华理工大学, 江西南昌 330013;
3)江西省地质调查勘查院基础地质调查所, 江西南昌 330030;
4)江西省国土空间调查规划研究院, 江西南昌 330025;
5)合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230009

摘要: 本文在江西省地质勘查基金项目十余年找矿成果的基础上, 进一步阐述了江西钨锡成矿区(带)时空演化规律, 建立了江南和南岭 2 条钨锡多金属成矿带, 进而划分 9 条成矿亚带和 15 个矿集区; 厘定了包括江南地块与燕山期 I 型中酸-弱酸性斑岩有关的铜钨金钼矿床成矿系列等共 3 个成矿系列、与燕山晚期 S1 型酸性花岗岩有关的钨锡钼银矿床成矿亚系列等 6 个成矿亚系列和朱溪式等 15 个矿床式; 总结了 3 个钨锡多金属矿床成矿系列特征及成矿规律, 剖析了朱溪、大湖塘、东坪、松树岗等找矿重大突破典型案例; 提出了“异常指方向、标志定靶区、主攻新类型”的“面上选点”找矿预测及勘查思路, 研发了“脉面层体”就矿找矿法的“点上突破”朱溪式“关键控矿要素识别勘查模型+地球化学元素示踪+地球物理三维反演+钻探”等快速、精准、高效探测技术组合的找矿方法, 对江西钨锡矿找矿潜力进行评价分析, 并提出下一步找矿建议。

关键词: 矿床成矿系列; 找矿新进展; 钨锡矿; 江南成矿带; 江西

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2022.112301

Tungsten-tin Polymetallic Metallogenic Series and Prospecting in Jiangxi Province

WANG Xian-guang^{1, 2)}, CAO Sheng-hua^{3)*}, GONG Liang-xin³⁾, HU Zheng-hua⁴⁾,
CAO Ming-xuan⁵⁾, ZHANG De-fu²⁾, CHEN Qi-ru²⁾

1) Jiangxi Mineral Resources Guarantee Service Center, Nanchang, Jiangxi 330025;
2) East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013;
3) Basic Geological Survey Institute of Jiangxi Geological Survey Institute,
Nanchang, Jiangxi 330025;
4) Jiangxi Institute of Land and Space Survey and Planning, Nanchang, Jiangxi 330025;
5) School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009

Abstract: Based on the ten-year achievements of the Geological Exploration Fund Project of Jiangxi Province, we elaborated the spatiotemporal evolution regulation of the metallogenic area (belt) of tungsten-tin deposits in Jiangxi. Furthermore, two tungsten-tin polymetallic metallogenic belts were established in Jiangnan and Nanling, as well as nine metallogenic sub-belts and fifteen ore concentration areas. Three metallogenic series of copper, tungsten, gold, and molybdenum deposits associated with Yanshanian medium-acid and weak acid type I porphyries in the Jiangnan block, six metallogenic sub-series such as the tungsten-tin-molybdenum-silver deposits related to Late Yanshanian S₁ type acid granite, and fifteen ore deposit types such as Zhuxi type were

本文由江西省技术创新引导类计划项目(编号: 2019-2021)、国家科技奖后备项目培育计划“赣北巨量钨多金属富集成矿与关键勘查技术研究”(编号: 20103AE191004)、江西省地勘基金项目“江西省浮梁县朱溪钨铜矿开发技术经济研究”(编号: 3A1901005; 2013-2021)和“江西省武宁县青岭钨多金属矿普查”(编号: 20130104; 2020-2022)联合资助。

收稿日期: 2022-10-03; 改回日期: 2022-11-16; 网络首发日期: 2022-11-25。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 王先广, 男, 1962 年生。教授级高级工程师。主要从事矿产勘查与管理。E-mail: 352252655@qq.com。

*通讯作者: 曹圣华, 男, 1967 年生。博士, 教授级高级工程师。主要从事矿产勘查及区域成矿规律研究。E-mail: 964125124@qq.com。

determined. We summarized the metallogenic series characteristic and metallogenic regularity of three tungsten-tin polymetallic deposits in Jiangxi Province. The Zhuxi, Dahutang, Dongping, and Songshugang deposits were examined as examples of major prospecting breakthroughs. We proposed a prospecting, forecasting, and exploration concept called “selecting points on the surface,” in which the “anomaly” determined the target, and we focused on the new type. Moreover, we developed a “breakthrough on the point” exploration technology and method, and the technology and method follow the regulation of orebody emplacement, which was named “the intrinsic connection between vein, structure surface, stratum, and body.” Finally, after evaluating and analyzing the prospecting potential, we provided suggestions regarding further prospecting for tungsten-tin deposits in Jiangxi Province.

Key words: metallogenic series of ore deposits; new prospecting progress; tungsten-tin deposit; Jiangnan metallogenic belt; Jiangxi

我国的钨锡矿资源在空间上分布极不均衡，具有分布范围广但资源相对集中的特点，80%的钨锡资源集中分布在华南地块(蒋少涌等, 2020)。江西钨矿遍及全省，南北皆丰，锡矿分布较少(杨明桂, 2015)。江西南部的南岭成矿带是研究大陆成矿体系和花岗岩成岩成矿理论最典型地区之一，孕育了包括钨矿“五层楼”模式和“成矿系列”等原创性成矿理论，对指导区内找矿工作起到了重大作用(陈毓川等, 2007; 陈毓川等, 2018)，指导了江西地勘工作在赣北地区探获朱溪世界最大规模钨矿、东坪最大石英脉型黑钨矿床、大湖塘世界第二大钨矿床，葛源松树岗世界级铌钽(钨锡)矿床；初创了“江南成矿带”钨锡多金属成矿理论，建立了“朱溪式”白钨矿床勘查模型、“东坪式”黑钨矿床勘查模型、“大湖塘式”黑白钨矿床勘查模型，创新性提出“上铜下钨”、“以脉找体、以面寻体、以层追体、体中找体”等找矿模型(王先广等, 2015, 2021; 王先广, 2020)。本文在江西省地质勘查基金项目十年成果汇集的基础上，进一步从全省角度阐述了钨锡矿床成矿系列特征、成矿区(带)时空演化分布规律、钨锡找矿新进展，提出了下一步勘查部署建议。

1 江西钨锡矿床时空分布规律

1.1 成矿区带

江西钨锡矿成矿受地层、构造和岩浆的综合作用控制，构造单元是沉积-构造-岩浆-成矿的综合体，是钨矿成矿单元划分的重要依据。参照江西大地构造单元的划分，将江西钨锡矿成矿单元划分为江南、南岭 2 条成矿带 9 条成矿亚带 15 个矿集区(图 1, 表 1)。其中，作者结合“江南钨矿带”成矿理论创新和近期重大找矿成果，依据赣北“一隆两坳”格局，对江南钨锡成矿带(江西段)内次一级成矿亚带进行了重新划分；南岭钨锡成矿带次一级成矿单元划分主要引用前人成果(杨明桂, 2015; 杨明桂等, 2020)。

1.1.1 江南钨锡成矿带

江南钨锡成矿带主体位于扬子陆块东南缘江南古陆，其江西段大地构造单元包括九江坳陷南部、江南隆起带中部的九岭逆冲隆起、万年推覆隆起、怀玉地体以及萍乐坳陷。江南成矿带经历了晋宁期古板块构造格局、扬子期—加里东期华南裂谷系扩张—消亡、华力西—印支期钦杭海盆格局及燕山期钦杭陆盆格局四大演化阶段(杨明桂等, 2009)。自燕山期晚侏罗世钨成矿作用大爆发以来，区内盆地构造格局主要受古太平洋构造体制以及陆内深部构造-岩石圈地幔作用的联合制约，表现为发育深断裂和被其切割而形成的隆、坳地块，控制钨多金属矿的形成并呈南北分带、东西分区特征。隆起地壳“双凸”增厚，分布 S 型岩浆岩；坳陷区地壳减薄，深断裂切穿下地壳，I 型岩浆活动强烈(毛景文等, 2004；谢桂青等, 2005；杨明桂, 2015；王先广等, 2021)。

根据燕山期成矿事件在隆、坳区及其过渡带的岩石圈地壳物质迁移与富集规律，江南成矿带呈现“一隆两坳”格局，江南隆起为江南钨矿带(江西段)中心区。以九岭—朱溪钨铜成矿亚带为中心，两侧为向北侧的幕阜山—莲花山钨锡成矿亚带和向南侧的宜丰—灵山铌钽(钨锡锂)成矿亚带的隆坳过渡带；“两坳”则分别为北侧的九瑞钨铜金硫多金属成矿亚带和南侧的蒙山—东乡铜钨成矿亚带(表 1)。

江南成矿带已探明钨资源量超 600 万吨，超过南岭成矿带百年累计探获钨资源储量总和(王先广等, 2021)。该成矿带以单个钨矿床规模大、共伴生组分复杂、成矿年龄新等特点，区别于南岭成矿带的钨矿床(张家菁等, 2008；丰成友等, 2012；黄兰椿和蒋少涌, 2012；Mao et al., 2017；王先广等, 2015, 2020；胡正华等, 2015, 2018, 2020)。如江南隆起九岭地区的大湖塘钨矿，成矿岩体似斑状白云母花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 144 Ma±(黄兰椿和蒋少涌, 2012)，以细脉浸染型黑(白)钨矿为主体，兼有石英大脉型、云英岩型及隐爆角砾岩型钨(锡、钼、铜)矿等构成的“多位一体”的矿体组成为特征，成矿时代与赣东北的阳

储岭斑岩型钨钼矿床、朱溪矽卡岩型钨铜矿床相近(曾庆权等, 2019), 均形成于晚侏罗世—早白垩世早期(150~140 Ma); 处于江南隆起两侧过渡带的赣西北香炉山矽卡岩型白钨矿床、东坪石英脉型(黑)钨铜矿床和灵山蚀变花岗岩型、石英脉型铌钽(钨锡锂)矿床形成于 135~121 Ma 的早白垩世(张家菁等, 2008; 晏超等, 2017; Dai et al., 2018; 胡正华等, 2018)。

1.1.2 南岭钨锡成矿带

南岭钨锡成矿带(赣中南成矿区)位于南岭东段隆起与湘粤坳陷过渡部位, 青白口纪晚期至早古生代属于华南裂谷海盆的中央海盆区。区内盖层褶皱发生显著扭曲和出现东西向成串的构造-花岗岩穹隆, 北东、北北东与东西向构造-岩浆-成矿活动发育, 呈现北东(或北北东)与东西向构造交汇复合控制矿集区或矿田呈“东西成带北北东向成串”分布格局, 形成了世界级的巨量钨锡多金属成矿区。

赣中地区的武功山—北武夷钨(铜钼锡铋铌钽)成矿亚带横跨武功山—北武夷隆起与萍乐坳陷带相接, 介于江西南、北两大成矿单元之间。带内浒坑钨钼矿、下桐岭钨钼铋矿、徐山钨铜矿等矿床成因较复杂, 以成矿元素(钨锡钼铋、铜、稀有金属及硅灰石)多为特色。已发现钨锡稀有金属矿产地有宜春 414 特大型钽铌锂矿、浒坑钨钼矿、下桐岭钨锡钼铋矿、徐山钨铜矿, 永平铜钨硫矿等。

赣南地区的罗霄山、崇余犹、雩山、南武夷成矿亚带大地构造位于东南加里东期造山带, 燕山期形成隆起区, 坎陷规模小, 且处于燕山期大陆活化造山的策源地和核心地带, S 型成矿花岗岩大规模侵入, 石英脉型黑钨矿床(点)密集分布。隆起区及其复合区大多形成石英脉型和蚀变花岗岩型钨矿, 如南岭东西向隆起带在江西境内西段与近南北向诸广山隆起复合控制的崇余犹钨锡矿集区; 中段与雩山隆起区复合控制的兴国—宁都、赣于和三南钨锡矿集区; 东段与武夷山隆起复合控制的南武夷岩背锡矿集区。各矿集区(田)具有各自特点的岩浆—成矿特征: 崇余犹、赣县—于都矿集区均以燕山早期 S 型花岗岩为主要成矿母岩, 形成以钨为主, 共伴生有锡、钼、铋多金属矿产; 三南矿集区燕山早期花岗岩中虽也以 S 型为主, 但有较多规模较大的中侏罗世 A 型碱性花岗岩(陂头—塔背)和中侏罗世铝质 A 型花岗岩(中寨等); 岩背锡矿集区处于龙南—会昌中生代陆相火山岩带, 形成与 S 型潜火山岩有关的锡、钼、铅锌矿床(如岩背、铜坑嶂等)。

1.2 成矿时代

江西省内钨与锡密切共生, 两者有相同或相似的成岩、成矿特征和时空分布规律。主要形成于燕山期, 成岩年龄主要为 160~120 Ma, 并可分为燕

山早期晚侏罗世岩体(时限为 160~145 Ma)和燕山晚期早白垩世早中期岩体(145~120 Ma), 前者主要分布于南岭成矿带的赣中、南地区(如浒坑、西华山等), 后者主要分布在江南成矿带的九岭山—莲花山(如香炉山、大湖塘等)和南武夷地区(图 1)。

江南成矿带可分为三个成矿时期: 早期晚侏罗世(160 Ma±), 发生于塔前—赋春一带, 塔前主成矿岩体锆石 U-Pb 年龄值为(160.9±2.5) Ma(胡正华等, 2015)、辉钼矿等时线年龄为(162±2) Ma(黄安杰等, 2013); 中期为主成矿时期, 发生于朱溪、大湖塘、阳储岭、九瑞等广大地区, 成岩成矿时代为晚侏罗世—早白垩世(150~145 Ma); 晚期为 135~120 Ma, 发育在香炉山—东坪、莲花山—八字脑等地区。成岩与成矿时差一般为 1~10 Ma, 成矿往往与岩浆演化序列中晚期次侵入体关系更密切。

2 钨锡多金属矿床成矿系列

2.1 矿床类型

不同学者分别从成因、建造、工业等各个角度提出过不同钨锡矿床分类方案。陈毓川等(2018)主要根据矿床成因类型, 矿床的形态、产状、赋矿围岩性质(类型), 将中国钨矿床归纳为下列 9 种类型: 石英脉型、矽卡岩型、云英岩型、花岗岩型、斑岩型、陆相火山岩型、层状热液和层状矽卡岩型、风化淋滤铁帽型和砂钨型。依据这一划分方案, 本文将江西钨锡矿床归纳为下列 6 种类型, 即矽卡岩型、石英脉型、蚀变花岗岩型、斑岩型、层间热液交代和层状矽卡岩型、复合型, 江南成矿带钨矿床多为复合型矿床(表 2)。

2.2 矿床成矿系列

根据程裕淇等(1979)创立的矿床成矿系列理论, 在前人工作成果基础上结合近期找矿突破和“江南钨锡成矿带”成矿理论创新成果, 将江西钨锡多金属矿床成矿系列厘定为 3 个成矿系列、6 个成矿亚系列、15 个矿床式(表 3)。

2.2.1 江南地块与燕山期 I 型中酸性岩浆活动有关的钨铜钼金银铅锌矿床成矿系列

本系列为作者新厘定的矿床成矿系列, 主要分布在江南成矿带, 包括与燕山期 I₁ 型次火山岩、斑岩有关的铜钨钼金铅锌铁矿床和与燕山期 I₂ 型斑岩有关的钨钼矿床两个成矿亚系列。

与燕山期 I₁ 型中酸性-弱酸性斑岩有关的钨铜钼金铅锌矿床亚系列: 主要分布在塔前—朱溪一带和九江—瑞昌地区, 含塔前式、通江岭式等 2 个矿床式。成矿母岩多为浅成相小型岩体, 呈岩株、岩脉状产出, 主要岩石有花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、英安斑岩等。形成于燕山早期强烈造山阶段, 产

于板缘和陆内活化断裂带, 常见于晚古生代坳陷带。有关的矿化以铜、钼、金为主, 钨、银、铅、锌亦有重要地位。

与燕山期 I₂型中酸-弱酸性斑岩有关的钨钼矿床成矿亚系列: 以都昌县阳储岭钨钼矿床为代表, 另有善坑铜钼矿、邦彦坑钨矿、庄前钼矿等一批矿点, 称阳储岭式, 产布于赣中北部板缘深断裂带和赣东北深断裂带北段及其推(滑)覆构造带。成岩成矿时期主要为燕山中晚期, 成矿岩体主要为中酸性花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩、花岗闪长岩, 还有隐爆角砾岩分布, 与 I₁型斑岩比较其岩石化学成

分偏酸性具富碱高钾特点, 显示以壳源为主的壳幔混熔的岩源特征。

2.2.2 江南地块与燕山期 S型酸性岩浆活动有关的钨锡银铅锌矿床成矿系列

该矿床成矿系列为全国厘定的 22 个与钨锡有关的矿床成矿系列(王登红等, 2005; 陈毓川等, 2007)之一, 主要分布在江南成矿带。在不同的地质构造环境, 岩浆活动方式及其定位深度差异较大, 成矿特征亦有明显差别, 可进一步分为与 S₁型酸性花岗岩有关的钨锡萤石矿床成矿亚系列和与 S₂型中酸性岩浆活动有关的稀有金属、钨锡、银铅锌

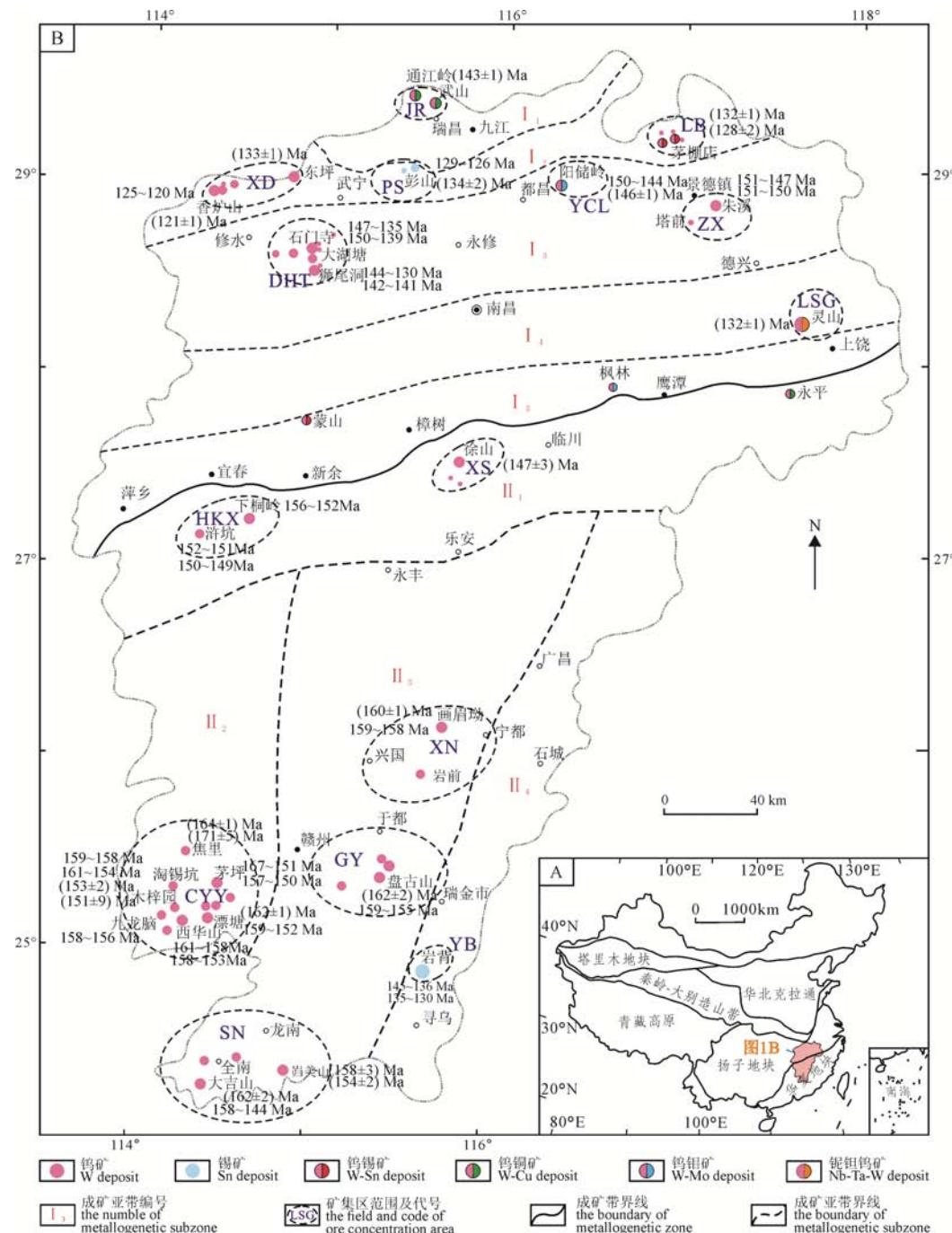


图 1 中国大地构造划分略图(A)和江西主要钨锡多金属矿床成矿时代及成矿单元划分略图(B, 编号说明详见表 1)
Fig. 1 Tectonic sketch map of China (A) and division map of metallogenetic age and unit of major tungsten-tin polymetallic deposits in Jiangxi Province (B, see Table 1 for details of numbering description)

铀钍矿床成矿亚系列。与燕山晚期 S₁型酸性花岗岩有关的钨锡萤石矿床成矿亚系列：主要形成于燕山晚期晚侏罗世到早白垩世，空间上主要分布于九岭隆起带。成矿岩体同位素年龄为 150~124 Ma，成矿年龄 145~120 Ma，成岩成矿时间相近(王先广等, 2021)。以钨(白钨)为主，其次为锡、铅、锌、银，共伴生钼、铜、金矿化较强。分别形成以钨、锡、铅锌、金为主矿化组合。矿床类型、矿床式和典型矿床有：复合型矿床：朱溪式钨铜矿、大湖塘式钨铜(锡钼)矿床；矽卡岩型矿床：香炉山式钨矿(香炉山、洞下钨矿床)，层状热液和层状矽卡岩型：彭山式锡(锑)矿(曾家垅、黄金洼锡矿床)；花岗岩型矿床：

茅棚店式锡矿。

与燕山晚期 S₂型中酸性岩浆活动有关的稀有金属、钨锡、银铅锌铀矿床成矿亚系列：主要分布于江南隆起带南侧过渡带及萍乐坳陷，成矿构造环境为燕山晚期后造山-伸展转换构造环境；成矿岩体碱度更高，更富钾，稀土元素含量较高，轻稀土富集程度更高，铕亏损更强，但分异演化程度较低。形成矿床类型除蚀变花岗岩型外，细晶岩型和伟晶岩型矿床也很发育。代表性矿床式：松树岗式钽铌锂钨锡矿(松树岗)、同安式钽铌锂矿(同安、牌楼、白水洞、白果钽铌锂矿床)；复合型：黄山式钽铌锂钨锡矿床(蚀变花岗岩型+伟晶岩型)。

表 1 江西钨锡矿成矿单元划分表
Table 1 Metallogenetic unit division table of tungsten-tin deposits in Jiangxi Province

成矿带	成矿亚带	矿集区	代表性矿床
江南钨锡成矿带(赣北成矿区) I	I ₁ 九瑞铜钨多金属成矿亚带	JR 九瑞铜金钨矿集区	通江岭、武山(南港)
	I ₂ 幕阜山—莲花山钨锡成矿亚带	XD 香炉山—东坪钨铜银矿集区 PS 彭山锡铅锌多金属矿集区 LB 莲花山钨锡金矿集区	香炉山、东坪 曾家垅、垄里甘 茅棚店、八字脑
	I ₃ 九岭—朱溪钨(铍钼铌钽)成矿亚带	DHT 大湖塘钨铜钼矿集区 YCL 阳储岭钨钼矿集区 ZX 塔前—朱溪钨铜矿集区	石门寺、大雾塘、昆山 阳储岭钨矿田 朱溪
	I ₄ 宜丰—灵山锡钨(铌钽锂)成矿亚带	LSG 灵山—松树岗铌钽(锡钨)矿集区	松树岗、黄山
	I ₅ 蒙山—东乡铜钨成矿亚带		枫林、石竹山
南岭钨锡成矿带(赣中南成矿区) II	II ₁ 武功山-北武夷钨(铜钼锡铋铌钽)成矿亚带	HKX 洋坑—下桐岭钨钼铋矿集区 XS 徐山钨铜矿集区	洋坑、下桐岭 徐山
	II ₂ 罗霄山—崇余犹钨锡成矿亚带	CYY 崇余犹钨锡矿集区	漂塘、张天堂、西华山
	II ₃ 雪山钨(钼铋铍锡铌钽金银)成矿亚带	XN 兴国—宁都钨矿集区 GY 赣县—于都钨矿集 SN 三南钨矿集区	大王山、小龙、画眉坳 长坑、盘古山、铁山坳 官山、岿美山、大吉山
	II ₄ 南武夷钨锡(钼铌钽稀土铅锌)成矿亚带	YB 岩背锡矿集区	岩背

表 2 江西钨锡矿床成因类型、成矿元素组合、地质特征和代表性矿床
Table 2 Genetic type, metallogenetic element association, geological characteristics and representative deposits of tungsten-tin deposits in Jiangxi Province

成因类型	成矿元素组合	主要地质特征	代表性矿床
石英脉型	W、Sn、W-Sn	产于花岗岩类岩体与浅变质岩的内外接触带，矿体主要呈独立含矿石英大脉。矿脉在平面上常成组成带，平行排列或雁行斜列等形式；垂向亦多平行排列	洋坑、西华山、盘古山、漂塘、画眉坳、淘锡坑、东坪
矽卡岩型	W、Cu、Sn	产于花岗岩类与碳酸盐类岩石(或含钙的岩石)的内外接触带部位。矿体透镜状、似层状、形态复杂	香炉山、永平、朱溪
蚀变花岗岩型	W、Sn、Nb-Ta	矿体主要呈不规则团块状或包壳状产于花岗岩顶部内接触带，矿物组合为云母、石英、白钨矿、黑钨矿、锡石及其他稀有金属矿物	莲花山、松树岗、洪水寨、九龙脑、牛角坳
斑岩型	W、Sn、Mo	产于花岗岩、花岗闪长斑岩和石英斑岩或围岩中，呈微细密集含钨石英(网)脉充填、交代；主要蚀变为钠化、云母化	阳储岭、岩背
层间热液交代和层状矽卡岩型	Sn、Pb、Zn	矿体受地层层位、岩性控制，含矿一至数层，稳定，分布范围广。矿物组成主要有锡石、方铅矿、闪锌矿和硫化物等	曾家垅、垄里甘
复合型	W、Sn、Mo-Bi、Cu-Pb-Zn	蚀变花岗岩-石英大脉-隐爆角砾岩筒型和矽卡岩型复合矿体，受围岩岩性和断裂构造控制，含矿一至数层，稳定，分布范围广。矿物组成主要有白钨矿、黑钨矿、锡石、辉锑矿，自然金和硫化物等	朱溪、石门寺、狮尾洞、大湖塘、下桐岭、昆山、岿美山、大吉山、茅坪、徐山

2.2.3 南岭与燕山期 S型花岗岩钨、锡、钼、铋、铅、锌、银、(金)矿床成矿系列

该成矿系列为全国厘定的 22 个与钨锡有关的矿床成矿系列(陈毓川等, 2007)之一, 主要分布在钦杭成矿带南侧和南岭成矿带。可进一步分为以下二个成矿亚系列:

与燕山早期 S₁型花岗岩钨、锡、钼、铋、铅、锌、银、(金)矿床成矿亚系列: 主要分布于江西中南部, 又相对集中于武功山—徐山、崇余犹、雩山和

“三南”地区。成矿岩体形成于燕山早期中晚侏罗世, 同位素年龄为 168~150 Ma, 成矿年龄为 162~149 Ma, 两者时差小于 10 Ma, 一般为 1~7 Ma。以钨为主, 可形成独立钨矿, 共伴生锡、钼、铋、铅、锌、银、铌钽、铍、稀土等; 矿床类型有热液石英脉型、矽卡岩型、蚀变花岗岩型(含云英岩型)。其中以黑钨矿-石英脉型为主, 空间上构成自下而上的“五层楼+地下室”成矿模式。代表性矿床式有石英大脉型黑钨矿矿床: 西华山式(W、Mo、

表 3 江西钨锡多金属矿床成矿系列表
Table 3 Metallogenetic series of tungsten-tin polymetallic deposits in Jiangxi Province

成矿系列	成矿亚系列	矿床式	主成矿元素	成矿构造环境	成矿(岩)时代 /Ma	矿床成因类型	代表性矿床	成岩成矿时代 数据来源
江南地块 与燕山期 I ₁ 型中酸性岩浆活动有关的铜钨钼成矿系列	与燕山期 I ₁ 型中酸性斑岩有关的铜钨钼成矿亚系列	塔前式 通江岭式	W、Mo W、Cu	坳陷带 坳陷带	162~161 146~141	斑岩-矽卡岩型 斑岩-矽卡岩型	塔前 通江岭、武山 (南港)	胡正华等, 2015 王先广等, 2019a; 胡正华, 2015
与燕山期 I ₂ 型中酸性岩浆活动有关的铜钨钼金银铅锌矿床成矿系列	弱酸性斑岩有关的钨、钼矿床成矿亚系列	阳储岭式	W、Mo	隆起带	145~143	斑岩型	阳储岭	Mao et al., 2017; 曾庆权等, 2019
江南地块 与燕山期 S ₁ 型酸性岩浆活动有关的钨锡钼金银矿床成矿系列	与燕山晚期 S ₁ 型酸性岩浆活动有关的稀有金属钨锡矿床成矿系列	彭山式 朱溪式 大湖塘式 香炉山式 东坪式 莲花山式 葛源式 西华山式 漂塘式 大吉山式 九龙脑式 与燕山晚期 S ₂ 型花岗岩及陆相潜火山岩有关的锡、钨、(铌、钽)成矿亚系列	Sn、Pb、Zn W、Cu、Ag W、Cu、Mo W、Ag、Pb、Zn W W、Sn Nb、Ta、(W-Sn) W(Sn、Mo、Bi、Nb、Ta、HREE) W、Sn、Mo、Bi、Cu、Zn W、Nb、Ta(Mo、Bi、Be) W、Sn	隆起带 隆中坳 隆起带 隆坳过渡带 隆起带 隆坳过渡带 隆坳过渡带 陆内造山 隆起 陆内造山 隆起 陆内造山 隆起	130~128 153~146 151~128 125~121 133~128 131~128 134~133 161~153 162~152 158~152 158~151 136~130	似层状型锡矿 蚀变花岗岩-矽卡岩-云英脉-热液脉型 蚀变花岗岩-石英脉-隐爆角砾岩筒型 层状夕卡岩型 石英脉型为主 蚀变花岗岩-石英脉型 蚀变花岗岩-石英脉型 蚀变花岗岩-石英脉型	曾家垅、尖锋坡 朱溪 石门寺、昆山、蓑衣洞、大雾塘 矿、狮尾洞 香炉山 东坪 茅棚店、八字脑 松树岗、黄山 西华山、荡坪、浒坑、盘古山、淘锡坑、木梓园、画眉坳 下桐岭、漂塘、黄沙、上坪 大吉山、岿美山、徐山、黄沙、茅坪 洪水寨、九龙脑 松岭、大窝里、胎子岽、淘锡坝	Xu et al., 2017 Song et al., 2019; Zhang et al., 2021 Song et al., 2018; Yang et al., 2022 张家菁等, 2008 Li et al., 2020 胡正华等, 2018 杨明桂, 2015 Liu et al., 2022; Xiang et al., 2017 Guo et al., 2012; Hu et al., 2012 Bai et al., 2013 蒋国豪等, 2004; 张文兰等, 2006 郭春丽等, 2011; 丰成友等, 2011 Liu et al., 2022

HREE、Be)、盘古山式(W、Bi);石英细脉-网脉型黑钨矿矿床:漂塘式(W、Sn)、下桐岭式(W、Mo、Bi);复合型矿床:大吉山式(W、Nb、Ta)、徐山式(W、Cu)、岿美山式(W、Sn、Bi、Cu)等。

与燕山晚期壳熔 S_2 花岗岩及陆相潜火山岩有关的锡、钨、(铌、钽)成矿亚系列:主要分布于武夷成矿带南段西坡与南岭成矿带东端复合部位。发育一系列火山构造、潜火山隐爆构造,是区内锡、(铌、钽、钨、铜)矿床的控矿构造。矿床往往产于正向火山构造中,成矿岩体主要为早白垩世 S 型酸性潜火山岩和中浅成花岗岩。典型矿床式有斑岩型:岩背式锡(铜)矿(岩背、松岭、上湾锡矿床);隐爆角砾岩型:淘锡坝式锡矿(淘锡坝、大窝里钨锡矿)。

3 典型矿床式特征

十余年来,江南地块内九岭、幕阜山构造隆起区大湖塘、东坪超大型钨矿床,“隆中坳”区朱溪超大型钨矿床、松树岗超大型钽铌(锂)钨锡矿床,以及彭山穹隆区垄里甘锡矿和九瑞坳陷区武山深部“上铜下铜钨矿体”等矿床的新发现,表明江西“北铜南钨”成矿说已成历史,江南钨锡成矿带的建立具有钨锡找矿划时代的意义。

3.1 朱溪式钨铜矿床(“四位一体”式)

朱溪钨(铜)矿床位于江南成矿带内九岭—朱溪钨(铍钼铌钽)成矿亚带朱溪—塔前钨铜矿集区。地表仅有零星铜矿体出露,王先广等(2020, 2022)通过对朱溪矿集区的地质调查和综合分析,发现朱溪钨矿集区深部存在矽卡岩型矿体,突破了以往勘查重点为斑岩型、热液脉型铜矿的认识,勘查方向向寻找矽卡岩型钨矿的战略转变,探获钨资源储量(WO_3)超 363 万吨,为世界单宗资源储量规模最大的钨矿床。

朱溪矿区内地质体总体走向 NE,倾向 NW,多呈似层状、脉状、透镜状分布于花岗质岩体内及其外接触带碳酸盐岩层位,由矽卡岩型、蚀变花岗岩型、云英岩细脉-网脉型和石英细脉-网脉型钨(铜)矿体等构成“四位一体”勘查模型(图 2)。矽卡岩型矿体沿“铲式主拆离滑脱断裂构造带缓倾斜弧形大转弯地段”上盘产出,受一定层位(上石炭统碳酸盐岩碎裂岩片)控制,呈巨厚似层状;蚀变花岗岩型和云英岩网脉型矿体受上石炭统黄龙组与中二叠统栖霞组间“层间拆离滑脱剥离复合构造断裂带”控制的花岗岩内接触带中;矿床浅部主要为“裂隙脉带型”矿体。其中,矽卡岩型钨铜矿是区内规模最大的矿体类型,成矿元素以 W、Cu 为主,伴生有 Zn、Ag,

其中 WO_3 、Cu 资源量均占全区总资源量的 99%以上。I 号矿体为主矿体,沿 F2 推滑覆构造面展布,走向延伸 1200 m,倾向延深 140~1 918 m,矿体平均厚度 146.66 m, WO_3 平均品位 0.57%,共生 Cu 品位主要介于 0.3%~0.8%之间,局部高达 4.21%。云英细脉-网脉型钨矿体主要呈透镜状和脉状赋存于 30-54 线栖霞组不纯灰岩内的石英-白云母-绢云母脉中, WO_3 平均品位约为 0.15%~0.21%。

与成矿有关的花岗岩体主要为黑云母花岗岩、白云母花岗岩和花岗斑岩,锆石 U-Pb 年龄(154~146 Ma)、锆石 Hf 同位素组成($\varepsilon_{Hf}(t) = -13.6 \sim -6.2$)和全岩 Nd 同位素组成($\varepsilon_{Nd}(t) = -12.5 \sim -7.0$),为同源岩浆活动的产物(王先广等, 2015; 刘经纬等, 2017; Pan et al., 2018; Song et al., 2018; Zhang et al., 2020)。同时,不同学者运用辉钼矿 Re-Os 体系、热液成因白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 体系、花岗岩中蚀变磷灰石 U-Pb 体系以及蚀变矽卡岩中石榴石和榍石 U-Pb 体系等多种测年手段,获得朱溪矿区成矿年龄集中在 153~146 Ma(Pan et al., 2017; Song et al., 2019; Zhang et al., 2020, 2021),与花岗岩体年龄基本吻合,表明成矿作用与酸性岩体侵入密切相关。

3.2 大湖塘式钨铜矿(田)床(一区三型)

大湖塘钨(铜)矿田位于江南成矿带九岭—朱溪钨(铍钼铌钽)成矿亚带九岭矿集区内,燕山期成矿花岗岩呈“体中体”式侵位于晋宁期黑云母花岗闪长岩中。矿田内主要矿床有大雾塘钨矿、蓑衣洞钨矿、茅公洞钨矿、新安里钨锡矿、东陡崖钨锡矿、石门寺钨钼矿、昆山钨钼矿、大河里钨钼矿等。典型矿床为石门寺钨钼矿,区内累计提交了钨资源储量(WO_3)约 176 万吨, WO_3 平均品位 0.18%。

石门寺矿区主要矿体为蚀变花岗岩细脉浸染型,呈似层状产于燕山期似斑状黑云母花岗岩瘤与晋宁晚期黑云母花岗闪长岩基的内、外接触带,产状总体平缓,与接触面的产状基本一致。其中,外接触带多见厚大工业钨(铜)矿体,矿化连续性较好;内接触带矿体普遍较薄较贫,夹石多,矿化连续性较差。主要矿(化)体东西长大于 1 400 m,南北宽大于 800 m,单工程钨矿体累计厚度 18.96~489.54 m, WO_3 0.192%~0.279%。次要矿体有二种类型:一是分布于矿区中部和似斑状黑云母花岗岩瘤顶部的热液隐爆角砾岩型矿体;二是平面与剖面上分布相对广泛、穿切矿区所有岩石单元和上述两类矿体的石英大脉型黑钨矿体。这三类矿体围绕燕山期成矿花岗岩体,共生或交织,形成大湖塘钨(铜)矿田一个石门寺矿区三种类型的“一区三型”钨多金属矿床(图 3)。

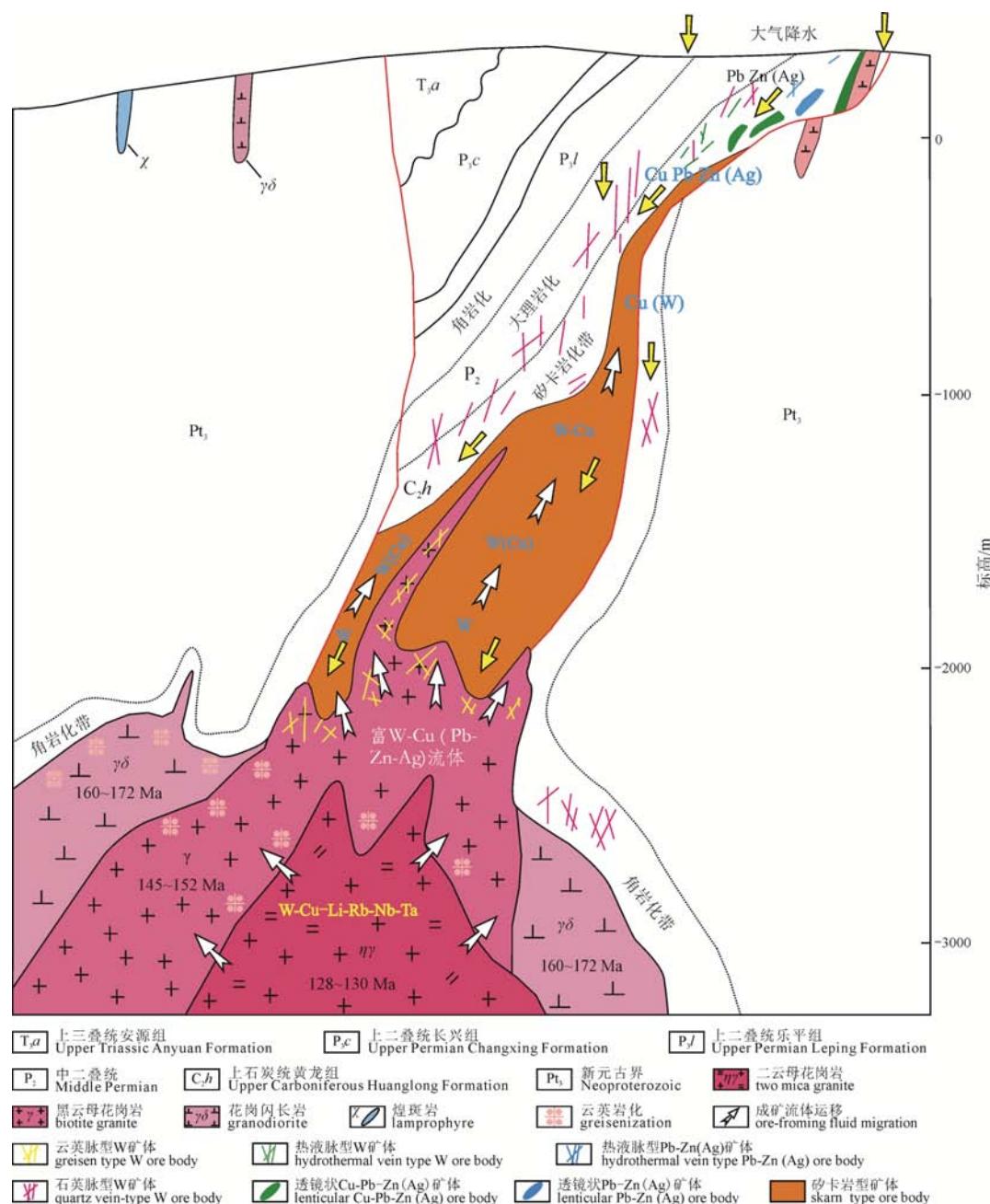


图 2 朱溪钨铜矿床“四位一体”勘查模型示意图(据王先广, 2020 修改)

Fig. 2 The “Four genetic types in one deposit” exploration model pattern of Zhuxi tungsten-copper ore deposit
(modified from WANG, 2020)

大湖塘矿田晋宁期花岗岩基(~ 830 Ma)为燕山成矿期岩体的有利围岩, 发育燕山期早期花岗岩体(154~141 Ma)和较晚期侵入岩体(139~128 Ma)(王先广等, 2021)。研究认为成矿作用主要与燕山期较早期的花岗岩体侵入有关(丰成友等, 2012; 张明玉等, 2016), 但近年来随着一批早白垩世成矿年龄的报道, 认为大湖塘矿区燕山期两期成岩成矿作用叠加是形成超大型钨矿的主要原因(Yang et al., 2022)。

大湖塘矿田燕山期成矿花岗岩体为强过铝质 S 型花岗岩, 是低氧逸度条件下双桥山群变质沉积岩部分熔融的产物(Huang and Jiang, 2014; Mao et al., 2015)。白钨矿原位微量元素、Sr 同位素研究, 硫化

物 S-Pb 同位素研究以及流体包裹体研究表明, 富卤素和挥发分的中高温、低盐度流体与围岩之间的水岩反应是白钨矿沉淀的主要原因(Peng et al., 2018; Cao et al., 2020; Zhang et al., 2020; Hu et al., 2022); 晚期硫化物阶段成矿流体混入少量大气水诱发 Cu、W 金属沉淀, 可能是矿区 Cu-W 矿床形成的主要原因(Hu et al., 2022)。

3.3 东坪式石英脉型黑钨矿钨(铜)矿床

东坪钨矿位于江南成矿带幕阜山—莲花山钨成矿亚带香炉山—东坪矿集区内。矿区原为一处小型铜矿, 近期按照以脉找体的勘查思路, 通过深部钻孔验证, 新发现隐伏工业价值的石英脉型黑钨矿

体, 提交钨资源储量(WO_3)21.39 万吨, 平均品位 0.448% (李吉明等, 2016)。矿区有 I、II 两个矿带(图 4a), 走向均为 NE, 倾向分别为 SE、NW, 两矿带共发现工业钨矿体 163 条。I 号矿带长 1 000 m、延深 715 m、宽 50~420 m; II 号矿带长 587 m、延深 723 m、宽 50~650 m。矿体厚度一般为 0.10~8.84 m, 最厚 9.94 m; WO_3 品位 0.064%~9.56%。矿体均主要赋存于新元古代双桥山群安乐林组变质粉砂岩内石英脉带中, 部分为花岗岩岩体内石英脉中, 形态

都比较复杂, 呈脉状产出(图 4b)。

东坪矿床的成因类型为岩浆期后高中温热液矿床, 其工业类型为“五层楼”石英脉带型黑钨矿床, 具有工业价值的矿体主要位于细脉带、中脉带、大脉带。

黑钨矿 U-Pb 法定年获得大湖塘矿区、东坪矿区成矿年龄分别为 (137.3 ± 4.8) Ma、 (129.5 ± 4.8) Ma (Yang et al., 2022), 表明江南成矿带(江西段)存在两期石英脉型黑钨矿成矿事件。毛景文等(2020)提出

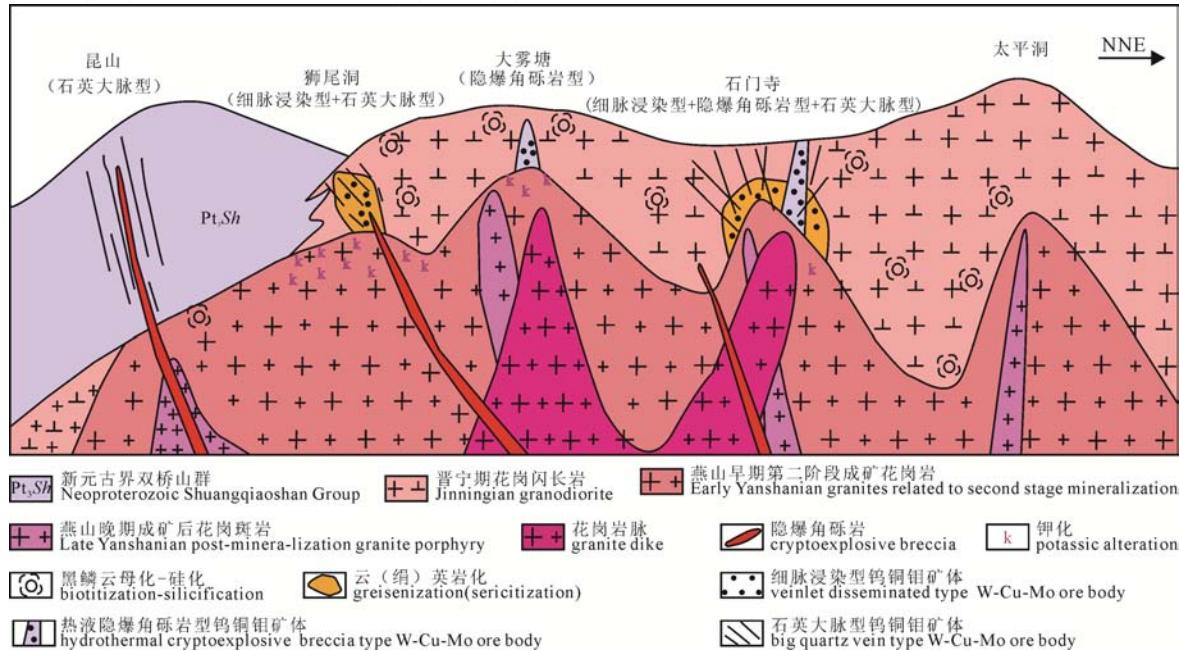


图 3 大湖塘钨(铜、钼)矿田“一区三型”勘查模型图(据王先广, 2020 修改)

Fig. 3 The “Three genetic types in one ore field” exploration model pattern of Dahutang W-(Cu-Mo) ore field (modified from WANG, 2020)

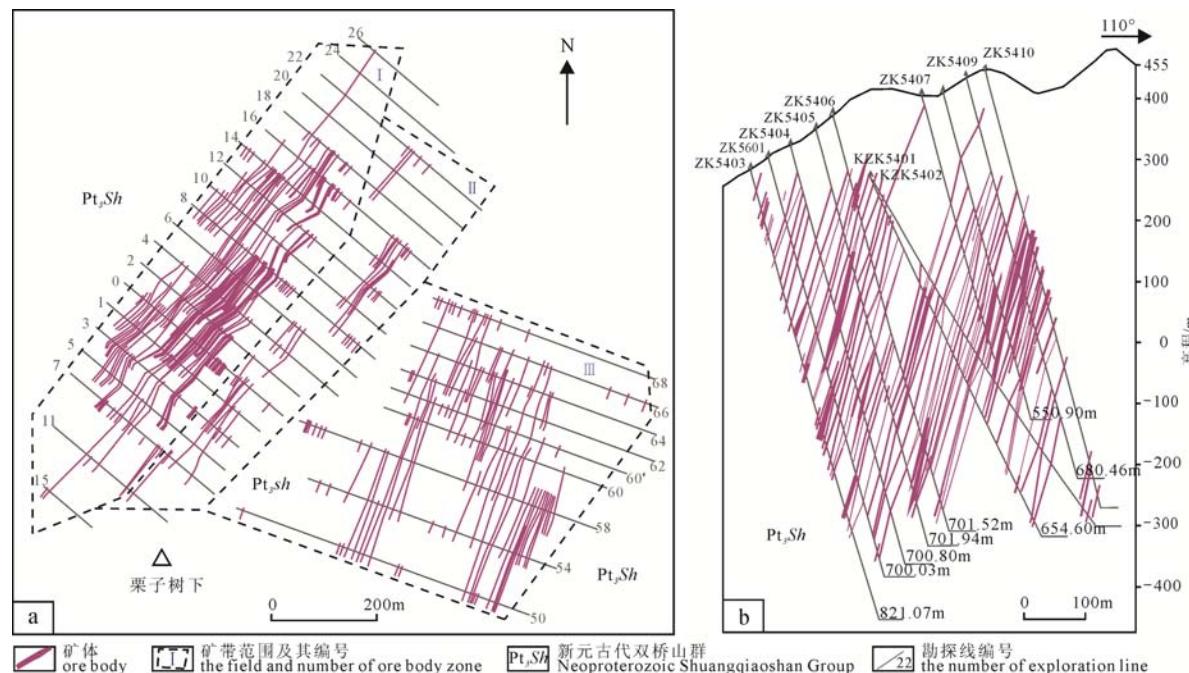


图 4 东坪钨矿床地质图(a)和 54 线地质剖面图(b, 据李吉明等, 2016; 胡正华等, 2018 修改)

Fig. 4 Geological map of the Dongping deposit (a) and geological section along No. 54 exploration line (b, modified from LI et al., 2016; HU et al., 2018)

江南钨矿带两期钨矿分别是古太平洋板块俯冲和后俯冲过程的产物, 认为地壳泥质岩石重熔形成的花岗岩浆上侵定位, 部分岩浆源区含基性-超基性岩夹层抑或在形成过程有地幔物质加入, 经过高分异演化, 在岩浆房隆起部位的内外接触带成矿。

3.4 彭山锡多金属矿田新发现垄里甘锡矿床

彭山锡多金属矿田位于九江坳陷南缘彭山穹隆, 矿床围绕沿穹隆侵位的隐伏早白垩世(130~128 Ma, Xu et al., 2017)花岗岩钟分布, 近外接触带为曾家垅、尖峰坡锡矿床, 周缘有张十八铅锌矿床, 边缘部位为热液脉型锑矿和萤石矿床, 构成自岩体中心由高温向周缘中低温热液成矿分带。

垄里甘锡多金属矿普查区位于彭山锡多金属矿田东侧(图 5a), 近期江西省地勘基金项目圈定了三个共生锡、锌工业矿体, 锡矿体产于成矿岩体与南华系、震旦—寒武系围岩接触带, 顺层呈似层状产出(图 5b, c), 产状与地层产状近于一致, 受背斜轴部层间剥离带控制。矿化类型以似层状矽卡岩型

锡矿和似层状砂岩浸染状锡矿为主。锡矿体平均厚度 3.58 m, 锡平均品位 0.57%。估算锡矿达中型规模, 取得了锡矿找矿新进展。

3.5 稀有金属与钨锡共生的松树岗超大型钽铌(锂)钨锡矿床

赣东北松树岗矿区是一个以钽、铌为主, 共伴生铷、锂、钨、锡的稀有、有色金属矿区。矿化类型自下往上从隐伏花岗岩体到外接触带, 出现强钠长石化花岗岩型→弱钠长石化花岗岩型→云英岩化花岗岩型→钾化花岗岩型→伟晶岩型等钽铌(铷、锂)矿化带, 再至外接触带近地表为细脉带型钨矿化、石英脉型-云英岩型锡矿化、石英细脉带型钨锡矿体, 矿区西部中上南华统大塘坡组间冰期含碳酸盐岩地层中见有矽卡岩型铅锌矿化, 具有显著的分带性, 构成完整的岩浆热液成矿系列。

钨、锡矿体赋存在松树岗隐伏岩体顶部外接触带震旦系千枚岩中, 分为三种类型: 一是细脉带型钨矿体, 严格受岩体、地层和构造裂隙控制(图 6)。矿带走向 NE45°, 北东长 350 m, 北西宽 180 m,

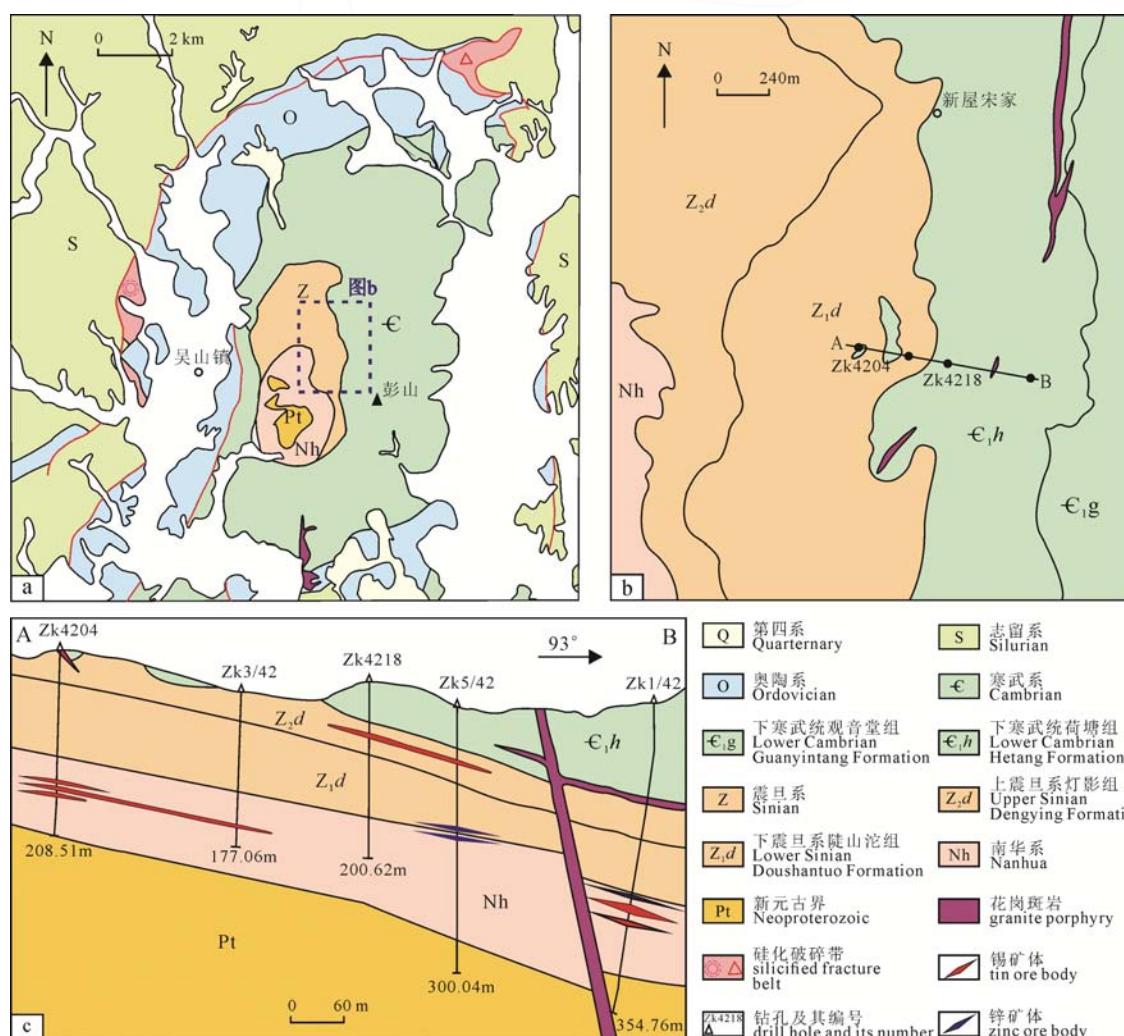


图 5 彭山锡多金属矿田地质图(a)、垄里甘矿区地质简图(b)和 42 线地质剖面图(c, 据王先广, 2020 修改)
Fig. 5 Geological map of Pengshan tin polymetallic ore field (a); geological sketch map of Longlinan ore district (b) and geological section of exploration line 42 (c, modified from WANG, 2020)

矿体厚度一般为 1~3 m, 地表单工程见矿最大厚度 23.10 m, 单脉平均最大厚度 5.59 m; 钨品位一般 0.125%~0.298%, 最高 1.861%, 平均 0.245%。二是石英脉型锡矿体, 分布于松树岗细脉带型钨矿体的东西两侧, 矿体厚度 1~2 m, 最大厚度 3.06 m; 锡品位一般 0.130%~0.438%, 最高为 4.33%, 平均品位 0.314%。三是云英岩型锡矿体, 位于松树岗细脉带型钨矿床的西侧 715 m 标高的高山上, 矿体整体为一“筒管”状体, 下延已控制 100 m, 平均厚度 14 m, 锡平均品位 0.245%。

由灵山岩体的中心相→过渡相→边缘相→松树岗隐伏岩体, 人工重砂中的钽铌铁矿、锡石、闪锌矿、方铅矿等矿物逐渐增多, 钽、铌、锂、铷、铯、锡、钨、铅、锌、铜等成矿元素丰度明显升高。据硫同位素分析结果, 矿区 $\delta^{34}\text{S}$ 全为正值, 变化范围在 +0.6‰ ~ +6.0‰ 之间, 变化幅度仅 0.52%, 平均值 +2.76‰, 接近陨石硫, 来自地壳深部岩浆源。铅同位素资料表明, 矿区铅同位素组成稳定、均一, 富 ^{204}Pb , 贫放射成因 ^{206}Pb 、 ^{208}Pb , 属正常铅范围, 和硫一样, 主要来自地壳深部岩浆源。按正常铅计算其模式年龄为 115~126 Ma, 与 K-Ar 法测定的下部隐伏岩体的同位素年龄 124~131 Ma 接近, 说明成矿时间紧接在成岩之后(叶茂, 2018)。矿区伟晶岩中钽铌铁矿物 U-Pb 法定年 130 Ma(Che et al., 2019)。矿区石英脉中的氧同位素组成与其下隐伏岩

体的氧同位素组成基本一致, 前者 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 +9.97‰ ~ +10.03‰, 隐伏岩体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 +9.51‰ ~ +10.78‰ 范围(叶茂, 2018), 两者极为接近, 表明氧具有共同的来源。从成岩、成矿物质来源和时空关系综合分析, 松树岗钽铌钨锡矿床与深部隐伏花岗岩株有着密切的成因联系, 成矿作用可能包括岩浆熔离晚期的结晶分异(碱质交代)作用和高-中温岩浆热液充填两个阶段。岩浆结晶分异作用早期部分钽铌钨锡进入黑云母和副矿物晶格中预富集在侵入岩顶部, 晚期残浆中钾氟浓度升高, 随着成矿溶液温度下降, 酸度增高, 形成铁锂云母、石英、黄玉等云英岩矿物, 钽铌钨锡与溶液中的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等元素结合生成细晶石、钽铌铁矿、黑钨矿、锡石沉淀, 钽铌全部析出。热液成矿作用后期部分以流体相为主的组份发生脉动式的减压沸腾和贯入, 充填于围岩和裂隙, 形成钨、锡石英脉和钨锡铅锌石英脉。

3.6 九瑞矿集区深部新发现“上铜下钨(铜)”矿体的南港铜钨矿床

根据矿床成矿系列“全位成矿、缺位找矿”理论, 作者提出九瑞地区“上铜下钨”的勘查模型, 开创了赣北九瑞地区寻找钨矿的先河。通过地质填图、化探异常找矿信息提取、电磁三维反演深部定位技术应用, 相继在成矿地质条件类似的通江岭、武山矿区边深部首次发现了钨铜矿体。

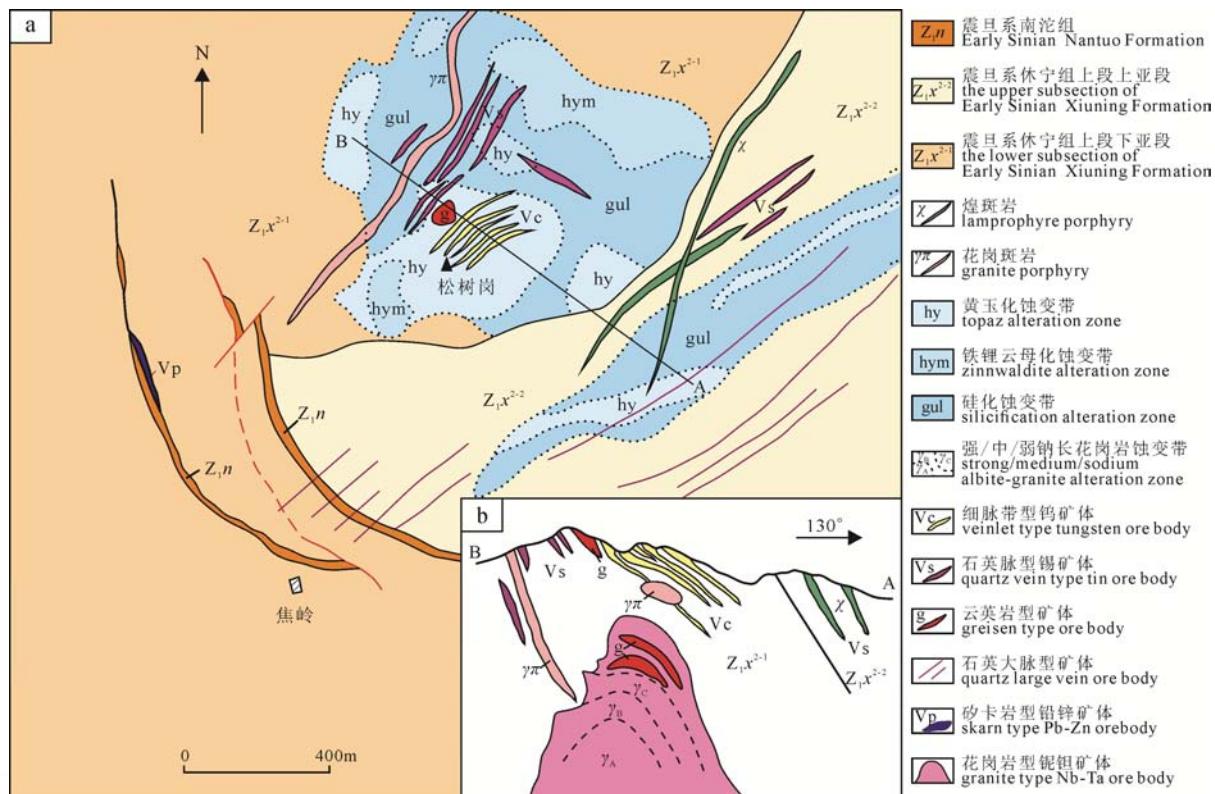


图 6 松树岗矿区地质简图(a)和地质剖面示意图(b)(据王先广等, 2021)

Fig. 6 Geological map (a) and profile map (b) of Songshugang ore district (modified from WANG et al., 2021)

武山铜矿外围南港矿区在深部似层状、块状硫化物矿体中含有钨矿体，属于武山铜矿似层状硫化物型矿体的倾向延伸部分(图 7a)。区内铜钨矿体主要产出于泥盆系五通组与黄龙组之间，乃至黄龙组下段层位，矿石类型主要为含铜黄铁矿和含铜碳酸盐。在南港矿区 88~112 线似层状、块状硫化物矿体中含有钨矿体，钨矿体全长近 1 600 m, 88—96 线 800 m 范围内为主要工业矿体地段。局部地段具分枝、复合、膨大、缩小、尖灭、再现等现象。钨矿(化)体厚度一般在 0.50~3.36 m, 平均 3.18 m, WO_3 平均品位 0.72%。西部 80 线钨矿体逐渐尖灭，并逐渐演化为铅锌银(铜)矿，向东 104 线歼灭，在 112 线再现钨矿(化)体(图 7b)。垂向上上部以铜、铜硫矿化为主，深部钨矿化逐渐增强，在南矿带的矽卡岩型矿体中深部同样发现钨、铜矿物组合。

在空间位置上，矽卡岩型铜钨矿化与透辉石—石榴子石接触蚀变带、方解石化绿泥石化硅化接触蚀变带一致，层控硫化物型铜钨铅锌银矿化与围岩中大理岩化—硅化—黏土化蚀变带一致。黄铜矿、白钨矿等矿石矿物均主要呈细脉状、浸染状产出于花岗闪长石榴子石、透辉石、透闪石、矽卡岩与矽卡岩化大理岩中，部分呈细脉状产出于蚀变花岗闪长斑岩中，并且具有“上铜下铜钨”矿化分带模式，这与典型的斑岩-矽卡岩型矿床的蚀变分带特征基本一致(胡正华, 2015; 唐菊兴等, 2017)。

4 找矿预测方法和进一步找矿建议

4.1 找矿预测方法

十余年来，江西地勘工作者运用成矿系列理论进行的找矿实践取得了很好的找矿效果，并归纳出

成矿系列缺位找矿的预测方法和勘查思路。项新葵等(2017)运用哲学思维总结了江西大湖塘北区钨矿找矿突破的实践经验，提出了“异常指方向、寻找体中体”的找矿靶区优选方法和点上突破新类型的思路；王先广(2020)以成矿系列理论和就矿找矿理论为指导，提出了“脉面层体”就矿找矿法，用地球化学元素示踪和地球物理三维反演技术面上选点，建立“以脉找体、以面追体、以层寻体和体中找体”勘查模型开展点上突破的勘查技术。形成“异常指方向、标志定靶区、主攻新类型”面上选点和“脉面层体”就矿找矿点上突破的勘查思路。

4.1.1 “面上选点”—异常指方向、标志定靶区、主攻新类型

异常指方向：区域重力负异常和航磁正异常的分布范围与大湖塘矿集区范围基本一致，围绕矿集区分布着黑钨、白钨、锡石的重砂异常，钨锡铋铜铅的土壤地球化学异常，钨钒铍铜铅的水地球化学异常等，指导找矿方向；标志定靶区：九岭岩基内燕山期岩株的顶部硅化，是找矿标志也是找矿目标，矿体呈似层状、筒状、脉状分布于燕山期花岗岩株顶部及外接触带，抓住关键找矿标志选定找矿靶区；主攻新类型：大湖塘北区石门寺矿段资源储量中细脉浸染型矿体占 95%，热液隐爆角砾岩型占 4%，石英大脉型只占 1%。新发现细脉浸染型和热液隐爆角砾岩型矿为主攻矿床类型，改变了以往只评价石英大脉型矿体的惯性思维。

4.1.2 “脉面层体”就矿找矿指导点上突破

“就矿找矿”前一个“矿”泛指所有的找矿信息。找矿过程包括两个重要阶段，一是面上选点，通常惯用地质+化探+物探+遥感等找矿信息，通过

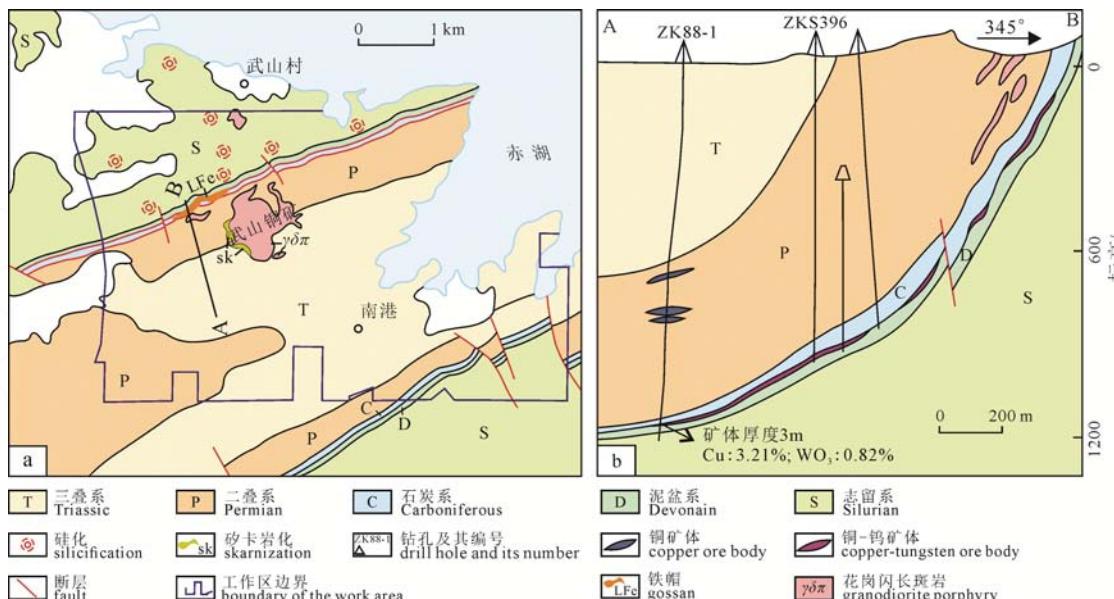


图 7 武山南港矿区地质简图(a)和地质剖面图(b)(据王先广等, 2022)

Fig. 7 Geological map (a) and profile map (b) of Nangang ore district in Wushan village (modified from WANG et al., 2022)

综合分析和成矿预测研究优选找矿靶区；二是点上突破，是找矿成功与否的关键，优选到的找矿靶区，还处在待发现矿体阶段，没有可利用的矿床成矿作用特征标志，如何实现找矿突破？首先，遵循成矿规律认知的递进规律，构建“全位成矿、缺位找矿”矿床勘查思路；其次，抓住矿化地质体所揭示的关键成矿因素，建立“以脉找体、或以层寻体、或以面追体、或体中找体”等勘查模型。“脉”是指构造控制的裂隙带、层间滑脱带、破碎带，在地表或浅部的矿化信息，往往出现脉状矿化地质体或物化探异常带；“层”是指重要或有利的赋矿层位、标志带、蚀变带、矿化带(层)；“面”是指硅钙面、岩体接触面、岩性界面等；“体”是指在空间上处在深部的成矿地质体，深部隐伏成矿花岗岩体及其相关的矿体。第三，选择合理的技术路线，施以经济适用且有效的勘查手段，来发现矿致异常或矿(化)体，开展有效的钻探验证和控制工业矿体。

“脉层面体”就矿找矿法是以成矿系列理论为指导，通过对成矿地质条件、关键控矿要素、关键地质体所揭示的矿化信息及其相互关系的高度概括为“脉层面体”，并建立“以脉找体、以层寻体、以面追体、体中找体”等勘查模型从而实现点上突破的就矿找矿方法。它包括“脉层面体”勘查模型+勘查技术方法组合。作者等运用朱溪式“脉层面体”勘查模型和“地球化学元素示踪+地球物理三维反演+钻探”勘查技术方法组合指导了塔前—朱溪钨铜、大湖塘(青岭)钨铜钼等矿集区和和众埠街锰铅锌矿、石竹山硅灰石等矿床的点上突破；提出了塔前—朱溪地区推覆-滑覆构造控岩控矿论、九瑞地区“网格控矿论”、“上铜下钨成矿论”、九岭地区“体中体”等成矿预测理论；并建立朱溪式“岩浆+构造+岩性圈闭控矿”、大湖塘式“体中体成矿”、东坪式“五层楼式成矿”等勘查模型，为找矿指明了方向(王先广, 2020)。

4.2 进一步找矿建议

4.2.1 九瑞、萍乐坳陷区找寻隐伏钨铜矿床

坳陷区由于削蚀程度相对较低，盖层保存相对完好，与成矿密切相关的燕山期花岗岩和相关钨锡矿化出露地表很少，但深部找矿工作程度较低。一是九瑞坳陷区的“上铜下钨”揭示深部找寻隐伏钨铜矿床潜力大，武山矿区深边部，南港、东雷湾铜矿区深部发现了斑岩-似层状矽卡岩型钨铜矿体，铜钨矿体垂向上自围岩至岩体(自浅至深)具斑岩矽卡岩型蚀变分带系统特征和“上铜下铜钨”的矿化分带特征。随着勘查深度的加大，九瑞矿集区铜矿体边深部具有发现厚层状钨或钨铜矿体潜力，尤

其是矿区深部石炭系、奥陶系碳酸盐岩与花岗闪长斑岩接触带和上泥盆统五通组底界与早古生代地层沉积不整合面、奥陶与志留系所形成的硅钙界面，找矿空间大。二是在萍乐坳陷带蒙山地区出露的印支期花岗岩接触带附近，近年在石竹山硅灰石矿床勘查过程中也发现了矽卡岩型钨锡铜矿体(王先广等, 2019b)。江西地勘基金项目银山凹矿区钻孔中发现细脉浸染型、矽卡岩型钼铜铅锌银矿化信息，均揭示坳陷区也具有寻找隐伏钨铜矿床的巨大潜力。

4.2.2 九岭隆起区复式花岗岩基区

九岭大湖塘矿集区区域重力负异常、航磁正异常和化探异常的分布范围与大湖塘矿集区范围基本一致，根据槽头港、青岭预测区土壤化探异常查证情况，区内土壤化探异常对找矿指示意义明显。在槽头港预测区中部I号综合异常I-7、I-11异常中心内具有强烈硅化蚀变，推断在该异常中心深部存在隐伏燕山期岩体，具有钨多金属矿找矿潜力。在槽头港预测区、大湖塘南区钨矿与大雾塘钨矿三者之间的空白地段仍具有较大找矿潜力。

大湖塘北区钨矿外围的江西省地勘基金项目-青岭钨矿普查区，经近年钻探验证，钨矿规模可达特大型规模。

4.2.3 莲花山隆坳过渡带钨锡多金属矿找矿前景较好

莲花山矿集区内赋矿地层为新元古界双桥山群横涌组泥砂质板岩、凝灰质板岩夹少量钙质板岩及变沉凝灰岩，地层中的W、Sn含量远高于地壳克拉克值。成矿地质条件与东坪、松树岗矿集区类似，均位于隆坳过渡带。根据矿床成矿系列“全位成矿、缺位找矿”理论，在成矿地质条件相同的地区，可能会形成类似的矿床。矿集区以朱屋岭—板坑坞一带为中心，由内向外为表现为W(Sn)→Sn(W、Cu)→CuPbZnAu的矿化分带特征。中心地区的白茶坞、朱屋岭及大山坞矿段以钨成矿为主，钨锡资源量比为6.6~7.8。向南东至徐家尖、棉花坞、茅棚店及八字脑一带，锡矿化逐渐增强，钨锡资源量比为0.5~1.0(杨明桂, 2015)。再向南东至外蒋和金家坞一带，则以铜(铅锌)和金(银)矿化为特征。位于岩体内接触带或外接触带的白云母化(或白云母-云英岩化)带往往产出蚀变花岗岩型矿体；而位于外接触带的硅化-角岩化带则是石英脉(带)型钨锡矿的主要产出部位，找矿前景较好。

5 结论

(1)结合近期“江南钨矿带”成矿理论创新和重大找矿成果，江西钨锡成矿单元可划分为江南、南

岭 2 条成矿带、9 条成矿亚带、15 个矿集区; 厘定了包括江南地块与燕山期 I 型中酸-弱酸性斑岩有关的铜、钨、金、钼矿床成矿系列等共 3 个成矿系列、6 个成矿亚系列和 15 个矿床式。

(2) 在江西省地质勘查基金项目验证的基础上, 运用矿床成矿系列“全位成矿、缺位找矿”理论和“脉层面体”就矿找矿方法, 不仅探获了世界级巨型钨矿床 3 处, 而且认为在朱溪矿集区、大湖塘矿集区和莲花山矿集区内钨锡找矿潜力巨大, 并初步提出九瑞、萍乐坳陷区也具有寻找隐伏钨铜矿床的潜力, 值得进一步勘查。

(3) 江西南岭“一家独大”钨成矿说已成历史, 江南钨锡成矿带的建立具有钨锡找矿划时代的意义。世界上少有像“江南钨锡成矿带”内多类矿体共生、有用元素众多且均达到大型以上规模矿床的成矿带, 对这样一个成矿作用极其复杂的成矿带进行理论研究难度极大, 仍存在一些未知领域需要进一步探索, 如岩浆黑云母、热液黑云母、斜长石等成因矿物学研究仍需继续深化, 钨铜共生、巨量成矿元素的迁移、沉淀机制有待进一步揭示等。

致谢: 感谢中国地质科学院矿产资源研究所肖克炎研究员和唐菊兴研究员的精心指导。

Acknowledgements:

This study was supported by Technology Innovation Guid Program of Jiangxi Province (No. 2019-2021), National Science and Technology Award Reserve Project Cultivation Plan (No. 20103AE191004), Geological Exploration Fund of Jiangxi Province (Nos. 3A1901005; 2013-2021 and 20130104; 2020-2022).

参考文献:

- 陈毓川, 盛继福, 王登红. 2018. 中国矿产地质志·钨矿卷 [M]. 北京: 地质出版社.
- 陈毓川, 王登红, 朱裕生. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价 [M]. 北京: 地质出版社.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题 [J]. 中国地质科学院院报, 1(1): 32-58.
- 丰成友, 黄凡, 屈文俊, 曾载淋, 丁明. 2011. 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, 26(4): 6-11.
- 丰成友, 张德全, 项新葵, 李大新, 翟泓澐, 刘建楠, 肖晔. 2012. 赣西北大湖塘钨矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其意义 [J]. 岩石学报, 28(12): 3858-3868.
- 郭春丽, 陈毓川, 黎传标, 陈郑辉, 楼法生. 2011. 赣南晚侏罗世九龙脑钨锡铅锌矿集区不同成矿类型花岗岩年龄、地球化学特征对比及其地质意义 [J]. 地质学报, 85(7): 1188-1025.
- 胡正华, 刘栋, 刘善宝, 郎兴海, 张家菁, 陈毓川, 施光海, 王艺云, 雷天浩, 聂龙敏, 沙珉, 龚良信, 刘战庆. 2015. 江西乐平塔前钼(钨)矿床成岩成矿时代及意义 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 42(3): 312-322.
- 胡正华, 楼法生, 李永明, 李吉明, 王先广, 陈建平, 曾庆权, 吴师金, 聂龙敏, 龚良信, 文亮先, 刘高峰, 李倩, 余希. 2018. 江西武宁县东坪钨矿床中与成矿有关的岩浆岩年代学、地球化学及岩石成因 [J]. 地球科学, 43(S1): 243-263.
- 胡正华, 王先广, 陈毓川, 周卫, 王彦媛, 龚良信, 杨舒钧. 2020. 江南钨矿带(江西段)成矿规律 [J]. 中国钨业, 35(5): 10-19.
- 胡正华. 2015. 赣东北朱溪钨多金属矿床形成条件与成矿规律 [D]. 成都: 成都理工大学.
- 黄安杰, 温祖高, 刘善宝, 刘消清, 刘献满, 张家菁, 施光海, 刘战庆. 2013. 江西乐平塔前钨钼矿中辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 32(4): 496-504.
- 黄兰椿, 蒋少涌. 2012. 江西大湖塘钨矿床似斑状白云母花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及成因研究 [J]. 岩石学报, 28(12): 3887-3900.
- 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 赵军红, 唐群力. 2004. 江西大青山钨矿成矿年代学研究 [J]. 矿物学报, 24: 253-256.
- 蒋少涌, 赵葵东, 姜海, 苏慧敏, 熊索菲, 熊伊曲, 徐耀明, 章伟, 朱律运. 2020. 中国钨锡矿床时空分布规律、地质特征与成矿机制研究进展 [J]. 科学通报, 65: 3730-3745.
- 李吉明, 李永明, 楼法生, 胡正华, 钟起泓, 谢明明, 唐峰林, 沙珉, 杨细浩, 刘细元, 易永清, 胡文洁, 朱庆敏, 聂龙敏, 朱昌杰, 文亮先, 曾庆权, 黄建村, 雷天浩, 谢瑞丰, 龚良信, 李倩. 2016. 赣北发现“五层楼”式石英脉型黑钨矿矿床——东坪黑钨矿床的发现及其地质意义 [J]. 地球学报, 37(3): 379-384.
- 刘经纬, 陈斌, 陈军胜, 李壮, 孙克克. 2017. 赣东北朱溪钨(铜)矿区高分异花岗岩的成因及与钨矿的关系 [J]. 岩石学报, 33(10): 3161-3182.
- 毛景文, 吴胜华, 宋世伟, 戴盼, 谢桂青, 苏蔷薇, 刘鹏, 王先广, 余忠珍, 陈祥云, 唐维新. 2020. 江南世界级钨矿带: 地质特征、成矿规律和矿床模型 [J]. 科学通报, 65(33): 3746-3762.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展 [J]. 地学前缘, 11(1): 45-55.
- 唐菊兴, 王勤, 杨欢欢, 高昕, 张泽斌, 邹兵. 2017. 西藏斑岩-矽卡岩-浅成低温热液多金属矿成矿作用、勘查方向与资源潜力 [J]. 地球学报, 38(5): 571-613.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 2005. 中国白垩纪大陆成矿体系的初步研究及找矿前景浅析 [J]. 地学前缘, 12(2): 231-239.
- 王先广, 胡正华, 陈国华, 欧阳永棚, 曾祥辉, 杨舒钧. 2020. 朱溪式“脉面层体”就矿找矿法在深部矿产勘查的实践及其意义 [J]. 中国钨业, 35(5): 1-9.
- 王先广, 胡正华, 黄秋芸, 易伟, 陈国华, 胡朗明, 游玮. 2019a. 九瑞矿集区通江岭铜钨矿成岩岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及意义 [J]. 中国地质, 46(4): 832-840.
- 王先广, 胡正华, 余希, 陈国华, 李艳红, 詹天卫, 陈四宝, 刘少华, 成绪光, 杨舒钧. 2019b. 赣西蒙山地区石竹山超大型硅灰石矿床地质特征及找矿意义 [J]. 地球学报, 40(2): 259-264.
- 王先广, 胡正华. 2021. 江南钨矿带(江西段)成矿规律 [M]. 北京: 地质出版社.
- 王先广, 刘战庆, 刘善宝, 王成辉, 刘建光, 万浩章, 陈国华, 张树德, 刘小林. 2015. 江西朱溪铜钨矿细粒花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和岩石地球化学研究 [J]. 岩矿测试, 34(5): 592-599.
- 王先广. 2020. 江西省地质勘查基金找矿重大突破与科技创新 [M]. 南昌: 江西科学技术出版社.
- 王先广, 欧阳永棚, 陈国华, 刘建光, 魏锦, 饶剑锋. 2022. 江西朱溪钨铜矿床 [M]. 北京: 地质出版社.
- 项新葵, 詹国年, 谭荣, 钟波. 2017. 哲学思维在江西大湖塘北区钨矿找矿突破中的实践 [C]//2017 年江西省地质学会论文汇编集.

- 谢桂青,毛景文,胡瑞忠,李瑞玲,曹建劲. 2005. 中国东南部中—新生代地球动力学背景若干问题的探讨[J]. 地质论评, 51(6): 613-620.
- 杨明桂,黄水保,楼法生,唐维新,毛素斌. 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 36(3): 528-543.
- 杨明桂. 2015. 中国矿产地地质志(江西卷)[M]. 北京: 地质出版社.
- 杨明桂,余忠珍,唐维新,王光辉,徐敏桂,熊燃. 2020. 中国矿产地地质志(华南洋-滨太平洋构造演化与成矿)[M]. 北京: 地质出版社.
- 叶茂. 2018. 赣杭构造带灵山花岗岩及其镁铁质微粒包体的岩石成因和岩浆混合作用研究[D]. 武汉: 中国地质大学.
- 晏超,陈郑辉,杨立强,王艺茜,曾乐,胡正华. 2017. 赣北东坪铜钨多金属矿点岩体锆石U-Pb定年及其地质意义[J]. 中国钨业, 32(3): 1-11.
- 张家菁,梅玉萍,王登红,李华芹. 2008. 赣北香炉山白钨矿床的同位素年代学研究及其地质意义[J]. 地质学报, 82(7): 927-931.
- 张明玉,丰成友,李大新,王辉,周建厚,叶少贞,汪国华. 2016. 赣北大湖塘地区昆山W-Mo-Cu矿床侵入岩锆石U-Pb、辉钼矿Re-Os年代学及地质意义[J]. 大地构造域成矿学, 40(3): 503-516.
- 张文兰,华仁民,王汝成,陈培荣,李惠民. 2006. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究[J]. 地质学报, 80(7): 956-962.
- 曾庆权,胡正华,王先广,龚良信,聂龙敏,李倩. 2019. 江西省都昌县阳储岭钨钼矿年代学研究[J]. 中国地质, 46(4): 841-849.

References:

- BAI Xiu-Juan, WANG Min, JIANG Ying-de, QIU Hua-ning. 2013. Direct dating of tin-tungsten mineralization of the Piaotang tungsten deposit, South China, by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ progressive crushing[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 114: 1-12.
- CAO Jin-ya, YANG Xiao-yong, ZHANG De-xian, YAN Fa-bao. 2020. In situ trace elements and Sr isotopes in scheelite and S-Pb isotopes in sulfides from the Shiweidong W-Cu deposit, giant Dahutang ore field: Implications to the fluid evolution and ore genesis[J]. *Ore Geology Reviews*, 125: 103696.
- CHE Xu-dong, WANG Ru-cheng, WU Fu-yuan, ZHU Ze-ying, ZHANG Wen-lan, HU Huan, XIE Lei, LU Jian-jun, ZHANG Di. 2019. Episodic Nb-Ta mineralisation in South China: Constraints from in situ LA-ICP-MS columbite-tantalite U-Pb[J]. *Ore Geology Reviews*, 105: 71-85.
- CHEN Yu-chuan, SHENG Ji-fu, WANG Deng-hong. 2018. Geology of mineral resources in China volume of tungsten ore[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-958(in Chinese).
- CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, ZHU Yu-sheng. 2007. Chinese mineralization and assessment of regional mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHENG Yu-qi, CHEN Yu-chuan, ZHAO Yi-ming. 1979. Preliminary discussion on the problems of mineralogical series of mineral deposits[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1(1): 32-58(in Chinese with English abstract).
- DAI Pan, MAO Jing-wen, WU Sheng-hua, XIE Gui-qing, LUO Xiao-hong. 2018. Multiple dating and tectonic setting of the Early Cretaceous Xianglushan W deposit, Jiangxi Province, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 95: 1161-1178.
- FENG Cheng-you, HUANG Fan, QU Wen-jun, ZENG Zai-Lin, DING Ming. 2011. Molybdenite Re-Os isotopic dating on different types of tungsten deposits in southeast of Jiulongnao orefield and its geological significances[J]. *China Tungsten Industry*, 26(4): 6-11(in Chinese with English abstract).
- FENG Cheng-you, ZHANG De-quan, XIANG Xin-kui, LI Da-xin, QU Hong-ying, LIU Jian-nan, XIAO Ye. 2012. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Dahutang tungsten deposit in northwestern Jiangxi Province and its geological implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3858-3868(in Chinese with English abstract).
- GUO Chun-li, CHEN Yu-chuan, LI Chuan-biao, CHEN Zheng-hui, LOU Fa-sheng. 2011. Zircon SHRIMP U-Pb dating, geochemistry, Sr-Nd isotopic analysis of the Late Jurassic granitoids in the Jiulongnao W-Sn-Pb-Zn ore-concentrated areas in Jiangxi Province and their geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(7): 1188-1025(in Chinese with English abstract).
- GUO Chun-li, CHEN Yu-chuan, ZENG Zai-lin, LOU Fa-sheng. 2012. Petrogenesis of the Xihuashan granites in southeastern China: Constraints from geochemistry and in-situ analyses of zircon U-Pb-Hf-O isotopes[J]. *Lithos*, 148: 209-227.
- HU Da-long, JIANG Shao-yong, XIONG Suo-fei, DONG Jia-xiang, WANG Ke-xin. 2022. Genesis of the Maogongdong deposit in the Dahutang W-Cu-(Mo) ore field of northern Jiangxi Province, South China: constraints from mineralogy, fluid inclusions, and H-O-C-S isotopes[J]. *Mineralium Deposita*, 57: 1449-1468.
- HU Rui-zhong, WEI Wen-feng, BI Xian-wu, PENG Jian-tang, QI You-qiang, WU Li-yan, CHEN You-wei. 2012. Molybdenite Re-Os and muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Xihuashan tungsten deposit, central Nanling district, South China[J]. *Lithos*, 150: 111-118.
- HU Zheng-hua, LIU Dong, LIU Shan-bao, LANG Xing-hai, ZHANG Jia-jing, CHEN Yu-chuan, SHI Guang-hai, WANG Yi-yun, LEI Tian-hao, NIE Long-min, SHA Min, GONG Liang-xin, LIU Zhan-qing. 2015. Rock-forming and ore-forming ages and significance of Taqian Mo(W) deposite, Leping, Jiangxi, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 42(3): 312-322(in Chinese with English abstract).
- HU Zheng-hua, LOU Fa-sheng, LI Yong-ming, LI Ji-ming, WANG Xian-guang, CHEN Jian-ping, ZENG Qing-quan, WU Shi-jin, NIE Long-min, GONG Liang-xin, WEN Liang-xian, LIU Gao-feng, LI Qian, YU Xi. 2018. Geochrology, geochemistry and petrogenesis of ore-related granite in the Dongping tungsten deposit in Wuning County, Jiangxi Province[J]. *Earth Science*, 43(S1): 243-263(in Chinese with English abstract).
- HU Zheng-hua, WANG Xian-guang, CHEN Yu-chuan, ZHOU Wei, WANG Yan-yuan, GONG Liang-xin, YANG Shui-yun. 2020. Metallogenetic regularity in Jiangnan metallogenetic of Tungsten Belt (Jiangxi Section)[J]. *China Tungsten Industry*, 35(5): 10-19(in Chinese with English abstract).
- HU Zheng-hua. 2015. The formation conditions and metallogenetic regularity of Zhuxi tungsten polymetallic deposit in northeast of Jiangxi Province[D]. Cheng du: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- HUANG An-jie, WEN Zu-gao, LIU Shan-bao, LIU Xiao-qing, LIU Xian-man, ZHANG Jia-jing, SHI Guang-hai, LIU Zhan-qing. 2013. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Taqian W-Mo deposit in Leping County, Jiangxi Province and its geological implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 32(4): 496-504(in Chinese with English abstract).
- HUANG Lan-chun, JIANG Shao-yong. 2012. Zircon U-Pb geo-

- chronology, geochemistry and petrogenesis of the porphyritic-like muscovite granite in the Dahutang tungsten deposit, Jiangxi Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3887-3900(in Chinese with English abstract).
- HUANG Lan-chun, JIANG Shao-yong. 2014. Highly fractionated S-type granites from the giant Dahutang tungsten deposit in Jiangnan Orogen, Southeast China: geochronology, petrogenesis and their relationship with W-mineralization[J]. *Lithos*, 202-203: 207-226.
- JIANG Guo-hao, HU Rui-zhong, XIE Gui-qing, ZHAO Jun-hong, TANG Qun-li. 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).
- JIANG Shao-yong, ZHAO Kui-dong, JIANG Hai, SU Hui-min, XIONG Suo-fei, XIONG Yi-qu, XU Yao-ming, ZHANG Wei, ZHU Lü-yun. 2020. Spatiotemporal distribution, geological characteristics and metallogenetic mechanism of tungsten and tin deposits in China: An overview[J]. *Chinese Science Bulletin*, 65: 3730-3745(in Chinese with English abstract).
- LI Ji-ming, LI Yong-ming, LOU Fa-sheng, HU Zheng-hua, ZHONG Qi-hong, XIE Ming-ming, TANG Feng-lin, SHA Min, YANG Xi-hao, LIU Xi-yuan, YI Yong-qing, HU Wen-jie, ZHU Qing-min, NIE Long-min, ZHU Chang-jie, WEN Liang-xian, ZENG Qing-quan, HUANG Jian-cun, LEI Tian-hao, XIE Rui-feng, GONG Liang-xin, LI Qian. 2016. A "five-storey" style quartz vein wolframite deposit in northern Jiangxi Province: The discovery of the Dongping wolframite deposit and its geological significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 37(3): 379-384(in Chinese with English abstract).
- LI Xing-yuan, ZHANG Jing-ru, LAI C K. 2020. Comparison of magma oxygen fugacity and zircon Hf isotopes between Xianglushan tungsten-bearing granite and Late Yanshanian granites in Jiangxi Province, South China[J]. *Minerals*, 10(2): 106.
- LIU Tao, JIANG Shao-yong, SU Hui-min, CAO Ming-yu. 2022. Petrogenesis of Ta-Nb mineralization related Early Cretaceous Lingshan granite complex, Jiangxi Province, southeast China: Constraints from geochronology, whole-rock and in-situ mineral geochemistry, and Nd-Hf isotopic compositions[J]. *Ore Geology Reviews*, 143: 104788.
- LIU Jing-wei, CHEN Bin, CHEN Jun-sheng, LI Zhuang, SUN Ke-ke. 2017. Highly differentiated granite from the Zhuxi tungsten (copper) deposit in northeastern Jiangxi Province: Petrogenesis and their relationship with W-mineralization[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(10): 3161-3182(in Chinese with English abstract).
- MAO Jing-wen, XIE Gui-qing, LI Xiao-feng, ZHANG Chang-qing, MEI Yan-xiong. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45-55(in Chinese with English abstract).
- MAO Jing-wen, XIONG Bi-kang, LIU Jun, Pirajno Franco, CHENG Yan-bo, YE Hui-shou, SONG Shi-wei, DAI Pan. 2017. Molybdenite Re/Os dating, zircon U-Pb age and geochemistry of granitoids in the Yangchuling porphyry W-Mo deposit (Jiangnan tungsten ore belt), China: Implications for petrogenesis, mineralization and geodynamic setting[J]. *Lithos*, 286-287: 35-52.
- MAO Jing-wen, WU Sheng-hua, SONG Shi-wei, DAI Pan, XIE Gui-qing, SU Qiang-wei, LIU Peng, WANG Xian-guang, YU Zhong-zhen, CHEN Xiang-yun, TANG Wei-xin. 2020. The world-class Jiangnan tungsten belt: Geological characteristics, metallogenesis, and ore deposit model[J]. *Chinese Science Bulletin*, 65(33): 3746-3762(in Chinese with English abstract).
- MAO Zhi-hao, LIU Jia-jun, MAO Jing-wen, DENG Jun, ZHANG Feng, MENG Xu-yang, XIONG Bi-kang, XIANG Xin-kui, LUO Xiao-hong. 2015. Geochronology and geochemistry of granitoids related to the giant Dahutang tungsten deposit, middle Yangtze River region, China: Implications for petrogenesis, geodynamic setting, and mineralization[J]. *Gondwana Research*, 28(2): 816-836.
- PAN Xiao-fei, HOU Zeng-qian, LI Yan, CHEN Guo-hua, ZHAO Miao, ZHANG Tian-fu, ZHANG Cheng, WEI Jin, KANG Chuan. 2017. Dating the giant Zhuxi W-Cu deposit (Taqian-Fuchun Ore Belt) in South China using molybdenite Re-Os and muscovite Ar-Ar system[J]. *Ore Geology Reviews*, 86: 719-733.
- PAN Xiao-fei, HOU Zeng-qian, ZHAO Miao, CHEN Guo-hua, RAO Jian-feng, LI Yan, WEI Jin, OUYANG Yong-peng. 2018. Geochronology and geochemistry of the granites from the Zhuxi W-Cu ore deposit in South China: Implication for petrogenesis, geodynamical setting and mineralization[J]. *Lithos*, 304-307: 155-179.
- PENG Ning-jun, JIANG Shao-yong, XIONG Suo-fei, PI Dao-hui. 2018. Fluid evolution and ore genesis of the Dalingshang deposit, Dahutang W-Cu ore field, northern Jiangxi Province, South China[J]. *Mineralium Deposita*, 53: 1079-1094.
- SONG Shi-wei, MAO Jing-wen, ZHU Yong-feng, YAO Zai-yu, CHEN Guo-hua, RAO Jian-feng, OUYANG Yong-peng. 2018. Partial-melting of fertile metasedimentary rocks controlling the ore formation in the Jiangnan porphyry-skarn tungsten belt, south China: A case study at the giant Zhuxi W-Cu skarn deposit[J]. *Lithos*, 304-307: 180-199.
- SONG Shi-wei, MAO Jing-wen, XIE Gui-qing, CHEN Lei, SANTOSH M, CHEN Guo-hua, RAO Jian-feng, OUYANG Yong-peng. 2019. In situ LA-ICP-MS U-Pb geochronology and trace element analysis of hydrothermal titanite from the giant Zhuxi W (Cu) skarn deposit, South China[J]. *Mineralium Deposita*, 54: 569-590.
- TANG Ju-xing, WANG Qin, YANG Huan-huan, GAO Xin, ZHANG Ze-bin, ZOU Bing. 2017. Mineralization, exploration and resource potential of porphyry-skarn-epithermal copper polymetallic deposits in Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(5): 571-613(in Chinese with English abstract).
- WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XU Zhi-gang. 2005. Preliminary study on Cretaceous mineralization systems in China: Implications for future prospecting[J]. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 231-239(in Chinese with English abstract).
- WANG Xian-guang, LIU Zhan-qing, LIU Shan-bao, WANG Cheng-hui, LIU Jian-guang, WAN Hao-zhang, CHEN Guo-hua, ZHANG Shu-de, LIU Xiao-lin. 2015. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and petrologic geochemistry of fine-grained granite from Zhuxi Cu-W deposit, Jiangxi Province and its geological significance[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 34(5): 592-599(in Chinese with English abstract).
- WANG Xian-guang, HU Zheng-hua, HUANG Qiu-yun, YI Wei, CHEN Guo-hua, HU Lang-ming, YOU Wei. 2019a. Zircon U-Pb age of ore-forming magmatic rocks in the Tongjiangling copper-tungsten deposit in the Jiurui ore concentration area and its significance[J]. *Geology in China*, 46(4): 832-840(in Chinese with English abstract).
- WANG Xian-guang, HU Zheng-hua, YU Xi, CHEN Guo-hua, LI Yan-hong, ZHAN Tian-wei, CHEN Si-bao, LIU Shao-hua,

- CHENG Xu-guang, YANG Shu-jun. 2019b. Geological characteristics and prospecting significance of the Shizhushan superlarge wollastonite deposit in Mengshan, West Jiangxi Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 40(2): 259-264(in Chinese with English abstract).
- WANG Xian-guang. 2020. On major breakthrough and scientific & technological innovation achieved by Jiangxi administration fund for geological exploration[M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press(in Chinese).
- WANG Xian-guang, HU Zheng-hua, CHEN Guo-hua, OUYANG Yong-peng, ZENG Xiang-hui, YANG Shu-jun. 2020. Application of Zhuxi-style “vein-lay-contact ore-body” prospecting method near existing deposit to deep mineral exploration[J]. *China Tungsten Industry*, 35(5): 1-9(in Chinese with English abstract).
- WANG Xian-guang, HU Zheng-hua. 2021. Metallogenetic regularity in Jiangnan metallogenic of tungsten belt (Jiangxi Section)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Xian-guang, OUYANG Yong-peng, CHEN Guo-hua, LIU Jian-guang, WEI Jin, RAO Jian-feng. 2022. W-Cu deposit in Zhuxi of Jiangxi[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- XIANG Xin-kui, ZHAN Guo-nian, TAN Rong, ZHONG Bo. 2017. Philosoohizing practice in prospecting breakthrough of tungsten deposit in the north of Dahutang area[C]//2017 Compilation of Papers of Geological Society of Jiangxi Province(in Chinese with English abstract).
- XIANG Yuan-xin, YANG Jin-hui, CHEN Jing-yuan, ZHANG Yang. 2017. Petrogenesis of Lingshan highly fractionated granites in the Southeast China: Implication for Nb-Ta mineralization[J]. *Ore Geology Reviews*, 89: 495-525.
- XIE Gui-qing, MAO Jing-wen, HU Rui-zhong, LI Rui-ling, CAO Jian-jin. 2005. Discussion on some problems of Mesozoic and Cenozoic geodynamics of Southeast China[J]. *Geological Review*, 51(6): 613-620 (in Chinese with English abstract).
- XU Bin, JIANG Shao-yong, LUO Lan, ZHAO Kui-dong, MA Liang. 2017. Origin of the granites and related Sn and Pb-Zn polymetallic ore deposits in the Pengshan district, Jiangxi Province, South China: constraints from geochronology, geochemistry, mineral chemistry, and Sr-Nd-Hf-Pb-S isotopes[J]. *Mineralium Deposita*, 52: 337-360.
- YAN Chao, CHEN Zheng-hui, YANG Li-qiang, WANG Yi-qian, ZENG Le, HU Zheng-hua. 2017. U-Pb dating of mineralization rock zircon in Dongping copper tungsten mine and its geological significance[J]. *China Tungsten Industry*, 32(3): 1-11(in Chinese with English abstract).
- YANG Ming-gui, HUANG Shui-bao, LOU Fa-sheng, TANG Wei-xin, MAO Su-bin. 2009. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area[J]. *Geology in China*, 36(3): 528-543(in Chinese with English abstract).
- YANG Ming-gui. 2015. Geology of mineral resources in China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-1342(in Chinese).
- YANG Ming-gui, YU Zhong-zhen, TANG Wei-xin, WANG Guang-hui, XU Min-gui, XIONG Ran. 2020. Geology of mineral resources in China(tectonic evolution and metallogenesis of the paleo-South China ocean-circum-pacific domain)[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-566(in Chinese).
- YANG Shi-wen, LOU Fa-sheng, XU Chang, FENG Cheng-you, CAO Sheng-hua, XU De-ru, TANG Yan-wen. 2022. Two significant quartz-wolframite-veining mineralization events in the Jiangnan Orogen, South China: Constraints from in-situ U-Pb dating of wolframite in the Dongping and Dahutang W-(Cu-Mo) deposits[J]. *Ore Geology Reviews*, 141: 104598.
- YE Mao. 2018. Magma mixing and petrogenesis of granite and associated mafic microgranular enclaves from Lingshan pluton, Gan-Hang Belt[D]. Wuhan: China University of Geosciences: 1-81(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jia-jing, YANG Yu-ping, WANG Deng-hong, LI Hua-qin. 2008. Isochronology study on the Xianglushan scheelite deposit in North Jiangxi Province and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 927-931(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Ming-yu, FENG Cheng-you, LI Da-xin, WANG Hui, ZHOU Jian-hou, YE Shao-zhen, WANG Guo-hua. 2016. Geochronological study of the Kunshan W-Mo-Cu deposit in the Dahutang area, northern Jiangxi Province and its geological significance[J]. *Geotectonica et Metallogenesis*, 40(3): 503-516(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wen-lan, HUA Ren-min, WANG Ru-cheng, CHEN Pei-rong, LI Hui-min. 2006. New dating of the Dajishan granite and related tungsten mineralization in southern Jiangxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 956-962(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wei, JIANG Shao-yong, GAO Tian-shan, OUYANG Yong-peng, ZHANG Di. 2020. The effect of magma differentiation and degassing on ore metal enrichment during the formation of the world-class Zhuxi W-Cu skarn deposit: Evidence from U-Pb ages, Hf isotopes and trace elements of zircon, and whole-rock geochemistry[J]. *Ore Geology Reviews*, 127: 103801.
- ZHANG Wei, JIANG Shao-yong, OUYANG Yong-peng, ZHANG Di. 2021. Geochronology and textural and compositional complexity of apatite from the mineralization-related granites in the world-class Zhuxi W-Cu skarn deposit: A record of magma evolution and W enrichment in the magmatic system[J]. *Ore Geology Reviews*, 128: 103885.
- ZHANG Yong, MA Dong-sheng, GAO Jian-feng. 2020. Origin and evolution of ore-forming fluids in a tungsten mineralization system, Middle Jiangnan orogenic belt, South China: Constraints from in-situ LA-ICP-MS analyses of scheelite[J]. *Ore Geology Reviews*, 127: 103806.
- ZENG Qing-quan, HU Zheng-hua, WANG Xian-guang, GONG Liang-xin, NIE Long-min, LI Qian. 2019. Geochronology of the Yangchuling tungsten-molybdenum deposit in Duchang County, Jiangxi Province[J]. *Geology in China*, 46(4): 841-849(in Chinese with English abstract).
- ZHU Xun. 2016. Theory and practice of prospecting[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).