

文章编号:1009-3850(2019)02-0035-10

钦杭成矿带东段钨成矿规律

付文树¹, 欧阳永棚¹, 饶建锋¹, 陈 祺¹, 章敬若¹, 肖 凡², 张雪辉²

(1. 江西省地质矿产勘查开发局九一二大队, 江西 鹰潭 335001; 2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

摘要:钦杭成矿带是我国一条重要的金属矿产成矿带,近年来随着朱溪和大湖塘两个世界级钨矿床的探明,更是引起了广泛关注。在综合分析已有资料的基础上,结合最新找矿勘查和研究成果,初步总结了钦杭成矿带东段钨成矿规律。认为区内钨矿床可划分为石英脉型、接触交代型、蚀变花岗岩(云英岩)型、斑岩型和复合型5种类型。在空间展布上具有区-带-田结构,在成岩-成矿时间上以燕山期为主(120~162 Ma),印支期(~225 Ma)次之,壳源重熔(S型)花岗岩与钨成矿关系尤为密切,次为I型花岗质岩浆。钨主要来源于岩浆岩,少部分亦来源于地层。完善了钦杭成矿带东段钨成矿模式,并分析了区内找矿潜力。

关键词:钦杭成矿带东段;钨矿;成矿规律;区域找矿潜力

中图分类号:P612

文献标识码:A

钨广泛应用于建筑、汽车、航天等领域,一直是我国重要的优势资源,我国钨矿资源占全球钨矿总资源的60%以上,广泛分布于全国24个省(市、自治区),其中湖南、江西、甘肃3个省份占全国钨矿储量的70%以上^[1]。

钦杭成矿带是我国一条重要的金属矿产成矿带,其东段西起湖南衡阳,东至浙江绍兴,位于宜丰-景德镇-歙县-苏州和萍乡-广丰-江山-绍兴等超壳断裂带之间^[2-4],包括江南造山带东段^[5]、武功山-天台山隆起带^[6]。在该成矿带上分布着大批钨多金属矿床。近年来又相继发现大湖塘和朱溪两个世界级钨多金属矿床,表明该成矿带具有良好的钨矿找矿前景。

本文在前人已有资料的基础上,综合分析钦杭成矿带东段的成矿特点并结合最新找矿勘查和研究成果,初步总结了钦杭成矿带东段钨成矿规律,并完善了区域钨成矿模式,与同行沟通交流,以期深化对钦杭成矿带钨成矿规律的认识。

1 时空分布特征

钦杭成矿带东段钨矿床主要集中在江西、湖南两省,在空间展布上具有区-带-田结构,如由数条矿带、多个矿田、数个矿床(点)构成的大湖塘矿田^[7-9],受断裂带或褶皱带组合控制的多个矿床沿NNE向呈带状分布的塔前-赋春钨铜多金属成矿亚带^[10-11],由多个矿点围绕成矿岩体周边形成的浒

收稿日期:2019-03-21; **改回日期:**2019-04-08

作者简介:付文树(1963-),男,高级工程师,长期从事地质勘查工作。E-mail:522724737@qq.com

通讯作者:欧阳永棚(1988-),男,工程师,从事地质勘查工作。E-mail:yongpeng0524@163.com

基金项目:中国地质调查局《中国矿产地质与成矿规律综合集成和服务》(DD20160346)、《中国地质构造区划综合研究与区域地质调查综合集成》(1212010911022)、《江西塔前-大游山地区矿产地质调查》(12120113065300)、江西省地质矿产勘查开发局《江西朱溪矿区深部及外围控矿构造研究》(赣地矿字[2017]78号)、国土资源部公益性科研《江西朱溪铜钨成矿规律与预测研究》(201411035)、钦杭成矿带武宁-平江地区钨铜多金属矿地质调查(DD20190153)

坑钨矿田^[12]。

钦杭成矿带东段钨矿可划分为2个带,即衡山-幕阜山-莲花山成矿带和武功山-灵山成矿带,后者可进一步分为塔前-赋春成矿亚带、东乡-灵山成矿亚带和武功山-饶南成矿亚带和15个矿田,即川口矿田、司徒铺矿田、蕉岭溪矿田、明月峰矿田、大湖塘矿田、阳储岭矿田、东源矿田、逍遥矿田、朱溪矿田、东乡矿田、灵山矿田、浒坑矿田、下桐岭矿田、徐山矿田、夏色岭矿田(图1)。

由于各成矿带构造环境、岩石建造和矿化作用的差异,钨矿类型亦存在差异性。其中衡山-幕阜山-莲花山成矿带以接触交代型、蚀变花岗岩(云英岩)型、斑岩型以及“多位一体”复合型钨矿为主,而武功山-灵山成矿带则以接触交代型、石英脉型以及“多位一体”复合型钨矿为主。

在成岩-成矿时代上,区内以燕山期为主(120~162 Ma),印支期次之,各成矿带成岩-成矿时代也存在差异性。其中衡山-幕阜山-莲花山成矿带成岩-成矿时代主要为燕山期(121~151 Ma),

少数为印支期(~225 Ma),如湖南省川口地区三角滩钨矿床;塔前-赋春成矿亚带成岩-成矿时代主要为144~162 Ma,东乡-灵山成矿亚带成岩-成矿时代主要为124~162 Ma,武功山-饶南成矿亚带成岩-成矿时代主要为147.1~161 Ma(表1)。

2 主要成矿类型

钦杭成矿带东段钨矿床成因类型以岩浆期后热液矿床主,因围岩及构造条件等不同,可形成石英脉型、接触交代型、蚀变花岗岩(云英岩)型和斑岩型等钨矿床,部分矿区由多种矿床类型共生,构成“多位一体”复合型钨矿床(表2)。

2.1 石英脉型钨矿

石英脉型钨矿床以黑钨矿床为主,也有少量白钨矿床,主要分布于隆起地区。该类矿床系S型花岗岩浆期后中高温热液充填形成。可细分为石英大脉型和石英细脉型矿床(体),其围岩主要为前泥盆纪硅铝质浅变质岩,其次为花岗岩、泥盆系-侏罗系碎屑岩地层。

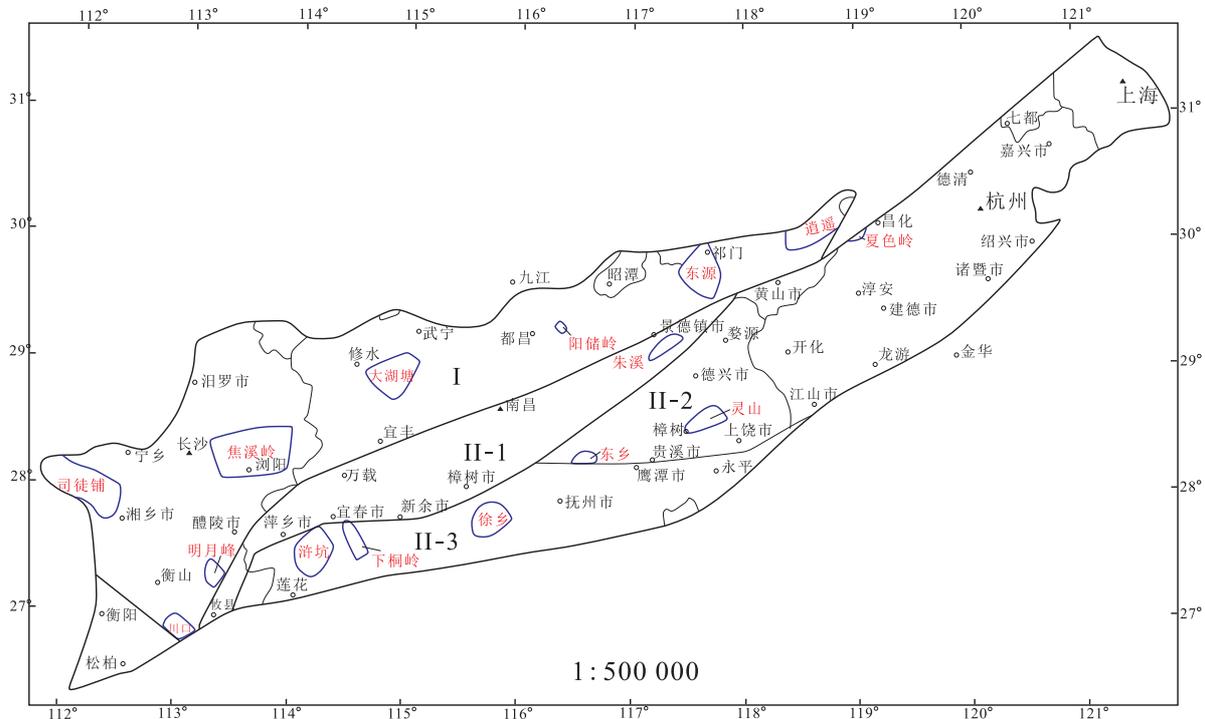


图1 钦杭成矿带东段钨矿成矿区划图

I. 衡山-幕阜山-莲花山成矿带,包括川口矿田、明月峰矿田、司徒铺矿田、蕉岭溪矿田、大湖塘矿田、阳储岭矿田、东源矿田和逍遥矿田;II. 武功山-灵山成矿带;II-1. 塔前-赋春成矿亚带,包括朱溪矿田;II-2. 东乡-灵山成矿亚带,包括东乡矿田、灵山矿田和夏色岭矿田;II-3. 武功山-饶南成矿亚带,包括浒坑矿田、下桐岭矿田和徐山矿田

Fig. 1 Distribution of the tungsten deposits in the eastern part of the Qinzhong-Hangzhou metallogenic belt

表1 钦杭成矿带东段主要钨矿床成岩-成矿时代统计表

典型矿床	成岩-成矿时代	测试对象及方法	年龄值	数据来源
香炉山	成岩时代	黑云母花岗岩/全岩 Rb-Sr 法	126 ± 2.6 Ma	[13]
	成矿时代	白钨矿 Sm-Nd 法	121 ± 11 Ma	
		石英 Rb-Sr 法	128 ± 3 Ma	
东坪	成岩时代	黑云母花岗岩/锆石 U-Pb 法	132.9 ± 1.4 Ma	[14]
大湖塘	成岩时代	花岗岩和花岗斑岩/锆石 U-Pb 法	130.4 ± 1.6 Ma ~ 150 ± 0.7 Ma	[15-18]
	成矿时代	辉钨矿 Re-Os 法	139.2 ± 1.0 Ma ~ 151 ± 1.3 Ma	[19-22]
阳储岭	成岩时代	含矿二长花岗斑岩/全岩 Rb-Sr 法	138.4 ± 3.4 Ma	[23]
	成矿时代	爆破角砾岩中白云母 K-Ar 法	137.8 ± 3.1 Ma	
东源	成岩时代	花岗斑岩/锆石 U-Pb 法	148.6 ± 1.8 Ma	[24]
		花岗闪长斑岩/锆石 U-Pb 法	146 ± 1 Ma	[25]
	成岩时代	辉钨矿 Re-Os 法	146.4 ± 2.3 Ma	
朱溪	成岩时代	花岗岩或花岗斑岩/锆石 U-Pb 法	146.9 ± 0.97 Ma ~ 153.4 ± 1 Ma	[26-29]
	成矿时代	白钨矿 Sm-Nd 法	144 ± 5 Ma	[30]
		辉钨矿 Re-Os 法	145.1 ± 1.5 Ma ~ 148.7 ± 2.2 Ma	[31-32]
塔前	成岩时代	似斑状花岗闪长岩/锆石 U-Pb 法	159.7 ± 1.8 Ma, 160.9 ± 2.5 Ma	[33-34]
	成矿时代	辉钨矿 Re-Os 法	162 ± 2 Ma	[35]
东乡	成岩时代	花岗斑岩/锆石 U-Pb 法	156.4 ± 1.5 Ma ~ 161 ± 1.0 Ma	[36]
		花岗闪长斑岩/锆石 U-Pb 法	164 ± 2 Ma, 160 ± 1 Ma	[37]
	成矿时代	石英 Rb-Sr 法	161.8 ± 9.6 Ma	
永平	成岩时代	花岗斑岩/锆石 U-Pb 法	160 ± 2.3 Ma	38]
	成矿时代	辉钨矿 Re-Os 法	156.7 ± 2.8 Ma, 155.7 ± 3.6 Ma	[39]
灵山	成岩时代	锂黑云母花岗岩/铁锂云母 K-Ar 法	127 ~ 136 Ma	①
葛源	成岩时代	铁锂云母花岗岩/铁锂云母 K-Ar 法	124 ~ 131 Ma	
三角滩	成岩时代	黑云母二长花岗岩/锆石 U-Pb 法	223.1 ± 2.6 Ma	[40]
	成矿时代	辉钨矿 Re-Os 法	225.8 ± 4.4 Ma	
雅山	成岩时代	黑云母花岗岩/锆石 U-Pb 法	161 ± 1 Ma	[41]
	成矿时代	辉钨矿 Re-Os 法	156 ± 2.8 Ma	[42]
浒坑	成岩时代	白云母花岗岩/锆石 U-Pb 法	151.6 ± 2.6 Ma	[43]
	成矿时代	辉钨矿 Re-Os 法	150.2 ± 2.2 Ma	[44]
下桐岭	成矿时代	辉钨矿 Re-Os 法	152 ± 3.3 Ma	[45]
		辉钨矿 Re-Os 法	156.4 ± 8.7 Ma	[42]
徐山	成岩时代	(二云)二长花岗岩/锆石 U-Pb 法	153.5 ± 2.4 Ma ~ 158.9 ± 3.2 Ma	[46]
	成矿时代	白云母 Rb-Sr 法	147.1 ± 3.4 Ma	[47]

石英大脉型矿床(体)往往呈独立大脉,一般宽0.1~1 m,脉间距达到或超过2~3 m,脉长一般为数百至千余米,往往组成脉带产出,具分支复合、尖灭再现、尖灭侧现等,形态较复杂,多呈陡倾斜板状产出。矿体规模相差较大,长度和矿化深度均可达数十米、数百米到一千余米。含钨品位多数中等到较富,但分布不均匀。矿石构造以块状为主,其次有梳状、晶簇(洞)状、条带状等^[48-50]。

石英细脉型矿床(体)一般由密集成带的数毫米至数厘米的细小含钨石英细脉和网脉带组成,或含有少量大脉,矿体厚度数米到数十米。产于外接触带的此类矿床(体)的中深部可以由细脉和网脉带合并为大脉带,成为细脉-大脉型钨矿床。沿水平方向一般具有中心部位含脉密度高、含脉率大,向外侧含脉密度逐渐变稀、含脉率递减的特点。含钨品位一般较贫,分布较石英大脉型均匀,但石英细

表 2 钦杭成矿带东段主要钨矿床类型划分简表

Table 2 Genetic types of the tungsten deposits in the eastern part of the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt

矿床类型	典型矿床
石英脉型	浒坑、昆山、灵山、葛源、雅山、徐家尖
接触交代型	香炉山、永平、东乡枫林
蚀变花岗岩(云英岩)型	牛角坞(青树下)、西家垅
斑岩型	阳储岭、东源、塔前、里东坑
复合型	朱溪、大湖塘、下桐岭、徐山、八字脑

脉越多越密集、岩石蚀变越强烈处,钨品位越富。矿石构造以细脉-网脉状为主,其次有梳状、晶簇(洞)状等^[12]。石英脉型钨矿主要分布于江西武功山、玉华山及皖南等地,代表矿床有江西的浒坑钨矿、狮尾洞钨矿以及皖南西坞钨矿。

2.2 接触交代型钨矿

接触交代型钨矿床以白钨矿为主,共(伴)生铜、铅、锌、银、钼等矿种。此类型矿床系燕山期岩浆侵入于碳酸盐岩或含钙围岩中,由接触交代作用所形成。矿体主要产于岩浆岩与碳酸盐岩接触带及其附近的围岩中,有利的层位主要为石炭纪—二叠纪碳酸盐岩以及泥盆纪砂页岩夹碳酸盐岩。矿体规模大者延长、延深均可达数百米到二千米,小者延长、延深仅数米到数十米。矿体形态复杂,多为似层状、不规则囊状、扁豆状、透镜状,钨矿化主要呈细脉(浸染)状、星点状、斑杂状等。围岩蚀变主要是矽卡岩化,一般在晚期退蚀变阶段富集成矿。此类型钨矿床的矿石品位一般较高,埋藏较深。矿石构造以浸染状、脉状为主,次为块状、条带状、星点状及角砾状构造^[51-53]。

接触交代型钨矿主要沿景德镇-歙县-湖州深大断裂分布,代表矿床有朱溪钨矿、巧川钨矿、际下钨矿、逍遥钨矿、大坞尖钨钼矿和竹溪岭钨钼矿。

2.3 蚀变花岗岩(云英岩)型钨矿

蚀变花岗岩(云英岩)型钨矿床中黑钨矿、白钨矿均可见,此类型矿床主要产于成矿岩体内接触带,也有赋存于早期花岗质围岩中(大湖塘)。成矿岩体及围岩接触带蚀变较复杂,普遍发育云英岩化蚀变,并在不同部位形成面型蚀变(如钾化、钠化、石英绢云母化)和线型蚀变(如硅化)相重叠现象^[54]。

此类型矿床主要见于武功山东部下桐岭地区,江西景德镇牛角坞(青树下)钨矿、徐山钨矿深部、

浒坑钨矿田的西家垅矿床也以该类型为主。

2.4 斑岩型钨矿

斑岩型钨矿以白钨矿为主,此类型矿床系与燕山期浅成或超浅成斑岩气液活动有关的钨矿床。矿体主要呈脉状、透镜状产于斑岩体中,少数亦产于围岩中。矿化呈浸染状、网脉状和细脉状发育于斑岩及其围岩中,矿体呈似层状、透镜状及不规则状,与围岩无明显界线^[55]。与钨矿化有关的斑岩主要有花岗闪长(斑)岩、二长花岗斑岩、花岗斑岩、石英斑岩等。分布于斑岩体中的钨矿化主要与云英岩化、绢云母化、钾化、绿泥石化、硅化、黄铁矿化、萤石化等密切相关^[24,56],而分布于接触带附近围岩中的钨矿化主要与青磐岩化和千枚岩化密切相关^[56]。此外,在斑岩型钨矿区常伴有含钨爆破角砾岩产出。此类型钨矿床的矿石品位一般较低,埋藏浅,且往往伴生钼、锡等。

此类型矿床主要分布于江南造山带东段之北部,其中江西阳储岭钨钼矿、塔前钨钼矿、安徽东源钨矿、里东坑钨钼矿为此类型矿床。

2.5 复合型钨矿床

复合型钨矿床主要是指因构造和围岩条件的差异性,上述几种矿床类型相伴出现所形成的“多位一体”复合型钨矿床,常见的复合型钨矿类型组合为石英脉型+蚀变花岗岩型(位于武功山—饶南成矿亚带的下桐岭钨多金属矿床)组成的“五层楼+地下室”式钨矿床^[57-58]、接触交代型+蚀变花岗岩型+石英脉型(位于塔前—赋春成矿亚带的朱溪钨多金属矿床等)组成的“三位一体”式钨矿床^[59]、石英脉型+蚀变花岗岩型+隐爆角砾岩型+伟晶岩(石英壳)型(位于衡山—幕阜山—莲花山成矿带的大湖塘钨多金属矿床)组成的“四位一体”式钨矿床。

3 成矿物质来源

研究区内钨的物质来源大体可以分为岩源和层源两种^[60-61],岩源是指成矿物质来源于岩浆岩,钨矿床则为其演化衍生的产物;层源指成矿物质来源于地层,成矿物质主要摄取于一定层位或一定岩性的地层,由某种地质作用使其活化、迁移、富集成矿。

3.1 成矿岩体

成矿岩体成因类型主要为S型花岗岩

类^[15,31,43,62-65], 次为 I 型钦杭组合(阳储岭)花岗质岩石, 成矿岩体具有如下地质、地球化学特点:

(1) 成矿岩体的主体岩石类型为黑云母花岗岩、二云母花岗岩, 最佳成矿岩体为壳源重熔同源、同期多次侵入的复式杂岩体。花岗岩由酸性向超酸性、由深色花岗岩向淡色花岗岩演化, 总体上从早到晚遵循黑云母花岗岩→二云母花岗岩→白云母花岗岩→花岗斑岩的演化规律, 钨成矿往往与其中一至两次岩浆侵入活动有关, 尤其是演化分异较充分形成的晚期补充侵入体关系更为密切。

(2) 成矿岩体形态以小型岩株(面积小于 10 km²) 为佳, 其常是中深成相大岩体的顶部小突起, 部分为浅成斑岩体。

(3) 岩体热变质及蚀变作用强烈, 可形成以岩体为中心宽达数百米甚至上千米的热变质(蚀变)带, 岩体边缘可发育似伟晶岩壳, 特征蚀变有云英岩化、黄玉化、电气石化等, 钾(钠)长石化发育。

(4) 岩石中主要造岩矿物石英、钾长石、黑云母含量高, 黑云母富含 W、Sn、Li、Zr 和 REE; 富含稀有、稀土元素副矿物, 有黑钨矿、白钨矿及绿柱石、硅铍钨矿(或磷钨矿)、石榴石(主要为锰铝榴石)、普通锆石及萤石、黄玉等挥发组分矿物。

(5) 岩石中 W、Sn、Nb、Ta、Bi、Mo 元素含量高, 分别是酸性岩的 50~70 倍(W)、3~16 倍(Sn)、几至几十倍(Nb、Ta、Mo)、几百至几千倍(Bi)。

(6) 岩石⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值为 0.707~0.728, 一般大于 0.710; $\varepsilon_{\text{sr}}(t)$ 为 58~375, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 -13~0.1, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为 -11.4~-4.31。铅同位素组成多位于上地壳和造山带演化曲线之间。 ΣREE 较高, 为 $200 \times 10^{-6} \sim 350 \times 10^{-6}$; $\Sigma \text{Ce}/\Sigma \text{Y} = 0.9 \sim 3.7$, 一般小于 2, 相对富集 ΣY 。 $\delta \text{Eu} = 0.05 \sim 0.32$, 铈亏损显著, 稀土配分型式主要呈略向右倾斜的“V”型, 具有典型壳源重熔型岩浆的同位素和稀土元素地球化学特征。部分岩体(如浒坑)稀土配分型式具四分组效应, 表明存在溶体-流体共存的成岩环境。

(7) 成岩实验结果显示, 岩体初熔温度为 700~740℃; 锆石 Zr 饱和温度为 690~742℃, 表明成岩温度较低, 中深侵位。

3.2 含矿地层

钦杭成矿带东段基底地层为新元古代地层, 总体为一套海相火山-沉积建造^[2-3,66], 其近于均匀的浅变质细碎屑岩有利于形成剪张裂隙群, 构筑成

矿的有效屏蔽环境, 并成为有利的容矿空间, 有利于形成石英脉型钨矿床。研究区内以石炭系一二叠系为主的碳酸盐岩和含钙砂页岩, 有利于含钨热液进行渗滤交代, 形成接触交代型钨矿^[67]。

据统计, 在江西境内出露的地壳浅表的地层含钨丰度值普遍较高, 各时代地层含 W 丰度为 $1.6 \times 10^{-6} \sim 11.68 \times 10^{-6}$, 为地壳克拉克值(1.3×10^{-6}) 的 1.2~9 倍^②。其中, 以泥盆系和寒武系含量最高, 为维氏地壳克拉克值的 8.8~9 倍。在燕山期陆内造山期强烈的构造-岩浆事件^[3,68-71]使地壳物质“活化”, 钨元素可通过岩浆热流体迁移富集, 为钨矿床提供部分成矿物质。

4 讨论

4.1 成矿构造环境分析

钦杭成矿带东段在中新生代时经历了印支、燕山早期陆内造山和晚期晚白垩世-古近纪伸展断陷成盆作用, 形成了由隆起带、拗陷带和红色断陷盆地组成的构造格局^[2,68-69]。在燕山运动时期, 区内所处的东南陆块相对向南、古太平洋板块相对向北的左行力偶扭动的区域主导应力场, 形成了以 NNE 和 NE 向构造体系为主导的区域地质构造格架, 并相伴形成 NW 和 NWW 向张裂带^[69-70,72]。

研究区内燕山期陆内造山作用形成的大型隆起, 由于下部强烈压缩, 上地壳伸展引张, 中地壳拆离造浆, 并向上地壳运移主动就位, 形成了壳源重熔 S 型花岗岩带^[73-74]。钨的成矿需要分异演化充分的花岗岩, 燕山早期造山作用提供了岩浆充分分异演化所需的总体处于挤压状态和较为封闭的有利成岩、成矿构造环境。燕山晚期由挤压向伸展的转换以及在挤压扭动区的局部拉张环境造成众多钨矿床就位, 并定位于 NNE 和 NE 向构造体系伴生的次级构造中^[75]。

4.2 区域成矿模式

钦杭成矿带东段钨矿床在时间上具有递进演变规律; 在空间上, 矿床分布具等距性、等深和侧伏规律。与岩浆有关的钨成矿作用始于岩浆演化晚期自交代变质阶段至岩浆期后气化高温热液阶段的连续演化过程, 主要成矿作用发生于热液中高温阶段。由于成矿的围岩、构造和岩体侵位不同, 在岩体内部形成蚀变花岗岩型钨矿、岩体顶部为伟晶岩型钨矿; 接触带及外带形成接触交代型钨矿, 内外

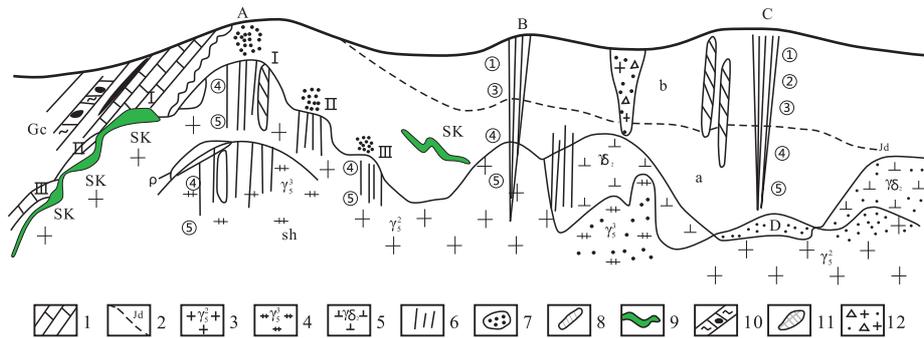


图2 钦杭成矿带东段钨矿成矿模式图^[5]

1. 浅海相沉积盖层;2. 浅变质褶皱基底;3. 燕山早期花岗岩;4. 燕山晚期花岗岩;5. 石英脉型钨矿床;6. 蚀变花岗岩型钨矿床;7. 钠化岩体型钨钼矿床;8. 断裂破碎带型(锡)矿床;9. 似层状、接触交代型钨矿床;10. 似层状钨矿床;11. 伟晶岩壳钨矿体;12. 隐爆角砾岩型钨矿床。热变质带;a. 角岩带;b. 斑点板(千枚)岩带。五层楼模式分带:① 细线带;② 细脉带;③ 薄脉带;④ 大脉带;⑤ 根部带。成矿环境:A. 内接触带型矿床;B. 内、外接触带型矿床;C. 外接触带型矿床。多台阶钨矿床:I. 第一台阶;II. 第二台阶;III. 第三台阶;D. “地下室”式钨矿体;sh. “楼下楼”式钨矿体

Fig. 2 Metallogenic model for the tungsten deposits in the eastern part of the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt

带亦可形成石英脉型钨矿;高位浅成-超浅成斑岩体可形成斑岩型和隐爆角砾岩型钨矿。在一定范围内不同类型钨矿可共生,形成“多位一体”钨矿以及垂向上“五层楼+地下室+楼下楼”的矿化分带模式(图2)^[5,66]。

4.3 找矿潜力分析

据初步统计,钦杭成矿带东段目前已发现钨矿产地超过60余处,其中朱溪、大湖塘(由大湖塘、石门寺、狮尾洞等组成)、香炉山、阳储岭、东坪、东源、下桐岭、徐山、游坑、三角潭均可达大型规模,其中尤以朱溪和大湖塘钨矿储量规模最大,朱溪目前已探获333+334类 WO_3 资源量344万吨,整个大湖塘矿田333类 WO_3 资源量241.47万吨^[75]。

据概略性统计,钦杭成矿带东段目前已基本查明 WO_3 资源储量超过600万吨,据近几年勘查成果表明大湖塘矿田和朱溪矿区, WO_3 资源量尚可大幅度增加。例如朱溪外围钨铜矿普查项目仍在进行勘查,主矿体沿走向和倾向均未封闭,2018年度最新勘查成果显示矿区30线NE侧深部均揭露到厚大主矿体,资源量有望进一步扩大,预计可新增 WO_3 资源量60万吨以上。朱溪矿床的发现对钦杭成矿带拗陷地段找矿具有重要的借鉴和启示意义,在拗陷带内找矿难度大,但资源潜力巨大。此外,赣北东坪“五层楼”式石英脉型黑钨矿床及深部隐伏黑云母二长花岗岩的发现,对东坪矿区寻找“地下室”(似层状蚀变花岗岩型矿床)具有重要意义,同时对赣北地区找寻类似于赣南“五层楼+地下

室”式的钨矿床同样意义重大,表明钦杭成矿带东段钨矿具有极大的找矿潜力。近几年来,在浮梁县朱溪发现的世界级超大钨矿床以及重新探明大湖塘钨多金属矿床的资源总量,意味着今后的找矿方向不应只局限于传统的“五层楼+地下室”式钨矿床,还应多关注“多位一体”型钨矿床的找寻^[76]。

4.4 存在的问题与展望

钦杭成矿带东段是我国华南地区一条重要的多金属成矿带,经历了漫长而又复杂的地质演化历史,其优越的成矿地质条件,造就了钨矿资源储量位居世界首位。但理论研究稍显滞后,还有不少问题有待于深入研究。

(1)江西“南钨北扩”的原因不明。江西赣南是我国钨业的发祥地,素有“世界钨都”之称,赣东北则是我国极其重要的铜金多金属成矿域之一,江西“南钨北铜”这一传统认识得到了地学界的普遍认同,并长期对江西找矿工作起到指导作用。然而随着赣西北大湖塘和赣东北朱溪世界级钨矿的发现,改变了江西传统的矿产资源分布格局,逐渐形成了“南钨北扩”的新认识,但造成这一新认识的原因有待加强研究。

(2)钨铜共生机制问题。岩浆岩成矿专属性表明,与W有关的岩浆岩主要为地壳上部硅铝层重熔和再生作用所形成的中酸性-酸性岩(壳源型)^[77],而与Cu有关的岩浆岩主要源自地壳深部或上地幔的中酸性-弱酸性岩(幔源型)^[78-80]。从元素地球化学性质看,W为亲氧元素,Cu为亲硫元

素。朱溪、大湖塘等世界级钨铜共生矿床的发现,表明钦杭成矿带东段具有钨铜共生的成矿特征,形成此类成矿特征的机制有待进一步研究。

(3)白钨矿成矿理论。以往研究表明白钨矿(CaWO_3)多以接触交代型为主,矿体产于花岗岩与碳酸盐岩接触带, Ca^{2+} 可来源于围岩碳酸盐岩或岩浆热液,但在该区域内大湖塘地区成矿围岩为晋宁期黑云母花岗闪长岩,无碳酸盐岩地层出露,也无证据表明该区存在强烈的钙交代作用^[80]。因此,白钨矿中的 Ca^{2+} 可能直接来源于围岩黑云母花岗闪长岩,颠覆了传统白钨矿成矿条件的认识,应重新完善白钨矿的成矿理论。

(4)区域成矿规律与成矿模式。钦杭成矿带东段钨矿床类型较多,且不同类型的矿床在空间上共生,由于成矿背景的特殊性和复杂性,其成矿物质来源、成矿时代及成矿机制等问题还有待进一步解析。随着钦杭成矿带东段工作程度的进一步提高,钨矿床区域成矿模式图可能会与新的地质事实存在不相符之处。因此,钨矿床区域成矿模式图有待于进一步完善。

5 结论

(1)钦杭成矿带东段钨矿床在时间上具有递进演变规律;在空间上,矿床分布具等距性、等深和侧伏规律。钨矿成矿带可划分为2带:衡山-幕阜山-莲花山成矿带和武功山-灵山成矿带,成矿时代主要集中在燕山期,少数为印支期。

(2)主要成矿类型有石英脉型、接触交代型、蚀变花岗岩(云英岩)型和斑岩型等,部分矿区由多种矿床类型共生,构成“多位一体”复合型钨矿床。

(3)钨的物质来源可以分为岩源和层源两种,成矿岩体为S型花岗岩,含矿地层主要为新元古界及石炭系—二叠系。

(4)钦杭成矿带东段成矿环境较为复杂,与燕山期陆内造山运动有关。

(5)钦杭成矿带东段目前已基本查明 WO_3 资源储量超过600万吨,具有较大的找矿潜力。

(6)目前,钨矿理论研究稍滞后。江西“南钨北扩”的原因不明、钨铜共生机制问题、白钨矿成矿理论、区域成矿规律与成矿模式等问题还需解决。

注释:

- ①江西有色地质研究所. 江西横峰葛源锡多金属矿床地质特征及成矿预测[R]. 南昌:江西有色地质研究所,1984.
②李崇佑. 江西钨矿地质及成矿规律[R]. 南昌:江西省地质科学研究所,1985.

参考文献:

- [1] 曹飞,杨卉芃,王威,等. 全球钨矿资源概况及供需分析[J]. 矿产保护与利用,2018,214(2):145-150.
[2] 杨明桂,梅勇文. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产,1997,(3):52-59.
[3] 杨明桂,黄水保,楼法生,等. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质,2009,36(3):528-543.
[4] 杨明桂,祝平俊,王光辉. 论华南构造-成矿单元划分[J]. 上海国土资源,2018,39(4):13-18+24.
[5] 韩瑶,张传恒,张恒,等. 江南造山带东段新元古代弧盆构造格局[J]. 地质论评,2016,62(2):285-299.
[6] 郭龙,肖渊甫,王强,等. 钦杭成矿带成矿亚带划分及特征[J]. 矿物学报,2013,33(S2):8-9.
[7] 蒋少涌,彭宁俊,黄兰椿,等. 赣北大湖塘矿集区超大型钨矿床地质特征及成因探讨[J]. 岩石学报,2014,31(3):639-655.
[8] 项新葵,王朋,詹国年,等. 赣北石门寺超大型钨多金属矿床地质特征[J]. 矿床地质,2013,32(6):1171-1187.
[9] 刘南庆,秦润君,尹青青,等. 赣北大湖塘钨铜多金属矿集区特征与成矿作用模式[J]. 地质论评,2016,62(5):1225-1240.
[10] Chen G H, Shu L S, Shu L M, et al. Geological characteristics and mineralization setting of the Zhuxi tungsten (copper) polymetallic deposit in the Eastern Jiangnan Orogen [J]. Science China: Earth Sciences, 2016, 45(12): 1799-1818.
[11] 饶建锋,陈国华,周显荣,等. 赣东北弹岭铜多金属矿化特征及找矿潜力分析[J]. 中国钨业,2017,32(6):1-9.
[12] 周孝满,韩顿. 游坑钨矿床地质特征、成矿规律以及找矿方向[J]. 中国钨业,2013,28(5):12-15.
[13] 张家菁,梅玉萍,王登红,等. 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,2008,82(7):927-931.
[14] 胡正华,楼法生,李永明,等. 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,2018,43(S1):243-263.
[15] 黄兰椿,蒋少涌. 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,2012,28(12):3887-3900.
[16] Huang L C, Jiang S Y. 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, 2014, 202-203(4): 207-226.
[17] Mao Z H, Liu J J, Mao J W, Deng J, et al. 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*, 2014, 28(2): 816-836.
- [18] 叶海敏,张翔,朱云鹤. 江西石门寺钨多金属矿床花岗岩独居石 U-Pb 精确定年及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2016, 40(1): 58-70.
- [19] 丰成友,张德全,项新葵,等. 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*, 2012, 28(12): 3858-3868.
- [20] Mao Z H, Cheng Y b, Liu J J, et al. Geology and molybdenite Re-Os age of the Dahutang granite-related veinlets-disseminated tungsten ore field in the Jiangxin province, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2013, 53(3): 422-433.
- [21] 项新葵,王朋,孙德明,等. 赣北石门寺钨多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 2013b, 32(11): 1824-1831.
- [22] 张明玉,丰成友,李大新,等. 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]. *大地构造与成矿学*, 2016, 40(3): 503-516.
- [23] 满发胜,王小松. 阳储岭斑岩型钨钼矿床同位素地质年代学研究[J]. *矿产与地质*, 1988, 2(4): 61-67.
- [24] 秦燕,王登红,吴礼彬,等. 安徽东源钨矿含矿斑岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质学报*, 2010, 84(4): 479-484.
- [25] 周翔,余心起,王德恩,等. 皖南东源含 W、Mo 花岗闪长斑岩及成矿年代学研究[J]. *现代地质*, 2011, 25(2): 201-210.
- [26] 陈国华,舒良树,舒立旻,等. 江南东段朱溪钨(铜)多金属矿床的地质特征与成矿背景[J]. *中国科学:地球科学*, 2015, 45(12): 1799-1818.
- [27] 王先广,刘战庆,刘善宝,等. 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*, 2015, 34(5): 592-599.
- [28] Song S W, Mao J W, Xie G Q, et al. The formation of the world-class Zhuxi scheelite skarn deposit: implications from the petrogenesis of scheelite-bearing anorthosite [J]. *Lithos*, 2018, 312-313(3): 153-170.
- [29] Pan X F, Hou Z Q, Zhao M, et al. 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*, 2018, 304-307: 155-179.
- [30] 刘善宝,刘战庆,王成辉,等. 赣东北朱溪超大型矿床中白钨矿的稀土、微量元素地球化学特征及其 Sm-Nd 定年[J]. *地学前缘*, 2017, 24(5): 17-30.
- [31] 李岩. 江西朱溪铜钨多金属矿床成矿作用研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2014.
- [32] Pan X F, Hou Z Q, Li Y, et al. 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*, 2017, 86: 719-733.
- [33] 刘善宝,王成辉,刘战庆,等. 赣东北塔前-赋春成矿带岩浆岩时代限定与序列划分及其意义[J]. *岩矿测试*, 2014, 33(4): 598-611.
- [34] 胡正华,刘栋,刘善宝,等. 江西乐平塔前钨(钼)矿床成矿时代及意义[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2015, 42(3): 312-322.
- [35] 黄安杰,温祖高,刘善宝,等. 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*, 2013, 32(4): 496-504.
- [36] 欧阳学财. 江西东乡铜矿床地质地球化学特征及成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [37] 蔡逸涛,倪培,王国光,等. 赣东北东乡铜矿侵入岩与成矿年龄的确定及意义[J]. *地球科学*, 2017, 42(9): 1495-1507.
- [38] 丁昕,蒋少涌,倪培,等. 江西武山和永平铜矿含矿花岗岩体锆石 SIMS U-Pb 年代学[J]. *高校地质学报*, 2005, 11(3): 383-389.
- [39] 李晓峰, Yasushi Watanabe, 屈文俊. 江西永平铜矿花岗岩体岩石的岩石结构、地球化学特征及其成矿意义[J]. *岩石学报*, 2007, 23(10): 2353-2365.
- [40] 彭能立,王先辉,杨俊,等. 湖南川口三角潭钨矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2017, 36(6): 1402-1414.
- [41] 楼法生,沈渭洲,王德滋,等. 江西武功山穹隆复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究[J]. *地质学报*, 2005, 79(5): 636-644.
- [42] 易先奎,李晓峰,王翠云,等. 江西雅山和下桐岭钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *华南地质与矿产*, 2015, 31(4): 384-390.
- [43] 刘珺,毛景文,叶会寿,等. 江西省武功山地区浒坑花岗岩的锆石 U-Pb 定年及元素地球化学特征[J]. *岩石学报*, 2008, 24(8): 1813-1822.
- [44] 刘珺,叶会寿,谢桂青,等. 江西省武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *地质学报*, 2008b, 82(11): 1572-1579.
- [45] 李光来,华仁民,黄小娥,等. 赣中下桐岭钨矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2011a, 30(6): 1075-1084.
- [46] 刘颖. 江西省玉华山地区紫云山岩体年代学、地球化学特征及地质意义[D]. 南昌: 东华理工大学, 2013.
- [47] 李光来,华仁民,韦星林,等. 江西中部徐山钨铜矿床单颗粒白云母 Rb-Sr, 等时线定年及其地质意义[J]. *地球科学*, 2011, 36(2): 282-288.
- [48] 刘志萍,徐勇. 浒坑钨矿大脉区矿脉赋存规律及深部探矿方向[J]. *中国钨业*, 2004, 19(6): 30-33.
- [49] 章伟,陈懋弘,叶会寿,等. 江西浒坑钨矿含矿石英脉的地质特征及成矿构造演化[J]. *地质学报*, 2008, 82(11): 1531-1539.
- [50] 钟国雄,刘珺,钱兵,等. 江西武功山地区浒坑钨矿床大脉区段成矿阶段划分[J]. *矿床地质*, 2010, 29(S1): 351-352.
- [51] 陈国华,万浩章,舒良树,等. 江西景德镇朱溪铜钨多金属矿

- 床地质特征与控矿条件分析[J]. 岩石学报, 2012, 28(12): 3901-3914.
- [52] 李岩, 赵苗, 潘小菲, 等. 江西省浮梁县朱溪铜钨多金属矿床地质特征及流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 2012, 31(S1): 671-672.
- [53] 张诚, 欧阳永棚, 魏锦, 等. 朱溪铜钨多金属矿床地质特征及找矿标志[J]. 中国西部科技, 2014, 13(5): 45-47.
- [54] 黄广文, 潘家永, 夏菲, 等. 江西大湖塘钨矿围岩蚀变与矿化关系初析[J]. 矿物学报, 2015, 35(S1): 124.
- [55] 莫名演. 阳储岭斑岩钨钼矿床蚀变分带特征及与成矿作用关系的初步研究[J]. 矿床地质, 1988, (3): 52-61.
- [56] 张玉学, 何其光. 阳储岭斑岩钨钼矿床白钨矿特征及形成条件的研究[J]. 矿物学报, 1985, 5(1): 38-42+101.
- [57] 许建祥, 曾载淋, 王登红, 等. 赣南钨矿新类型及“五层楼+地下室”找矿模型[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 880-887.
- [58] 华仁民, 韦星林, 王定生, 等. 试论南岭钨矿“上脉下体”成矿模式[J]. 中国钨业, 2015, 30(1): 16-23.
- [59] 陈小勇, 谢有炜, 丁明, 等. 江西崇义牛角窝钨多金属“三位一体”矿床类型及成矿机制探讨[J]. 中国钨业, 2013, 28(6): 8-12.
- [60] 王辉, 丰成友, 李大新, 等. 赣北大湖塘钨矿成岩成矿物质来源的矿物学 and 同位素示踪研究[J]. 岩石学报, 2014, 31(3): 725-739.
- [61] 杨炎申, 潘小菲, 赵苗, 等. Pb同位素对江西大湖塘矿集区部分矿床成岩成矿物质来源的指示[J]. 矿床地质, 2017, 36(6): 1439-1452.
- [62] 阮昆, 王晓娜, 吴奕, 等. 大湖塘矿田构造、花岗岩与钨成矿关系探讨[J]. 中国钨业, 2013, 28(5): 1-5.
- [63] 李岩, 潘小菲, 赵苗, 等. 景德镇朱溪钨(铜)矿床花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其与成矿关系探讨[J]. 地质论评, 2014, 60(3): 693-708.
- [64] 项新葵, 尹青青, 孙克克, 等. 江南造山带中段大湖塘同构造花岗斑岩的成因-锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Nd-Hf 同位素制约[J]. 岩石矿物学杂志, 2015, 34(5): 581-600.
- [65] 刘建光, 杨小鹏, 周耀湘, 等. 江西省浮梁县朱溪铜钨矿床花岗岩成因及其与成矿的关系[J]. 华东地质, 2015, 36(4): 276-284.
- [66] 杨明桂, 吴富江, 宋志瑞, 等. 赣北: 华南地质之窗[J]. 地质学报, 2015, 89(2): 222-233.
- [67] 杨明桂, 王发宁, 曾勇, 等. 江西北部金属成矿地质[M]. 北京: 中国大地出版社, 2004.
- [68] 杨明桂, 王光辉, 徐梅桂, 等. 江西省及邻区滨太平洋构造活动的基本特征[J]. 华东地质, 2016a, 37(1): 10-18.
- [69] 杨明桂, 祝平俊, 熊清华, 等. 新元古代-早古生代华南裂谷系的格局及其演化[J]. 地质学报, 2012, 86(9): 1367-1375.
- [70] 杨明桂, 徐梅桂, 胡青华, 等. 鄂皖赣巨型矿集区的构造复合成矿特征[J]. 地学前缘, 2016b, 23(4): 129-136.
- [71] 吕劲松, 张雪辉, 孙建东, 等. 钦杭成矿带东段燕山期中酸性岩浆活动时空演化与成矿规律[J]. 岩石学报, 2017, 33(11): 3635-3658.
- [72] 邓平, 舒良树, 杨明桂, 等. 赣江断裂带地质特征及其动力学演化[J]. 地质论评, 2003, 49(2): 113-122.
- [73] 邵济安, 何国琦, 张履桥. 燕山陆内造山作用的深部制约因素[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 137-148.
- [74] 朱大岗, 吴珍汉, 崔盛芹. 燕山地区中生代岩浆活动特征及其与陆内造山作用关系[J]. 地质论评, 1999, 45(2): 163-172.
- [75] 江西省地质矿产勘查开发局. 中国矿产地质志(江西卷)[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- [76] 周显荣, 陈祺, 欧阳永棚, 等. 赣北朱溪与大湖塘钨多金属矿床对比研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2019, 42(3): 289-298.
- [77] 郭春丽, 陈振宇, 楼法生, 等. 南岭与钨锡矿床有关晚侏罗世花岗岩的成矿专属性研究[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(2): 301-311.
- [78] 胡受奚, 周顺之, 孙明志, 等. 论我国东部与铁、铜矿床有关的中-酸性岩类的成矿专属性[J]. 地质学报, 1979, (4): 323-336.
- [79] 王登红, 陈振宇, 黄凡, 等. 南岭岩浆岩成矿专属性及相关问题探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(2): 230-238.
- [80] 张锦煦, 何勇华, 文成雄, 等. 中国斑岩铜矿成矿特征及找矿标志探讨[J]. 世界有色金属, 2017, 38(2): 92-94.

Mineralization of the tungsten deposits in the eastern part of the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt in Jiangxi and Hunan

FU Wenshu¹, OUYANG Yongpeng¹, RAO Jianfeng¹, CHEN Qi¹, ZHANG Jingruo¹, XIAO Fan², Zhang Xuehui²

(1. No. 912 Geological Prospecting Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Yingtan 335001, Jiangxi, China; 2. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: The Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt is an important metallogenic belt in China. In recent years, much attention has been given to the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt for the discovery of two world-class Zhuxi and Dahutang tungsten deposits. The combination of the existing data and latest results of research, the present paper focuses on the mineralization in the eastern part of the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt. The tungsten deposits in the study area may be classified into five types: quartz vein type, contact metasomatic type, altered granite (greisen) type, porphyry type and composite type. These tungsten deposits are characterized by the distribution of ore district-ore belt-ore field patterns. The diagenesis-mineralization ages are assigned primarily to the Yanshanian (120 to 162 Ma) and subordinately to the Indosinian (ca. 225 Ma). The tungsten mineralization has the affinity to the crust-derived remelted (S-type) granitic magmas, and also to the I-type granitic magmas, and the element tungsten is derived mainly from the magmatic rocks and basement strata composed of the marine volcanic-sedimentary formations. The eastern part of the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt is interpreted to have the great potential of the exploration of the tungsten deposits.

Key words: eastern part of the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt; tungsten deposit; mineralization; exploration potential