

doi: 10.12029/gc20190419

魏锦,许杰辉,王先广,严加永,张雪辉,刘建光,孟德磊,何细荣,饶建锋,蒙智宇,欧阳永棚. 2019. 朱溪矿集区横路矿区成矿条件与找矿潜力分析[J]. 中国地质, 46(4): 906-918.

Wei Jin, Xu Jiehui, Wang Xianguang, Yan Jiayong, Zhang Xuehui, Liu Jianguang, Meng Delei, He Xirong, Rao Jianfeng, Meng Zhiyu, Ouyang Yongpeng. 2019. Metallogenic conditions and deep prospecting potential of the Henglu mining area in the Zhuxi ore concentration area [J]. *Geology in China*, 46(4):906-918 (in Chinese with English abstract).

朱溪矿集区横路矿区成矿条件与找矿潜力分析

魏锦^{1,2},许杰辉²,王先广³,严加永⁴,张雪辉⁵,刘建光²,
孟德磊²,何细荣²,饶建锋²,蒙智宇²,欧阳永棚²

(1. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210093; 2. 江西省地质矿产勘查开发局九一二大队, 江西 鹰潭 335001; 3. 江西省地质勘查基金管理中心, 江西 南昌 330025; 4. 中国地质科学院地球深部探测中心, 北京 100037; 5. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

摘要:横路矿区位于朱溪矿集区内,其成矿条件与世界最大钨矿床——朱溪矿床类似,目前已发现了多处找矿线索,但前期工作主要聚焦于 500 m 以浅,亟待探索该区深部找矿前景。本文从矿区地质、地球物理、地球化学、遥感特征及钻探验证等方面综合分析,并与朱溪矿区进行对比,发现二者在成矿地层层位、控岩控矿构造以及岩浆岩所处成岩-成矿事件等重要成矿条件上极为相似。此外,横路矿区的浅表矿化蚀变分布情况与岩脉密切相关,物化探异常及岩脉分布特征显示深部存在隐伏岩体。综合分析认为横路矿区深部找矿潜力巨大,具有找寻破碎带(热液脉)型、矽卡岩型及斑岩型铜钨金多金属矿床的良好前景。

关键词:成矿条件;地质、地球物理、地球化学及遥感特征;找矿潜力;横路;朱溪矿集区;深部资源工程
中图分类号:P631.1 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2019)04-0906-13

Metallogenic conditions and prospecting potential of the Henglu mining area in the Zhuxi ore concentration area

WEI Jin^{1,2}, XU Jiehui², WANG Xianguang³, YAN Jiayong⁴, ZHANG Xuehui⁵, LIU Jianguang²,
Meng Delei², HE Xirong², RAO Jianfeng², MENG Zhiyu², OUYANG Yongpeng²

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 2. No. 912 Geological Surveying Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Yingtan 335001, Jiangxi, China; 3. Administration of Geological Exploration Fund of Jiangxi Province, Nanchang 330025, Jiangxi, China; 4. SinoProbe Center affiliated to China Geological Survey and Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 5. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

收稿日期:2019-01-19;改回日期:2019-07-16

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20160082、121201103000150017、12120113065300、DD20190153)、江西省地勘基金(矿[2015]00-13)、国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201411035)和江西省地矿局地质科研项目(赣地矿字[2017]78号)联合资助。

作者简介:魏锦,男,1990年生,工程师,资源勘查工程专业,从事地质找矿勘查工作;E-mail:452920152@qq.com。

通讯作者:欧阳永棚,男,1988年生,硕士,工程师,矿产普查与勘探专业,从事地质找矿勘查工作;E-mail:yongpeng0524@163.com。

Abstract: The Henglu mining area is located in the Zhuxi ore concentration area, and its metallogenic conditions are similar to those of the Zhuxi ore deposit, the world's largest tungsten deposit. Many prospecting clues have been found in the 500 m in shallow so far, and it is urgent to explore the deep ore-searching prospect in this area. Comprehensive analysis from geological, geophysical, geochemical, remote sensing characteristics and drilling verification, we found that the metallogenic conditions, such as oreforming strata, rock and ore controlling structures and diagenesis-metallogenic events in magmatic rocks, are very similar to those in Zhuxi mining area. In addition, the distribution of superficial mineralization alteration in Henglu mining area is closely related to the dike, the physicochemical anomaly and dike distribution in Henglu mining area indicate the existence of concealed magmatic body. Based on this, the authors consider that the Henglu area has the potential to find structural fracture zone (hydrothermal vein), skarn and porphyry copper-molybdenum-gold polymetallic deposits.

Key words: metallogenic conditions; geological, geophysical, geochemical remote sensing and drilling verification characteristics; deep prospecting potential; Henglu mining area; Zhuxi ore concentration area; deep resources engineering

About the first author: WEI Jin, male, born in 1990, bachelor, engineer, majors in resource exploration engineering, engages in geological prospecting exploration; E-mail: 452920152@qq.com.

About the corresponding author: OUYANG Yongpeng, male, born in 1988, master, engineer, majors in mineral prospecting and exploration, engages in geological prospecting exploration; E-mail: yongpeng0524@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. DD20160082, 121201103000150017, 12120113065300, DD20190153), Administration of Geological Exploration Fund of Jiangxi Province (No. [2015]00-13), Welfare Research Program of Ministry of Land and Resources (No. 201411035), and Jiangxi Geological and Mineral Exploration and Development Bureau Foundation (No. JBGMED [2017]78).

1 引言

赣东北朱溪世界级钨铜矿和赣西北大湖塘特大型钨矿的发现(韦星林等, 2016), 改变了江西“南钨北铜”格局, 形成赣南、赣东北、赣西北“三足鼎立”之势(吴筱萍等, 2015), 同时也引发了赣北地区找矿和地质研究的热潮。

区内较系统的地质矿产工作始于20世纪50年代末, 而科学研究工作始于80年代初。其中徐良国等(1984)与项新葵(1992)主要针对赣东北地区区域构造演化及其与成矿作用的关系进行了探讨, 认为该区矿床形成的必要条件与矿源层、低洼断裂及岩浆的叠生成矿作用等密不可分, 提出多期次构造运动为成矿提供条件的观点; 饶建锋等(2017)对朱溪矿集区内成矿地质条件、矿床类型及成矿规律、构造-岩浆-成矿作用进行了系统总结和论述, 认为区内矿床受地层、多重构造及岩浆岩控制明显; 霍海龙等(2018)认为区内与推覆构造同期或稍晚的岩浆作用沿推覆构造界面侵位并在适当的位置成矿; 胡正华(2015)系统对朱溪矿区成矿地质背景、成矿岩浆岩、成矿物质来源、成矿流体、控矿因素及找矿标志进行剖析, 认为推覆-滑覆体层间扩容空间控

制着似层状、厚层状矽卡岩主矿体的产出, 推覆-滑覆体内由一系列杂乱的次级裂隙, 控制着朱溪矿区透镜状、脉状矽卡岩矿体的产出, 并初步认为赣北地质体中有富钨的矿源层, 以及中生代特提斯构造域向古太平洋构造域的转换所引起的构造岩浆岩事件可能是江西“南钨北扩”的主要诱因; 吴筱萍等(2015)认为朱溪钨铜多金属矿床主要形成于晚古生代碳酸盐岩与燕山期花岗岩接触部位, 具有的由浅至深为脉型→矽卡岩型→蚀变花岗岩的“多位一体”成矿模式。朱溪矿区在江西省地质勘查基金管理中心和国土资源部中央地质勘查基金管理中心联动下, 已初步探获333+334类 WO_3 资源量344万t, Cu金属量11.27万t^①, 成为世界最大钨矿床。

横路矿区位于朱溪钨铜多金属矿区南西侧, 与其同处塔前一赋春推覆构造带, 成矿条件类似, 且前期已发现多处找矿线索。本文从地质、地球物理、地球化学及遥感特征等方面出发, 对比分析横路地区找矿潜力, 提出该区下一步深部找矿工作建议, 以期对朱溪外围找朱溪提供依据。

2 区域地质背景

横路矿区所处的朱溪矿集区大地构造位置位于

钦杭结合带萍乐拗陷带东端,赣东北深大断裂北西侧(图 1a) (Shu et al., 2008; 杨明桂等, 2009; 刘一等, 2016), 该区经历了自元古代以来多期不同层次的构造变形及沉积、变质和岩浆作用^②, 成矿条件极为有利, 在区内形成了一系列 W、Cu、Mo、Au 多金属矿床。

区内出露由石炭纪—三叠纪沉积盖层与新元古代万年群变质基底组成的二元结构地层(杨明桂等, 2012), 其中石炭—三叠系主要由海陆交互相—

浅海碳酸盐台地相碳酸盐岩和含煤碎屑岩组成; 万年群为一套深海盆地相夹浊流沉积相泥砂质建造, 间夹海底火山喷发物。

受九岭逆冲推覆作用影响, 区内新元古代浅变质岩逆冲于石炭—三叠系之上(张彦杰等, 2013)。变质基底以紧闭褶皱为主, 局部发育韧性剪切和片理化; 盖层则呈走向 NE、倾向 NW 的单斜构造展布^③; 断裂构造以 NE 向为主, 次为 NW、NNE 和近

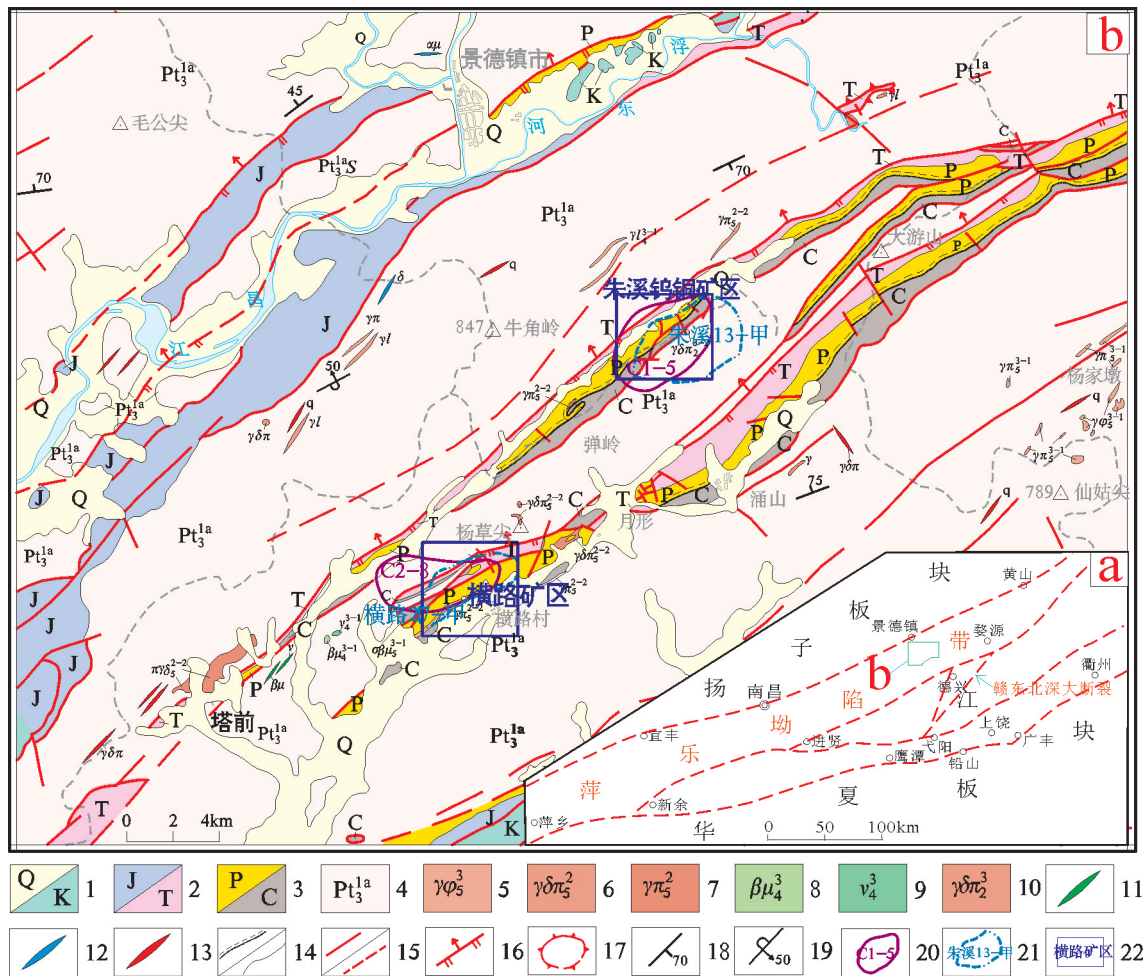


图1 朱溪矿集区地质简图(据饶建锋等, 2017 修改)

- 1—第四系/白垩系; 2—侏罗系/三叠系; 3—二叠系/石炭系; 4—新元古界; 5—燕山晚期钠长花岗岩; 6—燕山早期花岗岩闪长斑岩; 7—燕山早期花岗岩斑岩; 8—华力西晚期辉绿岩; 9—华力西晚期辉长岩; 10—晋宁期花岗岩闪长斑岩; 11—基性岩脉; 12—中性岩脉; 13—酸性岩脉; 14—平行不整合界线/地质界线; 15—实(推)测性质不明断层; 16—逆冲推覆断层; 17—构造窗; 18—正常岩层产状; 19—倒转岩层产状; 20—1:50000 地磁异常; 21—1:50000 水系沉积物异常; 22—矿区范围及名称

Fig. 1 Geological map of the Zhuxi ore concentration area (modified from Rao et al., 2017)

- 1—Quaternary/Cretaceous; 2—Jurassic/Triassic; 3—Permian/Carboniferous; 4—Neoproterozoic; 5—Late Yanshanian albite granite; 6—Early Yanshanian granodiorite porphyry; 7—Early Yanshanian granite porphyry; 8—Late Hualixi diabase; 9—Late Hualixi gabbro; 10—Jinning period granodiorite porphyry; 11—Basic vein; 12—Neutral vein; 13—Acid vein; 14—Parallel unconformity boundary/Geological boundary; 15—Measured/inferred fracture; 16—Thrust nappe fracture; 17—Tectonic window; 18—Normal rock formation; 19—Reversed rock formation; 20—1:50,000 geomagnetic anomaly; 21—1:50,000 stream sediment geochemical anomaly; 22—Mining area and name

EW向(胡正华等,2015)。

区内主要发育燕山期中酸性岩浆岩,地表展布明显受NE向断裂控制(图1b),普遍规模较小,呈小岩脉、岩株或岩墙等产出;目前在朱溪、月形等矿区深部揭露出以黑云母花岗岩为主的隐伏岩体(Chen et al., 2016)。

3 矿区地质特征

横路矿区处于塔前—赋春逆冲推覆构造带中部偏南,虽与朱溪矿区分处不同构造岩片(图1b),但其成矿地质条件相似。

横路矿区出露地层主要为新元古界万年群,晚

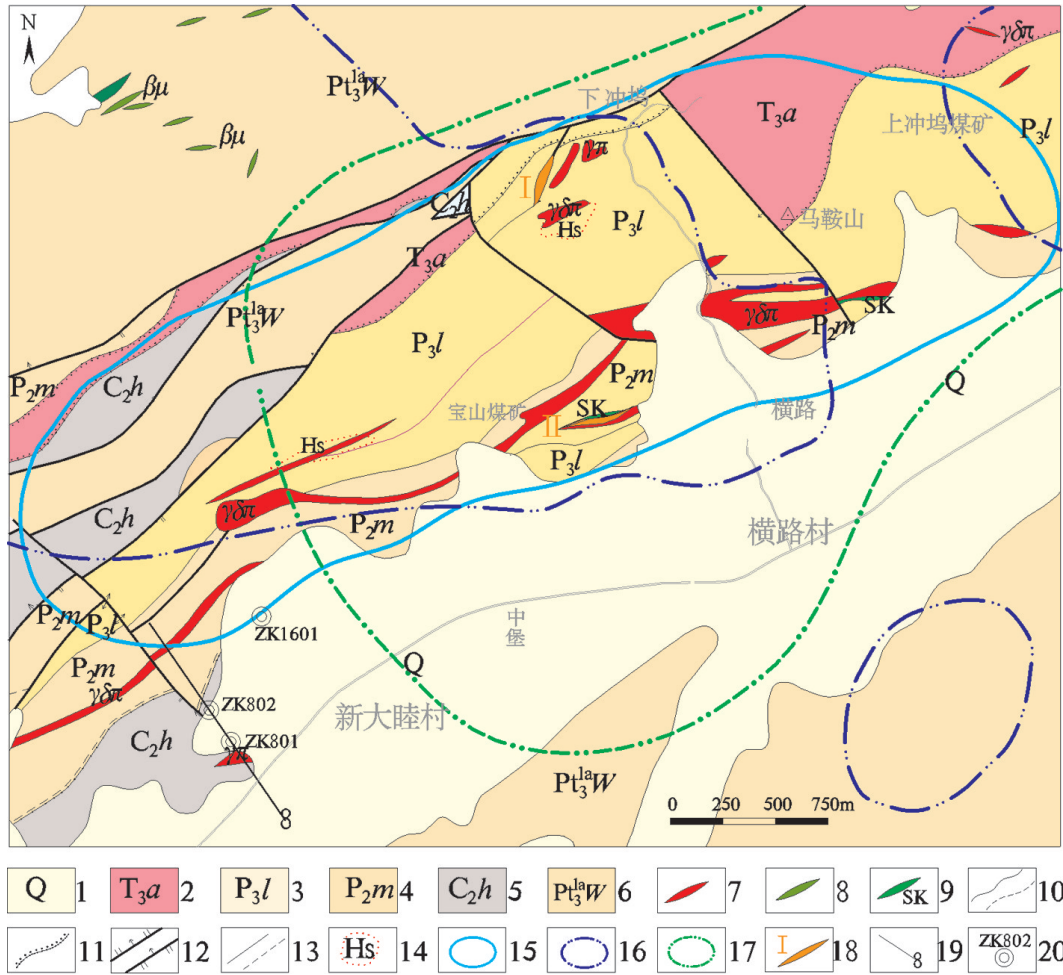


图2 横路矿区综合地质图

1—第四系;2—三叠系上统安源组;3—二叠系上统乐平组;4—二叠系中统茅口组;5—石炭系上统黄龙组;6—新元古界万年群;
7—中酸性岩脉($\gamma\delta\pi$ —花岗闪长斑岩, $\gamma\pi$ —花岗斑岩);8—基性岩脉($\beta\mu$ —辉绿岩);9—矽卡岩化;10—实(推)测地质界线;11—不整合接触地质界线;12—实测正/逆断层;13—实(推)测性质不明断层;14—角岩化;15—水系沉积物异常;16—磁测异常;17—土壤异常;18—矿(化)体;
19—勘探线及其编号;20—钻孔及其编号

Fig.2 Generalized geological map of the Henglu mining area

1—Quaternary; 2—Upper Triassic Anyuan Formation; 3—Upper Permian Leping Formation; 4—Middle Permian Maokou Formation; 5—Upper Carboniferous Huanglong Formation; 6—Neoproterozoic Wannian Group; 7—Intermediate-acid vein ($\gamma\delta\pi$ —Granodiorite porphyry, $\gamma\pi$ —Granite porphyry); 8—Basic vein ($\beta\mu$ —Diabase); 9—Skarnization; 10—Measured/inferred geological boundary; 11—Unconformity boundary; 12—Measured normal/reverse fault; 13—Measured/inferred fracture; 14—Hornfelsization; 15—Stream sediment geochemical anomaly; 16—Geomagnetic anomaly; 17—Soil geochemical anomaly; 18—Ore/ mineralized body; 19— Exploration line and number; 20— Borehole and number

古生界上石炭统黄龙组、中二叠统茅口组、上二叠统乐平组,中生界上三叠统安源组及第四系(图2)。其中黄龙组主要为灰岩、白云质灰岩或白云岩,茅口组主要为含硅质、泥质不纯灰岩,均为化学性质较为活泼的碳酸盐岩,与上侵岩浆接触交代极易发生热液蚀变。该套地层中W、Cu、Zn、Mo、Sn等成矿元素丰度普遍偏高(徐良国等,1984;徐唐光等,2007),是区内矽卡岩型和热液脉型矿体的主要赋存层位。

横路矿区以北东向断裂构造为主体构造,主断裂横路—大游山推覆断裂为区内主要控岩控矿构造。沉积地层层间断裂及不整合接触面后期构造叠加产生的推(滑)覆断裂,是区内脉型和矽卡岩型矿体的主要容矿构造,朱溪“多位一体”矽卡岩型矿床中厚大似层状矿体即主要产于该断裂面之上的黄龙组地层中。另区内还见有北西向和少量近南北向的断裂(图2),其中可见北西向断裂切割北东向断裂及岩脉;近南北向断裂内见有破碎带型铜金矿体,是区内的另一容矿构造。

横路矿区地表出露花岗闪长斑岩和花岗斑岩,主要侵位于二叠系,严格受NE向断裂控制,总体呈脉状,局部呈岩珠状、透镜状产出。其中花岗斑岩见于下冲坞,规模较小。花岗闪长斑岩呈脉状,局部风化较强,见分支复合现象,局部可见其被NW向断裂错断,延伸长6~8 km,宽2~35 m,总体倾向NW,倾角较陡且局部见倾向反转。1:50000塔前幅资料表明花岗闪长斑岩中Cu、W、As、Sb、Bi等元素含量是维氏值数倍至数十倍,且地表花岗闪长斑岩中见铜多金属矿化;中国地质大学(北京)获得该花岗闪长斑岩锆石U-Pb年龄为(160.6±2.7) Ma^⑥。

横路矿区内目前已发现了多处找矿线索,但总体来说工作程度较低(何细荣等,2011)。已知矿化主要有铁、铜、金、钨等,前人发现的铁帽型铜金矿已开采殆尽。2013—2016年江西省地质矿产勘查开发局九一二大队在本区开展矿产地质调查时新发现2条铜多金属矿(化)体(图2),主要见于破碎带、花岗闪长斑岩及矽卡岩中。

I号铜金矿(化)体产于下冲坞花岗闪长斑岩脉附近构造破碎带中,出露长20~30 m,宽2~5 m,走向近NS,与该花岗闪长斑岩脉较为一致。赋矿围岩为构造角砾岩,可见较强绿泥石化、褐铁矿化以及细

脉浸染状铜蓝矿化,矿化蚀变不均匀,局部见少量黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等沿裂隙呈星点状分布,经分析该矿体Cu含量为0.21%~0.45%,Au含量为1.96~3.96 g/t^⑥。

II号铜钨矿体产于花岗闪长斑岩脉及其与茅口组接触带两侧,出露长约250 m,宽13~24 m,走向NE。地表矿体松散易碎,为氧化矿石。风化花岗闪长斑岩中孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿等氧化矿物主要以蜂窝状、团块状分布,风化矽卡岩中则常呈浸染状、细脉状分布,偶见少量星点状黄铁矿、黄铜矿,其中矽卡岩中局部见星点状白钨矿。矿化分布不均匀,经分析花岗闪长斑岩Cu含量为0.04%~2.53%,WO₃含量为0.002%~0.034%,Au含量为0.01~1.61 g/t;矽卡岩Cu含量为0.02%~0.96%,WO₃含量为0.004%~0.188%,Au含量为0.01~0.02 g/t。

地表围岩蚀变主要有孔雀石化(图3a)、硅化和褐铁矿化,局部见有矽卡岩化、角岩化和大理岩化(图3b),均与地表岩脉关系密切。其中孔雀石化和褐铁矿化在破碎带中呈团斑状分布,在强风化花岗闪长斑岩中呈浸染状分布,在弱风化花岗闪长斑岩显微照片中可见浸染状黄铜矿和黄铁矿(图3c、d);硅化分布于构造破碎带及脉岩接触带;角岩化呈不规则状分布于花岗闪长斑岩与乐平组砂岩接触部位,矽卡岩化(主要矽卡岩矿物有透辉石、阳起石、石榴子石)、大理岩化主要呈不规则状分布于花岗闪长斑岩与茅口组灰岩接触部位。

4 地球物理、地球化学、遥感及钻探特征

4.1 地球物理特征

1:50000高精度磁测在区内圈出一处正负相伴生的低缓磁异常(图4中C2-8),与朱溪矿区C1-5类似,异常呈NE向椭圆状展布,面积约2.3 km²,与1:50000水系沉积物异常横路27-甲1、1:200000土壤异常及1:50000重砂异常范围较为一致;该磁异常负异常位于正异常北部,负异常不明显;异常与岩脉及矽卡岩发育部位较为一致,且此类磁异常在朱溪矿区等处已证实主要由隐伏岩(矿)体引起^⑥。

4.2 地球化学特征

1:50000水系沉积物测量在横路地区圈出了一处Mo-Cu-Pb-Ag多金属甲类综合异常(图1中横路27-甲),异常呈NE向不规则椭圆状展布,异常面

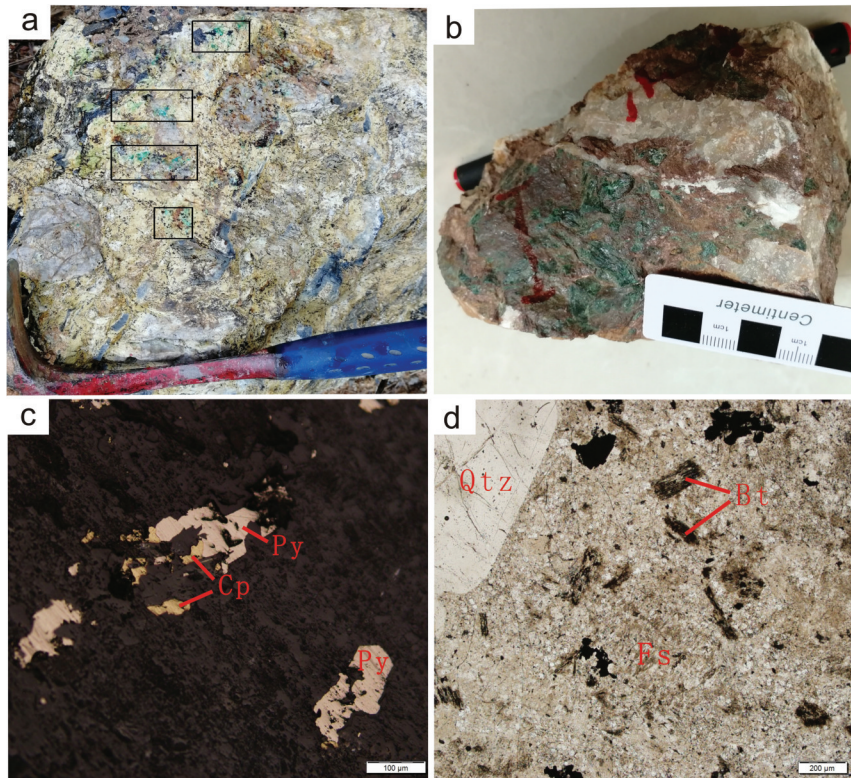


图3 横路矿区岩石照片

a—破碎带角砾岩团斑状孔雀石化;b—灰岩中大理岩化、透辉石石榴子石砂卡岩化;c—花岗闪长斑岩微观照片(光片);d—花岗闪长斑岩微观照片(薄片);Py—黄铁矿,Cp—黄铜矿,Qtz—石英,Bt—黑云母,Fs—长石

Fig.3 Outcrop views and photomicrographs of Henglu mining area

a—Malachite mineralization of Breccia; b—Marmorosis and skarnization of Limestone; c—Photomicrograph of granodiorite porphyry (polished section); d—Photomicrograph of granodiorite porphyry (thin section); Py—Pyrite; Cp—Copper; Qtz—Quartz; Bt—Biotite; Fs—Feldspar

积 17.56 km²,成晕元素除 Ag 外均有 3 级浓度分带(表 1,图 5),异常重合性较好、强度高,与地表矿(化)体出露位置一致。横路地区水系沉积物综合异常不论是在规模、强度、浓度分带和重叠性等各方面均与朱溪异常基本相同,不同之处在于元素组合稍有差异,区内 W 异常强度及规模较朱溪矿区小,而 Cu、Mo 异常强度及规模较朱溪矿区大,说明本区较朱溪矿区更有利于寻找铜、钼矿。

1:10000 土壤测量在横路地区圈出了 AP₁₋₁、AP₁₋₂、AP₁₋₃ 三处异常(图 6)。AP₁₋₁、AP₁₋₂ 异常元素组合以 Au、As、Pb、Cu、W、Sb、Bi 为主,呈 NE 向带状分布,异常强度中等,各元素异常套合较好,浓集中心明显,Au、As、Cu、Sb、Bi 等均具有 3 级浓度分带;AP₁₋₃ 异常元素组合为 Cu、W、Bi、Ag、Pb,以 Cu 为主,呈不规则椭圆状,各元素异常套合较好,异常强度中等,浓集中心明显,其中 Cu、Bi、Pb、W 具有 3 级浓度分带。异常与矿化体空间位置重叠

性较好,推测异常主要由岩体侵位导致的矿化所引起。

隐伏矿床在地表的地球化学异常往往只有一些前缘元素异常的显示,致使异常元素组合对隐伏矿床类型具有一定指示作用。根据横路矿区水系沉积物地球化学和土壤地球化学异常元素组合分析,深部可能存在斑岩型和接触交代型铜矿矿床(谢学锦,1979)。

4.3 遥感特征

1:50000 遥感线环构造解译在横路矿区附近发现有北北西和北东向两组线性构造以及一处半环形构造。线性构造与地质图中断裂位置较为吻合;半环形构造主要分布在横路西南侧天分山一带,与横路矿区关系不大,环内主要为晚古生代沉积地层。

1:50000 遥感影像蚀变特征提取(图 7、图 8),横路矿区位于枣林—月形异常带中部^④。该带羟基、

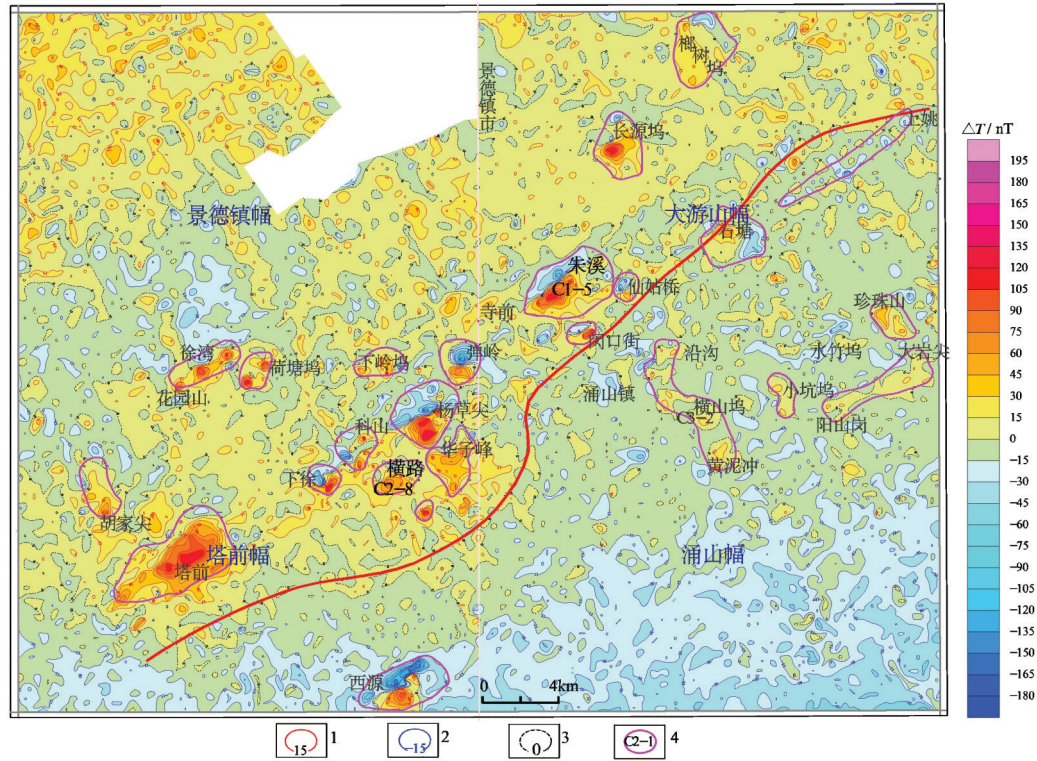


图4 1:50000 磁测 ΔT 等值线平面图

1— ΔT 正值等值线及标注; 2— ΔT 负值等值线及标注; 3— ΔT 零值等值线及标注; 4—磁异常编号及范围

Fig.4 Map of ΔT contour plan for 1:50,000 magnetic measurements

1— ΔT positive contour and annotation; 2— ΔT negative contour and annotation; 3— ΔT zero contour and annotation; 4—Magnetic anomaly number and range

表1 横路矿区 1:50000 水系沉积物异常特征

Table 1 Geochemical characteristics of 1:50000 stream sediments in the Henglu mining area

元素	单元素异常面积/km ²	平均强度/(10 ⁶ , Au 10 ⁹)	最高强度/(10 ⁶ , Au 10 ⁹)	异常衬度	规模值	元素浓度分带	异常区形状
Mo	13.5	4.34	17.77	3.10	41.85	内、中、外	条带状
Ag	13.4	0.19	0.54	1.73	23.15	中、外	条带状
Au	0.86	11.17	25	3.72	3.20	中、外	条带状
Cu	6.77	110.26	381	2.21	14.93	内、中、外	鸡爪状
Pb	2.64	107.13	419	2.14	5.66	内、中、外	椭圆状
Zn	1.44	179.42	202	1.20	1.72	外	次圆状
W	2.59	4.7	5.98	1.38	3.58	外	椭圆状
Sn	1.11	8.69	18.64	1.24	1.38	外	长条状
Bi	10.04	4.9	24.09	5.44	54.66	内、中、外	条带状
As	9.61	79.34	474.3	2.83	27.23	内、中、外	条带状
Sb	14.16	5.49	17.05	1.72	24.29	内、中、外	葫芦状
Co	0.71	62.09	103.88	2.30	1.63	中、外	不规则状
Cd	14.24	1.27	7.22	2.89	41.10	内、中、外	条带状
Hg	1.86	207.25	275	1.38	2.57	外	圆环状
Ni	2.63	92.94	143.57	1.45	3.82	外	椭圆状

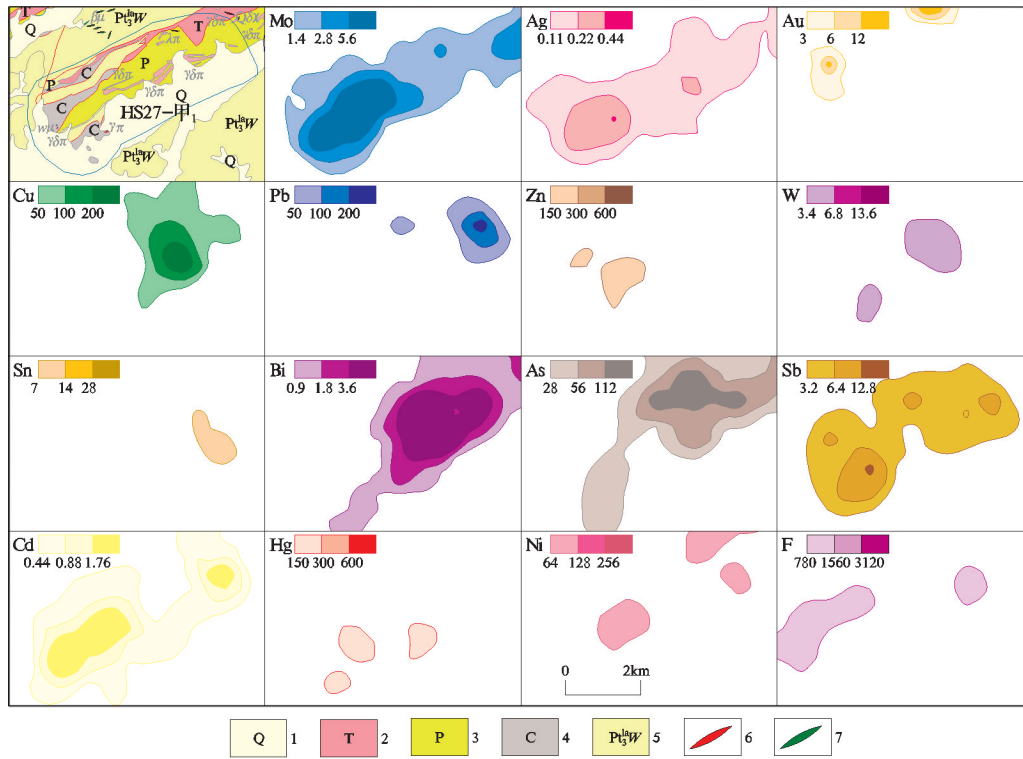


图5 横路矿区1:50000水系沉积物异常剖析图[⊙]

1—第四系;2—三叠系;3—二叠系;4—石炭系;5—新元古界万年群;6—中酸性岩脉($\gamma\delta\pi$ —花岗闪长斑岩, $\gamma\pi$ —花岗斑岩);7—(超)基性岩脉($\beta\mu$ —辉绿岩, $\omega\mu$ —苦橄玢岩)

Fig.5 Anomaly anatomy of 1:50000 stream sediments in the Henglu mining area[⊙]

1—Quaternary; 2—Triassic; 3—Permian; 4—Carboniferous; 5—Neoproterozoic Wannian Group; 6—Neutral-Acid vein ($\gamma\delta\pi$ —Granodiorite porphyry, $\gamma\pi$ —Granite porphyry); 7—Basic/ultrabasic vein ($\beta\mu$ —Diabase, $\omega\mu$ —Picrite porphyrite)

铁染蚀变异常规模形态相似且异常强度较大,其中羟基异常带呈NE向分布,长约9.3 km,宽约3 km,1~3级异常主要分布于横路地区,其余部位主要为3级异常;铁染异常带亦呈NE向分布,长约9.9 km,宽0.8~3.7 km不等。异常查证表明,带内见有较强烈绿泥石化、碳酸盐化,横路—张家坞地区还发育孔雀石化、大理岩化、矽卡岩化,多处见有褐铁矿化、赤铁矿化、黄铁矿化、铜矿化及辉铜矿。异常与地表矿化蚀变吻合性较好。

4.4 钻探特征

江西省地矿局九一五大队近期在横路矿区施工钻孔揭露到多条花岗斑岩脉及铜铅锌矿化体,花岗斑岩脉主要沿着万年群浅变质岩与黄龙组碳酸盐岩接触界面侵位。ZK801揭露到厚度12.17 m、Au含量0.1~0.3 g/t的花岗斑岩脉;ZK1601见多层铜铅锌矿化体,黄铜矿、方铅矿和闪锌矿多呈致密块状(少部分呈星点状)分布于矽卡岩或矽卡岩化(白

云质)大理岩中,矿化体视厚度0.6~2.5 m(图9)。

5 深部找矿潜力分析

横路地区以往勘查重点是地表破碎带型和脉型铜金矿体,虽也圈出几条铜金矿化体及铁矿体,但其规模均较小,品位变化大。前人认为本区岩脉规模小,矽卡岩多呈小透镜状,找矿前景不佳。在欧阳永棚等(2018)建立的朱溪式矽卡岩型矿床成矿模式基础上,综合分析横路地区以往成果认识,并将横路矿区地质、地球物理、地球化学及遥感特征与邻近的朱溪矿区进行对比(表2)。

横路矿区正负相伴生地磁异常特征及脉岩分布形态显示深部极可能存在隐伏岩体。矿区水系沉积物异常的组合元素中钼铜较朱溪稍好,钨银等较朱溪稍差,根据化探异常与岩浆岩专属性分析,这与矿区内的岩脉偏中性相对应,认为横路矿区深部找铜潜力较大。

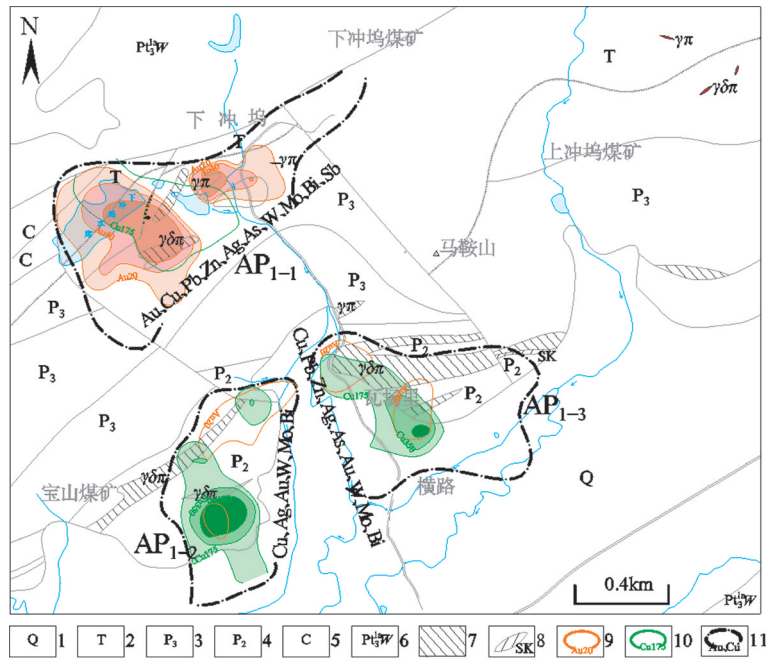


图6 横路矿区1:10000土壤测量综合异常图[®]

1—第四系;2—三叠系;3—上二叠统;4—中二叠统;5—石炭系;6—新元古界万年群;7—花岗闪长斑岩脉;8—砂卡岩化;9—金等值线;10—铜等值线;11—异常范围及编号

Fig.6 Synthetic anomaly of 1:10000 soil survey in the Henglu mining area[®]

1-Quaternary; 2-Triassic; 3-Upper Permian; 4-Middle Permian; 5-Carboniferous; 6-Neoproterozoic Wannian Group; 7-Granodiorite porphyry; 8-Skarn zone; 9-Contour line of Au; 10-Contour line of Cu; 11-Anomaly range and Number

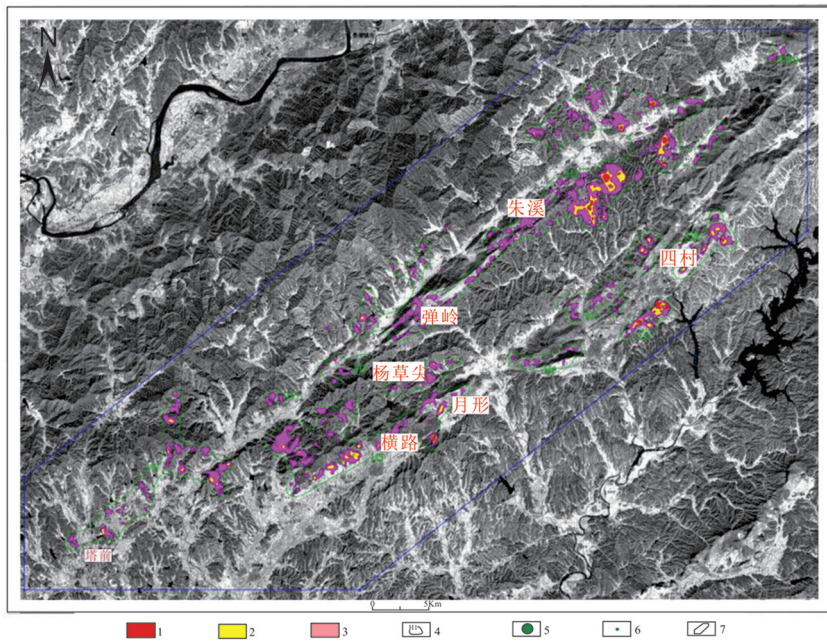


图7 1:50000遥感羟基类矿化蚀变异常分布图[®]

1—一级羟基异常;2—二级羟基异常;3—三级羟基异常;4—羟基异常及编号;5—铜多金属矿床;6—铜矿化异常;7—朱溪矿集区范围

Fig.7 Distribution map of 1:50,000 hydroxyl mineralized alteration anomalies[®]

1- First-order hydroxyl anomaly; 2-Secondary hydroxyl anomaly; 3-Tertiary hydroxyl anomaly; 4- Hydroxyl anomaly and its number; 5- Copper polymetallic deposits; 6- Copper anomaly; 7- Zhuxi ore concentration area

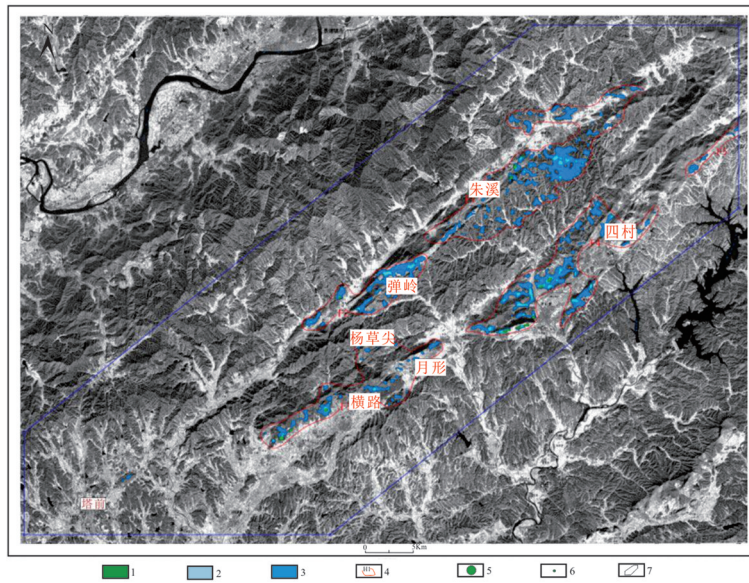


图8 1:50000遥感铁染类矿化蚀变异常分布图^④

1—一级铁染异常;2—二级铁染异常;3—三级铁染异常;4—铁染异常及编号;5—铜多金属矿床;6—铜矿化异常;7—朱溪矿集区范围

Fig.8 Distribution map of 1:50,000 iron dye mineralization alteration anomalies^④

1— First-order ferric contamination anomaly; 2— Secondary ferric contamination anomaly; 3—Tertiary ferric contamination anomaly; 4— Ferric contamination anomaly and its number; 5— Copper polymetallic deposits; 6— Copper anomaly; 7— Zhuxi ore concentration area

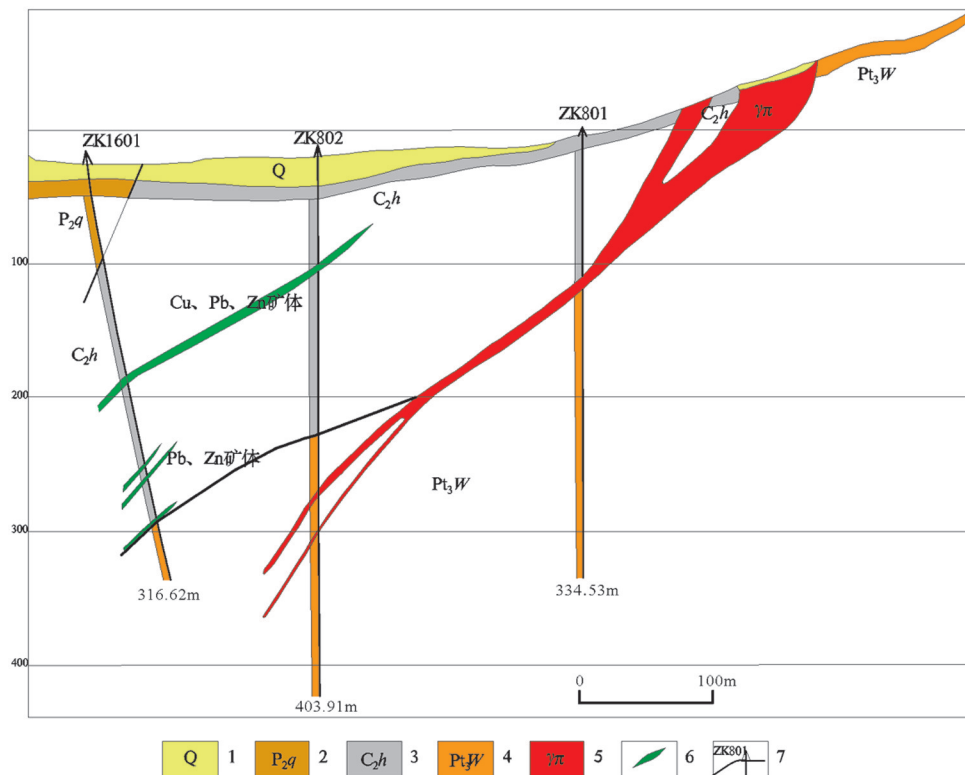


图9 横路矿区8号勘探线剖面图

1—第四系;2—中二叠统栖霞组;3—上石炭统黄龙组;4—新元古界万年群;5—花岗斑岩;6—(铜)铅锌矿体;7—已完工钻孔及其编号

Fig.9 Geological section along No. 8 exploration line of the Henglu mining area

1—Quaternary; 2—Middle Permian Qixia Formation; 3—Upper Carboniferous Huanglong Formation; 4—Neoproterozoic Wannian Group; 5—Granite porphyry; 6—(Copper)-lead-zinc orebody; 7—Completed borehole and its number

表2 横路与朱溪成矿条件对比

Table 2 Comparison of metallogenic conditions between the Henglu and Zhuxi deposit

成矿条件	朱溪钨铜多金属矿区	横路矿区
1 大地构造位置	萍乐坳陷带塔前一赋春推覆构造带	萍乐坳陷带塔前一赋春推覆构造带
2 赋矿岩系	黄龙组碳酸盐岩为主,二叠纪碳酸盐岩次之	花岗闪长斑岩,茅口组、黄龙组碳酸盐岩
3 控矿构造	万年群浅变质岩与黄龙组碳酸盐岩接触界面、岩体接触带、层间裂隙或破碎带	万年群浅变质岩与黄龙组碳酸盐岩接触界面、岩体接触带、层间裂隙或破碎带
4 出露岩体	浅表花岗闪长岩、闪长玢岩、煌斑岩,深部黑云母花岗岩、花岗斑岩、蚀变花岗岩	地表花岗闪长岩、花岗斑岩脉,浅部花岗斑岩脉,推测深部存在隐伏岩体
5 成岩-成矿事件时期	深部黑云母花岗岩、二云母花岗岩 145~150 Ma,浅表花岗闪长斑岩 160 Ma	浅表花岗闪长斑岩 160 Ma
6 围岩蚀变	地表蚀变主要为绿泥石化、大理岩化和角岩化,深部见有矽卡岩化、大理岩化、云英岩化、硅化、绿泥石化等; 蚀变分带:由岩体往上总体出现面型云英岩化→矽卡岩化→大理岩化→脉型云英岩化→硅化、绿泥石化	浅表孔雀石化、透辉石矽卡岩化、石榴子石矽卡岩化、绿泥石化、大理岩化、角岩化
7 矿化情况	浅表以Cu为主,深部W、Cu、Zn等	浅表Cu(孔雀石)矿化、金矿化,深部铜铅锌矿化
8 矿化类型	浅部脉状铜矿体,深部似层状矽卡岩型、蚀变花岗岩型钨(铜)矿体	浅表斑岩型铜矿化体、破碎带型铜金矿化体,深部脉状矽卡岩型铜铅矿体
9 地球物理异常	1:200000重力低异常;1:10000、1:50000正负相伴地磁异常;1:10000激电异常	1:200000重力低异常;1:50000正负相伴地磁异常
10 地球化学异常	1:50000水系沉积物W-Mo-Cu-Ag-Au多金属甲类综合异常;1:10000土壤和岩石综合剖面W、Mo、Cu、Pb、Zn、Sn、Au、Ag异常	1:50000水系沉积物Mo-Cu-Pb-Ag多金属综合异常;1:10000土壤测量Au、As、Pb、Cu、W、Sb、Bi异常
11 遥感信息	羟基、铁染蚀变异常	羟基、铁染蚀变异常
12 异常套合情况	异常套合性较好	异常套合性较好
13 勘查深度	深度>2400 m	深度<500 m
14 工作程度	普查	普查
15 资源量	333+334类WO ₃ 资源量344万t,Cu金属量11.27万t	暂未估算资源量

横路矿区地表矿化蚀变特征与朱溪矿区多个钻孔400~1000 m所见小岩脉两侧蚀变特征类似,加之地表岩脉规模较朱溪地表明显更大,推测横路矿区剥蚀深度可能较朱溪矿区深,其矿床埋藏深度可能较朱溪浅。

横路矿区地表见破碎带型铜金矿体,至中深部为铜铅锌矿体,认为横路矿区可能与朱溪矿区类似成矿温度在垂向上往深部有升高趋势。横路矿区水系沉积物与土壤测量中均发现有钼元素异常,深部存在找钼前景。

矿区深部存在石炭系碳酸盐岩地层;构造控矿特征与朱溪矿区极为相似;岩浆岩含矿性好且其成岩年龄与矿集区内朱溪浅部、塔前、月形等铜多金属矿床成岩-成矿时代(161~155 Ma;蒙智宇等,2017)在误差范围内近乎一致,对应于170~150 Ma华南地区重要成岩-成矿事件(毛景文等,2004,

2008,2011;毛建仁等,2014;吕劲松等,2017)。综合分析认为,横路矿区往深部具有找寻破碎带型(热液脉型)、矽卡岩型及斑岩型铜钼金多金属矿床的潜力。

6 结 论

(1) 横路矿区与朱溪矿区相邻,分处于塔前一赋春逆冲推覆构造带的不同次级分带,地质、地球物理、地球化学及遥感特征均与朱溪矿区有相似之处,成矿条件极为优越,具有形成与燕山期岩浆活动有关矽卡岩型+斑岩型+破碎带(热液脉)型铜多金属矿床的有利条件。

(2) 在矿床类型上,横路矿区在关注破碎带(热液脉)型铜多金属矿床的同时,更应加强对矽卡岩型及斑岩型铜多金属矿床的研究。

(3) 横路矿区勘查深度不深,往深部在中酸性

岩浆岩及其与碳酸盐岩构造接触部位(即深部燕山期岩浆与C—P沉积地层接触部位)找寻矽卡岩型+斑岩型铜钼多金属矿床潜力极大。

注释

①江西省地质矿产勘查开发局九一二大队. 2016. 江西省浮梁县铜坞—乐平市柏树坞铜多金属矿普查报告[R].

②江西省地质矿产勘查开发局九一二大队. 2016. 江西塔前—大游山地区矿产地质调查成果报告[R].

③江西省地质矿产勘查开发局九一二大队. 2018. 江西朱溪铜钼矿成矿规律与预测研究[R].

④中国地质科学院地质研究所. 2015. 安吉—德兴铜钼多金属矿带成矿规律与勘查模型成果报告[R].

References

- Chen G H, Shu L S, Shu L M, Zhang C, Ouyang Y P. 2016. Geological characteristics and mineralization setting of the Zhuxi tungsten (copper) polymetallic deposit in the Eastern Jiangnan Orogen[J]. *Science China: Earth Sciences*, 59(4): 803–823.
- He Xirong, Chen Guohua, Liu Jianguang, Zhang Cheng. 2011. On the copper–tungsten prospecting orientation in Zhuxi region[J]. *China Tungsten Industry*, 26(1):9–14.
- Hu Zhenghua. 2015. The Formation Conditions and Metallogenetic Regularity of Zhuxi Tungsten Polymetallic Deposit in Northeast of Jiangxi Province [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Hu Zhenghua, Liu Dong, Liu Shanbao, Lang Xinghai, Zhang Jiaqing, Chen Yuchuan, Shi Guanghai, Wang Yiyun, Lei Tianhao, Nie Longmin, Sha Min, Gong Liangxin, Liu Zhanqing. 2015. Rock-forming and ore-forming ages and significance of Taqian Mo (W) deposit, Leping, Jiangxi, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 42(3): 312–322 (in Chinese with English abstract).
- Huo Hailong, Zhang Da, Chen Zhengle, Bi Minfeng, Chen Guohua, He Xiaolong, Li Ning, Li Xingjian, Xue Wei, Ouyang Yongpeng. 2018. Deformation characteristics and geochronological constraints of Mesozoic nappe structure in Jingdezhen area, northeastern Jiangxi [J]. *Journal of Geomechanics*, 24(1): 9–24 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yi, Luo Xuequan, Zhang Xuehui, Ban Yizhong, Zeng Yong, Zhou Zongyao, Lou Fasheng. 2016. Geological characteristics of minerogenesis and prospecting in Eastern Qin Zhou–Hangzhou Cu–Au–Pb–Zn–W metallogenetic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(7): 1551–1572 (in Chinese with English abstract).
- Lü Jinsong, Zhang Xuehui, Sun Jiandong, Zhang Yong, Wu Bin, Luo Xuequan. 2017. Spatiotemporal evolution and metallogenetic regularity of felsic rocks in the Yanshanian of the eastern segment Qinhang metallogenetic belt, South China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(11): 3635–3658(in Chinese with English abstract).
- Mao Jianren, Li Zilong, Ye Haimin. 2014. Mesozoic tectono–magmatic activities in South China: Retrospect and prospect[J]. *Scientia Sinica(Terrae)*, 44(12): 2593–2617.
- Mao Jingwen, Chen Maohong, Yuan Shunda, Guo Chunli. 2011. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) metallogenetic belt in South China and spatial–temporal distribution regularity of mineral deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 85(5): 636–658(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Changqing, Mei Yanxiong. 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 Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, Yuan Shunda, Cheng Yanbo, Chen Yuchuan. 2008. Spatial–Temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenetic settings[J]. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 510–526(in Chinese with English abstract).
- Meng Zhiyu, Rao Jianfeng, Ouyang Yongpeng, Wei Jin, Luo Luchuan, Pan Liang. 2017. Geochemical characteristics and minerogenic potential of Hongmeiling granitic porphyry in Taqian–Fuchun metallogenetic belt[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 37(4):486–494(in Chinese with English abstract).
- Ouyang Yongpeng, Rao Jianfeng, Yao Zaiyu, Zhou Xianrong, Chen Guohua. 2018. Mineralization and prospecting direction of the “Zhuxi type” skarn deposit[J]. *Geological Science and Technology Information*, 37(3): 148–158 (in Chinese with English abstract).
- Rao Jianfeng, Yao Zaiyu, Ouyang Yongpeng. 2017. Tectonization–Magmatism–Mineralization of the Taqian–Fuchun W–Cu polymetallic mineralization concentration area[J]. *Advances in Geosciences*, 7(5): 632–644 (in Chinese with English abstract).
- Shu L S, Faure M, Wang B, Zhou X M, Song B. 2008. Late Palaeozoic–Early Mesozoic geological features of South China: Response to the Indosinian collision events in Southeast Asia [J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(2/3): 151–165.
- Wei Xinglin. 2016. New discoveries of tungsten ore prospecting in China[J]. *China Tungsten Industry*, 31(3): 1–7(in Chinese with English abstract).
- Wu Xiaoping, Ouyang Yongpeng, Zhou Yaoxiang, Zhong Shijun, Chen Guohua. 2015. Geochemical characteristics of magmatite and their constraints on mineralization of the Zhuxi tungsten–copper polymetallic deposit in Jingdezhen, Jiangxi Province[J]. *Geology in China*, 42(6): 1885–1896 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Xinkui. 1992. The Cenozoic tectonic evolution and minerogenesis of the Taqian–Fuchun metallogenetic belt in northeastern Jiangxi[J]. *Geology and Prospecting*, 28(1): 20–27 (in Chinese with English abstract).
- Xie Xuejin. 1979. *Regional Geochemical*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 86–91.

- Xu Lianguo, Ma Changxin. 1984. The rejuvenated metallogenesis of the Taqian-Zhuxi polymetallic ore belt[J]. *Geology and Prospecting*, 20(3): 12-17.
- Xu Tangguang. 2007. Ore-controlling factor of Jiangxi Wushan copper deposit and ore-prospecting orientation[J]. *Metal Mine*, 37(9):76-78(in Chinese with English abstract).
- Yang Minggui, Huang Shuibao, Lou Fasheng, Tang Weixin, Mao Subin. 2009. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area [J]. *Geology in China*, 37(3):529-543(in Chinese with English abstract).
- Yang Minggui, Liu Yaguang, Huang Zhizhong, Wu Fujiang, Song Zhirui. 2012. Subdivision of Meso-Neoproterozoic strata in Jiangxi and a correlation with the neighboring areas[J]. *Geology in China*, 39(1):43-53(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yanjie, Zhou Xiaohua, Liao Shengbing, Yu Minggang, Jiang Ren, Jiang Yang, Zhu Qingbo. 2013. Characteristics of thrust-nappe structures in the Zhanggongshan area, northern margin of the Jiangnan orogen[J]. *Resources Survey & Environment*, 34(2):71-79.
- 附中文参考文献**
- 何细荣, 陈国华, 刘建光, 张诚. 2011. 江西景德镇朱溪地区铜钨多金属矿找矿方向[J]. *中国钨业*, 26(1):9-14.
- 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.
- 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. 江西乐平塔前钨(钼)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.
- 霍海龙, 张达, 陈正乐, 毕珉烽, 陈国华, 贺晓龙, 李宁, 李兴俭, 薛伟, 欧阳永棚. 2018. 江西景德镇地区中生代推覆构造变形特征与年代学约束[J]. *地质力学学报*, 24(1): 9-24.
- 刘一, 骆学全, 张雪辉, 班宜忠, 曾勇, 周宗尧, 楼法生. 2016. 钦杭Cu-Au-Pb-Zn-W成矿带(东段)主要地质成矿特征及潜力分析[J]. *地质学报*, 90(7): 1551-1572.
- 吕劲松, 张雪辉, 孙建东, 张勇, 武彬, 骆学全. 2017. 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*, 33(11): 3635-3658.
- 毛建仁, 厉子龙, 叶海敏. 2014. 华南中生代构造-岩浆活动研究: 现状与前景[J]. *中国科学(地球科学)*, 44(12): 2593-2617.
- 毛景文, 陈懋弘, 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[J]. *地质学报*, 85(5): 636-658.
- 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.
- 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[J]. *高校地质学报*, 14(4): 510-526.
- 蒙智宇, 饶建锋, 欧阳永棚, 魏锦, 罗绿川, 潘亮. 2017. 塔前一赋春成矿带红梅岭花岗岩斑岩地球化学特征与成矿潜力[J]. *矿物学报*, 37(4):486-494.
- 欧阳永棚, 饶建锋, 尧在雨, 周显荣, 陈国华. 2018. 朱溪式矽卡岩型矿床成矿作用及找矿方向[J]. *地质科技情报*, 37(3): 148-158.
- 饶建锋, 尧在雨, 欧阳永棚. 2017. 塔前一赋春钨铜多金属矿集区构造-岩浆-成矿作用[J]. *地球科学前沿*, 7(5): 632-644.
- 韦星林. 2016. 我国近年钨矿勘查新发现及其启示[J]. *中国钨业*, 31(3): 1-7.
- 吴筱萍, 欧阳永棚, 周耀湘, 钟仕俊, 陈国华. 2015. 景德镇朱溪钨铜多金属矿床岩浆岩地球化学特征及其对成矿的约束[J]. *中国地质*, 42(6): 1885-1896.
- 项新葵. 1992. 赣东北塔前一赋春成矿带中生代构造演化与成矿作用[J]. *地质与勘探*, 28(1): 20-27.
- 谢学锦. 1979. 区域化探[M]. 北京: 地质出版社, 86-91.
- 徐良国, 马长信. 1984. 塔前-朱溪多金属成矿带的叠生成矿作用[J]. *地质与勘探*, 20(3):12-17.
- 徐唐光. 2007. 江西武山铜矿床控矿因素及找矿方向[J]. *金属矿山*, 37(9):76-78.
- 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):529-543.
- 杨明桂, 刘亚光, 黄志忠, 吴富江, 宋志瑞. 2012. 江西中新生代地层的划分及其与邻区对比[J]. *中国地质*, 39(1):43-53.
- 张彦杰, 周效华, 廖圣兵, 余明刚, 蒋仁, 姜杨, 朱清波. 2013. 江南造山带北缘鄣公山地区逆冲-推覆构造特征[J]. *资源调查与环境*, 34(2):71-79.