

地质与矿产

山东五莲七宝山金铜矿外围找矿潜力分析

黄鹂,战洪雷*,张蕾,赵永健,邹占春,王欣,赵家强,王寿强,李双飞,张超,唐名鹰
(山东省地质矿产勘查开发局第八地质大队(山东省第八地质矿产勘查院),山东省地矿局有色金属矿找矿与资源评价重点实验室,山东日照 276826)

摘要:五莲七宝山地区已发现中型金铜矿 1 处、中型多金属矿 1 处,属陆相火山热液型矿床,近年来在该地区完成了一系列勘查工作,取得了新的找矿成果。区内金铜及多金属矿与七宝山次火山杂岩体活动十分密切,次火山侵入岩能引起高磁异常,金铜矿、方铅矿、闪锌矿能引起可控制音频大地电磁(CSAMT)低阻异常,研究发现七宝山金铜矿物探异常特征为低磁、CSAMT 低阻。结合前人短红外光谱蚀变测量,确定了七宝山热液中心。上述综合找矿信息,为金铜矿深部外围找矿中发现新的含金铜及铅锌矿体指明了方向。

关键词:隐爆角砾岩;矿化特征;金铜及多金属矿;五莲七宝山

中图分类号:P612

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.08.001

0 引言

中国东部中生代陆相火山岩带大体呈 NE—NNE 的展布,是环太平洋岩浆构造带的重要组成部分。五莲七宝山地区位于胶莱盆地南缘,是东部地区重要的陆相火山热液型矿床成矿区,地处胶东成矿带(Ⅲ-65)、胶莱盆地成矿亚带(Ⅳ65-2)。中生代火山活动剧烈,形成了包括七宝山火山机构在内的多个火山机构,多期次的杂岩体侵入为七宝山地区矿床的形成提供了物质来源^[1-4]。全球大部分斑岩型金铜矿地质特征显示,隐爆角砾岩筒作为重要的找矿标志,通常位于次火山岩或中酸性侵入岩顶部,在深部可能转变为斑岩型矿床,浅成低温热液型矿床分布在隐爆角砾岩型矿床的外围,形成了一个较完整的与酸性侵入岩有关的斑岩成矿体系。隐爆角砾岩筒可以单独出现,有时也成群出现^[5],七宝山金铜矿的东侧、南东侧被八亩地组火山碎屑岩封闭,其西、北西侧被闪长岩隔离。自 2008 年在次火山杂

岩体西部发现中型七宝山多金属矿以后,勘查工作多集中在该区域,但是迄今为止未有较大的找矿突破。为了探索金铜矿外围是否有新的找矿空间,笔者选择杂岩体东南部地区作为研究区,结合项目在该区运用的 1:1 万磁法测量、可控源音频大地电磁测量勘查方法、短红外光谱蚀变测量等物化探方法,圈定了多处物探异常,通过对比金铜矿物探异常,选择类似异常开展钻探验证,于金铜矿东侧发现了隐爆角砾岩和铅锌矿体,显示了较好的找矿潜力,为下一步勘查工作指明了方向。

1 研究区地质概况

山东五莲七宝山地区位于昌邑-大店断裂东侧,五莲-青岛断裂北侧^[6-8](图 1),处于高密-诸城断陷Ⅲ₆₁。研究区为火山碎屑岩浅覆盖区,主要出露的地层为中生代白垩纪地层,分布于七宝山火山机构外围,从老到新依次为莱阳群曲格庄组砂岩,青山群八亩地组、方格庄组火山碎屑岩,大盛群马朗沟组、

收稿日期:2025-02-02;修订日期:2025-03-07;编辑:武昕普

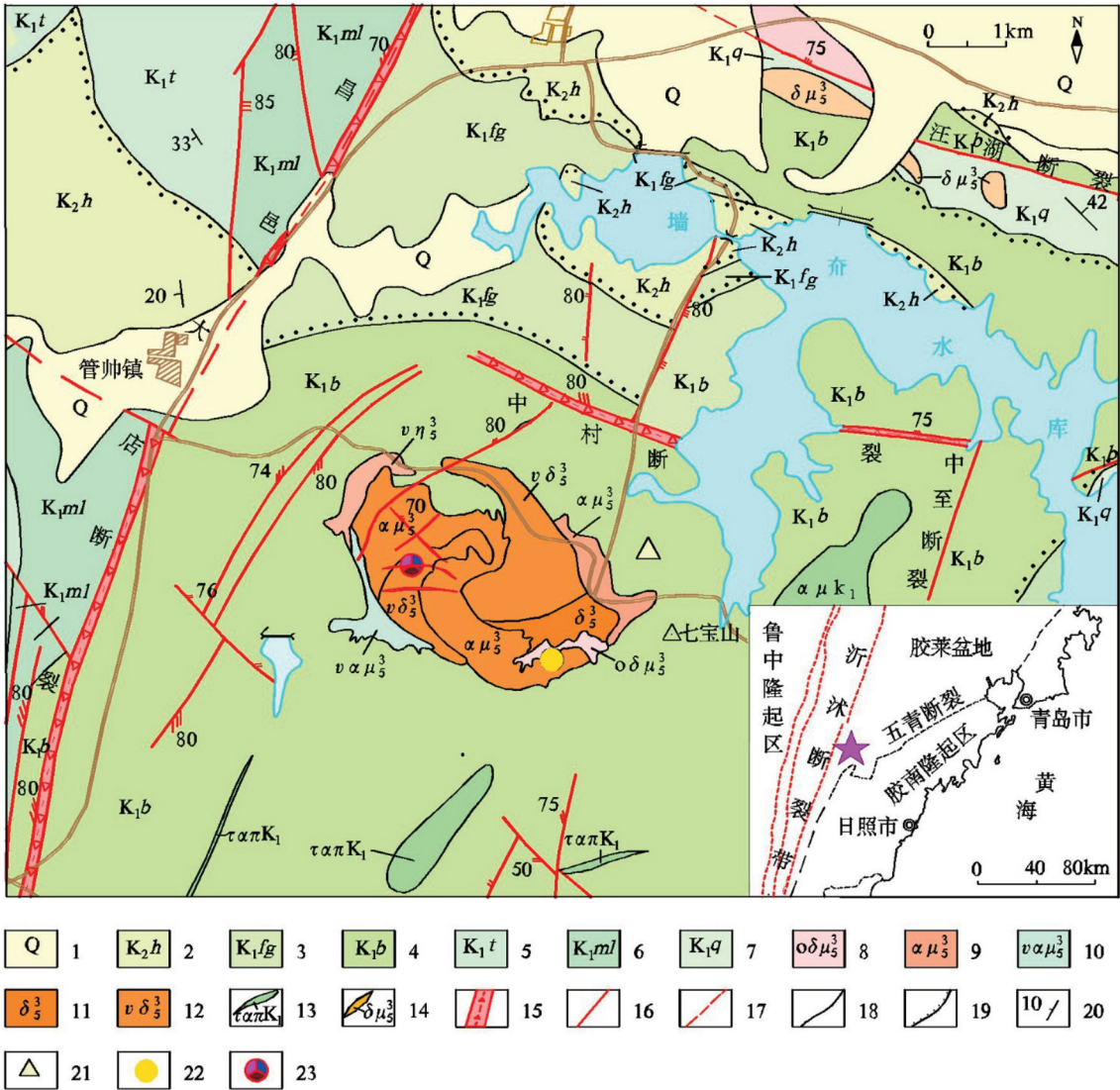
基金项目:山东省自然资源厅山东省五莲县邢家沟地区铜铅锌多金属矿普查(鲁勘字[2022]30 号);山东省自然资源厅鲁东中生代盆地边缘地区有色金属矿床成矿系列及找矿方向研究(鲁勘字[2020]18 号);五莲七宝山地区中生代岩浆演化与多金属成矿作用(项目编号 KY202213)

作者简介:黄鹂(1986—),女,新疆阿勒泰人,高级工程师,主要从事地质调查与矿产勘查工作;E-mail:43409505@qq.com

* 通信作者:战洪雷(1971—),男,山东威海人,高级工程师,主要从事地质调查与矿产勘查工作;E-mail:Zhanhl1971@126.com

田家楼组复成分砾岩、砂岩,王氏群红土崖砾岩、砂岩^[9-10]。区内构造以断裂为主,可分为 3 组:早期规模较大的 NE 向的控岩构造,发育蚀变较弱的构造角砾岩,无矿化;NW 向和近 EW 向构造为火山机构内部放射性构造和火山环状构造为主^[11],主要表型为张性构造展布特征,控制着金铜及多金属矿(化)体的分布,为控矿构造。七宝山火山机构内部

发育次火山岩体,为七宝山杂岩体^[12],主要为浅成—超浅成侵入相的辉石闪长岩、安山玢岩及最晚期的石英闪长玢岩等^[13]。石英闪长玢岩呈岩脉、岩株侵入早期岩体中,为含矿热液上升及运移提供能量。除七宝山杂岩体外,火山碎屑岩亦为部分铅锌矿体的赋矿围岩^[14]。



1—第四系;2—青山群后岔组凝灰岩;3—青山群方格庄组粗安岩;4—青山群八亩地组安山质集块角砾岩;5—大盛群田家楼组粉砂岩;6—大盛群马朗沟组复成分砾岩;7—莱阳群曲格庄组砂岩;8—石英闪长玢岩;9—安山玢岩;10—角闪安山玢岩;11—闪长岩;12—角闪闪长岩;13—粗安斑岩;14—闪长玢岩;15—构造蚀变带;16—断裂;17—推测断裂;18—地质界线;19—不整合界线;20—产状;21—钓鱼台硫铁矿;22—金线头金铜矿;23—七宝山多金属矿。

图 1 研究区地质图

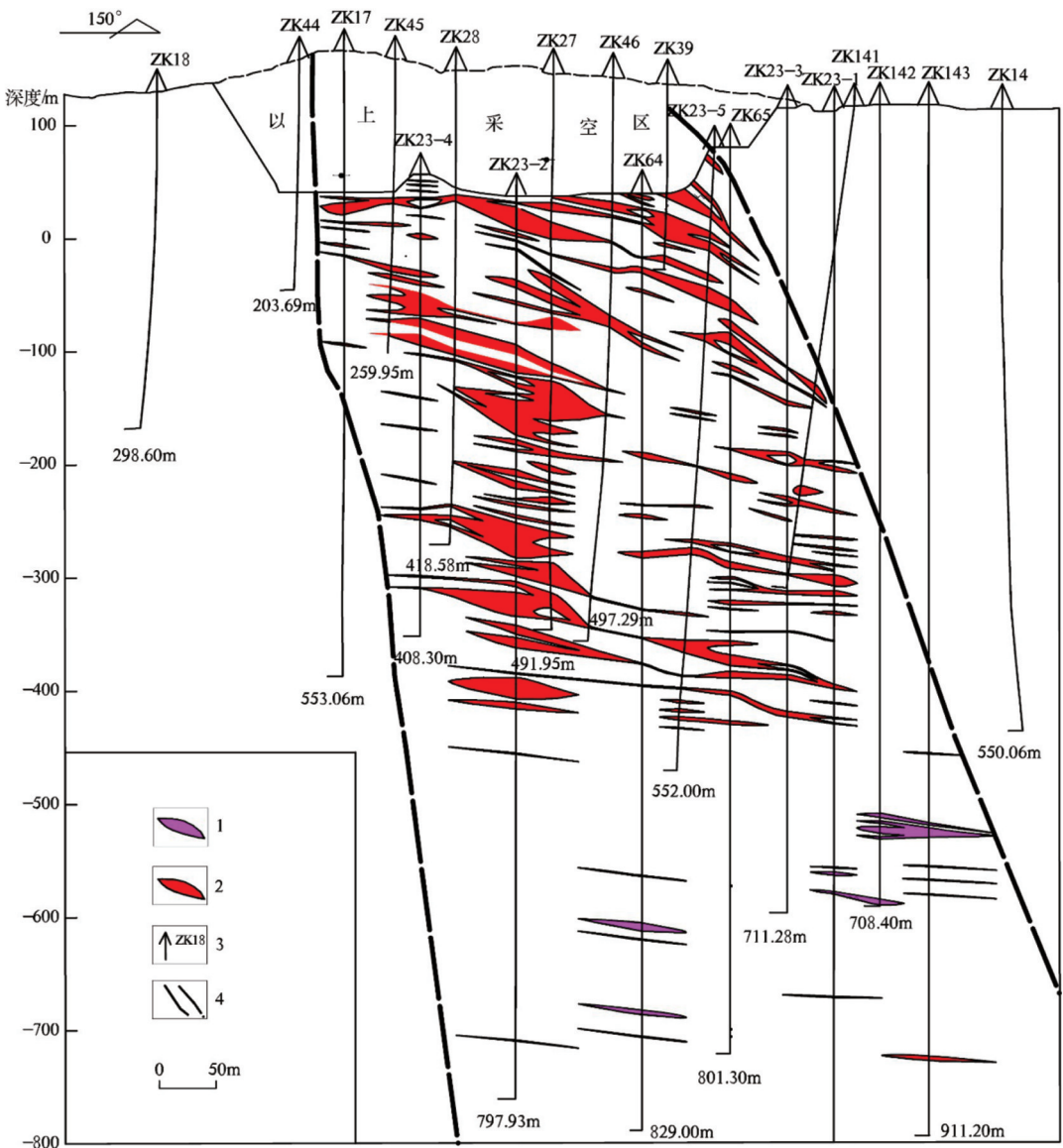
2 七宝山金铜矿矿床特征

金铜矿赋存在七宝山杂岩体东南部的火山通道

内。根据钻孔控制结果,矿(化)体在平面上的范围为 320 m×450 m,深度小于 2 000 m,南东倾伏,倾伏角约 68°~70°。矿体以层状、似层状为主,局部呈

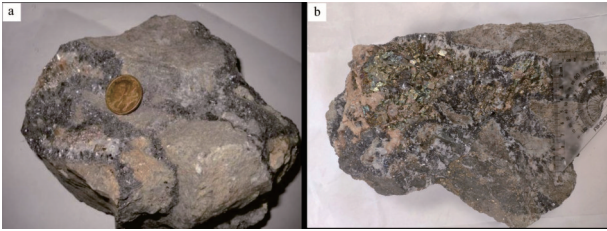
透镜状、纺锤状等。矿化具明显上部含金、下部含铜的垂直分带特征^[15](图 2),金矿带处于- 50 m 以浅,铜矿带处于下部,- 1 030 m 至- 50 m 处。金铜矿矿石类型为低硫隐爆角砾岩型金铜矿石,矿石中金属

矿物主要为镜铁矿、黄铜矿、黄铁矿以及方铅矿^[16](图 3),有益化学组分主要为金、铜,并伴生银和硫,自然金嵌布在黄铁矿、黄铜矿及石英中。构造以角砾状为主,少量脉状、浸染状构造。



1—铜矿体;2—金铜矿体;3—钻孔及编号;4—隐爆角砾岩筒边界。

图 2 金线头金铜矿剖面图



a—镜铁矿化隐爆角砾岩矿;b—黄铁矿化隐爆角砾岩矿。

图 3 金铜矿隐爆角砾岩型矿石标本

3 外围找矿分析

研究区内次火山岩磁化率高,显示高磁异常,黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿引起 CSAMT 低阻异常,为了确定找矿靶区,在区内采用磁法和 CSAMT 物探方法进行测量。

3.1 地面高精度磁法测量异常特征

高精度磁测显示研究区处于地磁低背景场(图 4)。七宝山金铜矿西北侧为高磁异常,规模大,强度高,异常最高值为 2 577 nT,推测为辉石闪长岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩引起的。金铜矿处于高磁和低磁的梯度带部位,异常值为-100 nT~800 nT,强度中等,岩石受热液影响,产生了矿化蚀变,使原有的磁性降低或消失。

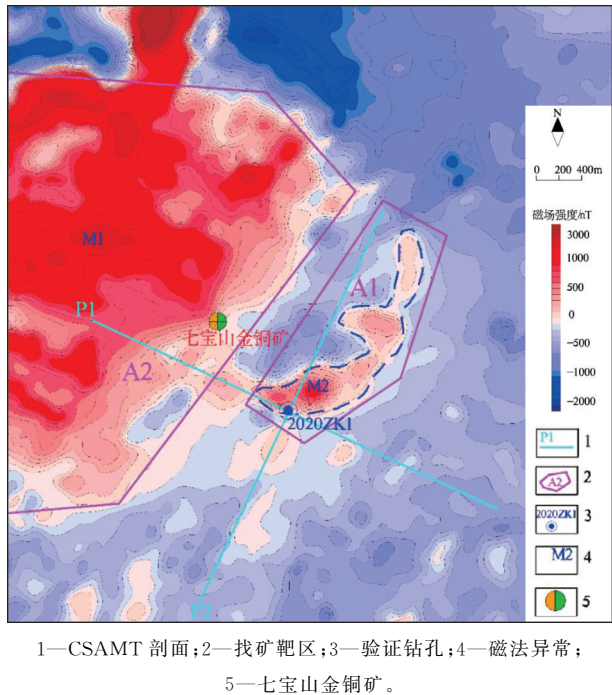


图 4 研究区磁测异常图

通过对研究区磁测结果进行分析解译,共圈定了 2 处高磁异常(图 4)。分述如下:M1 异常区位于金铜矿西北,ΔT 最大值为 2 577 nT。异常呈近 EW 向椭圆状展布,长轴约 1.7 km,短轴约 1.2 km。该区地表出露岩性为辉石闪长岩、闪长玢岩、安山玢岩,推测该异常是由次火山岩引起的;M2 异常区位于金线头村东侧,ΔT 最大值为 1 123 nT。异常呈 NE 向(40°)圆弧状展布,长约 1.2 m,宽约 220 m,在其北侧伴生明显负磁异常,地表出露岩性为火山碎屑岩,推测异常是由隐伏次火山岩体引起的。

3.2 CSAMT 电阻率异常特征

为查明已有七宝山金铜矿电阻率异常特征,首先沿着金铜矿矿坑南侧的 P1 线进行了可控源测量(图 5)。结果表明:P1 线 6 000~6 400 m 区间,表层为中阻显示,反映的是第四系覆盖,中部为低阻,

反映的是含矿隐爆角砾岩、深部为中阻,反应深部为次火山岩体。七宝山金铜矿电阻率特征为中低阻。

P2 线北东端的 1 450~2 050 m 区间从表层到深部为中阻-低阻-中阻特征(图 6),对应的是磁梯度带异常段,西侧为低磁区,东侧为中磁区,ΔT 处于-400 nT~500 nT 之间,表层中阻推断为第四系—火山碎屑岩的反映,中部的低阻体推断为构造带反映,深部火山碎屑岩出现中阻特征。

3.3 短红外光谱蚀变测量

LIU 等^[17]2024 年在七宝山地区共采集了 244 件岩石样品,样品间隔为 150~200 m,矿化区域加密至 100 m,覆盖了七宝山杂岩体范围(图 7)。

所有采集的样品都在合肥工业大学进行了短波红外光谱分析,每个样本测试 3 个点,试验所用仪器为 FieldSpec 4。该方法基于反射和吸收模式,云母组矿物最常用的两个光谱参数是 Al-OH 的波长位置。在 1 900 nm 和 2 200 nm 处,云母矿物家族的吸收峰位置、吸收峰深度和其他参数可以直接获得。

通过短红外光谱蚀变测量,采集样品中共鉴定出了 4 种蚀变矿物:伊利石、绿泥石、蒙脱石和高岭石(图 7)。其中,伊利石是最广泛发育的蚀变矿物,其次是蒙脱石和绿泥石。伊利石在铜金矿床和多金属矿床的脉岩中都有发现。蒙脱石通常发育在伊利石带的外围。在多金属矿床中,蚀变矿物从矿体附近到外围逐渐从伊利石过渡到蒙脱石。绿泥石蚀变与岩性有关,仅在火山碎屑岩中少量发育,在安山玢岩中很少发育,通常与伊利石共生,无明显分带。

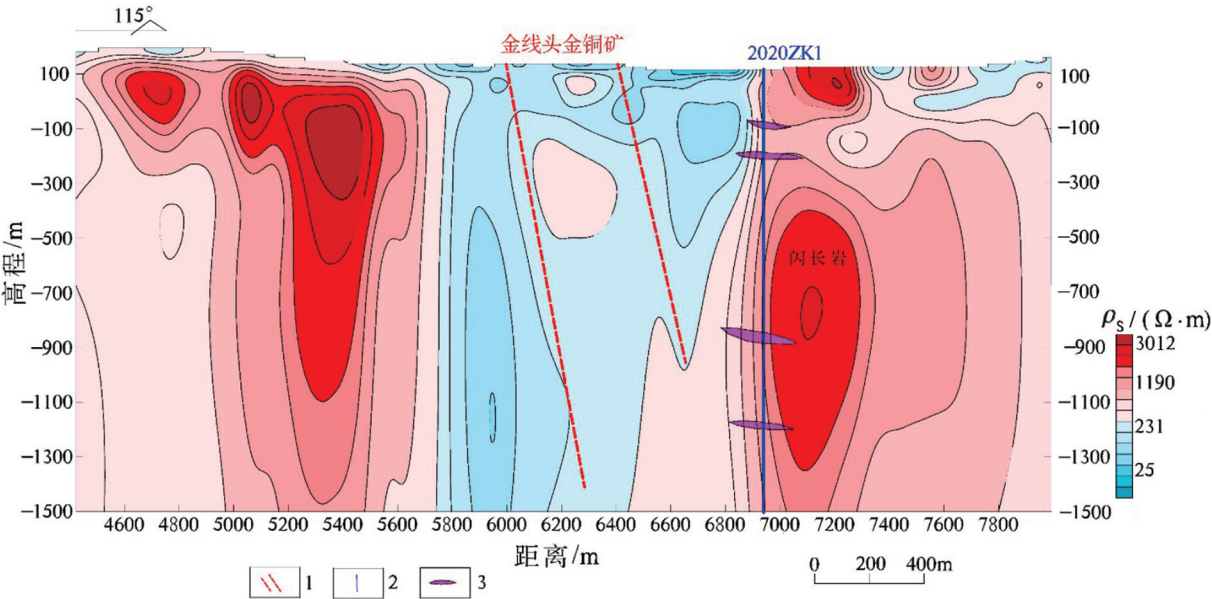
综上所述,伊利石是矿区的主要蚀变矿物,偶尔有绿泥石出现,主要沿七宝山的两侧发育,向外围逐渐过渡为蒙脱石。在整个矿区,蚀变作用表现出明显的分带性。

4 讨论

4.1 七宝山金铜矿物探异常对勘查的指示意义

七宝山金铜矿处于高磁异常与低磁异常接触的梯度带部位,深部物探特征显示为低磁、中阻异常。高磁与低磁接触带通常指示地质构造复杂区域,如断裂带或岩性接触带,为含矿热液运移和沉淀提供了通道和富集空间,往往是金铜及多金属矿化集中区。矿化蚀变过程中,岩石中的金属硫化物导电性

较好,会降低电阻率,形成低阻异常,七宝山金铜矿硅化、黄铜矿、黄铁矿发育,可控源特征显示为中低阻。故研究区内高低磁梯度带和电阻率中低阻区具有较好的找矿潜力。



1—隐爆角砾岩筒位置;2—验证钻孔位置;3—隐伏铜及多金属矿体。
图 5 P1 线 CSAMT 电阻率剖面图

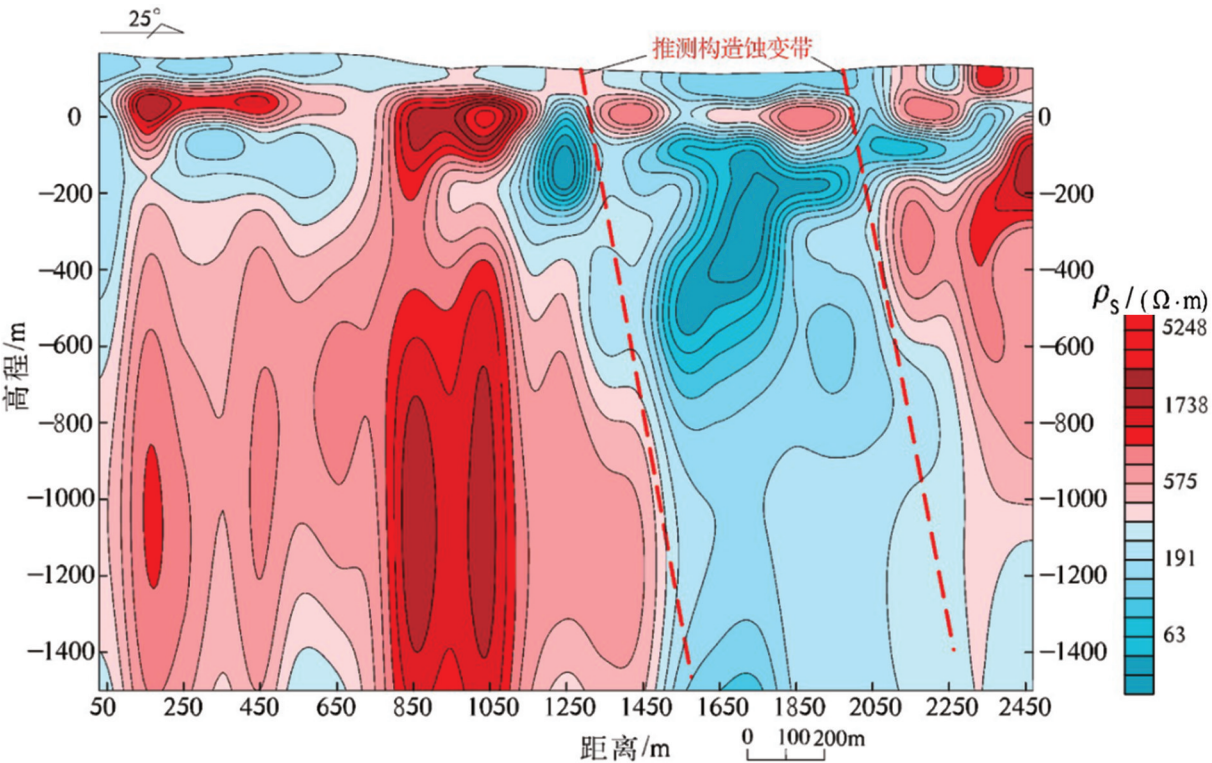


图 6 P2 线 CSAMT 电阻率剖面图

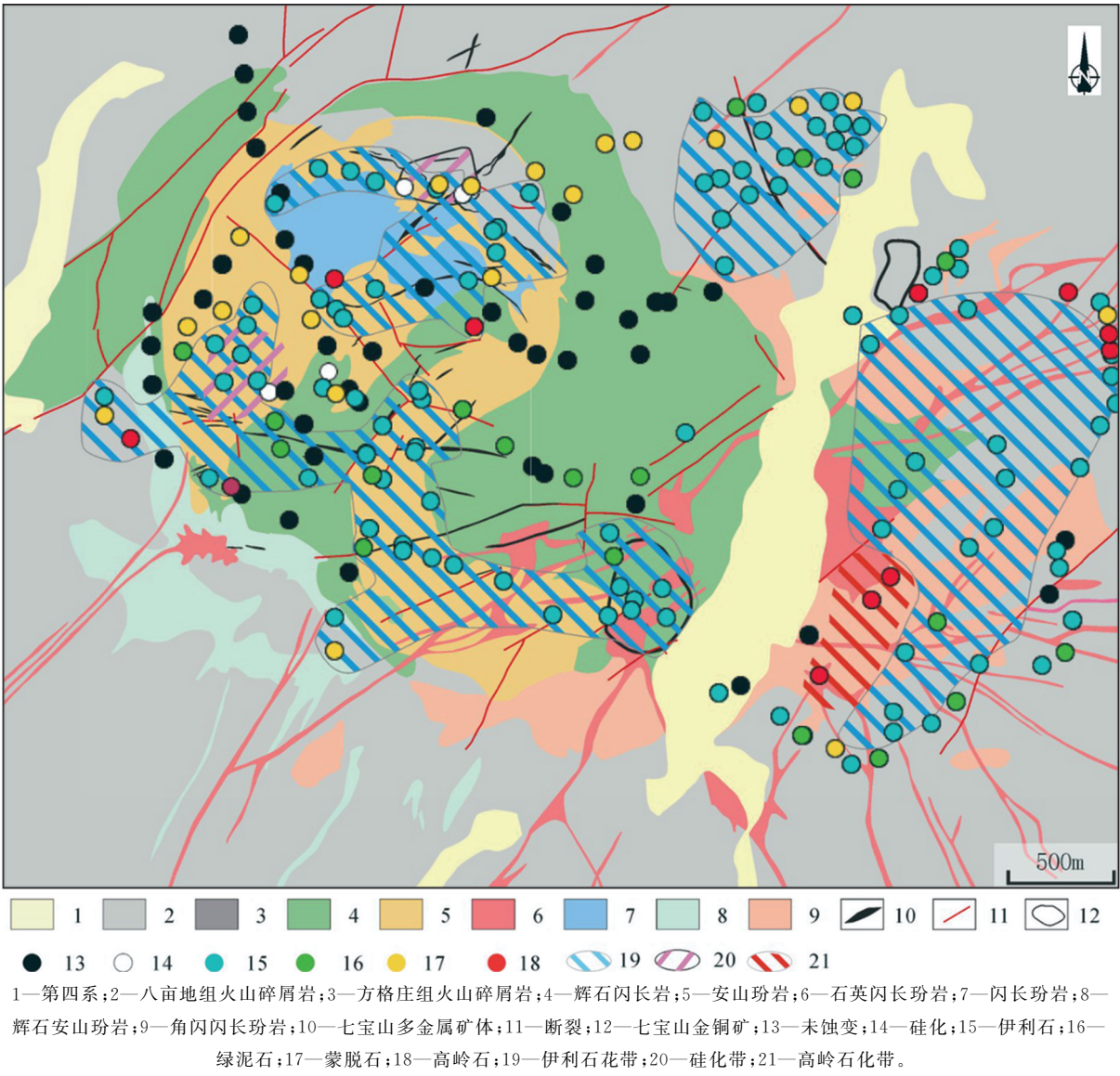


图 7 七宝山矿区样品分布及蚀变图^[17]

4.2 矿物蚀变特征对勘查的指示意义

在岩浆热液运移过程中,温度从热液中心向外围逐渐降低,pH 逐渐升高^[18]。在七宝山地区,从推测的东部热液中心到西部的多金属矿床,伊利石 IC 值逐渐降低(图 8),反映了从东到西温度下降和 pH 上升的趋势,几个高 IC 值区对应了矿体的位置,矿区中高 IC 值的伊利石可以作为找矿标志。由此推断,七宝山金线头金铜矿东侧为找矿有利区。

金线头矿床中黄铜矿的 Rb - Sr 测年结果为 (116.2±2.4)Ma(李双飞,未发表数据),而七宝山矿床中闪锌矿的 Rb - Sr 测年结果则为 (113.9±2.1)Ma^[14],两者在误差范围内无法区分成

矿前后。年代演化、成矿及相关蚀变表明,推测七宝山地区是一个大型斑岩-低温热液系统^[17]。

4.3 靶区圈定

区内火山活动强烈,次火山岩发育,具有较好的成矿条件。磁异常多为七宝山杂岩体引起,低阻异常为含矿隐爆角砾岩,梯度带为构造蚀变带或岩体边界引起,化探异常为含矿构造引起。通过对矿区地物化资料综合研究,优选 A 类找矿靶区 2 处。

A1 找矿靶区位于七宝山金铜矿东南侧。热液蚀变中心位置,M2 磁异常分布其中,呈 NE 向展布,ΔT 化极异常值为 0~1 000 nT,异常强度一般,较为平缓,地表出露火山碎屑岩,推断为隐伏次火山岩引起。通过 P1 线可控源剖面对 M2 地磁异常南

部进行测量,发现多处构造蚀变带,且在中深部出现低阻特征。成矿条件与七宝山金铜矿类似,寻找与

岩浆岩有关的热液型金铜矿潜力较大。

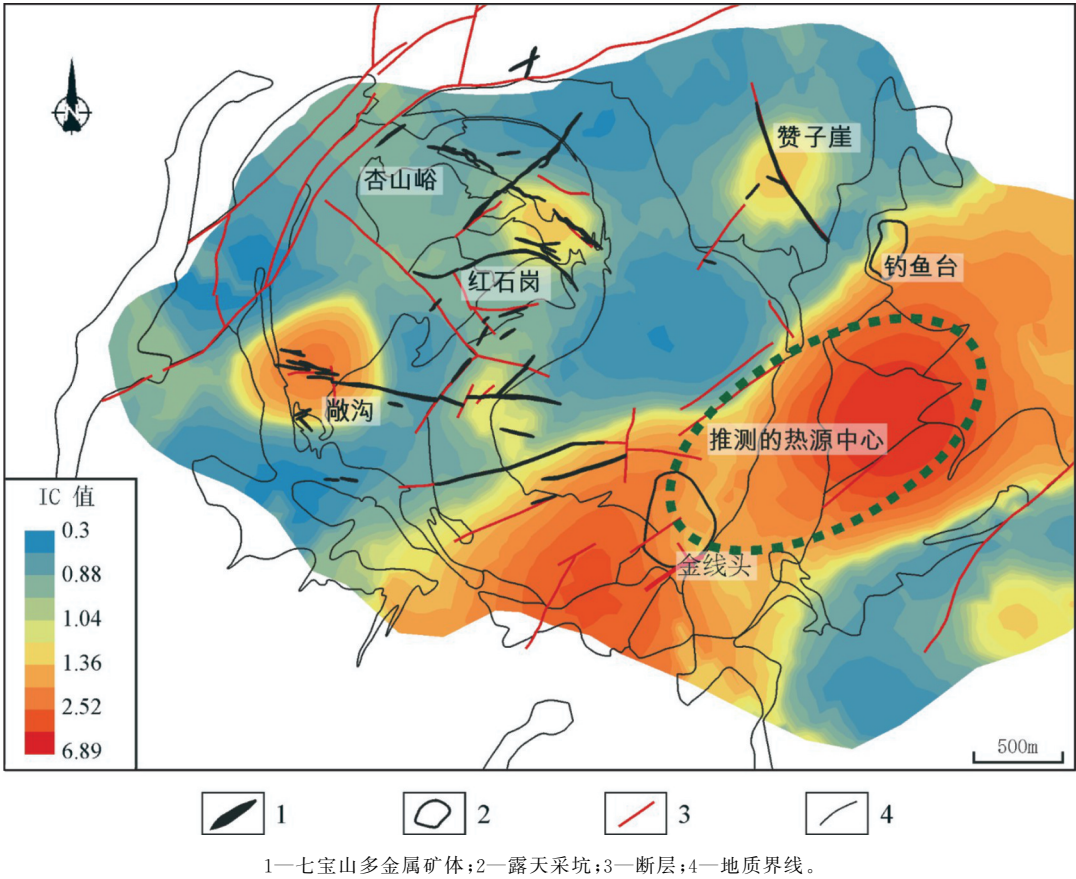


图 8 七宝山区伊利石 IC 值分布图^[17]

A2 找矿靶区位于七宝山金铜矿西侧。区内分布有高磁异常 M1, 整体呈椭球状, 异常强度高、面积大, ΔT 化极异常值为 $0\sim2\,577\text{ nT}$, 为地表出露的次火山岩体引起, 七宝山金铜位于靶区东部高磁与低磁的接触部位。推断为七宝山地区火山活动中心, 火山活动形成隐爆角砾岩筒及次火山岩体, 杂岩体的内外接触带及次火山岩体中的构造有利于成矿, 是重要找矿目标^[19-25]。

5 验证成果

在 A1 找矿靶区的 P1 线 $6\,800\sim7\,000\text{ m}$ 之间施工了 2020ZK1 验证孔, 该孔于 $2\,027.20\text{ m}$ 终孔。钻孔揭露 7 条铜及多金属矿体。其中两条规模较大, 分述如下: ① 矿体位于孔深 $103.60\sim110.60\text{ m}$ 处, 见矿长度 7.0 m , 最高品位 $\text{PbZn}6.63\%\text{、Cu}0.59\%$ 。② 矿体位于孔深 $173.75\sim179.9\text{ m}$ 处, 矿心长度 6.15 m , 最高品位 $\text{PbZn}23.65\%\text{、Cu}2.41\%\text{、Ag}$

127.7 g/t 。铜及多金属矿体主要赋存于构造蚀变带中, 蚀变主要为伊利石化和硅化, 矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿(图 9), 脉石矿物主要为方解石、石英、绢云母。该靶区具有较大的找矿潜力。

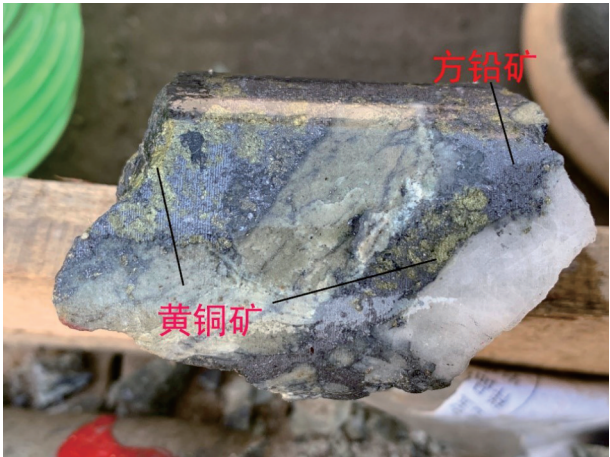


图 9 黄铜矿、方铅矿岩心

6 结论

根据七宝山金铜矿的地球物理特征,结合研究区成矿地质条件,通过钻孔验证,对七宝山金铜矿外围找矿潜力分析如下:

(1)从推断的东部热液中心向金线头,伊利石的 Pos2200 值逐渐增加。这些趋势表明流体演化特征为温度降低和 pH 增加,在东部热液中心有较好的找矿潜力。

(2)随着含矿热液的运移,在外围构造蚀变带内形成了多金属矿的水平分带成矿系列,隐爆角砾岩和构造蚀变带是区内重要的找矿有利部位。

(3)七宝山金铜矿物探异常特征为低磁、低阻, A1 靶区 P2 线东北端 CSAMT 低阻体及电阻率梯度带为重要找矿部位, A2 靶区东侧磁力梯度带是寻找与次火山岩活动有关的隐爆角砾岩型、热液型矿床的重要区域。通过钻孔验证,在 A1 找矿靶区发现隐伏的铜及多金属矿体,显示在该区具有较大的成矿潜力。

参考文献:

[1] 李双飞.“三位一体”找矿预测理论在山东省七宝山矿集区的应用[J].山东国土资源,2020,36(9):23-28.

[2] 周炳煌.山东五莲七宝山金铜矿特征及与隐爆角砾岩筒关系的探讨[J].地质找矿论丛,1986,1(3):59-67.

[3] 张小允,刘立金,陈恕昌,等.山东五莲七宝山金铜矿控矿因素及找矿方向[J].山东地质,2001,17(3/4):82-85.

[4] 孙思,李永刚,张小允,等.山东七宝山隐爆角砾岩型金铜矿床含矿蚀变斑岩石英颗粒中高温高盐度沸腾包裹体的发现及其意义[J].岩石学报,2010,26(11):3319-3326.

[5] 洪大军,宋世明,张旭,等.安徽宣城茶亭铜金矿区外围找矿潜力分析[J].中国地质调查,2022,9(3):23-31.

[6] 彭永和,彭艺媛,黄鹂,等.山东省五莲七宝山矿集区控矿构造特征及其意义[J].山东国土资源,2020,36(6):1-8.

[7] 李双飞,黄鹂.含矿地质体体积法在山东五莲七宝山地区铅锌矿资源潜力评价中的应用[J].矿产勘查,2020,11(6):1183-1190.

[8] 邹占春,张超,王峰,等.山东七宝山铜金矿与福建紫金山铜金矿对比研究[J].山东国土资源,2019,35(4):23-29.

[9] 田乃风,张帆,高宗军,等.山东五莲七宝山铜及多金属矿床成矿地质特征及找矿方向[J].山东国土资源,2011,27(4):8-11.

[10] 范伟顺,邹占春,唐秀花,等.五莲县七宝山多金属矿矿化特征及地球物理地球化学特征[J].山东国土资源,2019,34(2):18-23.

[11] 于兆安,李彩霞,张立荣.山东五莲七宝山窑头隐爆角砾岩筒矿化特征及意义[J].山东国土资源,2008,24(5):27-29.

[12] 彭永和,王申,李小陪,等.山东五莲七宝山多金属矿床勘查发现及启示[J].山东国土资源,2018,34(10):57-61.

[13] 王永.鲁西南地区晚中生代岩浆活动与金铜矿成矿作用[D].北京:中国科学院研究生院,2010:68-87.

[14] 李双飞,陈建,唐名鹰,等.胶莱盆地南缘五莲七宝山多金属矿床硫化物 Rb-Sr 年龄及其地质意义[J].地球科学与环境学报,2023,45(5):1149-1161.

[15] 李双飞,陈建,黄鹂,等.山东五莲七宝山地区长老庄隐爆角砾岩带特征及意义[J].山东国土资源,2023,39(3):23-29.

[16] 李双飞,黄鹂,陈建,等.山东省五莲七宝山金铜矿床成矿模式与找矿勘查模型:来自综合物化探的证据[J].地质与勘探,2023,59(5):961-973.

[17] LIU L H, CHEN J, LI X X, et al. Short wavelength infrared (SWIR) reflectance spectroscopy of alteration minerals of Qibaoshan ore district, Shandong Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 2024, 165(1): 1-12.

[18] Halley S, Dilles J H, Tosdal R M, et al. Footprints: hydrothermal alteration and geochemical dispersion around porphyry copper deposits[J]. SEG Discov, 2015, 100(1): 1-17.

[19] 司乃欣,张亚军,李俊志,等.山东海阳周格庄多金属矿化带地质特征及找矿标志[J].山东国土资源,2022,38(3):14-18.

[20] 谢奕汉,范宏瑞.祁雨沟隐爆角砾岩型金矿床流体包裹体特征及其在金矿评价中的应用[J].黄金,1991,12(11):1-4.

[21] 王长明,邓军,张寿庭.河南熊耳山地区花山花岗岩与金矿化关系[J].现代地质,2006,20(2):315-321.

[22] 毛景文,李晓峰,张荣华.深部流体成矿系统[M].北京:中国地质大学出版社,2005.

[23] 刘国华,许乐兵,田磊,等.河南祁雨沟隐爆角砾岩筒的侧向隐爆模式探讨[J].矿产勘查,2012,3(1):16-22.

[24] 高荣臻,吕新彪,杨永胜,等.黑龙江争光金矿床隐爆角砾岩特征及其地质意义[J].地质与勘探,2014,50(5):874-883.

[25] 王欣,陈建,李大鹏,等.山东五莲七宝山地区多金属矿体三维模型预测与评价[J].山东国土资源,2022,38(6):10-15.

Analysis on Prospecting Potential in Surrounding Areas of Qibaoshan Gold and Copper Deposit in Wulian County in Shandong Province

HUANG Li, ZHAN Honglei, ZHANG Lei, ZHAO Yongjian, ZOU Zhanchun, WANG Xin, ZHAO Jiaqiang, WANG Shouqiang, LI Shuangfei, ZHANG Chao, TANG Mingying

(No.8 Geological Team of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources(No.8 Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong Province), Key Laboratory of Nonferrous Metal Ore Exploration and Resource Evaluation of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Rizhao 276826, China)

Abstract: One medium sized gold and copper deposit and one medium sized polymetallic deposit have been discovered in Qibaoshan area in Wulian county. It is a terrestrial volcanic hydrothermal deposits. In recent years, a series of exploration work have been completed, and new prospecting achievements have been achieved. The gold, copper and polymetallic deposits are closely related to subvolcanic complex rock activity in Qibaoshan area. Subvolcanic intrusive rocks will cause high magnetic anomalies, while gold, chalcopyrite, galena and sphalerite will cause controlled source audio magnetotelluric (CSAMT) low resistance anomalies. It is found that anomalous characteristics of Qibaoshan gold and copper deposit are low magnetic and CSAMT low resistance. Combining with previous short infrared spectrum alteration measurements, it is determined that Qibaoshan area is the hydrothermal center. It will provide comprehensive exploration information for discovering gold, copper and polymetallic ore bodies in the deep surrounding areas of gold and copper deposit.

Key words: Cryptoexplosive breccia rock; mineralization characteristics; gold copper and polymetallic deposit; Qibaoshan area in Wulian county