

豫西蒲阵沟热液脉型铅锌多金属矿地球物理、地球化学异常特征及找矿模型

吴煜^{1,2}, 豆贯铭^{1,2}, 许保国³, 岳涛^{1,2}, 王建统^{1,2}, 李新萍^{1,2}

(1. 河南省第一地质矿产调查院有限公司, 河南洛阳 471000; 2. 河南省金银多金属成矿系列与深部预测重点实验室, 河南洛阳 471000; 3. 广东广物金属产业集团有限公司, 广东广州 510000)

[摘要] 豫西崤山地区是我国重要的金、银、钼、铜、铅锌多金属成矿区, 区内蒲阵沟铅锌矿为热液型矿床, 是蒲阵沟岩体西缘发现的首个铅锌多金属矿床, 伴生稀散元素铟金属量达到大型规模, 铅锌矿规模有望达到中型。多学科、多手段综合找矿方法的应用, 能有效提高地质、地球物理、地球化学综合异常解释的准确性。本文以豫西蒲阵沟铅锌多金属矿为例, 在综合运用地质、地球物理、地球化学等多种勘查手段的基础上, 首次建立了东秦岭成矿带热液脉型铅锌多金属矿(伴生铟、钨、镉等稀散元素)的综合信息找矿模型, 并总结了勘查工作流程, 以期为区域上寻找同类型铅锌多金属矿床提供参考和依据。该矿床的地球化学特征是以铅、锌、银为主的元素组合异常, 伴生有金、钨、砷、钼等元素异常; 地球物理特征以弱极化、低-中电阻率为主的激电异常特征。勘查工作流程及方法选择具体如下: 首先, 综合研究区域1:200,000、1:50,000水系沉积物测量的各类异常, 筛选重点找矿靶区。其次, 选择土壤化探扫面+激电中梯剖面扫面的地球物理-地球化学找矿方法组合, 对水系沉积物异常进行查证, 逐步缩小重点靶区的范围; 再次, 选择岩石化探剖面+槽探的地质-地球化学探测方法组合, 基本查明土壤异常产生的原因以及地表断裂构造蚀变带的含矿性; 最后, 利用大功率时间域激电测深+钻探的地质-地球物理找矿方法组合, 查明并验证矿体深部的延伸情况。

[关键词] 构造蚀变带 物化探异常 找矿模型 热液脉型铅锌多金属矿 蒲阵沟 崤山 豫西
[中图分类号] P618.42;P618.43 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2025)02-0321-13

Wu Yu, Dou Guanming, Xu Baoguo, Yue Tao, Wang Jiantong, Li Xinping. Geophysical and geochemical anomaly characteristics and ore prospecting model of the Puzhengou hydrothermal vein-type lead-zinc polymetallic deposit in western Henan Province[J]. *Geology and Exploration*, 2025,61(2): 0321-0333.

0 引言

华北陆块南缘的崤山南部地区, 属于东秦岭的一部分。区内成矿地质条件良好, 燕山期岩浆活动强烈, 形成了银家沟、夜长坪、秦池、后瑶峪、八宝山及蒲阵沟等岩体, 这些岩体严格受构造控制, 空间展布具有明显的方向性、等距性及分带性规律(胡浩等, 2011; 张哲铭等, 2019)。围绕上述中酸性侵

入岩体, 已发现数处中小型斑岩-矽卡岩型矿床, 找矿效果良好, 研究程度较高(陈衍景等, 1993; 杨德彬等, 2004; 王长明等, 2005; 颜正信等, 2007; 肖中军和孙卫志, 2007; 毛景文等, 2009; 毛冰等, 2011; 晏国龙等, 2012; 武广等, 2013; 李铁刚等, 2013; 曾令君等, 2013; 李文智等, 2014; 周栋等, 2015; 冷小明等, 2023; 刘玉刚等, 2023), 但是与之邻近的蒲阵沟岩体由于前期找矿效果较差、勘查投入有限, 找矿

[收稿日期] 2024-10-29; **[改回日期]** 2025-01-10; **[责任编辑]** 郝情情。

[基金项目] 河南省财政2019年度地质勘查基金项目(编号:豫自然资发[2019]22号-2)和河南省财政2021年度地质勘查基金项目(编号:豫自然资发[2021]7号-3)联合资助。

[第一作者] 吴煜(1986年-), 男, 2012年毕业于中国地质大学(北京), 矿产普查与勘探专业, 获硕士学位, 高级工程师, 从事地质矿产勘查和研究工作。E-mail: 77301329@qq.com。

[通讯作者] 豆贯铭(1985年-), 男, 2013年毕业于太原理工大学, 矿产普查与勘探专业, 获硕士学位, 高级工程师, 从事地质勘查和研究工作。E-mail: 124573995@qq.com。

工作一直未取得有效突破。

近些年,通过河南省财政地质勘查资金的持续投入,在综合运用地质、物化探等工作手段的基础上,在蒲阵沟岩体边部新发现铅锌银多金属含矿构造蚀变带1条,并在深部控制到了厚度较大的铅锌银多金属矿体,伴生铜、铀等稀有元素,实现了蒲阵沟岩体地质找矿的重大突破。截至目前,初步估算铅锌资源量8.3万吨,银资源量105吨,伴生的稀有金属铜金属量285吨,镉金属量78吨,铀金属量17吨,其中,铜金属量达到大型规模,铅锌资源量有望达到中型以上规模。

建立地质找矿模型对于指导矿产勘查具有重要的理论和实际意义(施俊法等,2011;王瑞庭等,2015;朱文杰等,2015;郎兴海等,2017;钟福军等,2017;鲍中义等,2018;何鹏等,2018;程远等,2018;邱辉等,2019;李飞等,2020;李惠等,2020;缪宇等,2020;白德胜等,2021;杨海涛等,2022)。本次以蒲阵沟热液脉型铅锌多金属矿为例,通过对其成矿地质背景以及地质、物化探异常特征的研究,在总结矿床的地质、物、化探找矿标志以及勘查方法组合流程的基础上,首次建立了该区热液脉型铅锌多金属矿(伴生铜、铀等稀有金属)的综合信息找矿模型,以期为区域寻找相同类型矿床提供参考。

1 区域地质背景

豫西蒲阵沟铅锌银多金属矿区位于灵宝市朱阳镇,区域大地构造单元属华北陆块南缘华熊地体西南卢氏-栾川拗陷西北。区域西北侧紧邻秦岭造山带,受秦岭造山带的影响强烈,同时也受新华夏构造系的明显影响。华熊地体呈典型的盆、岭相间的盆岭地貌特征,成矿地质条件良好。

区域上出露地层由老至新分别是:中元古界熊耳群的斑状、杏仁状安山岩、新元古界官道口群的白云岩、白云质灰岩、新元古界陶湾群的大理岩以及新生界第四系洪冲积物(李文智等,2014)。区内断裂构造以北北东向、北东向以及近东西向的逆冲断裂为主,沿着近东西向断裂和北东向断裂构造的交叉部位,燕山期的岩浆活动上侵形成中酸性的岩浆岩体,并控制了灵宝南部朱阳-卢氏西部地区众多斑岩-矽卡岩型铜、铁铅锌多金属矿床的形成(胡浩等,2011)(图1)。

2 矿区地质特征

蒲阵沟铅锌多金属矿区出露地层包括中元古界

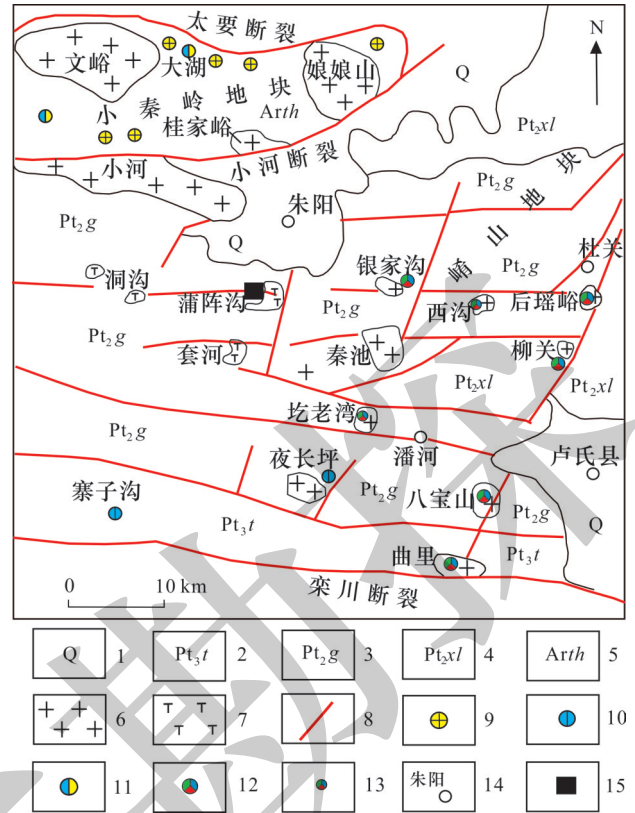


图1 东秦岭崤山南部地区区域地质简图

Fig. 1 Sketch geological map of the south Xiaoshan area in east Qinling Mountains

1-第四系沉积物;2-新元古界陶湾群;3-新元古界官道口群;4-新元古界熊耳群;5-太古界太华群;6-中生代花岗岩基;7-中生代闪长岩;8-断裂;9-金矿床;10-钼矿床;11-金钼矿床;12-多金属矿床;13-多金属矿点;14-城镇;15-蒲阵沟铅锌矿

1-Quaternary sediments;2-Neoproterozoic Taowan Group;3-Neoproterozoic Guandaokou Group;4-Neoproterozoic Xiong'er Group;5-Archean Taihua Group;6-Mesozoic granitic batholith;7-Mesozoic diorite;8-fault;9-gold deposit;10-molybdenum deposit;11-gold-molybdenum deposit;12-poly-metallic deposit;13-polymetallic ore spot;14-town;15-Puzhengou lead-zinc deposit

官道口群的碎屑岩和碳酸盐岩及新生界第四系洪冲积物(图2)。区内岩浆活动较强,在矿区东南角发育燕山期蒲阵沟岩体,岩性主要为石英闪长岩,石英闪长岩体受近东西向、北西向和北北东向断裂控制,以蒲阵沟村为中心形成似不规则状三角形。

矿区构造主要是断裂构造,F1是主要的含矿断裂(图2),长度3.1 km,宽度1~3.5 m,倾向北西,倾角25°~49°,断裂构造的上盘地层为龙家园组一段的白云岩,断裂下盘地层为高山河组三段的石英砂岩,构造带岩性以硅化、铅锌矿化的碎裂岩和蚀变岩为主。矿体主要赋存在龙家园组一段和高山河组三段两组地层接触带附近的F1构造蚀变带中,矿体的形态、

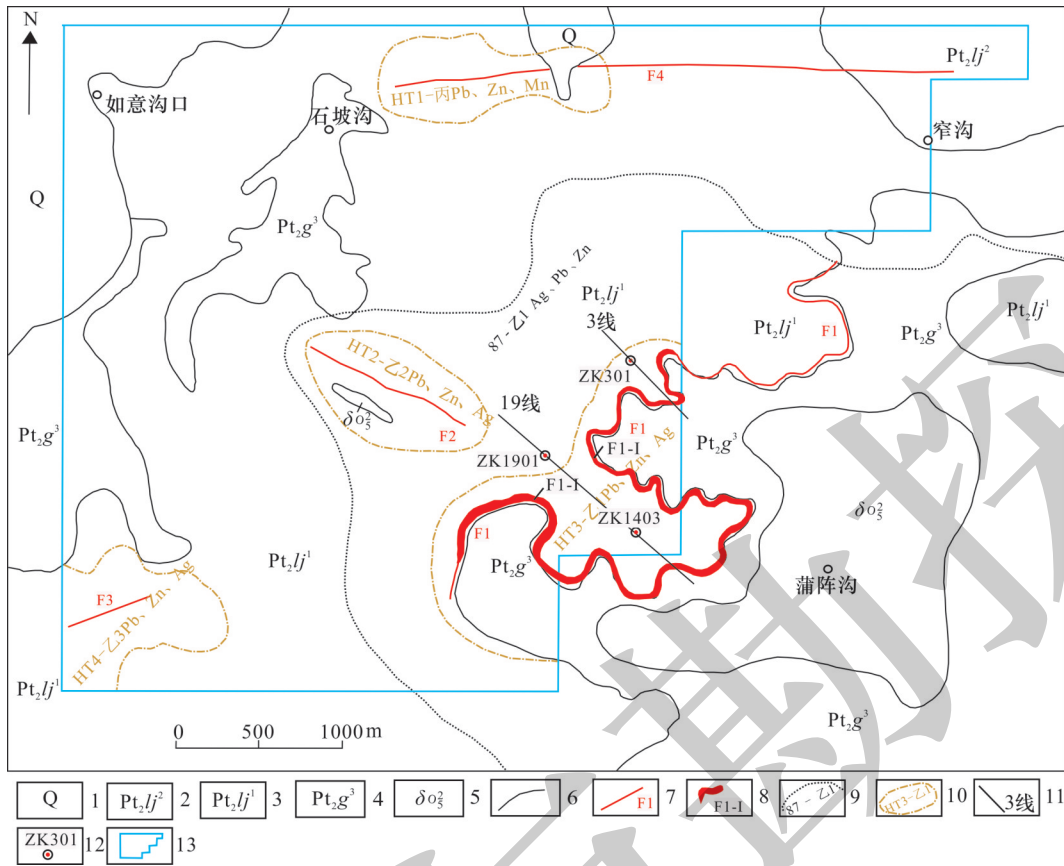


图 2 蒲阵沟铅锌多金属矿区地质简图及地球化学异常分布图

Fig. 2 Map showing simplified geology and geochemical anomaly distribution of the Puzhengou lead-zinc polymetallic deposit

1-第四系;2-官道口群龙家园组二段;3-官道口群龙家园组一段;4-官道口群高山河组三段;5-燕山期石英闪长岩;6-地质界线;7-断层;8-铅锌银矿体;9-1:5万水系沉积物异常;10-1:1万土壤地球化学综合异常;11-地质剖面;12-施工钻孔位置;13-矿区范围
 1-Quaternary; 2-second member of Guandaokou Group Longjiayuan Formation; 3-first member of Guandaokou Group Longjiayuan Formation; 4-third member of Guandaokou Group Gaoshanhe Formation; 5-Yanshanian quartz diorite; 6-geological boundary; 7-fault; 8-lead-zinc-silver orebody; 9-1:50000 stream sediment anomaly; 10-1:10000 soil geochemical anomaly; 11-geological profile; 12-location of borehole; 13-deposit location

产状严格受 F1 含矿断裂构造带控制,呈脉状产出。矿体顶底板围岩主要有细晶白云岩、含硅质条带(条纹)白云岩、石英砂岩以及这些岩石经动力变质而形成的一系列碎裂岩。近矿围岩蚀变主要是硅化、黄铁矿绢英岩化。矿区范围内 F2、F3 以及 F4 断裂,仅 F2 断裂在地表见到零星的方铅矿化、褐铁矿化,未能圈定出铅锌矿体,简述其断裂构造特征如下: F2 断裂分布在矿区中部,地表断续出露长度 600 m,宽度 1.8~2.4 m,产状 $216^{\circ}\sim 221^{\circ}\angle 67^{\circ}\sim 81^{\circ}$ 。构造带内岩性主要为碎裂岩。蚀变主要为碳酸盐化、高岭土化等。主要金属矿化为方铅矿化、褐铁矿化、赤铁矿化等。围岩为龙家园组一段白云岩。 F3 断裂位于矿区西南部,出露长度 510 m,北东走向,倾向北西,倾角 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$,宽度 1.5~2.0 m。构造带内岩性为碎裂岩、碎裂白云岩等。构造带内矿化蚀变较弱,主要是高岭土化、弱硅化、褐铁矿化。 F4 断裂位于矿区北

部,为区域断裂的一部分,在矿区内断续出露长度 3.6 km,近东西走向,倾向北,总体倾角 $70^{\circ}\sim 75^{\circ}$,宽度 1.5~6.0 m。构造带内岩性为碎裂岩、构造角砾岩、构造泥砾岩等。构造带内矿化蚀变较弱,主要为绢云母化、碳酸盐化、局部具弱褐铁矿化和弱硅化。围岩蚀变以较弱的绢云母化为主。

蒲阵沟铅锌多金属矿区的矿石结构以碎裂结构为主。铅锌矿石的构造主要包括条带状构造和团块状构造(图 3a、3b)。岩矿鉴定结果显示:金属矿物以方铅矿、闪锌矿、黄铁矿为主,另有少量的黄铜矿,约占矿石矿物总量的 5%~10%(图 3c、3d)。而脉石矿物以石英和白云石为主,其次是绢云母、方解石等,占矿物总含量的 85% 以上。根据矿石物相分析结果统计,蒲阵沟矿区的铅锌矿石以原生矿为主,仅在地表探槽中见少量的氧化矿,因此矿石的工业类型主要是硫化矿石。

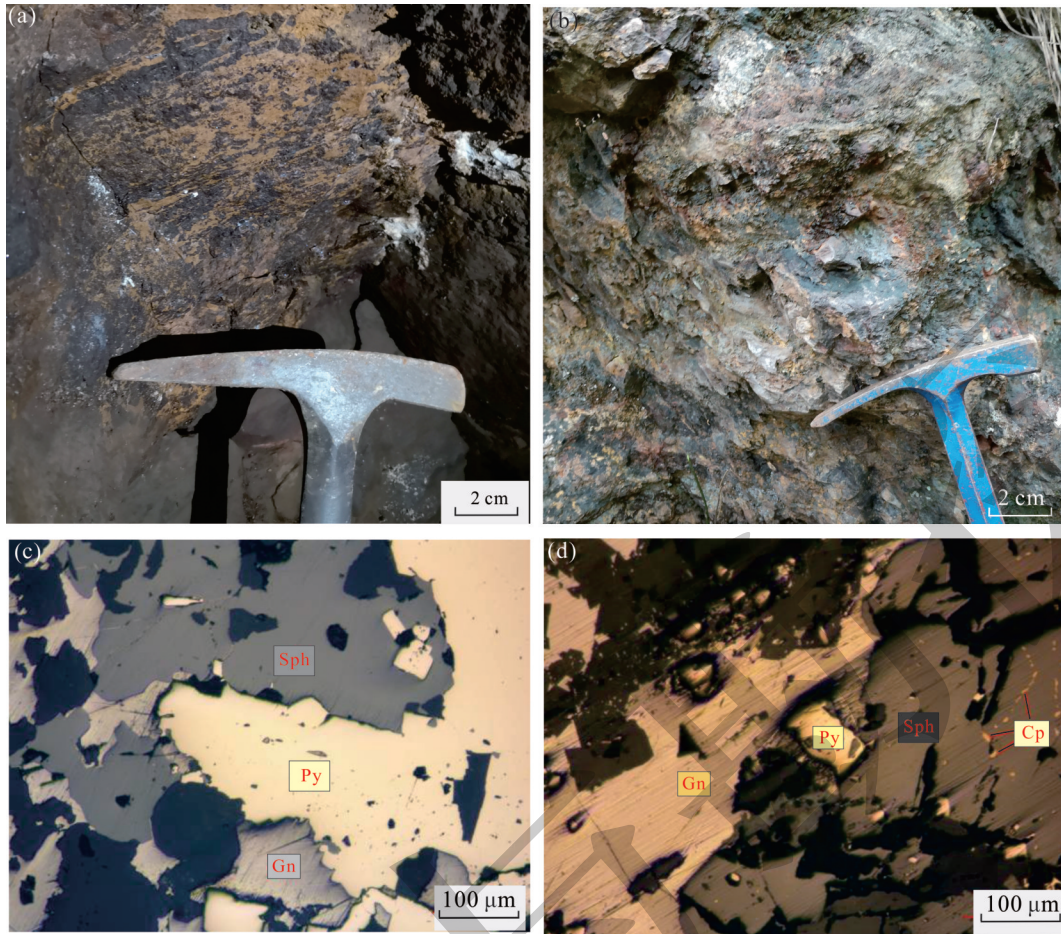


图3 蒲阵沟铅锌银多金属矿床矿石特征

Fig. 3 Characteristics of ores in the Puzhengou lead-zinc polymetallic deposit

a-条带状构造;b-团块状构造;c-条带状构造矿石显微照片;d-团块状构造矿石显微照片;Py-黄铁矿;Sph-闪锌矿;Gn-方铅矿;Cp-黄铜矿
a-strip-like structure; b-lumpy structure; c-strip-like structure under microscope; d-lumpy structure under microscope; Py-pyrite; Sph-sphalerite;
Gn-galena; Cp-chalcopyrite

3 地球化学找矿方法

根据矿区主要断裂构造蚀变带以及1:50,000水系化探异常的分布特征,部署覆盖整个矿区范围的1:10,000土壤地球化学测量,重点查证87-乙₁Ag、Pb、Zn水系沉积物异常。本次1:10,000地球化学测量工作,共采集了4575件土壤样品,网度为200 m×20 m,采样剖面的方向为南北向,分析项目包括Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、W、Mo、As、Sb、Bi和Ba等共12种元素,一共圈定了4处地球化学综合异常(图2)。4个综合异常中,其主成矿元素均为Pb、Zn,伴生有Ag、Au、W、Mo等元素,表明区内成矿元素的活化、迁移、富集与中低温热液密切相关,并受高温热液的叠加影响,成矿过程具有多期性、多阶段性。

本次圈定的综合异常中,HT3-乙₁Pb、Zn、Ag异常强度最高,异常区面积2.16 km²,异常呈长条状,

走向近北东,东南方向未封闭。该异常的主成矿元素是铅、锌和银,伴生有金、钨、砷、钼等元素,异常的元素组合复杂,套合较好。异常区内铅单元素异常强度高、浓度梯度大,具有三级浓度分带(图4),异常点数达239个,最高含量达 2000×10^{-6} ,异常均值为 136.1×10^{-6} ,衬值为2.3,异常规模大,面积达1.542 km²。异常浓集中心呈串珠状近北东向展布,在异常浓集中心区域通过岩石地球化学剖面测量结合路线地质调查,新发现了F1铅锌矿化构造蚀变带,确定为矿致异常,是后续深入勘查的首选重点靶区。

4 地球物理找矿方法

4.1 岩矿石物理性质基础

地球物理找矿的基础是岩、矿石的物理性质(李水平等,2019)。对蒲阵沟铅锌多金属区内主

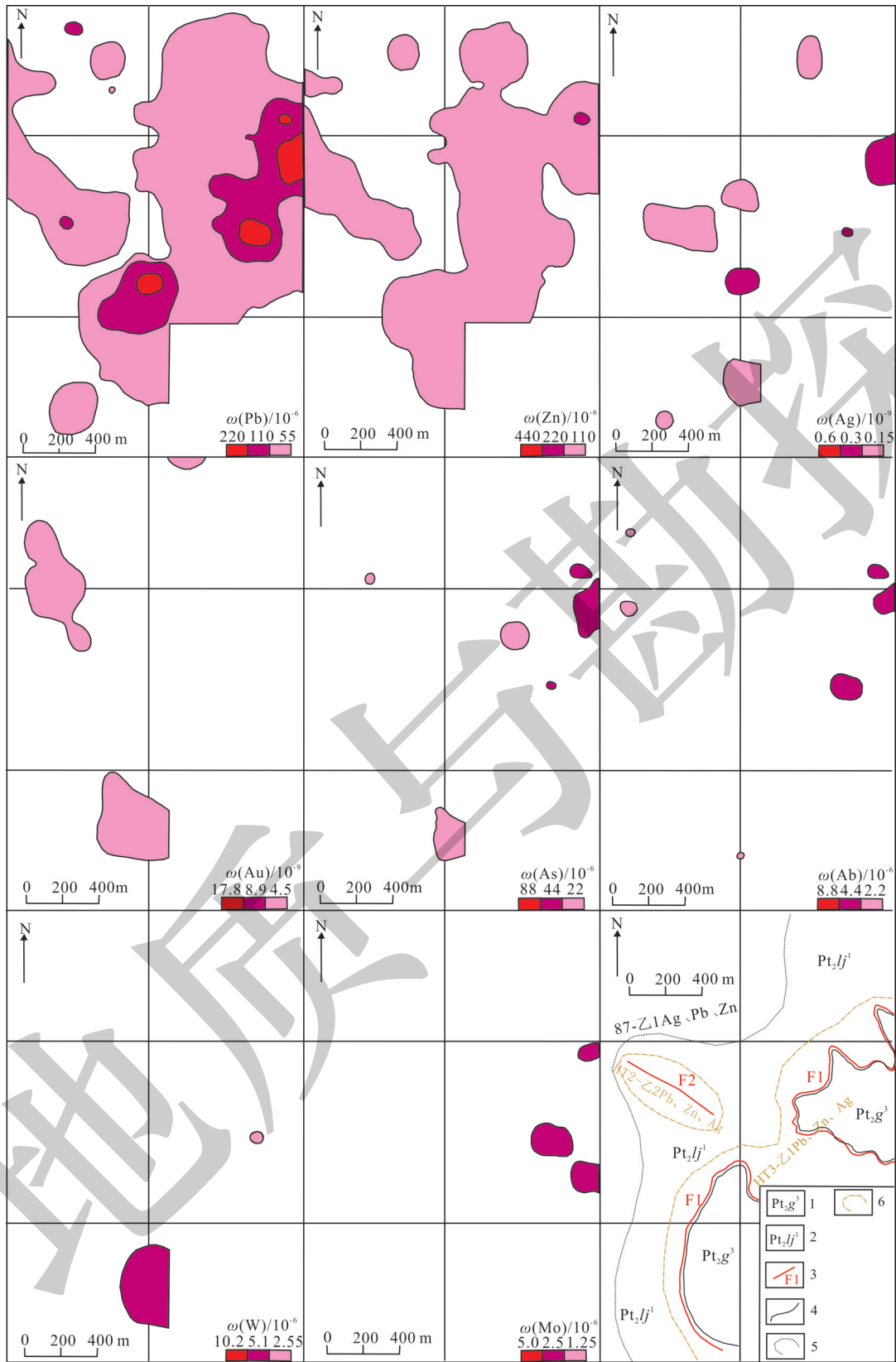


图 4 蒲阵沟矿区 HT3-乙₁综合异常剖析图

Fig. 4 Comprehensive anomaly analysis of HT3-YII in the Puzhengou deposit

1-高山河组三段;2-龙家园组一段;3-断裂构造及编号;4-地质界线;5-1:5万水系沉积物异常;6-1:1万土壤地球化学综合异常
 1-third member of Gaoshanhe Formation;2-first member of Longjiayuan Formation;3-fault and numbering;4-geological boundary;5-1:50,000 stream sediment anomaly;6-1:10,000 soil geochemical anomaly

要岩矿石的物理性质进行测量,其电阻率参数变化范围 1032~4357 $\Omega \cdot m$,极化率变化范围 0.48%~3.97%(表1),电阻率由高到低可分4个等级:高阻、中-高阻、低-中阻、低阻;极化率由强到弱划分为两个等级:弱极化和微极化。由岩矿石的物理性质参数结合对应的地质体及岩性,建立了蒲阵沟多金属矿区岩矿石的物理性质模型(表2),在龙家园组一段的地层中,细晶白云岩和砂状白云岩均具有“中-高阻、微极化”的物理性质特征,而硅质条带白云岩则具有“高阻、微极化”的物理性质特征;高山河组三段地层中,各类岩石物理性质不同,长石石英砂岩和石英砂岩均具有“高阻、微极化”的特征,而穿插其中的石英闪长岩脉具有“低阻、微极化”的特征;与各类围岩的物理性质不同,蒲阵沟矿区含矿构造蚀变带具有“低-中阻、弱极化”的物理性质特征。因此,在蒲阵沟铅锌银多金属矿区开展激发极化法物探工作是可行的。

表1 蒲阵沟矿区岩(矿)石电性参数特征统计

Table 1 Statistics of electrical parameters for rocks (ores) in the Puzhengou deposit

岩石名称	块数	电阻率 ($\Omega \cdot m$)	极化率 (%)	测定位置
细晶白云岩	39	2879	0.48	
硅质条带白云岩	10	4243	0.62	钻孔
砂状白云岩	9	3082	1.38	
构造蚀变岩(矿化碎裂岩、蚀变岩、矿石)	8	1686	3.97	钻孔
长石石英砂岩	6	4196	0.81	
石英砂岩	25	4357	1.05	钻孔
石英闪长岩脉	2	1032	1.72	钻孔

表2 蒲阵沟矿区岩(矿)石物性模型

Table 2 Model of physical properties of rocks and ores in the Puzhengou deposit

地质体及主要岩性	电阻率	极化率
细晶白云岩	中-高阻	微极化
硅质条带白云岩	高阻	微极化
砂状白云岩	中-高阻	微极化
含矿带: 构造蚀变带	低-中阻	弱极化
长石石英砂岩	高阻	微极化
石英砂岩	高阻	微极化
石英闪长岩脉	低阻	微极化

4.2 激电中梯异常特征

按照网度 100 m \times 20 m,在土壤地球化学测量 HT3 异常区域(图2),实施了 1:2000 激电中梯剖面测

量,测线方向 320°,整体上垂直于 F1 含矿断裂构造的走向,供电极距 $AB=1600$ m,测量极距 $MN=40$ m。蒲阵沟多金属矿区岩石极化率的背景值介于 0.48%~1.72%,电阻率的背景值介于 3082~4357 $\Omega \cdot m$ 之间,测量结果显示,矿区铅锌矿化构造蚀变带的出露位置以及矿化的范围等特性,可以通过激电中梯测量异常得到有效反映。当激电中梯视电阻率的异常下限设定为 3000 $\Omega \cdot m$,视极化率的异常下限设定为 2.05%,此时激电中梯异常(图 5a、图 5b)均呈环带状,与矿区主要含铅锌矿断裂构造蚀变带 F1 的出露位置基本吻合(图 5c),F1 断裂构造蚀变带和铅锌多金属矿体具有“低阻、高极化”的特性。

4.3 激电测深异常特征

为了解 F1 铅锌矿化构造蚀变带在深部的延伸情况,在土壤地球化学测量以及激电中梯剖面测量的基础上,在二者异常叠加区域开展激电测深剖面测量工作。剖面长度 500 m,测深点间距一般 40 m,到物、化探异常中心及构造蚀变带附近,测量点距加密至 10 m。

激电测深剖面 3 线的测量成果见图 6,从视电阻率断面图中(图 6a),可看到 1 个低阻电性体,该低阻电性体规模较大,但形态不规则,上部窄,向下逐渐变宽延伸至深部,电性体中心分别位于水平距离 $x=200$ m,高程 $h=880$ m 处以及水平距离 $x=400$ m,高程 $h=1080$ m 处。由极化率为 2% 等值线圈定的视极化率 η_s 断面图(图 6b)中,异常表现为串珠状排列的极化率明显高于周围的弱极化异常体,与低阻电性体(图 6a)的分布位置大致一致。根据蒲阵沟矿区的岩石物理性质特征,可推测上述激电测深异常是由铅锌等金属矿化引起的矿致异常,具有较大的找矿意义。低阻、弱极化异常体向 320° 方向中等倾斜,与野外地质调查测量的 F1 构造蚀变带以及铅锌矿(化)体的产状基本一致。

矿区地球物理探测结果表明:激电物探的技术手段,一方面,可以有效缩小前期土壤化探所圈定重点找矿靶区的范围,另一方面,可以有效推测主要含矿构造蚀变带在地表的分布特征以及矿(化)体深部延伸情况,从而为深部钻孔的施工提供了地球物理依据,后续钻探工程施工显示找矿效果良好。

5 综合找矿模式、找矿模型及工程验证

在综合研究蒲阵沟铅锌矿床的地质特征、地球

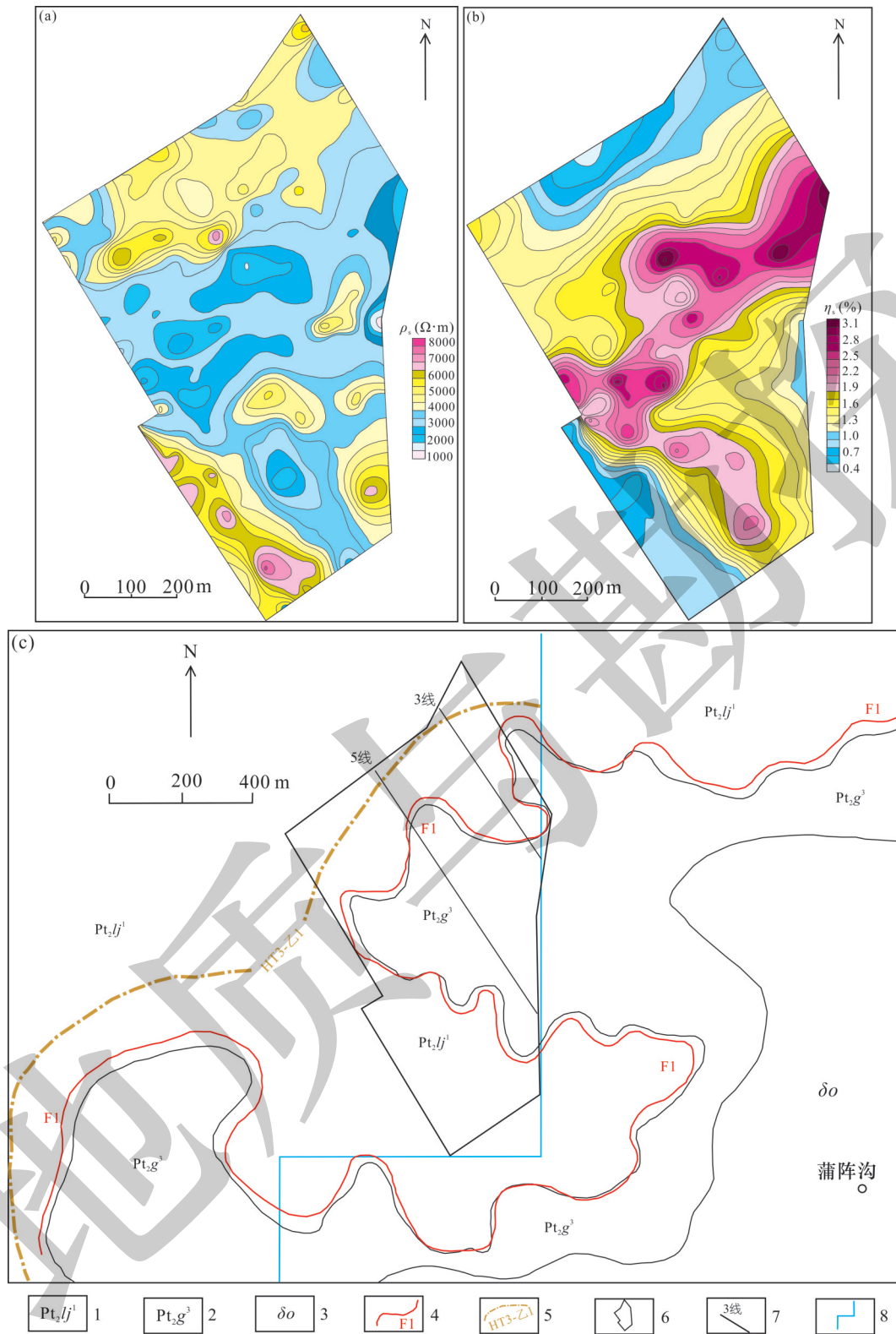


图 5 蒲阵沟矿区激电异常剖析图

Fig. 5 Analysis of IP anomalies in the Puzhengou deposit

a-激电中梯视电阻率(ρ_s)平面图;b-激电中梯视极化率(η_s)平面图;c-地质图;1-龙家园组一段;2-高山河组三段;3-石英闪长岩;4-断裂蚀变带;5-1:10000土壤地球化学异常范围;6-激电中梯测量范围;7-激电测深剖面;8-矿区东边界

a-planar view of apparent resistivity (ρ_s) measured by IP intermediate gradient array;b-planar view of apparent polarizability (η_s) measured by IP intermediate gradient array;c-geological map; 1-first member of Longjiayuan Formation; 2-third member of Gaoshanhe Formation; 3-quartz diorite; 4-fault alteration zone; 5-1:10000 soil anomaly area; 6-measurement range of IP intermediate gradient array; 7-IP sounding profile; 8-eastern boundary of the deposit

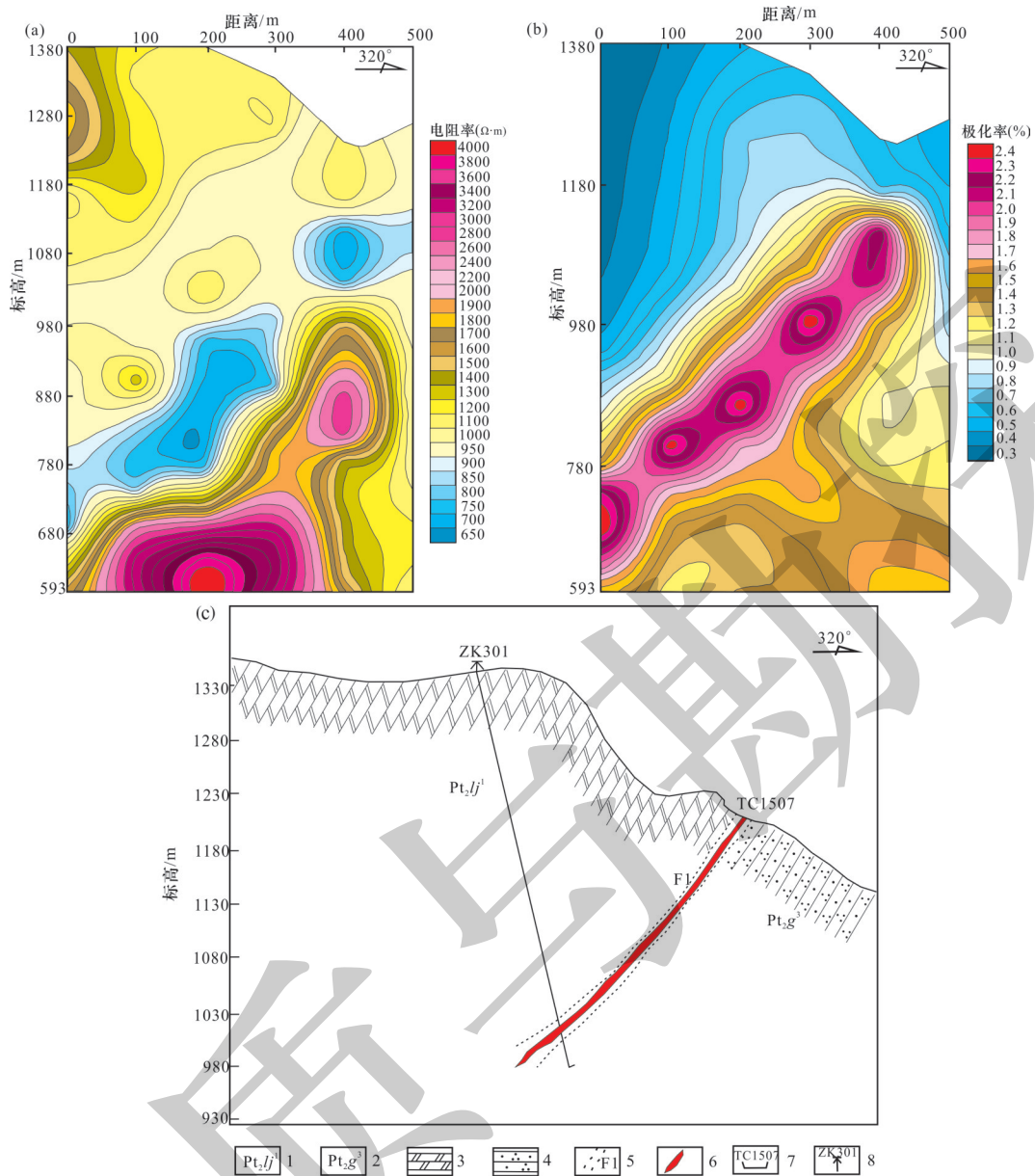


图6 蒲阵沟矿区3线地质-物探综合剖面图

Fig. 6 Comprehensive geological-geophysical profiles along prospecting line No. 3 in the Puzhengou deposit

a-激电测深视电阻率(ρ_s)断面图;b-激电测深视极化率(η_s)断面图;c-钻孔地质剖面图;1-龙家园组一段;2-高山河组三段;3-白云岩;4-石英砂岩;5-断裂蚀变带;6-铅锌矿体;7-探槽及编号;8-钻孔及编号

a-profile of IP sounding apparent resistivity (ρ_s); b-profile of apparent polarization rate (η_s) in IP sounding; c-geological profile of drillhole; 1-first member of Longjiayuan Formation; 2-third member of Gaoshanhe Formation; 3-dolomite; 4-quartz sandstone; 5-fault alteration zone; 6-lead-zinc ore body; 7-trench and number; 8-drillhole and number

物理异常特征以及地球化学异常特征的基础上,借助现代化的科技信息手段,初步建立了该矿床的地质-地球化学-地球物理综合找矿模式(表3),以及综合找矿模型(图7)。

5.1 综合找矿模式

结合蒲阵沟铅锌多金属矿区的勘查经验,通过对矿产勘查的地质、物化探方法进行优选和组合,总结提炼了适合本区域铅锌多金属矿的综合找矿模式为:

(1)研究区域化探,筛选重点靶区

综合研究区域 1:200,000、1:50,000 水系沉积物测量的各类异常,初步选择铅、锌、银等异常套合好、强度高、分布广的区域作为重点找矿靶区。

(2)实施土壤化探+激电中梯剖面物探,缩小重点靶区

在初步筛选的重点靶区实施中大比例尺(1:5,000~1:10,000)的土壤地球化学测量以及大功率激电中梯

剖面测量的地球物理、地球化学找矿方法组合,对各类地球物理、地球化学异常进行查证,优选蚀变强烈地段,缩小重点找矿靶区的找矿范围。

(3)实施岩石化探+槽探,查明断裂构造含矿性

在上述优选的蚀变矿化强烈地段,实施岩石地球化学剖面测量+槽探等地质、地球化学测量方法组合,基本查明土壤异常原因以及地表断裂构造蚀

变带的含矿性。

(4)实施激电测深物探+钻探工程,验证矿体深部特征

通过实施大功率的激电测深剖面测量工作,可以有效推断矿(化)体深部沿倾向方向的延伸情况,在优选的矿化富集部位实施钻探工程,验证矿体深部的延伸情况。

表3 蒲阵沟铅锌矿地质-地球化学-地球物理综合找矿模式

Table 3 Comprehensive geological-geochemical-geophysical prospecting model for the Puzhengou lead-zinc deposit		
勘查手段	找矿标志	矿化信息提取
地质	大地构造位置	华北陆块南缘华熊地体西南卢氏-栾川拗陷西北
	地层及岩性	官道口群高山河组石英砂岩和龙家园组白云岩
	岩浆岩	燕山期中酸性小岩体
	构造	东西向断裂构造与北东向断裂构造带交汇(北东向含矿)
	围岩蚀变	硅化、绢云母化、高岭土化
	矿体特征	铅锌矿体赋存在“硅钙面”附近的断裂构造中,呈不规则脉状
	矿石矿物	主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿,其次为黄铜矿、磁黄铁矿
地球化学	铅锌矿体元素分布	Pb、Zn、Ag呈强富集、强分异特征,Au、W、As、Mo呈强富集、强分异特征
	矿致元素异常组合	Pb-Zn-Ag-Au-W-As-Mo
	主要元素异常形态与分布范围	异常元素:Pb、Zn、Ag、Au、W、As、Mo,异常规模大、强度高,Pb、Zn、Ag元素异常套合好,浓集中心明显
地球物理	探测目标	断裂构造蚀变带
	目标物性特征	低-中电阻率、弱极化
	地表及深部异常特征	激电中梯异常、激电测深异常同地表铅锌矿化蚀变带及深部钻孔见矿位置基本吻合

5.2 综合找矿模型

5.2.1 地质找矿标志

铅锌矿体赋存在高山河组石英砂岩和龙家园组白云岩两组地层接触带附近的构造蚀变带内,“硅钙面”控矿特征明显。直接的找矿标志是构造蚀变带中的铅锌矿化,间接的找矿标志是硅化、高岭土化等围岩蚀变。

5.2.2 地球化学找矿标志

矿区地球化学找矿标志主要包括1:50000水系异常、1:10000土壤综合异常、岩石构造原生晕异常等,尤其是与铅锌矿化关系密切的Pb-Zn-Ag-Au-W-As-Mo等以中、高温元素为主的地球化学综合异常是直接的地球化学找矿标志。

5.2.3 地球物理找矿标志

激电中梯剖面测量圈定铅锌矿(化)体的大致分布范围,激电测深大致探明铅锌矿(化)体深部延伸情况,弱极化、低-中电阻率的激电异常特征是蒲阵沟铅锌矿(化)体的地球物理找矿标志。

5.3 工程验证及找矿效果

通过地质以及物、化探找矿方法的综合运用,

在蒲阵沟铅锌银多金属矿区3线及19线先后施工了3个钻孔,在钻孔深部均发现了铅锌银多金属矿体,并伴生稀散元素铟、铊等矿产。钻探验证结果说明本次勘查工作选择的地质、物、化探方法组合的有效性以及找矿模型的可行性。截至目前,初步估算铅锌矿金属量在8万吨以上,有望达到中型矿床规模;共伴生稀散元素铟金属量285吨,达到大型矿床规模,另外,共伴生铊金属量32吨,银金属量55吨,Cu金属量1547吨。

6 结论

(1)地质-地球化学-地球物理找矿技术的综合运用是豫西崤山南部蒲阵沟岩体外围铅锌多金属矿能够成功发现的关键,尤其是铟、铊等稀散金属的发现对整个区域上的空白区以及区域上传统老矿山寻找新矿种这一找矿方向具有很好的指示意义。

(2)蒲阵沟铅锌矿有效的地质、地球化学、地球物理找矿标志(“硅钙面”控矿特征明显、Pb、Zn、Ag为主的元素组合异常和弱极化、低-中电阻率激电

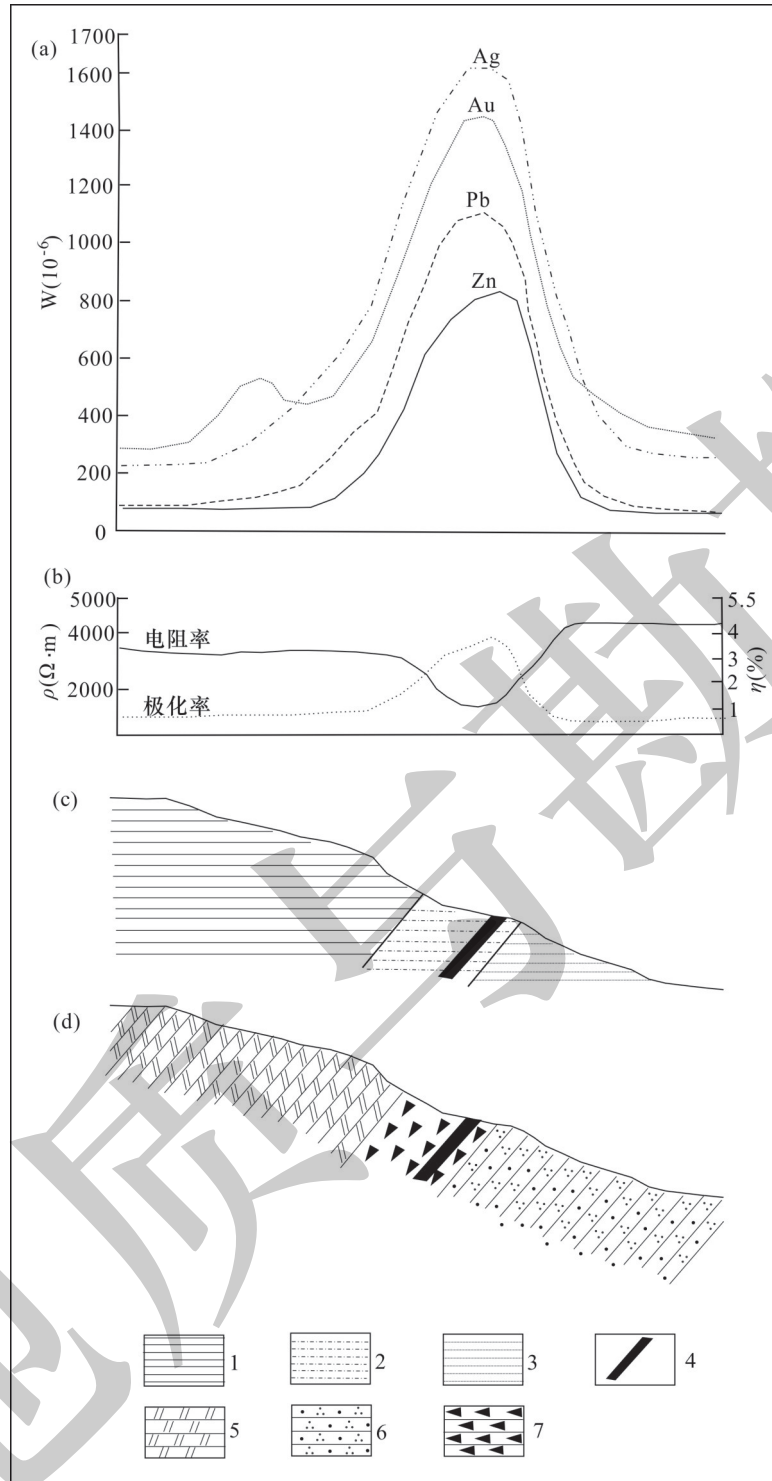


图7 蒲阵沟铅锌矿床地质-地球化学-地球物理综合找矿模型

Fig. 7 Comprehensive geological-geochemical-geophysical prospecting model for the Puzhengou lead-zinc deposit

a-土壤地球化学测量剖面;b-激电中梯测量剖面;c-岩石物性剖面;d-地质剖面;1-中高阻微极化体;2-低中阻弱极化体;3-高阻微极化体;4-铅锌矿体;5-白云岩;6-石英砂岩;7-碎裂岩

a-soil geochemical survey profile; b- IP measurement profile with intermediate gradient array; c-physical profile; d- geological profile; 1-micropolarized body with medium-high resistivity; 2-weak polarization body with low and medium resistivity; 3-micropolarized body with high resistivity; 4-lead-zinc ore body; 5-dolomite; 6-quartz sandstone; 7-cataclastic rock

异常特征),合理的勘查技术方法组合,为豫西地区热液脉型铅锌多金属矿(伴生铜、铀等稀散金属)综

合信息找矿模型的建立奠定了基础。矿区找矿模式以及找矿模型的归纳总结,为寻找同类型矿床具

有较好的参考价值。

[References]

- Bai Desheng, Li Shuiping, Zong Rui, Cheng Hua, Qi Yongpan, Zhang Ailing, Sun Jin, Zhao Huaqi. 2021. Geophysical and geochemical anomalies and ore prospecting model for the Dongjianshan structural altered rock type silver deposit in western Henan Province [J]. *Geology and Exploration*, 57(2): 241–253 (in Chinese with English abstract).
- Bao Zhongyi, Cao Deqiang, Lu He, Fan Jiameng, Guo Zhifeng, Liu Caijie, Yan Chunming, Liu Guodong. 2018. A prospecting model based on comprehensive information for the 284 East gold deposit in Wulate Middle Banner of Inner Mongolia [J]. *Geology and Exploration*, 54(3): 512–521 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Guo Kangheng. 1993. *Geology, geochemistry and genesis of the Yinjiagou skarn type gold deposit, Henan Province* [J]. *Mineral Deposits*, 12(3): 265–272 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuan, Qin Xi, Zhao Xiaoxiao, Wang Yaosheng, Qin Xueye, Song Shuangquan, Niu Yao, Cui Xiaoling. 2018. Geophysical characteristics and prospecting model based on comprehensive information in the molybdenum, lead zinc and silver polymetallic ore concentration area of the East Qinling Mountains [J]. *Geology and Exploration*, 54(4): 747–761 (in Chinese with English abstract).
- He Peng, Zhang Yuelong, Su Hang, Ma Yixing, Guo Shuo, Zhang Kuo, Zhang Tianfu. 2018. Application of the integrated ore-prospecting method in the Changtuxili Mn–Ag–Pb–Zn deposit, Inner Mongolia [J]. *Geology and Exploration*, 54(3): 501–511 (in Chinese with English abstract).
- Hu Hao, Li Jianwei, Deng Xiaodong. 2011. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating of granitoid intrusions related to iron–copper polymetallic deposits in Luonan–Lushi area of southern North China Craton and its geological implications [J]. *Mineral Deposits*, 30(6): 979–1101 (in Chinese with English abstract).
- Lang Xinghai, Cui Zhiwei, Wang Xuhui, Deng Yulin, Xie Fuwei, Han Peng, Yang Zongyao, Zhang Zhong, Huang Yong, Li Zhijun, Yin Qing, Zhang Jinshu, Ding Feng, Dong Shuyi, Wang Zizheng, Zhang Li. 2017. Comprehensive information prospecting model and target prediction for the Xiongcu area, Xietongmen County, Tibet [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 38(5): 790–802 (in Chinese with English abstract).
- Leng Xiaoming, Gao Fenghui, Wang Yawei, Yu Peigang, Ding Yi. 2023. Geological characteristics and genesis of the Babaoshan copper deposit in Lushi County of Henan Province [J]. *Geology and Exploration*, 59(1): 70–84 (in Chinese with English abstract).
- Li Fei, Dong Hao, Cui Zhiqiang, Xi Yongzai, Wang Dayong, Zhang Baowei, Zhu Wei. 2020. Application of integrated geophysical survey technology in the spatial distribution of Benchahe fault in Rudong mudflat area, Jiangsu Province [J]. *Geology and Exploration* 56(3): 566–579 (in Chinese with English abstract).
- Li Hui, Yu Bin, Wei Jiang, Li Yongcai, Wang Jun, Wei Zixin, Zhang Heran, Ren Liangliang, Wang Xu, Sun Fengzhou, Peng Wei, Li Shang, Si Shuyun, Yang Yajuan, Luo Xuefei. 2020. A new practical ideal model of structural superimposed halos for prediction of deep blind hydrothermal deposits and its significance [J]. *Geology and Exploration*, 56(5): 889–897 (in Chinese with English abstract).
- Li Shuiping, Si Jiantao, Cheng Hua, Mao Jinbiao, Cao Jie, Sun Jin, Zhang Yong, Gao Fuli. 2019. Application of time–domain IP sounding in the exploration of gold deposits in Tanzania [J]. *Progress in Geophysics*, 34(2): 588–595 (in Chinese with English abstract).
- Li Tiegang, Wu Guang, Chen Yuchuan, Li Zongyan, Yang Xinsheng, Qiao Cuijie. 2013. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Yinjiagou complex in western Henan Province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(1): 46–66 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenzhi, Guo Rui, Luo Mingwei, Shi Shuran, Fu Zhiguo. 2014. Geological features and prospecting mode of Yinjiagou pyrite polymetallic deposit in Lingbao County, Henan Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 29(3): 344–349 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yugang, Feng Shaoping, Zhang Sukun, Wang Xiaotao, Zhang Yijing, Cheng Beilei, Wen Long. 2023. Study on element geochemical characteristics of the Yinjiagou pyrite–polymetallic deposit, western Henan Province [J]. *Mineral Exploration*, 14(9): 1630–1640 (in Chinese with English abstract).
- Mao Bing, Ye Huishou, Li Chao, Xiao Zhongjun, Yang Guoqiang. 2011. Molybdenite Re–Os isochron age of Yechangping Mo deposit in western Henan Province and its geological implications [J]. *Mineral Deposits*, 30(6): 1069–1074 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Ye Huishou, Wang Ruiting, Dai Junzhi, Jian Wei, Xiang Junfeng, Zhou Ke, Meng Fang. 2009. Mineral deposit model of Mesozoic porphyry Mo and vein–type Pb–Zn–Ag ore deposits in the eastern Qinling, Central China and its implication for prospecting [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(1): 72–79 (in Chinese with English abstract).
- Miao Yu, Song Wenting, He Maoyuan, Xu Le. 2019. Multi–source geological information integration and ore–prospecting model in the Yunjing area, Midu County, Yunnan Province [J]. *Geology and Exploration*, 55(6): 1367–1378 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Hui, Xie Yugen, Li Peng, Li Jian, Zhang Xuanguo. 2019. Application of the integrated ore–prospecting method in the Danzhukeng Pb–Zn–Ag deposit, eastern Guangdong [J]. *Geology and Exploration*, 55(6): 1394–1403 (in Chinese with English abstract).
- Shi Junfa, Tang Jinrong, Zhou Ping, Jin Qinghua, Yang Zongxi, Zhu Lili, Jin Xi. 2011. A discussion on the exploration model [J]. *Geological Bulletin of China*, 30(7): 1119–1125 (in Chinese with English abstract).
- Wang Changming, Deng Jun, Zhang Shouting, Yan Changhai. 2005. Analysis of diversity of lead–zinc mineralization and prediction of ore deposits in the Lushi–Luanchuan area, Henan, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 24(10–11): 1074–1080 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ruiting, Wang Xiangyan, Ren Tao, Li Jianbin, Meng Deming, Dai Junzhi, Wang Tao, Zhang Sanmin. 2015. Study on exploration methods combination for porphyry– and skarn–type metal ore deposit in Zhashui–Shanyang concentration area [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 245–260 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guang, Chen Yuchuan, Li Zongyan, Liu Jun, Yang Xinsheng, Qiao

- Cuijie. 2013. Fluid inclusion and isotopic characteristics of the Yinjiagou pyrite-polymetallic deposit, western Henan Province, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 87 (3) : 353-374 (in Chinese with English abstract)
- Wu Guang, Chen Yuchuan, Li Zongyan, Yang Xinsheng, Liu Jun, Qiao Cuijie. 2013. Molybdenite Re-Os and sericite ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of Yinjiagou pyrite polymetallic deposit in western Henan Province, and their geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 32 (4) : 810-822 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Zhongjun, Sun Weizhi. 2007. Ore-forming conditions and prospecting of the Yechangping Mo-W deposit in Lushi County, Henan Province [J]. *Geological Survey and Research*, 30 (2) : 141-148 (in Chinese with English abstract).
- Yan Guolong, Wang Zuoman, Li Yongquan, Fu Yuanhui, Ding Gaoming. 2012. Re-Os isotope ages of molybdenite and their geological significance of Yechangping molybdenum deposit, Henan [J]. *Mineral Exploration*, 3 (2) : 184-193 (in Chinese with English abstract).
- Yan Zhengxin, Sun Weizhi, Zhang Niancheng, Zhou Mei, Huang Zhihua. 2007. Geological condition and prospecting of the Yinjiagou pyrite-polymetallic deposit in Henan Province [J]. *Geological Survey and Research*, 30 (2) : 149-157 (in Chinese with English abstract).
- Yang Debin, Xu Wenliang, Wang Dongyan, Wang Qinghai, Pei Fuping. 2004. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Quli quartz diorite porphyry, Sanmenxia City, Henan, and its geological significance [J]. *Geology in China*, 31 (4) : 379-383 (in Chinese with English abstract).
- Yang Haitao, Liu Xinwei, Wang Chao, Niu Liang, Hu Xishun, Men Wenhui, Yang Wengang. 2022. Geophysical and geochemical anomaly characteristics and ore prospecting model for the Sigou porphyry-skarn type tungsten-molybdenum deposit in Mangxi area [J]. *Geology and Exploration*, 58 (5) : 929-939 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lingjun, Xing Yucai, Zhou Dong, Zhao Taiping, Yao Junming, Bao Zhiwei. 2013. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and Hf isotope composition of the Babaoshan granite porphyries in Lushi County, Henan Province [J]. *Geotectonica et Metallogenic*, 37 (1) : 65-77 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zheming, Zeng Qingdong, Gao Shuai, Chu Shaoxiong, Li Deting, Cheng Zhandong, Ma Liusuo, Guo Yunpeng. 2019. The Rb-Sr isotopic dating of sulfides and geological significance of the Lushi polymetallic ore-concentrated area in southern margin of the North China Craton [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 35 (7) : 2013-2025 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Fujun, Pan Jiayong, Xia Fei, Zhang Yong, Liu Guoqi, Liu Ying. 2017. A study of an integrated anomaly model and an exploration model for uranium exploration in Yuhuashan area, Jiangxi Province [J]. *Geology in China*, 44 (6) : 1234-1250 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dong, Bao Zhiwei, Yao Junming, Zeng Lingjun, Zhao Taiping. 2015. Chemistry of pyrites from Babaoshan iron and copper polymetallic ore deposit in western Henan Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 39 (1) : 128-138 (in Chinese with English abstract).
- [附中文参考文献]
- 白德胜,李水平,纵瑞,程华,齐勇攀,张爱玲,孙进,赵华奇. 2021. 豫西董家垵构造蚀变岩型银矿物化探异常特征及找矿模型[J]. *地质与勘探*, 57 (2) : 241-252.
- 鲍中义,曹德强,卢贺,范家盟,郭志峰,刘彩杰,闫春明,刘国栋,李山. 2018. 内蒙古乌拉特中旗284东金矿区综合信息找矿模型[J]. *地质与勘探*, 54 (3) : 512-521.
- 陈衍景,郭抗衡. 1993. 河南银家沟矽卡岩型金矿的地质地球化学特征及成因[J]. *矿床地质*, 12 (3) : 265-272.
- 程远,秦曦,赵晓晓,王耀升,秦学业,宋双全,牛耀,崔小玲. 2018. 东秦岭钼铅锌银多金属矿集区地球物理场特征及综合信息找矿模型[J]. *地质与勘探*, 54 (4) : 747-761.
- 何鹏,张跃龙,苏航,马一行,郭硕,张阔,张天福. 2018. 综合找矿方法在内蒙古昌图锡力锰银铅锌矿勘查中的应用[J]. *地质与勘探*, 54 (3) : 501-511.
- 胡浩,李建威,邓晓东. 2011. 洛南-卢氏地区与铁铜多金属矿床有关的中酸性侵入岩锆石U-Pb定年及其地质意义[J]. *矿床地质*, 30 (6) : 979-1101.
- 郎兴海,崔志伟,王旭辉,邓煜霖,谢富伟,韩鹏,杨宗耀,张忠,黄勇,李志军,尹青,张金树,丁枫,董树义,王子正,张丽. 2017. 西藏谢通门县雄村矿集区综合信息找矿模型及靶区预测[J]. *地球学报*, 38 (5) : 790-802.
- 冷小明,高锋辉,王亚伟,俞培刚,丁毅. 2023. 河南省卢氏县八宝山铜矿床地质特征及成因[J]. *地质与勘探*, 59 (1) : 70-84.
- 李飞,董浩,崔志强,西永在,王大勇,张保卫,朱威. 2020. 滩涂区综合地球物理调查技术在拼茶河断裂空间展布中的应用[J]. *地质与勘探*, 56 (3) : 566-579.
- 李惠,禹斌,魏江,李永才,王俊,魏子鑫,张贺然,任良良,王旭,孙凤舟,彭伟,李上,司淑云,杨亚娟,骆雪飞. 2020. 热液型矿床深部盲矿预测的构造叠加晕实用理想模型及其意义[J]. *地质与勘探*, 56 (5) : 889-897.
- 李水平, 王建涛, 程华, 毛金彪, 曹杰, 孙进, 张勇, 高福利. 2019. 时间域激电测深在坦桑尼亚金矿床勘查中的应用例析[J]. *地球物理学进展*, 34 (2) : 588-595.
- 李铁刚,武广,陈毓川,李宗彦,杨鑫生,乔翠杰. 2013. 豫西银家沟杂岩体年代学、地球化学和岩石成因[J]. *岩石学报*, 29 (1) : 46-66.
- 李文智,郭锐,罗明伟,师书冉,付治国. 2014. 河南灵宝银家沟硫铁多金属矿床地质特征及成矿模式[J]. *地质找矿论丛*, 29 (3) : 344-349.
- 刘玉刚,冯绍平,张苏坤,王小涛,张怡静,程蓓蕾,文龙. 2023. 豫西银家沟硫铁多金属矿床元素地球化学特征研究[J]. *矿产勘查*, 14 (9) : 1630-1639.
- 毛冰,叶会寿,李超,肖中军,杨国强. 2011. 豫西夜长坪钼矿床辉钼矿铼-钷同位素年龄及地质意义[J]. *矿床地质*, 30 (6) : 1069-1074.
- 毛景文,叶会寿,王瑞廷,代军治,简伟,向君锋,周珂,孟芳. 2009. 东秦岭中生代钼铅锌银多金属矿床模型及其找矿评价[J]. *地质通报*, 28 (1) : 72-79.
- 缪宇,宋文婷,何茂源,徐乐. 2019. 云南弥渡县云景地区多元地学信息集成及找矿模型[J]. *地质与勘探*, 55 (6) : 1367-1378.
- 邱辉,谢浴根,李朋,李剑,张轩国. 2019. 综合找矿方法在粤东单竹坑

- 铅锌银矿勘查中的应用[J].地质与勘探,55(6):1394-1403.
- 施俊法,唐金荣,周平,金庆花,杨宗喜,朱丽丽,金玺.2011.关于找矿模型的探讨[J].地质通报,30(7):1119-1125.
- 王瑞廷,王向阳,任涛,李剑斌,孟德明,代军治,王涛,张三敏.2015.山阳-柞水矿集区斑岩-矽卡岩型多金属矿床找矿方法组合研究[J].岩石学报,31(1):245-260.
- 王长明,邓军,张寿庭,燕长海.2005.河南卢氏-栾川地区铅锌矿成矿多样性分析及成矿预测[J].地质通报,24(10):1074-1080.
- 武广,陈毓川,李宗彦,刘军,杨鑫生,乔翠杰.2013.豫西银家沟硫铁多金属矿床流体包裹体和同位素特征[J].地质学报,87(3):353-374.
- 武广,陈毓川,李宗彦,杨鑫生,刘军,乔翠杰.2013.豫西银家沟硫铁多金属矿床Re-Os和⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄及其地质意义[J].矿床地质,32(4):810-822.
- 肖中军,孙卫志.2007.河南卢氏夜长坪钨钼矿床成矿条件及找矿远景分析[J].地质调查与研究,30(2):141-148.
- 颜正信,孙卫志,张年成,周梅,黄智华.2007.河南灵宝银家沟硫铁多金属矿床成矿地质条件及找矿方向[J].地质调查与研究,30(2):149-157.
- 晏国龙,王佐满,李永全,傅渊辉,丁高明.2012.河南夜长坪钨钼矿Re-Os同位素年龄及地质意义[J].矿产勘查,3(2):184-193.
- 杨德彬,许文良,王冬艳,王清海,裴福萍.2004.河南三峡市曲里石英闪长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J].中国地质,31(4):379-383.
- 杨海涛,刘新伟,汪超,牛亮,胡西顺,门文辉,杨文刚.2022.麟西寺沟斑岩-矽卡岩型钨钼矿床成矿异常特征及找矿模型[J].地质与勘探,58(5):929-939.
- 曾令君,星玉才,周栋,赵太平,姚军明,包志伟.2013.河南卢氏八宝山花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成特征[J].大地构造与成矿学,37(1):65-77.
- 张哲铭,曾庆栋,高帅,诸少雄,李德亭,程占东,马留锁,郭云鹏.2019.华北克拉通南缘卢氏多金属矿集区硫化物 Rb-Sr 定年及地质意义[J].岩石学报,35(7):2013-2025.
- 钟福军,潘家永,夏菲,张勇,刘国奇,刘颖.2017.江西玉华山地区铀矿综合信息找矿模型研究[J].中国地质,44(6):1234-1250.
- 周栋,包志伟,姚军明,曾令君,赵太平.2015.豫西卢氏八宝山铁铜多金属矿床黄铁矿成分研究[J].大地构造与成矿学,39(1):128-138.

Geophysical and Geochemical Anomaly Characteristics and Ore Prospecting Model of the Puzhengou Hydrothermal Vein-Type Lead-Zinc Polymetallic Deposit in Western Henan Province

WU Yu^{1,2}, DOU Guanming^{1,2}, XU Baoguo³, YUE Tao^{1,2}, WANG Jiantong^{1,2}, LI Xiping^{1,2}

(1.No.1 Institute of Geological and Mineral Resources Survey, Development of Geology and Mineral Resources of Henan Province, Luoyang, Henan 471000; 2.Key Laboratory of Au-Ag-Polymetallic Deposit Series and Deep-seated Metallogenic Prognosis of Henan Province, Luoyang, Henan 471000; 3. Guangdong Guangwu Metal Industry Group Co., Ltd, Guangzhou, Guangdong 510000)

Abstract: The Xiaoshan region in western Henan Province is an important Au-Ag-Mo-Cu-Pb-Zn polymetallic ore concentration area in China. The Puzhengou lead-zinc deposit in this region is a hydrothermal type deposit, which is the first lead-zinc deposit discovered on the western margin of the Puzhengou rock mass. This lead-zinc deposit is expected to reach a medium scale, and associated element indium reaches a large scale. The application of multidisciplinary and multi-mean comprehensive prospecting methods can effectively improve the accuracy of geological, geophysical, and geochemical anomaly interpretation. Taking the Puzhengou lead-zinc polymetallic deposit as an example, this work utilized comprehensive geological-geophysical-geochemical information, and first established a prospecting model for hydrothermal vein type lead-zinc polymetallic deposits (associated with rare elements such as indium, thallium, cadmium, etc.) in the east Qinling metallogenic belt. We also summarized the exploration workflow, in an attempt to provide reference and guidance for searching for similar lead-zinc polymetallic deposits in this region. The geochemical characteristics of the deposit are mainly element combination anomalies of lead, zinc and silver, accompanied by anomalies of gold, tungsten, arsenic and molybdenum. The geophysical characteristics of the deposit are weakly polarized and low-to-medium resistivity-dominated IP anomalies. The selection of exploration workflow and method is as follows: first of all, the 1:200,000 and 1:50,000 stream sediments in the study area were comprehensively studied, in order to narrow the scope of key prospecting targets. Secondly, we selected a combination of soil geochemical exploration and induced polarization gradient profile to verify stream sediment anomalies and further narrow the scope of key target areas. Subsequently, an integrated geological-geochemical method combining rock geochemical profiles and trench sampling was implemented to determine the genesis of soil anomalies and evaluate the mineralization potential within surface fault-related alteration zones. Finally, a geological-geophysical prospecting approach incorporating high-power time-domain induced polarization sounding and drilling was deployed to delineate and confirm the extension of ore bodies at depth.

Key words: structural altered zone, geophysical-geochemical anomaly, ore-prospecting model, hydrothermal vein-type Pb-Zn polymetallic deposit, Puzhengou, Xiaoshan, western Henan Province