

doi: 10.11720/wtyht.2021.0075

段瑞锋,袁炳强,冯旭亮,等.基于重、磁、电资料的陕西山阳池沟矿区找矿预测[J].物探与化探,2021,45(5):1196-1207.http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.0075

Duan R F, Yuan B Q, Feng X L, et al. Prospecting prediction of Chigou mining area in Shanyang, Shaanxi Province based on gravity, magnetic and electric data[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(5): 1196-1207. http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.0075

基于重、磁、电资料的陕西山阳池沟矿区找矿预测

段瑞锋^{1,2,3}, 袁炳强^{1,2}, 冯旭亮^{1,2}, 强洋洋³, 段奔奔³, 邢锦程^{1,2}, 刘磊³

(1. 西安石油大学 地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安 710065; 3. 陕西地矿物化探队有限公司, 陕西 西安 710043)

摘要: 近年来西北有色七一三总队有限公司在池沟矿权区陆续开展了激电、中梯等物探勘查工作, 取得了不少成果, 但关于池沟岩体分布、控岩控矿断裂构造、岩体接触带等信息未全面厘清。本文基于新完成的池沟铜钼矿区重、磁、电综合物探找矿资料, 结合研究区已有地质、钻孔等资料, 对重力、磁力及电法资料进行处理, 综合分析了该区重、磁异常场特征, 划定了控岩、控矿断裂构造, 找出岩浆主侵通道; 确定了与成矿关系密切的隐伏岩体侵入范围, 圈定隐伏—半隐伏岩体 2 处; 厘清了隐伏岩体、岩体接触带、矿化体的地球物理场特征, 指出岩体与地层接触带为主成矿部位, 预测了找矿有利区, 经钻孔验证获得找矿突破。研究结果对该区进一步铜钼矿勘探有重要借鉴意义。

关键词: 山阳池沟; 重、磁、电异常; 隐伏岩体; 找矿预测

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2021)05-1196-12

0 引言

池沟地区位于陕西省山阳县城西 25 km 处, 面积约 14.3 km², 属于柞水—山阳铁铅锌银多金属矿集区。前人对该区的地质背景、矿床特征、成矿条件和找矿方向等进行了诸多研究, 取得了不少成果^[1]。20 世纪 90 年代至今, 多家单位在池沟铜钼矿区断续轮番评价, 但所获矿石品位较低, 加之矿体埋深较大, 当时认为无工业开采价值^[1-4]。

近年来通过物探方法寻找到隐伏矿体不乏成功案例, 表明物探方法对于深部找矿意义重大^[5-8]。2000 年以来西北有色七一三总队有限公司陆续在池沟矿权区开展了激电、中梯及 CSAMT 等物探勘查工作, 取得了一定认识, 但关于池沟岩体分布、控岩控矿断裂构造、岩体接触带等信息未全面厘清。2018~2019 年, 陕西地矿物化探队有限公司受西北有色七一三总队有限公司委托在池沟地区开展 1:5 万高精度重力、高精度磁测和 1:1 万激电中梯、激电

测深、AMT 测量, 旨在厘清池沟隐伏—半隐伏岩体分布、控岩控矿断裂构造、岩体接触带等信息, 寻找成矿有利靶区为施钻布孔工作提供可靠物探资料。笔者通过对池沟地区重、磁、电资料的综合分析研究, 圈定了隐伏岩体分布范围, 划分了区内主要部位的断裂构造体系、岩体接触带, 并分析预测了有利找矿部位, 总结分析了池沟斑岩型铜钼矿物探勘查思路。

1 地质概况

池沟地区位于南秦岭礼县—柞水华力西褶皱带东段南缘, 红岩寺—黑山街复式向斜构造南翼, 北距华北板块与扬子板块的板块缝合线(商—丹断裂)约 20 km, 南距具有多期活动性的凤镇—山阳断裂约 3.5 km(图 1)^[9-13]。

研究区出露地层为中泥盆统池沟组(D_{2c}), 与下部的牛耳川组(D_{2n})及上部的青石垭组(D_{2q})呈整合接触关系。地层近 EW 向展布, 倾向 N—NNE, 倾角 40°~85°。岩性主要为细砂岩、粉砂岩、粉砂质

收稿日期: 2021-02-09; 修回日期: 2021-04-02

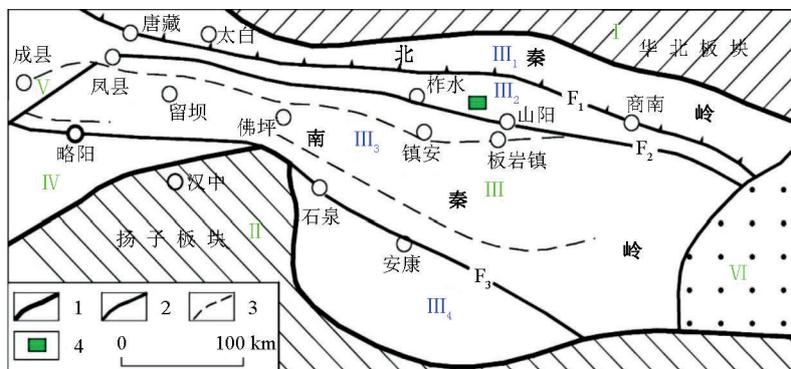
基金项目: 中国地质调查局发展研究中心矿集区矿产调查与深部找矿预测项目“陕西省山阳矿集区深部找矿预测”(WKZB190BJB300375)

第一作者: 段瑞锋(1986-), 男, 2010 年毕业于西安石油大学, 主要从事重磁电方法应用及研究工作。Email: 450991137@qq.com

板岩、砂质板岩、钙质板岩,上部夹泥灰岩,在岩体侵入地段普遍发生角岩化,局部碳酸盐岩具矽卡岩化,遭受了后期的中—浅变质作用和与岩体有关的热接触变质作用,总体为一套浅变质的细碎屑岩—黏土

岩—碳酸盐岩组合,从下往上,碎屑成分减少,碳酸盐成分增加,韵律层较发育(图 2)^[14-15]。

池沟地区花岗斑岩小岩体发育,在地表构成 NE 向串珠状分布的岩体群。岩体均侵位于泥盆系池沟



I—华北板块; II—扬子板块; III—秦岭南褶皱系; III₁—北秦岭加里东褶皱带; III₂—南秦岭礼县-柞水华力西褶皱带; III₃—南秦岭印支褶皱带; III₄—北大巴山加里东褶皱带; IV—松藩-甘孜褶皱系; V—徽成拗陷; VI—南阳拗陷; F₁—商南-丹凤断裂; F₂—凤镇-山阳断裂; F₃—石泉-安康断裂; 1—一级构造单元界线; 2—二级构造单元界线; 3—断裂带; 4—池沟地区

I—North China plate; II—Yangtze plate; III—Qinling fold system; III₁—Caledonian fold belt of North Qinling; III₂—Lixian-Zhushui Variscan fold belt in South Qinling; III₃—South Qinling Indosinian fold belt; III₄—Beidabashan Caledonian fold belt; IV—Songfan-Ganzi fold system; V—Huicheng depression; VI—Nanyang depression; F₁—Shangnan-Danfeng fault; F₂—Fengzhen-Shanyang fault; F₃—Shiquan-Ankang fault; 1—primary structural unit boundary; 2—secondary tectonic unit boundary; 3—fracture band; 4—Chigou area

图 1 池沟地区大地构造位置

Fig.1 Tectonic location map of Chigou area

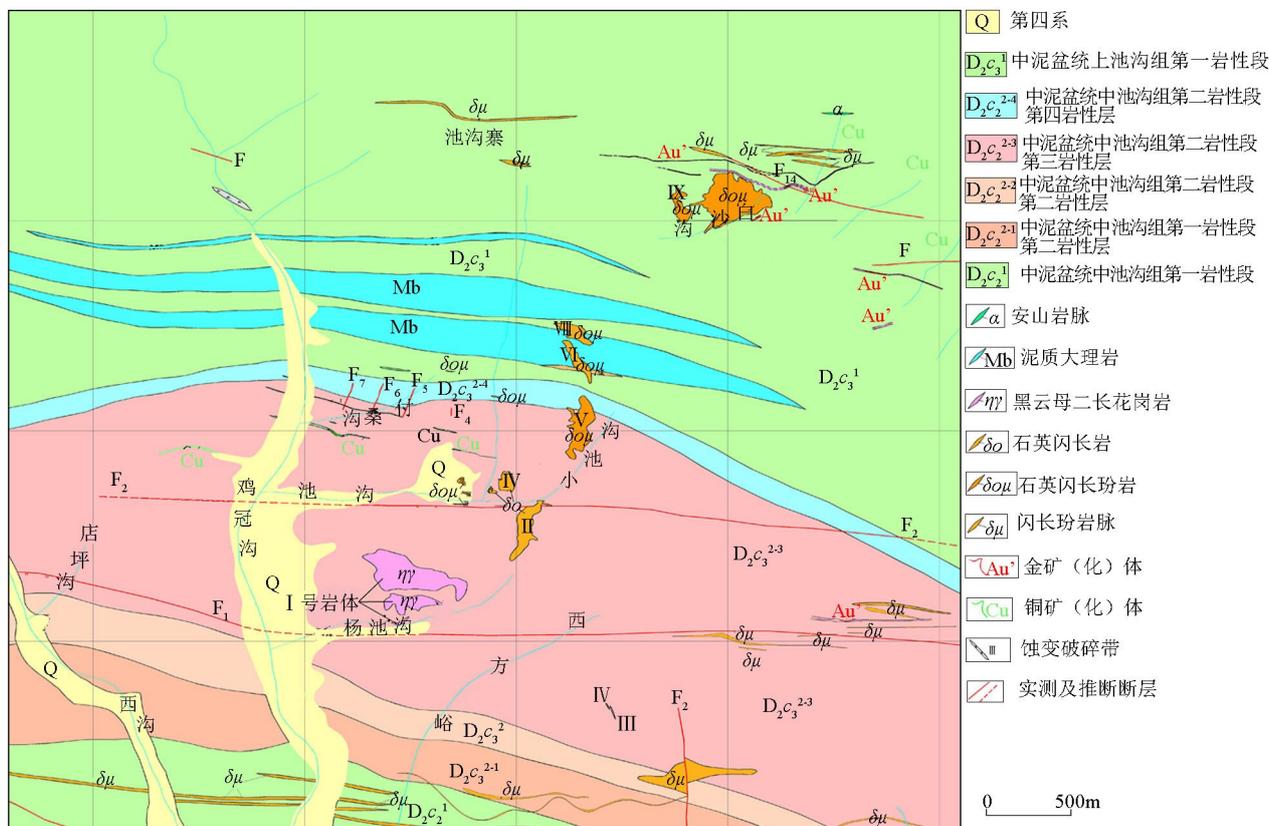


图 2 池沟地区地质

Fig.2 Geological map of Chigou area

组地层中,与其呈锯齿状侵入或断层接触关系。其中 I 号岩体为二长花岗斑岩体,偏酸性且岩石斑状结构特征明显,地表形态呈近 EW 向的椭圆状,空间上总体呈一北倾的陡立的岩株,与成矿关系最为密切。岩石具斑状结构,斑晶为钾长石、斜长石、黑云母、角闪石,基质为石英、钾长石、斜长石^[16-23]。

研究区地层密度平均值为 $2.75 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,其中黄铜矿化碎裂状石英角岩密度最大,平均值为 $3.01 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,蚀变、破碎带中岩石密度值为 $2.62 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。石英闪长玢岩体密度值为 $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,黑云母二长花岗岩体密度值为 $2.58 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。密度最低的为黄铜矿化黑云母二长花岗岩,具弱风化,密度值仅为 $2.50 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。地层岩石密度比蚀变、破碎带和岩体密度高出 $(0.10 \sim 0.17) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,岩体表现为低密度特征。另外,由于碎裂状石英角岩具强黄铁矿化,其与非矿化岩体间具有明显的密度差异外,其他各类矿化地层岩石与非矿化岩体间均无明显密度差异。

2 地球物理特征

2.1 物性特征

2.1.1 密度特征

测定的不同岩、矿石标本密度特征统计见表 1。

表 1 池沟地区岩、矿石密度统计

Table 1 Statistical table of rock and ore density in Chigou area

类别	岩性	标本数	密度 $\rho / (10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$		
			平均值	最大值	最小值
地层	透辉石角岩	33	2.80	3.03	2.67
	黑云母角岩	41	2.73	2.92	2.59
	石英角岩类	39	2.74	2.86	2.60
	砂岩、粉砂岩类	37	2.70	2.86	2.57
	大理岩类	10	2.77	2.82	2.65
蚀变、破碎带	侵入、蚀变角岩	16	2.63	2.75	2.48
	破碎带角岩	6	2.61	2.72	2.48
岩体	石英闪长玢岩	34	2.65	2.73	2.53
	黑云母二长花岗岩	38	2.58	2.63	2.54
含矿岩体	黄铜矿化石英闪长玢岩	20	2.64	2.71	2.55
	黄铜矿化黑云母二长花岗岩	6	2.50	2.54	2.47
含矿地层	黄铜矿化黑云母角岩	17	2.72	2.82	2.63
	黄铜矿化碎裂状石英角岩	5	3.01	3.61	2.71
含矿侵入角砾岩	黄铜矿化侵入角砾岩	5	2.66	2.74	2.59

2.1.2 磁性特征

研究区岩矿石磁化率测定统计结果见表 2。地表岩体(中细粒石英闪长岩)、深部矿化围岩(透辉石角岩、黑云母角岩)磁化率明显高于围岩(透辉石角岩、黑云母角岩)和其他地质体;深部钻孔所见透辉石角岩、黑云母角岩中磁黄铁矿发育,其磁化率值

远大于地表露头,说明磁黄铁矿是在成岩过程中形成的。研究区岩石磁化率值约在 $(9.55 \sim 9426.75) \times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$ 之间,以 II 号岩体石英闪长岩磁性最强,磁化率均值为 $6481.60 \times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$,角砾岩和粉砂质板岩磁性相对最小,磁化率均值为 $15.92 \times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$;强风化的蚀变透辉石角岩磁性较透辉石角

表 2 池沟地区岩、矿石磁化率统计

Table 2 Statistical table of magnetic susceptibility of rocks and ores in Chigou area

岩性	标本数	磁化率 $\kappa / (4\pi \times 10^{-6} \text{ SI})$		
		最小值	最大值	均值
蚀变透辉石角岩	30	38.22	98.73	63.91
强风化泥化蚀变透辉石角岩	4	732.48	2261.15	1480.89
透辉石角岩	33	38.22	407.64	132.21
黑云母角岩	33	28.66	280.25	113.40
角砾岩	7	9.55	35.03	15.92
粉砂质板岩	34	15.92	159.24	56.67
I 号岩体黑云二长花岗岩	30	22.29	2261.15	472.51
II 号岩体石英闪长岩	9	3621.02	9426.75	6481.60
III 号岩体石英闪长玢岩	3	366.24	477.71	427.81

岩明显增加,其磁性(磁化率均值为 $1\,480.89 \times 4\pi \times 10^{-6}$ SI)是弱蚀变透辉石角岩和未风化的透辉石角岩(磁化率均值为 $63.91 \times 4\pi \times 10^{-6}$ SI)的 10~20 倍。由此可见,含矿岩体、矿化地质体的磁化率参数与围岩具有明显差异。

2.1.3 电性特征

池沟地区岩、矿石电性参数测定统计结果见表 3。地表岩体(石英闪长岩)电阻率明显高于围岩(透辉石角岩、黑云母角岩)。研究区岩石极化率值约在 0.79%~2.61%,电阻率值约在 208.85~3 052.56 $\Omega \cdot m$;蚀变透辉石角岩的极化率最大,均值为 2.61%,而未风化的透辉石角岩极化率均值较其他岩性最小,均值为 0.79%,二者相差约 3 倍;未风化透辉石角岩的电阻率均值是工区测定岩石电阻率均值中最大的,为 3 052.56 $\Omega \cdot m$,强风化泥化蚀变透辉石角岩电阻率均值为工区最小,为 208.85 $\Omega \cdot m$,

未风化透辉石角岩的电阻率均值大致为蚀变透辉石角岩的 15 倍。由此可见,含矿岩体、矿化地质体的电性参数与围岩具有明显差异,其特征表现为低阻—高极化等电阻率特征,说明本区具备实施激电和 AMT 测量的物性条件。

2.2 重磁异常特征

2.2.1 重力场特征

研究区布格重力异常整体呈 NW 向展布,沿测区 NW 向对角线一分为二,总体呈“一低一高”展布,东北部重力高,西南部重力低,而西南部重力低中夹有一带状重力高异常区(图 3)。

1) 池沟寨—白沙沟重力高异常区。位于测区东北部池沟寨—白沙沟一带,异常值在 $(-137 \sim -134) \times 10^{-5} m/s^2$,分析为地层引起的重力正异常显示。

2) 鸡冠沟重力高异常区。位于测区鸡冠沟—

表 3 池沟地区岩、矿石电性参数统计

Table 3 Statistical table of electrical parameters of rocks and ores in Chigou area

岩性	标本数	极化率/%			电阻率/($\Omega \cdot m$)		
		最小值	最大值	均值	最小值	最大值	均值
蚀变透辉石角岩	30	1.22	3.62	2.31	106.27	365.13	210.56
强风化泥化蚀变透辉石角岩	4	2.17	3.00	2.61	151.49	301.32	208.85
透辉石角岩	33	0.20	2.01	0.79	348.85	9739.45	3052.56
黑云母角岩	33	0.71	1.53	1.03	508.48	1509.31	969.07
角砾岩	7	0.78	1.66	1.17	326.75	1456.11	918.77
粉砂质板岩	34	0.63	1.87	1.14	288.96	2726.37	1145.44
I 号岩体黑云二长花岗岩	30	0.68	2.43	1.45	307.73	1734.44	1024.04
II 号岩体石英闪长岩	9	0.85	1.51	1.08	308.14	2203.21	1109.62
III 号岩体石英闪长玢岩	3	0.50	1.24	0.90	1351.61	3726.07	2301.41

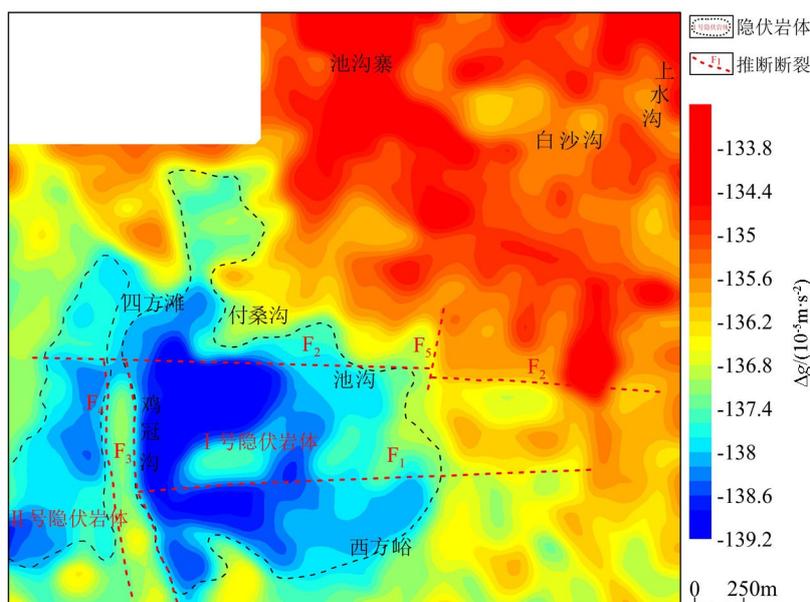


图 3 布格重力异常等值线

Fig.3 Contour map of bouguer gravity anomaly

带,异常值一般在 $(-137\sim-136)\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,分析为深部地层引起的重力正异常显示。

3) 四方滩—西方峪重力低异常区。位于测区西南部四方滩—西方峪一带,异常值在 $(-139\sim-137)\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,分析为隐伏岩体引起的负异常显示。

2.2.2 磁异常特征

区内小岩体发育,在地表构成 NE 向串珠状分布的岩体群。由研究区化极磁 ΔT 异常(图 4)可以看出: I、II 号隐伏岩体整体呈现低磁特征;研究区高磁异常主要出现在研究区东部,EN 向异常展布与地表出露石英闪长岩小岩体群位置对应吻合。在池

沟出露的 I 号二长花岗岩体周围边界处有中—高阻呈现半圆展布,揭示了 I 号隐伏岩体与围岩的接触边界。岩体侵入边界受断裂构造及地层控制,重力异常显示为清晰正负异常梯级带,为岩体与围岩地层内外接触带。岩体与围岩接触带附近存在有不同程度围岩蚀变发育,尤其围绕池沟岩体蚀变具有空间分带性,自斑岩体向外,蚀变类型依次为钾化—绢英岩化—矽卡岩、青磐岩化或角岩化,具有斑岩铜(钼)矿床围岩蚀变特征。以往工作在各蚀变带中均发现有铜钼矿化,尤其是在绢英岩化带、钾化带中发现了较好的铜矿体。蚀变矿化及交代矽卡岩化产生含矿岩体具有中高磁性特点。

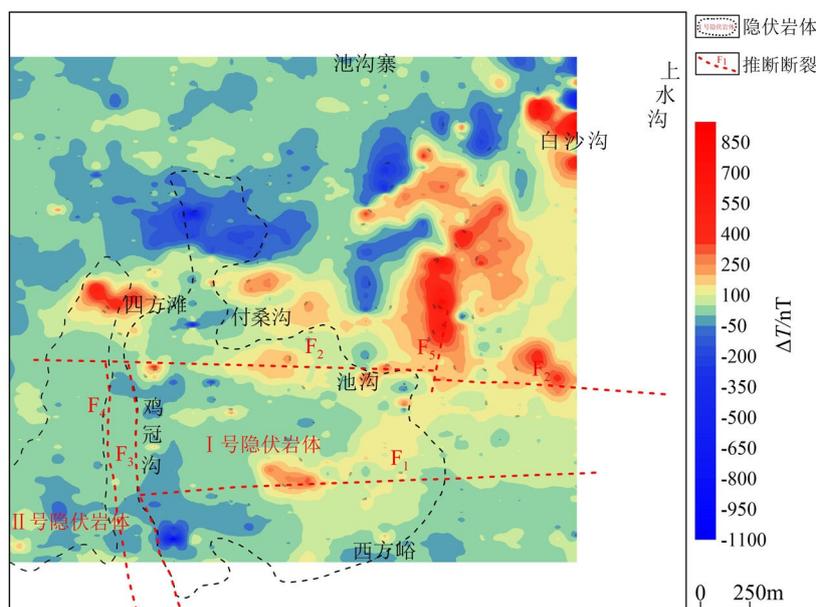


图 4 化极后磁 ΔT 异常与解释推断叠合

Fig.4 Superposition diagram of after depolarization magnetic ΔT anomaly and interpretation inference

2.3 电法异常特征

2.3.1 激电异常特征

1) 激电中梯剖面。在前期重磁面积成果资料以及激电剖面测量成果资料的综合推断下划定两个重点靶区: I 号岩体西侧鸡冠沟和 I 号岩体北侧池沟。在该区开展了激电中梯剖面工作,目标异常区呈低阻高极化特征(见图 5 和图 6),位于 F_1 和 F_2 断裂之间,分为两段异常区, I 号岩体西侧鸡冠沟段呈 NW 向走向,北侧池沟段呈近 EW 向走向,核心区域视极化率异常峰值大于 9%,峰值为 14%,视电阻率值小于 $1200 \Omega \cdot \text{m}$,两段异常在 I 号岩体西侧池沟口处交汇呈半圆形。

测区内视电阻率低值 $0\sim 550 \Omega \cdot \text{m}$ 分布范围较大,低阻异常分布明显,在西北角、东北角和西部、西南位置处存在视电阻率高值($1950 \Omega \cdot \text{m}$ 以上,最大可达 $3900 \Omega \cdot \text{m}$)区。测区内视极化率以 6%为

异常的下限值,视极化率异常呈串珠状分布,其异常大小分布具有明显的界限,其低值(0%~6%)区分布范围较大,位于测区的南部、西部地区;高值(9%~14%)区位于测区的中部和南部;测区中部属于低阻高极化特征。由此可以推断出该地区有异常体的存在。根据测区的地质资料、钻孔资料推测该地区有矿体(铜、钼等金属矿体)存在。

2) 激电测深剖面。针对鸡冠沟激电中梯平面低阻高极化异常带进行了激电测深和 AMT 测深工作,剖面位置见图 7,进而剖析该异常纵向电性特征,从激电测深获取成果来看异常位置与激电中梯剖面显示异常相吻合,异常幅值也是吻合的,呈“低阻高极化”特征(图 8、图 9)。

2.3.2 AMT 异常特征

由于激电测深视电阻率反演误差较大,该方法视电阻率求取本身存在不定性,且探测深度较浅,故

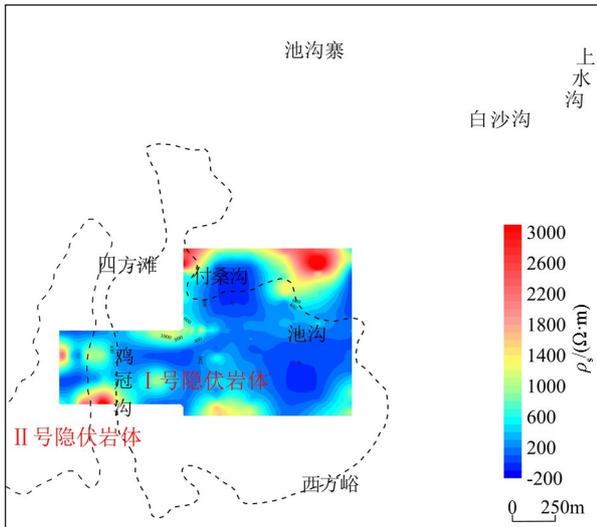


图 5 激电中梯视电阻率异常
Fig.5 Apparent resistivity anomaly map of IP intermediate gradient

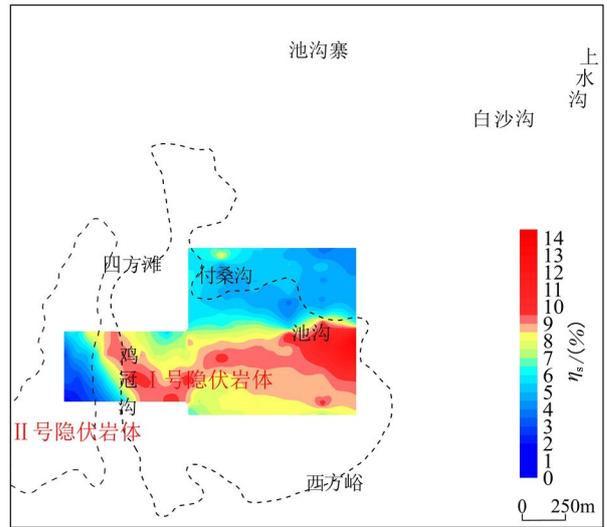


图 6 激电中梯视极化率异常
Fig.6 Apparent polarizability anomaly map of IP intermediate gradient

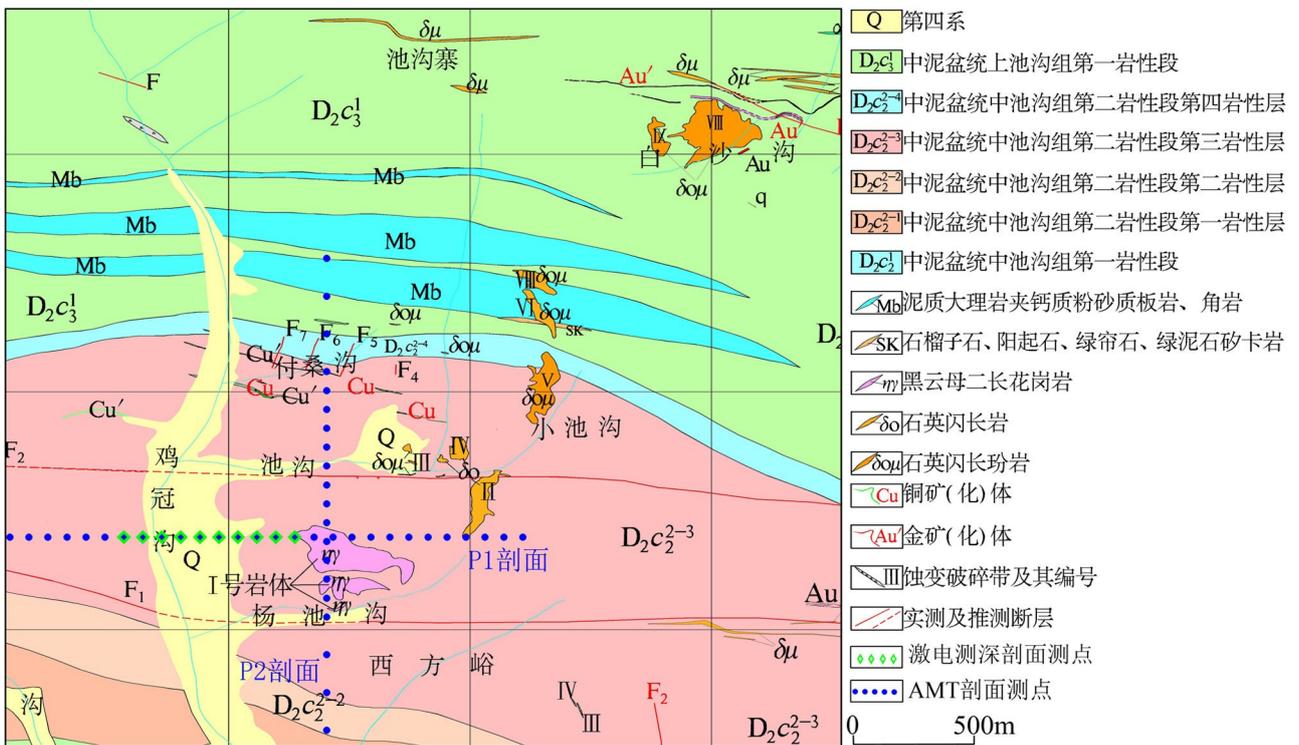


图 7 激电测深、AMT 剖面位置
Fig.7 IP sounding and AMT profile location map

激电测深主要参考成果为视极化率异常。为了深度剖析异常区深部地质体电性特征,横穿主异常区 I 号岩体西侧鸡冠沟、I 号岩体北侧池沟实施了音频大地电磁测深 (AMT)。其电阻率反演等值线断面图 (图 10) 清晰地显示了沿剖面 0~1 500 m 深度范围内的电性变化特征,600 m 以浅的电性层细节信息反映丰富,600 m~1 500 m 段的电性不均匀层反映

明显。

3 综合分析找矿预测

3.1 断裂与隐伏岩体特征

研究区断裂划分和隐伏岩体的平面范围圈定主要基于重力成果数据,利用垂向一阶导数、水平总梯

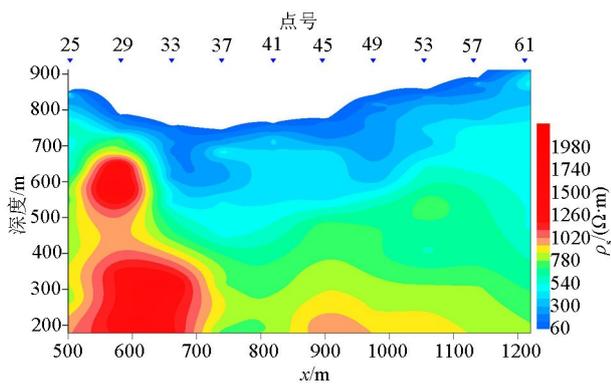


图 8 鸡冠沟激电测深视电阻率拟断面
Fig.8 Apparent resistivity pseudosection of IP sounding in Jiguangou

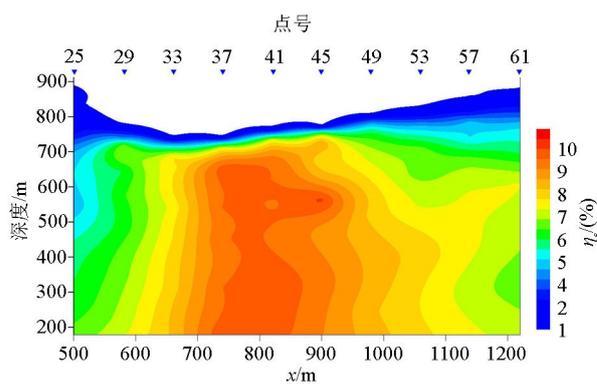


图 9 鸡冠沟激电测深视极化率拟断面
Fig.9 Apparent polarizability pseudosection of IP sounding in Jiguangou

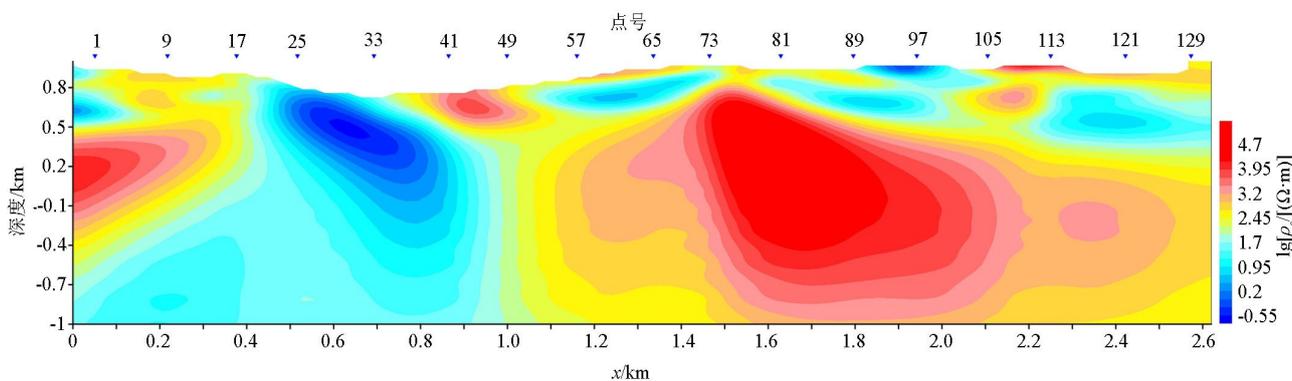


图 10 AMT 剖面反演等值线
Fig.10 AMT profile inversion contour map

度等场源边界识别技术,对重力异常进行处理研究,参考地表地质、钻孔和电法资料,综合确定断裂分布与隐伏侵入岩体的平面范围(图 11)。

本区控制岩体侵入的两条主要断裂(F_1 、 F_2)均呈 EW 向展布,其在地表有出露。与地表出露位置相比,重力异常显示断裂深部位置偏北,说明两条断裂均向北倾。I 号隐伏岩体为测区主岩体,而岩基位于 F_1 、 F_2 之间,推测岩浆向上侵入地层的过程是沿着这两条断裂进行的,并分别在上覆浅层沿 F_1 向北延伸侵入和沿 F_2 向南侵入。这两组主断裂控制着侵入岩的侵入范围和侵入通道。

次级断裂 4 条($F_3 \sim F_5$),其中 F_3 、 F_4 呈近 SN 向展布, F_5 呈近 NW 向展布, F_3 和 F_4 断裂使 F_1 和 F_2 两条断裂发生了错断扭动。这些次级断裂控制了地层分布及侵入岩的末端侵入范围,形成岩株、岩枝、岩瘤等侵入产状。

区内推断划定隐伏岩体两处, I 号隐伏岩体位于池沟和杨池沟区域,为研究区主隐伏岩体,范围内有二长花岗岩出露; II 号隐伏岩体位于鸡冠沟西侧区域,为研究区次级隐伏岩体。推测 I、II 号隐伏岩

体受 F_3 、 F_4 断裂控制出现东西分布不连通。

3.2 重、磁、电综合剖面解释

3.2.1 P1 剖面解释成果

由 P1 剖面综合解释图(图 12)可以看出,主异常段位于鸡冠沟,位于点号 25~45 之间,激电异常呈现“低阻高极化”特征,重力显示次级重力高值异常,无明显磁异常反映,AMT 二维反演剖面显示低阻异常带,西侧有零星异常规模小的低阻异常,位于 F_3 、 F_4 断裂带,主异常东侧 500 m 以浅分布有不同规模低阻异常。该处低阻异常推断为矿化所致, F_3 、 F_4 为有利赋矿构造及岩体围岩接触带,电阻率高值带推测为侵入岩显示,受 F_4 断裂控制。推测 F_3 、 F_4 处为接触带和断裂构造位置,在该处推断主找矿有利区 2 处 (I、II),次级 3 处 (III、IV、V)。钻孔 ZK15-1 揭示:34~142 m 局部可见黄铁矿化、弱黄铜矿化,偶见极少量辉钼矿化;142~183 m 局部可见较强蚀变黄铁矿化、弱黄铜矿化、极少量辉钼矿化;183.34~188.34 m 见铜矿石,黄铁矿蚀变强烈,黄铁矿呈浸染状、块状分布,伴生细粒、小团粒状黄铜矿;210.33~212.85 m 见铜矿石,黄铁矿蚀变强烈,黄铁

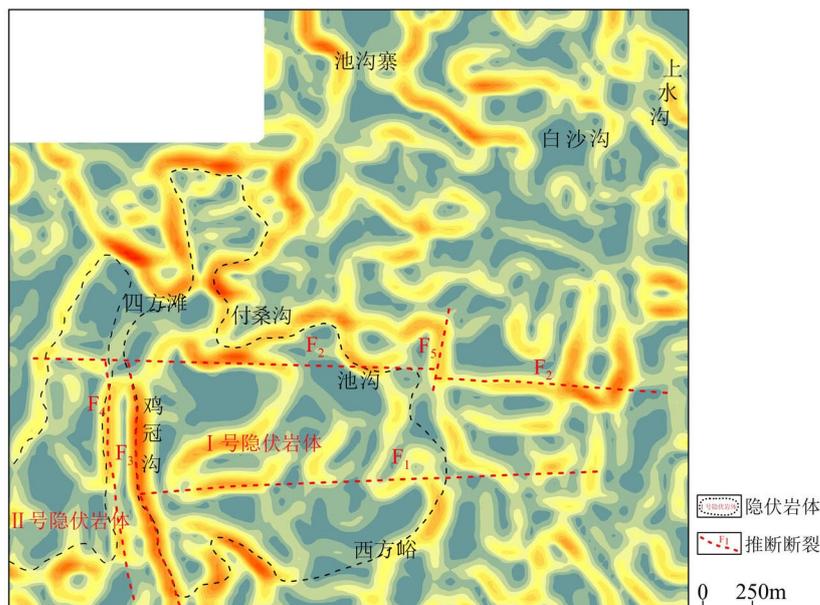
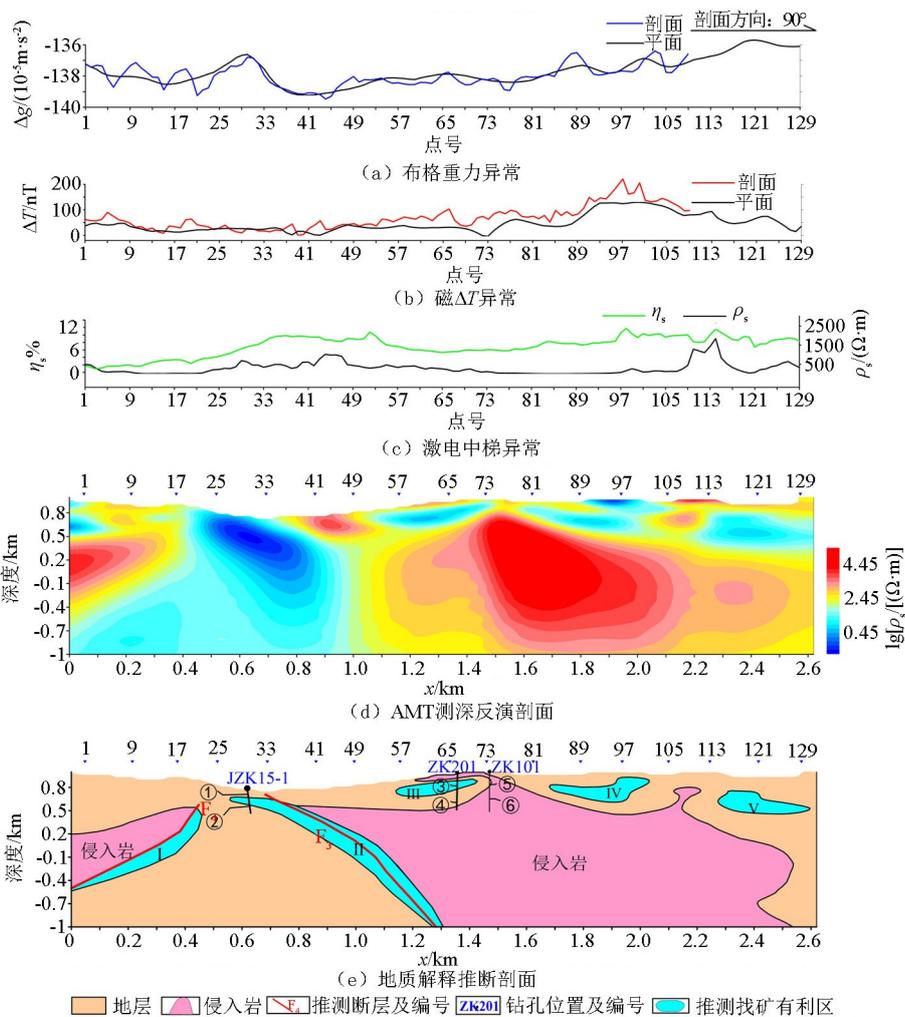


图 11 重力水平总梯度与解释推断叠合

Fig.11 Superposition diagram of gravity anomaly level total gradient and interpretation inference



①—34-142m局部可见黄铁矿化、弱黄铜矿化，偶见极少量辉钼矿化；②—210.33-212.85m铜矿石，黄铁矿蚀变强烈，黄铁矿呈稠密浸染状、块状分布；③—181.3-347.5m局部可见钼矿体；④—389-460m局部可见铜矿体、钼矿体；⑤—129-246m铜钼矿化蚀变较强，局部见钼矿体；⑥—246-460m铜钼矿化蚀变强烈，局部见钼矿体

图 12 P1 剖面综合解释推断

Fig.12 Comprehensive interpretation and inference map of profile P1

矿呈稠密浸染状、块状分布,伴生细粒、小团粒状黄铜矿。钻孔 ZK101 揭示:129~246 m 辉钼矿化黑云母角岩,在 130 m 处见约 2.3 m 厚的钼矿体;246~460 m 辉钼矿化、黄铜矿化黑云母二长花岗岩,含钼矿体薄层较多。钻孔 ZK201 揭示:181.3~347.5 m 黑云母二长花岗岩局部可见铜矿体、钼矿体;389~460 m 局部可见铜矿体、钼矿体。

3.2.2 P2 剖面解释成果

由 P2 剖面综合解释图(图 13)可以看出,主异常段位 I 号出露岩体南北两侧 F_1 、 F_2 附近,激电异常呈现“低阻高极化”特征,重力显示次级重力低值异常,无明显磁力异常反映,AMT 二维反演剖面显

示低阻异常带,北侧有零星异常规模小的低阻异常,主异常上部浅层延伸有低阻异常。该处低阻异常推断为矿化所致, F_1 、 F_2 为有利赋矿构造及岩体围岩接触带,电阻率高值带推测为侵入岩显示, F_1 推断为岩浆上侵通断充填, F_2 断裂控制岩体向北上侵。推测 F_1 、 F_2 处为接触带和断裂构造位置,在该处推断主找矿有利区两处(I、II),次级一处(III)。钻孔 ZK201 揭示:181.3~347 m 可见铜矿体及少量钼矿体;372.1~459.1 m 局部可见铜矿体、钼矿体。钻孔 ZK202 揭示:7.91~200.47 m 见钼矿体及少量铜矿体;259.44~303.31 m 见少量钼矿体。钻孔 ZK401 揭示:19.57~32 m 局部见黄铁矿、磁黄铁矿

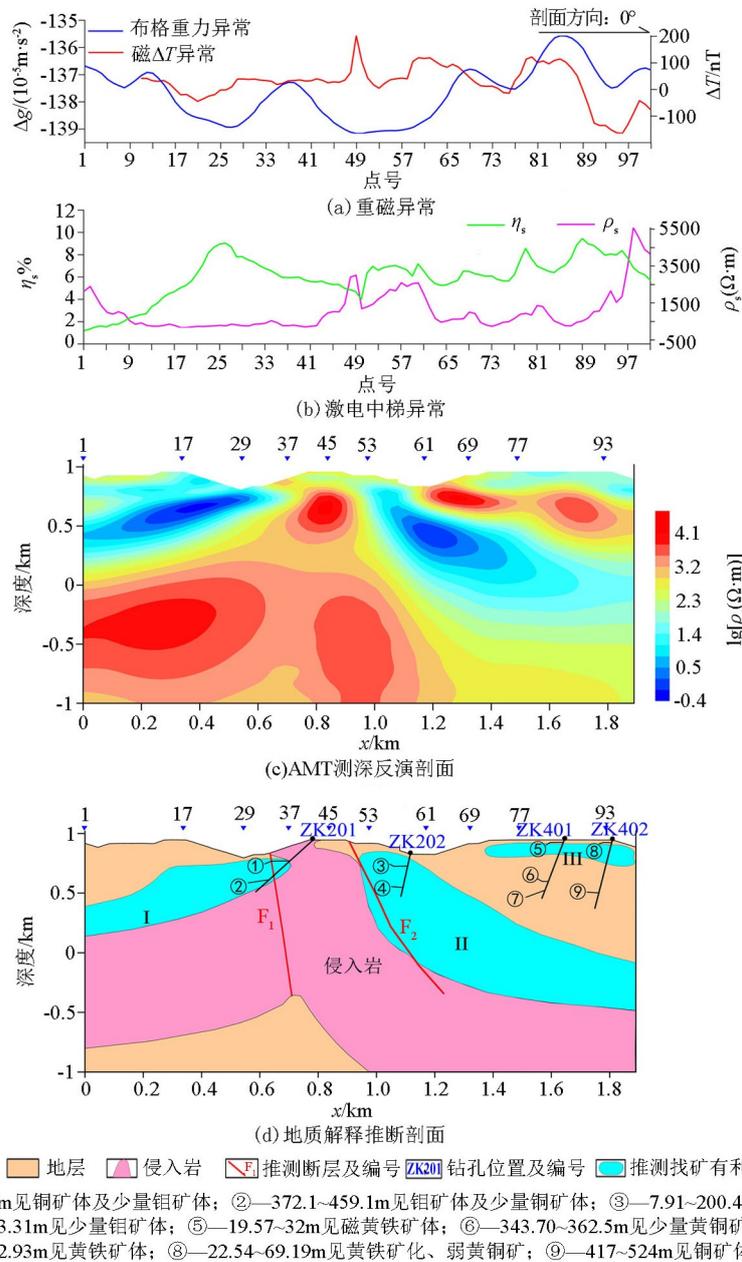


图 13 P2 剖面综合解释推断

Fig.13 Comprehensive interpretation and inference map of profile P2

体;343.70~347.13 m、355~362.5 m 见薄膜状黄铁矿黄铁矿及少量细粒状、小团块状黄铜矿,边部见零星辉钼矿;437.83~472.93 m 见黄铁矿体。钻孔 ZK402 揭示:22.54~69.19 m 见黄铁矿化、磁铁矿化、弱黄铜矿;275.95~280.35 m 见磁黄铁矿化体呈不规则脉状发育;417~524 m 见铜矿(化)体呈小团粒状、细粒星散状不均匀分布。

3.3 找矿有利区预测

通过重力及 AMT 成果数据反演绘制出隐伏岩体顶面埋深(图 14),可见隐伏岩体深部岩基中心地表投影位置在池沟和杨池沟中间段,岩浆从深部向

上侵到较浅地层呈锥形,深部向 WN 向有延伸,岩体北侧倾角大陡立状,南侧倾角较小延伸较缓。

基于本次重、磁、电成果资料,综合分析得出岩体与围岩接触带和断裂构造是有利赋矿构造部位,池沟隐伏岩体西侧受 F_3 、 F_4 断裂控制,岩体北侧受 F_2 控制,同时处于岩体与围岩接触带和断裂构造部位,综合物探异常显示良好,结合地质资料分析推测岩体西侧鸡冠沟为硫铁矿成矿有利区,北侧池沟为铜矿主找矿有利区,南侧杨池沟次之,东侧、南侧需要进一步追索探测。

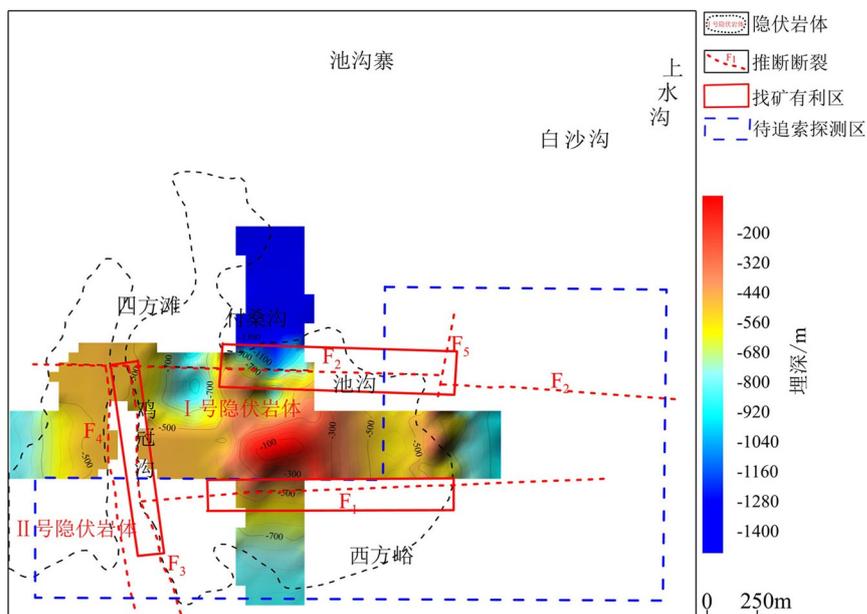


图 14 找矿有利区与岩体顶面埋深叠合

Fig.14 Superimposed map of favorable prospecting area and top buried depth of rock mass

4 结语

1) 综合分析了研究区物性、重磁电异常特征,通过对重磁资料进行垂向一阶导数、水平总梯度等场源边界识别技术处理研究,划定了控岩控矿断裂构造、找出岩浆主侵通道,确定了与成矿关系密切的隐伏岩体侵入范围,圈定隐伏一半隐伏岩体,确定了 I 号隐伏岩体为研究区主隐伏岩体。通过激电中梯扫面、激电测深和 AMT 测深划定了岩体接触带“低阻高极化”异常分布位置。结合研究区已有地质、钻孔等资料,厘清了隐伏岩体、岩体接触带、矿化体的地球物理场特征,指出岩体与地层接触带为主成矿部位,预测了找矿有利区,经钻孔验证获得找矿突破,研究结果对该区进一步铜钼矿勘探有重要借鉴意义。

2) 通过研究,总结出池沟斑岩型铜矿物探勘查思路。首先,通过大比例尺高精度重磁测量圈定隐伏岩体范围,划分岩体与围岩接触带和控岩断裂构造;其次,通过激电中梯扫面摸排接触带平面“低阻高极化”异常分布区域;最后通过激电测深、AMT 测深确定异常深部走向分布范围,对重点区进行钻孔验证。该勘查思路流程对其他矿区深部找矿具有重要参考价值。

参考文献 (References):

[1] 张西社,王瑞廷.陕西省山阳县池沟地区斑岩成矿特征、成矿规律及找矿预测[J].西北地质,2011,44(2):73-74.
Zhang X S, Wang R T. Metallogenic characteristics, metallogenic regularity and prospecting prediction of porphyry Chigou area, Shanyang County, Shaanxi Province [J]. Northwestern Geology, 2011, 44(2): 73 - 74.

[2] 任涛,王瑞廷,王向阳,等.秦岭造山带柞水—山阳沉积盆地铜

- 矿勘查思路与方法[J].地质学报,2009,83(11):1730-1738.
- Ren T, Wang R T, Wang X Y, et al. Ideas and methods of copper exploration in Zhashui-Shanyang sedimentary basin of Qinling Orogenic Belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(11): 1730-1738.
- [3] 刘凯,李剑斌,任涛,等.陕西池沟斑岩型铜矿地质特征与找矿前景分析[J].矿产勘查,2013,4(1):26-32.
- Liu K, Li J B, Ren T, et al. Analysis on geological characteristics and prospecting prospect of porphyry copper deposit in Chigou, Shaanxi Province [J]. *Mineral Exploration*, 2013, 4(1): 26-32.
- [4] 任涛,王瑞廷,谢桂青,等.陕西池沟斑岩型含矿岩体地球化学特征、成岩时代及找矿意义[J].矿床地质,2014,33(4):807-818.
- Ren T, Wang R T, Xie G Q, et al. Geochemical characteristics, diagenetic age and prospecting significance of porphyry type ore-bearing rock mass in Chigou, Shaanxi Province [J]. *Mineral Deposits*, 2014, 33(4): 807-818.
- [5] 王备战,王瑞廷,王宏宇,等.陕西凤太矿集区深部铅锌矿产资源潜力及地球物理找矿方向[J].地球科学与环境学报,2020,42(6):801-818.
- Wang B Z, Wang R T, Wang H Y, et al. Potential and geophysical prospecting direction of Pb-Zn mineral re-sources in the deep area of Fengtai ore gathering area, Shaanxi, China [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2020, 42(6): 801-818.
- [6] 屈利军,王庆,李波,等.综合物探方法在湖南香花岭矿田三合圩矿区深部成矿规律研究中的应用[J].物探与化探,2020,44(6):1313-1321.
- Qu L J, Wang Q, Li B, et al. The application of multiple geophysical methods to the study of deep metallogenic regularity in the Sanhexu mining area, the Xianghualing orefield, Hunan Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(6): 1313-1321.
- [7] 吾守艾力·肉孜,梁生贤,焦彦杰.重磁电多约束反演在矿体定位中的试验效果——以云南芦子园为例[J].地球物理学进展,2016,31(6):2682-2689.
- W S A L · Rou-Zi, Liang S X, Jiao Y J. Experimental results of gravity, magnetic and electric multi-constraint inversion in orebody location: A case study of Luziyuan, Yunnan Province [J]. *Progress in Geophysics*, 2016, 31(6): 2682-2689.
- [8] 吾守艾力·肉孜,梁生贤,邹光富,等.AMT与重力方法在云南芦子园地区隐伏岩体勘查中的应用[J].物探与化探,2015,39(3):525-529.
- W S A L · Rou-Zi, Liang S X, Zou G F, et al. Application of AMT and gravity method to concealed rock exploration in Luziyuan Area, Yunnan [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2015, 39(3): 525-529.
- [9] 张国伟,张本仁,袁学城.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001.
- Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C. Qinling orogenic belt and continental dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [10] 王相,唐荣扬,李实,等.秦岭造山与金属成矿[M].北京:冶金工业出版社,1996.
- Wang X, Tang R Y, Li S, et al. Qinling orogeny and metal mineralization [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996.
- [11] 谢桂青,任涛,李剑斌,等.陕西柞山盆地池沟铜钼矿区含矿岩体的U-Pb年龄和岩石成因[J].岩石学报,2012,28(1):15-26.
- Xie G Q, Ren T, Li J B, et al. U-Pb age and petrogenesis of ore-bearing rock bodies in Chigou Copper-molybdenum deposit area, Zhashan Basin, Shaanxi Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(1): 15-26.
- [12] 朱华平,祁思敬.陕西柞山地区铜矿找矿突破口的选择[J].西北地质,1997,18(1):18-21.
- Zhu H P, Qi S J. The choice of breakthrough point for copper prospecting in Zhashan area, Shaanxi Province [J]. *Northwestern Geology*, 1997, 18(1): 18-21.
- [13] 张西社.南秦岭柞山地区铜矿成矿类型、成矿规律及找矿预测[J].地质与勘探,2012,48(4):728-741.
- Zhang X S. Metallogenic types, metallogenic regularity and prospecting prediction of copper deposits in Zhashan area, South Qinling Mountains [J]. *Geology and Prospecting*, 2012, 48(4): 728-741.
- [14] 陈雷,王宗起,闫臻,等.秦岭山阳—柞水矿集区150~140 Ma斑岩—矽卡岩型CuMoFe(Au)矿床成矿作用研究[J].岩石学报,2014,30(2):415-436.
- Chen L, Wang Z Q, Yan Z, et al. Study on the mineralization of 150~140 Ma Porphyry-skarn CuMoFe(Au) deposit in Shanyang-Zhashui Mine Concentration Area, Qinling [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(2): 415-436.
- [15] 方维萱,刘家军.陕西柞—山—商晚古生代拉分断陷盆地动力学与成矿作用[J].沉积学报,2013,31(2):193-209.
- Fang W X, Liu J J. Dynamics and mineralization of late Paleozoic Zha-Shan-Shang Pull-apart faulted basin in Shaanxi Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(2): 193-209.
- [16] 王瑞廷,李剑斌,任涛,等.柞水—山阳多金属矿集区成矿条件及找矿潜力分析[J].中国地质,2008,35(6):1291-1298.
- Wang R T, Li J B, Ren T, et al. Analysis of metallogenic conditions and prospecting potential of Zhashui-Shanyang polymetallic ore concentration area [J]. *Geology of China*, 2008, 35(6): 1291-1298.
- [17] 王瑞廷,任涛,孟德明,等.柞—山矿集区侵入岩与成矿[J].西北地质,2012,45(S):29-33.
- Wang R T, Ren T, Meng D M, et al. Intrusive rocks and mineralization in Zha-Shan ore concentration area [J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(S): 29-33.
- [18] 祝新友,王瑞廷,汪东波,等.西秦岭铅锌金铜银矿床成矿模式研究及找矿预测[M].北京:地质出版社,2011.
- Zhu X Y, Wang R T, Wang D B, et al. Study on metallogenic model and prospecting prediction of Pb-Zn-Au-Cu-Ag deposit in West Qinling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [19] 孟德明,王瑞廷,王鹏,等.柞水—山阳矿集区冷水沟铜钼矿成矿特征及成矿机制探讨[J].矿床地质,2014,33(4):833-844.
- Meng D M, Wang R T, Wang P, et al. Discussion on metallogenic characteristics and metallogenic mechanism of Lengshuigou Copper-molybdenum deposit in Zhashui-Shanyang ore concentration ar-

- ea [J]. *Mineral Deposits*, 2014, 33(4): 833 - 844.
- [20] 吴发富. 中秦岭山阳—柞水地区岩浆岩及其成矿构造环境研究 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2013.
- Wu F F. Study on magmatic rocks and metallogenic tectonic environment in Shanyang-Zhashui area, middle Qinling Mountains [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2013.
- [21] 王瑞廷, 袁海潮, 孟德明, 等. 小秦岭地区金钼多金属矿成矿特征与找矿预测 [J]. *地球科学与环境学报*, 2014, 36(1): 19 - 31.
- Wang R T, Yuan H C, Meng D M, et al. Metallogenic characteristics and prospecting prediction of Au-Mo polymetallic deposit in Xiaolinling area [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2014, 36(1): 19 - 31.
- [22] 闫臻, 王宗起, 陈雷. 南秦岭山阳—柞水矿集区构造—岩浆—成矿作用 [J]. *岩石学报*, 2014, 30(2): 401 - 414.
- Yan Z, Wang Z Q, Chen L. Tectono-magmatic-mineralization in Shanyang-Zhashui ore concentration area, South Qinling Mountains [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(2): 401 - 414.
- [23] 刘圣博, 罗士新, 刘磊, 等. 重磁综合推断中南地区隐伏的中酸性岩体 [J]. *工程地球物理报*, 2013, 10(6): 805 - 813.
- Liu S B, Luo S X, Liu L, et al. Inferred by gravity and magnetic synthesis the concealed intermediate-acid rock mass in central and southern China [J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2013, 10(6): 805 - 813.

Prospecting prediction of Chigou mining area in Shanyang, Shaanxi Province based on gravity, magnetic and electric data

DUAN Rui-Feng^{1,2,3}, YUAN Bing-Qiang^{1,2}, FENG Xu-Liang^{1,2}, QIANG Yang-Yang³,
DUAN Ben-Ben³, XING Jin-Cheng^{1,2}, LIU Lei³

(1. College of Geosciences and Engineering, Xi'an Shiyu University, Xi'an 710065, China; 2. Shaanxi Key Lab of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an 710065, China; 3. Shaanxi Geo-mining geophysical and Geochemical Exploration Team Co. Ltd., Xi'an 710043, China)

Abstract: In recent years, Northwest Nonferrous 713 General Team Co., Ltd. has successively carried out geophysical exploration work such as IP middle stage in Chigou ore rights area, and gained many achievements, but the information about Chigou rock mass distribution, rock and ore controlling fault structure, rock contact zone and other information is not fully clarified. Based on the newly completed gravity, magnetic and electric comprehensive geophysical prospecting data of Chigou Cu-Mo deposit, combined with the existing geological and borehole data in the study area, gravity, magnetic force and AMT data were processed, and the characteristics of gravity and magnetic anomaly field in the area were comprehensively analyzed, the rock and ore controlling fault structure was delineated and the main magma invasion channel was found. The intrusion range of concealed rock mass closely related to mineralization was determined, and two concealed and semi-concealed rock masses were delineated. The geophysical field characteristics of concealed rock mass, contact zone of rock mass and mineralized body are clarified, and the contact zone of rock mass and stratum is the main metallogenic site. The favorable prospecting area is predicted, and the prospecting breakthrough is obtained through drilling verification. The research results have important reference significance for further exploration of copper and molybdenum deposits in this area.

Key words: Shanyang Chigou; gravity, magnetic and electric anomaly; concealed rock mass; prospecting prediction

(本文编辑:王萌)