

doi: 10.11720/wtyht.2019.1422

毕炳坤,常云真,施强,等.综合物探在崤山东部浅覆盖区勘查银多金属矿床中的应用[J].物探与化探,2019,43(5):976-985.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1422

Bi B K, Chang Y Z, Shi Q, et al. The application of geophysical exploration to prospecting for silver-lead-zinc deposits in shallow cover areas of eastern Xi-aoshan[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(5): 976-985. http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1422

综合物探在崤山东部浅覆盖区勘查 银多金属矿床中的应用

毕炳坤^{1,2}, 常云真^{1,2}, 施强^{1,2}, 申随水^{1,2}

(1.河南省地质矿产勘查开发局 第一地质矿产调查院, 河南 洛阳 471023; 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 471023)

摘要: 根据勘查目标地质体(含银多金属矿构造蚀变带及花岗斑岩体)与围岩的物性差异,在崤山东部浅覆盖区运用高精度磁测、激电中梯、激电测深等综合物探方法勘查隐伏型银多金属矿床。采用高精度磁测划分有利找矿靶区,通过激电中梯圈定矿化蚀变成矿有利地段,选用激电测深优化钻孔布设,提高钻孔见矿率,找矿取得重大突破。

关键词: 崤山东部;银多金属矿;高精度磁测;激电中梯;激电测深

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)05-0976-10

0 引言

我国从 20 世纪 40 年代初就已开始应用地球物理方法寻找多金属矿床,目前国外应用的各种物探方法我国几乎都已应用,其中主要的物探方法有航空磁测、航空电法、地面电法(激发极化法、电阻率法、自然电场法、充电法、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁法等)、地面磁法、重力、浅层地震、地下物探、核物探等。20 世纪 80 年代以来,我国使用的物探方法种类较多,在豫西地区,地质、地球物理、地球化学紧密结合,取得了较好的找矿效果,利用磁法、激发极化法的低(负)磁、低阻(良导)、高激电异常找矿标志,找到了一大批多金属矿床。近年来,崤山地区找矿取得了重大突破,改变了过去崤山地区找矿“只见星星不见月亮”的状况,特别是崤山东部浅覆盖区中河及老里湾大型银多金属矿床的发现,具有重大意义。

浅覆盖区隐伏矿找矿工作是近年来找矿工作重点之一,勘查方法^[1-3]还在不断探索过程中,物探在

其中发挥着越来越重要的作用^[4-12]。在崤山东部浅覆盖区中河银多金属矿床勘查中,采用高精度磁测低负磁异常区划分有利找矿靶区,通过激电中梯低阻高激电异常圈定矿化较好地段,选用激电测深高激电异常优化钻孔布设、提高钻孔见矿率等综合物探方法的合理运用,在勘查中发挥了独特的作用,促进了该区找矿工作取得重大突破,为今后在类似地区开展物探工作提供了方法有效性类比依据。

1 矿区地质及地球物理背景

1.1 矿区地质背景

崤山东部浅覆盖区位于华北地台南缘崤山断隆东部,属华熊台隆中段小秦岭—崤山—熊耳山—外方山金银钼多金属成矿带的一部分^[13],具有良好的成矿地质条件,是崤山地区银铅锌矿的重要成矿区。

普查区所处的特殊的大地构造位置以及地质背景(图 1)决定了区内银铅锌矿床的产出具有分布相对集中、类型较为简单和容矿围岩较为单一等特点,其控矿地质条件主要有岩浆岩控矿条件、构造控矿

收稿日期: 2018-11-19; 修回日期: 2019-05-15

基金项目: 河南省地质勘查基金项目(豫国土资发[2016]46号-03,豫国土资发[2018]22号-01)、河南省财政地质科研项目(豫国土资发[2018]98号-02,03)联合资助

作者简介: 毕炳坤(1975-),男,高级工程师,1995年毕业于中国地质大学,长期从事地质矿产勘查(物探)、水工环物探等方面的技术工作。

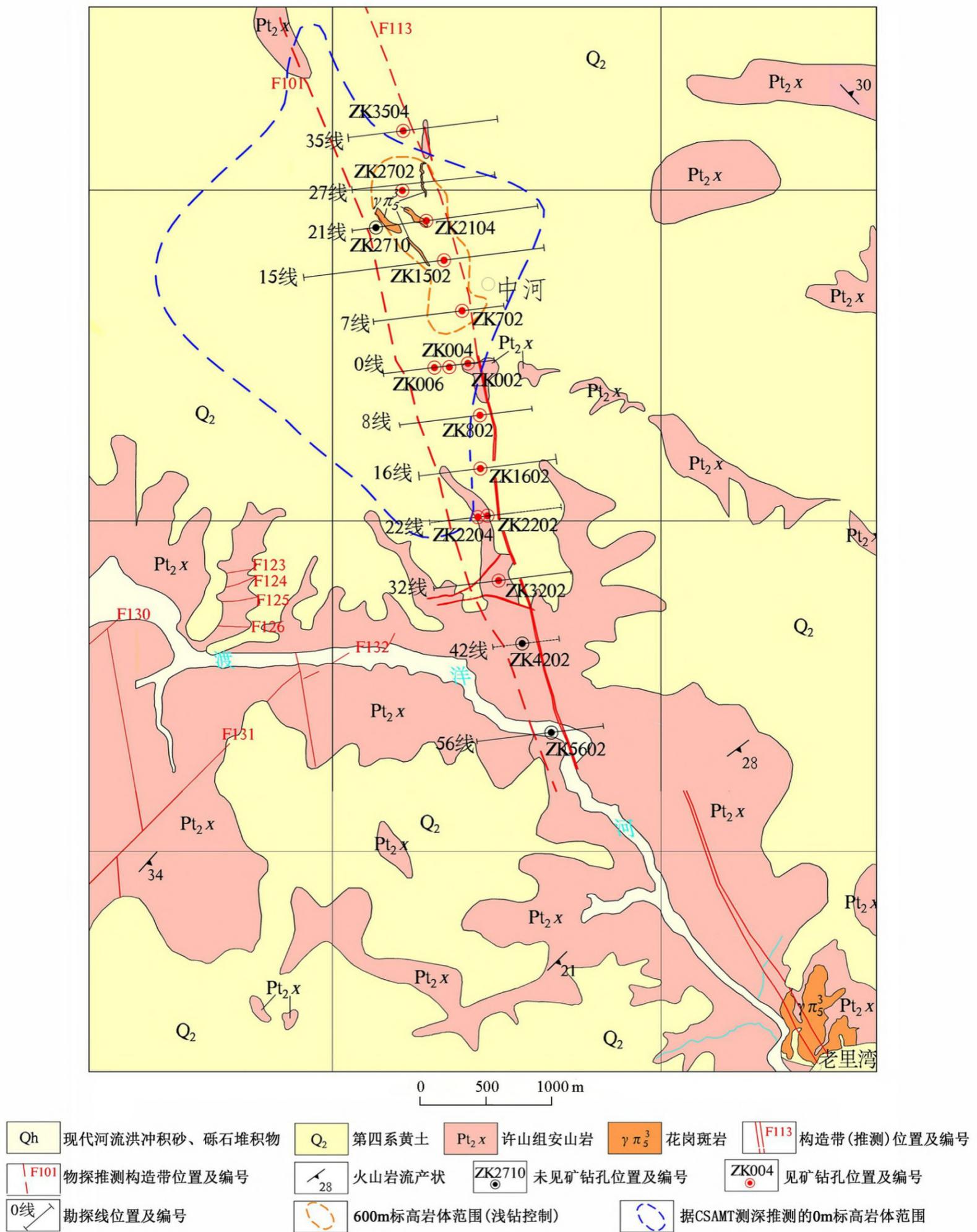


图 1 中河银多金属矿区地质简图(据文献[14]修改)

Fig.1 Geological map of Zhonghe silver polymetallic mining area(modified according to reference [14])

条件:岩浆岩对矿产的控制表现为区内燕山期岩浆岩较发育,围绕中河花岗斑岩、老里湾花岗斑岩已经初步形成了中河、老里湾 2 个大型银铅锌矿床;构造对矿产的控制表现为不同构造部位对成矿系统的控矿作用不同,中河 F113 断裂具有多期活动特征,构

造带内主要发育角砾岩、碎裂岩、蚀变岩及断层泥等,沿 F113 断裂有花岗斑岩脉分布,成矿带内主要发育以铅锌矿化、褐铁矿化为主的构造蚀变岩,在断裂与次级断裂的交汇处,岩浆成矿作用十分强烈,同时又有深部通道,有成矿物质来源和较好的成矿条

件与控矿构造,是形成大型矿床的有利地段,矿床成因与构造蚀变密切相关,其成矿热液为岩浆期后中低温热液。

出露地层主要为中元古界熊耳群、新生界古近系、新近系及第四系。区域褶皱构造简单,总体呈EW向短轴背斜产出,断裂构造较为发育,主要呈NE、NW向、近EW向和近SN向展布,大部分地区因第四系黄土覆盖,地表出露长度较短。区域上岩浆岩较发育,主要为新太古代变质花岗岩类,熊耳晚期辉长岩、辉绿岩、花岗斑岩和燕山期中酸性小岩体,其中以燕山期岩浆活动最为强烈,在岩体及其周围形成重要的金、银及多金属矿床。

矿区出露地层主要为熊耳群许山组火山岩、午城黄土、离石黄土,沟谷多为现代河床沉积物。其中,熊耳群许山组主要分布在矿区中南部渡洋河一带的山沟及山坡上,为一套以陆相喷发为主的中偏基性火山熔岩:上段安山岩夹安山玢岩;中段以大斑安山岩为主,局部夹安山岩及杏仁状安山岩;下段安山岩夹大斑安山岩。

区内已发现矿产主要为构造蚀变岩型银多金属矿和斑岩型银多金属矿^[13,15]。银铅锌矿石矿物成分有18种。金属矿物主要有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿。辉银矿粒度小于0.03 mm;方铅矿常与闪锌矿、黄铁矿一起混杂分布;闪锌矿多呈浸染状分布,局部呈脉状,呈脉状时多与方铅矿、黄铜矿、黄铁矿共生;黄铁矿多呈浸染状分布,局部呈脉状,多与方铅矿、闪锌矿共生,少量与黄铜矿共生。非金属矿物主要为石英。

1.2 矿区地球物理背景

1.2.1 岩(矿)石电性参数

据崞山东部银钨多金属矿预查物性测定成果(表1),区内主要矿化岩石极化率较高,平均在3%

~5%以上;围岩极化率较低,一般小于2%。矿化岩石电阻率相对围岩较低。

1.2.2 岩(矿)石磁性参数

从区内主要岩(矿)石磁参数统计结果(表2)可知:沉积岩类如黄土、砂岩、砾岩等,基本上属无磁或微弱磁性;岩浆岩的磁性基本上遵循基性—中性—酸性—碱性岩,顺序递减的特点,基性辉长岩为中强磁性,酸性岩和碱性岩的磁性较弱;熊耳群火山岩磁性不均匀,变化显著,不同地区不同岩性的火山岩,有的磁性弱,有的磁性很强,是区内分布最广的磁性岩层,其原因可能与岩石中磁铁矿含量、蚀变和风化程度等有密切关系,在磁场图上总体呈以正磁异常为主的跳跃杂乱磁场;构造岩中碎裂岩与蚀变花岗斑岩磁性弱,蚀变安山岩磁性相对较强;矿石中黄铁矿、褐铁矿、银铅锌矿石磁性弱,磁铁矿石或磁铁矿化的岩石磁性最强,可引起强磁异常。其中,熊耳群火山岩磁性特征可分为两种类型,一类是酸性火山岩,包括流纹岩、英安岩、石英斑岩等,含磁性矿物少,其磁性较弱,一般无明显异常反映;另一类是中基性火山岩,包括安山岩、安山玢岩、杏仁状安山岩等,含磁铁矿石4%~8%,最高达16.1%,具有较强磁性。

区内构造蚀变岩型银多金属矿控矿构造带内主要充填碎裂岩和银铅锌矿石,赋矿围岩为安山岩,而斑岩型银多金属矿主要赋存在花岗斑岩体内,矿石为银铅锌矿化花岗斑岩,赋矿围岩为安山岩及花岗斑岩。由以上分析可知,构造岩中碎裂岩、银铅锌矿石磁性弱,围岩安山岩磁性较强;而银铅锌矿化花岗斑岩磁性弱,花岗斑岩磁性中等,安山岩磁性较强。因此,碎裂岩、银铅锌矿体及银铅锌矿化花岗斑岩可引起明显的低负磁异常,应是本区的主要勘探目标。

表1 岩(矿)石电性参数统计

Table 1 Statistical table of electrical parameters of rock (ore)

岩矿石名称	标本块数	极化率/%		电阻率/($\Omega \cdot m$)	
		范围	平均值	范围	平均值
花岗斑岩	44	0.57~2.10	1.48	255~1680	744
安山岩	11	1.14~1.85	1.63	405~770	543
流纹岩	30	0.65~2.71	1.84	155~875	537
碎裂岩	21	0.70~2.01	1.61	102~845	534
矿化花岗斑岩	9	2.32~9.22	5.51	92~718	344
矿化安山岩	22	1.6~17.20	5.5	66~654	399
矿化碎裂岩	9	2.03~11.36	3.55	226~524	394

注:数据来自文献[14]

表 2 测区主要岩(矿)石磁参数统计

Table 2 Statistical table of magnetic parameters of main rocks (ore)

岩石类别	岩矿石名称	标本块数	$\kappa/10^{-6} 4\pi(\text{SI})$		$M_r/(10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-1})$	
			变化范围	均值	变化范围	均值
沉积岩	黄土	315		265		39
	砂岩、砾岩	110	微磁		微磁	
中性岩	闪长岩	104		3340		300
	闪长玢岩	34		3410		618
	石英闪长岩	4		6500		480
	石英脉、矿化石英脉	45		0		0
基性岩	辉长岩	53	260~12000	2420	240~50400	1420
酸性岩	花岗岩	78		540		80
	花岗斑岩	38	22~621	234	68~984	485
	二长花岗岩	57		2660		260
碱性岩	正长岩	244	260~20000	725	82~8400	510
	正长斑岩	231	0~5650	1065	0~2780	270
	石英正长斑岩	36		0		0
火山岩	流纹(斑)岩	11	微磁		微磁	
	英安(斑)岩	18		900		37
	安山岩	1273	0~9300	1061	0~9150	453
		396		7680		7500
	安山玢岩	204	130~5840	7400	2000~9000	7000
		49	多为弱磁			
	杏仁状安山玢岩	396	10000~20000		1000~2100	
片理化安山玢岩	49		4500		1400	
构造岩	碎裂岩	17	23~416	164	146~964	701
	蚀变安山(玢)岩	14		1170		230
	蚀变花岗斑岩	35	0~75	29	0~56	24
矿 石	赤铁矿	61		527		408
	黄铁矿	10		0		0
	磁铁矿	491	520~139000	49700	500~128000	14500
	褐铁矿	11		80		180
	磁铁赤铁矿	42	1300~9500	5665	1070~3500	2335
	磁铁石英岩	53	2470~48300		289~19200	
	银铅锌矿	19	52~355	124	143~1063	598
	银铅锌矿化花岗斑岩	12	40~243	137	137~792	369

注:数据来自文献[14]

2 工作方法技术

为了在崂山东部浅覆盖区取得找矿突破,首先采用地面 1:5 万高精度磁测开展扫面工作,按照以上分析,根据低负磁异常特征划分出成矿有利靶区;为尽快寻找到可供开采的隐伏矿体,在成矿有利靶区进行激电中梯扫面测量,根据低阻高激电异常圈定成矿有利地段;在成矿有利地段拟施工钻孔勘探线剖面开展激电测深工作,优化钻孔设计,使首批钻孔尽可能打在高激电异常体上,提高钻孔见矿率。地面 1:5 万高精度磁法测量基本覆盖崂山东部浅覆盖区。按规则网开展磁法扫面,测线基本垂直区域构造走向。观测参数:地磁总场(T)。

激电中梯剖面测量工作前后共分 3 次完成,首

先布置在中河岩体周围,其次在中河岩体及 F113 南段测量,最后完成基本覆盖全区的激电中梯剖面测量。根据激电测深试验结果及相关参数,确保工区异常强度及效果一致,激电中梯剖面施工参数为:供电电极距 $AB=1200\text{ m}$,测量极距 $MN=40\text{ m}$,测点距 40 m ;双向短脉冲供电时间 8 s ,周期 32 s ,正反向供电,断电延时 200 ms ,采样宽度 40 ms 。

激电测深工作打破了常规电测深法的极距选择,根据实验,采用对称四极测深等比装置, $MN/AB=1/10$ 。正反向供电,供电时间 8 s (周期 32 s),延时 200 ms 。根据激电测深单支曲线绘制 ρ_s 、 η_s 断面等值线图,结合激电测深单支曲线对 ρ_s 、 η_s 断面等值线图进行定量、半定量解释推断,判定矿体埋深、厚度、形状及横向延展情况。

3 应用效果

3.1 高精度磁测

对高精度磁法测量成果和资料进行分析对比和综合研究,根据低负磁异常圈定成矿有利靶区。区域岩矿石磁参数测定成果表明,熊耳群安山岩地层均不同程度具有一定磁性,中基性侵入岩(岩体)一般磁性稍强,酸性花岗岩类一般磁性较弱,控矿、含矿构造带磁性变弱或消失。由于遭受蚀变或经构造破碎后的岩石(碎裂岩、蚀变花岗岩)磁性减弱,矿石无磁性,致使它们与未蚀变、未破碎岩石之间有一定磁性差异。因此,在具有一定埋深的隐伏蚀变含矿岩体或含矿构造带上开展磁法测量,相对背景场将会出现低负磁异常,从而为磁法寻找银多金属矿或寻找与银多金属矿有关的破碎蚀变带提供了物性前提。

由崤山东部浅覆盖区 1:5 万高精度磁测 ΔT 异常图(图 2)可以看出:

西北部以正磁异常为主,异常幅值最大 400~600 nT,局部出现零星负磁异常,异常幅值达 -200~-400 nT,整体呈磁场强度较高的杂乱磁异常带,为熊耳群安山岩地区较为典型的磁异常特征。以中河岩体为界,中河岩体以北以正磁异常为主,异常幅值一般 100~200 nT,沿 NNE 向构造带走向方向间断出现低磁异常,异常幅值一般 0~100 nT。

中部在界村—中河一带呈明显的以负磁异常为主且正负相间的低负磁异常区(图 2 中紫红色线圈定区域),异常总体呈 SW—NE 走向,平面形态呈“靴子”状,长约 18 km,宽约 3~8 km,异常面积约 109 km²,异常幅值一般为 -200~200 nT。在负磁异常区内有老里湾岩体和中河岩体,中河岩体对应负磁异常,异常幅值 -100~-200 nT;老里湾岩体主要对应负磁异常,异常幅值 -50~-200 nT,中间伴生小范围正磁异常,异常幅值一般小于 100 nT。一般熊耳群安山岩地层磁异常特征表现为正磁异常为主、局部出现零星负磁异常且整体呈磁场强度较高的杂乱磁异常区。该低负磁异常区对应崤山东部浅覆盖区,地表新生界地层大面积覆盖,熊耳群安山岩地层在沟谷中零星出露,磁异常特征与熊耳群安山岩地层区磁异常特征不吻合。

界村—中河一带低磁异常区东北部高磁异常(伴生负磁异常)为宅延异常,宅延异常幅值 ΔT 极值达 6 391.6 nT,北部伴生强度超过 -500 nT 的宽缓负磁异常。

东南部界村—老里湾以南为洛宁断陷盆地,磁异常呈低的、平缓的正磁异常区,异常幅值 0~200 nT,该区对应洛宁盆地北缘新生界沉积岩区,与新生界沉积地层弱磁且磁性分布均匀的特征相吻合,为典型的沉积盆地磁异常特征。

在豫西 1:20 万航磁异常图上洛宁断陷盆地为明显的负磁异常区,结合地质特征,界村—中河一带

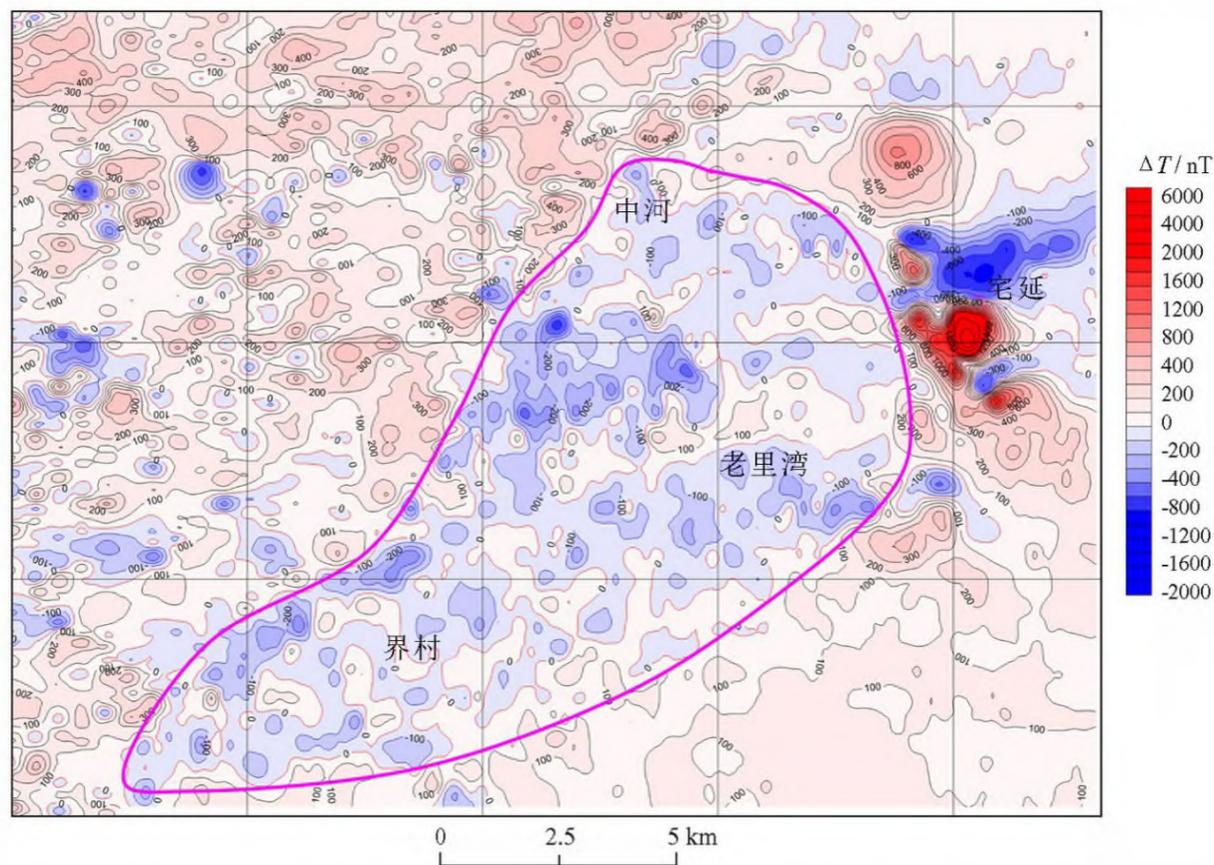


图 2 崤山东部浅覆盖区 1:5 万高精度磁测 ΔT 异常

Fig.2 1 : 50000 high-precision magnetic measurement ΔT anomaly map in the shallow coverage area of eastern Xiaoshan

低磁异常区为熊耳群火山岩区,应反映为以正磁异常为主的磁异常特征。而界村—中河一带却出现了较明显的低负磁异常区,根据该区岩(矿)石磁性参数,推测深部存在低磁性的酸性侵入岩体,岩体在侵位上升过程中热液矿化蚀变较为强烈,同时断裂构造较为发育造成上覆熊耳群安山岩地层产生退磁作用,同时该区地表出露的熊耳群火山岩层较薄,总体磁性变弱,形成低负磁异常。

根据区内地表出露小岩体位置对应的磁异常特征及磁性参数特征,对磁异常进行化极、向上延拓处

理,将向上延拓 300 m 磁异常图中零等值线圈定的低负磁异常区域(图 3 中紫红色虚线)推测为隐伏蚀变花岗斑岩体在地表的投影位置。目前,区内现已发现中河、老里湾、界村岩体,且中河、老里湾岩体含矿性已被证实^[1-2],推测深部存在规模较大的酸性侵入岩体及与酸性岩体有关的蚀变矿化地质体。地表零星出露小岩体(株、脉),深部连为一体,找矿前景巨大。东北部宅延高磁异常(伴生负磁异常)区地表已发现岩脉(株),推测可能为含铁磁性矿物较多的基性岩或超基性岩株引起。

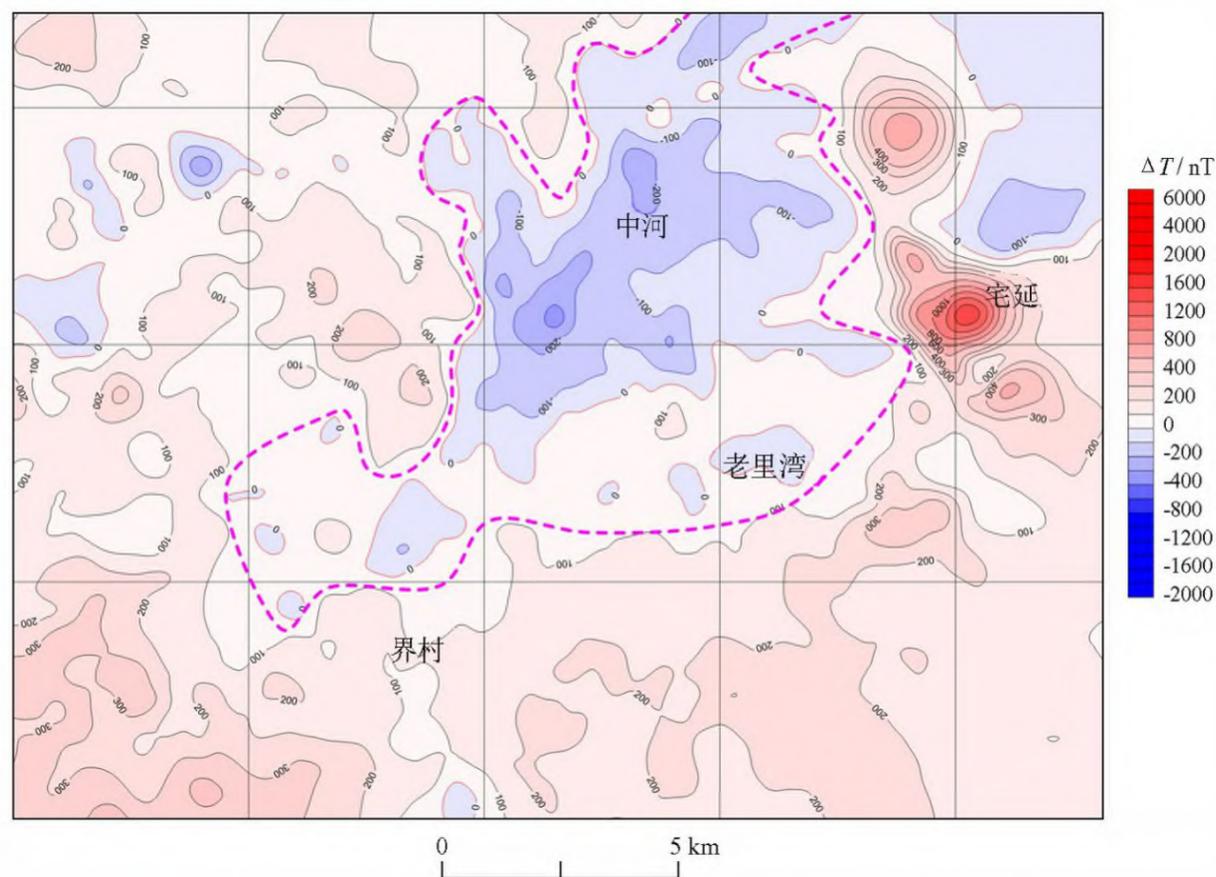


图 3 崂山东部浅覆盖区 1:5 万磁异常上延 300 m 等值线平面

Fig.3 Plan of the contour of the 300m contour of the 1:50,000 magnetic anomaly in the shallow coverage area of eastern Xiaoshan

3.2 激电中梯剖面测量

毋庸置疑,激电异常直接反映的是多金属硫化物的矿化富集地段,根据本区的地质特征——银多金属矿与方铅矿有着正相关的关系,特别是方铅矿和银矿是共生矿物,其含量与银矿的含量相关,而方铅矿又最易引起激电异常。同时,矿区内黄铁矿化安山岩也能引起较高的激电异常,但无磁异常。所以,在低负磁异常区内寻找高激电异常,可以达到直接寻找银多金属矿的目的。

根据高激电异常特征,圈定了 4 条与 F113 平行的构造带(图 4)——F101、F100、F99、F98,均位于 F113 西侧,走向 NNW,倾向 W。F101 东距 F113 约 200~800 m,异常幅值 1.75%~12%,其中 Z31—Z21 线、Z7—Z0 线、Z28—Z32 线、Z40—Z52 线之间视极化率异常幅值大于 5%,Z8—Z22 线之间视极化率异

常幅值大于 1.75%,Z91—Z39 线之间视极化率异常幅值大于 1.5%,南北延伸总长约 7.5 km。F100、F99、F98 位于预查区南部上宋瑶—老虎沟区域,其异常幅值均小于 1.5%。F100 延伸长约 3.6 km, F99 延伸长约 2.9 km, F98 延伸长约 2.4 km。F113 控矿构造带及中河岩体矿化较好地段主要表现为相对低阻高极化,极化率一般可达 3%~5%。

经钻孔验证,激电中梯高极化率地段均见到品位、厚度均达到工业矿体要求指标的矿体。下一步拟继续对高激电异常区展开工程验证。

3.3 激电测深

激电测深反演是在正演模拟的基础上采用最小二乘法线性迭代反演^[15]。

3.3.1 第 0 勘探线

在第 0 勘探线极化率反演断面(图 5)上圈定了

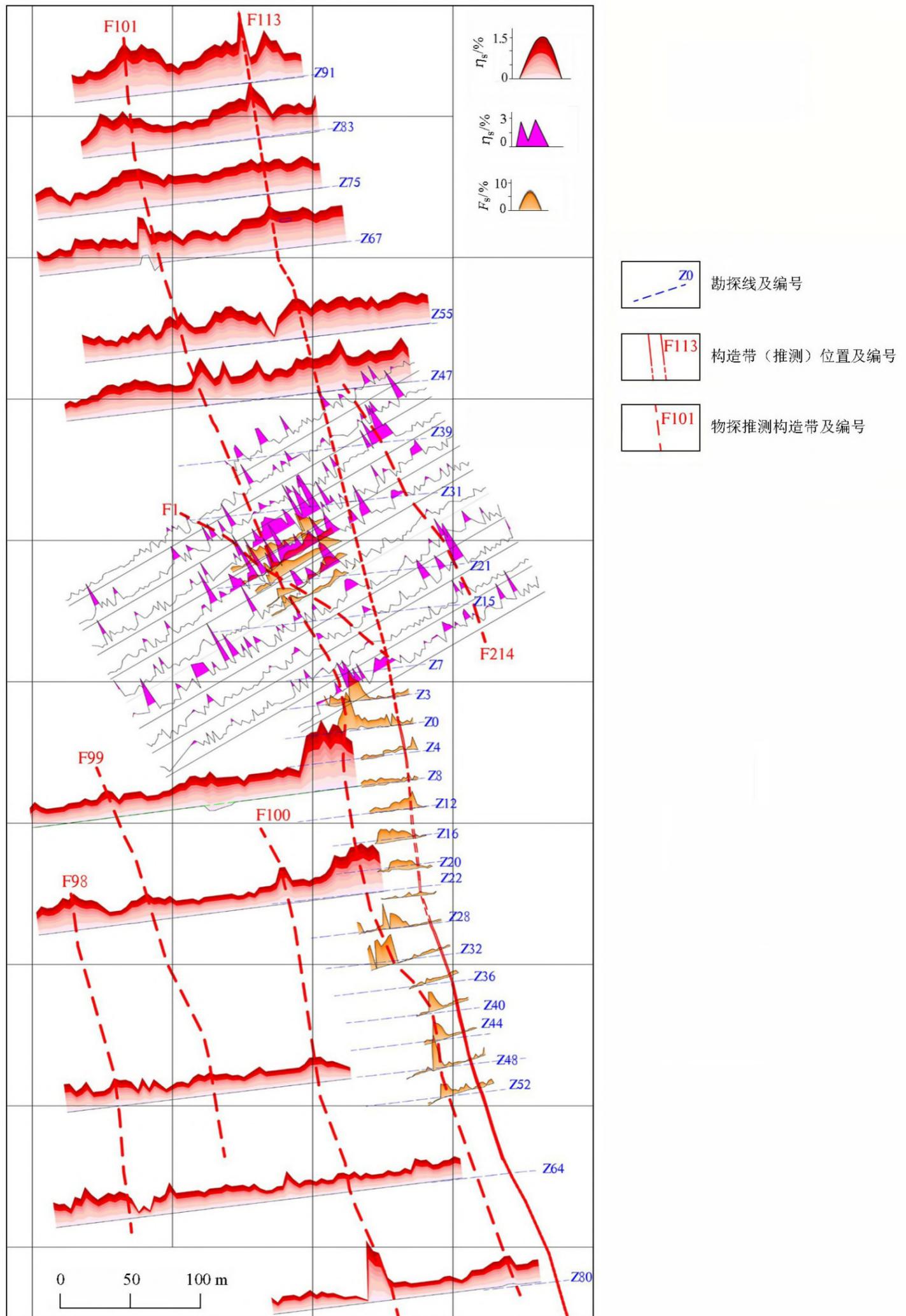


图 4 中河银多金属矿区激电中梯视极化率平剖图

Fig.4 Section diagram of apparent polarization in IP in Zhonghe silver polymetallic mining area

4 个极化率 $\geq 3.2\%$ 的高极化异常体 ($J_{0-1} \sim J_{0-4}$)。

J_{0-1} 和 J_{0-2} 均位于 7 号点下方, 二者形成一条陡立的高极化异常带 (极化率 $2.2\% \sim 5.6\%$), 标高 $500 \sim 100 \text{ m}$, 推测 J_{0-1} 和 J_{0-2} 两个高极化体由构造带 F113 的含矿部位引起, J_{0-2} 高极化体向下未封闭。在 3 号

测点标高 $100 \sim 200$ 之间存在高极化体 J_{0-3} (极化率 $3.2\% \sim 4.2\%$), 向下未封闭, 与 7 号测点的 J_{0-2} 异常体在深部形成“V”字型。另外, 在 1 号测点下方标高 $350 \sim 250 \text{ m}$ 之间存在高极化体 J_{0-4} 。根据这些特点推测 F113 深部仍有较好成矿条件。

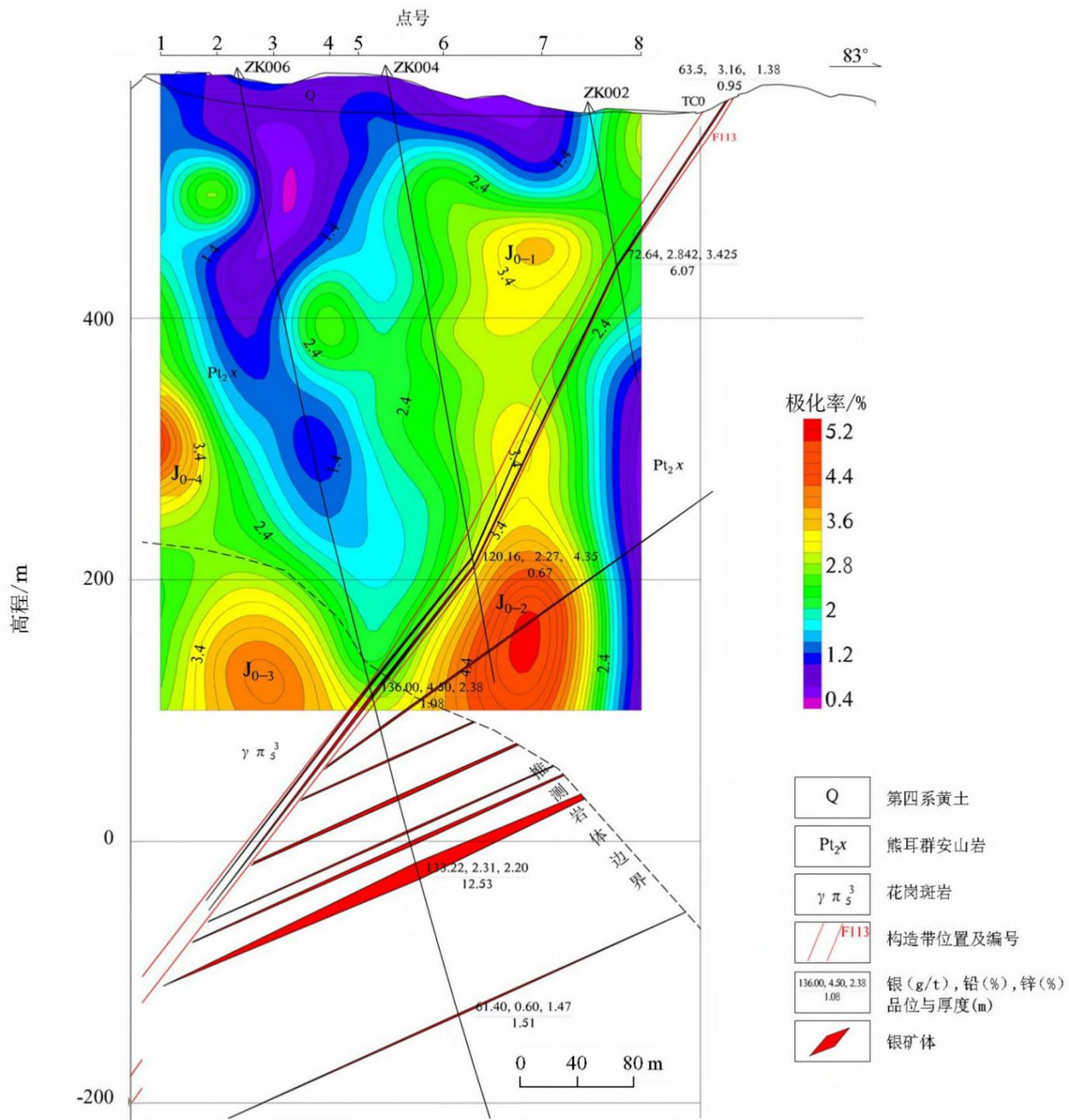


图 5 中河银矿区第 0 勘探线地质、物探综合剖面

Fig.5 Comprehensive geological and geophysical sections of No.0 exploration line in Zhonghe silver polymetallic mining area

经钻孔验证,在高激电异常位置见到工业矿体。见矿情况如下:

ZK002 孔:孔深 110.31~120.50 m,银品位 72.64 g/t,铅品位 2.84%,锌品位 3.43%;

ZK004 孔:孔深 367.68~378.45 m,银品位 30.82 g/t,铅品位 0.83%,锌品位 0.88%;

ZK006 孔:孔深 472.82~488.03 m,银品位 30.84 g/t,铅品位 0.58%,锌品位 0.73%。

3.3.2 第 8 勘探线

在激电测深极化率反演断面(图 6)上,存在一条明显的西倾高极化率异常带,与本区主要含矿构造带 F113 断裂构造带吻合较好。ZK802、ZK804 在相应位置见矿较好,深部的钼矿体也在高极化异常体内。高极化异常带向西未封边,预测矿体向西延

伸,深部矿化较好。

经钻孔验证,在高激电异常位置见到工业矿体。见矿情况如下:

ZK802 孔:孔深 165.70~167.43 m,银品位 101.00 g/t、铅品位 1.36%、锌品位 1.32%;

ZK804 孔:孔深 276~278 m,银品位 935.00 g/t、铅品位 12.36%、锌品位 12.08%。

此外,极化率大于 8% 的区域对应钻孔内均见到明显的条带状、浸染状、星点状黄铁矿化,银多金属矿化弱,其品位达不到工业矿体要求。

中河矿区共布置 16 个钻孔,13 个见矿,钻孔见矿率达 81.25%,找矿效果良好。从钻孔验证的情况看,物探解释推断和钻孔资料相吻合,提高了钻孔见矿率。

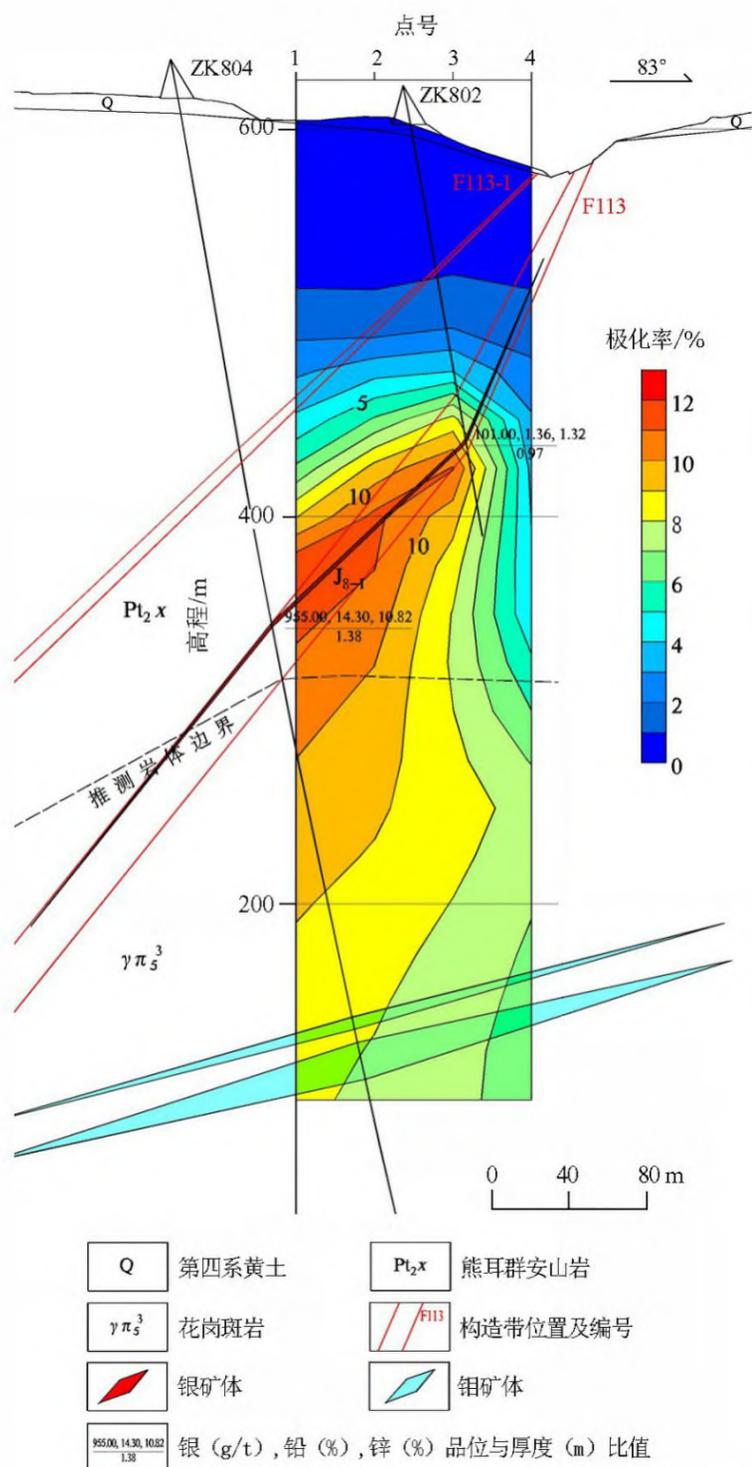


图 6 中河银矿区第 8 勘探线地质、物探综合剖面

Fig.6 Comprehensive geological and geophysical sections of No.8 exploration line in Zhonghe silver polymetallic mining area

4 结论

1) 在崤山东部浅覆盖区中河银多金属矿床勘查中,运用高精度磁测划分成矿有利靶区,通过激电中梯剖面测量快速圈定矿化较好地段(相对低阻高极化异常体),在钻孔布置前选用激电测深法定位相对低阻高极化异常体位置,进而优化钻孔布设、提高钻孔见矿率,加快了矿区勘查进程,促进了崤山东部浅覆盖区找矿取得重大突破。

2) 通过钻孔验证,见矿情况良好,初步估算银矿、铅锌矿均可达大型规模,说明采用高精度磁法、激电中梯法、激电测深法等多种方法组合在勘查隐伏型银多金属矿床中发挥了物探独特的作用。

致谢:本文写作过程中得到河南省地矿局第一地质矿产调查院教授级高工徐文超的精心指导,在此一并致谢!

参考文献 (References):

- [1] 张林,张录星,杨彦峰.崤山地区重磁异常与成矿[C]//有色金属地质勘查工作暨学术讨论会论文集,2003:475-478.
Zhang L, Zhang L X, Yang Y F. Gravity and magnetic anomaly related to metallogenesis in xiaoshan area[A]//Collection of Papers on Geological Exploration of Non-ferrous Metals and Symposium.2003:475-478.
- [2] 马金林,邵满军,田吉山,等.新疆宏源铅锌矿找矿方法组合及成矿远景分析[J].矿产勘查,2012,3(5):650-656.
Ma J L, Shao M J, Tian J S, et al. Prospecting method combination and metallogenic prospect analysis of hongyuan lead-zinc deposit in xinjiang[J]. Mineral Exploration,2012,3(5):650-656.
- [3] 王瑞廷,王向阳,任涛,等.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,2015,31(1):650-656.
Wang R T, Wang X Y, Ren T, et al. Sanyo-zhshui ore concentration area porphyry, skarn type polymetallic deposit prospecting method combination[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(1): 650-656.
- [4] 王元君,杨轮凯,刘宏.综合物探方法在秦岭探测隐伏铅锌矿中的应用[J].物探与化探,2007,31(04):320-322.
Wang Y J, Yang L K, Liu H. The application of the integrated Geophysical and Geochemical method to the search for concealed Lead-Zinc deposits in Qinling area[J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(4): 320-322.
- [5] 毕炳坤.电法勘探在铝土矿勘探中的应用[J].物探与化探,2009,33(4):400-402.
Bi B K. The application of the electric method to bauxite exploration[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 33(4): 400-402.
- [6] 曹亮,郭孟习,程双,等.综合物探方法在内蒙古某铅锌矿勘查中的应用[J].吉林地质,2010,29(2):94-97.
Cao L, Guo M X, Cheng S, et al. Application of comprehensive geophysical prospecting method in a Lead-Zinc ore exploration in inner Mongolia[J].Jilin Geology,2010,29(2):94-97.
- [7] 张国鸿,李仁和.可控源音频大地电磁法深部找矿实验效果[J].物探与化探,2010,34(1):66-70.
Zhang G H, Li R H. The test result of the controlled source audio-frequency magnetotelluric method in the prospecting for deep ore deposits[J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(1): 66-70.
- [8] 王纪中.根据区域重磁异常在豫西南圈定多金属成矿远景区[J].物探与化探,2011,35(4):468-472.
Wang J Z. The delineation of polymetallic ore-forming prospective areas in southwest Henan based on regional gravity and magnetic anomalies[J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 35(4): 468-472.
- [9] 刘国辉,孙士辉,徐晶,等.综合物探方法在内蒙古东部某多金属矿勘查中的应用[J].工程地球物理学报,2011,8(1):55-60.
Liu G H, Sun S H, Xu J, et al. Application of integrated geophysical prospecting method in the exploration of a polymetallic ore in

- eastern inner Mongolia [J]. Journal of Engineering Geophysics, 2011, 8(1): 55-60.
- [10] 郭继颂, 刘志远, 李达, 等. 综合物探方法在承德某多金属矿勘探中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2012, 9(3): 356-361.
Guo G S, Liu Z Y, Li D, et al. Application of comprehensive geophysical prospecting method in the exploration of a polymetallic ore deposit in Chengde [J]. Journal of Engineering Geophysics, 2012, 9(3): 356-361.
- [11] 王保国, 程广国. 地质物探综合方法在哈达特矿区寻找隐伏铅锌矿 [J]. 西部探矿工程, 2012, 24(2): 145-148.
Wang B G, Cheng G G. A comprehensive method of geological and geophysical exploration for hidden Lead-Zinc deposits in Haddate mining area [J]. Western Prospecting Project, 2012, 24(2): 145-148.
- [12] 李星, 王峰, 罗大锋, 等. 综合物探方法在云南江城隐伏铅锌矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2015, 39(6): 1119-1123.
Li Xing, Wang Feng, Luo Da-Feng, et al. The Effects Of Applying Integrated Geophysical Method To The Prospecting For The Jiangcheng Concealed Lead And Zinc Deposit In Yunnan Province. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(6): 1119-1123.
- [13] 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 等. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列 [M]. 北京: 地质出版社, 2000: 355.
Luo M J, Li S M, Lu X X, et al. Mineralization and mineralization series of main minerals in Henan Province [M]. Beijing: Geological Press, 2000: 355.
- [14] 常云真, 徐文超, 赵留升, 等. 河南省崤山东部银钨多金属矿预查报告 [R]. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院, 2016.
Chang Y Z, Xu W C, Zhao L S, et al. Henan Xiaoshan eastern silver-tungsten polymetallic ore forecast report [R]. Henan Provincial Geology and Mineral Exploration and Development Bureau of the First Institute of Geology and Mineral Resources, 2016.
- [15] 李红松, 徐刚, 马占有. 河南省洛宁县老里湾银矿勘探报告 [R]. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院, 2015.
Li H S, Xu G, Ma Z Y, et al. Exploration report of Laoliwan silver mine In Luoning county Henan Province [R]. The First Geological Exploration Institute of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2015.
- [16] 刘海飞, 阮百尧, 吕玉增. 直流激电测深二维反演的若干问题研究 [J]. 物探与化探, 2007, 31(1): 47-51.
Liu H F, Ruan B Y, Luy Y Z. Some problems concerning 2D inversion of direct current ip sounding data [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(1): 47-50, 54.

The application of geophysical exploration to prospecting for silver-lead-zinc deposits in shallow cover areas of eastern Xiaoshan

BI Bing-Kun^{1,2}, CHANG Yun-Zhen^{1,2}, SHI Qiang^{1,2}, SHEN Sui-shui^{1,2}

(1. The First Institute of Geological and Mineral Resources Survey, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Luoyang 471023, China; 2. Key Laboratory of Gold and Silver Polymetallic Ore-forming Series and Deep Prediction of Henan Province, Luoyang 471023, China)

Abstract: According to the physical character difference between the exploration object geological body (silver polymetal-bearing structural alteration zone and granite porphyry mass) and the wall rock, the authors employed such integrated geophysical exploration methods as high-precision magnetic survey, IP intermediate gradient and IP sounding to prospecting for concealed silver polymetallic deposits in the shallow cover area of eastern Xiaoshan. High-precision magnetic survey was used to divide favorable prospecting targets, IP intermediate gradient method was utilized to delineate favorable ore-forming sectors of mineralization and alteration, and IP sounding was used to optimize drill hole layout. In this way, the ore-intersecting rate was increased, and important breakthrough was made in ore prospecting.

Key words: eastern Xiaoshan; silver polymetallic ore; high-precision magnetic survey; IP intermediate gradient; IP sounding

(本文编辑:沈效群)