

doi: 10.11720/wtyht.2019.1212

李波,刘汉军,周杰,等.湖南省九龙山铅锌矿物化探异常综合分析 with 找矿前景[J].物探与化探,2019,43(1):36-45.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1212

Li B, Liu H J, Zhou J, et al. A comprehensive analysis of lead-zinc geophysical and geochemical anomalies and ore-search prospect in the Jiulong Mountain, Hunan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(1): 36-45. http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1212

# 湖南省九龙山铅锌矿 物化探异常综合分析 with 找矿前景

李波, 刘汉军, 周杰, 屈利军

(湖南省地球物理地球化学勘查院, 湖南 长沙 410116)

**摘 要:** 为进一步摸清九龙山地区区域化探异常与铅锌矿化之间的因果关系、成矿规律和控矿因素,投入 1:1 万地质调查、土壤地球化学测量、岩石地球化学测量和激发极化法测量工作,通过综合分析,发现区内 4 个激电异常区与土壤异常形态相似,平面位置基本重叠吻合,且反映强烈。利用浅表槽探工程在异常中心处揭露到铅锌矿脉,长约 760 m,平均厚度为 1.40 m,铅平均含量为 3.03%,锌平均含量为 2.78%,说明九龙山勘查区成矿条件良好,矿产富集,未来深部找矿工作潜力较大。

**关键词:** 岩石剖面测量;土壤剖面测量;激发极化法;铅锌矿脉

**中图分类号:** P632

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2019)01-0036-10

## 0 引言

九龙山铅锌矿勘查区位于湖南省湘中地区,岩门洞—羊皮帽金矿成矿带亚带的西南段。1:20 万区域化探资料显示,九龙山九股老向斜扬起端、谭家场 NE 向断裂和九股老断裂带上,存在以 Zn、Pb、Cd 为主,伴有 Ag、Cu、Mo、Hg、Ba 等的综合异常<sup>[1]</sup>,异常强度 Zn 为  $(12.6 \sim 25.1) \times 10^{-6}$ , Pb 为  $(40 \sim 78) \times 10^{-6}$ , Cu 为  $(50 \sim 93) \times 10^{-6}$ , Ag 为  $(251 \sim 2\,860) \times 10^{-9}$ ,面积达 16 km<sup>2</sup>。

由于地形起伏频繁、切割强烈,人烟稀少,交通不便等自然因素,九龙山勘查区各项地质工作程度较低,仅停滞在小比例的区域调查阶段,且工作手段也相对单一。在固体矿找矿工作中,地质—物探—化探的多种工作手段相组合的找矿模式,是目前地质矿产勘查的有效途径<sup>[2-9]</sup>。这种方式一方面可以避免单一工作方法带来的局限性,另一方面也能使不同工作成果之间相互对比,相互验证,充分认识矿区成矿规律和控矿因素,最终达到找矿目的。为此,

采用地质先行、物化探跟进、浅表工程揭露验证的找矿方法在湖南九龙山勘查区开展铅锌矿勘查显得十分有必要,其物化探异常特征、强度大小、分布位置等是否具有关联性,直接决定着在该地区进一步投入详查工作是否可行,以及其找矿前景是否良好。

## 1 勘查区地质概况

勘查区在区域构造上处于雪峰弧形构造带中段,龙潭溪背斜北段的南东翼<sup>[10-11]</sup>。经历多次构造运动,NE 向及 NNE 向断裂构造十分发育<sup>[12]</sup>,为多金属成矿提供了良好的构造条件(图 1)

区内北西角小面积出露青白口系马底驿组(Qbm)紫红色条带状绢云母板岩、砂质板岩夹灰绿色板岩;西北和东南两侧大面积出露五强溪组(Qbw)绢云母板岩、凝灰质细砂岩和石英砂岩;中部分布南华系上统南沱组(Nh<sub>3n</sub>)、震旦系下统陡山沱组(Z<sub>1d</sub>)和上统灯影组(Z<sub>2dy</sub>)三套地层,其中南沱组(Nh<sub>3n</sub>)岩性为灰绿色砾岩、砂砾岩及灰绿色冰碛泥砾岩,陡山沱组(Z<sub>1d</sub>)为硅质页岩和白云质灰岩,

收稿日期: 2018-05-26;修回日期: 2018-09-12

基金项目: 湖南省国土资源厅省级探矿采矿权地质勘查项目(201603012)

作者简介: 李波(1984-),男,工程师,主要从事地质矿产勘查与普查工作。

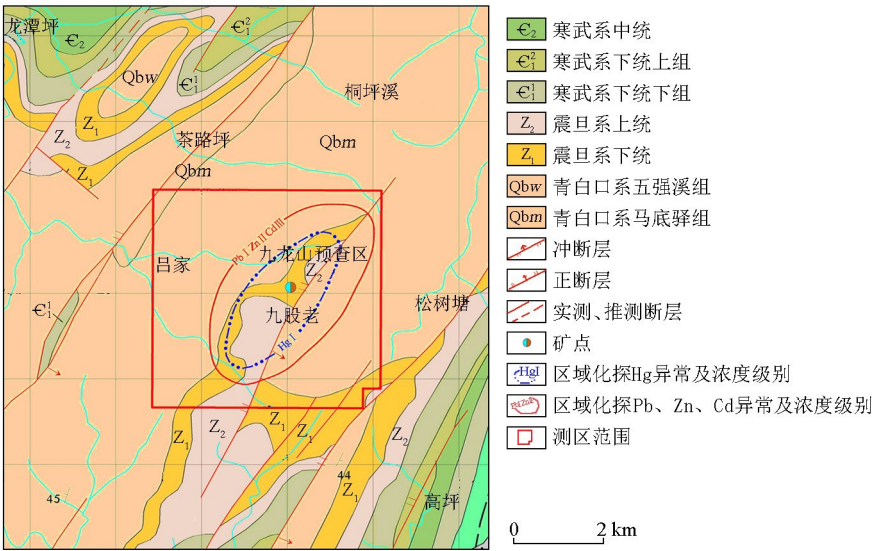


图 1 九龙山勘查区区域地质和综合化探异常

Fig.1 Geological sketch and composite geochemical anomalies of the Jiulong Mountain area

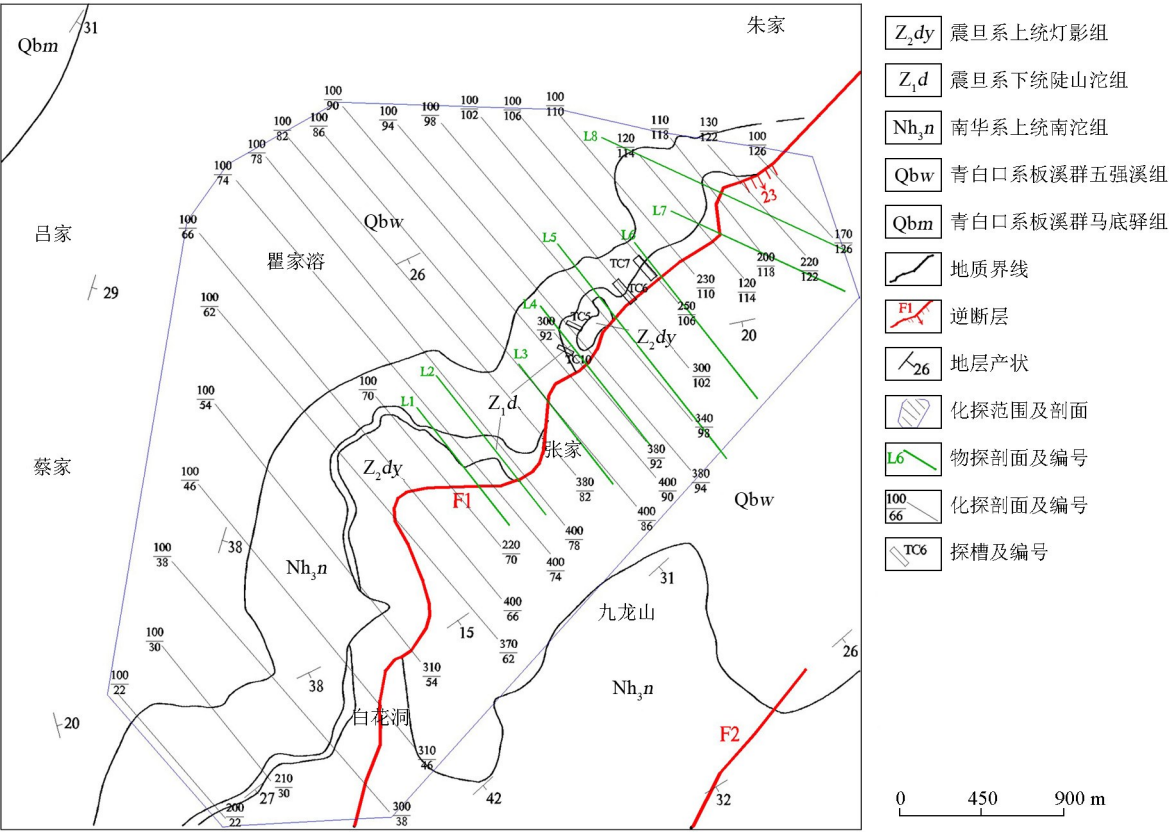


图 2 九龙山勘查区地质特征及工程布置

Fig.2 Geological characteristics and working arrangement of the Jiulong Mountain area

灯影组( $Z_2dy$ )则以坚硬的黑色条带状硅质岩为主。地层以倾向  $110^{\circ}\sim 168^{\circ}$ , 倾角  $20^{\circ}\sim 39^{\circ}$  的产状特征整体向 NE-SW 方向展布。

构造方面,年代较早的青白口系五强溪组( $Qbw$ )地层将相对较晚的南华系和震旦系三套地层包括其

中,在勘查区内形成九股老向斜。F1 断层从区内北部上板冲往南经九股老和百花洞延伸出图幅,区内走向长约 5 500 m,破碎带宽 5~8 m。断裂面倾向  $150^{\circ}$  左右,倾角  $30^{\circ}$  左右。地表断层内岩石破碎,褐铁矿化和褪色化明显。F2 断层分布于 F1 断层以东汤家湾南

西面,区内走向长约 1 200 m,破碎带宽 5 m 左右。断层倾向 289°左右,倾角 47°左右。断层内岩石破碎,也存在褐铁矿化和褪色化明显特征。

## 2 物探测量

### 2.1 地球物理特征

矿体与围岩之间存在电性差异,是电法找矿是否有效的应用前提<sup>[13-15]</sup>。对勘查区不同地层的岩(矿)石标本进行参数测量,发现五强溪组、南华系和震旦系中的板岩、硅质岩和砂岩 3 类岩石电阻率值( $\rho$ ) 在 1 234~5 420  $\Omega \cdot \text{m}$  之间,几何平均值为

3 135  $\Omega \cdot \text{m}$ ;铅锌矿石标本电阻率值为 62~1 894  $\Omega \cdot \text{m}$ ,几何平均值为 643  $\Omega \cdot \text{m}$ 。同时,铅锌矿石标本幅频率( $F$ ) 在 4.7%~36%之间浮动,几何平均值达 23.46%,其次为 5.43%的硅质岩;而板溪群的板岩和砂岩则在 1.67%~1.93%之间浮动。

由此说明,勘查区矿石标本具有“低阻高极化”的激电特征,采用激发极化方法作为本次物探工作方法是合理有效的。将视幅频率  $F_s$  和视电阻率  $\rho_s$  观测结果进行对比分析,可以进一步判断所圈定的高极化异常是否是由同时具有低阻特征的铅锌矿石引起的,从而在一定程度上降低物探异常定性推断解释的多解性<sup>[16-17]</sup>。

表 1 九龙山勘查区岩(矿)石激电特征  
Table 1 IP parameters of rocks and ores of the Jiulong Mountain area

岩性	样品数 /块	地层	电阻率/( $\Omega \cdot \text{m}$ )			幅频率/%		
			变化范围	算术平均	几何平均	变化范围	算术平均	几何平均
板岩	42	五强溪组	2043~4581	3721	3388	0.94~3.67	1.52	1.93
砂岩	30	五强溪组	1234~5420	2643	2498	0.58~5.21	2.18	1.67
硅质岩	26	震旦系	2487~4829	3121	3519	1.69~7.37	4.78	5.43
铅锌矿	12	南华系	62~1894	788	643	4.7~36	22.04	23.46

### 2.2 野外工作技术

仪器选择由中南大学研制的 32-CE1 型双频激电仪,该仪器主要通过发送机将高、低不同频率的信号合成为特殊波形的双频电流供入地下,利用与发送机同步的接收器接收这两组不同频率的信号,通过内置程序直接计算出视电阻率  $\rho_s$  和视幅频率  $F_s$ 。整个工作系统由形状尺寸一致的发送机、接收机以及干电池箱组成,具有供电要求低、轻便灵活、基站占地面积小等特点,很适合地形条件不佳,交通不便的矿区使用<sup>[18-20]</sup>。

区内以垂直地层和构造走向为原则,共布设 8 条剖面(L1~L8),线距 200~400 m,点距 20 m,剖面长度 700~1 500 m;采用中梯装置,供电极距 AB 为 1 300~2 100 m 之间,观测极距为 40 m。

### 2.3 激电异常特征

区内视幅频率  $F_s$  幅值范围在-2.51%~8.6%之间,背景场为 2.21%,高幅频率异常下限为 3.67%。区内共有 4 个高极化异常,从北到南分别将其编号为 JD1、JD2、JD3 和 JD4(图 3)。

JD1 异常中心位于 L1 测线中部 166~168 号测点,强度达 5.42%。与之相邻的 L2 和 L3 线不存在高极化异常,而 L1 北部无测线通过,说明该异常规模小,不排除有向 NE 方向延伸的可能性。同时,异常测段视电阻率呈相对宽缓的“V”特征,极小值达

0.32  $\Omega \cdot \text{m}$ 。低阻、高极化特征与勘查区内铅锌矿石激电特征一致,加上在跨过北部狭窄的震旦系下统陡山沱组( $Z_1d$ )地层和 F1 破碎带后,至板溪群五强溪组( $Pt_3w$ )砂岩和板岩之中恢复正常,由此推断为矿致异常。

JD2 异常长约 1 500 m,宽约为 50~300 m,整体呈 NE 向带状展布,规模较大,强度达 5.63%,在 L4~L8 连续 5 条剖面相邻位置皆捕捉到高极化异常。各条剖面从南到北极大值也逐渐降低,且高极化异常段同时表现为较为宽缓的“U”型低阻特征。L4 线 144~150 测段表现为双峰高极化异常,且视电阻率表现为低阻,最低为 30.9  $\Omega \cdot \text{m}$ ,尤其在北部 L4、L5 测线低阻异常分布范围较大。该异常呈带状沿青白口系五强溪组和震旦系地层接触带分布,岩性主要为页岩及砂质板岩、冰碛砾泥岩等,与 F1 区域性断裂走向基本一致。由此认为该激电异常与断层周围矿化蚀变关系密切。

JD3 异常位于 L7 测线 124 测点附近,分布于南华系南沱组地层。视幅频率值达 7.7%左右,视电阻率为 1 034  $\Omega \cdot \text{m}$ ,为一单点高阻、高极化异常点,根据物探标本矿石电性特征,认为该异常不是矿致异常,其找矿价值不大。

JD4 异常位于 L8 测线 122~128 测段,为本次测量中反映最为强烈、视电阻率最低的低阻、高极化异



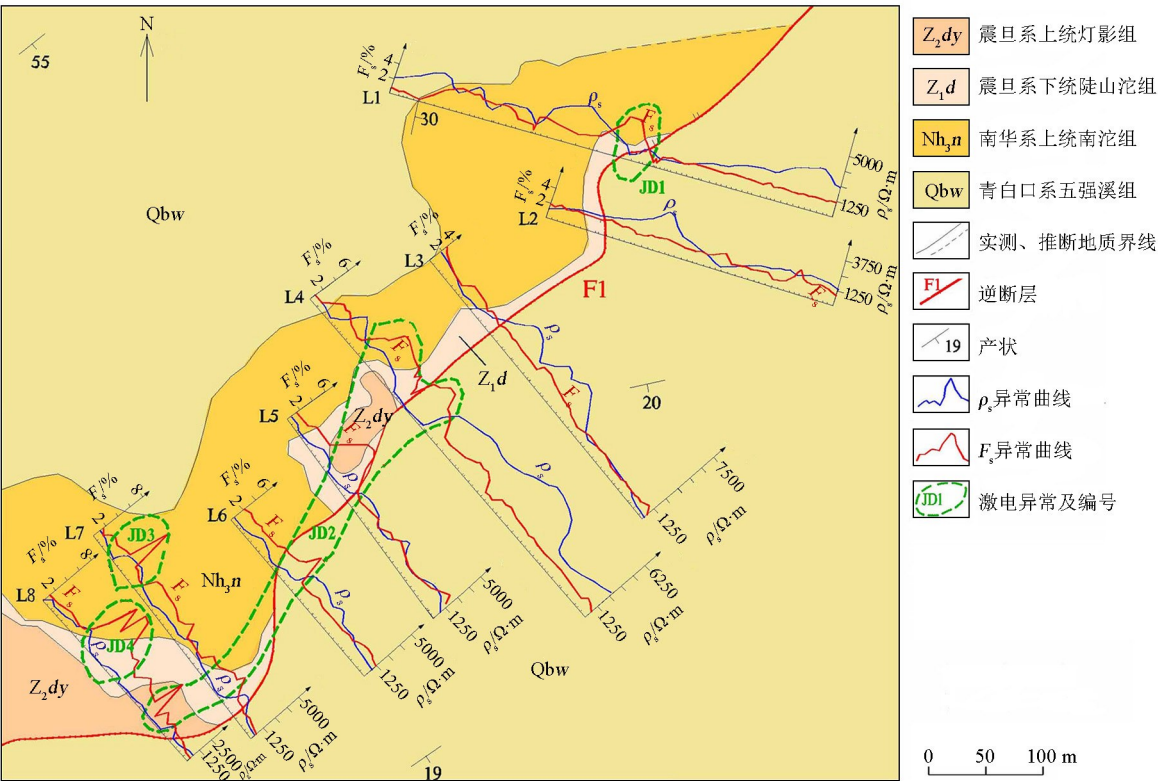


图 3 九龙山勘查区激电异常分布

Fig.3 The distribution of IP anomalies of the Jiulong Mountain area

常,异常幅频率达 8.6%,视电阻率最低为 32.9 Ω · m。从视幅频率、视电阻率平剖图中可以看出,在该测段存在两个高视幅频率峰值,而电阻率表现为低阻特征。异常赋存于震旦系下统陡山沱组地层中。通过异常检查工作,在该异常附近老硐采集到 12 块矿石标本,标本以黄铁矿化居多,存在少量铅锌矿化。

3 化探测量

3.1 样品采集及数据分析

土壤地球化学测量比例尺为 1:1 万,主要布设在 1:20 万区域化探异常内以及地表矿化蚀变带或断裂构造破碎带中,剖面一般位于 1:20 万区域化探异常的主要成矿元素异常浓集中心附近,基本垂直矿体或矿化体、构造破碎带布置,在地质填图过程中根据地质测量结果适当的修改剖面线位置和方向。采取 B 层或 C 层土壤,采样深度 20~50 cm,样品物质为砂质黏土、亚砂土、亚黏土、粉砂土等,样品采集避开了土壤 A 层的有机质等干扰。土壤剖面采样点距为 20 m,线距 100~400 m,共计 27 条剖面,累计总长 47.2 km。

样品过 40 目筛后送样质量大于 100 g。样品加

工方法正确,加工过程无污染和混淆现象,样品编号、登记准确,送样单填写正确。

区内土样采用发射光谱法(OES)和原子荧光法(AFS)测量 Ag、As、Cu、Hg、Pb、Zn 六类元素含量,并对重采样进行重复测试,其合格率在 90.0% 以上,说明野外采样和室内分析质量较好,数据可靠。

对采样点各元素原始数据取对数,将高于其平均值与 2.5 倍对数标准离差之和( $X_g+2.5S_g$ )的样品视为离群样品,将其剔除后再重复上述步骤进行离群样品的识别和剔除,直到参与统计的样品均低于 2.5 倍对数标准差与平均值之和。将此时的合格样品平均值作为背景值,代入公式  $X_a=X_g+1.65S_g$  ( $X_g$  为背景值,  $S_g$  为参与统计样品标准差) 计算对数异常下限,再取反对数值转换成算术异常下限计算值,最后根据测区实际矿产及矿化特征适当修正异常下限计算值来确定勘查区异常下限值。而单元素异常范围利用异常下限值乘以 1、2、4 所得到的数值进行圈划。

经过统计计算,Ag、As、Cu、Hg、Pb、Zn 背景值分别为  $0.13\times10^{-6}$ 、 $12.6\times10^{-6}$ 、 $25\times10^{-6}$ 、 $0.10\times10^{-6}$ 、 $32.9\times10^{-6}$ 、 $93.4\times10^{-6}$ ;同时,各元素异常下限值分别为  $0.2\times10^{-6}$ 、 $30\times10^{-6}$ 、 $40\times10^{-6}$ 、 $0.23\times10^{-6}$ 、 $70\times10^{-6}$ 、 $160\times10^{-6}$ 。

3.2 土壤元素地球化学特征

经过异常圈定,在勘查区共圈出了 6 个综合异常(表 2、图 4),元素以 Pb、Zn、Hg 为主,伴有 Cu、As、Ag。6 个异常规模大小、浓度级别如表 2 所示。

AP1 综合异常分布于 F1 区域性断层北西盘的南沱组与陡山沱组地层,浓集中心明显,主要元素为 Pb、Zn、Hg,而 Cu、As、Ag 异常规模较小,作为伴生元素异常分布于主要元素异常范围内。Pb、Zn 异常衬度值为 3.8~5.0,Hg 异常衬度值为 11.2,异常走向呈 NNE 向,与 NNE 向延伸的断裂构造一直,认为该异常是由铅锌矿脉所引起。

AP2 综合异常规模最大,长 1 600 m,宽约 500 m,最小宽度为 200 m,分布于 F1 区域性断层两侧的

板溪群五强溪组、南华系南沱组、震旦系陡山沱组和灯影组地层中。异常主要元素为 Pb、Zn、Hg,次要元素有 Cu、As、Ag。主要元素异常面积最大,如 Pb、Hg、Zn 异常面积分别为 0.36 km<sup>2</sup>、0.35 km<sup>2</sup>、0.25 km<sup>2</sup>。各主要元素异常强度高,其中 Pb 异常衬度值为 11.17,Hg 异常衬度值为 8.03。异常呈 NE-SW 展布,F1 断裂构造沿长轴穿越,初步推断异常由 F1 断裂构造活动和矿化蚀变引起。

AP3 综合异常沿陡山沱组和灯影组地层分布,Pb、Zn、Hg 异常强度大,衬度值为 4.6~11.8,规模属中等。Pb、Zn、Hg 异常中带、内带与陡山沱组吻合,异常浓度分带明显,但 As、Cu、Ag 异常浓集中心处于灯影组硅质岩层位中,Pb、Zn 最高含量分别达

表 2 九龙山勘查区土壤测量综合异常特征参数

Table 2 Comprehensive anomaly characteristic parameters of soil survey of the Jiulong Mountain area								
编号	规模大小	元素	面积/km <sup>2</sup>	平均值/10 <sup>-6</sup>	峰值/10 <sup>-6</sup>	衬度值	异常规模	浓度级别
AP1	长:700 m 宽:500 m	Pb	0.13	163.2	573	4.96	0.64	3
		Zn	0.08	360.5	981	3.86	0.31	3
		Cu	0.06	43.3	50	1.73	0.10	1
		Hg	0.09	1.121	4.491	11.21	1.01	3
		As	0.03	43.6	70	3.46	0.10	1
		Ag	0.02	0.25	0.3	1.92	0.04	1
AP2	长:1 600 m 宽:500 m	Pb	0.36	367.4	3000	11.17	4.02	3
		Zn	0.25	352.8	1384	3.78	0.94	3
		Cu	0.20	54.1	300	2.16	0.43	3
		Hg	0.35	0.803	4.541	8.03	2.81	3
		As	0.14	63.7	169.5	5.06	0.71	3
		Ag	0.11	0.73	5.0	5.62	0.62	3
AP3	长:850 m 宽:300 m	Pb	0.05	390.4	1614	11.87	0.59	3
		Zn	0.04	436.2	1570	4.67	0.19	3
		Cu	0.11	62.3	300	2.49	0.27	3
		Hg	0.11	0.727	2.9	7.27	0.80	3
		As	0.08	46.6	102.7	3.70	0.30	2
		Ag	0.09	0.48	3.32	3.69	0.33	3
AP4	长:1 200 m 宽:500 m	Pb	0.22	708.4	3000	21.53	4.74	3
		Zn	0.26	558.4	1729	5.98	1.55	3
		Cu	0.15	62.6	200	2.50	0.38	3
		Hg	0.16	1.46	5.6	14.60	2.34	3
		As	0.16	58.4	118.6	4.63	0.74	2
		Ag	0.14	0.52	2.21	4.00	0.56	3
AP5	长:1 000 m 宽:400 m	Pb	0.10	182.4	520	5.54	0.55	3
		Zn	0.18	504.2	1515	5.40	0.97	3
		Cu	0.09	58.1	100	2.32	0.21	2
		Hg	0.21	0.914	4.0	9.14	1.92	3
		As	0.10	50.2	82.5	3.98	0.40	2
		Ag	0.10	0.51	1.18	3.92	0.39	3
AP6	长:1 250 m 宽:400 m	Pb	0.16	153.1	474	6.03	0.48	3
		Zn	0.15	211.6	680	2.27	0.34	3
		Cu	0.15	60.3	100	2.41	0.36	2
		Hg	0.28	0.574	2.0	5.74	1.61	3
		As	0.21	51.0	150	4.05	0.85	3
		Ag	0.15	0.36	1.2	2.77	0.42	3

注:异常规模=面积×衬度值

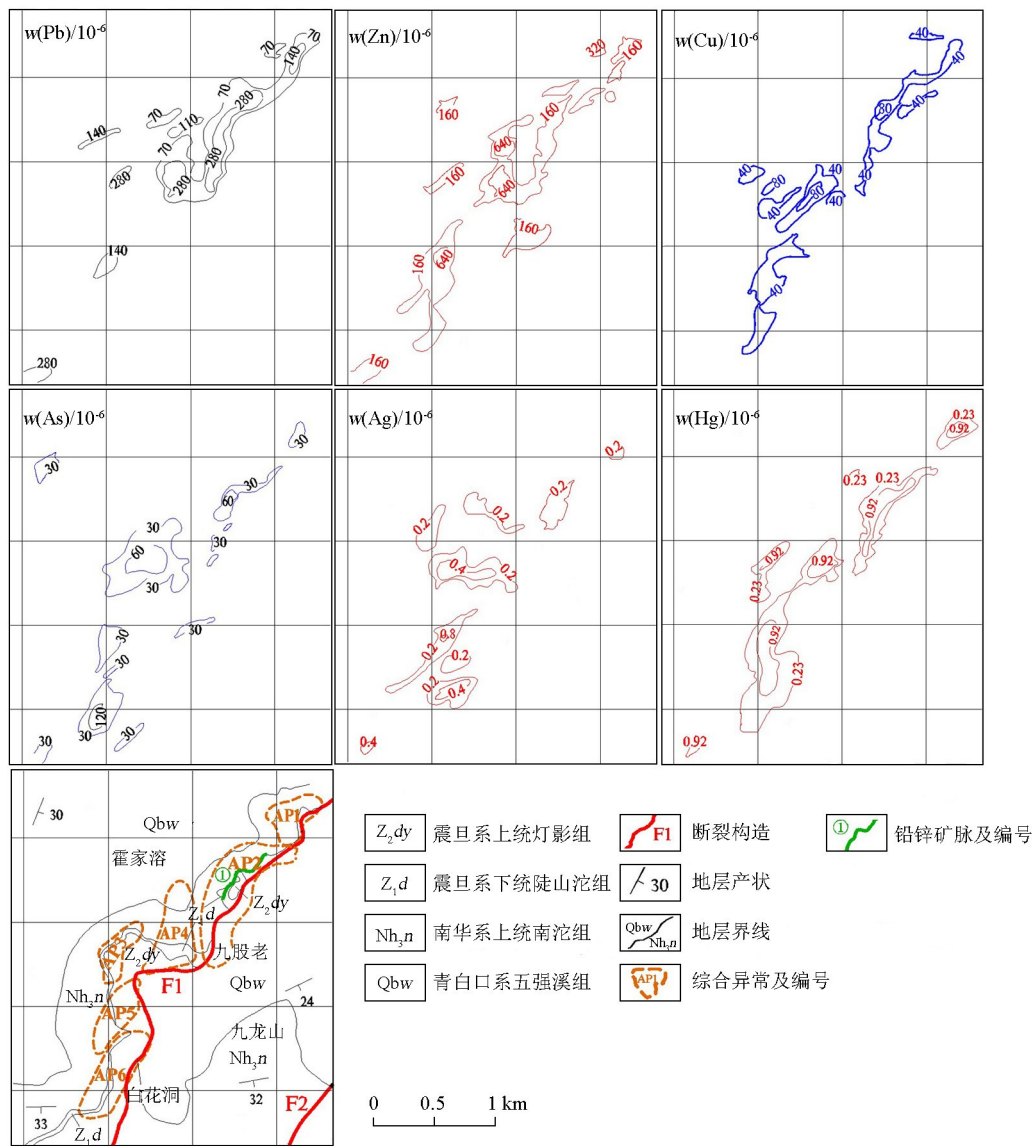


图 4 九龙山勘查区综合异常剖析及地质特征

Fig.4 Geological characteristics and analysis of multi-element anomalies of the Jiulong Mountain area

1 614×10<sup>-6</sup>和 1 570×10<sup>-6</sup>。由于陡山沱组白云质灰岩为区内含铅锌矿层位,故推测该异常由陡山沱组含铅锌矿化所致。

AP4 综合异常分布于板溪群五强溪组、南华系南沱组、震旦系陡山沱组和灯影组地层中,呈 NNE 向条状分布,以 Pb、Zn、Hg 异常为主,伴有 As、Cu、Ag 异常。Pb、Zn、Hg 异常强度高,规模大,异常衬度值 Pb 最大为 21.5,其次 Hg 为 14.6,Zn 为 6.0,Pb、Zn 最高含量分别达 3 000×10<sup>-6</sup>、1 729×10<sup>-6</sup>,Hg 最高含量达 5.6×10<sup>-6</sup>。

AP5 综合异常以 Pb、Zn、Hg 为主,基本呈 NE 向条带状分布,Pb、Zn、Hg、Ag 异常具有三级浓度带,Pb、Zn、Hg 异常强度较高,其异常衬度值为 5.4~

9.1,各元素异常吻合度高。异常分布于南华系南沱组与陡山沱组、灯影组地层中,综合异常东侧有 F1 断裂通过,由于其浓集中心基本上与陡山沱组相吻合,所以推测该综合异常是由陡山沱组含铅锌矿化或蚀变所引起。

AP6 综合异常处于 F1 区域性断裂西侧,分布于南华系南沱组与陡山沱组、灯影组地层中,异常基本呈现 NNE 向分布,以 Hg、As 为主,伴 Cu、Zn、Ag。Hg、As、Ag、Zn 异常具有三级浓度带,由于异常沿陡山沱组及两侧分布,推测该综合异常是由陡山沱组地层岩石蚀变所致。

总体来看,该区 6 个综合异常呈 NE 向带状延伸,主要沿 F1 断裂带及其两侧分布,其次分布于陡

山沱组及南沱组地层中,铅锌矿脉与异常浓集中心分布一致,Pb、Zn、Hg 等异常强度很高。

3.3 岩石剖面测量

岩石剖面测量布置在具有矿化或断裂破碎带附近的土壤剖面上,采样点位位置与土壤点位相同,采样点距为 20 m,共完成岩石剖面测量 20 km,采集岩石样本 753 个。岩石岩性有板岩、冰碛砾岩、硅质岩、含泥质白云岩、砂砾岩、铅锌矿化碎裂白云质灰岩等。不同岩石 Ag、As、Cu、Hg、Pb、Zn 含量见表 3。

表 3 九龙山勘查区各类岩石元素丰度

Table 3 Elemental abundance of various types of rock of the Jiulong Mountain area

$10^{-6}$   
 $10^{-6}$

岩石类型	含量参数	Pb	Zn	Cu	As	Ag	Hg	样品数
板岩	丰度	15.0	69.2	17.1	8.7	0.10	0.06	91
	峰值	632	295	67.0	28.6	0.28	1.64	
冰碛泥砾岩	丰度	29.6	69.0	19.1	11.2	0.09	0.18	168
	峰值	2000	2000	1320	1160	0.71	4.0	
硅质岩	丰度	14.8	46.7	29.5	15.1	0.32	0.29	26
	峰值	200	692	100	139	2.0	2.027	
泥质白云岩	丰度	71.5	63.7	17.7	26.3	0.10	0.45	44
	峰值	2000	1567	57	550	0.23	5.28	
硅质板状页岩	丰度	23.5	50.7	27.0	24.8	0.12	1.15	244
	峰值	1725	844	233	123.3	3.31	7.33	
石英砂岩	丰度	14.4	59.5	13.6	9.5	0.09	0.10	99
	峰值	350	353	65	61.1	0.46	2.5	
铁帽	丰度	329.9	533.8	37.2	77.1	0.20	2.14	49
	峰值	3000	2000	1098	840	2.81	5.99	
铁锰矿化硅化碎裂白云质灰岩	丰度	281.7	366.9	19.1	26.6	0.06	2.55	20
	峰值	1187	3000	58	810	0.67	5.62	
铅锌矿化碎裂白云质灰岩	丰度	221.2	1127.7	18.1	24.6	1.12	0.49	12
	峰值	3000	3000	33	270	30	5.76	
克拉克值(维氏) <sup>[21]</sup>		15.0	52.0	2.5	1.5	0.07	0.015	

他地层岩石中丰度表现较低。另外,陡山沱组泥质白云岩、硅质板状页岩中 Hg、Pb 含量较高,尤其 Hg 在硅质板状页岩中含量很高。

所以九龙山勘查区内 Pb、Zn、Hg 是找矿直接指示元素,其强度高、浓集中心明显的 Pb、Zn、Hg 异常一般指示铅锌矿化或蚀变地质体的产出部位。

4 物化探异常综合分析

九龙山勘查区内土壤异常规模大,浓集中心明显,各单元素异常主要呈现长带状,异常区主要出露南华系下统南沱组、震旦系陡山沱组和灯影组地层。

98 线地质、物化探综合剖面图(图 5)显示,Pb、Zn、Hg、Cu、As、Ag 土壤化探异常和高幅频率  $F_s$  异常、低阻  $\rho_s$  异常集中于震旦系系下统陡山沱组和上统灯影组,其 Pb、Zn、As、Ag 岩石异常在上述两套岩组也有反映。

元素丰度统计剔除了特高含量值,采用元素几何平均值计算得到。从表中可以看出,各类岩石中的 As 和 Hg 丰度均高于克拉克值(维氏,地壳平均丰度)。区内蚀变岩石、矿化岩石(铁锰矿化硅化碎裂白云质灰岩、铅锌矿化碎裂白云质灰岩)和铁帽中 Pb、Zn、Hg 丰度大大高于克拉克值,含量很高,Pb、Zn、Hg 丰度分别在  $(221 \sim 330) \times 10^{-6}$ 、 $(367 \sim 1128) \times 10^{-6}$ 、 $(0.49 \sim 2.55) \times 10^{-6}$  之间波动;但 Cu、As 仅在铁帽中含量较高,在矿化蚀变岩石及勘查区其

物探方面,JD1 低阻高极化激电异常与 AP1 综合异常形态基本相似,位置吻合,异常段主要出露震旦系陡山沱地层;F1 断裂构造同时穿越 JD1 和 AP1 异常区。该测段以 Pb、Zn、Hg 为主要异常元素,Cu、As、Ag 为辅,由此认为,铅锌矿化与断裂构造关系密切,是引起物、化探异常响应的主要地质因素。

JD2 激电异常呈带状、NE-SW 向沿 F1 断裂构造展布。AP2 综合异常与该物探异常空间位置和形态特征极为吻合,Pb、Zn、Hg 亦为主要异常元素,进一步说明了该地区铅锌矿化与断裂构造之间的密切性。在震旦系陡山沱地层中获取到 JD4 号激电异常,由此推断铅锌矿赋存于该地层,产出形态受 F1 断裂构造控制。该断裂构造在 L6 物探剖面呈低阻高极化特征;L2 号剖面则无明显变化,说明 F1 断裂构造核部矿化蚀变不连续。

4 个物探激电异常除 JD3 为单点异常,且视电阻率为高阻外,其余都为低阻、高极化特征,与收集



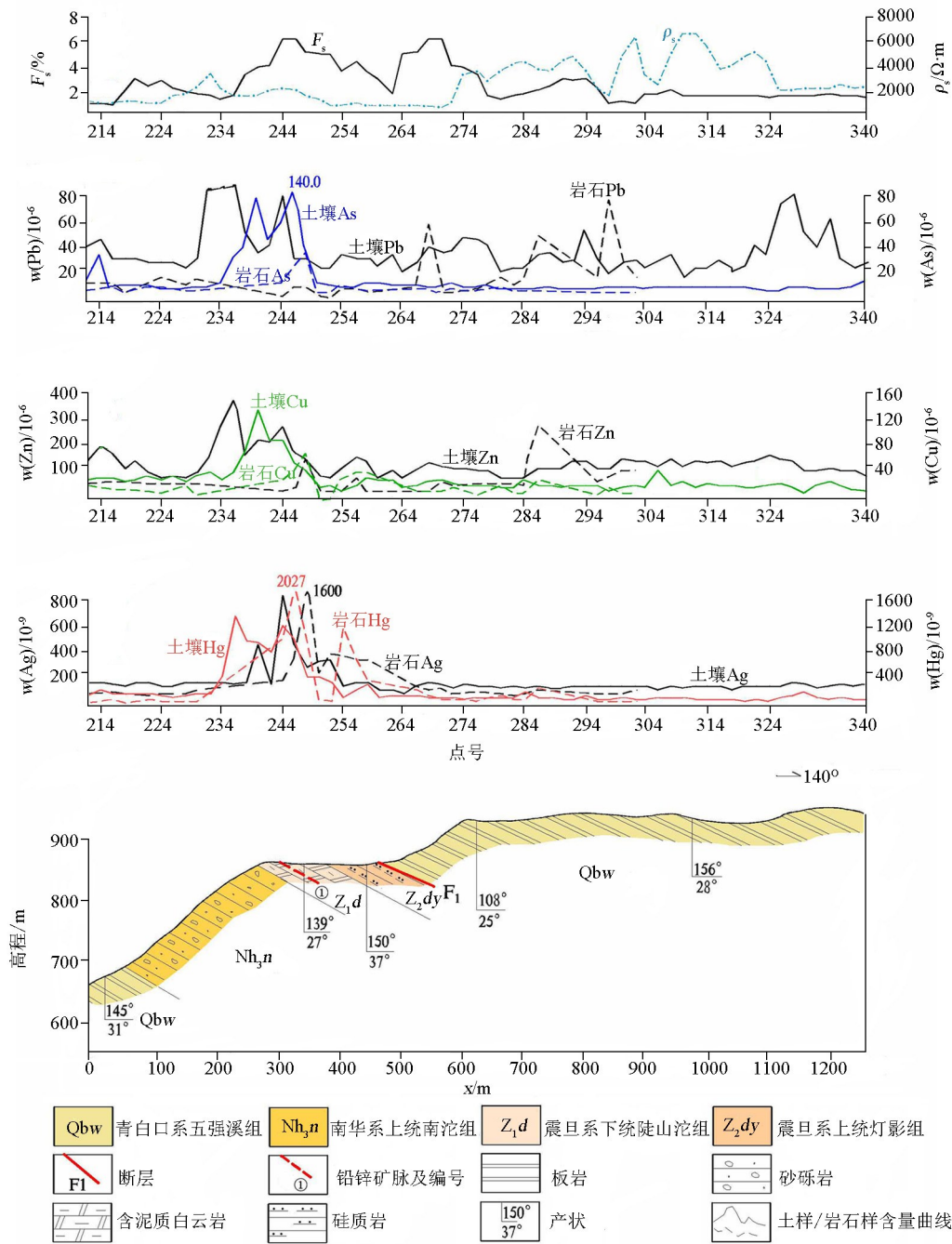


图 5 98 线地、物、化综合剖面图

Fig.5 The profile of geology,geophysics and geochemistry of the No.98 explation line

到的铅锌矿石标本基本吻合。此外,除 AP2 部分位于 F1 上盘外,其余 AP1~AP6 综合异常皆有 F1 下盘的震旦系陡山沱组地层出露。

基于上述分析,认为铅锌矿脉主要位于 F1 断裂构造下盘的震旦系陡山沱地层中,其平面分布特征受断裂构造控制。

5 工程验证及找矿前景分析

根据物化探异常特征,利用浅表槽探工程,在 AP2 异常中心处的震旦系陡山沱地层揭露到铅锌矿脉,长约760m,平均厚度为1.4m,铅平均品位为3.03%,锌平均品位为2.78%,说明矿脉赋存于震旦系下统陡山沱组下部灰—白色白云质灰岩及泥质白



云岩中,为层控型。同时,受 F1 断裂构造作用影响,其产出形态具有膨大收缩、尖灭侧现、尖灭再现等特征。

由此可见,地表发现的铁帽、老硐中的铅锌矿化岩石为寻找铅锌矿的直接找矿信息;而低阻高极化、Pb、Zn、Hg 高浓度富集的物、化探异常特征则是间接找矿信息。勘查区处于九股老向斜核部,断裂构造发育,物、化探异常强烈明显,地质成矿条件良好,预测铅锌矿体产于震旦系下统陡山沱组的白云质灰岩中,平面形态受断裂构造控制,向南东方向延伸。

针对 AP3、AP5 和 AP6 号化探异常,下步计划应对其采用激电扫面方法加强查证工作;同时对 JD1、JD2 和 JD4 物探异常投入激电测深和钻探勘探手段,对矿体深部地下空间分布情况,以及 F1 断裂构造深部是否也存在矿化蚀变进行调查研究。

## 6 结论

1) 采用地球化学测量,基本查明了勘查区 Pb、Zn、Hg、Cu、As、Ag 的富集特征。综合异常主要分布于震旦系下统陡山沱组和灯影组地层,平面上沿 F1 断裂构造下盘展布,其中 Pb、Zn、Hg 为主要富集元素,Cu、As、Ag 为次要元素。

2) 结合已知岩矿石标本两种电性参数,清晰识别了 JD3 号高阻、高极化异常不是矿致异常,低阻、高极化是本勘查区探测目标体唯一地球物理电性特征,从而有效避免后期异常定性分析带来的多解性。

3) 通过物化探异常综合分析对比,进一步确定了铅锌矿脉所赋予的地层位置,同时对 F1 断裂构造矿化连续性进行了初步分析。

## 参考文献(References):

- [1] 聂晓春,郑石德,赵光彩.地球化学图说明书:水系沉积物测量(1:20 万沅陵幅)[R].湖南地质矿产局地球物理勘察院,1994. Nie X C, Zhen S D, Zhao G C. Instructions of geochemical pictures about investigation of stream sediment in Yuan Lin area with the scale of 200 000[R]. Geophysical and Geochemical Institution of Hunan Geology Bureau, 1994.
- [2] 张景,陈国光,张明,等.宁芜盆地白象山矿区物化探异常特征及找矿意义[J].华东地质,2016,37(2):147-151. Zhang J, Chen G G, Zhang M, et al. Geophysical and geochemical anomalies of Baixiangshan mine district in the Ningwu basin and their prospecting significance[J]. East China Geology, 2016, 37(2):147-151.
- [3] 胡崇伟,冯开平.综合物化探方法在大理笔架山金矿区的找矿应用[J].矿物学报,2013,33(4):561-565. Hu C W, Feng K P. Application of comprehensive geophysical and geochemical prospecting methods in the Bijiaoshan gold deposit, Dali County, Yunnan Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2013, 33(4):561-565.
- [4] 俞胜,蒙轶,尤关进,等.物化探综合找矿方法在西口沟钼矿勘查中的应用[J].地质与勘探,2016,52(5):838-845. Yu S, Meng Z, You G J, et al. Application of integrated geophysical and geochemical methods to prospecting of the Xikougou molybdenum deposit[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(5):838-845.
- [5] 时永志,李凯成.综合物化探方法在地质找矿“攻深找盲”中的应用[J].物探与化探,2014,38(5):910-915. Shi Y Z, Li K C. The application of integrated geophysical and geochemical exploration methods to the prospecting for deep and concealed Orebodies[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(5):910-915.
- [6] 白德胜,杨怀辉,纵瑞,等.地、物、化综合方法在豫西小河岩体南缘找矿中的应用[J].物探与化探,2017,41(5):794-801. Bai D S, Yang H H, Zong R, et al. The application of integrated geophysical and geochemical methods to ore-prospecting at the southern edge of Xiaohé rock body in western Henan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(5):794-801.
- [7] 袁桂琴,杨少平,孙跃,等.隐伏金属矿勘查中物化探方法技术应用研究[J].物化探计算技术,2012,34(6):631-639. Yuan G Q, Yang S P, Sun Y, et al. The study of geophysical and geochemical methods in exploration of under-hidden metal ore deposits[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 34(6):631-639.
- [8] 刘波,乔宝成,李海东.综合物化探方法在哈拉河铅锌矿区勘查中的应用[J].物探与化探,2014,38(2):261-267,277. Liu B, Qiao B C, Li D H. The Application of the integrated geophysical and geochemical prospecting methods to the exploration of the Halahe lead-zinc ore deposit[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(2):261-267,277.
- [9] 乔桢,蒋职权,张国瑞,等.内蒙古乌奴耳铅锌银矿物化探异常特征及找矿效果[J].物探与化探,2017,41(4):634-640. Qiao Z, Jiang Z Q, Zhang G R, et al. Geophysical-geochemical anomaly characteristics and prospecting effect in the Wunuer lead and zinc silver deposit of Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(4):634-640.
- [10] 苏康明,曾勇.雪峰弧形构造带金矿类型及分布特征[J].黄金,2007(4):19-23. Su K P, Zeng Y. Types and distributions of gold ore deposits in arcuate geological structure in Xuefeng mountain[J]. Gold, 2007(4):19-23.
- [11] 胡能勇,权正钰,潘莉,等.雪峰弧形构造带变形特征及其与金矿的关系[J].大地构造与成矿学,1998(S1):33-37. Hu N Y, Quan Z Y, Pan L, et al. The shaping characteristics of arcuate geological structure in Xuefeng mountain and its relationships with The gold ore deposits[J]. Geotectonica Metal, 1998(S1):33-37.
- [12] 孙海清,陈友良,李红俭,等.区域地质图说明书(1:5 万 谭家场幅)[R].湖南地质矿产开发局区调所,1995. Sun H Q, Chen Y L, Li H J, et al. Instructions of areal geological

maps with the scal of 50 000 in Tangjiachang[R].Areal Geological Investigation Department of Hunan Geology Bureau,1995.

[13] 张赛珍,王庆乙,罗延钟.中国电法勘探发展概况[J].地球物理学报,1994(SI):408-424.

Zhang S Z, Wang Q Y, Luo Y Z. General situation of development to Chinese electrical survey[J].Chinese Journal of Geophysics, 1994(SI):408-424.

[14] 王文龙,杨拴海,张慧玉,等.高密度电法在金矿找矿中的应用[J].黄金地质,2002(3):53-56.

Wang W L, Yang S H, Zhang H Y, et al. The application of high density of electrical method in gold ore deposit survey[J].Gold Geology,2002(3):53-56.

[15] 李帝铨,王光杰,底青云,等.大功率激发极化法在额尔古纳成矿带中段找矿中的应用[J].地球物理学进展,2007(5):1621-1626.

Li D Q, Wang G J, Di Q Y, et al. The application of high-power induced polarization in the middle section of Eerguna metall0genic belt[J].Progress in Geophysics,2007(5):1621-1626.

[16] 刘士毅,田黔宁,赵金水,等.解决物探异常解释多解性的一次尝试[J].物探与化探,2010,34(6):691-696.

Liu S Y, Tian Q N, Zhao J S, et al. An attempt to reduce ambiguity in geophysical intepretation[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2010,34(6):691-696.

[17] 张利真.地质找矿实践中如何解释推断物探异常[J].西部资源,2015(4):147-151.

Zhang L Z.The interpretation of geophysical anomalies in survey of geological exploration[J].Western Resources,2015(4):147-151.

[18] 武炜,张宝林,梁光河,等.双频激电法在我国西部两类典型覆盖区金属矿体预测中的应用[J].地质与勘探,2009,45(6):669-675.

Wu W, Zhang B L, Liang G H, et al. Application of dual-frequency IP method in metal ore prediction in two types of typical overburden areasa in western China[J].Geology and Exploration, 2009,45(6):669-675.

[19] 王宏宇,李涛.双频激电法在西澳矿产勘查中的应用[J].物探与化探,2016,40(5):923-928.

Wang H Y, Li T. The application of dual-frequency IP method to the exploration of mineral resources in western Australis[J].Geo-physical and Geochemical Exploration,2016,40(5):923-928.

[20] 杨立功,刘继顺,尹利君,等.双频激电偶极在甘肃李子地区快速找矿中的应用[J].地质与勘探,2013,49(2):330-336.

Yang L G, Liu J S, Yun L J, et al. Application of the dual-frequency IP method to rapid prospecting of mineral resources in the Lizi area of Gansu Province[J].Geology and Exploration,2013,49(2):330-336.

[21] 张华,张善明,张治国,等.内蒙古塔布格金异常区地质、地球化学特征及找矿前景[J].黄金,2014,35(6):12-17.

Zhang H, Zhang S M, Zhang Z G, et al. Analysis of geological and geochemical characteristics in tabuge Au anomaly, Inner Mongolia and its prospecting indications[J].Gold,2014,35(6):12-17.

A comprehensive analysis of lead-zinc geophysical and geochemical anomalies and ore-search prospect in the Jiulong Mountain, Hunan Province

LI Bo, LIU Han-Jun, ZHOU Jie, QU Li-Jun

(Geophysical and Geochemical Institute of Hunan Province,Changsha 410116, China)

**Abstract:** In order to get to know the relationship between regional lead-zinc geochemical anomalies and mineralization, metallogenic regularity and ore-forming factors, the authors carried out 1 : 10 000 geological survey, soil-rock geochemical measurement and IP survey. Based on comprehensive study, it is found that four geophysical IP anomalies are similar to geochemical soil anomalies in shape and geographical position and both have strong reflection. With the length of 760 m, average thickness of 1.40 m, 3.03% lead and 2.78% zinc, an ore-bearing vein was detected by shallow trenching at the center of the anomaly, which shows good metallogenic conditions, rich minerals and great potential of deep prospecting in Jiulongshan survey area.

**Key words:** rock profile survey; soil profile survey; IP survey; lead-zinc ore deposit

(本文编辑:蒋实)