

综合电法在贵州威宁县大菁脚铅锌矿勘查中的应用

卢卯, 罗洪远, 农观海

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院, 贵州 贵阳 550005)

[摘要]在贵州威宁县大菁脚铅锌矿勘查中,通过激电中梯和激电测深,圈定了5个强度较小的高极化低阻异常,推断1#、2#和3#为铅锌矿致异常,对2#异常钻探验证认为,因地形高差较大影响激电异常推断的准确性,采用瞬变电磁法进一步确定了异常体的空间位置,在1#高极化率高二次电位低阻复合部位推测见矿,达到了电法组合使用,提高解释推断准确性的效果,值得下一步找矿参考借鉴。

[关键词] 激发极化法;瞬变电磁法(TEM);铅锌矿;黔西北

[中图分类号] P618.42;P618.43;P631.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2015)04-0277-08

矿区位于贵州省威宁县金钟镇,处于川—滇—黔成矿域东侧的黔西北铅锌成矿区威宁—水城凹褶断束带,是西南地区重要矿产地之一。区内岷都—蟒硐断裂带和威水背斜构造区已发现矿床(点)120余处^[1],多为品位高的中小型矿床,该类型矿床Pb、Zn超常富集(Pb+Zn>30%),经济价值极大。为实现区内铅锌矿勘查找矿突破,探索有效的物探“攻深找盲”方法组合,省内外地质工作者作了大量的工作,有朱德彬等^[2]对该区地质背景、铅锌矿集中(区)带地质特征、水系沉积物地球化学异常,分析认为具有找矿前景;金中国^[3]等在黔西北赫章猫猫厂—榨子厂铅锌矿区采用瞬变电磁法和音频大地电磁测深,圈定10个高二次电位低电阻异常,5个音频大地电磁测深低电阻异常,有的经钻孔和坑道验证,均在预测深度见到较好的铅锌氧化矿;贵州有色四总队在威水成矿亚带青山—狮子洞矿段^[4],通过物探激电中梯和瞬变电磁法测量,圈定6个激电异常,4个瞬变电磁法异常,经坑道验证,在激电和瞬变异常重叠较好部位见以氧化矿为主的混合矿,取得了一定的找矿效果。

1 矿区地质背景及地球物理特征

1.1 矿区地质背景

矿区出露地层有二叠系上统峨眉山玄武岩、

二叠系中统栖霞茅口组(P_{2q-m})、二叠系中统梁山组(P_{1l})、石炭系上统黄龙组(C_{2h})、马平组(C_{2m})、石炭系下统大埔组(C_{1d})、上司组(C_{1s})。玄武岩出露于矿区南部;栖霞—茅口组主要出露于矿区中部F₁、F₂两条断裂之间,岩性为灰岩、白云质灰岩、燧石灰岩等;梁山组出露于矿区中部F₂断裂南西盘,岩性为以砂质页岩为主,间夹炭泥岩、泥质灰岩及石英砂岩;黄龙组、马平组出露于矿区中部F₂断裂两[盘,F₂北东盘出露最广,岩性为一套灰岩、生物灰岩、白云质灰岩等;大埔组呈北西—南东向展布于矿区北东部,岩性为滨浅海台地相碳酸盐岩;上司组出露于矿区北部,岩性主要为灰岩,夹白云岩,含燧石结核。其中栖霞—茅口组(P_{2q-m})、马平组(C_{2m})、黄龙组(C_{2h})大埔组(C_{1d})是本区铅锌矿产出层位。

该区断裂发育,主要北西向断裂组(以F₁、F₂为典型),其次为北东向断裂组和近南北向断裂组。北西向的F₁、F₂是区内重要导矿构造,沿F₁、F₂两盘次级F₃、F₄、F₅、F₆、F₇、F₈、F₉等形成了区内构造格架,与北西向逆冲断层、层间剥离构造和结构相对疏松的碳酸盐化地层共同控制矿区铅锌矿体的产出特征^{[5][6]}(图1)。

铅锌矿赋存层位较多,对滨浅海台地相碳酸盐岩有成矿专属性,具“地层+岩性+构造”控矿特征。矿体围岩为白云岩、灰岩等,围岩蚀变主要有白云石化,有机炭泥化、重晶石化等,有机炭泥化分

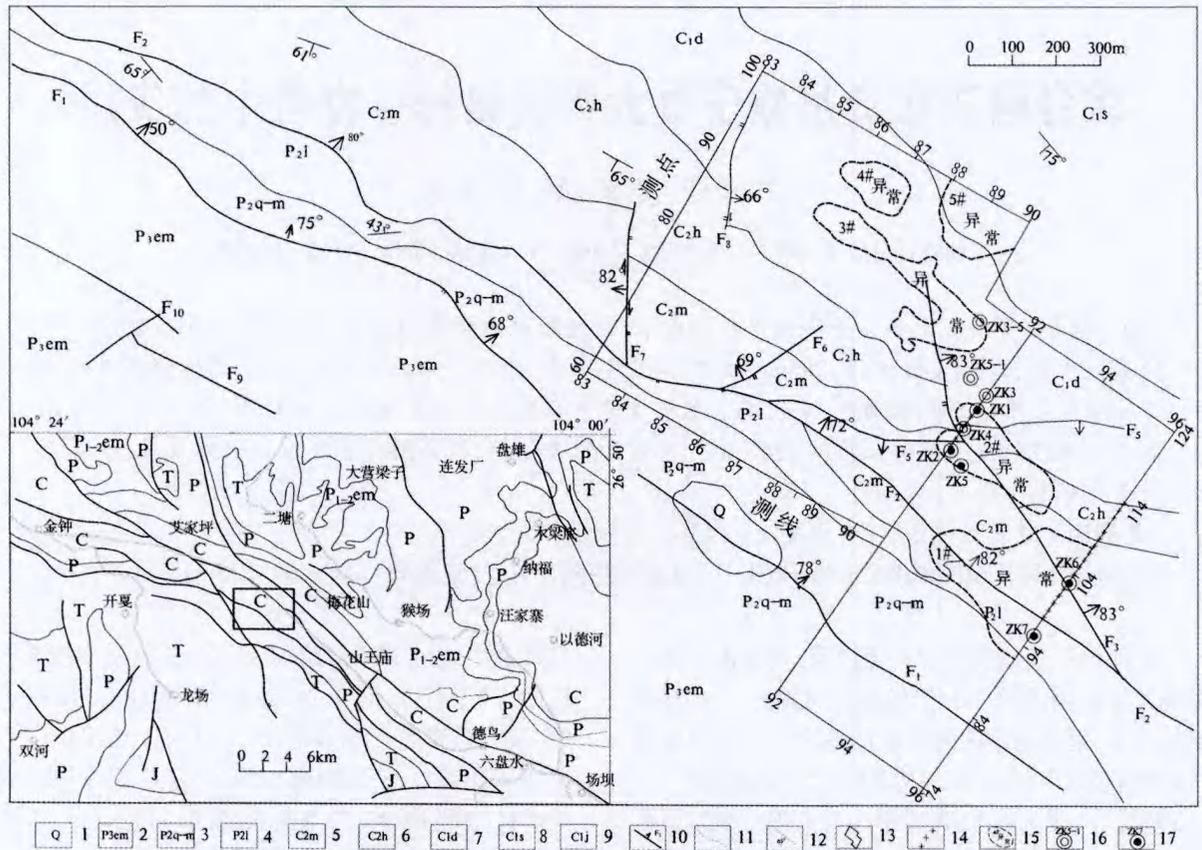


图1 大箐脚铅锌矿区地质物探综合平面图

Fig.1 Comprehensive plan of geological-geophysical of Daqingjiao lead-zinc mining area

- 1—第四系;2—二叠系上统峨眉山玄武岩;3—二叠系中统栖霞茅口组;4—二叠系中统梁山组;5—石炭系上统马平组;
- 6—石炭系上统黄龙组;7—石炭系下统大铺组;8—石炭系下统上司组;9—石炭系下统旧司组;10—断层及编号;
- 11—地层界线;12—地层产状;13—激电中梯测量范围;14—激电测深点;15—物探推断异常及编号;
- 16—未见矿钻孔及编号;17—见矿钻孔及编号

布在构造发育地段以构造泥等形式发育,白云石化为它形一半自形细微晶—中粗晶白云石。白云石聚集呈斑块、团块及条带状,直至细层及层段,常形成白云岩夹层或与灰岩互层。铅锌矿化往往在二者界面附近的白云岩一侧富集。主要金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铅矿及少量黄铜矿、赤铁矿、褐铁矿;脉石矿物有白云石、方解石、重晶石、萤石、石英等,矿石中黄铁矿约占30%,构成黄铁矿型铅锌矿石,铅锌含量比为1:5~1:10,氧化矿石含铅0.52%~1.57%,锌1.66%~20.39%。

矿石结构构造有他形一半自形结构、充填交代结构、残余结构,矿石构造中氧化矿石以土状、蜂窝状、皮壳状为主;硫化矿主要有星散状、浸染状构造。

以上地质特征及黄铁矿型铅锌矿石、浸染状

构造金属矿具有的“体极化”特性^[7],构成了该区物探工作布置的地质依据。

1.2 地球物理特征

工作区灰岩、白云质灰岩和断层角砾等表现为低极化率高电阻率特征,极化值在0.48%~0.89%之间,电阻率值超过4590Ω·m;页岩、石英砂岩表现为低极化率中等电阻率特征,极化率值在0.15%~0.37%之间,电阻率值在3000Ω·m之间;梁山组炭质页岩、劣质煤表现为较低极化率低电阻率特征,极化率值在0.34%~1.91%之间,电阻率值在104~667Ω·m之间;含黄铁矿的铅锌矿、铅锌氧化矿表现为高极化率低电阻率特征,极化率值在6.89%~13.69%之间,电阻率值在73~136Ω·m之间,见工作区岩(矿)石参数测定结果统计表1。

表 1 工作区岩(矿)石参数测定结果统计表
Table 1 Statistics of rock parameter determine result in the working area

层位	岩性	块数	$\eta/\%$		$\rho/\Omega \cdot m$	
			变化范围	算术平均	变化范围	几何平均
P ₂ m	浅灰致密灰岩	30	0.40 ~ 3.80	0.81	1 977 ~ 35 350	11 488
P ₂ q	灰岩	21	0.38 ~ 1.14	0.68	294 ~ 39 697	12 800
P ₂ q	灰色致密灰岩	30	0.20 ~ 3.50	0.60	2 543 ~ 16 500	6 712
P ₂ l	石英砂岩	40	0.20 ~ 0.81	0.34	663 ~ 19 552	2 753
P ₂ l	页岩	5	0.27 ~ 0.81	0.37	1 307 ~ 6 977	2 935
P ₂ l	黑色页岩	10	0.35 ~ 0.95	0.60	73 ~ 2 035	667
P ₂ l	泥灰岩	23	0.34 ~ 2.16	0.89	1 142 ~ 50 506	633
P ₂ l	劣质煤	11	0.08 ~ 3.69	0.34	32 ~ 6 903	296
C ₂ m	灰岩	30	0.18 ~ 1.46	0.62	1 445 ~ 26 351	4 590
C ₂ m	灰岩	27	0.24 ~ 2.08	0.48	1 909 ~ 45 686	13 269
C ₂ h	灰岩	58	0.15 ~ 1.88	0.48	7 876 ~ 42 201	16 284
C ₁ d	白云质灰岩	30	0.28 ~ 0.89	0.54	1 293 ~ 23 076	5 686
C ₁ d	泥灰岩	42	0.22 ~ 1.25	0.71	102 ~ 2 434	1 044
C ₁ d	断层角砾	11	0.42 ~ 1.07	0.65	8 671 ~ 43 608	25 460
C ₁ d	黑色页岩	30	0.27 ~ 1.39	0.57	29 ~ 540	104
C ₁ s	泥灰岩	31	0.27 ~ 2.18	1.35	633 ~ 2 510	1 450
C ₁ j	炭质页岩	31	0.61 ~ 3.45	1.91	64 ~ 220	117
	含黄铁矿的铅锌矿	18	5.23 ~ 32.03	13.69	34 ~ 1214	136
	铅锌氧化矿	16	3.55 ~ 10.17	6.89	15 ~ 611	73

通过对电性参数总结成图发现:

(1)含黄铁矿铅锌矿及铅锌氧化矿与区内围岩(灰岩、白云岩)有明显的极化率、电阻率差异;

(2)梁山组劣质煤、泥灰岩和黑色页岩为该干扰地层,其极化率值变化区间较大,当劣质煤相对稳定分布时,可能形成高极化低阻异常,应结合地质踏勘排除干扰;

(3)旧司组泥质灰岩、上司组泥灰岩、大铺组泥灰岩、白云质灰岩等电阻率呈不稳定变化特征,但低极化率变化稳定,可能产生低阻异常,应结合地质及极化率特征区分异常。

综上所述,铅锌矿石与围岩有着明显的电性(η 、 ρ)差异,干扰地层和地层引起的低阻异常均能区认识,说明该区具备开展电法工作的前提条件。

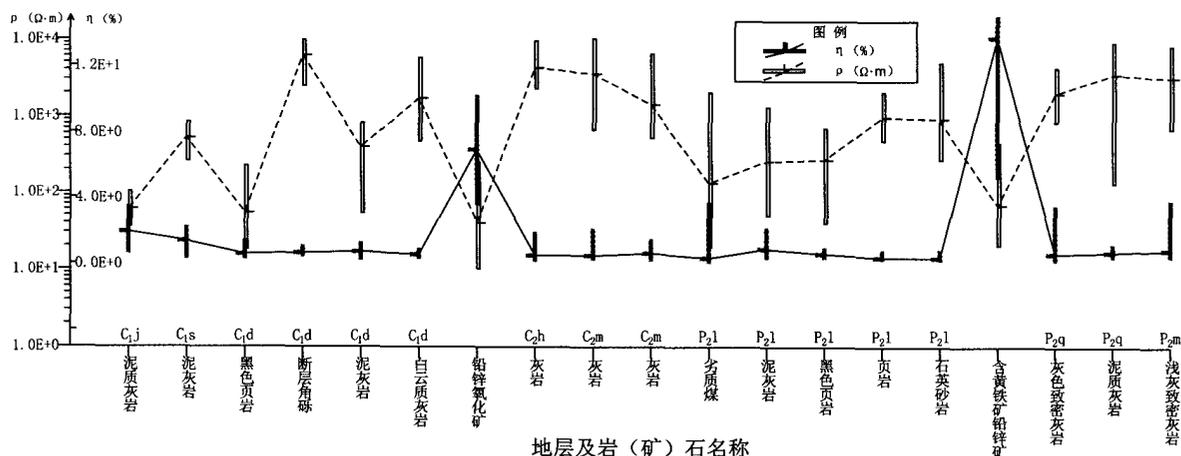


图 2 矿区岩(矿)石物性参数

Fig. 2 Physical parameters of rocks in the mining area

2 激电测量方法及异常特征

2.1 激电测量

激电测量采用重庆奔腾数控技术研究所生产的WDFZ-10T大功率激电测量系统,测量电极用不极化电极,观测记录一次电位 ΔU 、一次电流 I 、视极化率 η_s 。

中梯测量剖面垂直于工作区构造及地层走向,测量采用短导线方式,一线供电三线测量,本次工作测量 1.02 km^2 ,线距 100 m ,点距 20 m ,供电极 $AB=1\ 200\text{ m}$, $MN=40\text{ m}$,供电周期 16 s ,断电延时 200 ms ,取样宽度 40 ms ,测量次数 1 次。

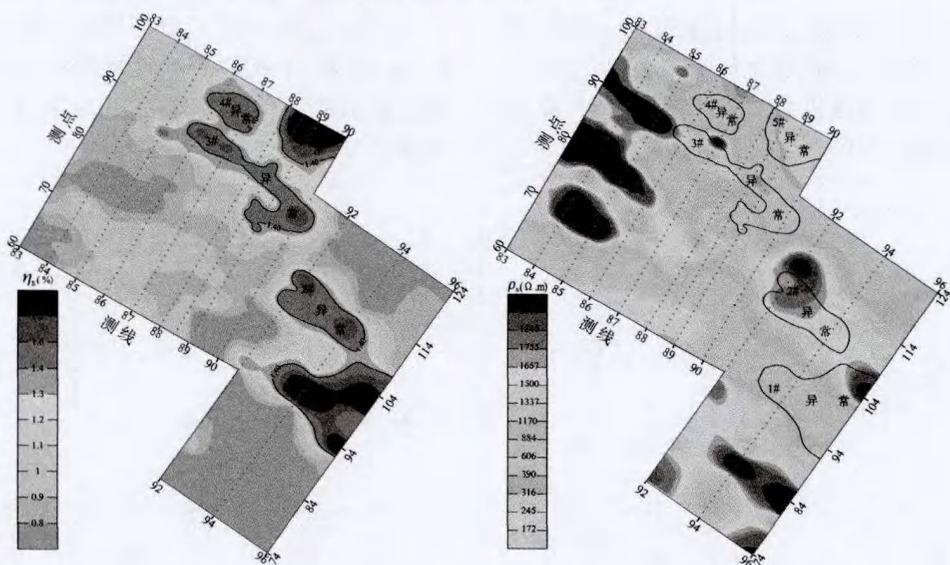
激电测深采用等比对称四极测深装置,布置在激电中梯平面异常反映较强、矿化或蚀变特征明显地带,布极方向与剖面方向一致,本次激电测深布置在 92 线 $108-113$ 点位段和 96 线 $98-109$ 点位段,共计 16 点,最大 $AB/2=750\text{ m}$,最小 $AB/2=9\text{ m}$;最大 $MN/2=30\text{ m}$,最小 $MN/2=3\text{ m}$,满足 $MN/2$ 在 $AB/3$ 和 $AB/30$ 之间,供电周期 16 S ,断电延时 200 mS ,取样宽度 40 mS 。

2.2 异常特征及解释

通过中梯扫面测量发现(图3),区内极化率较低为 0.7% 以下,以背景值 $\eta_{sb}=0.7\%$,与异常

下限 $\eta_{sx}=1.4\%$ 圈定了 5 个激电异常,编号为 $1\#$ 、 $2\#$ 、 $3\#$ 、 $4\#$ 、 $5\#$ 。见图3。其中 $1\#$ 、 $2\#$ 、 $3\#$ 异常呈条带状近北西-南东走向分布,与本区构造及地层走向基本一致; $4\#$ 和 $5\#$ 异常位于测区北东角,呈等轴状;野外现场地质踏勘发现, $4\#$ 和 $5\#$ 异常与该区炭质层有关,为区内两大激电干扰异常区; $1\#$ 、 $2\#$ 和 $3\#$ 异常分布于断裂交汇及该区有利成矿地层,且矿化蚀变特征明显。本次工作选择 $1\#$ 和 $2\#$ 异常进行综合分析。

由图3a可见, $1\#$ 异常呈“凸”字形分布,长宽 300 m ,大线方向未封闭,幅值不高,普遍为 1.8% ,在异常中心 $100/96$ 点位, η_s 最高值 2.84% 。图3b显示,异常电阻率较低, ρ_s 小于 $1\ 500\ \Omega\cdot\text{m}$ 。结合地质特征分析认为,该异常位于该区控矿断层 $F2$ 、 $F3$ 交汇部位有利成矿位置。为进一步了解异常的深部信息,确定异常体空间形态特征,选择极化率异常较强的 $(98-109)/96$ 点位进行激电测深,测深结果由图4a可见,深部极化率异常明显,呈“椭圆”状分布,异常幅值较低,在异常中心 η_s 最高值 3.00% ;图4b可见,对应的高极化率异常位置,异常表现为次低电阻率特征,为不规则倾斜状分布($859\ \Omega\cdot\text{m}\leq\rho_s\leq 1\ 383\ \Omega\cdot\text{m}$)。综合以上分析认为该异常为栖霞-茅口组(P_{2q-m})灰岩一侧断层破碎带中地质体引起,推断为铅锌矿致异常,在 $104/96$ 点位估算异常中心埋深约 370 m 。



(a) 视极化率等值线平面图

(b) 视电阻率等值线平面图

图3 大箐脚铅锌矿区大功率激电测量成果

Fig. 3 High power induced electrical sounding results of Daqingjiao lead-zinc mining area

由图 3a 可见,2#异常呈等轴状分布,长约 250 m,宽约 100 m,异常比 1#异常弱,普遍为 1.6%,异常由两个中心组成,中心值在 110/92 点位,ηs 最高值 2.24%;中心值在 108/94 点位,ηs 最高值 2.63%。图 3b 显示,2#异常对应的电阻率不均匀,在 110/92 点位端电阻率为高阻,在 108/94 点位端电阻率相对较低。选择在(108-113)/92 点位进行激电测深,测深结果图 5a 可见,在 AB/2=340 m 以下出现一倒立未封闭“V”字形的高极化率异常,极化率 ηs 幅值普遍较低,在 1.13%~2.26%之间,由浅至深呈逐渐增大趋势。图 5b 可见,浅部存在低阻通道(AB/2≤40 m 时,ρs≤400 Ω·m);深部存在一低阻体异常,等值线形态与极化率等值线异常形态相似,总体向剖面大号点方向倾斜,电阻率较低(340 m≤AB/2≤750 m 时,345 Ω·m≤ρs≤1 000 Ω·m)。

结合地质,综合以上推断,浅部低阻通道是断层裂隙或溶洞充水反映;中深部高级化低电阻异常可能为 F₃ 断层下盘破碎灰岩中赋存铅锌矿引起,在 112/92 点位估算中心埋深约 260 m。

3 瞬变电磁法及异常特征

3.1 瞬变电磁法测量(TEM)

在激电工作成果基础上,钻孔 ZK1 验证,在深部 267.46 m 处见铅锌氧化矿(见图 5 I 号矿体),后设计 ZK2、ZK3 和 ZK4 进一步追索发现,见矿位置与异常中心位置存在位移,分析认为,因该矿区地形切割较大,电流密度在地下分布不均匀,对称四极测深不对称,造成激电测深异常上山方向位移和形态畸变,影响推断不够准确。为确保给钻探验证提供更准确信息,结合瞬变电磁法(TEM)晚期电流密度不均匀影响小^[8],获取断面信息量大,对低阻地质体如金属矿体、低阻岩层、断层破碎带等反映较好的特点,选用瞬变电磁法对(84-106)/96 点位验证测量,剖面长度 440 m,目标地质体深度 370 m。

数据采集采用大定源回线装置,仪器为加拿大生产的 PROTEM57 瞬变电磁系统,发送线框采

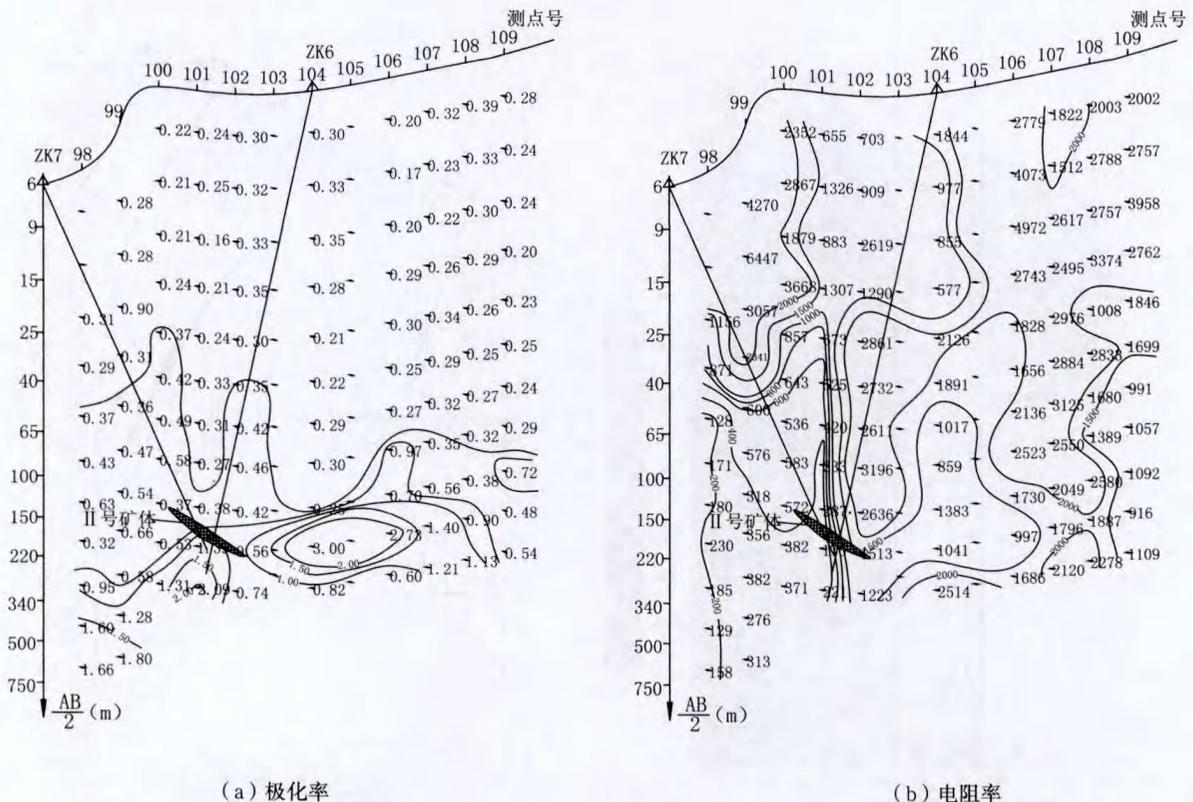


图 4 大箐脚 96 线激电测深拟断面图

Fig. 4 No.96 pseudo-section of depth sounding of induced polarization method of Daqingjiao

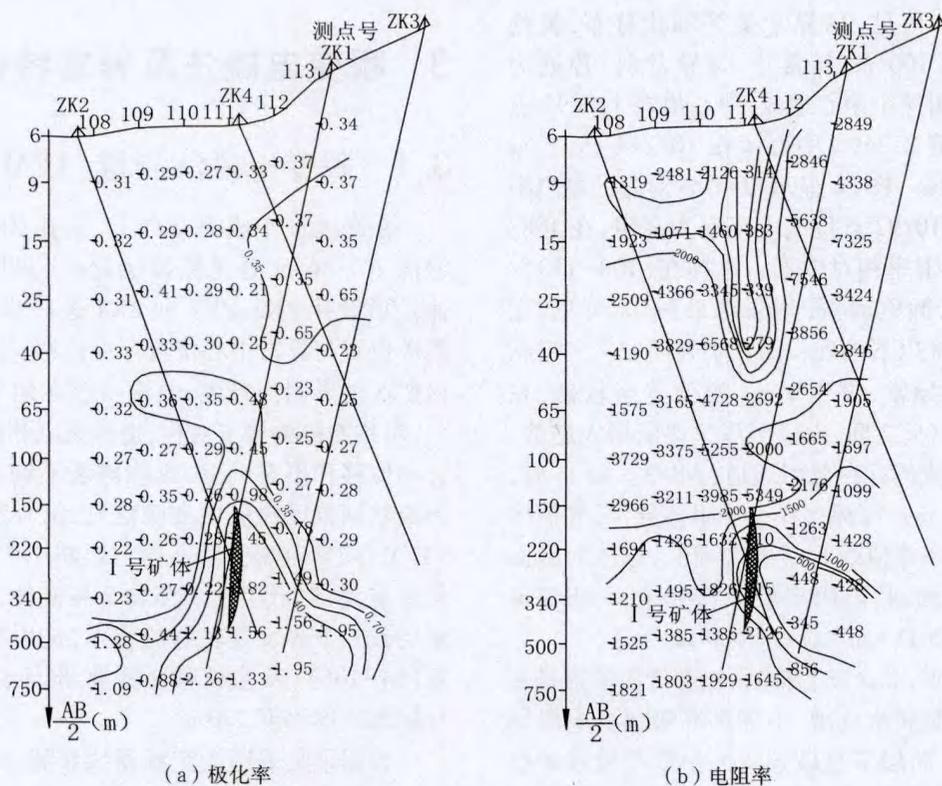


图5 大箐脚92线激电测深拟断面图

Fig. 5 No.92 pseudo-section of depth sounding of induced polarization method of Daqingjiao

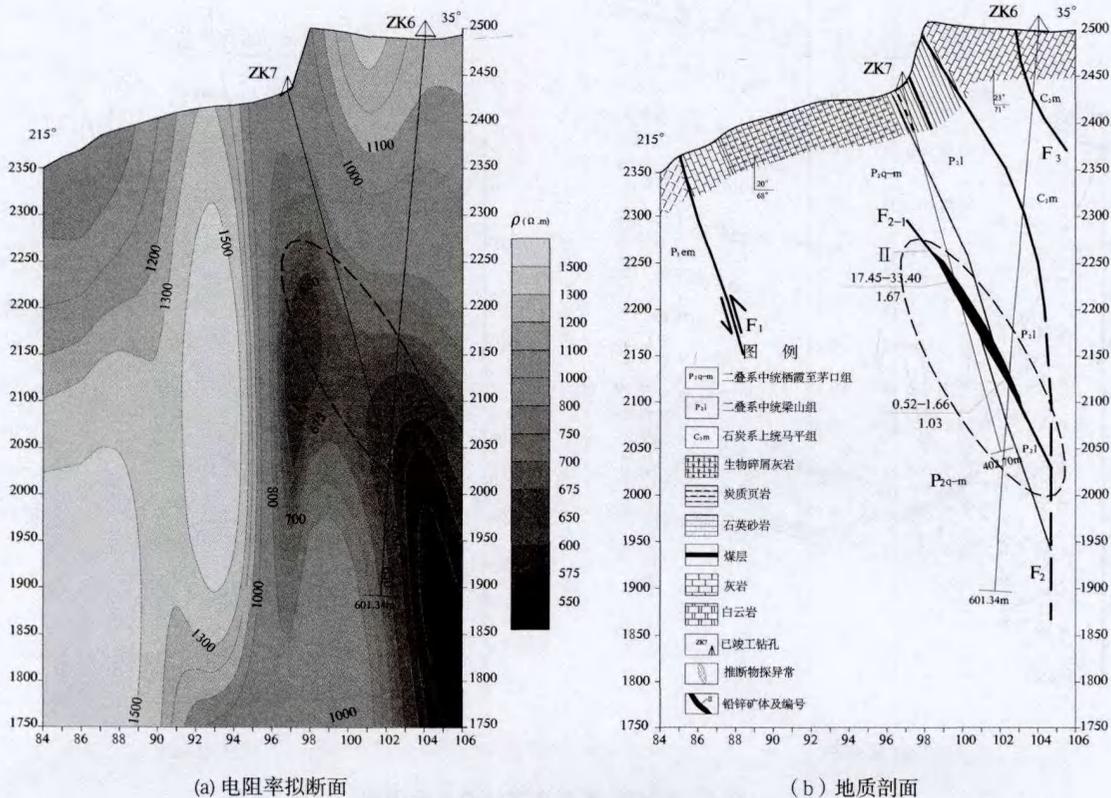


图6 96线TEM测量成果及地质剖面图

Fig. 6 Measurements of TEM and geologic profiles of No.96

用单匝边长 500 m×500 m,观测剖面 1 条,点位 (84-106)/96,点距 20 m,测点 23 个,框内观测方式,发送脉冲重复频率为 25Hz,发送电流 8~10 A,电流关断时间 0~150 μs,放大器增益指数 4,测道数 30,采样时间为 0.006 8~6.978 ms。观测记录数据为 dB/dt(nv/m²)。

3.2 异常特征及解释

图 6a 中,瞬变电磁法测量反演电阻率拟断面显示,(84-94)/96 点位段浅至深部高阻特征明显,推断为峨眉山玄武岩和栖霞至茅口灰岩,其浅部低阻凹槽及深部高阻($\rho_s > 1\ 500\ \Omega \cdot m$)错断特征推断为 F1 断层所致;(98-106)/96 点位段,浅部表现为高阻特征,往深部电阻率逐渐降低,这与激电测深结果基本吻合;中至深部出现低阻异常,低阻异常两边等值线密集,高低阻分界明显,反映

出高阻围岩与低阻地质体明显接触形态,低阻异常由两个低阻中心组成($\rho_s < 650\ \Omega \cdot m$),且高二次电位特征,与激电测深极化率异常总体吻合较好,但异常中心位置明显位移,异常形态变化较大;结合地质分析认为,该异常为 F₂ 下盘栖霞-茅口灰岩破碎带及破碎带中低阻地质体引起,具有较好的成矿地质条件及异常特征,推断为铅锌矿致异常,在 104/96 点位,估算异常体中心埋深 365 m。

根据物探异常,本矿区现施工 9 个钻孔(见图 1),见矿深度在 235~365 m 之间,见矿标高 2 100~2 250 m,见矿位置极化率特性相对稳定,在 1.39%~1.82%之间,电阻率起伏较大,从 176 $\Omega \cdot m$ ~810 $\Omega \cdot m$ 不等,总体呈相对高极化率低电阻率特征。共有 5 个钻孔见铅锌矿,其中 ZK5 见两层矿,见矿率达 56%,详细见表 2。

表 2 大箐脚铅锌矿区见矿钻孔情况统计表

Table 2 Statistics of finding ores and drilling holes in Daqingjiao lead-zinc mining area

序号	钻孔编号	见矿深度(m)	厚度(m)	品位(%)		异常特征		备注
				Pb	Zn	极化率(%)	电阻率($\Omega \cdot m$)	
1	ZK1	267.46	0.40	1.57	40.78	1.45	810	氧化矿
2	ZK2	365.28	0.85	18.94	32.84	1.82	715	
3	ZK6	375	1.03	0.52	1.66	1.39	513	
4	ZK5	209.10/336.47	0.44/1.97	18.24/17.45	32.54/33.40	1.3-1.6	884-1500	
5	ZK7	234.58	1.67	40.03	10.10	1.39	176	

4 结论

本次威宁大箐脚铅锌矿的勘查,发现激电中梯异常 5 个,推断 1#、2#和 3#为矿致异常,4#和 5#为干扰异常。通过对 1#、2#异常进行激电测深和瞬变电磁法组合测量,获得极化率、二次电位、电阻率等深部大量的参数信息,在激电与瞬变电磁法异常的重合较好位置,高二次电位低电阻率异常明显部位,正确推断了铅锌矿致异常,设计 ZK6 和 ZK7 对瞬变电磁法异常中心位置验证,在预计深度见矿,证实了激电测深异常确实存在位移,获得找矿效果良好。

说明在地质情况复杂多样的威宁大箐脚铅锌矿区及相邻地区,物探电法的相互配合,相互约束和优势互补,提高了数据采集的成功率、异常提取的可靠性和推断解释的准确性,值得在该区铅锌矿的勘查中推广应用。

值得注意的是,本区见矿异常 $\eta_s = 1.39\% \sim 1.82\%$,个别达 2.84%,与前人总结的黔西北地区铅锌矿激电中梯矿致异常标志 $\eta_s = 2\% \sim 4\%$ ^[9],异常强度小,说明该区此类低缓异常是较好的找矿信息,应高度重视。其视极化率低缓是否与矿体特征有关,值得下一步工作中研究。

[参考文献]

- [1] 黄智龙,张伦尉,李小彪,等.黔西北铅锌成矿区找矿前景浅析[J].矿物学报,2007,21(21):427-429.
- [2] 朱德彬,胡从亮,王忠福,等.黔西北水城-艾家坪地区化探异常及铅锌矿前景分析[J].贵州地质,2007,24(03):215-218.
- [3] 金中国,邹林.瞬变电磁法在黔西北猫猫厂铅锌矿区找矿中的应用[J].地质与勘探,2002,38(6):48-50.
- [4] 武国辉,刘幼平,钟厚怡,等.贵州省有色金属、黑色金属矿产资源[M].北京:冶金工业出版社,2009.262-274.
- [5] 杨光龙,陈冲,王林.黔西北艾家坪-水城地区铅锌矿地质特征及控矿条件[J].贵州地质,2009,26(01):31-35.

- [6] 韦胜永,袁景国,徐石辉,等. 贵州水城县三王庙-大银厂铅锌成矿带地质特征及找矿方向[J]. 中国科技信息, 2009. 14(14):29-31.
- [7] 傅良魁. 电法勘探教程[M]. 北京:地质出版社,1990. 184-186.
- [8] 李金铭. 地电场与电法勘探[M]. 北京:地质出版社, 2005,225-227.
- [9] 金中国. 黔西北地区铅锌矿控矿因素、成矿规律与找矿预测[M]. 北京:冶金工业出版社,2008. 36-40

Application of Comprehensive Electrical Prospecting Method in Daqingjiao Lead-Zinc Deposit Exploration in Weining, Guizhou

LU Mao, LUO Hong-yuan, NONG Guan-hai

(Institute of Geology and Mineral Resource Exploration, Guizhou Non-ferrous Metal and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang 550005, Guizhou, China)

[Abstract] In the lead-zinc exploration of Daqingjiao, by Induced electric-medium gradient method and induced polarization sounding, 5 high polarization and low resistance abnormalities of weak intensity are determined, it's inferred 1#, 2# and 3# are lead-zinc abnormalities, the drilling test of 2# abnormality thought that the big level difference influenced the accuracy of induced abnormal inference, so the spatial position of abnormality is ensured by TEM, the ore was found in the low resistance composite part of 1# high polarization and high secondary potential, the effect of electrical methods combined utilization and increase the inference accuracy are achieved, it's worth to be learn for future exploration.

[Key words] Induced polarization method; TEM; Lead-zinc deposit; Northwest Guizhou

(上接第 276 页)

Concealed Intermediate Acidic Rock Mass and Iron Mineralization in Guizhou and Exploration Prospect

WANG Liang, YANG Jian-hui, FAN Yu-mei

(Guizhou Academy of Geologic Survey, Guiyang 550005, Guizhou, China)

[Abstract] According to the exploration experience and development achievement of domestic iron industry, it's thought that difficult exploration for sedimentary iron deposit in Guizhou has relation with disturbance of big thickness of Emeishan basalt and sedimentary rock in Permian. By analysis the regional gravity-magnetic information, the iron deposit should explored in intermediate-acidic rock, the idea of iron exploration in sedimentary rock should be changed. So the shadow rock mass and deep batholith are determined and it will afford some accordance for iron exploration in the target area.

[Key words] Sedimentary iron deposit; Prospecting direction; Negative magnetic anomaly; Low density; Acid-base property; Guizhou

《贵州地质》期刊 2015 年影响力及质量不断提升

《贵州地质》是由贵州省地矿局主管、贵州省地质学会和贵州省地质调查院主办的国内外公开发行的学术期刊。长期以来十分注重刊物的影响力及办刊质量。近五年来,其影响力及质量不断提高,2015 年被国家新闻出版广电总局认定为首批 A 类学术期刊;经中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术 2015 年)统计,《贵州地质》期刊影响因子为 0.293,5 年影响因子为 0.343,与同类省级地质类期刊相比,排在第二位,仅次于《新疆地质》(核心期刊)。刊物在贵州省内科技期刊影响因子排名亦居前列,排名仅次于《贵州农业科学》(核心期刊)。

《贵州地质》将再接再厉,争取更大的成绩。