Vol. 42 No. 4 July ,2006

## 

# 时域激电法单极 – 偶极装置 在铅 – 锌矿勘查中的应用效果

雒志锋,高明程,朱向泰

(中国冶金地质勘查工程总局地球物理勘查院,保定 071051)

[摘 要]文章描述了测区地质概况和岩(矿)石电性特征,结合图示简述了测深装置原理、布极方式、探测深度等。通过时间域激发极化法电阻率和充电率特征,根据中间梯度法推测了断裂和主要岩性分界,浸染状铅~锌金属硫化物在平面上的走向和矿化范围,依据单极-偶极测深能够有效地确定含铅锌浸染状金属硫化物矿体空间位置,结合点源梯度剖面上充电率异常特征,推测了极化体产状。钻探验证在断层中见铅锌矿化,取得了较好的地质效果。

[关键词]时域激电法 测深 单极-偶极装置 中间梯度装置 铅锌矿 [中图分类号]P631.3 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2006)04-0075-06

2004 年5月,2005 年7月,笔者在内蒙古东乌 珠穆沁旗阿尔哈达和巴林左旗等地区铅锌矿勘查工 作中,利用电性参数视充电率 M。和视电阻率 ρ。特 征划分铅锌矿化富集带,在成矿有利地段选择具有 找矿意义的电法异常进行工程验证。为满足大探测 深度的要求,首先采用时域激电中间梯度装置开展 面积测量,在激电异常区的有利部位布设探测深度 大和分辨率好的单极 - 偶极装置测深剖面,以确定 激电异常源及推测矿化体的空间形态。根据物探成 果设计的 33 个钻孔中有 32 个见矿(化),在浅部和 深部均打到了铅锌矿(化)层(体)或黄铁矿等硫化 体,见矿(化)率高达 96.97%,取得了显著的地质找 矿效果。为此,文章将重点介绍时域激电法单极 -偶极装置测深方法特点以及在铅锌矿勘查工作中的 应用效果。

1 地质概况

工区大地构造位于内蒙古—兴安岭褶皱系 (Ⅰ),内蒙古晚华力西褶皱带(Ⅱ),东乌旗—二连 浩特复背斜(Ⅲ)南翼的东乌旗褶皱束(Ⅳ9)内<sup>[1]</sup>, 属于内蒙古—兴安岭晚古生代—中生代铜、铅、锌、 金、银、锡、铬(钼)成矿区。

矿区地层有上泥盆统(D<sub>3</sub>)安格尔音乌拉组,

占出露地层总面积的90%以上,岩性为中基性岩屑 凝灰岩、凝灰质板岩、粉砂质板岩、粉砂岩、细砂岩; 上侏罗统(J<sub>3</sub>)布拉根哈达组仅工区的西北部有出 露,岩性为流纹岩、凝灰岩、灰白色砂岩;第四系(Q) 为现代残坡积物、风成砂土和腐质土层,测区内近 2/3的面积被第四系所覆盖。

矿区燕山期黑云母花岗岩比较发育,岩体局部 因断裂作用影响具有不同程度的破碎。岩体中脉岩 也发育,有花岗斑岩岩脉、石英斑岩岩脉、辉绿岩岩 脉、正长斑岩岩脉、石英脉等。矿区周围见有细粒花 岗岩岩脉、辉绿岩岩脉、正长斑岩岩脉、石英脉等。 岩浆热液与古生代地层产生了强烈的接触变质作 用,形成了较大规模接触变质岩带和破碎蚀变带,是 成矿有利地段。

矿区位于东乌旗褶皱束朝不楞复背斜的南翼, 矿体一般赋存在北东向主体断裂构造派生的次一级 断裂构造内,北西向为主,北东向亦有。勘查区中部 走向 NE60°~80°、宽700 余米的蚀变破碎带贯穿全 区,走向 NW290°、倾向北东的次级构造为主控矿构 造。

地表揭露2条矿化蚀变,由东向西编为Ⅰ、Ⅱ号带。Ⅰ号矿化蚀变带位于矿区东北部,宽150~ 400m,延长大于1200m,总体走向290°。ZK3101 钻

<sup>[</sup>收稿日期]2005-03-07;[修订日期]2006-02-20;[责任编辑]韩进国。

<sup>[</sup>第一作者简介] 雜志锋(1963 年—),男,1986 年毕业于原中南工业大学,获学士学位,高级工程师,现主要从事应用电磁法勘查固体金属 矿的勘探工作。

孔见到了7层铅锌银矿体,累计真厚度10.37m,最 厚一层 4.74m, 平均品位 1.50%, 其中 Pb 为 1.02%, Ag为28.96×10<sup>-6</sup>; ZK2701钻孔见矿较好, 最厚一层矿体位于孔深 132.60~159.30m 处,矿层 厚度 12.33m, Ag 平均品位 78.78 × 10<sup>-6</sup>, Pb 为 2.02%, Zn 为2.12%; 蚀变带上视极化率(n.) 异常 值8%,n.最高8.9%。II号矿化蚀变带位于矿区 中部,长约1000m,宽300m左右,整体走向280°,倾 向北北东,倾角65°左右,该带大部被第四系覆盖。

铅锌矿体呈层状、不规则板状和脉状体产出,矿 床属岩浆热液充填交代型,上泥盆统安格尔音乌拉 组地层为主要赋矿层位,围岩为岩屑凝灰岩。

围岩蚀变主要为褐铁矿化、硅化、绿泥石化、高 岭土化、碳酸盐化,局部有萤石矿化(呈细脉充填), 蚀变程度不均,黄铁矿化普遍而且强烈。

矿石主要由次生蚀变物及多金属硫化物组成。 金属硫化物以黄铁矿为主,其次为方铅矿和闪锌矿, 局部有少量的黄铜矿;脉石矿物有绿泥石、高岭土、 方解石、石英、隐晶硅质。铅锌(银)矿化沿硅化脉、 方解石脉以不规则细脉浸染状分布为主,浸染状及 斑点状矿化次之,脉宽一般几毫米,少数宽1~5cm, 矿化强度不均,局部矿化较强。

以往该区投入时域激发极化法中间梯度装置, 测得围岩视极化率 n. 低于 2%, 凝灰质砂岩视电阻 率 294~778Ω·m,ρ,平均 435Ω·m;地表露头矿化 等 计带的视极化率 η, 值 4% ~9%, 最高 16.2%, 视 注意 率小于 100Ω・m; 矿化蚀变带具有"低阻、高极 化"特征,和围岩电性差异明显。

2 方法技术

1) 方法。采用时间域激发极化法,观测电参数 视充电率( $M_{\bullet}$ )和视电阻率( $\rho_{\bullet}$ )。

2) 仪器。使用美国 Zonge 公司大功率 30kW GGT-30 发射机和最新型多功能、多道 GDP-32 [] 地球物理接收机。

3) 网度和电极距。中梯装置 100m × 40m, 测线 方位为 NE30°,供电极距 AB = 1200m,接收极距 MN =40m;测深装置接收极 MN=50m,点距25m。

4)供电周期。中梯和单极 – 偶极测深装置均 为8秒(f=0.125Hz),占空比50%。

5) 数据处理。测深数据处理使用美国 Geoelectrical 软件系统进行反演,最终给出视充电率  $(M_s)$ 和视电阻率 $(\rho_s)$ 二维反演断面图。

6) 工作程序。首先采用时域激电中梯装置开展 76

面积测量,划分第四纪覆盖层下的铅锌矿化富集带; 在激电异常区的有利部位布设单极 - 偶极装置测深 剖面,以确定激电异常源及推测矿化体的空间形态。

#### 测深装置 3

单极 - 偶极装置又称单侧三极装置测深(A ~),属不对称装置测深。在与温纳、赤道偶极、轴 向偶极、正方偶极、爱尔特兰排列、二极装置测得的 激电和电阻率水平剖面实验对比中,三极装置在板 状体上方所测得的视充电率和视电阻率响应最大, 其探测深度也最大。

由于该装置对圈定横向及纵向不均匀脉状体具 有良好的分辨和探测能力,在金属矿电法勘探中为 国内外物探工作者广泛使用。

绘制拟断面图时,横向剖面上取供电 A 极和接 收极 MN 中点 O'的中点 O 为记录点, 由点 A 和点 O'与测线成45°做直线的交点 C(90°直角)作为拟断 面图的探测深度点位(图1)。测量中,单极-偶极 装置供电无穷远极(い)布设在测量剖面中心的垂 直方向上,其与剖面测线距离 | A ~ | 大于 2500m (图2)。

一条 800m 测线接收机采取 16 道(17 个 MN 极,供电时有一道断开,MN=50m)测量方式,测线 上的移动电极 A 在断开的 MN 极间分别供电 2 次, A 极距离第一个 M 极分别为 37.5m 和 12.5m, A 极两 侧的接收极 MN 可同时采集数据,间隔系数取 n =± 0.75、 ± 1.75、 ± 2.75、…, ± 13.75、和 n = ±0.25, ±1.25, …, ±13.25, 为增大探测深度, 在测线两端外另增加了供电极,当n的最大值n =17.25 或 n = 17.75 时, 一条剖面上可以有多达 44 个供电点位置,因此,理论上最大探测深度可达 450m 左右(图1)。



4 解释和验证情况

### 4.1 地质推测及异常划分

由图 3 可见激电中间梯度视电阻率异常的分带 特征明显:①从测线北东(NE)到南西(SW)视电阻 率可划分为中阻、低阻、中高阻和高阻 4 个异常区, 各个异常区之间的视电阻率曲线分界清晰,说明与 主要岩性/构造边界有关,预示着可能有断裂存在;

> 阿尔哈达矿区L0-L40线激电中梯视充电率 平面等值线图 120 2 Ms/ms

L40

L32

L24

L16

L.8

L0

由北东到南西依次推测的断裂编号为  $F_1$ 、 $F_2$ 、和  $F_3$ ; ②中阻异常区  $\rho_s$  在 160~320 $\Omega$ ·m,为地表第四纪 (Q)残坡积物、风成砂土地层;③测区西南 0~22 线 的高阻异常区, $\rho_s$  在 440 $\Omega$ ·m 以上,最大 560 $\Omega$ ·m, 结合凝灰质砂岩视电阻率最高的电性特征,推测地 层为上泥盆统(D<sub>3</sub>)的岩屑凝灰岩、凝灰质砂岩。

I 号矿化蚀变带位于低阻异常区, $\rho_s$ 范围为20 ~80 $\Omega$ ·m,蚀变带两侧出露上泥盆统( $D_3$ )凝灰质



板岩、流纹质凝灰岩; II 号矿化蚀变带位于中高阻异 常区,ρ。在200~280Ω·m之间;2个蚀变矿化带的 视充电率均为高极化异常特征,*M*。高达40ms,"低 阻、中高阻及高极化"特征明显。

4.2 激电测深特征

由图4可见激电测深2个视充电率异常的空间

位置相当明显,充电率异常都位于 20~80 $\Omega$ ・m 低 阻范围区内, $M_s$ 等值线呈近似椭圆形, $M_s$ 最高 50ms, 相对异常强度<sup>[2]</sup> $\beta = \frac{异常峰值}{背影值} = 2.5$ 。

位于测线右边 6200 点位下面的激电异常已经 被钻孔 ZK001 验证,在 204.9~218.3m 见矿化带,



ZK001-钻孔号;〇一矿体震心位置

视厚度 13.4m,其中 212.4~217m 为高品位块状铅 锌矿,银的最高品位 0.1451%,铅的最高品位 3.93%,锌的最高品位 6.6%,矿体呈脉状产出,倾 向北西(NW),构造破碎带上盘为凝灰质砂岩,下盘 为泥质板岩。

#### 4.3 点源梯度特征

为推测测线左边 6000 点位下引起激电异常的 极化体产状,从激电测深测线上选取了 5 个供电点 位 $(A_{-2},A_{-1},A_0,A_1, n A_2)$ 作点源梯度测深(T3)剖 面图<sup>[3-4]</sup>,供电点  $A_0$  位于 I 号矿化蚀变带中心,其 余供电点均匀分布在激电异常中心的两侧(图 5)。



<sup>+</sup> 一供电极 A<sub>i</sub> 左枝充电率积分值;o--供电极 A<sub>i</sub> 右枝充电率积分值;▼A<sub>-i</sub>--供电极位置及编号(*i* = -2, -1,0,1,2)

2006年

维普资讯 http://www.cqvip.com

1)根据各个供电点  $A_i$  (i = -2, -1, 0, 1, 2)在 剖面图上的视充电率左、右枝曲线分析,  $A_{-2}$ 和  $A_2$  远 离极化体, 极化体近似处于水平极化条件,  $A_{-2}$ 和  $A_2$ 供电点的  $M_a$  曲线类似中间梯度  $M_a$  曲线, 因此, 在 I 号矿化蚀变带的上方均有视充电率极大值  $M_a$  max; 供电点  $A_0$  视充电率左、右枝曲线在供电点 两侧近似对称, 预示着极化体产状较陡<sup>[4]</sup>。

2) 视充电率左、右枝积分曲线的交点位于 6000 号点的稍左位置,极化体的"震心"<sup>[4]</sup>位于 6000 号点 位的右下边,因此,推测该激电异常倾向右(NE)。

3)所有供电点  $A_i$  的视充电率微分曲线 $\frac{\partial M_s}{\partial x}$ 在 5925 号点都有极大值 $\frac{\partial M_s}{\partial x}\Big|_{max}$ ,说明极化体埋藏较 浅,由各个供电点  $A_i$  到视充电率微分曲线极大值在 x 轴投影位置的距离为半径作圆,各个圆弧交点到 x轴的垂向距离大致为极化体上顶埋深<sup>[4]</sup>;另外,由  $A_0$  到视充率左、右枝曲线拐点在测线 x 轴上投影的 水平距离,也可以确定极化体上顶埋深<sup>[5]</sup>。

因此,测线左边 6000 点位下面引起激电异常的 极化体倾向北东,倾角约 70°,上顶埋深约 25m,宽 度约 20m,沿倾向向下延伸长约 200m。

2005 年对该异常进行了钻探验证,结果也打到 了铅锌矿体,与推测结果近似。当然,也有依据物探 成果钻探验证后仅打到了黄铁矿化或贫铅、锌矿化 不够工业品位(如线 Line7 的 ZK1501、线 Line31 的 ZK3103 等,图不再附加)等实际情况,如何在激电异 常中分辨够工业品位的富矿仍值得研究。

5 结 语

时域激电(TDIP)中间梯度面积测量快速、有效

地圈定含矿蚀变体在浅部分布范围、走向;以多道、 密集电距、众多间隔系数布置的时域激电(TDIP)单 极-偶极装置测深,采集的数据密集,对电性不均匀 体的横向、纵向分辨能力和探测能力较高,该装置应 有"高密度充电率法"之称;采用 Geoelectyical 软件 对激电测深数据进行二维反演得到的 M. p. 拟断面 图,依据"中、低阻高极化"电性特征能够对含铅/锌 的金属硫化物蚀变带进行有效圈定,并大致确定矿 化的范围、轮廓及中心埋深,在浅部和深部钻探验证 结果都打到了铅锌矿(化)层(体)或黄铁矿等硫化 体,取得了显著地质效果;GGT-30发射机功率大, 输出 10A 以上的稳定电流极大地提高了信噪比,接 收机 GDP-32 Ⅱ 性能稳定,采集的数据质量高,Geoelectvical 软件处理数据的结果与该区地质特征吻 合,应用的硬、软件和技术水准均代表了当今世界先 进水平。

应注意的是,仅根据激电测深 M<sub>s</sub>、ρ<sub>s</sub> 二维反演 的电性特征对极化体的产状(如厚度、倾向、倾角、 延伸等)不能够精确确定,还需点源梯度测深(T3) 的微分、积分等剖面曲线特征作辅助解释。

#### [参考文献]

- [1] 任纪瞬,姜春发.中国大地构造及其演化[M].北京:科学出版 社,1980:45-46.
- [2] 罗延钟,史保连,朴化荣.勘查地球物理勘查地球化学文集(第20集)电法专辑[M].北京:地质出版社,1996;122-123.
- [3] 中南矿冶学院物探教研室.金属矿电法勘探[M].北京:冶金 工业出版社,1980:263-266.
- [4] 柯马洛夫 B A. 应用点测深(T3)作地电断面图的方法指南[M]. 阎立光,译. 北京:地质出版社,1992.
- [5] Комаров В А. 激发极化法原理、方法技术与仪器[J]. 物探化 探译丛,1983,(增刊 1/4):21-27.

# APPLICATION EFFECT OF TIME – DOMAIN INDUCED POLARIZATION POLE – DIPOLE ARRAY METHOD IN EXPLORATION OF LEAD – ZINC DEPOSIT

LUO Zhi - feng, GAO Ming - cheng, ZHU Xiang - tai

(Geophysical Exploration Bureau, CEEB, Baoding 071051)

Abstract: This paper simply describes geological character, rock and ore electricity signature in the surveying area, and explains principle of sounding device, depth of sounding and method of spread geometry using diagrams. According to apparent resistivity and chargeability characters of time – domain induced polarization method and based on central gradient array method to predict boundary between fault and major rocks, trend direction in plane and mineralizing extent of disseminated lead – zinc sulfide ores are determined. Pole – dipole array depth sounding can ascertain space position of sulfide mineralization. Integrated with chargeability anomaly in the profile of point gradient sounding method, occurrence of the polarization body can be plotted out. Lead – zinc mineralization in the faults tested by drilling shows that this method has got better geological effects.

Key words: time - domain induced polarization method, depth sounding, pole - dipole array, central gradient array, lead - zinc deposit