

时域激电单极-偶极、偶极-单极排列 测深法二维地电断面成像

雒志锋¹, 吴小平²

(1. 中国冶金地质勘查总局 地球物理勘查院, 河北 保定 071051; 2. 中南大学 信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 介绍了不对称测深法装置的测深原理; 在吉林某地进行了激电测深勘探, 结果显示: 正向单极-偶极和反向偶极-单极采集的视电阻率、视充电率原始数据在拟断面图的分布特征, 和大地电磁测深原始数据受到的静态效应类似, 视电阻率、视充电率受局部地形和电磁噪声的影响, 在拟断面图中呈假的带状异常。正向单极-偶极、反向偶极-单极装置获取的视电阻率、视充电率数据也可分别进行二维反演, 但联合单极-偶极/偶极-单极装置测深二维反演地质结果最好, 具有采集的数据量大、激电信号强、穿透深度大、勘探精度高等优点, 根据视电阻率、视充电率二维反演在地电断面成像技术, 能够准确确定电性异常体的空间分布, 为钻探验证电异常提供准确的地球物理依据。

关键词: 时域激电测深; 单极-偶极、偶极-单极; 二维反演; 不对称测深法; 金属矿勘查

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2011)02-0218-05

新一代多道地球物理数字处理机的面世和计算机软件技术飞跃发展, 革新传统野外测深数据的采集及处理技术, 使其成为地球物理探测技术中的主要工具, 已为满足当今地质勘探技术要求的背景所使然。激电测深法获得的视电阻率参数(ρ_s)在地电断面内可划分构造/岩性, 对地质填图有辅助作用; 时域激电法视充电率参数(M_s)对黄铁矿、磁黄铁矿、铅锌矿、黄铜矿等金属硫化物能够引起灵敏响应, 是金属硫化物最好的直接指示, 在金属矿勘查中可对蚀变带直接进行空间定位。

激电测深法几何排列有对称四极、温纳、偶极-偶极及单侧供电的不对称三极装置等, 其中对称测深装置的推断常常为定性。

为适应新一轮金属矿“攻深探盲”地质勘查的要求, 成功应用时域激电轴向、单极-偶极、偶极-单极排列测深法, 根据 ρ_s 、 M_s 参数二维反演在断面图异常特征进行半定量、定量推断, 能够为验证异常、布置钻探工程提供准确、快速的地球物理依据。

2009年5~7月, 在吉林某地8800测线, 使用美国Zonge公司GDP-32 II地球物理数字式处理机, 应用时域激电测深法勘查铜、金等多金属矿, 利用单侧供电正向单极-偶极和反向偶极-单极排列测深分别反演对比, 取得了好的地质效果。

1 测深装置

单极-偶极、偶极-单极 (pole-dipole, dipole-pole) 测深装置实质是由两个常规三极测深排列组成^[3,5] (图1)。当一个供电电极位于无穷远, 测线上 C_1 、 C_2 及 C_1' 、 C_2' 分别供电, 测量电极偶极对 P_1P_2 (或 MN) 接收, 可分别测得视电阻率 ρ_s^A 、 ρ_s^B (或 $\rho_s^{A'}$ 、 $\rho_s^{B'}$) 和视充电率 M_s^A 、 M_s^B (或 $M_s^{A'}$ 、 $M_s^{B'}$)。

依据供电电极与测量电极距离的不同, 勘探的拟深度(h_1 、 h_2)也不同, 从而达到测深目的, 这也是三极装置测深的原理 (图2)。勘探拟深度和电极距系数(n)正相关^[1-2]: $n = (C_1P_1)/(P_1P_2)$ 或 $n = (C_2P_2)/(P_1P_2)$ 。

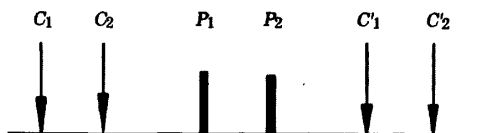


图1 单极-偶极、偶极-单极排列示意

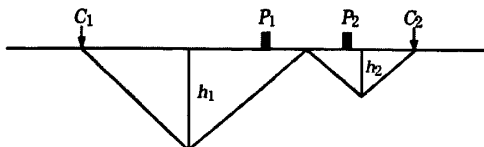


图2 单极-偶极、偶极-单极测深原理示意

测线上,当供电电极位于测量电极的左侧, C_1 、 P_1P_2 组成 pole-dipole 排列, $n > 0$,也称正向单极-偶极^[7-8],可构制正向单极-偶极视电阻率、视充电率拟断面图;若供电电极位于测量电极右侧, P_1P_2 、 C_2 组成 dipole-pole 排列, $n < 0$,也称反向单极-偶极装置^[7-8],可构制反向偶极-单极视电阻率、视充电率拟断面图。

在吉林某地进行激电测深勘探,应用联合、单极-偶极、偶极-单极排列组成的测深装置,勘探线上测量电极(R_x)间距 50 m,共 17 个测量电极,总长 800 m,点号 1 750 ~ 2 550;供电电极(T_x)点距 25 m,共 48 个供电点,总长 1 175 m,可获得总计 736 个 ρ_s (或 M_s)数据点,而正向单极-偶极和反向偶极-单极分别有 368 个物理点。

供电电极可距离测量电极较远以提高勘探深度。为保证信噪比,电极距系数最大取 ± 18.75 。

2 地质概况

测区位于中朝准地台辽东台背斜、浑江—太子河拗陷老岭复背斜北西翼^[9]、大镜沟—大石棚子北东向构造带的中段,出露有早元古界老岭群珍珠门组(Pt_1zh),侏罗系石人组(J_3sh)、林子头组(J_3l),白垩系榆木桥子组(K_1y)等地层,区内以金、银、铜、钴等多金属矿产丰富为特征。

Pt_1zh 地层由角砾状大理岩、白云质大理岩和透闪石大理岩组成,是矿区内的容矿围岩; J_3sh 岩性主要为凝灰质砂岩、黄褐色砂岩; J_3l 岩性为灰绿色酸性凝灰岩或凝灰质砾岩; K_1y 岩性为砾岩、砂岩夹薄层砾岩及黏土层,不整合盖在珍珠门组。第四系由现代冲积黏土砂砾岩组成。

矿区构造以北西向和北东向为主,出露的矿脉走向主要为北东向;围岩蚀变以硅化为主,见黄铁矿化、赤铁矿化、斑铜矿化、孔雀石化、绢云母化和碳酸盐化等,硅化、赤铁矿化与金矿化密切。

3 ρ_s 、 M_s 拟断面图成像

图 3 给出了测区 8800 线正向单极-偶极测深测得的视电阻率、视充电率拟断面。

图 3a 显示, ρ_s 异常特征在拟断面分布明显,测线自左到右、由浅至深有 4 个条带状中、高阻异常呈 45° 角向左倾斜。如 2150 点下极值为 $1\,250\ \Omega \cdot m$, $800\ \Omega \cdot m$ 等值线由浅至深呈条带状向左倾斜,高阻异常与上盘 $150\ \Omega \cdot m$ 、下盘 $60\ \Omega \cdot m$ 的中、低阻界线分明。在 $1\,800 \sim 2\,100$ 、 $2\,200 \sim 2\,500$ 点浅部, ρ_s 为 $15 \sim 60\ \Omega \cdot m$,为低阻地表覆盖层反映。

图 3b 中, M_s 异常显示较弱,在 $2\,100 \sim 2\,200$ 点、拟深度 $250 \sim 300\ m$ 范围, $5 \sim 8\ ms$ 等值线呈不规则带状,极值约 $8\ ms$,背景值为 $2\ ms$ 。

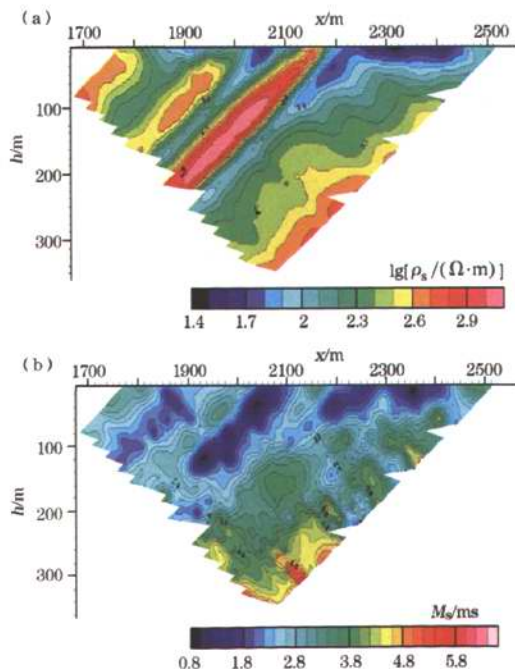


图 3 正向单极-偶极测深拟断面

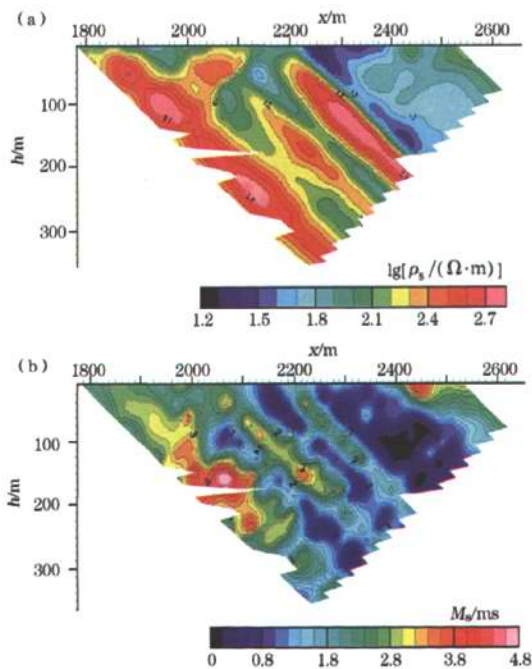


图 4 反向偶极-单极测深拟断面

图4为测区8800线反向偶极-单极测深测得的视电阻率和视充电率拟断面。

图4a显示视电阻率在拟断面分布着3个呈45°、向右倾斜的条带状高阻异常,如拟断面图中部2200~2300点、深度25~350m为一明显高阻条带状体异常。极值约630 $\Omega \cdot m$,其上盘为低阻(20~40 $\Omega \cdot m$),下盘为中阻(60~100 $\Omega \cdot m$)。

图4b显示,在1900~2000点、深度100~250m,有一个极值约6ms的激电异常,4ms等值线呈条带状位于拟断面图左侧的端部;在2400点下有一块状异常,应是地表电性不均匀体所致。

根据图3、图4中显示出的高阻、高极化异常以条带状、呈45°角分别向左、右倾斜的特征分析,实测数据受观测误差和地表局部电性不均匀(包括局部地形起伏)的干扰很大,类似于大地电磁测深中静态效应所引起的假异常。在拟断面图中,依据 ρ_s 、 M_s 异常特征判断地质体位置及产状是困难的,甚至可能得出错误的推断。

4 ρ_s 、 M_s 二维反演地电断面成像

图5~图7分别为不同排列方式得到的8800线 ρ_s 、 M_s 二维反演地电断面成像。

4.1 正向单极-偶极排列

图5a显示,除在2200点有一规模不大的高阻

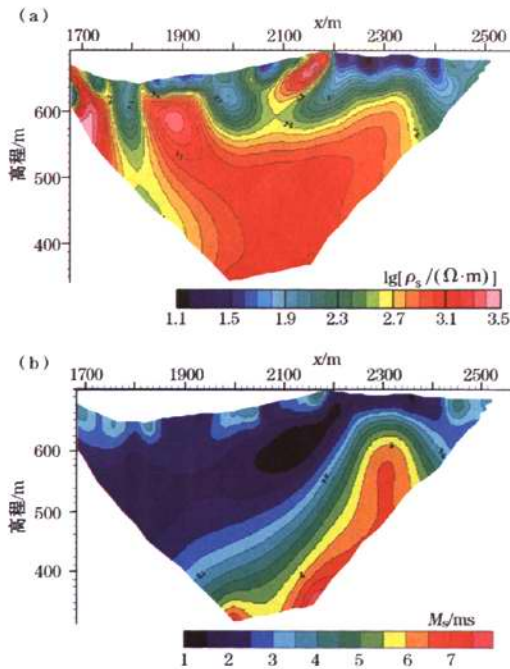


图5 正向单极-偶极测深二维反演断面

异常体出露外,地表浅部为低阻,约15~20 $\Omega \cdot m$;在1825~2350点、标高550m以下为高阻异常响应, ρ_s 极值为1995 $\Omega \cdot m$,630 $\Omega \cdot m$ 等值线与上覆的中、低阻电性层界线明显,上覆层为中阻特征, ρ_s 为125~200 $\Omega \cdot m$;该高阻异常体沿纵向、标高300m以下没有圈闭。

图5b显示在2250~2350点、标高600m以下有一明显激电异常, M_s 极值为8ms,测线上背景值为2ms,6ms等值线沿垂向延伸,没有封闭;结合 ρ_s 特征,明显为一个高阻、高极化异常。

4.2 反向偶极-单极排列

图6a显示地表浅部为低阻, ρ_s 背景值约20 $\Omega \cdot m$,在1850~2550点、标高600m以下为高阻异常响应, ρ_s 极值高达2500 $\Omega \cdot m$,上覆仍为中阻电性层, ρ_s 为80~125 $\Omega \cdot m$ 。

图6b显示,在2100~2300点、标高550~400m存在一个近似椭圆状的激电异常, M_s 极值为4.5ms,背景值为1.5ms;在地表浅部2050、2175、2500点,存在着规模较小、形似圆球状的电性不均匀体, M_s 反演数值约为4ms。

简言之,勘探线上1825、2025和2175点附近,地面有局部高阻或局部下凹地形,而在2075点和2225点附近,地面有局部低阻或局部上凸地形,地形影响及电性不均匀体的存在,致使 ρ_s 、 M_s 在拟

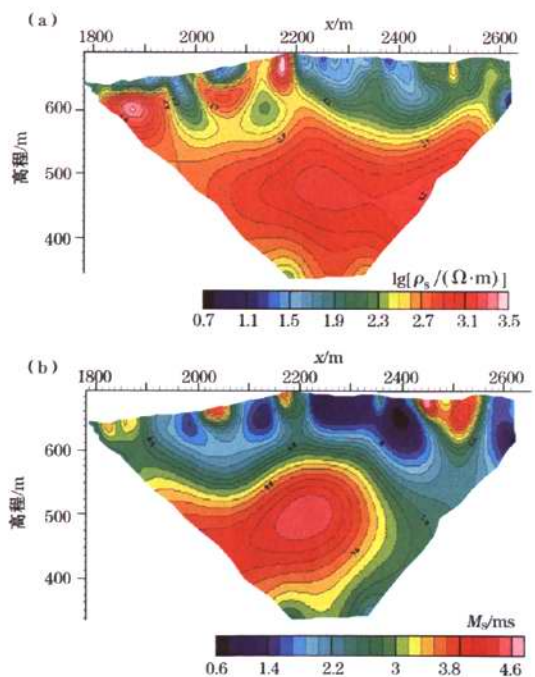


图6 反向偶极-单极测深二维反演断面

断面图呈条带状、45°角向左侧或右侧倾斜的高阻、高极化假异常(图3、图4);在二维反演断面图中,2种测深装置的反演结果证明 M_s 异常的位置不完全吻合, ρ_s 二维反演在断面图中的异常大的轮廓近

似,细节不太一致(图5、图6)。

4.3 联合单极-偶极—偶极-单极排列

图7为联合单极-偶极—偶极-单极排列的测深数据反演结果。

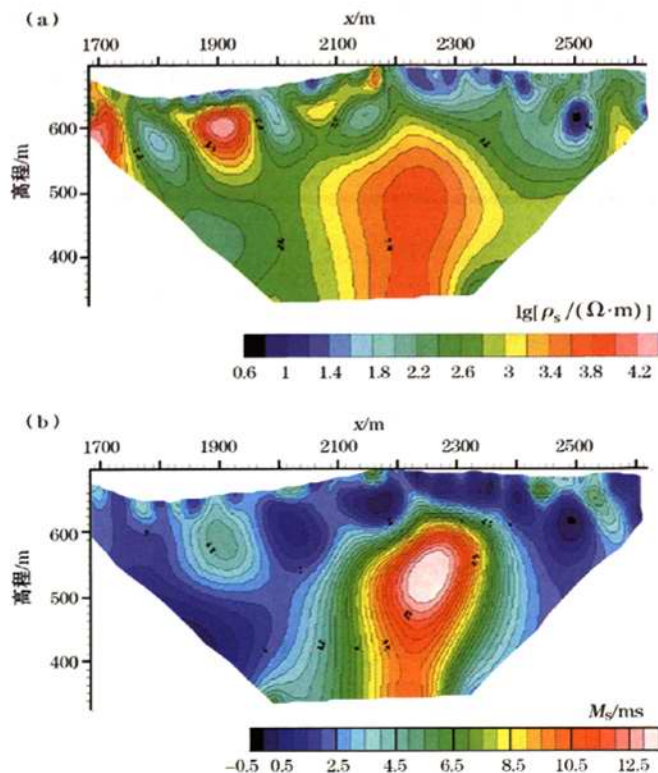


图7 联合单极-偶极—偶极-单极测深二维反演断面

图7a显示地表浅部1760点以南为低阻,由北西向南东逐渐变厚,显然是第四系低阻覆盖层引起;几十~630 $\Omega \cdot m$ 的中阻异常为榆木桥子组地层。在1760点北端高阻异常达上千欧姆·米,测线北端没有圈闭,与南部低阻界线分明,推测该点存在一个断裂,倾向南东(剖面右侧),倾角较陡。在1860~1960点、标高625~550 m, ρ_s 高阻,近似一孤立的椭圆形,两侧为低、中阻的视电阻率响应。

在2060~2360点、标高600 m以下为高阻特征, ρ_s 在1000 $\Omega \cdot m$ 以上,极值高达3980 $\Omega \cdot m$,两侧围岩为630 $\Omega \cdot m$,推测高阻异常为珍珠门组大理岩引起;600 m标高以上为低、中阻覆盖层,厚度50~80 m,为榆木桥子组和第四系地层。

在2160点、标高600 m处向下延伸,高、中阻 ρ_s 电性分界清晰,推测隐伏着一条倾向南东、倾角较缓的断裂,也是珍珠门组大理岩与榆木桥子组砂砾岩的断层接触带。

图7b中的2260点、标高600~450 m处, M_s 极值高达13 ms,围岩背景值在2~4 ms;10 ms等值线闭合,呈椭圆状明显地处于高、低值接触带上,即位于2160点下推测为断裂带的位置,是成矿有利地质部位。推测该高阻、高极化异常为含铜、金的多金属硫化物引起,已建议布置钻探进行验证。

5 结语

时域激电联合、单极-偶极、偶极-单极排列测深获取的 ρ_s 、 M_s 参数,具有采集的数据量大、信息丰富、勘探深度大、工作效率高及地质效果好等诸多显著特征^[11]。

(1)实测数据受观测误差、局部电性不均匀和局部地形起伏地影响,正向单极-偶极和反向偶极-单极装置获得的 ρ_s 、 M_s 原始数据,受地形影响和电磁噪声的干扰,在拟断面图中均出现向左和向右45°倾斜的条带状异常,类似大地电磁测深中静态效

应出现的假异常,因此,在拟断面图中不能直接对 ρ_s 、 M_s 异常做准确的推断解释。

(2) 正向单极-偶极、反向偶极-单极排列测深可分别进行 ρ_s 、 M_s 二维反演, ρ_s 、 M_s 断面图均出现高阻、高极化异常特征,但它们的异常形状和空间位置不完全一致而出现偏差。

(3) 联合单极-偶极—偶极-单极排列测深 ρ_s 、 M_s 二维反演地电断面成像的地质效果最好,勘探深度也最大,能够准确划分、圈定断裂构造、不同岩性分界及激电异常位置,对 ρ_s 、 M_s 异常能直接做出可靠的地质推断解释。

参考文献:

- [1] 傅良奎. 电法勘探教程[M]. 北京:地质出版社,1983.
- [2] 中南矿冶学院. 金属矿电法勘探教程[M]. 北京:冶金工业出

版社,1980.

- [3] White R M S, Collins S, Loke M H. Resistivity and IP arrays, optimised for data collection and inversion[J]. Exploration Geophysics, 2003, 34: 229.
- [4] 雒志锋, 贺容华. 中条山铜矿某工区激发极化法三极测深及其三维反演效果[J]. 地质与勘探, 2008, 44(03).
- [5] 雒志锋. 激发极化法在寻找斑岩型铜矿中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(增刊).
- [6] 雒志锋, 彭兴刚. 双侧轴向单极-偶极激电测深在勘查铅锌等多金属矿中的应用[J]. 物探与化探, 2009, 33(5).
- [7] 罗延钟, 王传雷, 董浩斌. 高密度电阻率法的电极装置选择[J]. 地质与勘探, 2005, 41(增刊).
- [8] 罗延钟, 谭义东. 高密度电阻率法新观测方案及其数据处理和成图软件系统[J]. 物探化探计算技术, 1996, 18(2).
- [9] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化[M]. 北京:科学出版社, 1980.

POLE-DIPOLE/DIPOLE-POLE ARRAY SOUNDING TWO-DIMENSIONAL GEOELECTRICAL SECTION IMAGING FOR TIME DOMAIN INEDUCED POLARIZATION METHOD

LUO Zhi-feng¹, WU Xiao-ping²

(1. Geophysical Exploration Bureau of CMGB, Baoding 071051, China; 2. School of Info-physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The double current supply, inline and combined pole-dipole/dipole-pole array for time domain induced polarization method is an unsymmetrical arrangement sounding technology composed of forward pole-dipole and reverse dipole-pole array. This paper shows the sounding principle with graphical representation. For collecting resistivity and chargeability raw data distribution features in the pseudosection with forward pole-dipole and reverse dipole-pole array, it is similar to MT in that MT raw data obtain "static state effect", and resistivity and chargeability raw data also obtain "partial topography" and "electromagnetism noise" effect and assumes "false belt anomaly" features. Forward pole-dipole and reverse dipole-pole array obtains resistivity and chargeability data and can respectively process two-dimension inversion, but only the combined pole-dipole/dipole-pole array can get the best geological effect, indicating that the strongpoint of the electrodes configuration array is that it can obtain massive collection data, strong induced polarization signal, larger penetration depth and highly surveying accuracy. With the electrical property parameters for resistivity and chargeability two-dimension inversion imaging techniques in the geoelectrical section, we can accurately determine the spatial distribution of the electric anomaly body and can also provide accurate geophysical basis for drilling verification of the electric anomaly.

Key words: time domain induced polarization; pole-dipole/dipole-pole; two-dimensional inversion; unsymmetrical sounding technology; metallic ore exploration

作者简介: 雒志锋(1963-),男,1986年毕业于中南工业大学(现中南大学),高级工程师,主要从事应用电法、磁法勘查固体金属矿的勘探工作,发表论文十几篇。