

# 低频偶极偶极装置在金属矿勘查中的效果分析

郭雪峰<sup>1</sup>, 罗维斌<sup>2</sup>

(1. 甘肃有色地质勘查局天水总队, 甘肃 天水 741020; 2. 中南大学信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:**分析了频率域激发极化法偶极-偶极装置在金属矿勘查中的技术优势。双频道激电法轻便, 抗干扰能力强的特点与多极距偶极-偶极装置水平和纵向分辨力高的技术特点相结合, 可提高复杂地形条件下金属矿勘查效果。正演计算了双频激电仪四个频组不同收发距对高极化薄层的分辨能力, 总结了双频激电偶极装置野外工作的技术要点。运用二维视电阻率/视幅频率反演软件可提高勘查资料的解释水平。应用实例表明, 频率域偶极-偶极方法地质勘查效果明显。

**关键词:**双频道激电法; 偶极-偶极装置; 金属矿勘查; 二维反演

**中图分类号:** P631.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-5716(2008)06-0111-05

电阻率法和激发极化法测量是金属矿勘查的有效方法<sup>[1-2]</sup>。金属硫化物的存在常会引起很强的激发极化效应。通过视电阻率和视极化率(或幅频率)异常可以有效推断经济矿体的赋存部位。激电异常因受地形奇变小而较好的找矿效果。测量可在时间域测量断电后的放电曲线, 也可在频率域测量供电后的充电曲线, 频率域激电从变频法发展到多频激电, 测量精度有了很大提高。双频激电由于其测量精度高, 抗干扰能力强, 装备轻便, 已在全国普及应用。频率域激电法偶极-偶极装置排列由于受电磁耦合干扰最小, 对地层水平方向的变化分辨力高, 而倍受青睐。特别是在复杂地形条件下, 双频激电法偶极-偶极装置, 采用多极距测量<sup>[3-4]</sup>, 结合电阻率/极化率二维反演解释软件<sup>[5]</sup>, 有时会取得较好的地质勘查效果。本文通过一维正演计算, 发现双频激电多频组、多极距测量, 对低阻高极化体或高阻高极化体均有较高的分辨能力。

## 1 双频道激电法<sup>[1-6]</sup>

双频道激电法是一种频率域激发极化法(何继善, 等), 其方法实质是用合成的特殊的双频波形电流作为激励场源, 这两种电流的频率是相干的, 频比为 13。双频激电仪设有 4 个双频频率组(分别为 8 Hz 及 8/13 Hz, 4 Hz 及 4/13 Hz, 2 Hz 及 2/13 Hz, 1 Hz 及 1/13 Hz), 通常选用高频频率为 4 Hz, 低频频率为 4/13 Hz 的频率组。接收机同时选频接收经过大地传导后的两种频率电流的响应即高频电位差( $\Delta U_G$ )和低频电位差( $\Delta U_D$ ), 计算并显示视幅频率  $F_s$ :

$$F_s = \frac{(\Delta U_D - \Delta U_G)}{\Delta U_G} \times 100\% \quad (1)$$

并可根据高频电位差  $\Delta U_G$  (或低频电位差  $\Delta U_D$ )、

供电电流  $I$  和装置系数  $K$ , 计算出视电阻率  $\rho_s$  值。仪器可直接测量和计算出  $F_s$  和  $\rho_s$  值。

理论研究表明, 当双频电流中的高频电流  $I_G$  的频率与低频电流  $I_D$  的频率的频比  $S = 13$ , 并且  $I_G$  与  $I_D$  基波相位关系固定时,  $I_G$  与  $I_D$  两者的幅值比为  $I_G/I_D = 12/13$ , 两者幅度基本相同。这就说明, 双频道激电法中, 高频电位差  $\Delta U_G$  和低频电位差  $\Delta U_D$  是在同等精度下测量的, 且不需稳流。因此, 双频道激电法具有: 观测速度快、测量精度高、受电流变化影响小、抗干扰能力强、装备轻便等优点, 是金属矿普查找矿中一种十分有效的方法。

## 2 电极偶极排列装置技术特点

频率域激电通过测量两个以上频率的一次电位获得视幅散率。因而感应耦合成为主要干扰, 它可能会淹没微弱的激电信息, 要采取措施进行压制。电极偶极-偶极排列感应耦合干扰小, 成为常用电极装置。

将供电电流偶极子和接收偶极子同线布置, 两个电极偶极子长度( $a$ )相同, 间隔距离是电极偶极子长度的整数  $n$  倍( $n = 1, 2, \dots, 8$ ),  $n$  称为隔离系数。保持电极排列长度不变, 沿剖面同时移动, 可探测地电特性沿剖面的变化。改变电极排列长度( $a$  或  $n$ ), 可了解不同深度的地电物性。偶极-偶极装置在不同位置激发极化体, 因而可获得较强的异常幅值。

频率域激发极化法中, 偶极装置因使用短导线供电和测量, 装置轻便, 受电磁感应耦合干扰最小, 偶极装置的感应耦合频散率或极化率为正值, 其大小取决于综合参数  $P$ :

$$P = a^2 f \mu / \rho \quad (2)$$

式中:  $a$  ——偶极距,  $m$ ;

$f$  ——频率, Hz;

$\mu$  ——大地磁导率(以自由空间的磁导率  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m 为单位);

$\rho$  ——大地的电阻率,  $\Omega \cdot m$ 。

从式中可知,偶极子长度越大,频率越高,大地电阻率越低,感应耦合越强。

### 3 低频偶极偶极装置正演算例

对于双频激电探测深度的讨论,本文采用文献[7]介绍的基于 MATLAB 的 1 维正演程序<sup>[5]</sup>计算了双频激电仪 4 个频组一维层状高阻高极化和低阻高极化薄层地质模型的视幅频率及随收发距的变化率。

电阻率模型采用 Cole - Cole 模型:

$$\rho^* = \rho_0 [1 - m(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c})] \quad (3)$$

式中:  $\rho_0$  ——复电阻率;

$\rho_0$  ——直流电阻率;

$m$  ——充电率;

$\tau$  ——时间常数;

$c$  ——与频率有关的系数。

地质模型如表 1 所示。

表 1 一维地质模型及参数表

| 模型 | 层电阻率<br>( $\Omega \cdot m$ ) | 层厚<br>(m) | 充电率<br>m | 时间常数<br>$\tau$ | 系数<br>c |
|----|------------------------------|-----------|----------|----------------|---------|
| 1  | 1                            | 100       | 200      | 0              | 0       |
|    | 2                            | 2000      | 30       | 0              | 0       |
|    | 3                            | 100       | 无限深      | 0              | 0       |
| 2  | 1                            | 100       | 200      | 0              | 0       |
|    | 2                            | 2000      | 30       | 0.2            | 0.3     |
|    | 3                            | 100       | 无限深      | 0              | 0       |
| 3  | 1                            | 100       | 150      | 0              | 0       |
|    | 2                            | 2         | 10       | 0.5            | 0.01    |
|    | 3                            | 100       | 无限深      | 0              | 0       |

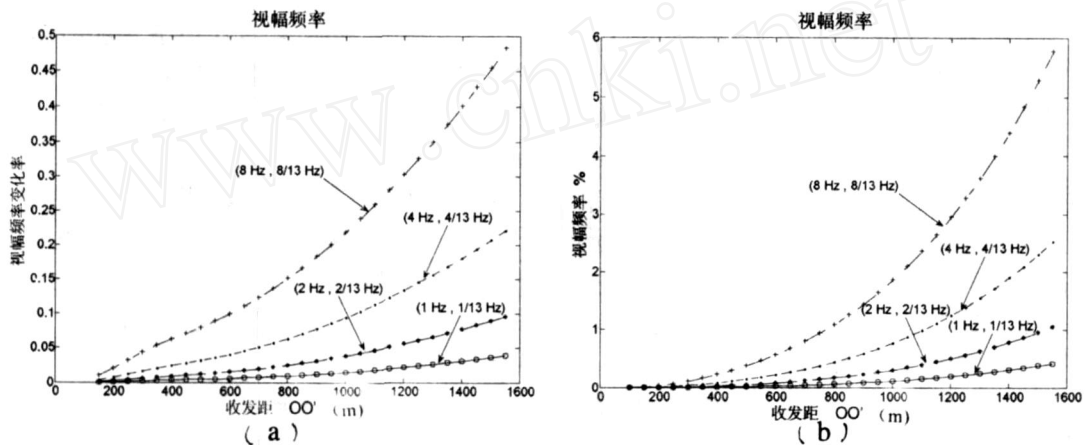


图 1 模型 1 各双频组视幅频率(a)及视幅频率随收发距的变化率(b)

从图 1~3 可以看出,当没有极化体存在时(模型 1),各双频组视幅频率曲线图 1(a)及视幅频率随收发距的变化率曲线图 1(b)单调变化。高频组视幅频率及随收发距变化率高于低频组。当存在高阻、高极化体时(模型 2),各双频组视幅频率曲线图 2(c)曲线形态发生变化,视幅频率随收发距的变化率曲线图 2(d)在收发距 400~600m 之间取得极大值。低频组差异较高频组明显。当存在低阻、高极化体时(模型 3),各双频组视幅频率曲线如图 3(e),视幅频率随收发距的变化率曲线图 3(f),在收发距 400 米至 600 米之间取得极大值。高频组差异较低频组明显。由图 2(d)和图 3(f)对比可见,对于时间常数较大的情况,采用低频组可取得明显异常,而对于时间常数较小的情况,采用高频组可获得异常的最大分辨。从视幅频率随收发距的变化率曲线

峰值所对应的收发距与第一层层厚的比较可以看出,比值关系在 2.5~4 之间,当有高阻、高极化体存在时,比值较小,当有低阻、高极化体存在时,比值较大。利用这个比值关系可判定极化体埋深。

### 4 双频激电偶极装置的野外工作要点

#### 4.1 频率选择

岩矿石因成矿类型不同而有不同的幅频特性,致密块状金属硫化矿呈面极化特征,其极值频率总体上分布在低频段;而细脉、细粒侵染状矿体如斑岩型铜矿等呈体积化特征,其极值频率总体上分布在高频段。因此要因勘查矿体类型选择不同频率组,以突出激电异常。在不明矿体类型的新区,可用 4 Hz 及 4/13 Hz 的频组。实践证明:4 Hz 及 4/13 Hz 这组频组在全国几十个矿区多种不同类型矿床上均有明显的幅频率  $F_s$  异常反应。另

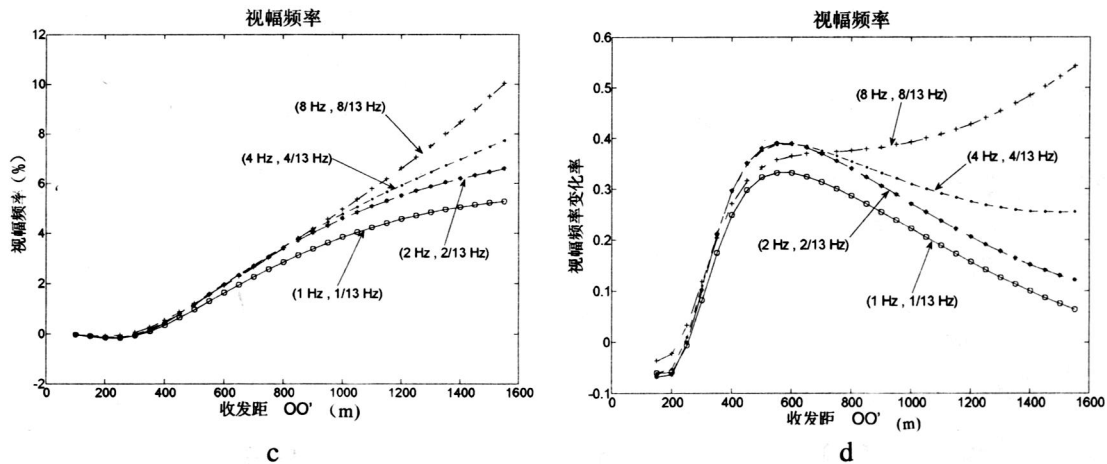


图 2 模型 2 各双频组视幅频率(c)及视幅频率随收发距的变化率(d)

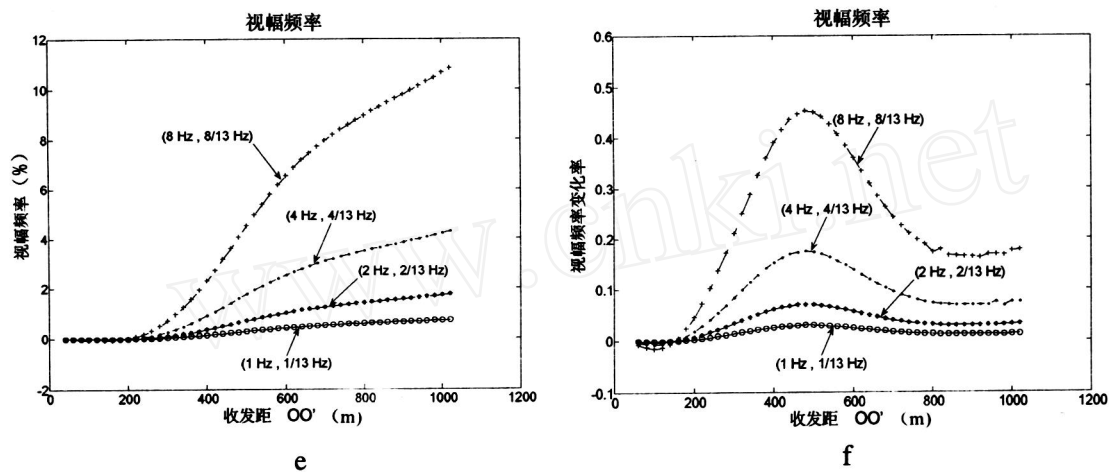


图 3 模型 3 各双频组视幅频率(e)及视幅频率随收发距的变化率(f)

外,为降低感应耦合干扰,在低电阻率地区,宜选用低频率组,在高电阻率地区,宜选用较高的频率组,以提高工作效率。

#### 4.2 接地电阻

偶极 - 偶极装置工作时四个电极沿剖面同时移动,因而接地电阻变化很大。较大的电极接地电阻会使发送电流减小,信噪比降低,在 MN 接收端引入的干扰增强。新型双频道激电仪输入阻抗可达 10 MΩ,当 MN 接地电阻小于 100 kΩ 时,对观测结果无明显的影响。当接地电阻很大时,读数不稳使得测量难以进行。当  $F_s$  显示很大的负数,说明有电极接地电阻很大或者导线不通。在测量时对电极接地条件应予以特别关注。尽量降低接地电阻,以获得可靠数据。

#### 4.3 偶极子长度的选择

偶极子长度  $a$  应根据要探测地质体的规模,探测深度,信噪比和要求的分辨力等因素确定。由于偶极 - 偶极装置对偶极子下方敏感度最高,因而小的偶极子长度

有较高的水平(或横向)分辨力。而小的电偶极子,探测深度浅,且随隔离系数增大,信号幅度衰减很快(以距离的三次方衰减),当采用多极距测量时,为保证观测精度,提高信噪比,在工作过程中要适宜地增大偶极子长度。

#### 4.4 多极距测量

与地震共深度迭加测量原理一样,偶极 - 偶极多极距测量在强干扰地区可有效提高数据质量。可组合采用不同的电偶极子长度  $a$  和不同的隔离系数  $n$  进行测量,以同时达到水平和纵向的分辨力测量要求,是一种精细测量技术,可以分辨有一定埋深的薄层高极化体。

#### 4.5 资料解释

由于测量时供电偶极和测量偶极沿剖面同时移动,因而对极化体可在不同位置激发极化,得到激电异常幅度较大,易于发现异常。偶极 - 偶极装置单极距测量时,常因曲线形态复杂而难以解释(双峰异常干扰),故常采用多极距测量方式。改变偶极子长度  $a$  或隔离系数  $n$ ,得到一个断面的精细测量,因而获取的信息丰富。

可绘制剖面图和等值拟断面图进行解释。采用二维电阻率/极化率反演软件(阮百尧,等)进行解释,可以得到反演地电阻率模型和地极化率模型。

## 5 应用实例

图 4 是在甘肃某铅锌矿点偶极-偶极测量的反演结果。进行了两个极距的测量,偶极-偶极装置分别为  $a=20, n=2$  和  $a=40, n=2$ 。点距为 10m。从图 4(a)

视电阻率反演地电模型,图 4(b)视幅频率反演地电模型中可以清晰看出在 510~540 点之间,深度在 20m 以下有一低阻、高极化体。电阻率小于  $80\Omega \cdot m$ ,视幅频率高达 15%。分析认为视幅频率大于 5%是矿致异常。该异常体已在工程揭露中,在 20m 深处见到宽近 1m 的铅锌铜矿体。590 号点下 10m 的低阻体经揭露是由孔雀石化地质体引起。

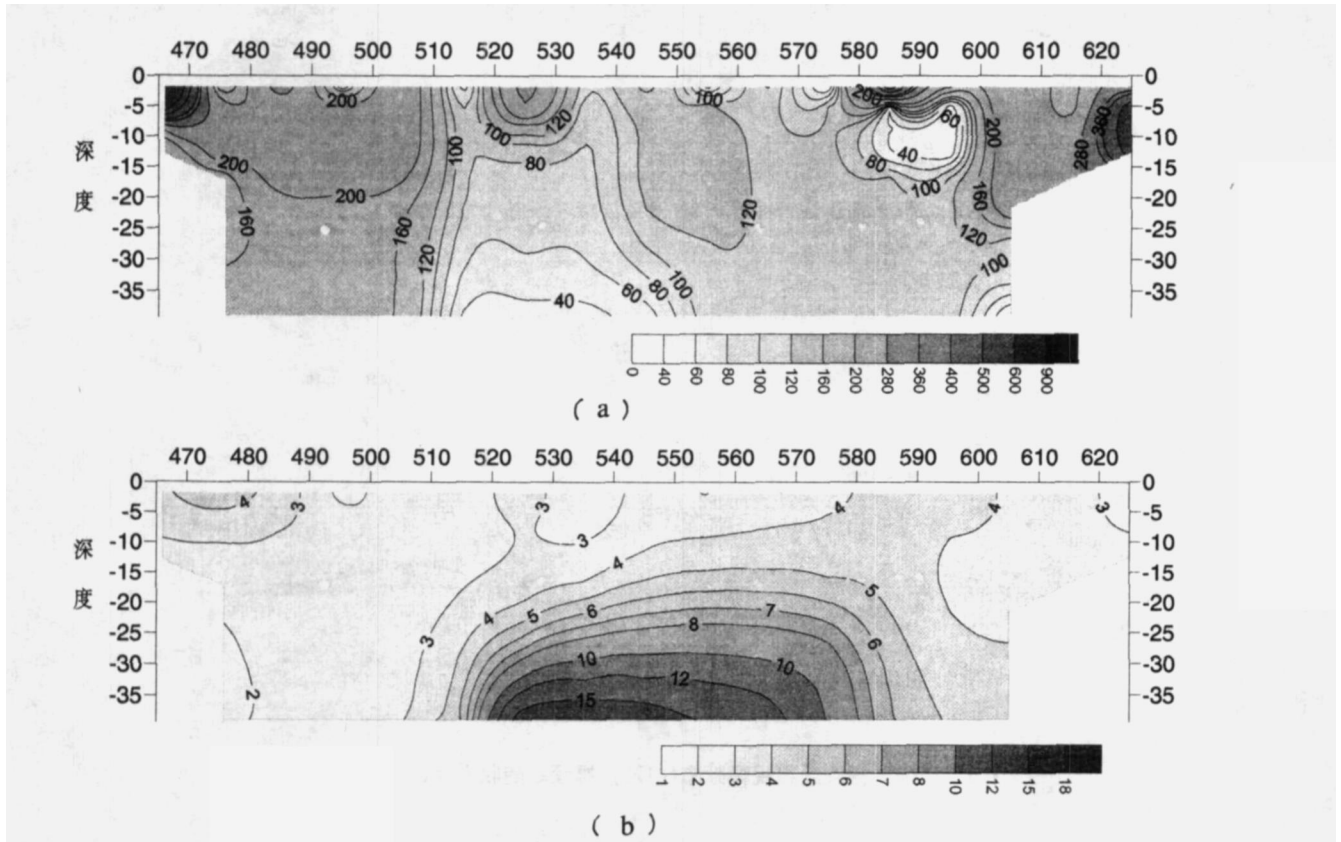


图 4 甘肃某铅锌矿点偶极-偶极测量反演结果

(a) 视电阻率反演地电模型;(b) 视幅频率反演地电模型

## 6 结论

我国的地质勘查重点已向西部战略转移,高海拔和复杂地形大大增加了勘查难度。为降低野外工作强度,提高地质勘查效果,轻便、高效的电法仪器是金属矿勘查物探工作者的有力装备。

(1) 双频道激电法的技术优势要在工作设计及野外实践中,应根据地质任务要求、综合分析和全面考虑要勘查的矿种类型、地电条件及干扰程度等因素,而后选择适当的装置类型、极距大小,工作频率并制定相应的措施,才能充分发挥并取得有效地质成果。

(2) 一维正演计算结果表明,采用多极距测量可以分辨低阻或高阻、高极化体薄层,多频组测量有利于发现极化异常。

(3) 偶极-偶极测量受电磁感应耦合干扰小。因地制宜,合理选用偶极装置,采取措施,降低接地电阻,进行多极距测量,其反映异常幅度大、水平和纵向分辨力高的技术优势可大大提高金属矿勘查效果。

(4) 采用二维电阻率/极化率反演软件可有效提高对双频激电偶极-偶极测量结果的解释水平,获得的视电阻率和视幅频率地电模型直观明了,结合地质条件,可对物探异常做出较合理的地质解释。

## 参考文献:

- [1] 何继善. 双频激电法[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [2] 李金铭. 激发极化法方法技术指南[M]. 北京:地质出版社,2004.
- [3] 白宜诚,左恒,罗维斌. 双频激电在普查找矿工作中应注意

# AutoCAD 二次开发在物探绘图中的应用

史春玲, 赵喜彬

(安徽省煤田地质局物探测量队, 安徽 宿州 234000)

**摘 要:** AutoCAD 作为物探行业应用比较广泛的绘图软件, 可以方便快捷的制作地震勘探设计图纸、底板等高线图、地震地质剖面图等常规报告图件。使用 AutoCAD 的二次开发功能可以提高制图效率, 因此, 介绍了 AutoCAD 二次开发, 制作块; 形; 线型; 填充图案的方法。

**关键词:** AutoCAD 二次开发; 块; 形; 线型; 填充图案

**中图分类号:** P631.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-5716(2008)06-0115-03

随着计算机技术的普及, 物探报告中的图件的制作也开始使用计算机制图软件, 物探行业中使用较为广泛的就是 AutoCAD 绘图软件, AutoCAD 绘图软件是一个通用的图形制作平台, 特别适合二次开发, 进行适当的开发可以制作规范的图件并提高制图速度。下面介绍 AutoCAD 二次开发, 制作块; 形; 线型; 填充图案的方法及在物探绘图中的应用。

## 1 块与属性

利用 AutoCAD 的块以及其属性功能, 可以大大提高绘图效率。

块是组成复杂对象的一组对象的集合。一旦一组

对象组合成块, 这组对象就被赋予一个块名, 用户可根据作图需要用这个块名将该组对象插入到图中任意指定的位置, 而且在插入时还可以指定不同的比例因子和旋转角。

组成块的各个对象可以有自己图层, 自己的线型, 自己的颜色, 但 AutoCAD 把块当作一个单一的对象来处理, 即通过点取块内的任何一个对象, 就可以对整个块进行诸如移动 (move) 复制 (copy) 镜像 (mirror) 这样的操作, 这些操作与块的内部结构无关。

块还可以嵌套, 即一个块中可以包含另外一个或几个块。

的几个技术问题[J]. 矿产与地质, 2003, 17(97): 451-454.

[4] 陈耀红. 双频激电偶极装置在地质普查找矿中的应用[J]. 甘肃冶金, 2004, 26(1): 15-18.

[5] M. H. Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys [EB/OL]. <http://www.geoelectrical.com>, 2004.

[6] 白宜诚, 崔燕丽, 浦慧如. SQ 型双频道激电仪的研制[J]. 物探与化探, 2002, 26(6): 457-460.

[7] Thomas Ingeman - Nielsen, Franc - ois Baumgartner, CR1Dmod: A Matlab program to model 1D complex resistivity effects in electrical and electromagnetic surveys, Computers & Geosciences, 2006, 32, 1411-1419.

## Effect Analysis on Metals Exploration applying

### Low frequency Dipole-Dipole Array

GUO Xue-fen<sup>1</sup>, LUO Wei-bin<sup>2</sup>

(1 Gansu Non-ferrous metals Geological Exploration and Mining Bureau Tianshui Party, Tianshui Gansu 741020, China; 2 School of Info-physics and geometric Engineering, Central

South University, Changsha Hunan 410083, China)

**Abstract:** The technological superiority of applying dipole-dipole array dual-frequency induced polarization method on metals exploration is analyzed. The dual-frequency IP instrument is lightweight, and has higher anti-jamming ability, multi-spaced dipole-dipole array has better resolution both in horizon and vertical, combined this two advantages will result in a good effect on mental survey even in harsh conditions. The resolution ability with four dual-frequency of the dual-frequency IP instrument is forward computed by modeling and the key point of applying dipole-dipole array dual-frequency induced polarization method in field is mentioned. Using the software of apparent resistivity/ apparent percent frequency effect (PFE) inversion will enhance the ability of data interpretation. The case shows forth that this FD low frequency dipole-dipole combined method has advance effect on metals exploration.

**Key words:** dual-frequency induced polarization method; Dipole-Dipole Array; metals exploration; 2-D inversion