

相位激电法(偶极—偶极)单频电磁耦合校正方法

王书民, 雷达

(中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 主要介绍一种相位激电法(偶极—偶极, 以下简称偶极)电磁耦合校正方法, 其原理是将视电阻率近似视为均匀大地电阻率, 利用均匀大地条件下偶极装置电磁感应响应的正演计算方法, 算出电磁感应响应, 再将其从观测的总响应中去除, 从而达到电磁耦合校正的目的。

关键词: 相位激电, 电磁耦合校正, 偶极装置, 单频

中图分类号: P631.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2002)01-0057-03

相位激电法是在变频激电法基础上发展起来的一种频率域激电法, 它主要观测地中交流电场以及供电电流之相位差, 在无电磁耦合情况下, 该相位差常称为激电相位。激电相位是由纯激电效应引起的相位差, 类似于时间域极化率, 可作为一种激电参数来评价激电效应。然而, 在激电相位测量中, 往往存在电磁耦合效应, 有时还相当严重。电磁耦合是供电导线、测量导线和大地间的互感和自感所造成。在低频时, 大地的电磁耦合响应和地下地质体的激电响应有相类似的特性, 野外测量到的往往是这两种响应的综合结果, 要研究激电响应, 必须把电磁耦合响应从观测数据中去除, 这一过程称为“去耦”。电磁耦合效应对电阻率影响很小, 对激电相位影响较大, 所以, 针对激电相位的去耦方法较常见, 而对电阻率一般不做电磁耦合校正。以往双频和三频去耦方法的研究和应用较多, 而这些去耦方法大都需要多频观测数据, 严重影响了生产效率, 而单频去耦方法只需要一种频率的观测数据, 因此, 单频去耦方法的研究和应用对提高生产效率具有重要意义。

1 均匀大地条件下偶极装置的电磁感应响应计算

电磁耦合响应是指供电导线、测量导线和大地间的互感和自感响应, 与供电导线、测量导线和大地电阻率及频率有关。Sunde 在 1968 年给出了均匀大地和水平多层大地地表接地供电导线和测量导线间互感阻抗问题的理论解^[1]

$$Z(\omega) = \frac{1}{\omega} \left[\frac{\partial}{\partial S} \left(\frac{\partial}{\partial s} \right) \left[P(r) \cos \theta + \frac{\partial^2 (Q(r))}{\partial S \partial s} \right] \right] dS ds。$$

式中: $P(r)$ 为纯感应函数, $Q(r)$ 为接地函数, S 为接地供电导线, s 为接地测量导线, r 为两线元间的距离, θ 为两线元间的夹角。

对于水平均匀大地, 在相位激电常用的频率范围内, 近似为准静态^[2,3], 有

$$P(r) = \frac{\rho_1}{2\pi} \frac{1 - (1 + ik_1 r) e^{-ik_1 r}}{r^3};$$

$$Q(r) = \rho_1 / 2\pi r。$$

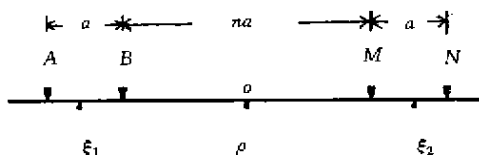


图 1 偶极—偶极装置示意图

在水平均匀大地条件下, 对于偶极装置, 假定 dS , ds 的水平坐标分别为 ξ_1 , ξ_2 (图 1), 接地项为

$$Q = \iint_{AM}^{BN} Q(r) dS ds = \frac{\rho}{2\pi} \iint_{AM}^{BN} \frac{\rho}{\xi_2 - \xi_1} d\xi_2 d\xi_1, \quad (1)$$

感应项为

$$P = \iint_{AM}^{BN} P(r) dS ds = \frac{\rho}{2\pi} \iint_{AM}^{BN} \frac{1 - [1 + \alpha(1 + i\xi(\xi_2 - \xi_1))] e^{-\alpha(1 + i\xi(\xi_2 - \xi_1))}}{(\xi_2 - \xi_1)^3} d\xi_1 d\xi_2, \quad (2)$$

收稿日期 2001-04-09

分别对 1、2 式积分, 得

$$P = \frac{\rho}{2\pi} \{ 2f((n+1)a) - f(na) - f((n+2)a) \},$$

(2)

分别对 1、2 式积分,得

$$P = \frac{\rho}{2\pi} \{ 2f(n+1)a - f(na) - f(n+2)a \}, \quad (3)$$

$$Q = \frac{\rho}{2\pi} \left\{ \frac{2}{(n+1)a} - \frac{1}{na} - \frac{1}{(n+2)a} \right\}, \quad (4)$$

其中

$$f(x) = \left\{ \frac{-1 + e^{-\delta x} \cos \delta x}{2x} + \frac{\delta(D-C)}{2} \right\} + \left\{ -\delta^2 x (\ln x - 1) - \frac{e^{-\delta x} \sin \delta x}{2x} + \frac{\delta(D+C)}{2} \right\},$$

$$D + iC = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-Wx)^{n+1}}{n(n+1)},$$

$$W = \delta(1+i), \delta = \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\rho}}.$$

总阻抗为 $Z(\omega) = (Q + \text{Re}P) + i\text{Im}P$,

感应阻抗为 $P = \text{Re}P + i\text{Im}P$, (5)

感应阻抗相位为 $\varphi = \arctg[\text{Im}P/(Q + \text{Re}P)]$, (6)

上述公式中, P 、 Q 分别为纯感应阻抗和接地阻抗, φ 为纯感应相位, k_1 为传播系数, ρ 为均匀大地电阻率, ω 为角频率, μ_0 为空气中磁导率, n 为偶极—偶极装置收发距数, a 为偶极大小。

图 2 为利用 (3)~(6) 式正演计算的水平均匀大地条件下不同 f 、 ρ 、 a 及 n 情况下的电磁感应阻抗相位特性曲线, 其纵坐标 ϕ 为电磁感应阻抗相位移。由特性曲线可看出, 电磁感应阻抗相位与频率 f 、大地电阻率 ρ 、偶极 a 以及收发距数 n 有关, 在观测频率范围内, 随着 f 、 a 和 n 的增大, 耦合亦增大, 随着 ρ 的增大而耦合减小。事实上, 电磁感应响应是综合参数—— $a^2 f / \rho$ 的函数, 随着 $a^2 f / \rho$ 的增大, 耦合亦增大。

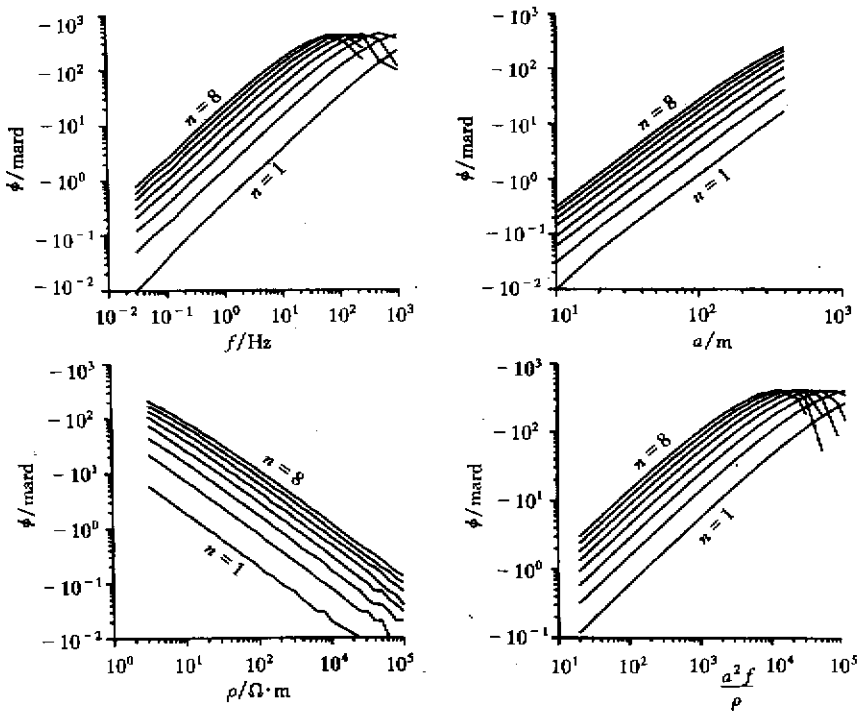


图 2 水平均匀大地条件下偶极—偶极装置的正演理论电磁感应相位特性曲线

2 偶极相位激电单频电磁耦合校正方法

相位激电单频电磁耦合校正的基本原理是将视电阻率近似视为均匀大地电阻率, 利用均匀大地条件下偶极装置电磁感应响应的正演计算方法, 算出电磁感应耦合响应, 尔后再把耦合响应从观测的总响应中去除, 从而达到电磁耦合校正的目的。

相位激电测量实际上是一种复电阻率观测, 由

复电阻率定义^[4], 设在纯激电效应情况下, 复电阻率和相位分别为 $\rho_0(\omega)$ 、 φ_0 , 则有

$$\rho(\omega) = \text{Re}\rho(\omega) + i\text{Im}\rho(\omega);$$

$$\rho(\omega) = \rho_0(\omega) + \rho_{\text{耦}}(\omega);$$

$$\text{Re}\rho_0(\omega) = \text{Re}\rho(\omega) - \text{Re}\rho_{\text{耦}}(\omega);$$

$$\text{Im}\rho_0(\omega) = \text{Im}\rho(\omega) - \text{Im}\rho_{\text{耦}}(\omega).$$

去耦后的响应振幅和相位为

$$A_0 = \sqrt{[\text{Re}\rho_0(\omega)]^2 + [\text{Im}\rho_0(\omega)]^2}, \quad (7)$$

$$\varphi_0 = \arctg[\text{Im}\rho_0(\omega)/\text{Re}\rho_0(\omega)] \quad (8)$$

其中 $\rho(\omega)$ 为观测视电阻率, $\rho_{\text{耦}}(\omega)$ 为水平均匀大地条件下偶极装置正演计算出的纯电磁感应阻抗。

相位激电单频电磁耦合校正步骤为:

- ①对实测视电阻率进行地形改正和圆滑;
- ②把处理后的视电阻率作为均匀大地电阻率进行电磁感应响应的正演计算;
- ③电磁耦合效应校正;
- ④计算去耦后的激电相位。

3 实例应用

图 3 为新疆某铜矿上的 1 条相位激电断面。该矿体产状陡立, 上为低阻层覆盖, 电阻率测量无明显异常, 在时间域偶极激电断面上有明显的“八”字形异常(图 3a)。在频率为 1 Hz 的偶极相位激电断面上(图 3b), 由于电磁耦合影响, “八”字形异常产生明显畸变。为了消除电磁耦合影响, 以便进行反演解释, 我们分别利用单频去耦方法和三频去耦方法对该数据进行了去耦处理(图 3c, d)。从去耦处理后激电相位断面和时间域偶极激电断面对比可看出, 各断面中的异常形态非常吻合。相位激电的电磁耦合影响基本消除, 得到了满意的效果。

4 结语

本方法与其他去耦方法相比, 电磁耦合校正只用一种频率的观测数据, 野外不需要进行多频数据观测, 可以提高野外生产效率, 降低生产成本, 减小劳动强度。在使用本方法之前, 对实测视电阻率需要进行地形改正和圆滑处理。

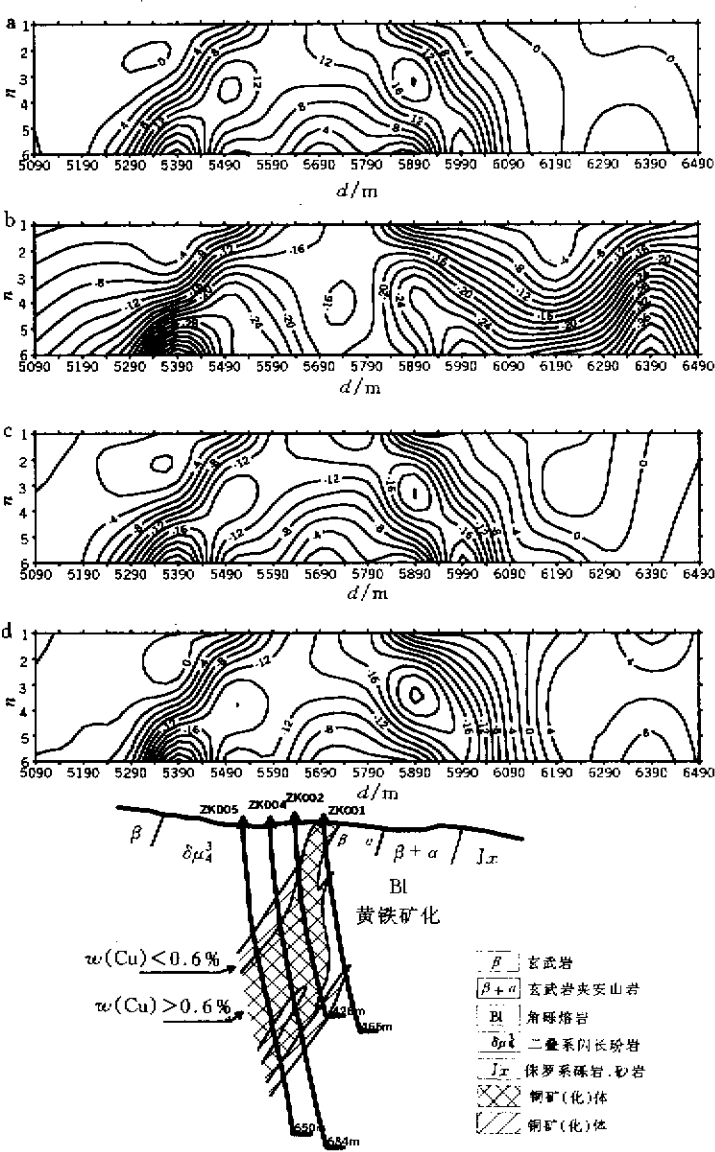


图 3 偶极—偶极装置电磁耦合校正前后视激电相位及时间域激电拟断面对比
a—视电阻率; b—单频(1 Hz)校正前视激电相位; c—三频(1.25 Hz)校正后视激电相位; d—单频(1 Hz)校正后视激电相位

参考文献:

[1] Sunde E D. Earth conduction effects in transmission system[M]. New York: Dover, 1968.
[2] 米萨克 N 纳比吉安. 勘查地球物理电磁法(第一卷, 理论)[M]. 赵经祥, 译. 北京: 地质出版社, 1992.
[3] 刘松. 谱激电法[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
[4] 罗延坤, 张桂青. 频率域激电法原理[M]. 北京: 地质出版社, 1988.

[2] Marc Levoy . Display of surfaces from volume data[J]. IEEE CG & A ,1988 ,8(3) .

[3] Marc Levoy . Efficient ray tracing of volume data[J]. ACM Transactions on Graphics ,1990 ,9(3) .

THE APPLICATION OF VISUALIZATION TECHNIQUE TO
GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION AND ITS PROSPECTS

CHEN Shao-qiang^{1 2} , SONG Li-hao¹ ,YAO Jing-jin^{1 2} , YU Feng¹ , LI Hong-ning¹

(1. China University of Geosciences , Beijing 100029 , China ; 2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration , CAGS , Langfang 065000 , China)

Abstract : Scientific visualization has been widely and successfully used in such fields as medicine and seismic prospecting. This paper briefly describes the concept and research aim of the visualization technology. With a practical example, it tries to make geochemical researchers obtain a vivid idea about this technique and form tentative plans on the application of such a means in their respective research fields.

Key words : visualization ; three-dimensional data fields ; volume data ; surfer

作者简介 :陈少强(1963 -)男 ,出生地西安。1985年毕业于新疆大学数学系 ,理学学士 ,1998年毕业于北京航空航天大学机电工程系工程图学专业 ,工学硕士 ,现为中国地质大学(北京)地图制图与地理信息工程专业博士生。主要研究领域有 :计算机图形学在地学中的应用 ,地理信息系统应用。



(上接 59 页)

THE SINGLE-FREQUENCY ELECTOMAGNETIC COUPLING CORRECTION TECHNIQUE
FOR PHASE IP METHOD(DIPOLE-DIPOLE)

WANG Shu-min ,LEI Da

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration ,CAGS ,Langfang 065000 ,China)

Abstract : This paper deals mainly with an electromagnetic coupling correction technique for phase IP method(dipole-dipole , called dipole for short). Its principle is as follows : the apparent resistivity is regarded approximately as uniform terrestrial resistivity , and the direct calculation method for electromagnetic inductive response of dipole device is employed under the uniform terrestrial condition to figure out electromagnetic inductive response ; then the inductive response is subtracted from the observed total response so as to attain the aim of electromagnetic coupling correction.

Key words : phase IP ; electromagnetic coupling correction ; dipole device ; single frequency

作者简介 :王书民(1963 -)男 ,河北沙河人。1986年毕业于长春地质学院物探系 ,现在中国地质科学院物化探研究所工作 ,高级工程师 ,从事电磁法及激发极化法综合找矿方法技术研究。