

可控源音频大地电磁测深中 水平磁场探头方向偏差对卡尼亚视电阻率的影响

孙鸿雁^{1 2} 李汝传^{1 2} 王书民^{1 2} 林天亮²

(1. 中国地质大学 北京 100083 2. 中国地质科学院物化探研究所 廊坊 065000)

[摘 要] 文章对均匀半空间条件下,可控源音频大地电磁测深(CSAMT)中水平磁场(H_y)探头方向偏差对 CSAMT 卡尼亚视电阻率测量结果的影响进行了理论推导和数值计算。计算结果表明,卡尼亚视电阻率测量结果与磁探头水平摆放方向、与磁探头在扇形区所处的测量点位密切相关,摆放不正确会给测量结果带来很大的误差。文章还提出了为尽量减少这种误差应采取的方法,对野外工作具有很好的指导作用。

[关键词] 可控源音频大地电磁测深法 磁探头方向 卡尼亚视电阻率误差

[中图分类号] P631.3 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2004)04-0080-02

CSAMT 方法由于其方法原理和工作方式与传统的直流电测深方法有很大区别,因此野外工作中各种因素对卡尼亚视电阻率的影响与直流电测深也有很大不同。野外实际工作中水平磁探头的摆放方向与供电电极 AB 的中垂线方向总会存在一定的偏差,作者在多年野外工作实践中已经发现,有时这种方向偏差会对测量结果产生较大的影响。

1 CSAMT 工作的基本原理

CSAMT 是一种人工场源的频率域测深方法。如图 1 所示,目前野外通常使用的装置是赤道偶极装置,即通过供电电极 AB 向地下供入交变电流,在垂

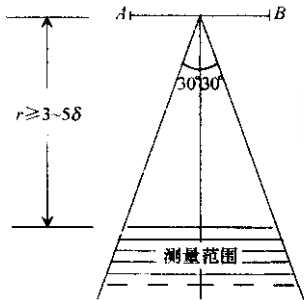


图 1 CSAMT 赤道偶极装置标量测量示意图

直电偶极源 AB 中垂线两侧 $\varphi < \pm 30^\circ$ 、收发距 $r \geq 3 \sim 5\delta$ 为趋肤深度 $\delta = 503 \sqrt{\rho/f}$ ρ 是电阻率 f 是频率)范围内观测 AB 方向的电场 E_x 和与之垂直的磁场 H_y 来计算卡尼亚视电阻率。在均匀半空间各

分量波区的解析表达式^[1]为:

$$E_x = \frac{P_E \rho}{2\pi r^3} (3\cos^2 \varphi - 2) \quad (1)$$

$$H_y = \frac{P_E}{2\pi r^3 k} (3\cos^2 \varphi - 2) \quad (2)$$

$$H_x = \frac{-3P_E}{2\pi r^3 k} \sin \varphi \cos \varphi \quad (3)$$

式中 $P_E = I \cdot AB$ r 为收发距 $k = \sqrt{-i\omega\sigma\mu}$ 为波速。

2 磁探头水平方向偏差及对卡尼亚视电阻率的影响特征

实际工作中磁探头的摆放方向与真实的方向总会存在一定的偏差。图 2 是带有偏角 θ 时磁探头平面摆放示意图,任意一观测点 P 与 AB 中垂线的夹角为 φ ,假设磁探头的摆放方向与 Y 方向存在一偏角 θ ,由于存在偏角 θ ,实际观测到的 H'_y 应是 H_y 和 H_x 在 H'_y 方向的矢量和,设 Y 方向磁场值 H_y 为 H_c ,带有偏角 θ 时测得的磁场值为 H_r ,即

$$H_r = H_y \cos \theta + H_x \sin \theta \quad (4)$$

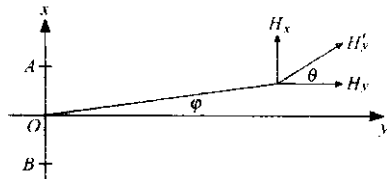


图 2 带有误差 θ 角时磁探头平面摆放示意图

[收稿日期] 2004-01-13 [修订日期] 2004-02-24 [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 中国地质调查局项目(编号:1212010360202)资助。

[第一作者简介] 孙鸿雁(1955年-),女,1994年毕业于中国地质大学(北京),获硕士学位,在读博士生,教授级高工,现主要从事物探方法技术与物化探科技管理工作。

将卡尼亚视电阻率^[2]表达式 $\rho = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$ 和 (1) ~

(4) 代入 $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ 则 $\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{(\rho_r - \rho_c)}{\rho_c} = \frac{\rho_r}{\rho_c} - 1 = \left| \frac{H_c}{H_r} \right|^2 - 1$,

经推导可得到卡尼亚视电阻率相对误差表达式 :

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \left| \frac{1}{\cos \theta \frac{3 \sin 2 \varphi \sin \theta}{3 \cos 2 \varphi - 1}} \right|^2 - 1. \quad (5)$$

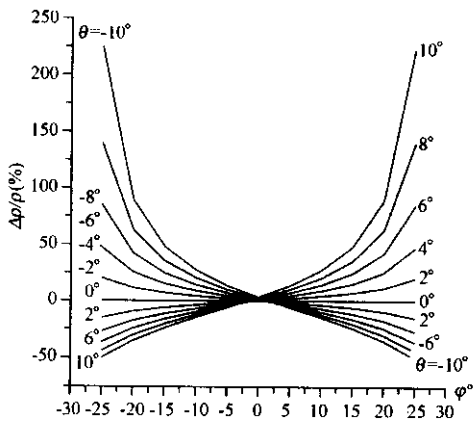


图 3 电阻率误差与 θ 角和 φ 角的关系特征曲线

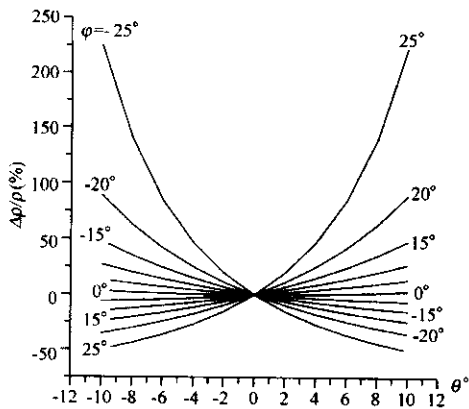


图 4 电阻率误差与 φ 角和 θ 角的关系特征曲线

根据(5)式,固定 θ 使 φ 角变化(或相反)进行计算,可得到卡尼亚视电阻率相对误差特征曲线。图 3 是偏角 θ 为某一固定值 φ 角变化时,计算获得的卡尼亚视电阻率相对误差特征曲线。从图 3 的特征曲线可以看出,卡尼亚视电阻率误差以 φ = 0° 为对称轴,显然当 θ = 0° 时,无论 φ 角多大 Δρ/ρ = 0 ;

EFFECTS OF THE CAGNIARD RESISTIVITY ERRORS BY THE ANTENNA AZIMUTH ERRORS IN THE CSAMT MEASUREMENTS

SUN Hong - yan^{1 2}, LI Ru - chuan^{1 2}, WANG Shu - min^{1 2}, LIN Tian - liang²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083 2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang 065000)

Abstract The Cagniard resistivity errors caused by the antenna azimuth errors in the CSAMT measurements have been calculated. The results show that of the Cagniard resistivity errors are closely related to the antenna azimuth errors, as well as to the location of the antenna in the fan - area.

Key words controllable source audio - frequency magnetotelluric prospecting, antenna azimuth error, Cagniard resistivity error

当 θ > 0 时,随 φ 角由负到正的变化 Δρ/ρ 也由负极小值变化到正极大值;当 θ < 0 时 Δρ/ρ 变化正好与 θ > 0 时相反。由此可见磁探头方向偏差对卡尼亚视电阻率的影响特征为:对某一偏角 θ,其影响随观测点所处的位置不同而不同,观测点与发射 AB 中垂线的张角 φ 越大,卡尼亚视电阻率的误差越大,当张角 φ 接近 ± 30° 时,卡尼亚视电阻率的误差影响随着 θ 角的增大而急剧增大。

图 4 是在 φ 角为某一固定值 θ 角变化时,计算获得的卡尼亚视电阻率相对误差特征曲线。显然 φ = 0 时 Δρ/ρ = tan² θ,磁探头偏角 θ 对卡尼亚视电阻率的影响最小;当 φ > 0° 时,随着偏角由负到正的变化 Δρ/ρ 也由负极小值变化到正极大值;当 φ < 0° 时,则正好相反。由图可见,对某一 φ 角,卡尼亚视电阻率相对误差随着 θ 角增大而急剧增大。当 φ = ± 25° θ = ± 10° 时,卡尼亚视电阻率相对误差可分别达到 - 50% 和 230%。

3 结论

上述计算表明,在均匀半空间条件下,CSAMT 野外测量磁探头方向偏差对卡尼亚视电阻率的影响是一个不可忽视的因素。在野外工作中,为了获得准确的测量结果,应尽可能地减少磁探头的偏角 θ 误差。虽然 CSAMT 法的测量范围理论上可在 AB 中垂线两侧 30° 张角的范围内观测,但为了减少由于磁探头偏角 θ 误差给测量结果带来的影响,最好不要在较大的张角 φ 范围内测量。如果在某些特殊的情况下,需要在较大的张角 φ 范围内测量,则应使磁探头的摆放方向与 AB 的方向尽可能的垂直,否则,测量将会得到意想不到的错误结果。这一点在野外工作中一定要引起足够重视。

[参考文献]

[1] 朴化荣.电磁测深法原理[M].北京:地质出版社,1990.
[2] 何继善.可控源音频大地电磁法[M].长沙:中南工业大学出版社,1990.
[3] [美]A A 考夫曼, G V 凯勒.频率域和时间域电磁测深[M].王建谋译.北京:地质出版社,1987.
[4] 米萨克 N·纳比吉安.勘查地球物理电磁法[M].赵经祥等译.北京:地质出版社,1992.