

甚低频电场水平分量非接地地表测量法

钟晓玲, 郭勇

(成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 指出了1种利用不接地偶极天线测量甚低频电场水平分量的地表测量法, 并给出了其理论依据和实测数据, 验证了方法的可靠性和可行性, 在工程应用方面具有一定价值。

关键词: 甚低频; 地表测量; 偶极天线

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2008)03-0304-02

大地电阻率测量在找矿填图、环境及灾害等地质工作中都是一种重要的工作方法。低阻带、高阻带或者是电阻率的阶跃变化, 都是大地电阻率的横向变化, 这种变化常常为地质工作提供了重要信息。

电场水平分量的测量方法通常是采用向地中打入2根电极来测量。为了保证测量精度, 使用的测量仪器必须具有足够高的输入阻抗, 或者尽量降低接地电阻, 这限制了这种测量电场方法的应用。在某些条件恶劣的地面, 如裸露岩石、水泥路面、冻土带等, 就无法打入电极, 或者在干燥沙漠这类接地电阻相当大的地区, 向地中打入电极的测量方法都不适用。因此采用直接铺在地面上的水平天线来测量电场水平分量的方法得到了发展。

1 偶极天线地表测量法

大地电阻率可以通过测量电场水平分量和磁场水平分量来获得:

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu_0} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2,$$

式中, $\omega = 2\pi f$; f 为 VLF 台工作频率; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m, 为自由空间磁导率; E_x 为电场水平分量; H_y 磁场水平分量。

当测量电场水平分量 E_x 时, 把长度为 $2a$ 的对称水平电缆直接铺在测量的地表面。电缆铺设的方法示意及其等效电路如图1所示。长度为 $2a$ 的对称水平电缆形成不接地的偶极天线。

图1所示测量仪器的输入级采用差分放大器, 绝缘导线的长度为 $2a$, 仪器输入端和地表之间的距离为 b 。要测的电场水平分量 E_x 和干扰的电场垂直分量 E_z 都会对水平电缆发生影响。接收天线水

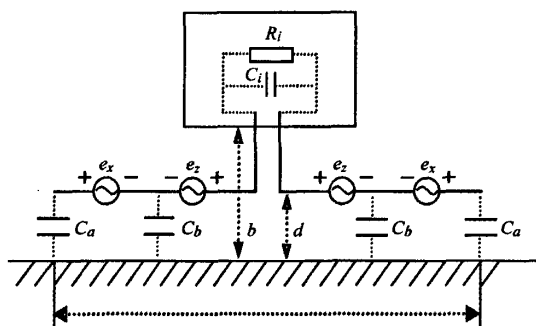


图1 不接地的偶极天线地表测量法等效电路

平部分的电容为 C_a , 垂直部分为 C_b , 差分放大器的输入电容 C_i , 输入电阻为 R_i , 通常可使 $a \gg b$, $C_a \gg C_b$ 。这种情况下, 接收天线中的感应电动势由 $e_x = E_x a/2$, $e_z = E_z b/2$ 确定。当采用高共模抑制比的对称输入差分放大器作为输入级时, 由于垂直电场分量 E_z 引起的感应电动势 e_z 的符号对输入而言是相同的, 因而可完全抵消。这时传输系数 $A = U_i/e_x$, 其模和幅角如下:

$$A = 1 / \sqrt{(1 + c_i/c_a)^2 + (1/\omega c_a R_i)^2}, \quad (1)$$

$$\arg A = \arctan[1/\omega R_i (C_i + C_a)].$$

一般情况下, $R_i \geq 1 \text{ M}\Omega$, $C_i \leq 10 \text{ pF}$ 。 C_a 的大小与水平电缆的特性阻抗 Z_{ca} 有关^[1]。King 等人^[2] 给出长度为 $2a$, 导线半径为 r , 离开地面距离为 d 的绝缘水平电缆中心激励点导纳 Y 的表达式:

$$Y = -j \frac{\tan(K_1 a)}{2Z_{ca}}; Z_{ca} = \frac{\omega\mu_0 K_1}{2\pi K_2^2} \cdot \ln\left(\frac{2d}{r}\right).$$

式中, K_1 表示由大地和绝缘材料2种电性导出来的天线波数, K_2 是绝缘材料的波数。在甚低频 (VLF)

条件下 $a \ll \lambda$ (λ 为 VLF 电磁波的波长), 因而 $|K_1 a| \ll 1$, 则 $\tan(K_1 a) \approx K_1 a$, 考虑到 $K_2^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_r \epsilon_0$, 则有

$$Y = -j \frac{\pi \omega \epsilon_r \epsilon_0}{\ln(2d/r)}, \quad (2)$$

式中, ϵ_r 为绝缘天线材料的相对介电系数; ϵ_0 为自由空间介电系数, $\epsilon_0 = (1/36\pi) \times 10^{-9} \text{ F/m}$; $\ln(2d/r)$ 项取决于天线的尺寸。由上式可见, 水平绝缘天线激励点导纳与大地局部电性无关, 仅取决于天线尺寸和绝缘材料的电性。

对于 $r=2 \text{ mm}$, $d=5 \text{ mm}$, $\epsilon_r=4.9$ 的 PVC 导线, 在 $f=20 \text{ kHz}$ 时由式(2)计算出的激励点导纳 $Y \approx -j1.23 \times 10^{-5} \text{ S}$ 。考虑到导线 $R \ll 1$, 可近似认为 $Y = \omega C$, 从而求出导线电容 $0.5 C_a \approx 85 \text{ pF}$ 。再根据式(1), 在 $C_i = 10 \text{ pF}$ 时求出 $|A| = 0.94$, $\arg A = 2^\circ 31'$ 。

2 实验结果

为了验证不接地偶极电场接收天线的可靠性, 测量了它的方向图。测量时选择频率为 22.3 kHz 的 VLF 台(澳大利亚 NWC 台)作为场源, 方位 $0^\circ \sim 180^\circ$, 每隔 10° 取 1 个读数, 结果示于图 2。

由方向图可见, 方位角为 110° 时电场有极大值, 在 20° 时有极小值, 各个方位上的电场读数基本上落在方向图中 2 个小圆的圆周附近, 表明了这种

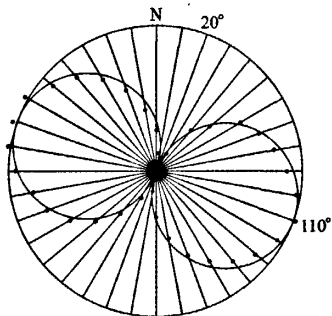


图 2 偶极天线实测方向图

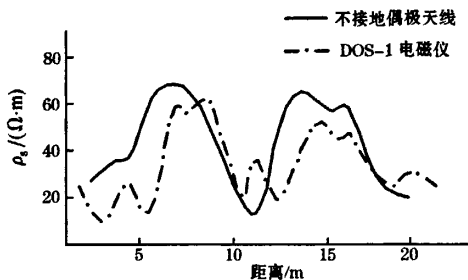


图 3 某实测视电阻率分布曲线

天线的余弦相关性, 即某一方位的场强值应等于方向图场强极大值在该方位上的投影。这一结果也表明了电场垂直分量的耦合是很小的。

图 3 是用这种天线在成都理工大学中心花园人防工程上方的实测结果。可见, 在人防工程上方出现了 2 个明显的高阻异常, 并与 DDS-1 型甚低频电磁仪用打电极的方法所测电场的结果相当吻合, 证明了这种天线的可靠性。

3 结论

理论分析和实测结果表明, 这种在地表测量 VLF 电场水平分量的不接地偶极天线受电场垂直分量的感应影响很少, 可靠性较高, 并具有相当好的传输特性, 其传输系数可达 90% 以上。因而在裸露岩石、水泥路面、冻土带以及砂砾石或沙漠等地区应用这种不接地天线来测量 VLF 电场水平分量可以提高观测质量及效率。

参考文献:

- [1] Ивоикин В Г, Яковлев А В. Входны для измерения радиочастотных электрических полей[J]. Геофиз. Аппаратура Вып, 1972, 49.
- [2] King R W P, Wu T T. The horizontal wire antenna over a conducting or dielectric half space: Current and admittance[J]. Radio Science, 1974, (7): 701.

RESEARCH OF MEASURING HORIZONTAL COMPONENT OF VLF ELECTRONIC FIELD AT SURFACE

ZHONG Xiao-ling, GUO Yong

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The paper describes the principle of measuring horizontal component of VLF electronic field by ungrounded dipole antenna in surface, and analyzes the theory and experimentation.

Key words: Very Low Frequency; measure on surface; dipole antenna

作者简介: 钟晓玲(1976-), 女, 汉族, 四川泸州人, 讲师, 现从事信号与信息处理方面的教学科研工作。