

研究简报

地震电磁辐射观测中测量设备的校准*

张全喜 张明灿 李新民

(中国河南新乡 453003 中国电波传播研究所)

近十几年来,我国在利用VLF, ELF频段观测地震的电磁辐射前兆, 探索地震的短临预报方面作了大量工作, 为使该方面的工作由定性向定量方面发展, 总结地震电磁辐射前兆的规律, 提出更为可靠的地震预报参数, 需要解决各个系统的标定问题. 现提出我们在该项工作中的校准方法及应注意的一些问题, 供大家参考.

一、鞭天线系统的校准

1. 等效电容法

一般来说, 对于小型鞭状天线, 其输入阻抗是电容性的. 只要将鞭天线的等效电容接在接收设备的输入端, 通过阻抗变换与接收机输入阻抗进行匹配, 信号源的信号通过等效电容输入到观测系统. 这样测得的输出信号 U_{out} 与输入信号 U_{in} 的关系即表示输出与天线所在处的垂直电场 E_z 的关系. 校准方框图如图1所示. 输入信号与场强的关系为

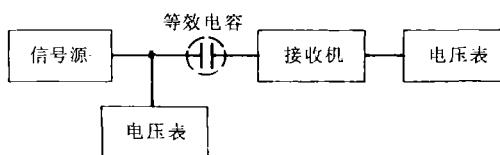


图1 等效电容法校准方框图

$$U_{\text{in}} = E_z h_e \quad (1)$$

式中, E_z 为天线接收的电场强度(单位 V/m); h_e 为天线有效高度(m). 而输出与输入的关系为

$$U_{\text{out}} = U_{\text{in}} G_0 = E_z G_0 h_e$$

G_0 为系统电压总增益. 所以可以得出

$$E_z = U_{\text{out}} / G_0 h_e \quad (2)$$

由上式可以得出系统输出与所对应的外场强的关系.

对于一般电短鞭状天线来说, 其有效高度 $h_e = l/2$, l 为鞭天线的实际长度(m). 这里应注意, 校准应在系统的线性工作范围内进行. 当用脉冲信号校准时, 其测量仪器应采用相应的脉冲测量仪器.

鞭天线等效电容 C_a (单位 F)一般为(Grover, 1926)

* 地震科学联合基金会资助课题.

1990年10月5日收到本文初稿, 1991年12月20日决定采用.

$$C_a = \frac{24.16 \times 10^{-12} l}{\lg(\frac{2l}{d} - k')}$$

其中, l 为天线实际长度(m), d 为天线直径(m), k' 为垂直鞭天线长度 l 和架设时离地面高度 h' 有关的常数, 求得的电容值单位为法拉. k' 一般取值 0.43.

2. 感应场法

利用标准环天线产生一个已知的场, 对天线及系统进行校准. 这时场所响应的为辐射天线的近场, 即感应场, 其方框图如图 2 所示.

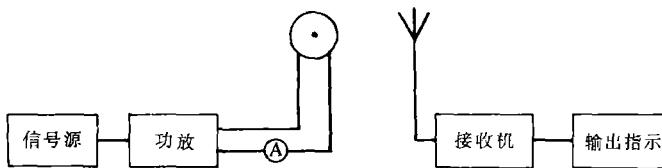


图 2 感应场法校准方框图

在环平面上(即与环面法线之夹角 $\theta = 90^\circ$), 环天线的近场 E_ϕ 可表示为(King *et al.*, 1978)

$$E_\phi = \frac{2\pi \times 10^{-7} f I N S}{R^2}$$

考虑良导电地面的影响

$$E = \frac{2\pi \times 10^{-7} f I N S}{R^2} \left[1 + \frac{R^3}{(R^2 + 4h^2)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

式中, I 为辐射环天线电流(单位 A); S 为辐射环天线面积(m^2); N 为辐射环天线圈数; h 为天线离地面的高度(m); R 为两天线之间的距离(m).

考虑到辐射天线人为辐射功率小, 所形成的场强很小, 所以校准一般在数 m 的距离内进行. 当环天线所辐射的垂直电场强度求得时, 即可对系统进行校准. 这里应注意校准系统的天线应在环天线面内, 两天线高度应相同.

感应场校准法需要大功率放大器及大电流表, 并要求比较理想的开阔场地, 比等效电容法校准繁杂. 虽然理论上精度高, 但条件保证要求也高, 否则精度也不会提高. 另一方面, 由于辐射形成的场强小, 给校准带来一定困难.

二、环天线系统的校准

1. 感应场法

同鞭天线的校准一样, 可以用一个标准环天线辐射一个已知场利用其感应磁场分量对环天线系统进行校准. 其方框图与图 2 基本一样, 只是被校准的天线为环天线的磁场响应. 所以两环天线应同轴平行放置, 都处在最大响应方向上.

同前所述, 辐射环天线在自由空间产生的磁场强度为

$$H = \frac{N I S}{2\pi R^3}$$

考虑地面为理想导电平面, 则

$$H = \frac{N I S}{2\pi} \left(\frac{1}{R^3} + \frac{R^2 - 2h^2}{[R^2 + (2h)^2]^{\frac{5}{2}}} \right)$$

h 为收发天线距地面的高度, 其它符号及单位同前. 计算出辐射的磁场强度并与系统输出建立联系, 即可

对系统实现校准.

2. 等效高度法

该方法采用计算环天线的等效高度, 从而计算出外场强, 达到校准系统的目的.

空气芯环天线的等效高度(对 E_z) h_e (单位 m)可表示为

$$h_e = 2\pi NS/\lambda = 2.094 \times 10^{-8} f NS$$

其中, S 为环面积(m^2); N 为环天线圈数.

当环天线有磁芯时, 相当于截面积增大, 故等效高度增高, 其增大的倍数 K_e 与磁性材料的相对导磁率及磁芯的形状和尺寸有关

$$K_e = \frac{\mu_r}{1 + 0.84(d/l)^{1/7}(\mu_r - 1)}$$

其中, μ_r 为磁芯材料的相对导磁率; d 为磁芯的直径; l 为磁芯的长度. 所以, 对有磁芯的环天线的等效高度为

$$h_e = 2.094 \times 10^{-8} f K_e S N$$

根据天线的等效高度和接收系统的总增益 G_0 , 即可对系统进行校准

$$E_z = V_{out}/G_0 h_e$$

$$H \doteq E_z/120\pi$$

环天线系统和鞭天线系统校准一样, 系统应工作在线性范围内.

三、埋地电极系统的校准

地震电磁辐射观测中, 有许多采用埋地电极的接收系统. 考虑到该系统工作的特点:

1. 工作频段为超低频段, 一般为 0.01—20Hz;
2. 两电极埋在地下, 埋深一般为 1—5m.

由于地震电磁辐射源在地下, 在该频段对源周围所响应的应是准静场, 用所测电位的概念来描述也是合理的. 所以, 只要把系统进行校准, 即可给出单位距离上的电位值. 在地震电磁辐射观测、分析及预报实践中, 可单独总结其规律和指标.

如果将其看作水平天线的话, 其接收电场的水平分量为

$$E_h = V_{out}/G_0 d$$

这里, G_0 仍代表系统总增益, d 为极矩(m). 相应的地面垂直分量即有如下关系:

$$E_z \doteq \frac{E_h}{7.46 \times 10^{-6} (f/\sigma)^{1/2}}$$

σ 为地面的导电率. 通过上面的关系即可把系统对电场的垂直分量或水平分量进行校准.

最后需要着重强调一下, 本文所述的校准方法和关系式只适用于 ELF 和 VLF 频段.

感谢潘威炎研究员对本文的有益指导.

参 考 文 献

沃特, 1973. 甚低频无线电工程, 267—290. 国防工业出版社, 北京.

Grover, F. W. , 1926. Methods, formulas and tables for the calculation of antenna capacity. NBS Scientific Paper S568, 22, 11, 569—629.

King, R. W. P. , Smith, G. S. , Owens, M. and Wu, T. T. , 1978. *Antennas in Matter Fundamentals, Theory and Application*, 527—601. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, and London, England.