

接地电阻对地电场观测的影响及克服方法^①

张友山 何继善

(中南工业大学地质系, 长沙 410083)

摘 要 论述了测量电极的接地电阻对振幅和相位测量精度的影响规律, 提出了克服接地电阻影响, 提高野外观测精度的切实可行的方法和技术。

关键词 精密测量 接地电阻 补偿原理 相位差

国民经济的迅速发展对找矿勘探和工程勘探提出了新的要求, 虽然仪器设备随着电子技术的发展愈来愈先进, 但是如何提高野外观测精度, 使现代仪器设备和现有仪器设备适应新的要求, 更好地为经济建设服务, 仍然是一个值得注意的问题。

由于广泛采用信号叠加、密集采样、梳状滤波、锁相、相关和相干检波等技术, 仪器的抗干扰能力和测量精度大为增加, 而且现代观测系统正在朝精密测量方向发展, 不仅进行标量测量, 还大量开展张量和矢量测量, 同时获取振幅和相位等多种参数。但是, 所有观测系统的输入阻抗都是有限的, 野外观测又是在特定的环境中工作, 因此, 在观测地电场的电位差信号时, 测量电极的接地电阻对观测精度的影响就显得格外重要了。实际上精密测量都要注意被测信号源内阻对测量结果的影响, 如果把接地电阻当成信号源的内阻来看待时, 问题就具有一般规律了。影响测量电极的接地电阻的因素很多, 如野外常用的棒电极的接地电阻 $R^{[1]}$ 为:

$$R = \rho (\ln \frac{2l}{r_0}) / (\pi l) \quad (1)$$

式中 ρ 为土壤电阻率; r_0 为电极半径; l 为电极入土深度。

从(1)式可见, 棒状电极的接地电阻与土壤的电阻率成正比, 还与棒的粗细及入土深度有关。仅影响土壤电阻率的外在因素就有温度、湿度和疏松度等, 此外, 电极的接地电阻还与跑极人员的布极状态有关。野外工作中要求尽量降低接地电阻, 然而接地电阻始终是存在的, 且因地而异, 故有必要详细研究接地电阻对观测精度的影响规律和相应的克服办法。

1 接地电阻对观测精度的影响

仪器在野外观测时, 测量电极串联在仪器的输入回路中, 因此测量过程可以用一个输入回路来简化。如图1所示, 图1(a)为野外观测示意图, 图1(b)和(c)分别为仪器输入回路中没有串接电容和有串接隔直电容时的等效输入回路。图1中待测电位差为 ΔV_{MN} , 图1(b)和(c)的实测电位差分别为 $\Delta V'_{MN}$ 和 $\Delta V''_{MN}$, 测量电极 M 和 N 的接地电阻分别为 R_M 和 R_N , MN 的总接地电阻为 R_{MN} , 且 $R_{MN} = R_M + R_N$ 。图1(b)的输入回路阻抗 $R_e = R_i$, 图1(c)输入回路阻抗 $R_e = R_i + 1/(j\omega C)$ 。只需研究图1(b)中实测电位差随接地电阻变化的规律和图1(c)中待测电位差的相位随接地电阻变化的规律就可

^① 收稿日期: 1994-10-12

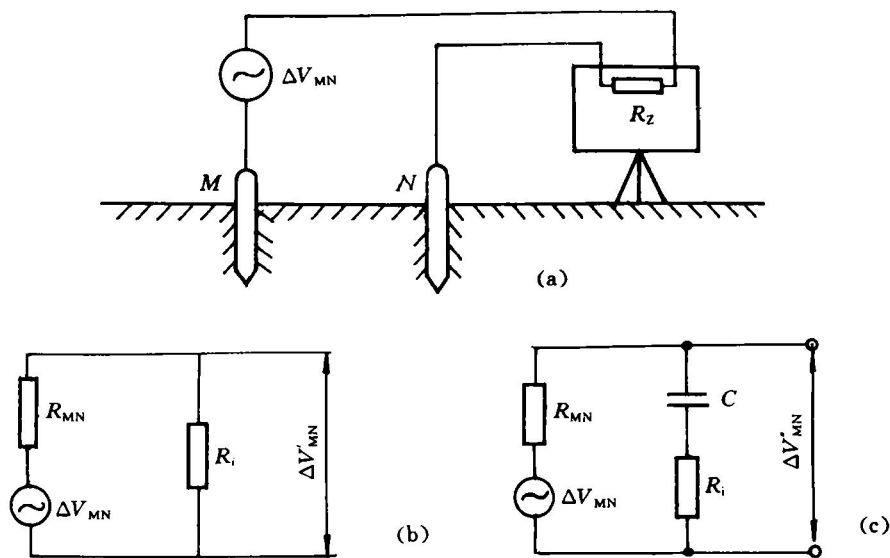


图 1 野外观测示意图(a)和信号测量输入等效回路(b)、(c)

全面获得接地电阻对野外观测精度的影响规律。

在忽略导线阻抗的情况下,图 1(b)的实测电位差与待测电位差的关系为:

$$\Delta V'_{MN} = \frac{R_i}{R_{MN} + R_i} \Delta V_{MN} \quad (2)$$

同样不考虑导线阻抗的情况下,图 1(c)的实测电位差与待测电位差之间的相位差^[2]为:

$$\Delta \varphi = \text{tg}^{-1} \frac{\omega'_0}{\omega} - \text{tg}^{-1} \frac{\omega_0}{\omega} \quad (3)$$

式中 $\omega'_0 = \frac{1}{(R_i + R_{MN})C}$; $\omega_0 = \frac{1}{R_i C}$; ω 为待测电位差的角频率。

由于待测信号一般都通过放大器的通频带的平坦部分,故图 1(c)中接地电阻变化对幅频特性的影响与(2)式相当。这就是对于图 1(c)只需研究接地电阻变化对相位观测精度的影响规律的原因。

由(2)式和(3)式可知,欲使实测值和待测值相等或有恒定的比值、相位不发生变化,可让 R_i 为无穷大或让 $R_{MN} \rightarrow 0$ 或 R_{MN} 恒定。然而仪器的输入阻抗不能做得很大,否则易受干扰影响及仪器工作稳定时间过长, R_{MN} 不会为 0,对于各测量点也不恒定,故实测值总会因接地电阻变化而偏离待测值或发生相位移,产生观

测误差。表 1 是分别按(2)和(3)式计算不同接地电阻时待测电位差与实测电位差之比及待测电位差相对实测电位差的相位移,计算时取 $R_i = 3 \text{ M}\Omega$, $\omega = \omega_0$ 。

表 1 待测电位差在不同接地电阻时的
振幅偏移和相位移

$R_{MN} / \text{k}\Omega$	20	40	80	100	150
$\frac{\Delta V'_{MN}}{\Delta V_{MN}}$	0.993	0.987	0.974	0.968	0.952
$\Delta \varphi / \text{mrad}$	3.3	6.6	13.2	16.4	24.4

计算结果表明:接地电阻为 20 kΩ 时,振幅误差为 0.7%,相位差为 3.3 mrad。接地电阻为 80 kΩ 时,振幅误差和相位差已分别达到 2.6%和 13.2 mrad,并且随接地电阻增大误差愈来愈大。所以布极时应特别引以注意,尽量减小因接地电阻变化引起的观测误差。

计算结果还说明,在进行绝对相位测量时,只要保证接地电阻恒定或设法使其影响减小到可以忽略的程度时,仪器的输入回路中可以串接隔直电容,从而可以简化仪器的操作和降低仪器的造价。在接地电阻大或接地电阻变化大(测点之间变化大)的地区工作时,可以根据接地电阻对观测结果的影响规律采取相应措

施提高观测精度。

2 提高观测精度的办法

从上面的分析已知, 接地电阻的变化对信号的振幅测量和相位测量都有影响, 尤其对相位测量结果的影响大。在接地电阻变化大的地区和对具有高接地电阻的工勘对象测量时, 必须设法克服接地电阻对观测结果的影响。下面介绍二种克服接地电阻影响的办法, 即计算法和补偿法。

2.1 计算法

本办法是在每次实测前先测量电极的接地电阻再正式观测 $\Delta V'_{MN}$ 和相位 φ , 或在实测过程中同时获得接地电阻 R_{MN} 和电位差 $\Delta V'_{MN}$ 及相位 φ , 已知仪器自身的输入内阻 R_i , 按(2)式可得待测电位差 $\Delta V_{MN} = \frac{R_{MN} + R_i}{R_i} \Delta V'_{MN}$ 。

又已知隔直电容 C , 按上述(3)式可先计算 $\Delta\varphi$, 后得待测电位差的实际相位 $\varphi = \varphi' - \Delta\varphi$ 。计算法可将接地电阻对观测精度的影响全部消除。

2.2 校正法

与上述计算法相似, 每次实测前先测量接地电阻或在实测过程中同时获取接地电阻值, 然后利用表1提供的数据进行校正, 消除接地电阻引起的观测误差, 达到提高观测精度的目的。不过用于实际校正的表1的数据应更详细, 且提供的数据越多, 校正效果越佳。带微处理机的接收机更适合采用计算法和校正法。

2.3 补偿法

补偿法的原理如图2所示, 在测量输入回路中预先串联一只电位器 W , 称 W 为补偿电

位器, 其阻值为野外可能遇到的最大接地电阻值。实测前改变补偿电位器的阻值 R_w , 使之无论在什么接地条件下都让 $R_w + R_{MN} = R_{\Sigma} = \text{常数} = \text{预先设定值}$ 。此时由(2)式得实测电位差 $\Delta V'_{MN} = \frac{R_i}{R_{\Sigma} + R_i} \Delta V_{MN}$ 不随 R_{MN} 变化而变化。同样, (3)式中的 $\omega'_0 = \frac{1}{R_{\Sigma} C}$, 不随 R_{MN} 变化而改变, 即 $\Delta\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{\omega'_0}{\omega} - 1$ 也不随 R_{MN} 变化而改变。由此可见, 补偿法的实质就是将接地电阻的变化补偿掉。补偿法可以使实测电位差精确等于待测电位差, 进行相位测量时, 输入回路中串接的隔直电容的影响也可以完全消除, 因为仪器在调试过程中可以将 $\Delta\varphi$ 改正过来。

3 提高观测精度的实用电路

实用电路实际为一个补偿式前置放大器, 如图3所示。补偿式前置放大器主要由运算放大器 A 、补偿电位器 W 、电阻 R_F 、 R_f 和隔直电容 C 组成的高输入阻抗负反馈放大器以及振荡器、带通滤波器、补偿控制开关、整流电路和指示表头组成的, 图3中补偿电位器 W 的阻值与 R_f 之和相当于图2中单个补偿电位器的阻值。放大器 A 的输出为

$$\Delta V'_{MN} = \frac{R_F}{R_{MN} + R_w + R_i + \frac{1}{j\omega C}} \Delta V_{MN} \quad (4)$$

式中 ΔV_{MN} 为被测电位差; R_{MN} 为接地电阻或 ΔV_{MN} 的内阻。

前面已论述, 无论测量输入回路中有无隔

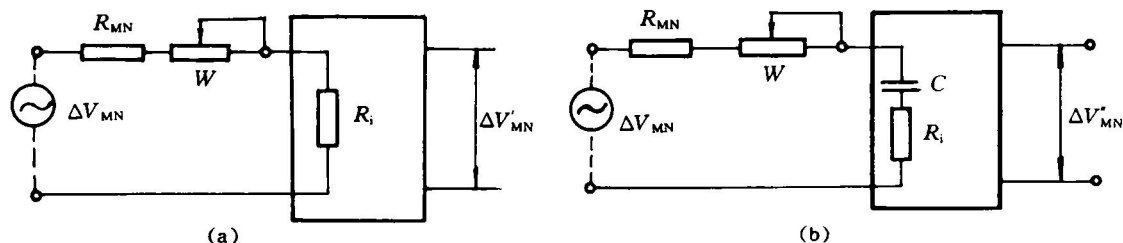


图2 补偿接地电阻示意图

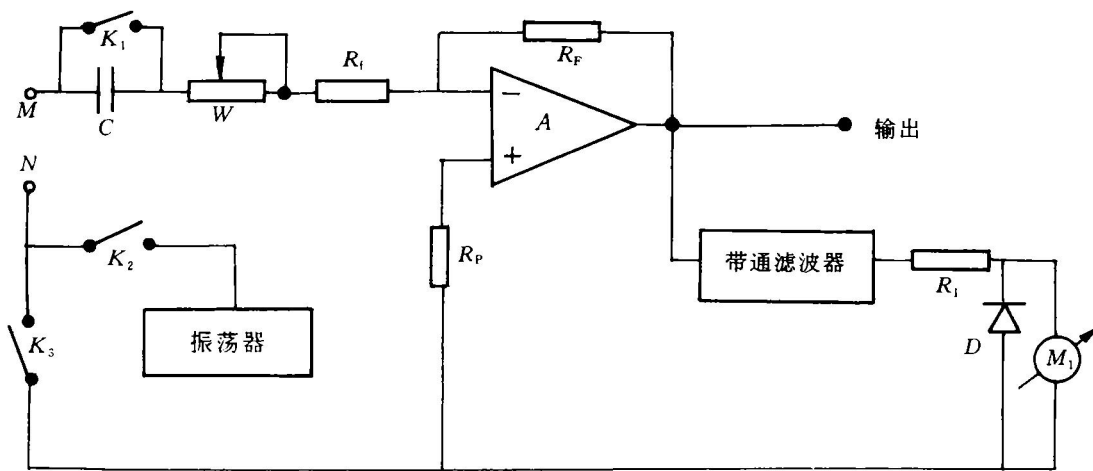


图3 补偿式前置放大器电原理图

直电容 C ，只要能精确补偿掉接地电阻的变化，被测电位差的振幅和相位都能精确得到。所以，对(4)式，只要调节 R_W ，让 $R_W + R_{MN} + R_f$ 之和恒定，那么 $\Delta V'_{MN}$ 的幅频特性和相频特性就不会随 R_{MN} 的变化而改变。也就是说，通过调节图3中的补偿电位器 W ，让 $R_W + R_{MN} + R_f = \text{常数}$ ，就能使实测电位差精确等于被测电位差，实测电位差相位精确等于被测电位差相位。

图3所示前置放大器既能补偿接地电阻又能测量接地电阻。补偿接地电阻时， K_1 和 K_3 断开， K_2 闭合， MN 接地，振荡器产生的方波信号或称测地信号进入由 M 、 N 、 W 、 C 、 R_f 和 A 的输入端组成的输入回路， A 的输出经过带通滤波器滤波后被整成直流，由表头显示，调节 W 让表头指针指在标定位置，并补偿好。此时将 K_2 断开、 K_3 闭合可正式测量。 K_1 闭合，可做时域测量。表头的标定位置是这样确定的，将各开关置于前面补偿接地电阻时的相同位置，用导线短接 MN ，将 W 旋至最大阻值位置，此时表头指针所示位置即为补偿标定位置，并刻度。

利用图3所示电路测量接地电阻之前应对表头进行欧姆表标定。欧姆表标定可在确定补偿标定位置后接着进行，假定补偿标定位置处

指针指示接地电阻为0。然后断开 MN 的短接线，连接标准电阻，按指针指示的新位置标上标准电阻阻值，按一定要求改变标准电阻值，继续上述步骤标定，直至完成。测量接地电阻时，将 K_1 、 K_3 断开、 K_2 闭合， W 调至最大阻值位置， MN 接地，这时按表头指针的指示读取 R_{MN} ，该读数可做上述计算法的数据用。

4 结论

适当改进测量仪器的输入回路，使之能够补偿接地电阻，或在现有仪器与测量电极之间增加一个前置补偿放大器，可以完全克服接地电阻对观测结果的影响，有效提高观测精度。这对于在接地电阻变化大的地区工作和对于具有高接地电阻的工程勘探特别有意义。即使在一般接地电阻地区测量，采用接地电阻补偿法或计算法也能使常规仪器进行精密测量。

参考文献

- 1 中南矿冶学院物探教研室编. 金属矿电法勘探. 北京: 冶金工业出版社, 1980: 106—107.
- 2 李清泉、黄昌宁编著. 集成运算放大器原理与应用. 北京: 科学出版社, 1980: 259—262.

THE EFFECTS OF THE CONTACT RESISTANCE OF ELECTRODE ON THE MEASUREMENTS AND THEIR REMOVAL

Zhang Youshan, He Jishan

*Department of Geology, Central South
University of Technology, Changsha 410083*

ABSTRACT The effects of the contact resistance of the electrode on the amplitude measurements and phase measurements were described. The methods of removing the effects caused by variable contact resistance of electrode and improving the precision of observation for amplitude and phase in the field measurement were also discussed.

Key words high precision measurements contact resistance principle of compensation phase difference

(编辑 何学锋)

《中国有色金属学报》中文版 1996 年起改国内外发行

《中国有色金属学报》创刊时,中、英文两种版本发表论文相同,英文版对国内外发行,中文版仅对国内发行。由于广大读者、作者的热情支持,稿源日趋丰富,报道信息不断增加。为进一步提高刊物信息容量,中、英文两种版本发表的论文已逐渐过渡到不再相同。按本刊第二届编委会第一次会议的决定,自1996年起,《中国有色金属学报》中文版刊物由国内发行改为国内外公开发行人。

欢迎订阅《中国有色金属学报》中、英文版刊物,欢迎向本刊投稿,撰稿要求详见本刊封三。

中国有色金属学报编辑部

1996年3月