

用正向供电技术提高视电阻率观测精度

赵家骝 李海亮* 李建 王燕琼

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 定量地实验研究了在采用不同观测方法时相同干扰对视电阻率测量的影响。结果表明,采用正反向供电方法可大幅度提高视电阻率的观测精度。同时还在 ZD8 地电仪上实现了这种观测方法,试验结果与理论推算值基本相符。

关键词: 视电阻率 观测精度 正反向供电

1 前言

在视电阻率观测中,被测信号是由埋地电极通过很长的架空引线送到室内观测仪器的。由于外界的电磁干扰信号、测量电极本身极化不稳定、地电场的变化等原因,使得被测信号中夹杂着大量的干扰,直接影响了观测效果。随着观测技术的发展,地电观测仪器自身的准确度有了很大的提高,干扰则成为影响地电观测精度的主要因素。多年来,从事地电观测与研究的人员为抑制观测中的干扰提高观测精度做了大量的工作。对于地电测量中的一些稳定干扰如高频干扰、交流工频的共模和串模干扰等都有了特殊的抑制能力。但对干扰中变化较慢且无规律的部分抑制效果尚欠佳。长期的观测实践表明,干扰对测量结果的影响除与干扰本身有关外,还与测量仪器的抗干扰能力及观测方法有关。本文将定量阐述使用不同的观测方法时相同干扰对测量结果的影响并给出了一些采用正反向供电技术的实验结果。

2 V_{sp} 变化对测量的影响

地电观测的装置如图 1 所示。

地电测量工作过程如下:

- (1)在开关 K 未闭合前,测量 M、N 之间的电位差 V_{sp} 。
- (2)仪器内产生一个补偿电压 $V_{补}$,将 V_{sp} 补偿到零或接近于零。
- (3)测 V_{sp} 与 $V_{补}$ 的差值 ΔV_{spo} , $\Delta V_{spo} = V_{sp} - V_{补}$ 。
- (4)合上开关 K,电源向 A、B 供电,经过一段时间 Δt 后,电流 I 以及 M 与 N 极之间的电位差都已稳定;测量 M、N 之间的电位差 $\Delta V + \Delta V_{sp1}$, $\Delta V_{sp1} = V_{sp1} - V_{补}$ 。
- (5)测取电流数值 I。
- (6)由公式:

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} = K \frac{\Delta V + \Delta V_{sp1} - \Delta V_{spo}}{I} = K \frac{\Delta V + \Delta V_{sp}}{I}$$

求得 ρ_s 值, 式中 $\Delta_{sp} = \Delta V_{sp1} - \Delta V_{spo} = V_{sp1} - V_{spo}$, 由于地电场的变化及电极极化不稳定等因素的影响, 在大多数情况下 $V_{sp1} \neq V_{spo}$, 即 $\Delta V \neq \Delta V + \Delta V_{sp}$, 这就引起了测量误差。在实际观测中(特别是自动化观测中)不可能专门选择在 $\Delta V_{sp} = 0$ 时进行测量。因此必须在观测方法上尽量减小 $V_{sp1} \neq V_{spo}$ 对观测的影响。

3 采用不同观测方法时 V_{sp} 对 ρ_s 观测结果的影响

采用不同观测方法时, V_{sp} 的变化对 ρ_s 的测量结果的影响是不一样的。下面就这个问题作深入讨论。为了简便起见认为供电电流 I 不变化, 事实上大多数地电台都使用恒流供电电源。

3.1 单次观测时 V_{sp} 变化的影响

单次观测的过程如图 2(1) 所示。单次观测是指每次观测只测量一次 I 和 ΔV , V_{sp} 变化引起 ΔV 的误差为 ΔV_{sp} , 则测得的视电阻率为:

$$\rho'_s = K \frac{\Delta V + \Delta V_{sp}}{I} \quad (1)$$

测量误差为:

$$\epsilon_{单} = \frac{\rho'_s - \rho_s}{\rho_s} = \frac{K \frac{\Delta V + \Delta V_{sp}}{I} - K \frac{\Delta V}{I}}{K \frac{\Delta V}{I}} = \frac{\Delta V_{sp}}{\Delta V} \quad (2)$$

该误差直接与 V_{sp} 的变化量 ΔV_{sp} 有关。

3.2 单向供电多次测量时 V_{sp} 变化的影响

单方向供电多次测量的过程如图 2(2) 所示。该方法是重复单向测量 n 次。求 n 个 ρ_s 的平均值, 记为 $\overline{\rho'_s}$ 。测量误差为:

$$\epsilon_{单n} = \frac{\overline{\rho'_s} - \rho_s}{\rho_s} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K \frac{\Delta V + \Delta V_{spi}}{I} - K \frac{\Delta V}{I}}{K \frac{\Delta V}{I}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_{spi}}{\Delta V} \quad (3)$$

误差与 Δ_{spi} 的 n 项平均值有关

3.3 正反向供电测量时 V_{sp} 变化的影响

正反向供电测量的过程如图 2(3) 所示, 在采用正反向供电测量时测得的 ΔV_{MN} 分别为:

$$\Delta V_{MN0} = -\Delta V + \Delta V_{SP0}$$

$$\Delta V_{MN1} = \Delta V + \Delta V_{SP0} + \Delta V_{SP1}$$

$$\Delta V_{MN2} = -\Delta V + \Delta V_{SP0} + \Delta V_{SP1} + \Delta V_{SP2}$$

⋮

$$\Delta V_{MNn} = (-1)^{n+1} \Delta V + \Delta V_{SP0} + \Delta V_{SP1} + \dots + \Delta V_{SPn}$$

用每个正项减去相邻两项的负项则得出的各项为:

$$\Delta V_1 = 2\Delta V + \Delta V_{SP1}$$

$$\Delta V_2 = 2\Delta V - \Delta V_{SP2}$$

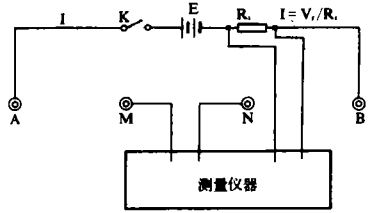


图 1 地电观测装置示意图

Fig. 1 Diagram of the observation instrument of apparent resistivity.

$$\begin{aligned} & \vdots \\ \Delta V_n &= 2\Delta V + (-1)^{n+1}\Delta V_{SPn} \\ \bar{\rho}'_s &= \frac{1}{2}K \sum_{i=1}^n \frac{\Delta V_i}{I} \end{aligned}$$

则测量误差为：

$$\epsilon_{\text{正反}} = \frac{\bar{\rho}'_s - \rho_s}{\rho_s} = \frac{\frac{1}{2n} [\sum_{i=1}^n (-1)^{n+1} \Delta V_{SPi}]}{\Delta V} \tag{4}$$

3.4 用三种观测方法时 V_{sp} 变化的影响的比较

在某台站采集 N 个连续的 V_{sp} 值, 选定一个数 n , n 次采集 V_{sp} 的时间为从开始供电到测 ΔV_{MN} 的时间间隔。求出 $\Delta V_{spi} = V_{sp(i+n)} - V_{spi}$, 这样可得出 $M(M=N-n)$ 个 ΔV_{sp} 的值。从上面分析可得出, 单项测量的 ρ_s 平均误差为：

$$\bar{\epsilon}_{\text{单}} = \frac{\sum_{i=1}^M |\Delta V_{spi}|}{M\Delta V} \tag{5}$$

单方向 n 次观测的 ρ_s 平均误差为：

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}_{\text{单}n} &= \frac{1}{M-n+1} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_{spi} \right| + \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_{sp(i+1)} \right| + \dots \\ &+ \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_{sp(i+M-n)} \right| \\ &= \frac{\sum_{m=0}^{M-n} \left| \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta V_{sp(i+m)} \right|}{(M-n+1)\Delta V} \end{aligned} \tag{6}$$

采取正反向供电测量 ρ_s 的平均误差为：

$$\bar{\epsilon}_{\text{正反}} = \frac{\sum_{m=0}^{M-n} \left| (-1)^m \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta V_{sp(i+m)} \right|}{2(M-n+1)\Delta V} \tag{7}$$

这样在某台采集 N 个连续的 V_{sp} 后可通过上述方法求得用 3 种观测方法时 V_{sp} 变化的影响。

从式(3)可看出, 若 ΔV_{sp} 具有随机性, 则 ΔV_{spi} 的符号可正可负, 因此 $\left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_{spi} \right|$ 必然小于 $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta V_{spi}|$,

这就是多次测量优于单次测量的原因。但如果 V_{sp} 的变化如图 3 所示, 则 ΔV_{sp} 与在观测时间内均为同一符号, $\left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_{spi} \right| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta V_{spi}|$, 这时多次测量中干扰的影响与单次测量相同。

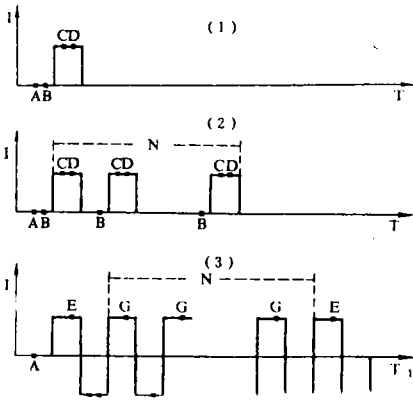


图 2 不同观测方法的供电电流波形及测量过程

1 单次观测; 2 单向供电多次测量; 3 正反向供电测量; A 测 V_{sp} 并补偿; B 测 ΔV_{sp} ; C 测 $\Delta V + \Delta V_{sp}$; D 测 I ; E 测 $+I$; F 测 $-I$; G 测 $\Delta V + \Delta V_{sp}$; H 测 $-\Delta V + \Delta V_{sp}$

Fig. 2 Supplying current waveforms and measurement processes with various observation methods.

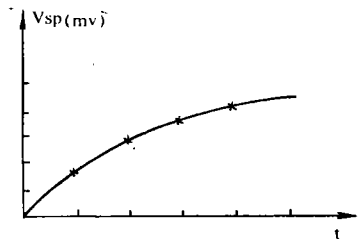


图 3 V_{sp} 的变化图 (× 为采样点) Fig. 3 Variation curve of V_{sp} .

式(4)与式(3)比较,式(4)中多了个系数1/2,这是由于采用正反向供电时一个 ΔV_{sp} 所影响的是 $2\Delta V$,而不是单向供电中的 ΔV ,这表明正反向供电测量时信噪比增加了1倍。另外式(4)中 ΔV_{sp} 多了一个系数 $(-1)^{n+1}$,这就避免了图3中那种 V_{sp} 变化对测量的影响。

图4给出了兰州台和下关台的单方向供电多次 ρ_s 测量时 V_{sp} 变化引起的误差与单次 ρ_s 测量时 V_{sp} 变化引起的误差的比值曲线和正反向供电观测时 V_{sp} 变化引起的误差与单次 ρ_s 测量时 V_{sp} 变化引起的误差的比值曲线。由图可见,随着测量次数的增加, V_{sp} 变化对单方向供电和正反向供电测量的影响都越来越小,但是正反向供电测量的那条比值曲线比单方向供电的比值曲线衰减快得多。当观测次数增加到15次左右时,两比值曲线变化均不明显,但数值相差很大。这表明,随着测次的增加, V_{sp} 变化对正反向供电测量的影响比对单方向供电测量的影响减小快得多;当测次增加到一定程度后再增加测量次数对减小 V_{sp} 变化的影响意义不大,但在同一测量次数时 V_{sp} 变化对正反向供电观测的影响比对单方向供电的影响要小得多。

4 对比观测试验

为了检验正反向供电方法与单一方向供电方法在观测精度上的差异,我们进行了实地对比观测。对比观测所使用的仪器是两台ZD8地电仪,一台采用单向供电,另一台采用正反向供电,使用同一套观测装置,每小时观测1次,两种方法观测时间间隔半小时(因同时观测互相有影响)。试验地点在兰州地电台。兰州地电台有3个测道,N5°W和N40°E两道的AB极距为900m,MN极距300m;N50°W道AB极距875m,MN极距300m,供电电极和测量电极均为铅板电极。布极方向如图5所示。

试验分为两个阶段,第一阶段是从1990年2月21日至3月13日的短期试验。此阶段主要检查正反向供电系统运行情况、检验两种方法测得 ρ_s 值之间的差异情况、每小时测量 ρ_s 值的均方差和 ρ_s 日均值均方差的对比等。图6为2月25日、26日两天内每小时测得 ρ_s 值曲线。

从图6可以看出,两种方法观测到的 ρ_s 值基本一致,但正反向供电所测得的数值波动比单向供电的测值波动要小。图7

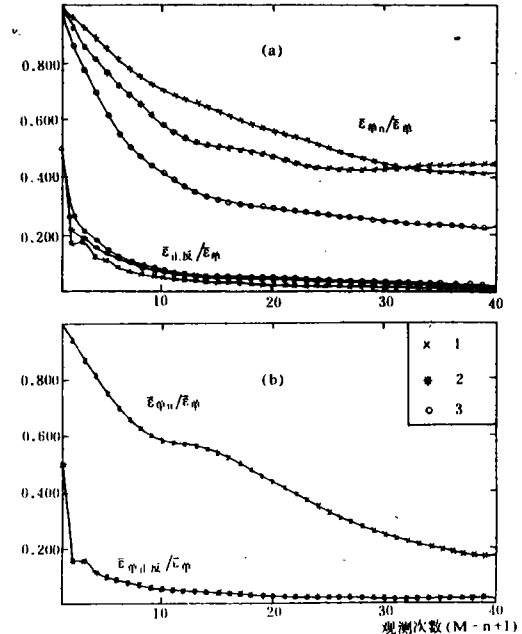


图4 (a)兰州三种台观测方法中 V_{sp} 干扰影响的比较;(b)下关台不同观测方法中 V_{sp} 干扰影响的比较

1 01道; 2 02道; 3 03道

Fig. 4 (a)Comparison of V_{sp} interference influences in three observation methods at Lanzhou observatory. (b)Comparison of V_{sp} interference influences in the methods at Xiaguan station, Yunnan.

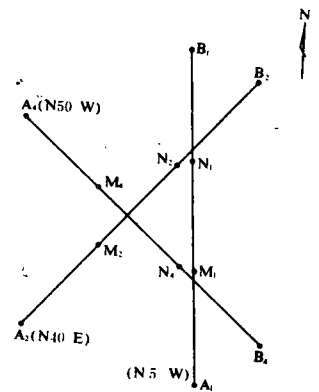


图5 兰州地电台布极图

Fig. 5 Configuration of Lanzhou geoelectric station.

为两种观测方法 ρ_s 每小时值的方差 σ_n 的日均值 σ_{n-1} 对比曲线。

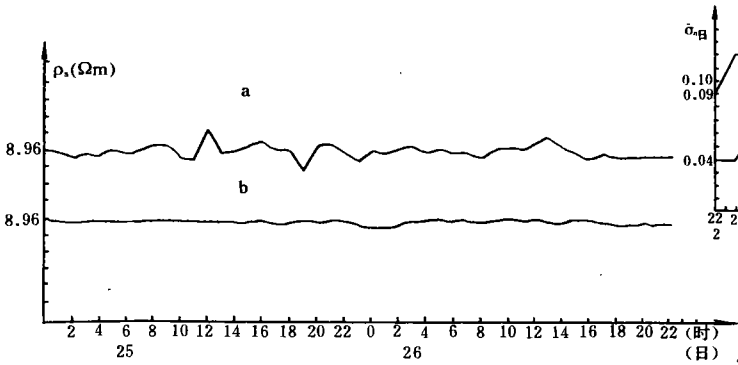


图 6 兰州台 1990 年 2 月 25 日至 2 月 26 日 ρ_s 每小时测值对比曲线

a 单方向供电 ρ_s 测量; b 正反向供电 ρ_s 测量

Fig. 6 Comparative curves of hourly ρ_s values from Feb. 25 to Feb. 26 of 1990 at Lanzhou observatory.

第二阶段从 1991 年 10 月 1 日至 12 月 20 日, 时间较长,

从而得到较长时间对比的结果。图 8 为两种方法观测的 ρ_s 日均值对比曲线。从图 8 可看出两种方法所测数值在变化趋势上基本一致。正反向供电观测所测得数据值比较稳定, 这有利于分析 ρ_s 测值短期的弱小的变化。图 9 是两种方法所测 ρ_s 日均值的均方差比较。

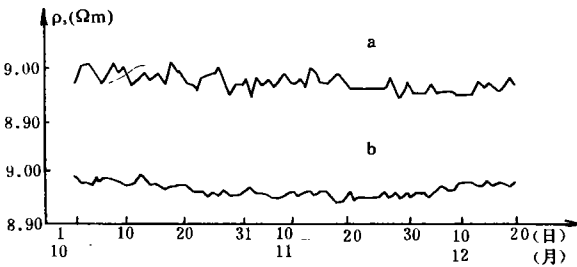


图 8 兰州台 ρ_s 测值对比曲线

a 单方向供电测量; b 正反向供电测量

Fig. 8 Comparative curves of ρ_s values at Lanzhou observatory.

统计结果表明, 用正反向供电技术测得 ρ_s 值的 σ_{n-1} 的月平均值为 0.02, 而单向供电的 σ_{n-1} 的月平均值为正反向供电的 2.5 倍。

5 结论

通过对正反向供电观测方法的理论分析及在台站与单方向供电观测方法的对比观测表明:

(1) 正反向供电观测方法应用于视电阻率观测优于单方向供电观测方法, 这主要是由于在

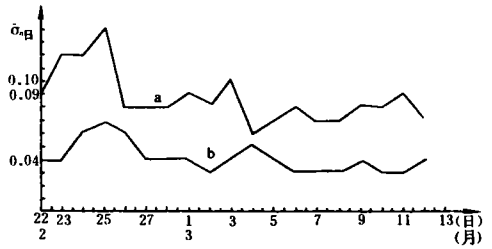


图 7 兰州台用两种观测方法测得 ρ_s 每小时测值的方差 σ_n 的日均值 σ_{n-1} 对比曲线

a 单向供电测量; b 正反向供电测量

Fig. 7 Comparative curves of variance σ_n of ρ_s measurements at Lanzhou observatory.

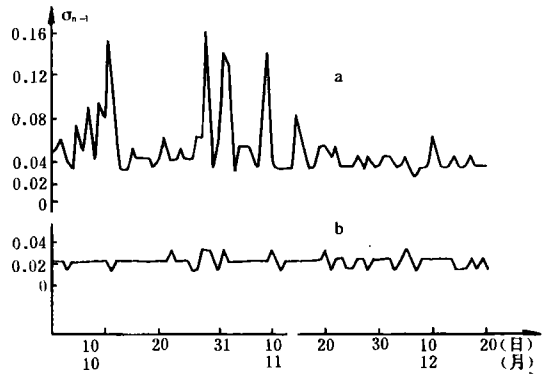


图 9 兰州台 ρ_s 日均值的均方差比较曲线

a 单向供电测量; b 正反向供电测量

Fig. 9 Comparative curves of mean variance σ_{n-1} of ρ_s measurements at Lanzhou observatory.

供电电流不变时正反向供电观测方法的信噪比比单方向供电的信噪比大一倍,而且对长周期干扰的抑制能力增强。在兰州台比测结果表明,正反向供电方法的观测精度比使用单方向供电观测方法提高了一倍。

(2)正反向供电观测方法可应用于固定台站及野外地电观测,特别是在干扰较大的测区,对提高地电观测精度非常有利。

(3)对现有微机控制的地电仪器采用正反向供电测量方法测量可以充分发挥计算机软件灵活优势,由软件代替全部或部分硬件功能,成本低,易于推广。

(本文 1995 年 3 月 6 日收到)

IMPROVING THE OBSERVATION ACCURACY OF APPARENT RESISTIVITY BY USING UP-DOWN TRANSMISSION

Zhao Jialiu Li Hailiang Li Jian Wang Yanqiong

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

In the paper, influences of the same interference on measurement results of apparent resistivity are quantitatively studied by using different observational methods. It is shown that observation accuracy of apparent resistivity could be improved greatly through up-down transmission. This observation method is applied to ZD8 geoelectric instrument and experimental results can be reproduced by the theoretical calculations basically.

Key words: Apparent resistivity, Observation accuracy, Up-down transmission