

一种消除地电阻率观测中随机误差的新方法

张世中¹, 赵家骝², 王燕琼²

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局分析预报中心, 北京 100036)

摘要: 在前人研究的基础上, 提出了一种消除地电阻率观测中随机误差的新方法——变周期供电法. 详细介绍了该方法的原理和实施步骤. 从计算机模拟和实验室模拟2个方面对该方法消除随机误差的效果进行了验证.

关键词: 地电阻率观测; 随机误差; “变周期”供电

中图分类号: P319.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)01-0088-04

0 引言

在地电阻率的观测中, 建立人工电场需要一定的时间. 在这段时间内测量的背景 V_{SP} 值会因大地电场扰动、风扰及工业离散电流等因素干扰而发生变化, 从而造成测量的随机误差. 前人在地电仪器研制及观测技术方面采取了一些措施来抑制测量中的随机误差. 这些措施是: 无源滤波、多次测量求均值法、采用特殊方法抑制工频干扰^①和等周期正/反向供电法^②. 等周期正/反向供电方式有效地解决了单向供电方式中的零点漂移问题, 但是在工作中这种供电方式对相近供电周期的交流干扰几乎没有抑制能力, 这就会造成系统的测量误差. 作者在分析上述几种消除随机误差方法的优缺点的基础上, 提出了一种新的方法, 即变周期供电测量法.

1 变周期供电测量法的实现

等周期正/反向供电法测量时序图如图1所示. 当供电时间为 T 时, 频率为 $f = n/(2T)$ (n 为正整数) 的各种干扰不可避免地会对测量产生影响, 使测量结果产生误差, 这是等周期正/反向供电法的不足之处. 为了进一步提高观测系统的测量精度, 就需要对供电方式进行改进. 等周期正/反向供电方式的频谱分布如图2(a)所示, 它的能量集中在某些特定的频率域; 而理想的供电方式的频谱分布应是“白噪声”, 如图2(b)所示, 它的谱线平坦, 能量均匀分布在各个频率域内.

在数字信号中, 无限长的伪随机码的频谱为“白噪声”. 由于地电工作时其供电次数不可能无限多, 供电时间必须有一定的限度, 所以采用有限长的伪随机码来控制供电周期, 即变周期正反向供电方式. 其供电次数为有限次, 每次供电的时间长度为 $n_i T$, 其中 T 为一固定时间长度, 例如为 2 s 或者 3 s 等等, 由台站根据实际情况具体设定; n_i 为一系列伪随机码.

收稿日期: 2000-07-25

* 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001013

作者简介: 张世中(1970—), 男(汉族), 甘肃会宁人, 助理研究员, 主要从事全国地电台网技术管理工作.

① 谭大诚. 工频干扰对地电观测的影响. 1997.

② 李海亮. 正反向供电技术在地电阻率观测中的应用. 1989.

1.1 伪随机码 n_i 的实现原理

对于一个初值为非全 0 和非全 1 的 8 位字节, 先将其 $a_0 \sim a_6$ 位进行异或运算, 然后将结果送给进位标志位, 接着带进位右移该字节. 重复以上过程, 进位标志位便可产生周期为 127 的伪随机码, 其中“1”的个数为 63, “0”的个数为 $64^{[1]}$.

1.2 伪随机码 n_i 的实现方法

根据伪随机码的实现原理, 采用 16 次循环来实现伪随机码. 先将累加器 A 置为 10101010B, 对其 A.0 ~ A.6 位进行异或运算, 将结果送给进位

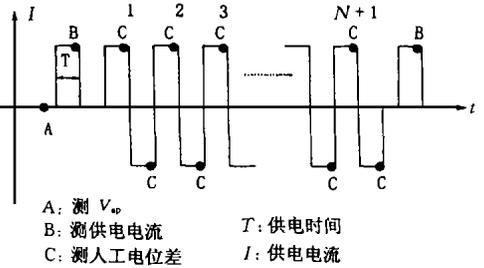


图 1 等周期正/反向供电法测量时序图
Fig. 1 Measuring process for providing current in sameness period in two direction.

标志位 C, 再将 C 送给累加器 B 的 B. 7 位, 然后带进位右移累加器 A. 重复以上过程 7 次. 每次重复时将 C 送给累加器 B 的下一位, 最后将累加器 B 的值存放在 RAM 20H 中. 对以上过程循环 16 次, 每次增加累加器 B 在 RAM 中的存放地址, 最后可以在 RAM 20H ~ 2FH 中得到伪随机码. 为查看方便, 将伪随机码从 20H ~ 2FH 移至 6050H ~ 605FH. 作者用汇编语言^[2~4]^{③④}编制了有关程序.

执行此程序后生成伪随机序列, 由

伪随机序列得到所需的伪随机码 n_i

2 变周期正反向供电法在地电仪中的实现方式

在实际应用中, 为保证伪随机码不被丢失, 在地电仪中将其存放在时钟 DS12887A 的 RAM C410H ~ C44FH 地址中. 该时钟自带一个锂电池, 在断电情况下仍能保持 10 年以上不丢失数据^[6]. 地电仪在测量供电电流 I 时, 调用子程序 DELAY-PRE1 控制供电延时时间. 延时时间长为 $(4009H) * 0.1s$. 当地址 4009H 的值设定后, 测量供电电流 I 时的供电延时时间保持不变. 在测量人工电位差时, 调用子程序 DELAY-PRE 控制供电延时时间, 延时时间长为 $(C410H) * (4009H) * 0.1s$. 在每次供电之前, 将 C410H ~ C44FH 中的伪随机码循环移位一次, 即执行一次循环子程序, 这就保证每次测量人工电位差时供电延时时间不同.

3 变周期供电法对干扰的抑制效果

变周期正反向供电法是针对等周期正反向供电法对和测量周期接近的干扰信号抑制能力差而所作的改进. 现从计算机模拟和实验室实测 2 个方面来检验该方法对干扰的抑制效果.

3.1 计算机模拟

用 BASIC 语言编程模拟变周期供电法对等周期 ($f = f_0$) 干扰的抑制 (f_0 为等周期供电频率). 数组 A 为干扰信号; 数组 B 为测量用伪随机码, 长度为 N , 即测量次数; 数组 C 为伪随机码和干扰信号的比较结果; 数组 D 为伪随机码; 数组 E 为不同伪随机码起点的抑制效果. 如图

③ MCS-51 Family of Single Chip Micro-computer User's Manual, July 1981.
④ DS12887 Real Time Clock, Dallas Semiconductor, Inc. 1996.

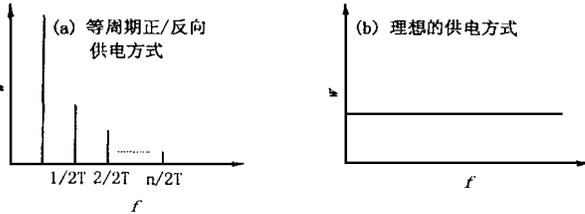
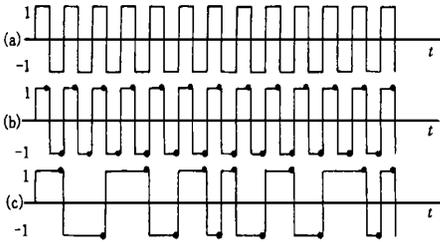


图 2 等周期供电方式和理想供电方式频谱分布示意图

Fig. 2 Sketch of spectral distribution for providing current in sameness period and random period.

3 所示(图中黑点为测量点),当采用等周期正反向供电法测量时,对于等周期干扰信号(峰值为1),其正向测值必然为1,其反向测值为-1.即便采用正反向测值相减再求平均值,即 $[1 - (-1)]/2 = 1$,其测值为干扰信号1,所以等周期供电法无法消除这种测量误差.当采用变周期正反向供电法测量时,由于正向测量和反向测量会取到干扰信号同一方向的值(同为1或-1),所以将正反向测值相减再求其平均值后,就会消除掉干扰信号,从而减小了测量误差.流程图见图4.



(a) 等周期干扰; (b) 等周期供电法时序图;
(c) 变周期供电法时序图

图3 计算机模拟等/变周期供电法测量示意图

Fig. 3 Sketch of computer simulation measurement for providing current in sameness and varying period.

计算机模拟结果见图5.由图5可以看出,当测量次数取20(即正反向测量次数设置为10次)时,对等周期干扰可抑制到25%以下;当正反向测量次数设置为27次时,对等周期干扰可抑制到15%以下.如果将测量次数再提高,抑制效果则会更好.在实际应用时,在地震相对平静期间,如果每天观测次数不是很多,比如每天只测2~3个值,那么可以将变周期

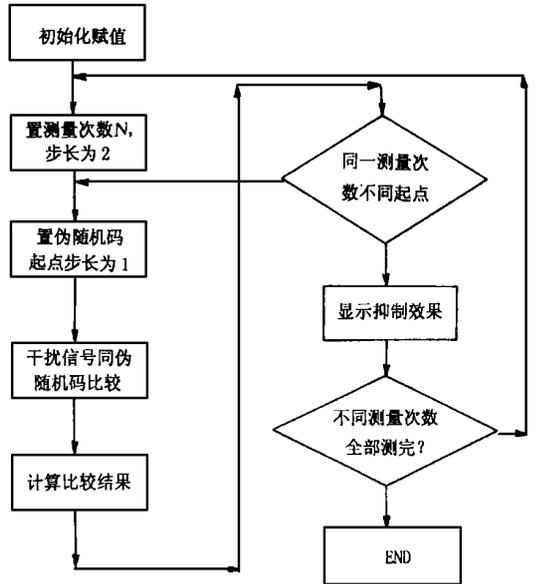


图4 计算机模拟变周期供电法对干扰信号的抑制效果流程图

Fig. 4 Flow chart of computer simulation of repression effect for providing current in varying period to interference.

供电测量的次数设置很高,这样就会提高对干扰信号的抑制效果,进一步提高观测系统的测量精度.

3.2 实验室实测

在实验室中,用XD8A型超低频信号发生器作为干扰信号源提供干扰信号.干扰信号的频率 f 为等周期供电频率 f_0 .干扰信号幅度 V_n 为15mv,接近于人工电位差 $\Delta V = 15.32$ mv.将干扰信号串入测量线MN,如图6所示.其中负载电阻 $R_L = 50 \Omega$,最大允许电流为2A;采样电阻 $R_v = 0.01 \Omega$,是0.01级的标准电阻.在没有干扰信号时,因为 $\rho_s = K \cdot \Delta V / I$,而 $\Delta V = I \cdot R_v$,则 $\rho_s = K \cdot R_v$.设定装置系数 $K = 1000$,那么理想值 $\rho_s = 10.00$.在有干扰信号情况下,选择3种不同测量次数,分别用等周期

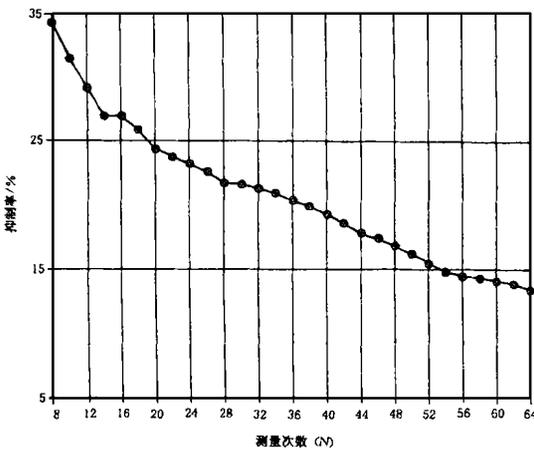


图5 计算机模拟变周期供电法对干扰的抑制效果曲线图

Fig. 5 Curve of repression effect to interference for providing current in varying period by computer simulation.

供电法和变周期供电法进行测量, 每种测量次数测量 9 组, 最后将测量结果进行比较, 结果见表 1. 由表 1 可见, 当干扰信号幅度为 15 mv, 人工电位差为 15.32 mv 时, 用等周期供电法测量 ρ_s 值的平均误差达到 49.26% 左右, 即使增加测量次数也无法消除这种干扰. 而当采用变周期供电法进行测量时, 则对这种干扰有很好的抑制效果. 随着测量次数的增加, 抑制效果变得更好, 如测量次数为 24 时, ρ_s 的平均相对误差为 11.64%.

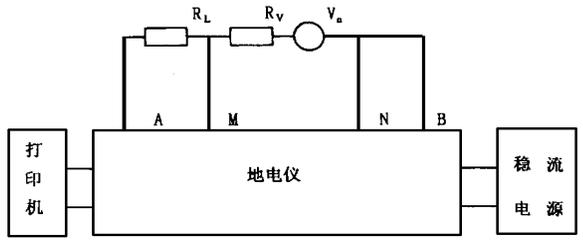


图 6 变周期供电法抑制干扰效果的实验装置
Fig. 6 Sketch of experiment device concerning repression effect for providing current in varying period to interference.

表 1 实验室变周期供电法对等周期干扰的抑制效果

测量次数	第 1 组 ρ_s	第 2 组 ρ_s	第 3 组 ρ_s	第 4 组 ρ_s	第 5 组 ρ_s	第 6 组 ρ_s	第 7 组 ρ_s	第 8 组 ρ_s	第 9 组 ρ_s	理想值	平均误差 (%)	
等周期	16	5.05	5.04	14.96	14.82	5.05	5.07	14.96	5.06	5.14	10.00	49.26
	20	5.04	14.96	5.07	5.05	5.14	14.83	5.05	14.97	14.94	10.00	49.28
	24	14.93	5.05	14.95	5.07	14.95	5.11	5.08	14.95	5.12	10.00	49.28
变周期	16	6.34	12.13	11.67	10.72	11.34	7.88	6.07	6.73	8.93	10.00	22.12
	20	6.92	9.35	12.75	11.36	10.29	9.26	13.26	9.65	8.82	10.00	15.18
	24	10.06	9.78	9.32	11.96	11.44	10.45	13.06	11.03	8.42	10.00	11.64

4 结语

综上所述, 变周期供电法对干扰的抑制效果优于等周期供电法. 在一些干扰比较严重的地电台站, 采取变周期供电测量法可以减少测量的随机误差, 进一步提高观测系统的测量精度. 该方法已应用于新一代高精度 ZD8B 地电仪, 并取得了预期的效果.

[参考文献]

[1] 杨义先. 最佳信号理论与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1995.
 [2] 王长胤. 军军. 单片单板机原理及应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1993.
 [3] 陈粤初, 窦振中. 单片机应用系统设计与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1991.
 [4] 陈伟人. MCS-51 系列单片机实用子程序集锦[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.

A NEW METHOD TO REMOVE STOCHASTIC ERROR IN MEASURING APPARENT RESISTIVITY

ZHANG Shi-zhong¹, ZHAO Jia-liu², WANG Yan-qiong²

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;
 2. Center for Analysis and Prediction, CSB, Beijing 100036, China)

Abstract: On the basis of studies of predecessors, a new method—providing current in varying period is proposed. Basic principle of the method and its use in Terrameter are analyzed. Effect of removing stochastic error of the method is simulated by the test in laboratory and computer. The results show that the method is better in removing stochastic error.

Key words: Apparent resistivity measurement; Stochastic error; Providing current in varying period