

低频交流电法的试验和研究

桂燮泰 戴经安 关华平

(国家地震局分析预报中心)

摘 要

本文介绍了关于低频交流电法的试验和研究结果:

(1) 现场观测证实, 低频交流电法与直流电法观测的电阻率数据(包括 ρ_s 曲线变化)是同步的和相近的。

(2) 交流电法的抗干扰(噪声)能力比直流电法有所增强。采用交流电法可将干扰(噪声)背景由通常的 $100\mu\text{V}$ 压低到 $10\mu\text{V}$, 並可以完全消除风扰。

(3) 采用交流电法可以提高观测精度, 其观测精度为 10^{-3} (直流电法精度为 10^{-2}), 还可有效地分辨1—2%的地电前兆异常。

(4) 探测同样深度, 交流电法可比直流电法功耗减少一倍。

一、前 言

根据国内十余年来所积累的观测资料统计, 7级以上大震的电阻率中期异常幅度可达3%左右, 短临异常至少在5%以上, 而5—6级地震前电阻率异常幅度通常在1—2%。目前我国的地电台站大都采用直流电法观测, 使用DDC—2仪器。由于地电场噪声背景较高, 观测精度受噪声背景限制, 用DDC—2仪器观测, 分辨1—2%的电阻率异常比较困难。要提高观测精度, 必须改善信噪比。试验证明, 若采用同样功率的低频交流电法(以下简称交流电法), 可以把干扰水平压低一个数量级, 而且观测精度可以提高一个数量级。本文介绍了采用交流电法观测所取得的试验研究结果。

二、低频交流仪的设计与技术指标要求

在设计交流仪器和确定其技术指标时, 应考虑以下一些技术问题:

1. 干扰水平与观测精度

地电观测中的观测误差虽与观测仪器的分辨率有关, 但更重要的是与干扰噪声水平有直接关联。也就是说, 当仪器的分辨率高于干扰噪声水平时, 高分辨度、高灵敏度的仪器, 並不能获得高精度、误差小的观测结果。只有在仪器分辨率与干扰噪声水平相近或低于干扰噪声水平时, 地电观测误差大小才与仪器精度有关。地电观测中改善信噪比、抑制干扰是提高地电阻率观测精度的关键条件之一。

有人采用大电流、大电位差来改善信噪比,但这一措施并不是对国内所有地电台均能适用,特别是对大地视电阻率观测值较低(几个欧姆·米)的台站。目前,直流仪器设备仅能供几个安培(一般小于5安培)的电流,对有些台站,其观测信号仅几个毫伏,干扰噪声一般在0.1毫伏,要使信噪比达到100,保证有足够大的观测电位差是有困难的。

为了改善台站的信噪比,提高观测精度,我们设想在同样输出功率条件下,利用先进的选频发射和选频接收等电子技术,从压低噪声着手进行探索。开始先在大港油田和马家沟矿区观测点进行初步观测实验。所得资料说明,采用选频发射和选频接收交流电法后,可把噪声水平压低到10微伏以下,可准确地读到10微伏(图1)。

2. 地电台干扰水平基本分析

为了了解地电台实际干扰水平,我们将华北地区部份地电台测定和记录的干扰结果分为三类。第一类:风扰。风扰的大小与测量线的松紧程度和风的大小有关,这是由于导线在风力作用下,切割地磁场产生的感生电动势。马陵山台在5—6级风时测定,其干扰在 ± 1 毫伏间摆动并呈周期性变化。第

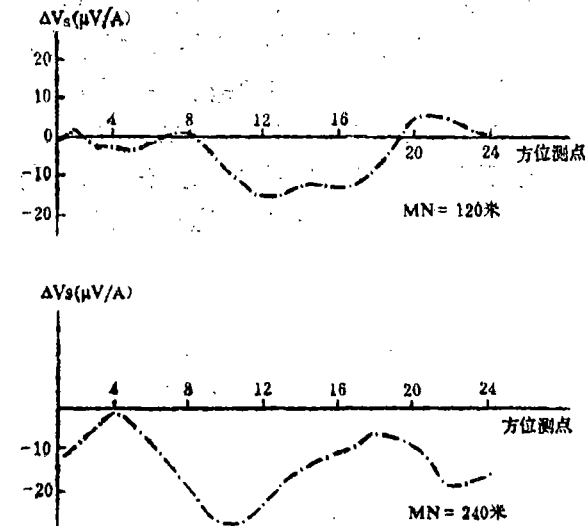


图1 大港油田交流观测试验结果*

Fig. 1 A.C. observation and experiment result for Dagang oil field

二类:工业游散电流干扰。这是由于测区内或电极附近有比较大的用电设备,由它们的游散电流引起的。这类干扰一般无规则变化,也无明显周期变化,表现形式为大幅度突跳,其幅度可达十几毫伏。第三类:干扰不明显。干扰幅度一般为零点几毫伏,无明显的周期性。

3. 对仪器的技术指标要求

在现有条件下,直流电法的测量仪器指示表头由1.5级组成(DDC—2),相应的测量量程读数可读取3位有效数字,决定了其观测读数的精度为 10^{-2} ,当读数较大时,其读数精度可接近 10^{-3} ,这就是目前设计地面电阻率测量仪器的基本技术指标和出发点。按 10^{-3} 精度要求,我们于1980年秋季引进了美国Heinrich公司生产的地质勘探用的低频交流激发极化仪成套设备,包括Mark—4C接收机和Mark—7发射机。

4. Mark型仪器具体技术指标

(1) 工作原理

Mark型仪器与直流仪器工作原理相似。由电源设备和测量仪表两大部分组成。电源部分又由动力部分(8马力汽油机)、中频电源(120伏、400赫兹)和调制发射机三部分组成,总称Mark—7。测量仪表为一精制的人工读数补偿电位差计,型号为Mark—4C,其工作框图如图2所示。

(2) 发射机技术性能

*该图系在大港油田羊10—32—2井压裂实验中充电观测结果,所用仪器为Mark—7型发射机和Mark—4C型接收机,工作电流为1A,频率为1HZ。 ΔV_s 表示压裂前后的充电电位差。

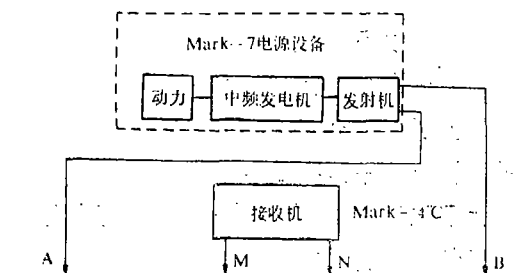


图2 Mark型仪器工作方框图
Fig. 2 Working flow chart of Mark type device

输入120伏 $\pm 15\%$ 、400赫兹 $\pm 15\%$ 的正弦波，经变压器、可控硅及门控振荡调制电路，可输出频率为0.1、0.3、1、3赫兹等可调的非正弦波型的连续和可间断脉冲二种讯号。频率稳定度可达0.3%，最大输出功率为2 kw。功率输出可分四档：300伏，100毫安—4安；400伏，100毫安—4安；600伏，100毫安—2安；800伏，100毫安—2安。恒流精度： $\ll 0.1\%$ 即100毫安—400毫安 ± 0.1 毫安，300毫安—1200毫安 ± 0.3 毫安，

1.0安—4.0安 ± 1.0 毫安。

(3) 接收机的技术性能

接收机具有对0.1、0.3、1、3赫兹等低频交流和直流选频接收的能力。满量程从1毫伏~11.0伏分五档，最小分辨度为100微伏，精度为 $\pm 0.5\% \pm 1$ 个字，可读取四位有效数字，相对误差为0.1%。

(5) 对Mark型仪器的改进

Mark型仪器是按野外找矿没有交流电的条件设计的。考虑到一般台站均有交流电，我们对Mark型仪器的电源部分作了如下一些改进：

Mark型仪器电源动力部分主要由汽油机组成，1982年我们用3 kw 直流电动机代替原汽油发电机，改装后的电源部分达到了Mark型发射机对电源设计的要求，即110伏、400赫兹。经历了二年多观测试验运行，结果证明电源性能良好，但噪声仍较大。从1985年下半年起改用国产5 kw 中频电源代替原Mark型中频电源进行试验。自运行以来工作情况良好，噪声明显减小。这一改进为Mark型仪器的进一步国产化和配备日记系统打下了基础。

在试验过程中，有时突然停电，造成输出回路与大地构成一个高电压放电回路，使发射机内MC—14528组件和2N5199场效应管被击穿，原仪器设计中没有考虑突然断电对发射机回路的保护措施。为避免这一情况，我们在主回路中串接入一个无压释放的继电器保护装置，为提高断开电压采用分压式线路，这在唐山马家沟现场试验中已起到保护作用。

三、对比观测试验

交流电法与直流电法的观测效果是否一致，是人们关心的问题。根据电磁场理论得知：只要 $j_c/j_d \gg 1$ ，即

$$j_c/j_d \cong \frac{1.8 \times 10^{10}}{\epsilon_r \cdot f \cdot \rho} \cdot \frac{1}{[\text{Hz} \cdot \Omega \cdot \text{M}]} \gg 1 \quad (1)$$

(式中 j_c 为传导电流密度， j_d 为位移电流密度， ϵ_r 为相对介电常数)，并采用实用单位制，可以忽略位移电流的作用。理论和实践证明，交流电法的工作频率选在 10^{-3} — 10^3 赫兹，这时交流电场分布可以近似地认为是遵循欧姆定律，这是交流电法可以与直流电法进行对比试验的理论基础。

我们进行试验观测的目的是检验低频交流电法的抗干扰(压制噪声)和检测地震前电阻率

前兆的效能，为此，把试验观测场地选在唐山老震区的马家沟观测点。其理由是：唐山老震区可能还会有中、强余震；马家沟为开发矿井，地下用电设备多，工业游散电流干扰明显可见。经测定，在供电回路AB开路时，测量电极MN之间有时可接收到幅值 $\gg 10$ 毫伏以上的随机离散信号（图3）。

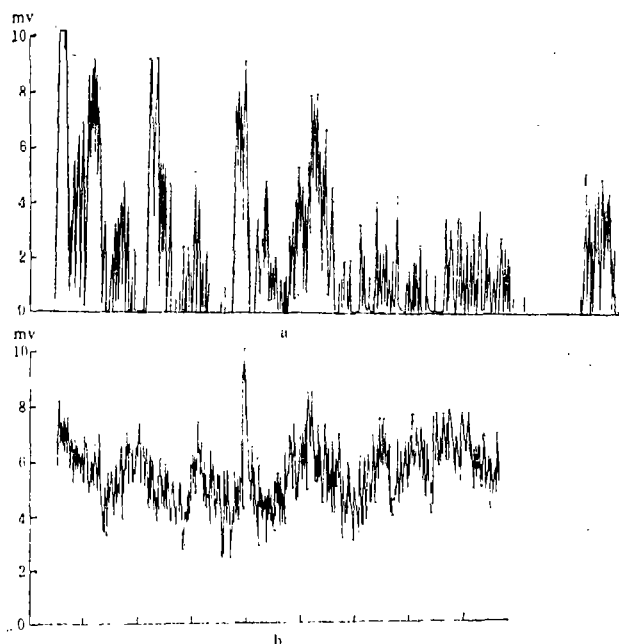


图3 1986年1月27日马家沟台的随机离散信号图

a. 18时, AB=600米, MN=80米 b. 19时, AB=570米, MN=60米

Fig. 3 Diagram of random dispersed signal at Majagou station on Jan. 27, 1986

在马家沟台进行对比观测前，曾选用1 Hz和3 Hz进行试测，采用3 Hz观测时交流与直流两种方法观测的视电阻率值相近。经过对观测资料对比，确定该台四个布极方向（即四组极距）均选用4—C档（输出 $V_{\text{最大}}=300$ 伏； $I_{\text{最大}}=4$ 安），AB供电（恒流） $I=1.5$ 安，工作频率为3赫兹，接收机选用100毫伏满量程档，采用补偿电位法读取电位计数字，可读取四位有效数字。考虑到马家沟矿井工业游散电流干扰背景过大，表头灵敏度用 100×100 （在干扰稍小地区，表头灵敏度可选用 100×10 或 100×25 ，则可进一步降低观测误差）。最小分辨率为10微伏，该台电位差为几十毫伏，其观测精度优于 10^{-3} 。

试验工作是从1983年7月开始的，至今已积累了三年资料（图4）。由图4可看出，在 $N69^{\circ}34'E$ 布极方向，交流与直流两种方法的数值相近，其它各布极方向随极距增大，数值差异亦有所增大（见表1）。

产生差异的原因可能是由于精度不一致和探测深度不一致等因素的影响。由于交流电法观测精度为 10^{-3} ，直流电法观测精度为 10^{-2} ，相差一个数量级，从观测值的变化可看出，交流电法比直流电法变化明显。

根据图4可以得出以下几点认识：交流与直流电法的观测曲线变化趋势基本一样，交流电法的观测结果比直流明显；以1984年10月为界，此后两种方法的观测结果的一致性比以前好；在1984年8月间，下雨时交流电法的观测值出现突降变化。

表 1 各布极方向 ρ_s 观测值对比表

布极方向	极 距 (m)	交 流			直 流		
		$\Delta V(mv)$	$I(A)$	$\rho_s(\Omega-m)$	$\Delta V(mv)$	$I(A)$	$\rho_s(\Omega-m)$
N69°35' E	AB=170 MN=20	63.48	1.5	47.20	14.5	3.4	47.8
N20°25' W ₁	AB=260 MN=20	75.42	1.5	131.06	159	3.1	135.3
N20°25' W ₂	AB=570 MN=60	23.22	1.5	65.17	74.5	4	78.4
S-N	AB=600 MN=80	37.68	1.5	87.11	58.5	2.1	96.7

(取自1984年12月30日数据)

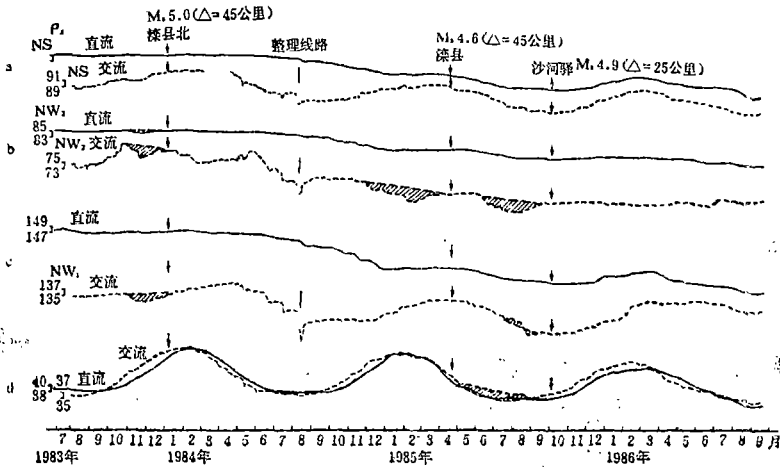


图 4 交直流观测结果对比曲线

- a. S-N, AB=600米, MN=80米 b. N20°25' W₂, AB=570米, MN=60米
c. N20°25' W₁, AB=260米, MN=20米 d. N60°35' E, AB=170米, MN=20米

Fig. 2 Diagram of daily average value of geoelectric resistivity by A.C. and D.C. method at Majagou station

自1983年8月试验观测以来到现在,对于发生在唐山老震区的中强余震(震级为5级左右, $\Delta \leq 50$ 公里),用交流方法观测到的视电阻率变化比直流方法的明显(表2)。这表明使用交流电法提高了观测精度。

在大港油田和马家沟矿区的对比观测结果证明,交流方法可将干扰水平压低到10微伏,而直流电法只能压低到100微伏。

此外,为消除风扰,我们在有大风时在马坊地电台采用选频接收方法进行观测(图5),结果表明,导线架空后所遇到的风扰,使用低频交流电法可以完全排除。

四、结 论

总之,通过对交流电法的理论分析及在野外与直流电法进行对比观测表明:

- (1) 低频交流电法可用于地震前电阻率异常的观测,在定点及固定台站观测中,交流

表 2

地 震	交流法电阻率变化				直流法电阻率变化			
	NE道	NS道	NW ₁ 道	NW ₂ 道	NE道	NS道	NW ₁ 道	NW ₂ 道
1984.1.7 $M_s=5.0$ ($\Delta=45$ 公里)	不明显	异常量: 1.0%, 下降 70天	异常量: 1.6%, 下降 70天	异常量: 5.4%, 下降 70天	不明显	不明显	不明显	异常量: 0.9%, 下降 60天
		异常形态: 先下降后回升	异常形态: 先下降后回升	异常形态: 先下降后回升				异常形态: 先下降后回升
1985.1.13 $M_s=4.5$ ($\Delta=30$ 公里)	不明显	不明显	异常量: 1.0%, 下降 60天	异常量: 10.3%, 下降 160天	不明显	不明显	不明显	不明显
1985.4.23 $M_s=4.6$ ($\Delta=45$ 公里)			异常形态: 下降后转平	异常形态: 先下降后回升				
1985.10.5 $M_s=4.9$ ($\Delta=25$ 公里)	不明显	异常量: 0.7%, 上升	异常量: 3.5%, 下降 60天	异常量: 7.1%, 下降 130天	不明显	不明显	不明显	不明显
			异常形态: 下降转平	异常形态: 先下降后回升				

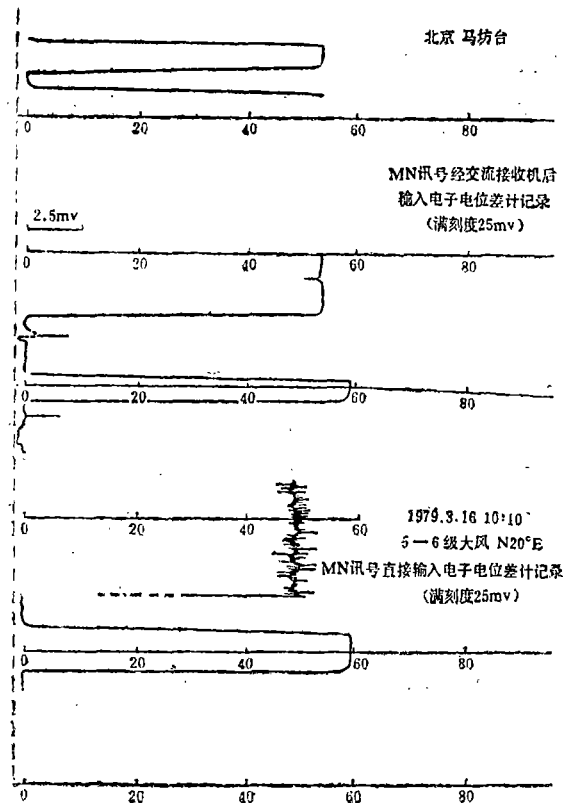


图 5 消除风扰的实验

Fig. 5 Experiment for eliminating wind disturbance

电法优于直流电法。这主要是由于它能消除电极的电化学效应(极化)对观测精度的影响。

(2) 低频交流电法抗干扰能力强, 观测精度可提高到 10^{-3} , 可以清晰地分辨1—2%的电阻率变化。

(3) 交流电法可用于目前信噪比达不到100的地电台站(低电阻率台站)的观测, 亦可在有工业游散电流干扰的工矿区和大城市开展地震监测工作中应用。

在现场试验中, 得到开滦马家沟煤矿马希融工程师等的帮助和支持, 在此表示感谢。

(本文1987年7月9日收到)

参 考 文 献

[1] 傅良魁等, 电法勘探教程, 地质出版社, 1983.

[2] Cagniard L., Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting, Geophysics, Vol.18, P605—635, 1953.

[3] 马希融, 马家沟台地电阻率的短临变化特征, 地震科学研究, №2, 1983.

EXPERIMENT AND DISCUSSION ON THE LOW-FREQUENCY A.C. METHOD

Gui Xietai, Dai Jingan and Guan Huaping

(Center for Analysis and Prediction, State Seismological Bureau)

Abstract

A.C. Method began to be applied in the geoelectrical observations by using a set of equipments of type Mark-4 with accuracy of 10^{-3} in 1976. The results of experimental observations in terms of A.C. Method are presented in this paper as the following:

(1) The results from A.C. and D.C. method are agreeable.

(2) Signal-to-noise ratio can be increased in one digit number.

(3) The accuracy of A.C. method is 10^{-3} but D.C. method is 10^{-2} . The resistivity anomalous of precursor phenomena up to 1—2% may be determined.

(4) For same depth, power consumption may be decreased by A.C. method.