

蒋延林、赵卫红、王福才等,2015,一种地电场观测环境干扰的分析和试验研究,中国地震,31(1),158~164。

# 一种地电场观测环境干扰的分析和试验研究

蒋延林 赵卫红 王福才 张骞 朱晔

高邮地震台,江苏省高邮市南郊地震台路2号 225601

**摘要** 对2009年10月~2010年5月高邮地震台地电场观测中出现的一种不明原因的大幅度扰动干扰进行了分析讨论。经过初步分析、干扰源模拟定位、干扰源测试、干扰源现场调查等途径,确定了干扰源位置和干扰产生的原因,并对该干扰现象进行了排除处理。

**关键词:** 地电场 环境干扰 干扰调查 排除

[文章编号] 1001-4683(2015)01-0158-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

目前国内观测的地电场是地球表面DC [0, 1]Hz 频率范围内的天然电场,根据场源的不同可分为大地电场和自然电场。其中,大地电场是由固体地球外部特别是电离层中的各种电流体系与地球介质相互作用而产生的分布于地球表面的感应电场,具有广域性和区域性特征;自然电场是由矿体、地下水和水系作用而产生的电场,具有较强的地域性和局部性特点(傅承义等,1985;孙正江等,1990;叶青等,2007;杜学彬等,2007;钱家栋等,2010;崔腾发等,2013)。

在地电场观测中,电磁环境干扰是指在工农业生产生活等过程中人为引起的分布于地表并对地电场观测产生影响的非天然附加电场,如电力系统工作过程中的工频干扰、城市轨道交通系统(地铁、轻轨)、超高压直流输电系统等产生的非工频干扰等。随着我国国民经济的快速发展、城镇化建设的逐步推进,在许多电磁环境干扰原本较少、能满足地电观测规范要求的区域,临时或永久性地出现了诸多新的干扰因素,使得观测区域的工频干扰明显超出了地电场观测规范及对观测环境的技术要求(杜玮等,2004),对地电场的观测及应用产生了比较大的影响。

本文对2009年10月~2010年5月高邮地震台地电场观测区域出现的一种环境干扰及其调查处理方法进行了系统研究。在研究干扰产生机理、干扰形态、干扰影响等的基础上,通过对该干扰的排查和分析,以期能够获得一种可供参考和借鉴的方便可行的干扰分析、测试和调查方法。

[收稿日期] 2014-05-05; [修定日期] 2014-06-24

[项目类别] 2014年国家自然科学基金(41374080)

[作者简介] 蒋延林,男,1960年生,高级工程师,主要从事电磁监测预报研究。E-mail: Gy\_jyl19600812@126.com

## 1 地电场观测方法概述

地震地电场观测的基本原理为通过埋设在地表之下的一组测量电极,测量地表指定测量方向上两点之间的电位差  $V_{AB}$  (图 1) 再利用测量得到的  $V_{AB}$ , 由式 (1) 计算地电场强度分量值  $E_{AB}$  及其随时间的变化。当获得 2 个正交方向的地电场强度  $E_x$  和  $E_y$  时, 则可以通过式 (2)、(3) 所示的矢量合成方法, 获得测量区域的地电场强度、方位角及其随时间的变化。

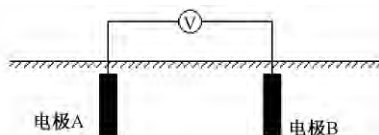


图 1 地电场观测基本原理示意图

$$E_{AB} = -\frac{V_{AB}}{L_{AB}} \quad (1)$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (2)$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{E_x}{E_y} \quad (3)$$

为了能够较好地检验观测数据的可靠性, 识别和排除因近场地电磁环境干扰、降雨、电极极化、线路故障等方面的影响, 一般采用“多方向、多极矩”测量方法, 即至少在 2 个及以上方向上进行观测, 每个测向至少采用 2 种不同极距的相对独立的观测装置 (注: 观测装置为测量电极和测量外线路, 及其布设方法的组合。下同) 进行同步测量。通过计算并分析同方向、不同测道的观测数据之间变化的相关性和一致性, 即可判定观测数据是否准确可靠。

## 2 高邮地震台地电场观测的基本情况

高邮地震台位于江苏省高邮市南郊, 距离市区约 7km, 属高邮市高邮镇管伙村辖区。其地理坐标为  $32^{\circ}43'49.2''\text{N}$ ,  $119^{\circ}26'54.4''\text{E}$ 。高邮地震台地电观测场地位于江苏省高邮市南郊车逻镇北边基本农田试验区, 地质构造为扬子准地台高邮凹陷内, NW 向的无锡-宿迁断裂位于台站西侧, NE 向的高邮-临泽断裂位于台站的东北部, 西部为荷昆地震带 (即从太湖-高邮湖-洪泽湖-骆马湖的两侧延伸至山东), 又称为湖区断裂系。观测区地表被黄土覆盖, 地势平坦开阔, 基本上无高差; 观测场地内无任何建筑, 无观测规范要求避开的干扰源。

高邮地震台自 2008 年 1 月正式开始地电场观测。地电场观测装置系统呈“双 L 型”, 在 NS 及 EW 两个方向分别按照 2 个极距布设 (图 2), 其中长极距为 400m、短极距为 250m, 在斜道  $\text{N}45^{\circ}\text{E}$  方向, 长、短极距分别为 516、354m; 测量电极采用  $\text{Pb-PbCl}_2$  固体不极化电极, 电极埋深 3m, 常年在地下水水位以下; 测量外线路采用定制的多层、多芯绝缘铜导线, 对地绝缘电阻大于  $200\text{M}\Omega$ ; 测量仪器采用 ZD9A-II 型地电场仪, 测量精度不小于  $0.1\% \text{R}$ , 工频串模抑制比不小于 80dB, 工频共模抑制比不小于 140dB, 测量通道 6 个, 数据吐出率 1 次/分钟/道 (可拓展为 1 次/秒/道)。

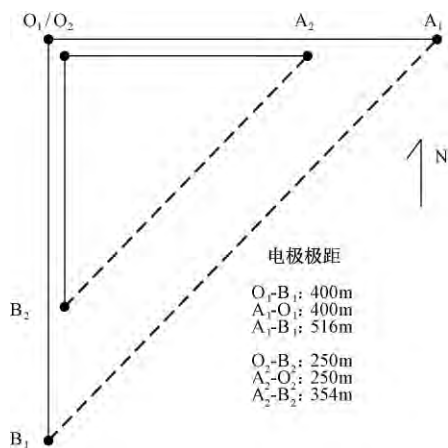


图2 高邮台“多方向、多极距”地电场观测装置系统示意图

高邮地震台的环境干扰和背景噪声较小,观测系统稳定可靠,在正常观测条件下,能记录到比较清晰的地电场日变化、地电暴等背景变化,以及近似潮汐变化(图3);观测数据的精度较高,同方向、不同测道之间数据的相关系数大于0.98,变化差值不大于1mV/km。其观测结果能够较好地反映观测区域地电场的变化信息。

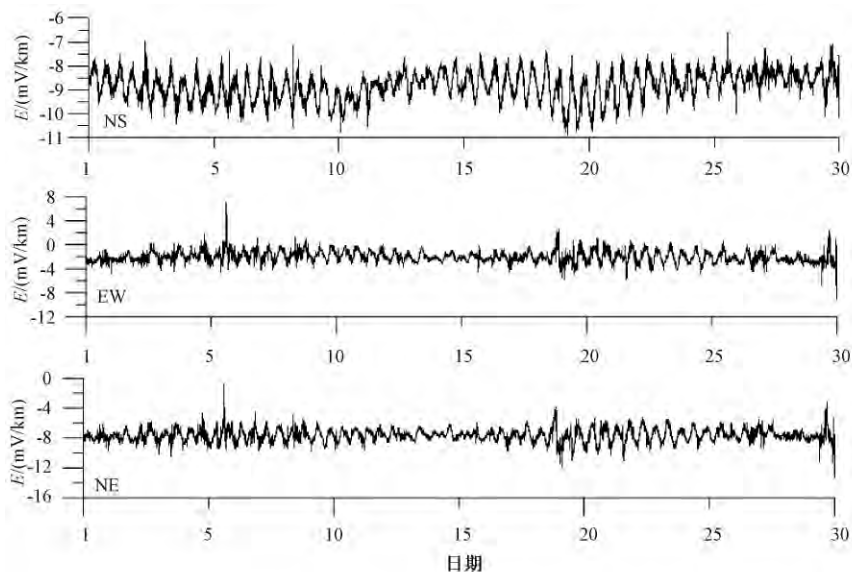


图3 2009年8月高邮地震台地电场观测分钟数据

### 3 高邮地震台干扰变化

从2009年10月开始,高邮地震台的地电场观测数据中出现一种不知原因的扰动,地电场观测结果明显区别于正常观测时间段的数据。其中,在NS测向及 $N45^\circ E$ 测向的观测数据中,长、短极距同步出现跳变或是矩齿型变化;主要扰动周期为几分钟,且高频成份有所加

强;每个测向的长、短极距之间的干扰变化幅度具有比较恒定的比值;EW 测向无明显扰动现象(图 4)。2009 年年底后该扰动情况更加严重,除春节期间和个别节假日,其他时间经常存在。为了分析这种扰动现象产生的原因,2009 年 10 月~2010 年 5 月,高邮地震台开展了半年多的调查分析和测试工作,最终确定该扰动来自距地电场测区约 2km 的某工厂设备故障造成的漏电干扰。

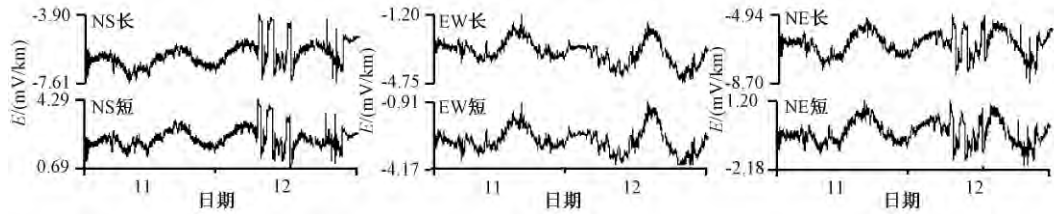


图 4 2009 年 11 月 11~12 日高邮台地电场分钟数据对比曲线

利用高采样率数据对干扰信号进行频谱分析的结果如图 5 所示。由图 5 可见,干扰信号的能量主要集中在周期为 185~195s(约 3min)的信号上,其对应的频率在地电场的观测频段之内。

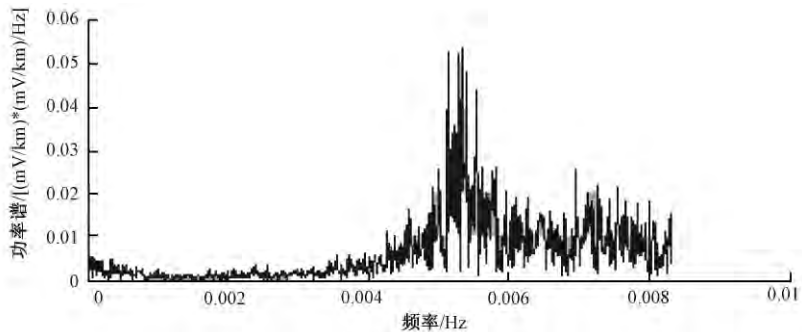


图 5 高邮地震台 2010 年 3 月 4 日地电场观测干扰信号频谱曲线

## 4 干扰源分析与测试

### 4.1 干扰源初步分析

在图 4 所示的扰动现象出现以后,台站按照地电观测规范的技术要求(杜学彬等,2006),多次对地电场观测装置(包括电极和外线路)进行检查,对观测仪器进行标定测试,检查和测试结果未发现观测系统中存在问题或故障现象。

分析观测数据发现,地电场 NS 和  $N45^{\circ}E$  测向的不同极距测道的观测数据变化具有显著的同向性、同步性和相关性,只是其中的干扰变化幅度不一,但比值近于常数。该现象说明,NS 和  $N45^{\circ}E$  测向记录到的这种干扰变化,可能来自于观测场地周边的近场地干扰。根据 NS 和 EW 方向扰动变化幅度的差别,在提取干扰信号的基础上,按照式(2)、(3)所示的矢量合成方法进行计算分析,可以初步确定干扰信号的优势方位角为  $N7^{\circ}E$ 。

### 4.2 干扰源模拟定位

在初步分析的基础上,为了进一步确定干扰源的位置,采用如图 6 所示的点源(干扰源)进行模拟分析。图 6 中, $OB_1$ 、 $OB_2$  为 NS 方向的 2 个测道, $OB_1$  为长极距测道、 $OB_2$  为短极距测道,电极极距分别为  $L_1$  和  $L_2$ ;  $Q$  为模拟干扰源,位于布极区的外部, $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$  分别为模拟干扰源到每个电极的距离。根据点电荷电势公式  $V_p = \frac{q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r}$  ( $q$  为点电荷源的电荷量; $r$  为测试点到点电荷源的距离; $\epsilon_r$  为电荷源所在介质的相对介电常数; $\epsilon_0$  为真空中的介电常数),可以推导出模拟干扰源到最近电极的距离  $r_3$ ,如式(4)所示。并按照图 6 中所示的几何关系,计算出距离其他电极的距离  $r_2$ 、 $r_3$  等。式(4)中, $K$  为长、短极距观测到的干扰幅度的比,其计算公式中, $E_s$  为短极距测道的干扰幅度, $E_l$  为长极距测道的干扰幅度; $\Delta L$  为距离模拟干扰源最近的 2 个电极之间的距离。

$$r_3 = \frac{K}{1-K} * \Delta L \quad (4)$$

其中

$$\Delta L = r_2 - r_3$$

$$K = \frac{E_s}{E_l}$$

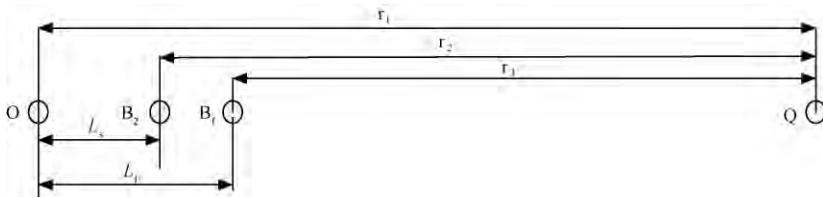


图 6 干扰源位置计算模拟分析示意图

选用 2009 年 10 月 ~ 2010 年 4 月间几次干扰幅度较大的数据,利用式(2)计算并取算术平均值。结果显示,干扰源可能位于距离  $B_1$  电极 946m 处。

### 4.3 干扰源测试定位

在上述模拟计算的基础上,利用地电场仪进行多测点观测分析,即在靠近理论干扰源的位置选择至少 3 个观测场地(本次测试地点分别为车逻镇初中、车逻镇小学和车逻镇高中)进行同步测试。每个场地选择中心点,用 GPS 记下点位置,并以中心点为参考,布设至少 2 个方向的测道,测试并获取每个方向上的地电场强度(含干扰电场)分量值。

由于测试点的地貌所限,测试方向不能完全按照正南北和正东西方向布设,实际如图 7 所示。图 7 为车逻镇小学测试装置布设示意图,由图 7 可见, $OB$  测道的电极极距为 83m,方向为  $N4.5^\circ W$ ;  $OA$  测道的电极极距为 41.4m,方向为  $W7.3^\circ N$ 。为了方便计算和分析,在获得各测试点的不同测道的地电场强分量值以后,按照式(5)、(6)可得到 NS 和 EW 两个方向上的干扰信号强度,利用式(2)、(3)推算出每个测试点所显示的干扰源所在位置的方位角。

$$E_{NS} = E_{OA} \sin(b) + E_{BO} \cos(a) \quad (5)$$

$$E_{EW} = E_{OA} \cos(b) + E_{BO} \sin(a) \quad (6)$$

根据上述 3 个测试点的测试和计算结果,分别绘出每个测点所反映出的干扰源的方位

角。然后从这 3 个观测场地的中心,按照计算获得的方位角画出 3 条直线,利用这 3 条直线的交汇点,即可估计出干扰源的位置。

由上述方法,测量得到的干扰源的位置在距离高邮地震台地电场观测区域中心点(O 点)1806m 处,与理论计算结果相差 550m,与最终找到的实际干扰源的位置相差 38.77m。测试定位精度明显高于模拟计算定位精度,其原因可能为模拟计算定位时,采用了理想化的点源模型,它与实际干扰源之间可能有比较大的差别。

#### 4.4 干扰源调查与处理

在上述分析和测试的基础上,通过实地调查、重点走访和有针对性的停电检测等方式,最终确定的干扰源为距离高邮台地电场观测区域中心点(O 点)约 2km 的某工厂的 1 台恒温设备发生故障,造成了大电流对地漏电。该恒温设备共有 24 根加热管,每根 1.8kW,总功率为 43.2kW,设备利用可控硅作为换能器件,通过调整可控硅的导通角,控制流过加热管的电流,达到温度控制的目的,其控温调整周期大约为 2min。检查中发现其中 1 根加热管与外壳短路,造成直接对地漏电,其漏电周期与地电场观测到的干扰信号周期基本一致。

分析其干扰机理认为,该干扰源可等效为如图 8 所示的偶极源。连接在该恒温设备上的三相交流电通过可控硅按三角形(三线)连接到负载(发热管),负载按星型连接(星型的中心不与电网中线连接),发热管的外壳接地。由于负载的中心连接点没有接到交流供电网的中线上,当发热管的某一部分与外壳短路时,其电流就会流入大地,通过电网变压器的接地点回到中线。此从加热管到变压器接地点的电流回路相当于 1 个典型的偶极源,在其周围形成比较强的干扰电场。在对该恒温设备进行维护以后,地电场观测数据中的干扰现象予以消除。

## 5 讨论与结论

地电场观测对象为地表天然电场及其随时间的变化。由工农业生产生活等产生的环境干扰因素,对地电场观测的影响日益严重,可能造成观测资料的大幅度扰动、突变和畸变等,并进一步影响到地电场观测资料的分析和应用等。因此,如何在观测过程中分析、测试、排查和处理环境干扰问题,已经显得越来越重要。

高邮地震台 2009 年 10 月~2010 年 5 月的地电场观测数据中,出现的大幅度不明原因

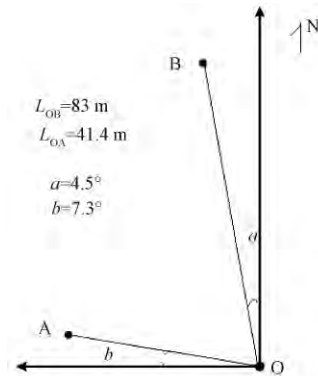


图 7 车逻镇小学测试装置布设示意图



图 8 偶极干扰源机理示意图

的干扰,经过初步分析、模拟分析、现场测试分析以及实际调查,最后确定为周边约 2km 处的某工厂的 1 台恒温设备故障对地漏电所致。经过对该恒温设备进行维护以后,该干扰现象被消除。

高邮地震台开展的这种干扰分析、测试、调查和处理方法,对地电场观测资料中的干扰分析处理及其他相关研究,具有一定的参考和借鉴意义。

### 参考文献

- 崔腾发、杜学彬、叶青等,2013,中国大陆经纬链地电场日变化,地球物理学报,56(7),2358~2368。
- 杜玮、杨建思、钱家栋等,2004《地震台站观测环境技术要求》宣贯教材(GB/T 19531.1 □ 19531.4-2004),83~145,北京:地震出版社。
- 杜学彬、席继楼、谭大诚等,2006,地震台站建设规范(地电台站)(DB/T18.2-2006)第2部分:地电场观测,北京:地震出版社。
- 杜学彬、叶青、赵杰等,2007,地电场日变化研究,地震,27(增刊),121~130。
- 傅承义、陈运泰、祁贵仲,1985,地球物理学基础,203~254,北京:科学出版社。
- 钱家栋、杨冬梅、熊仲华等,2010,地震电磁学理论基础与观测技术,222~239,北京:地震出版社。
- 孙正江、王华俊,1990,地电概论,3~95,北京:地震出版社。
- 叶青、杜学彬、周克昌等,2007,大地电场变化的频谱特征,地震学报,29(4),382~390。

## Analysis and experimental study of the environment interference in the geo-electric field observation

Jiang Yanlin Zhao Weihong Wang Fucai Zhang Qian Zhu Ye

Gaoyou Seismic Station, Earthquake Administration of Jiangsu Province, Gaoyou 225601, Jiangsu, China

**Abstract** The paper analyses and discusses a kind of large amplitude unexplained interference source that appeared in the geo-electric field observation in Gaoyou Seismic Station, during October 2009 to May 2010. After the preliminary analysis, the interference source simulation, the interference source test, and the interference source survey, the position of the interference source and the reason of the interference production were determined, and the interference phenomenon were screened finally.

**Key words:** Geo-electric field Environment disturbance Interference survey  
Elimination