

李伟、马钦忠、王冠玥 2014 地电场多极距观测装置的异常识别和分析,中国地震,30(1),91~101。

# 地电场多极距观测的异常识别和分析

李伟<sup>1)</sup> 马钦忠<sup>1)</sup> 王冠玥<sup>2)</sup>

1) 上海市地震局,上海市兰溪路 87 号 200062

2) 上海第二工业大学,上海 201209

**摘要** 以上海地区的 3 个地电场观测台站的资料为例,结合地电场多极距观测原理对地电场信号异常进行识别分析。结果表明,利用地电场多极距观测装置系统和分析方法可以有效识别并区分地电场观测中的电极极化干扰、雷击干扰、高压直流输电干扰、电离层扰动和自然电场异常等信号。

**关键词:** 地电场 干扰 自然电场 电离层扰动

[文章编号] 1001-4683(2014)01-091-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

对大地电场的观测和研究已有 100 多年的历史,早期主要是用于探矿和地球结构勘探,将其运用于地震前兆观测和研究则是在最近的 40 年(陈友发等,1999;孙正江,1999;郑兆苾等,2005)。20 世纪 80 年代以前,地电场观测采用的是单极距观测方式,该方式是测量某一方向上近地表两个电极之间的电位差。由于观测装置自身的原因致使观测数据中容易记录到大量干扰噪声导致有用信息无法识别,相关研究进展缓慢。1981 年希腊雅典大学的三位学者 Varotsos、Alexopoulous 和 Nomicos 提出了利用地震电信号及其选择性特征来预测地震的方法,并进行了震前地电场多极距观测研究(Varotsos et al,1984a、1984b),其后自 1988 年起他们多次公开发布预报意见,并报准几次 5~6 级地震。此后,地电场预报地震的问题在国际学术界引起了极大的反响(钱复业等,2005)。所谓多极距观测其实质是在同一方向上同时布设不同极距的电极,这样形成的偶极电极可以测量出不同极距之间的电位差,这种电位差异反映了测区内地电场的差异。通过该方法可以区分出电极极化及测区内外扰动等的干扰信号,使得对噪声的识别水平大为提高,从而为确定地震电信号提供了判别依据(Varotsos et al,1984b、1991)。我国早在 1968 年河北香河群测点开展了“土地电”观测,其所测信号的物理量与“VAN”的观测量类似(钱复业等,2005)。目前全国已建成并正在运行的数字化地电场观测台站有 100 多个。另外采用多极距观测的形式与以往单极距观测也大不相同。多极距观测在很大程度上提升了地电场观测系统对噪声的识别能力,但由于目前

[收稿日期] 2013-08-07; [修定日期] 2013-12-19

[项目类别] 地震科技星火计划(XH12016)及上海市科研计划项目(12231202700)共同资助

[作者简介] 李伟,男,生于 1979 年,理学硕士,助理研究员,主要从事地震电磁学、地震预报等研究。

Email: wli136@126.com

噪声来源及其多样性,给观测数据的异常识别带来了很大不便。本文就以上海及周边地区的地电场观测数据为例,对地电场多极距观测装置系统的观测数据进行属性分析,并对异常数据的识别进行分析。

### 1 观测原理介绍

1984 年希腊雅典大学的“VAN”小组发表文章指出地震前地电场会发生变化。他们利用多极距装置对地电场开展观测,其中多极距观测系统主要是在 NS 向和 EW 向分别布设多组具有不同极距的电极,通过分析在同一方向上不同偶极距之间地电场分量的差异来分析测区附近干扰对地电场观测的影响。电极布设及观测原理如图 1 所示,图中在某一方向上布设了长极距 A、B,并在同一方向上再布设短极距 A'和 B',其中 A、B 和 A'、B'分别为一对偶电极。这样偶电极与地面形成了回路,就可同一方向上观测到 A、B 和 A'、B'之间的电位差,而不同的电位差与相应观测距离之间的比值正好描述了该方位上不同观测距离之间的电场强度 E(马钦忠等,2004)。计算公式如下:

$$E_{AB} = (V_A - V_B) / L_{AB} \tag{1}$$

$$E_{A'B'} = (V_{A'} - V_{B'}) / L_{A'B'} \tag{2}$$

$$V_{o_i} \propto 1/r_{o_{ij}} \quad i = 1, 2; j = A, B \tag{3}$$

其中  $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_{A'}$  和  $V_{B'}$  分别表示各电极埋设点的电位,  $L_{AB}$  和  $L_{A'B'}$  分别表示偶极距之间的长。由信号源产生的电位  $V$  会随到观测点距离  $r$  的增大而减小,对于观测台站,不同距离的信号源对多极距观测系统中各个电极的电位变化影响也不同。对于远源场而言,其场源到观测点的距离足够长,以至于场源对观测系统中不同电极所产生的电位差异可以忽略,而相对于近源场,因其对观测系统产生的电位差异较大而不能忽略。这样来自台站测区及测区周围的噪声如电极极化、降雨干扰和雷电等干扰就可以通过该系统区分开来,而来自远场的扰动则可以通过分析不同方向的观测或不同台站的资料进行区分。

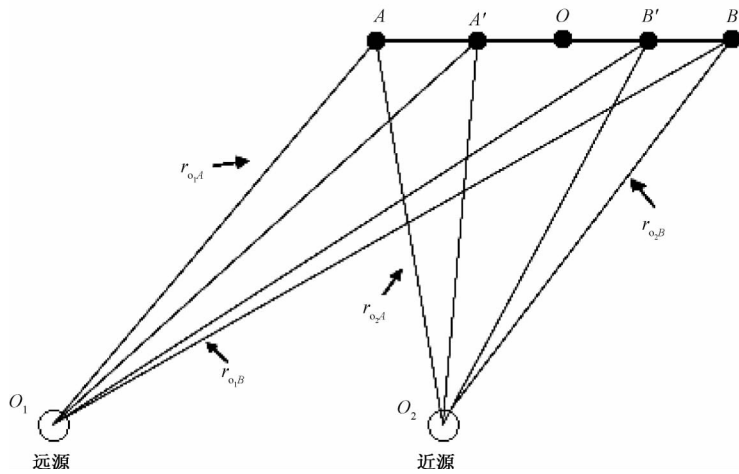


图 1 长、短电极距比较示意图(马钦忠,2008)

## 2 观测台站布极

自从国家“十五”计划以来,全国已建成了由 100 多个数字化台站组成的地电场观测网。目前上海地区共有 4 个地电场观测台,采用的观测仪器为 ZD9A-II 型大地电场仪,该仪器采用六通道观测,测量分辨率优于  $10\mu\text{V}$ ,频带范围为 DC-0.005Hz,这一指标决定了该设备主要采集电场中的直流信号。本文主要是运用地电场多极距观测装置对地电场观测的异常情况进行区分和对比分析,选取的观测台站则是在日常工作中运用较多和相对熟悉的青浦台、崇明台和崇明长江农场台,而浦东张江台由于受地铁干扰严重,故不参与对比分析。所选台站的布极方式及极距参数如图 2 所示。青浦台采用“十”字型布极,崇明台和长江农场台采用“L”形布极,其中崇明台和长江农场台的布极点“A”处,同时布设有两个电极,为南北向和东西向长、短极距的共用电极。电极均采用不极化电极,按照观测技术规范与实地情况埋深约 1m(中国地震局,2001)。

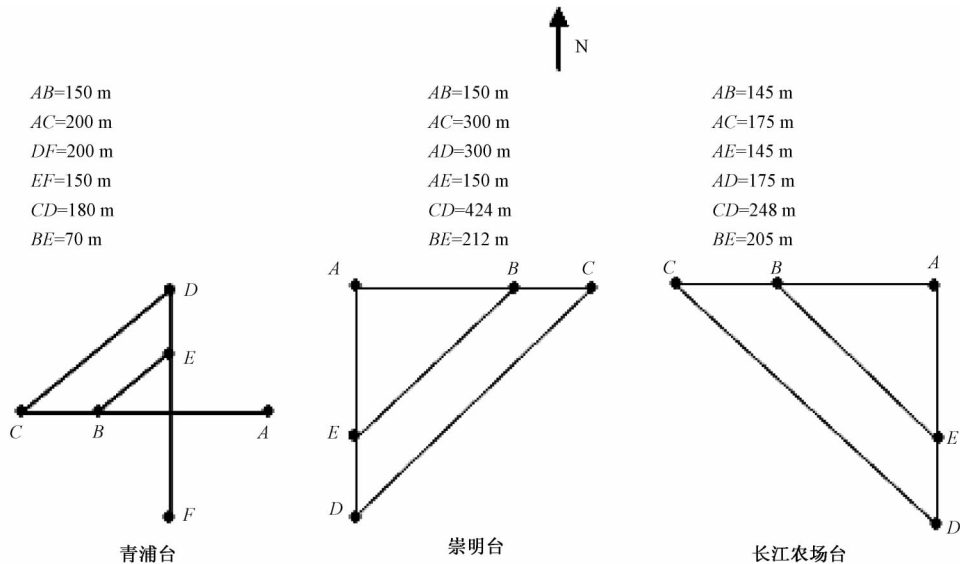


图 2 台站电极布设示意图

## 3 异常资料分析

地电场是由固体地球内部和外部的各种非人工电流体系与地球介质相互作用在地球表面所产生的电场。地电场包括大地电场和自然电场(钱家栋等,2004)。大地电场是指全球性或区域性的地电场,其场源来自地球外部电离层中的各种电流体系。自然电场是局部性相对稳定变化的电场,场源来自于地下介质的物理化学反应引起的正负电荷分离而产生的电效应(钱家栋,2010)。由于大地电场场源的空间尺度要比自然电场大,所以影响范围也比自然电场大,而自然电场主要影响局部区域。地电场是地球介质中的矢量场,其在地球表面的投影可作为平面矢量。在地电场观测中,一般在南北方向和东西方向上各布设一对电极来接收电场信号,用同一方向上电极的电位差与电极间距离的比作为电场在该方向上分

量的度量(马钦忠 2008)。在实际运用中,可通过不同方向上观测到的电场分量合成电场极化方位用以判断异常信号方向(李伟等 2013)。

在实际工作中,往往会把一些干扰当成是地震前兆异常信号,而在看到真实的地震异常信号时又不能确定。主要原因还是对地电场观测信号的物理意义理解不够,没有从异常信号产生的原理分析观测信号发生变化的根本原因。

### 3.1 电极极化干扰

电极极化引起的变化是地电场观测中较为常见的异常,该异常主要是由于铅电极的离子  $Pb^{2+}$  进入到土壤中,由于铅离子本身带正电而产生极化电位,使得监测点的电位发生变化而干扰观测(席继楼等,2008)。目前观测用电极虽然是不极化电极(实际上是“微极化”),但是在埋入地下使用一段时间后,也会发生电极极化,产生极化电位。由于  $Pb^{2+}$  的浓度会随着温度、地下水位和土壤介质的差异而不同,所以电极极化的差异随季节变化,对不同测项其变化形态也不同,这些差异常常给数据分析带来困难。在地电场多极距装置中可以通过分析各个电极之间的电位差异来判定是电极极化干扰还是前兆异常。图3给出了青浦台在2010年1月21日的地电场观测曲线,在2007年安装运行3年后,6个观测电极都出现了不同程度的电极极化现象,此时各观测曲线之间的相关性较差。

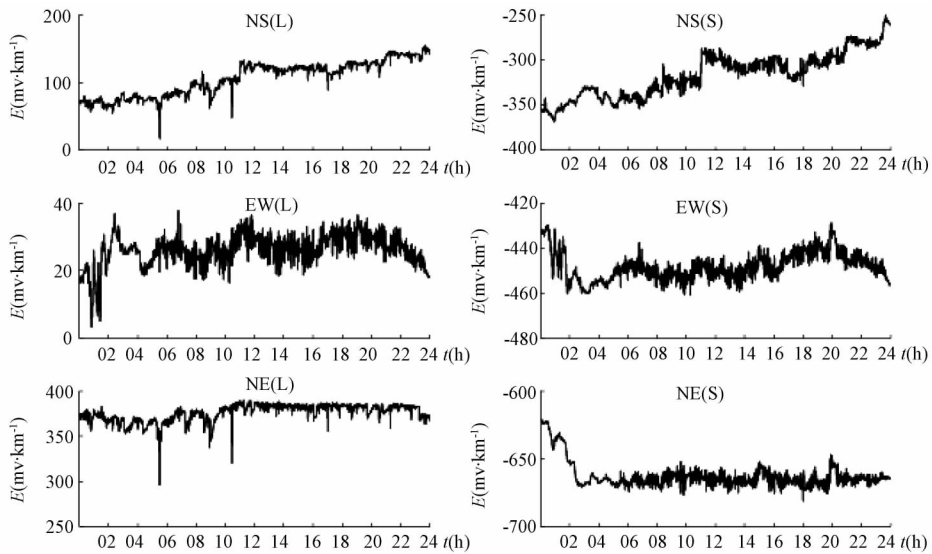


图3 2010年1月21日青浦台观测曲线

从图3中可以看出,在不同测向上有较为明显的电极极化干扰现象。在0~2时,地电场数据在东西向的长极距与短极距测项上同时出现了异常扰动而其他测项上并无类似的异常扰动。东西向观测在东向采用的是共用电极,由此可以判断该异常扰动是由东向电极即图2中青浦台“A”处的电极出现极化造成的。对比6个测项上的观测曲线,发现在0~2时东西向长、短极距观测的突跳现象比较明显,这与A处的电极极化有关。图3中,南北向长极距和北东向长极距的观测曲线在5~6时和10~11时同时出现了突跳,其余4个测项上并未出现异常,由此可以判断在青浦台的北向电极即图2中“D”处出现了极化。这两道观

测曲线在 24h 内, 类似的突跳比较频繁且振幅较小。

在地电场观测中, 电极极化常常使得地电场表现出不均匀性, 而正常的地电场变化不具备这种局部的不均匀性, 从观测数据出发, 对观测装置进行分析就可果断排除电极极化对异常识别的干扰。

### 3.2 雷击干扰异常

雷击干扰在地电场观测中是比较常见的异常现象, 雷击干扰能使地电场观测出现异常突跳, 给地电场观测数据分析带来误判。雷击干扰主要是因闪电电流直接注入地下, 使得观测点的电位升高, 在一定观测时间内造成观测曲线突跳, 而后恢复正常。

图 4 中, 在 15 ~ 16 时观测曲线出现突跳, 持续约 9min。对突跳数据进行分析后可知, 该雷击干扰在东西测向上的差异不大, 而在南北向的差异较大, 长极距两电极间电位差为 51mv, 而短极距两电极间电位差为 77mv。由此可以判断雷击位置离台站相对较近, 符合近源场扰动的观测特性。区分雷击干扰异常主要靠台站观测人员对台站天气变化的记录, 对于无人值守台站由于雷击干扰满足一定的均匀性, 且同步性较好, 通过单台多极距观测装置要对其进行区分有一定难度。雷击干扰一般具备近源场特性, 且影响距离有限, 可通过多个台站的资料对比将其与其它扰动区分开。

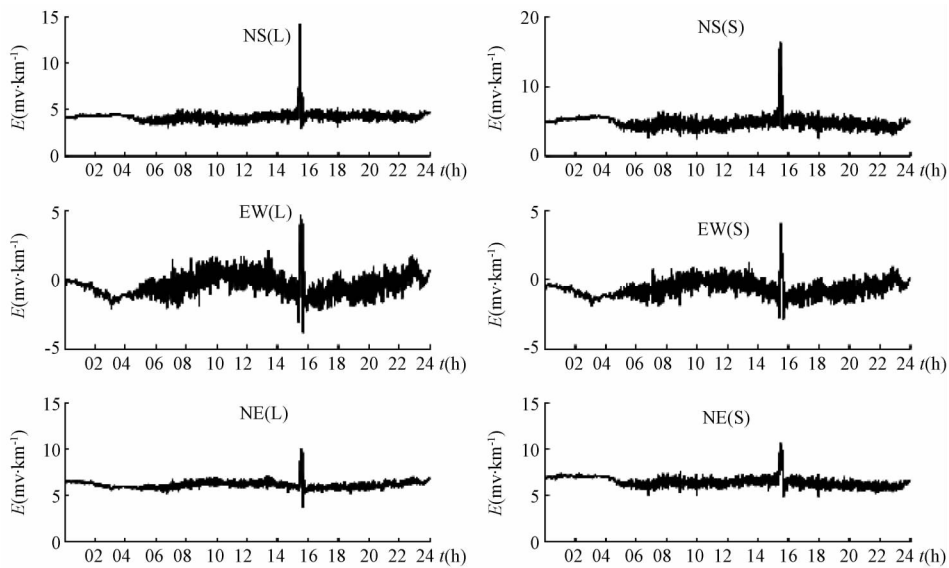


图 4 2010 年 11 月 30 日青浦台观测曲线

### 3.3 高压直流输电干扰

高压直流输电在近年发展较快, 目前已投运的高压直流输电系统中, 接地极不仅起到钳制中性点电位的作用, 而且还为直流电流提供通路(张震, 2012)。当直流输电以大地为回路时, 电流将由作为阳极运行的接地极流入土壤, 经作为阴极运行的接地极流回线路。当在直流输电系统调试或发生故障时, 此时接地极以单极形式运转, 较大的直流电流流入大地(徐韬等, 2012; 祝志祥等, 2012)。流入大地的电流对地电场台站的观测数据质量造成严重

的影响,甚至可以产生类似前兆异常的扰动,给数据分析带来困难。从目前的观测数据来看,直流输电入地电流的干扰可以影响到距接地极约 500km 远的地电场观测台站。由于电流在传输过程中的衰减变化,使得不同台站观测到的曲线在形态上产生畸变,干扰异常判断。

图 5 中 崇明台和长江农场台在 2012 年 4 月 10 日 15 ~ 17 时同时记录到了异常扰动波形,如果只分析两个台站的数据,从扰动的一致性、均匀性和区域性来看,很可能认为该异常是一次自然电场异常事件,可能会判定为地震前兆,但对青浦台数据分析后可知,该异常扰动是高压直流输电调试产生的扰动。调查后认为该异常扰动为青浦台东南偏南方向的青浦区白鹤变电站(距离约 16km)放电干扰。分析同一时段的数据得到,青浦台地电场扰动振

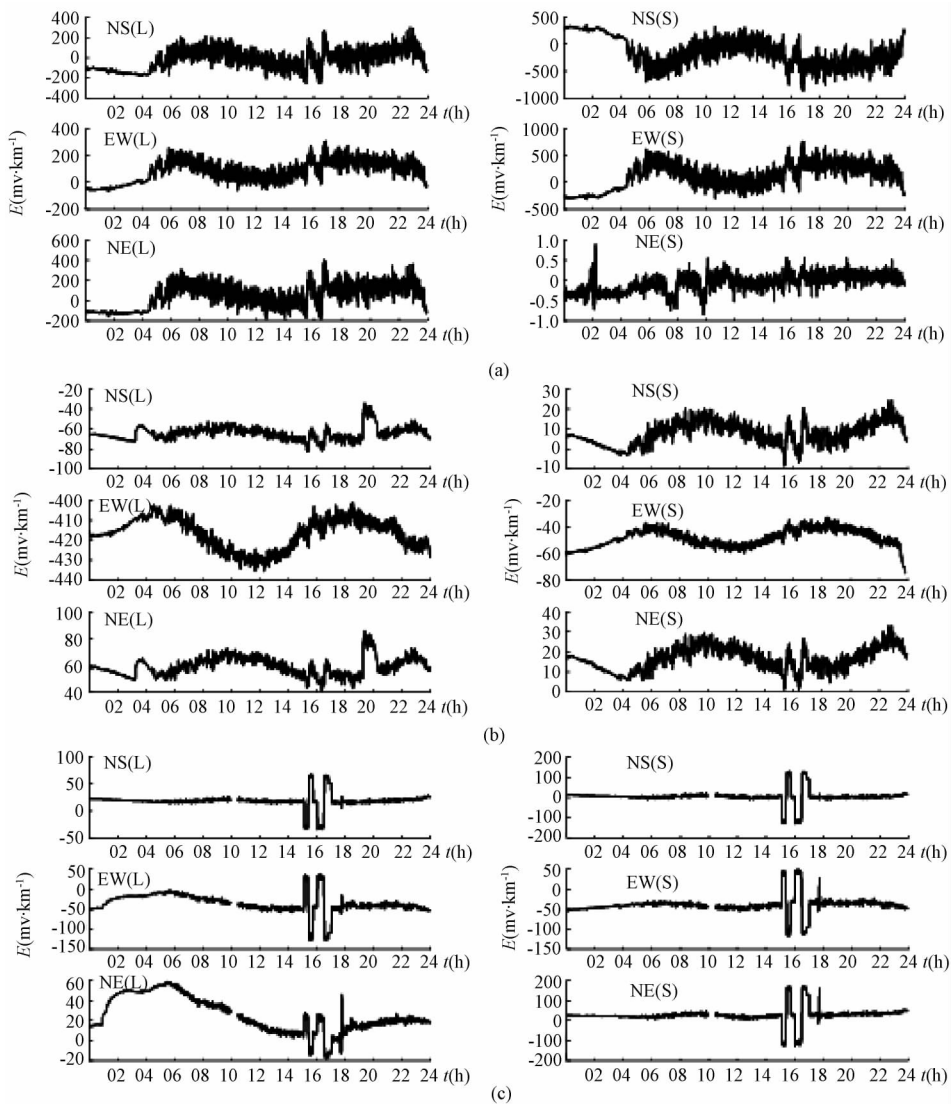


图 5 2012 年 4 月 10 日崇明台 (a)、长江农场台 (b) 和青浦台 (c) 地电场观测曲线

幅在南北向长、短极距的电位差分别为 477.13mv 和 1637.27mv; 在东西向长短极距的电位差分别为 774.55mv 和 1009.29mv。南北向和东西向长、短极距电位差存在明显的差异,且短极距电位差值均大于长极距电位差值,这说明该扰动相对于青浦台为近源场扰动。

### 3.4 电离层扰动干扰与自然电场异常

引起电离层扰动的因素很多,如太阳活动时产生的耀斑、黑子等,而地磁活动也能引起电离层扰动,其特点是具有全球性,并且持续时间较长。在大气活动剧烈的情况下也会引起电离层扰动(刘依谋等,2006)。对于地电场观测,这些因素的存在常常给观测数据异常的判断增加难度。对于单台地电场多极距装置观测系统,当扰动场源在影响观测范围内满足一定的均匀性和同步性时,要区分其为干扰或是地震前兆异常是比较困难的。在这种情况下只有通过多个台站,甚至要利用空间距离较大的台站的数据对比才能进行区分。在一般情况下由电离层扰动产生的干扰范围较大,影响面较广,目前全国大部分的地电场观测台站在同一时间都能观测到由其引起的异常扰动。电离层扰动的这一特点使得区分地电场观测中的电离层扰动干扰和自然电场异常成为可能。自然电场场源主要来自于地壳浅层,其影响的空间范围要明显小于电离层扰动干扰。大量的研究表明,自然电场异常对地震预测研究有重要意义(毛桐恩等,1999;赵玉林等,1981;钱复业等,1998;马钦忠等,2004;Varotsos et al,1993、2005;Varotsos,2005)。

图 6 为崇明台、长江农场台和青浦台在 2012 年 3 月 12 日记录到的一次电离层扰动事件,持续时间从 17 时至 21 时,约 4 小时。全国大部分的地电场台都能观测到此次扰动干扰。对于电离层扰动干扰,可以从以下 3 个方面进行区分:①对比分析全国其它相隔较远的台站是否在同一时段有类似扰动存在,由于各个台站的地下电性结构存在差异,多极距装置的布极方式不同,建议选取较多的台站进行比对;②查看地磁台站  $H$  分量的观测数据,如果该分量在同一时段内存在扰动即可认定为电离层扰动干扰,此时需注意地磁观测中世界时与地方时的区分;③查看扰动持续时间,如果扰动持续时间较长则为电离层扰动的可能性较大,但该项指标只能用于初步判断。

自然电场异常是地电场观测中研究地震前兆的重要内容之一。捕捉自然电场异常信号可以为地震预测提供重要依据。图 7 是一组地电场自然电场异常变化曲线。异常信号产生时间是 2012 年 4 月 27 日 0~3 时,曲线形态为 4 组正向脉冲信号。依上述分析,可以排除该扰动为电极极化干扰、雷击干扰和高压直流输电干扰的可能。通过对上海周边地电场台站如南京台、海安台、高邮台的数据分析后得出,该扰动现象并未在上述台站出现,所以该扰动不是电离层扰动干扰,且扰动的时段在深夜,此时发生电离层扰动干扰的可能性不大。通过对崇明台同时段的地磁  $H$  分量数据分析,该项观测并未出现类似扰动现象。在排除上述扰动可能性及地铁干扰、工业游离电流干扰和降水干扰的情况下,引起该扰动唯一的可能即为自然电场异常。地电场信号在该观测区域内的 3 个台站各台 6 个测项分量上整体表现出同步性和均匀性,但对于局地各观测台站的干扰幅度大小及扰动形态又表现出似同步性和非均匀性。崇明台的扰动幅度最大,约为 120mv/km;长江农场台扰动幅度约为 7mv/km;青浦台扰动幅度最小,为 3mv/km。3 个台站接收到的扰动能量并不均衡,这有可能说明该信号源的位置对于 3 个台站的距离和方位各不相同。另外,由于各台站地下电性介质的差异及其布极方式、极距长短各异,对于接收强度不高的信号容易在观测曲线形态、扰动振幅和

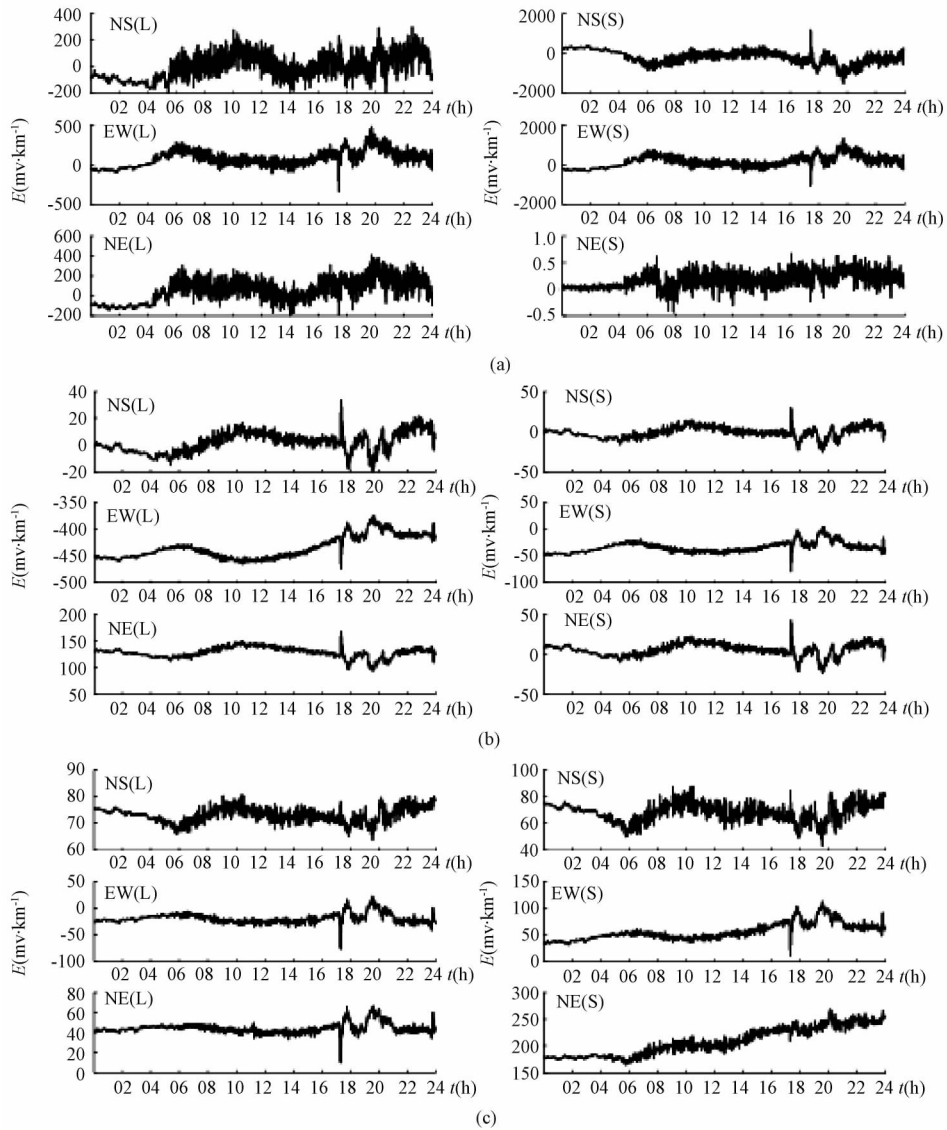


图6 2012年3月12日崇明台(a)、长江农场台(b)和青浦台(c)地电场观测曲线

位相变化上产生差异。

## 4 认识

本文通过分析地电场异常变化的原因,区分不同扰动源对地电场多极距观测系统的影响表现,并分析不同地电场扰动数据的特性,得到了以下初步认识:

(1) 地电场多极距观测装置通过区分不同电极之间的电位变化,大致可以识别出大多数在观测场地内或是台站附近发生的异常扰动,如电极极化干扰、雷击干扰、测区内外生产作业等对地电场观测的干扰,并可以对扰动源的位置进行相对分析,以判断扰动源距观测台站的远、近程度,为识别扰动信号的属性提供依据。



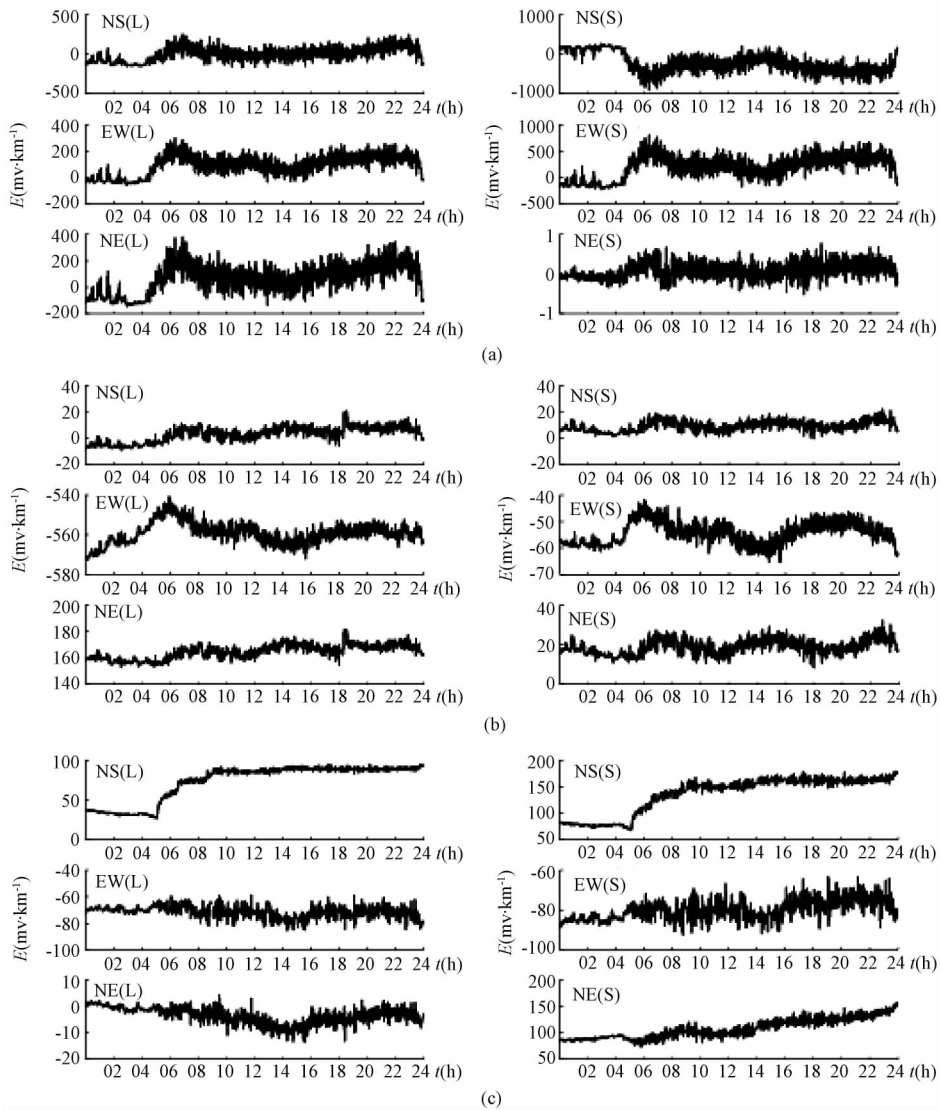


图7 2012年4月27日崇明台(a)、长江农场台(b)和青浦台(c)地电场观测曲线

(2) 高压直流输电对地电场观测存在不同程度的干扰,离高压直流输电入地电极较远的观测台站,由于放电信号在传播过程中衰减,可能发生异变,这种信号的影响区域要远小于电离层扰动,如果对场源认识不足很可能认为是自然电场异常信号。

(3) 对不同区域多台间的资料作对比分析可区分电离层扰动与自然电场异常信号。对于单个台站观测而言,自然电场异常在6个测项分量上具有同步性和均匀性,而利用多个台站的观测资料比对,由于场源位置及台站地下电性结构的差异,台站间观测曲线在位相变化、曲线形态和扰动振幅上有较大差别。

地电场多极距观测在设置上增加的测项分量,实质上是增加了对异常信号的判断机会,从原来的单极距信息变为多极距信息,增加的不仅仅是测项分量和数据,而是更利于对地电

场扰动变化机理的分析。本文主要对在工作中容易导致错误判断的异常扰动进行了分析,不足之处敬请谅解。

## 参考文献

- 陈友发、马钦忠、张杰等,1999,震前大地电场的前兆及其机理,高原地震,11(3),1~8。
- 李伟、马钦忠、宋志平等,2013,小波变换在地电场数据分析中的应用,地震学报,35(1),26~35。
- 刘依谋、王劲松、肖佐等,2006,台风影响电离层F2区的一种可能机制,空间科学学报,26(2),92~97。
- 马钦忠,2008,地电场多极距观测装置系统与文安M<sub>s</sub>5.1地震前首都圈地电场异常研究,地震学报,30(6),615~625。
- 马钦忠、冯志生、宋治平等,2004,崇明与南京台震前地电场变化异常分析,地震学报,26(3):304~312。
- 毛桐恩、席继楼、王燕琼等,1999,地震过程中的大地电场变化特征,地球物理学报,42(4),519~528。
- 钱家栋,2010,地震电磁学理论基础与观测技术,222~239,北京:地震出版社。
- 钱复业、赵玉林,2005,地电场短临预报方法研究,地震,25(2),33~40。
- 钱复业、赵玉林、卢军等,1998,孔压弱化失稳的系统辨识及大地电场短临前兆,地震地电学发展与展望,151~155,兰州:兰州大学出版社。
- 钱家栋、顾左文、赵家骊等,2004,GB/T19531.2-2004,地震台站观测技术要求(第2部分:电磁观测),地震台站观测环境技术要求,14~29,北京:中国标准化出版社。
- 孙正江,1990,地电概论,3~90,北京:地震出版社。
- 席继楼、韩润泉、邱颖等,2008,电极极化电位对地电场观测影响研究,地震地磁观测与研究,29(6),22~26。
- 徐韬、徐政、张哲任等,2012,特高压直流输电圆环型接地极电流场计算,高压电技术,30(6),1445~1449。
- 中国地震局,2001,地震及前兆数字观测技术规范,47~54,北京:地震出版社。
- 张震,2012,特高压直流输电持续单极运行时接地极对地表温升的影响,华东电力,40(6),1042~1044。
- 郑兆蕊、汪雪泉,2005,蒙城台地电场资料分析,地震,25(2),41~47。
- 祝志祥、韩钰、惠娜等,2012,高压直流输电接地极材料的应用现状与发展,华东电力,40(6),265~269。
- 赵玉林、钱复业,1981,大地电场的临震周期,地震,3(2),13~16。
- Varotsos P, Alexopoulous K, 1984a, Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes, I, Tectonophysics, 110, 73~98.
- Varotsos P, Alexopoulous K, 1984b, Physical properties of the electric field of the earth preceding earthquakes, II. Determination of epicenter and magnitude, Tectonophysics, 110, 99~125.
- Varotsos P, Lazaridou M, 1991, Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, Tectonophysics, 188, 321~347.
- Varotsos P, Alexopoulos K, Lazaridou M, 1993, Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, II, Tectonophysics, 224, 1~37.
- Varotsos P, Sarlis N, Skordas E et al, Lazaridou M, 2005, Additional evidence on some relationship between seismic electric signals and earthquake source parameters, ACTC Geophysica Polonica, 53(3), 293~298.
- Varotsos P A, 2005, The Physics of Seismic Electric Signals, Tokyo: Terra Scientific Publ Co: 388.

## Abnormal signal recognition by multi-dipole observation of geoelectric field

*Li Wei*<sup>1)</sup> *Ma Qinzong*<sup>1)</sup> *Wang Guanyue*<sup>2)</sup>

1) Earthquake Administration of Shanghai Municipality , Shanghai 200062 , China

2) Shanghai Second Polytechnic University , Shanghai 201209 , China

**Abstract** In this paper , the abnormal variations of geoelectric field observed at three stations in the Shanghai area are studied by the principle of multi-dipole observation system of geoelectric field , and the different types of interference of geoelectric field are distinguished. The results show that the multi-dipole observation system of geoelectric field and the analysis method can effectively recognize the abnormal signal of Electrode polarization interference , Lightning interference , HVDC transmission interference , ionospheric disturbances , and abnormalities of spontaneous electric field.

**Key words:** Geoelectric field Interference Spontaneous Electric field ionospheric disturbances