第 26 卷 第 3 期
2004 年 5 月 (304～312)

地 震 学 报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA

Vol. 26, No. 3
May, 2004

文章编号: 0253-3782(2004)03-0304-09

崇明与南京台震前地电场变化异常分析*

马钦忠[1)] 冯志生[2)] 宋治平[1)] 赵卫国[3)]

1) 中国上海 200062 上海市地震局
2) 中国南京 210014 江苏省地震局
3) 中国甘肃文县 746400 甘肃省文县地震局

摘要 2001 年 11 月 3 日和 12 月 25 日江苏南通地区分别发生了 M_L3.8 和 M_L4.1 的地震群事件. 本文以上海崇明地电场台和南京地电场台 ZD9A 大地电场仪的观测资料为研究对象，在阐述了多极距地电场观测去噪音原理的基础上，研究了这两个台站地电场多极距观测系统的资料在震前的异常变化特征. 结果表明：① 多极距观测去噪音方法是一种很好的识别地电场噪音的方法；② 在震前 20 天、2 天及 42 天离震中较近的崇明台 NS 和 NE 方向上分别接收到了地震电信号，其持续时间最长的为 9 天，而较远的南京台出现的异常信号都是噪音信号而非地震电信号；③ 地电场多极距观测系统中公用电极的布极方式是不可取的.

关键词 地震 地电场 多极距观测 去噪音方法
中图分类号: P319.1 **文献标识码:** A

引言

作为地球固有物理场之一的地电场，其受控于地球外部的各种电流体系和地球内部的介质电性性质及地下电流源，并携带了大量的地球内部信息. 到目前为止，国内外学者对地电场进行了许多观测与研究，有关地电场对地震预报方面的应用与研究不少文献中已有介绍(赵玉林，钱复业，1981；Varotsos *et al*，Varotsos，Alexopoulous，1984a，b；Kinoshita *et al*，1989). 早期地电场观测研究积累了大量震例，但这些震前地电场观测中所记录到的地电场变化的特征都无法回避这样一个事实，即无法分辨出电极极化噪音、降雨引起的噪音、每日温度变化引起的噪音、人为噪音等. 所以，对于所记录到的震前地电场变化形态及其特征的分析就出现了许多仁者见仁、智者见智的经验性认识. 20 世纪 80 年代初我国的地电场观测(当时称土地电)之所以被废除，其主要原因就是使用的铅电极在当作地电流接收装置的同时，又因电极电位的极差变化大而成为地电流的发射装置，因而观测量中有许多变化成分不是地电场物理量，而是金属电极的化学电位变化所致，所以也就无法从观测资料中分辨出有用信息. 与此同时，希腊的“VAN”小组进行的震前地电场观测研究采用了多道电极距布极的方法和研制应用了不极化电极，从而使震前地电场观测中识别各类噪音的水平有了很大的提高.

我国近年来由于 ZD9A 大地电场仪研制的成功和不极化电极研制的成功和应用，以及

* 地震科学联合基金(102080)和国家“十五”科技攻关项目(2001BA601B01-04-02)共同资助.
2003-01-27 收到初稿，2003-09-01 收到修改稿，2003-09-22 决定采用.

http://www.dizhenxb.org.cn

布设电极采用多极距的布极方式等，使地电场观测资料的质量和应用价值有了很大提高. 新的布极方式和高质量的观测资料为探寻地震前地电场前兆异常变化的信息，提供了比以往更具有可靠性的依据. 今后将有更多的 ZD9A 大地电场仪投入安装运行，对一些重点监视区进行监测. 因而，怎样识别地电场观测资料中的噪音信号，研究探索地电场观测资料中震前变化的特征也就具有十分重要的意义. 目前在我国的地电场研究中尚缺乏对同方向多极距观测研究价值的认识及震例资料的积累，本文正是在这种背景下进行的有关研究.

1　多极距地电场观测去噪音原理

地电场主要包括大地电场、自然电场、电极极化电场等. 大地电场由于场源是天电(电离层、磁层、对流层的电流系等)，所以分布于整个地表或广大地区. 自然电场场源来自地球内部，它既受源的控制，又受局部地质构造、岩层电性的影响，所以它的强度和分布很容易因环境变化而发生改变. 电极极化电场则分布在电极附近的地下局部区域. 多数学者认为，与地震有关的自然电位异常是因为在孕震体及其周围受统一应力场变化的影响，地下流体的冲流、过滤、定向作用使自然电位出现异常. 利用多极距地电场观测来排除观测站附近噪音的方法，1982 年始于希腊雅典大学“VAN”小组(Varotsos，Alexopoulous，1984a). 其方法是在 EW 方向和 NS 方向布设多道长、短不一的电极距(图 1a). 当来自台站附近的噪音，如电极极化噪音、降雨引起的台站附近地下介质电性局部不均匀性的噪音、温度变化引起的噪音、人为噪音的干扰噪音等在不同长、短极距上都会记录到，但这些噪音在同方向不同长、短的极距上所呈现的信号形态特征是不同的；而大地磁场的感应电场会在所有台站的长、短极距上同时被记录到. 根据上述这些特点，我们就可识别出这些噪音信号. 例如，在图 1b 所示的长极距 AB 和短极距 $A'B'$ 上，长极距上所观测到的电场强度为 E_{AB}，短极距上所观测到的电场强度分量为 $E_{A'B'}$. 其表达式如下：

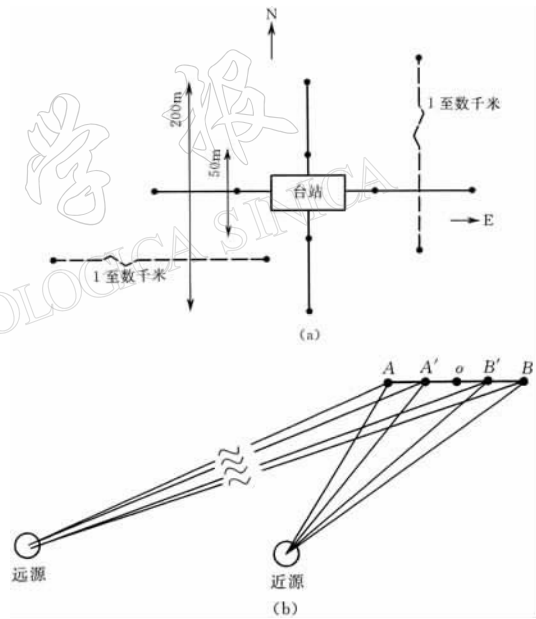

图 1　(a) 台站电极布设示意图；
(b) 长、短电极距的比较示意图

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

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

$$V_i \propto \frac{1}{r} \qquad i = A,\ B,\ A',\ B' \tag{3}$$

其中，V_A，V_B，$V_{A'}$，$V_{B'}$ 分别表示各点 A，B，A'，B' 的电位；L_{AB}，$L_{A'B'}$ 分别表示相应的电极长度；r 为观测点到地电场信号源点的距离. 当来自近处信号源的信息被观测到时，由于电位 V 与距离 r 存在着 $V \propto (1/r)$ 的关系，即各点的电位与该点距信号源的距离成反比，所

以各点的电位相差就较明显，故长电极距 AB 观测到的电场强度 E_{AB} 与短电极距 $A'B'$ 观测到的电场强度 $E_{A'B'}$ 会相差很大，从而在观测曲线形态上会表现出较大的差别；电极化引起的曲线变化形态在长、短极距上则差别更明显．而来自远处的地下电信号在观测站长、短电极处所产生的电位 V_A，V_B，$V_{A'}$，$V_{B'}$ 变化相差不大，长电极距上的电场强度与短电极距上的电场强度差别就更小，故只有来自距离台站远处的地电信号源的信息被观测到时，在长电极距和短电极距上观测到的电场强度 E_{AB} 和 $E_{A'B'}$ 的曲线形态才是一致的．因此，来自震源区的地电信号在长、短极距上就会表现出相同的特征．如果是来自远处的噪音源的信号，则可用更长的电极距观测来排除，其识别特征是长电极距上记录到的地电信号与短电极距上记录到的地电信号极化方向相反(Varotsos，Lazaridou，1991)．目前，国内建立 ZD9A 大地电场仪的台站尚未布设足够长的长电极距，如超过 1 km 以上的长极距．因此，今后建立地电场观测台站时，在台站电极的布极方面值得进一步考虑．

2 地震前地电场前兆信号特征

2001 年 11 月 3 日江苏常熟张家港发生了由 90 余次小震组成的小震群，其震级最大为 M_L3.8，南通、张家港、常熟有感．2001 年 12 月 25 日江苏南通又发生了 M_L4.1 地震．距离这两次地震震中区周围有两个地电场台站，一个是位于该震中区以东约 80 km 处长江入海口处的上海市崇明地电场观测站；另一个是位于该震中区以西约 120 km 处的南京地电场观测站，如图 2 所示．图 3 为崇明台和南京台电极布设图，其中南京台电极 $E(S)$ 与 $E'(S')$ 为一共用电极．本研究在观测资料处理中，对每一条曲线进行了归一化处理，其目的是消除各个电极与土壤间的电极电位的差别，并对同方向上长、短极距的曲线进行了形态对比分析，但没有进行逐点的数字对比，这是因为目前所运行的 ZD9A 大地电场仪在同方向每个测道上的初始值设置是不一样的，且每个电极的长期稳定性也不尽相同．

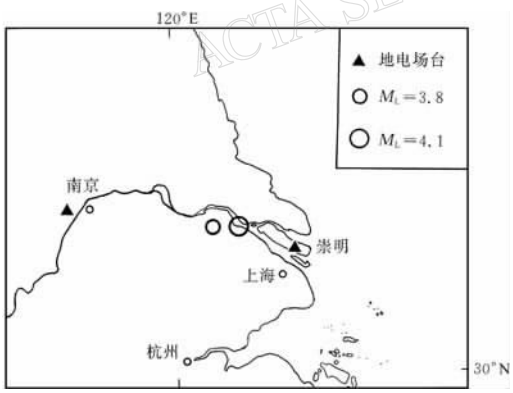

图 2 南通地震及附近地电场台分布示意图

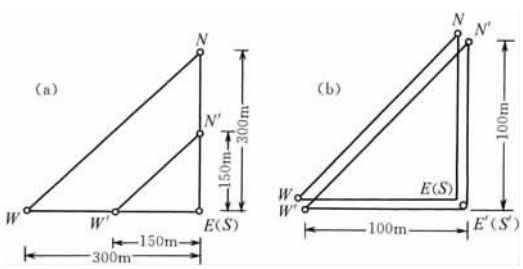

图 3 (a) 崇明台电极布设图；
(b) 南京台电极布设图

在上述两次地震前约一个月的时间内，崇明地电场台站记录到了异常信号．图 4 所示的是崇明大地电场仪于 2001 年 8～12 月的时均值观测曲线．图中上两条曲线(NS(1)，NS(2))是南北方向上的长、短极距观测曲线；下两条曲线(NE(1)，NE(2))是北东方向上的长、短极距观测曲线．在南北方向上，8 月 4 日在短极距观测曲线中出现较大的异常信号，

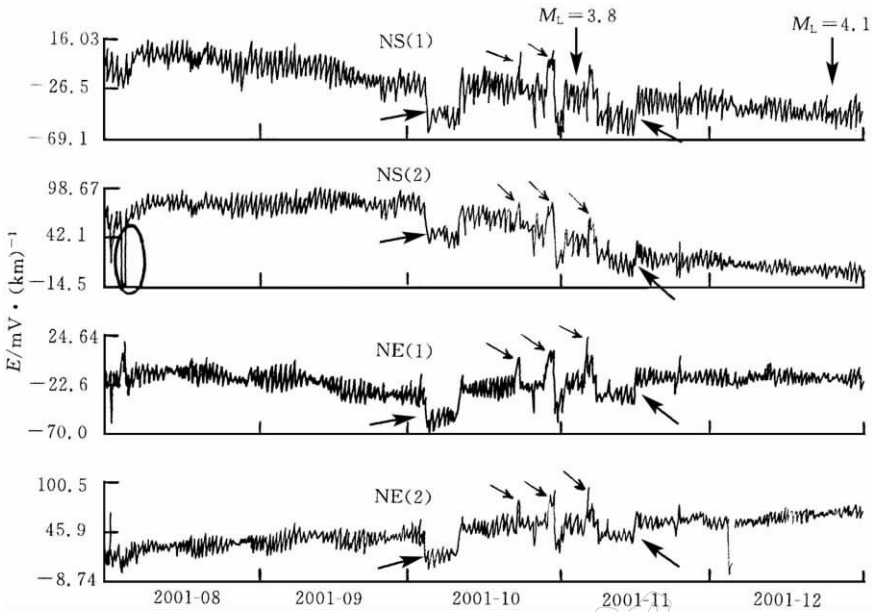

图 4　南通地震前崇明地电场台观测时均值异常曲线

图中(1) 表示长极距，(2) 表示短极距

异常幅度达 56 mV/km(图 4 圆圈中的信号)；而长极距上则没有出现. 与此同时，在北东向和东西向的长、短极距上均没有出现异常信号(由于 EW(1)和 EW(2)没有异常，故图中没有给出). 这说明该异常信号是来自附近的信号源，也可能是电极噪音信号. 2001 年 10 月 4～11 日崇明台南北方向和北东方向的长、短电极距时均值曲线上出现了较大的异常信号(图 4 中水平粗箭头所示)，异常幅度达 28.8 mV/km；而在东西方向上长、短电极距上则没有出现. 2001 年 10 月 28 日～11 月 2 日(临震前 1～6 天)也记录到了类似的异常信号. 由于长、短极距上同时出现该异常信号且形态很一致，所作的相关分析表明， 其相关系数为 0.99. 如果是直角顶点的公用电极(图 3a 中 E 点)极化的，北东方向的极距就不应该出现该异常信号，所以我们认为该异常信号不是电极极化噪音，而是来自距离台站远处的信号源，很可能是震源区发出的信号. 在观测到 10 月初的异常信号后，笔者在上海市地震局地震预报周会商会上，曾作出在未来一月内距崇明台站 150 km 的范围内会发生 M_S3.0左右地震的预测意见，结果在 11 月 3 日距崇明台站约 80 km 的江苏省南通张家港地区发生了最大震级为 M_L3.8(M_S3.2)的地震群，当地群众普遍有感. 在此之前，南京台站地电场在两个南北方向、东西方向、北东方向的电极距分钟值曲线于 10 月 12 日和 10 月 22 日都分别记录到了高频异常信号(图 5a 中给出 NS，EW 方向 4 条曲线). 由于在所有的极距上都记录到了该异常信号，所以我们认为有两种可能性：一种是与张家港地震有关的电信号(从时间关系上看)，另一种是与磁暴有关的感应信号. 我们认为后者的可能性更大，因为与此同时崇明台所有极距上也记录到了类似的信号(图 5b 中 4 条曲线)，且崇明最大地磁指数 $K=6$. 2001 年 11 月 7～16 日崇明大地电场仪在南北方向和北东方向的长、短电极距上又记录到了一组异常电信号，该异常信号在长极距上的形态与短极距上的形态完全一致. 说明不是电极极化噪音，也不是来自台站附近地区的信号发射源. 如果是电离层

扰动所感应的话，则东西方向上的长、短电极距上也都应该同时出现类似的异常信号，但观测事实却相反，因此笔者认为是与地震有关的电信号. 结果于2001年12月25日江苏省南通张家港地区又发生了 M_L4.1地震(图4). 图4，5，6中由于观测仪器各极距所设定的初始值不同，故纵坐标刻度只有相对意义.

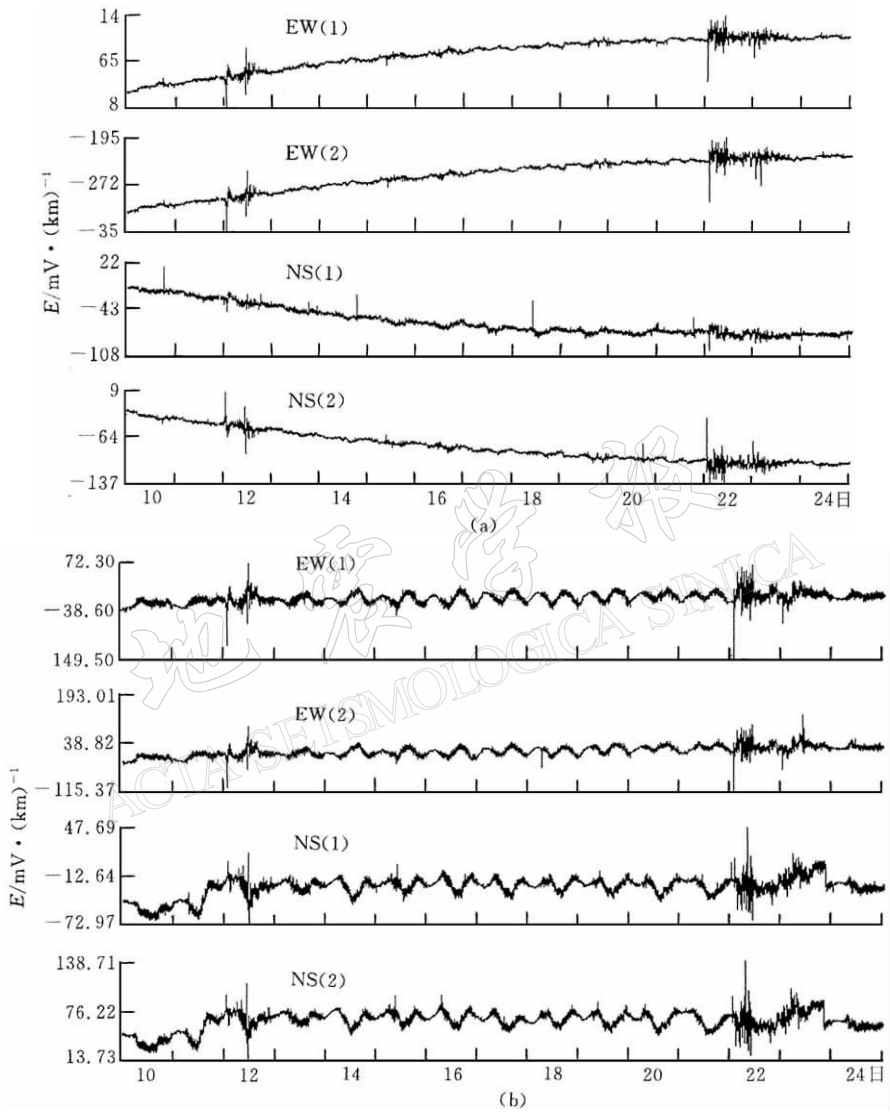

图5 2001年10月10～24日南京台(a)与崇明台(b)地电场分钟值曲线对比图

图中(1)表示长极距，(2)表示短极距

在2001年12月25日张家港地区发生 M_L4.1地震之前，南京台地电场观测曲线也发生了较大的变化，如图6所示. 图中上两条曲线是2001年11月9日～12月31日东西方向两个电极距上的观测曲线；中间两条曲线是同期南北方向两个电极距上的观测曲线；下边两条曲线是同期北东方向两个电极距上的观测曲线. 由该图可以看出，东西方向上极距EW(1)与极距EW(2)的观测曲线变化形态一致；南北方向NS(1)与NS(2)的观测曲线变

http://www.dizhenxb.org.cn

化形态一致；北东方向 NE(1)与 NE(2)的观测曲线变化形态不一致. 对于震前东西方向和南北方向各两道观测曲线变化较大且形态一致的情况，可作为一种异常条件，但由于东西向曲线 EW(1)与南北向曲线 NS(1)，东西向曲线 EW(2)与南北向曲线 NS(2)变化形态呈反对称情形，而这种情形除了用公共电极 E(图 3b)发生电极极化电位不稳定外别无解释. 山东省安丘地电场台观测资料也曾出现这种反对称情况，因此今后在地电场台站建设中应该避免公用电极的布极方式. 北东向 NE(1)曲线与 NE(2)曲线形态的不一致是由于电极极化所致. 而 11 月 24 日各条曲线上出现的异常信号(图 6 中箭头所示)则是由于电离层扰动所致. 因为崇明台各个测道上同期也出现了该信号(图 4)，且崇明台最大地磁指数 $K=8$ 也说明了这一点. 由此可见，上述两次江苏省张家港地震事件中崇明地电场仪记录到了异常地电信号；而南京台所记录到的异常信号则是噪音信号，而不是与地震有关的异常地电场信号. 现将南京台与崇明台地电场在南通震前的变化特征列于表 1. 从上述分析可以看

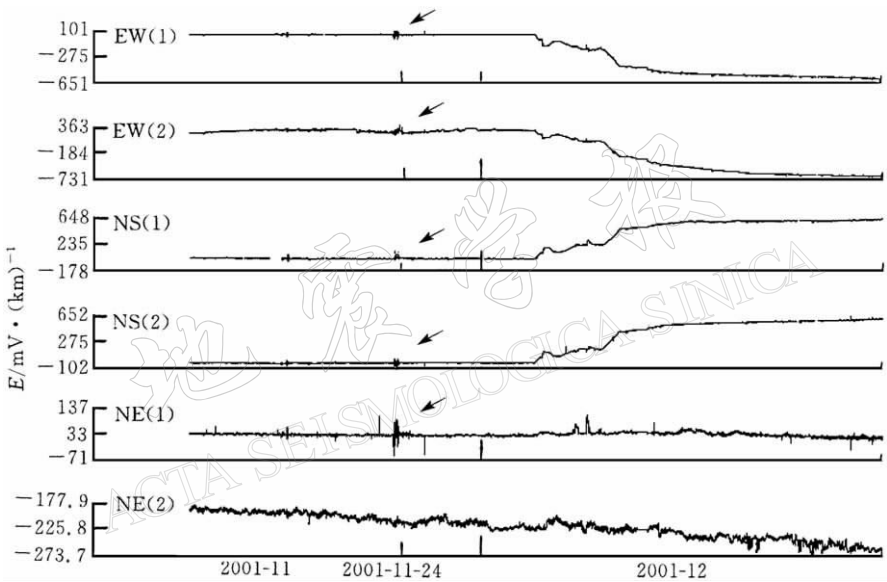

图 6　南京地电场台 2001 年 11～12 月分钟值观测曲线对比图

表 1　2001 年南通地震前南京台与崇明台地电场异常特征

异常台站	极距	幅度/mV · km^{-1}	起始时间 (月-日 T 时:分)	异常原因
崇明	NS	56	08-04T00:00～08-04T24:00	附近噪音
崇明	NS, NE	28.8	10-04T17:00～10-11T09:00	地震异常
崇明	NS, NE	21.7	10-23T00:00～10-23T22:00	地震异常
崇明	NS, NE	27	10-26T11:00～10-26T20:00	地震异常
崇明	NS, NE	34.8	10-29T08:00～11-01T17:00	地震异常
崇明	NS, NE	26.5	11-06T08:00～11-16T07:00	地震异常
崇明	NS, EW, NE	45	10-12T00:35～10-12T15:17	磁暴
崇明	NS, EW, NE	150	10-22T00:40～10-23T05:03	磁暴
南京	NS, EW, NE	41	10-12T00:35～10-12-15:15	磁暴
南京	NS, EW, NE	62	10-22T00:40～10-23T16:14	磁暴
南京	NS, EW, NE	64	11-24T13:54～11-24T23:53	磁暴
南京	NS, EW	648	12-05T00:00～12-30T23:59	共用电极极化

http://www.dizhenxb.org.cn

到，利用长、短极距观测资料的对比分析，可以排除许多地电场观测中的噪音信号，突出与地震有关的电信号.

3 讨论

崇明台地电场极化图呈非线性极化；南京台地电场虽然是近似线性极化的，但噪音信号在地电场极化图上则呈现出非线性极化特征(极化图省略). 如果利用地电场垂直极化方向投影的方法(阮爱国，赵和云，2000)，则本文所述崇明台和南京台地电场观测资料的分析处理中是难以奏效的，因为该方法只适用于线性极化的资料处理，而崇明台地电场资料是非线性极化的. 在南京台地电场资料分析处理中，若向地电场垂直极化方向投影，则所得到的只能是噪音信号.

我国以往震前地电场观测资料处理分析结果表明，地电场变化中包含着地震前兆的可能性很大. 例如，1975 年 2 月 4 日我国海城 7.3 级地震发生前，距震中区 $\Delta=20$ km 处冶金部 102 物探队记录到了地电场突变异常变化. 震前 2 天，NS 道 ΔE 大幅度下降，在曲线极值处发震，震后转平. 震前从 1 月 30 日开始还出现有日变化谱特性的“谐振脉冲异常”，脉冲幅值为 30～100 mV，而且是单脉冲. 1976 年 7 月 28 日唐山 M_S7.8 地震前，在西集台($\Delta=120$ km，$MN=380$ m)地电场发生了大幅度反向变化(钱复业等，1998). 1976 年 8 月 16 日松潘 7.2 级地震前武都台记录到了自然电场日均值曲线. 1998 年 1 月 10 日河北省张家口地区的张北-尚义发生 6.2 级地震. 震前天津宝坻台于 1997 年 11 月 1 日用大地电场仪和固体不极化电极进行 SN 和 EW 两个方向的电场观测(极距均为 200 m，$\Delta=240$ km)，结果地震前 EW 向的电场值从 12 月 6 日开始出现了很大变化，并具有明显的日变规律，持续时间 30 多天，最大幅度达到 100 mV/km. 1998 年 1 月 10 日张北地震发生后异常消失，而 SN 向没有记录到这种变化(毛桐恩等，1999). 上述震例都在震前记录到了较大的地电场变化，但是却都有一个共同特点，就是在东西方向和南北方向都只有一道电极距，而没有长、短电极距的对比条件，且除宝坻台外其它例子中观测系统所用的电极都不是非极化电极，因而也就对排除诸如电极极化、降雨、每日温度变化引起的噪音、台站附近地电场人为噪音、大地磁场的感应效应等地电场干扰信号显得力不从心. 从目前来看，一个方向上单极距观测系统的布设还是能力十分有限的. 而一些常规的地电场数值处理方法，如均值法、谱滤波分析法、频率-时间分析法、垂直极化方向投影法、分数维方法等，还都不能很好地识别和排除电极极化噪音、降雨引起的噪音、每日温度变化引起的噪音、台站附近地电场人为噪音、大地磁场的感应电场等地电场干扰信号. 从这个意义上说，利用地电场台站同一方向上不同长度的多极距观测系统的观测资料，则能够较好地识别该类噪音信号，而且成本也不太高. 本文图 4，5 所示的崇明台、南京台地电场多极距观测资料处理分析及震例就是一个很好的例子.

另外，在许多震例中所记录到的与地震有关的地电场信号存在这样的现象，即在某个方向上(如 NS 方向)观测到了异常地电场信号，而在另一方向上(如 EW 方向)则没有观测到异常地电场信号. 怎样解释这种现象也是需要进一步做工作的. 笔者认为这在很大程度上是与不同地区地下的电性结构密切相关的，如地下电性非均匀性、电性各向异性等. 数值模拟结果也表明地下不同电性结构对地电场的观测有着很大影响(马钦忠，钱家栋，2003).

http://www.dizhenxb.org.cn

4　结语

本文阐述了多极距地电场观测去噪音原理，研究了崇明地电场台和南京地电场台的震例，初步认识如下：

1）多极距观测去噪音方法是一种很好的识别地电场噪音的方法，它可以排除以前难以排除的噪音，如电极化噪音、降雨引起的噪音、每日温度变化引起的噪音、人为噪音、大地磁场的干扰噪音等.

2）在地电场台站的建设中，最好不要采用公共电极的多极距布极方式，而应将各极距的电极都独立使用，以提高地电场多极距观测系统的噪音识别水平.

3）在震前 20 天、2 天及 42 天，离江苏南通震中区较近的崇明台 NS 和 NE 方向上分别接收到了地震电信号，其持续时间最长的为 9 天；而较远的南京台出现的异常信号都是噪音信号而非地震电信号.

4）崇明地电场极化是非线性的，故利用地电场垂直极化方向投影的方法在此难以奏效.

参　考　文　献

马钦忠，钱家栋. 2003. 地下电性非均匀结构对地电场信号的影响[J]. 地震，**23**(1)：1～7

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[J]. 地球物理学报，**42**(4)：519～528

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[A]. 见：石特临编. 地震地电学发展与展望[C]. 兰州：兰州大学出版社，151～155

阮爱国，赵和云. 2000. 提取地震地电场异常的垂直极化方向投影法[J]. 地震学报，**22**(2)：171～175

赵玉林，钱复业. 1981. 大地电场的临震周期[J]. 地震，**3**(2)：13～16

Kinoshita M，Uyeshima M，Uyeda S. 1989. Earthquake prediction research by means of telluric potential monitoring. Progress Rep. 1：Installation of monitoring network[J]. *Bull Earthq Res Inst*，**64**：255～311

Varotsos P，Alexopoulous K，Nomicos K. 1981. Seismic electric currents[J]. *Prakt Akad Athenon*，**56**：277～286

Varotsos P，Alexopoulous K. 1984a. Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes，I[J]. *Tectophysics*，**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[J]. *Tectophysics*，**110**：99～125

Varotsos P，Lazaridou M. 1991. Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals[J]. *Tectonophysics*，**188**：321～347

http://www.dizhenxb.org.cn

STUDY ON THE VARIATION CHARACTERISTICS OF THE GEOELECTRIC FIELD PRECEDING EARTHQUAKES

Ma Qinzhong[1)] Feng Zhisheng[2)] Song Zhiping[1)] Zhao Weiguo[3)]

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

2) *Earthquake Administration of Jiangsu*, *Nanjing* 210014, *China*

3) *Earthquake Administration of Wenxian*, *Gansu*, *Wenxian* 746400, *China*

Abstract: Earthquake events occurred in Nantong, Jiangsu province on 3 Nov., and 25 Dec., 2001 in which the biggest magnitudes were M_L3.8 and M_L4.1 respectively. This paper firstly explains the principle of the eliminating noise method by the multi-dipole observation system of geoelectric field. Then based on the observation data of the multi-dipole observation system obtained by ZD9A telluric current monitors installed in Chongming and Nanjing stations, we study the abnormal variation of the geoelectric field preceding the earthquakes. The study shows that: a). eliminating noise method of multi-dipole observation is an excellent method by which many kinds of geoelectric field noises can be eliminated successfully and the geoelectric precursor information can be recognized; b). the geoelectric precursor signals for the events were recorded on the NS and NE dipoles in Chongming station 42 days, 20 days and 2 days before the earthquakes respectively, in which the station is near the epicenter, and the longest time of persisting period was 9 days. The abnormal variation signals of geoelectric field observed in Nanjing station are all the noises but not the seismic electric signals, in which the station is not near the epicenter; c). dipole distribution method of common electrode is not good in the multi-dipole observation system of the geoelectric field.

Key words: earthquake; geoelectric field; multi-dipole observation system; eliminating noise method

http://www.dizhenxb.org.cn