

褚金学, 张源, 杨晓莹, 等. 云南弥渡地震台地电场观测数据分析评价[J]. 华南地震, 2014, 34(2): 78-86. [CHU Jinxue, ZHANG Yuan, YANG Xiaoying, et al. Analysis and Evaluation of Observation Data of Geoelectric Field of Midu Seismic Station in Yunnan [J]. South china journal of seismology, 2014, 34(2): 78-86.]

## 云南弥渡地震台地电场观测数据分析评价

褚金学<sup>1</sup>, 张源<sup>2</sup>, 杨晓莹<sup>3</sup>, 张燕芹<sup>3</sup>, 刘映萍<sup>3</sup>

(1. 云南省地震局弥渡地震台, 云南 弥渡 675600; 2. 云南省地震局云龙地震台, 云南 云龙 672700;  
3. 弥渡县地震局, 云南 弥渡 675600)

**摘要:** 介绍了弥渡地震台地电场观测系统, 对经过两次技术改造后的弥渡台 2012 年地电场观测数据进行了分析评价, 结果表明: 弥渡地电场观测数据能够反映出地电场时空变化特点, 数据质量符合地电场观测的技术要求, 数据可以为地震前兆研究和地震监测预报实践提供相应信息。

**关键词:** 地电场; 观测数据; 质量评价

**中图分类号:** P315.722 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2014) 02-0078-09

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2014.02.011

## Analysis and Evaluation of Observation Data of Geoelectric Field of Midu Seismic Station in Yunnan

CHU Jinxue<sup>1</sup>, ZHANG Yuan<sup>2</sup>, YANG Xiaoying<sup>3</sup>, ZHANG Yanqin<sup>3</sup>, LIU Yingping<sup>3</sup>

(1. Midu Seismic Station, Earthquake Administration of Yunnan Province, Midu 675600, China; 2. Yunlong Seismic Station, Earthquake Administration of Yunnan Province, Yunlong 672700, China; 3. Earthquake administration of Midu County, Midu 675600, China)

**Abstract:** This article briefly introduces the geoelectric field observation system in Midu seismic station, analyzes and evaluates the geoelectric field observation data of Midu seismic station in 2012 after two technological transformation. The results show that: the geoelectric field observation data of Midu seismic station can reflect the temporal and spatial variation of ground electric field; data quality meets the regulatory requirements, and can provide the corresponding information for seismic precursory research and earthquake prediction practice.

**Keywords:** Geoelectric field; Observation data; Quality evaluation

### 0 引言

地电场是重要的地球物理场之一, 是存在于固体地球内部的天然电场的总称。根据不同的场源, 分布于地表的地电场可分为大地电场和自然电场两大部分<sup>[1]</sup>。其中, 大地电场是由地球外部各

种场源在地球表面感应产生的、分布于整个地表或较大区域的变化电场, 一般具有广域性; 自然电场是地下介质由于各种物理、化学作用在地表形成的较为稳定的电场, 一般具有局域性。地电场是矢量(图 1), 目前地电场观测测量地表两个水平分量。当测量得到至少两个(正交)分量以后,

收稿日期: 2013-07-23

作者简介: 褚金学 (1973-), 男, 工程师, 主要从事地震监测和研究工作。

E-mail: cjd115@163.com.

即可计算得到测点 O 的平均地电场强度值  $E$  和方位

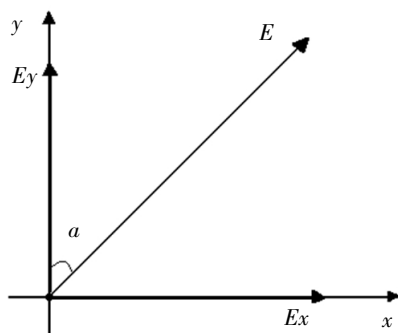


图1 地电场矢量示意图

Fig.1 Vector schematic of geoelectric field

角  $\alpha$ 。

地电场观测直接关系到震前异常信息的捕捉, 弥渡地电场观测自 2007 年 11 月开始观测以来, 由于观测系统不稳定和观测环境影响, 观测数据质量不高, 经过 2009 年和 2011 年两次技术改造后, 观测系统得到进一步提高, 抗干扰能力得到增强, 因此有必要对弥渡地电场观测数据的质量进行客观评价, 以利于更好的为地震监测预报和研究工作提供连续、可靠的资料。

## 1 基本情况

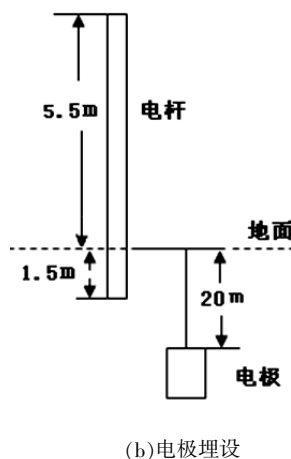
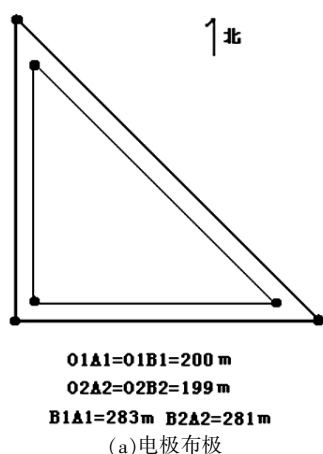


图2 电极布极和埋设图

Fig.2 Cloth and buried diagram of electrode pole

台站观测室 30 m。

### 1.2 仪器标定及外线路检查

为了保证测量仪器观测精度和稳定性, 以及观测系统的可靠性, 根据《地震及前兆数字观测技术规范》(电磁观测)和《地电场观测资料评比标准》

弥渡地震台位于弥渡冲击倾斜盆地东南部边沿近山地带, 处在金沙江-红河断裂系上, 位于红河断裂与程海断裂及楚雄-建水断裂的交汇点处。台站海拔高度为 1 680 m, 地貌多为侵蚀低山地貌。

弥渡地电场是“十五”新建成项目, 地电场测区位于地震台东南面的农田之中, 测区属农耕地, 农田常年种植蔬菜。观测使用中国地震局地震预测研究所研制的 ZD9A-II 型地电场仪, 该仪器具有灵敏度高、动态范围大、存储容量大、抗干扰能力强以及温度性能良好等许多特点, 采样率为每分钟一次<sup>[2]</sup>, 2007 年 11 月开始观测。

### 1.1 电极和外线路布设

弥渡地电场观测场地属于农耕地, 观测容易受到农田灌溉干扰, 严重影响观测数据的内在质量。经过 2009 年和 2011 年两次技术改造后, 减小和排除了农田灌溉干扰, 观测数据的内在质量得到很大提高<sup>[3-4]</sup>。测区布极为“L”型, EW、NS 测向: 长极距 200 m, 短极距 199 m; NE 测向: 长极距 283 m, 短极距 281 m。电极埋深 20 m, 铅电极和不极化电极同时埋设, 并且埋在同一层面上(图 2), 弥渡地电场观测现在使用的电极是不极化电极。外线路采用架空方式架设, 外线路电杆使用 7 m 杆, 测量导线采用 6 平方铜芯绝缘线, 中心杆到台站观测室采用 20 对铜芯电缆。中心杆离

的相关要求, 须定期标定并经常检查仪器的工作和外线路等观测系统。2012 年, 严格依据《地震及前兆数字观测技术规范》(电磁观测)和《地电场观测资料评比标准》要求, 在每季度的相同时间对观测仪器进行了测量准确度的标定, 以及测试检查

外线路绝缘、观测室接地电阻,检查避雷装置,室内线路开关、接头和辅助设备,标定和检查结果亦符合《地震及前兆数字观测技术规范》(电磁观测)和《地电场观测资料评比标准》相关要求。

## 2 观测资料分析评价

### 2.1 连续率、完整率统计

评定观测资料的连续率和完整率是观测资料质量控制的主要指标之一。本文对经过两次技术改造后的,2012年弥渡地电场数据的连续率、完

整率进行统计(表1),结果达到了99.8%以上,全年仪器工作正常,无故障,符合要求。造成观测数据缺测的原因,主要是:根据《地震及前兆数字观测技术规范》(电磁观测)和《地电场观测资料评比标准》的相关要求,每一季度对仪器进行测量准确度的标定,对外线路的绝缘度进行检查造成的。

### 2.2 观测数据内在质量评估

根据《地震及前兆数字观测技术规范》(电磁观测)和《地电场观测资料评比标准》,评定地电场观测资料内在质量的主要依据是:同一测向长、短

表1 弥渡地电场2012年相关系数及差值的月均值统计

Table 1 Statistics of correlation coefficient and the monthly mean of the difference of Midu geoelectric field in 2012

日期	连续率/%	完整率/%	相关系数			差值		
			NS 测向	EW 测向	NE 测向	NS 测向	EW 测向	NE 测向
2012-01	99.92	99.92	0.949 8	0.997 1	0.902 8	2.337 1	0.382 9	1.629 7
2012-02	100	100	0.935 5	0.986 9	0.836 9	1.760 4	2.209 8	2.232 0
2012-03	100	100	0.950 7	0.988 7	0.890 5	3.003 6	1.113 6	1.797 6
2012-04	99.92	99.92	0.975 2	0.998 0	0.936 1	2.709 3	0.354 1	1.841 1
2012-05	100	100	0.945 2	0.984 1	0.881 5	4.266 8	1.645 3	3.821 1
2012-06	100	100	0.938 5	0.987 7	0.836 4	2.821 5	2.035 0	3.177 3
2012-07	99.88	99.88	0.953 9	0.988 1	0.896 5	4.514 9	3.053 4	5.203 7
2012-08	100	100	0.954 4	0.990 2	0.869 2	3.836 4	1.943 7	3.876 9
2012-09	100	100	0.932 6	0.989 6	0.870 3	4.499 9	2.128 2	4.590 9
2012-10	99.89	99.89	0.913 3	0.997 7	0.894 8	4.332 2	0.242 7	3.100 6
2012-11	100	100	0.916 9	0.967 9	0.818 6	4.806 9	3.760 2	5.875 2
2012-12	99.97	99.97	0.961 3	0.979 9	0.913 4	1.541 5	1.738 8	2.126 0

极距测道观测数据的相关系数和差值<sup>[5]</sup>,计算公式如下:

(1) 按式(1)计算同一测向长、短极距测道观测数据的相关系数  $R$ :

$$R = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_j (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

按式(2)计算长、短极距测道观测数据的相关系数的月平均值  $R_{月}$ :

$$R_{月} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i \quad (2)$$

式(2)中:  $n$  为当月天数,  $r_i$  为测向第  $i$  天的相关系数。

(2) 按下式计算同一测向长、短极距的分钟值差值  $\Delta E$ :

$$\Delta E^j = \frac{\sum_{i=1}^n |(E_{\text{长}i}^j - E_{\text{长}0}^j) - K_j (E_{\text{短}i}^j - E_{\text{短}0}^j)|}{n} \quad (3)$$

式(3)中:  $E_{\text{长}i}^j$  为第  $j$  方向第  $i$  分钟长极距观测的分钟值;  $E_{\text{长}0}^j$  为第  $j$  方向长极距观测的 0<sup>h</sup> 00<sup>m</sup> 值;  $E_{\text{短}i}^j$  为第  $j$  方向第  $i$  分钟短极距观测的分钟值;  $E_{\text{短}0}^j$  为第  $j$  方向短极距观测的 0<sup>h</sup> 00<sup>m</sup> 值;  $K_j$  为  $j$  方向选定的系数,每台根据实际情况选定,一经选定不得更改;  $n$  为该天观测的系数。

按式(4)计算长、短极距测道观测数据的差值的月平均值  $\Delta E_{月}$ :

$$\Delta E_{月} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i \quad (4)$$

式(4)中:  $n$  为当月天数,  $\Delta E_i$  为第  $i$  天的差值。按以上计算公式计算得到表1,这里要特别说

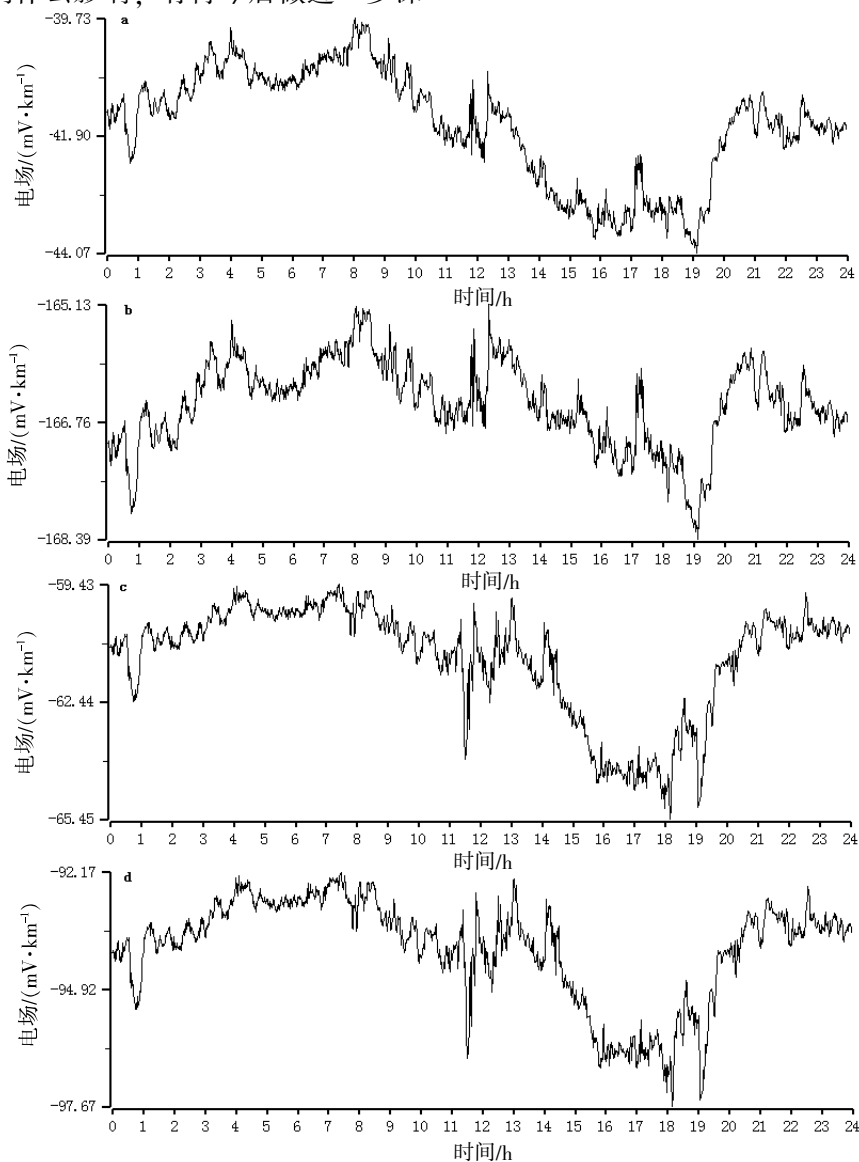
明的是表1的所有计算结果,是使用《中国地震前兆台网运行评价系统》2011版,调取“十五”前兆台网数据库数据计算出来的。从表1中可以看出,NS、EW测向的相关系数月均值都在0.9以上,NE测向相对差一些,在0.8以上,EW测向相关系数均在0.98以上,比较稳定,NE测向的下降,EW测向的没有下降,两者之间没有一致性;而NS测向的虽然保持在0.9以上,但不稳定,NE测向下降,NS测向也下降,两者具有一致性,因此我们分析认为:造成此现象应该与北端有关,而与东端和中心电极无关,东端和中心电极符合要求,观测装置系统稳定,测区环境无大的干扰源存在。造成NS、NE测向相关系数不理想的原因,可能与观测场地和电极不稳定有关,具体是何原因以及受到什么影响,有待今后做进一步深

入调查和分析。3个测向的差值月均值基本都在5 mV/km以内,符合要求,说明观测系统具有较高稳定性。

## 2.3 观测数据变化形态

### 2.3.1 静日变化形态

大地电场静日变化是由中低纬度上空电离层电流系产生,会连续出现,具有确定的周期<sup>[6]</sup>。由于我国地电场观测是地表水平矢量,大小和方向均随时间而变化,且具有一定的日变规律,同一方向不同极距的测量结果应有较一致的变化规律,变化形态及幅度应基本一致。从图3可以看出,弥渡地电场NS和EW测向长短极距的日变形态及幅度基本一致,日变化幅度不大,基本在6 mV/km左右。



a: NS 测向长极距; b: NS 测向短极距; c: EW 测向长极距; d: EW 测向短极距

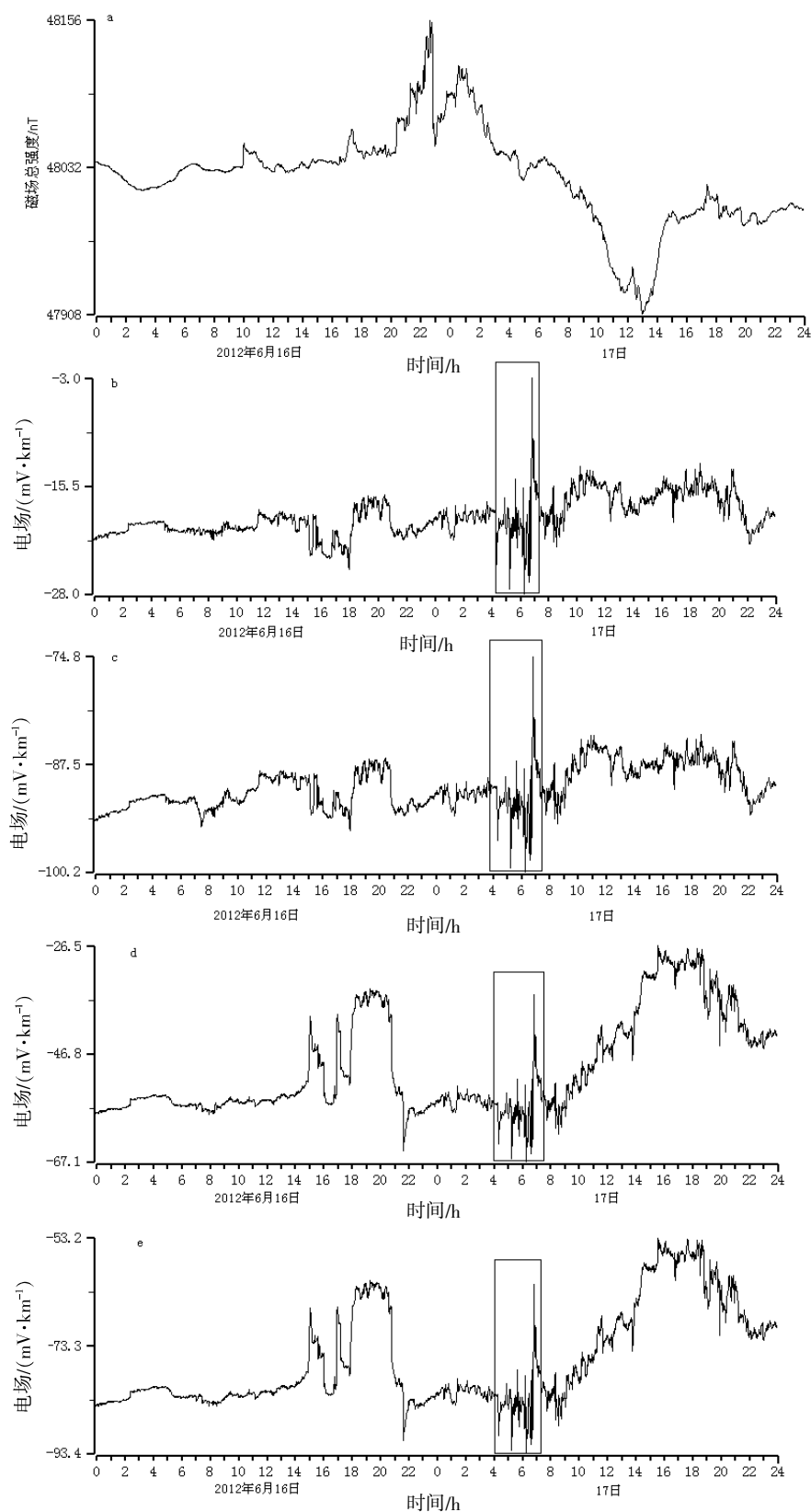
图3 弥渡地电场2012年3月21日原始分钟值曲线图

Fig.3 The original minutes value graph of Midu geoelectric field in March 21, 2012

### 2.3.2 扰日变化形态

大地电场不仅存在连续出现的静日变化,还存在一些偶尔发生、持续一段时间后消失的扰日变

化,如地电暴、地电脉动、地电湾扰等<sup>[9]</sup>。在日常地电场观测中,地电暴是经常观测到的扰日变化,它和磁暴具有同源性。图 4(b、c、d、e)为磁暴时(6 月



a:永胜地震台磁场总强度; b:NS 测向长极距;c:NS 测向短极距;d:EW 测向长极距;e:EW 测向短极距

图 4 原始分钟值曲线图

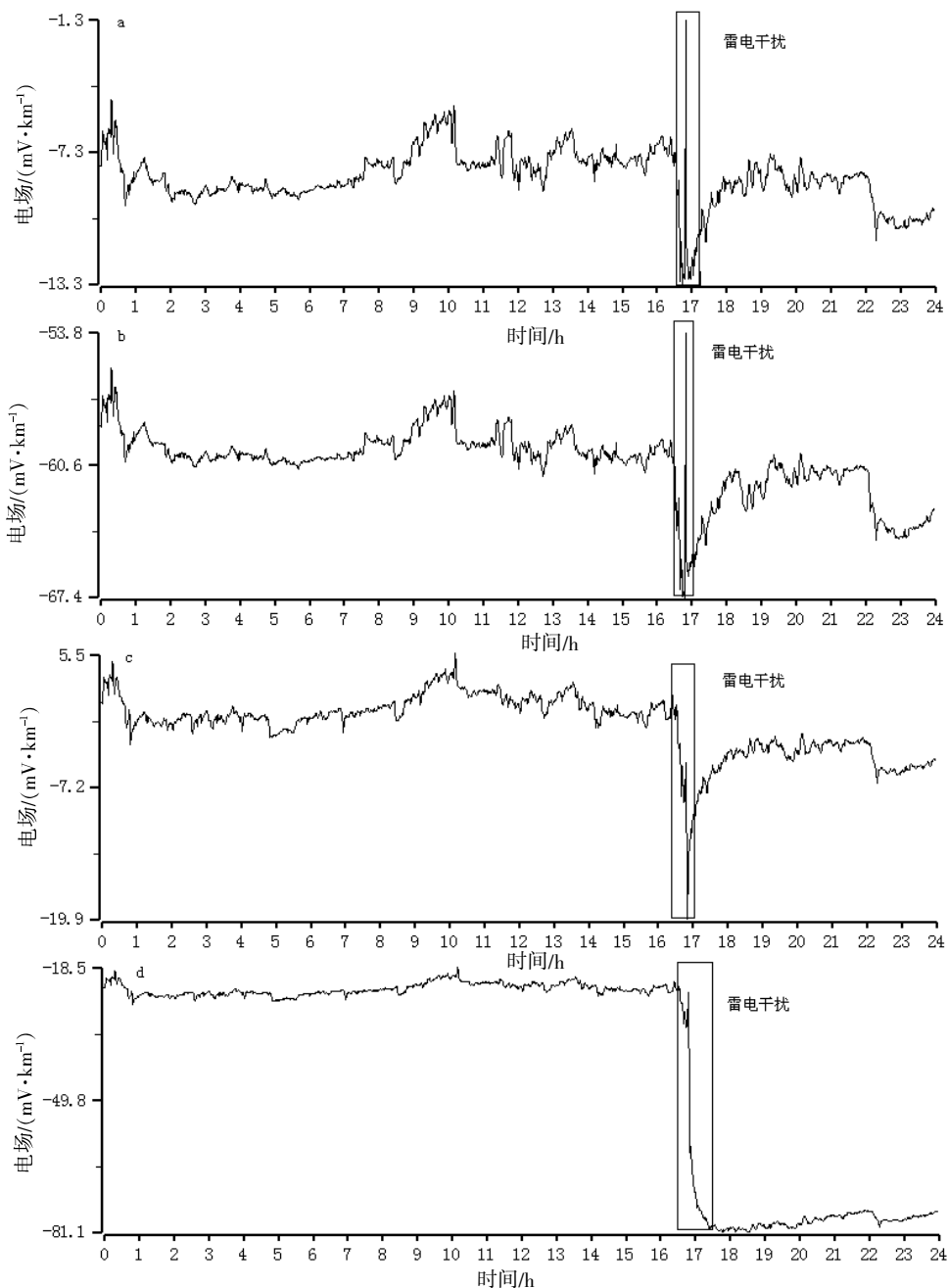
Fig.4 Original minutes value graph

17 日,  $K=6$ ) 弥渡地震台观测到的地电场变化, 图 4a 为永胜地震台地磁观测的磁场总强度。从图 4 可以看出, 发生磁暴时, 永胜地震台地磁观测的磁场总强度最大值出现在 6 月 16 日 22 时, 而弥渡地电场观测到的地电暴在 6 月 17 日 04 时出现, EW 测向和 NS 测向曲线变化形态一致, 其变化形态为脉冲型, 持续时间约 4 h, 与永胜地震台地磁观测记录到的磁暴相比有 6 h 的滞后, 存在一定的相位差。

2.3.3 雷电干扰形态

雷电是一种对大地电场观测造成较大干扰的

环境因素, 在雷雨天气时, 雷电在放电的瞬间, 会引起地电场观测数据大幅度变化。图 5 为弥渡台 2012 年 8 月 18 日雷雨时的地电场分钟值变化形态, 根据记录在 2012 年 8 月 18 日 17 时前后有较强雷电, 观测值明显偏离正常的变化。同时可以看出在出现雷电干扰时, 其形态基本是脉冲式。这是由于在外部电场变化的干扰下, 2 种或以上的土壤导电率界面就会形成带电离子和自由电子的积累, 并构成形式各异的尖端放电场强, 从而引起电场的畸变现象<sup>[7]</sup>。



a;NS 测向长极距;b;NS 测向短极距; c;EW 测向长极距;d;EW 测向短极距

图 5 弥渡地电场原始分钟值曲线图

Fig.5 Original minutes value graph of geoelectric field in Midu

## 2.4 震前异常变化形态

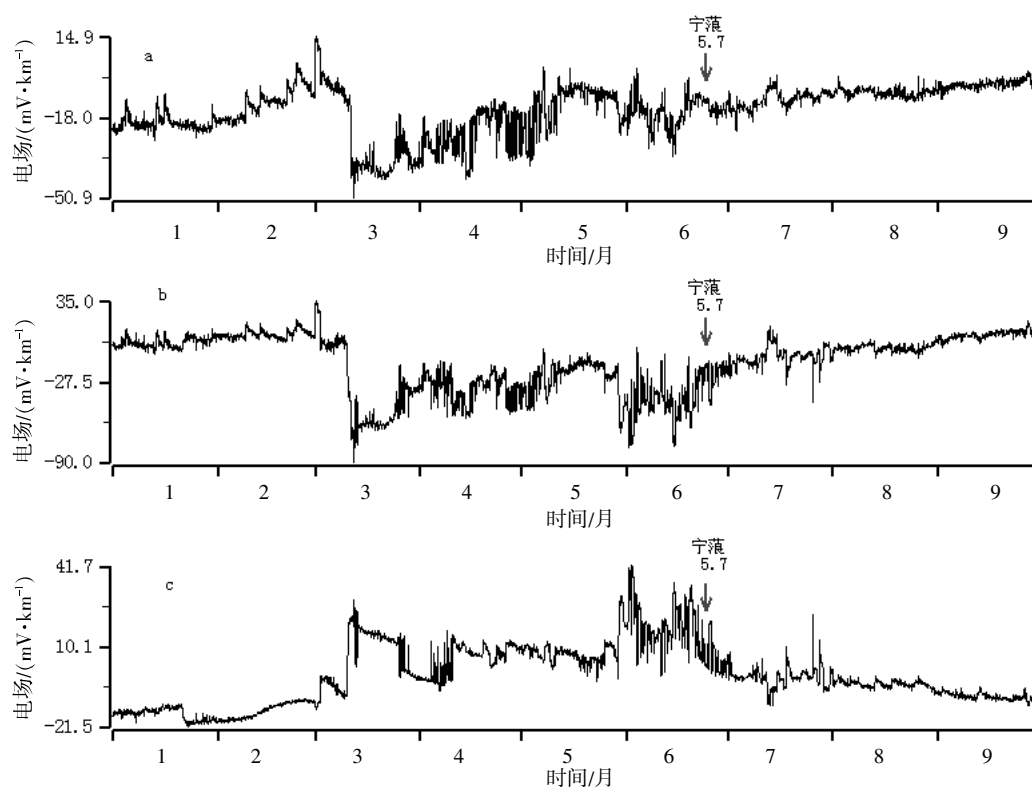
从理论研究和室内岩石力学实验的结果出发,不少研究者<sup>[8-10]</sup>都预言,地震前有异常电场信息存在,地震发生前电、磁场会出现日变化波形畸变。

地震电磁异常的机理与特征,邹润莉、汪忠德<sup>[11-12]</sup>通过研究认为:在地震孕育过程中,由于地应力作用的加强,会引起岩石电阻率、土壤中溶液的溶解度和电离度、地下水的渗透条件等一系列的变化,这些都可能引起大地电场和自然电场相应的变化,地震孕育过程中应力作用下会产生电磁场,这种电场能够为地面仪器所检测到。判别自然电场前兆及其持续时间的方法是半定性半定量的<sup>[13]</sup>:①前兆出现时具有超过单次测量误差3倍以上的变化幅度;②前兆出现具有一定时间过程的形态,变化显著,除去单次突跳;③前兆出现要求具有连续几天的时间。

本文选取弥渡台地电场观测比较稳定正常的2012年的数据进行分析,在此期间,弥渡台地电场观测装置系统稳定,测区环境无大的干扰源,台站工作人员也对观测环境进行巡视,观测环境正常,无干扰。

2012年6月24日距离弥渡260 km的宁蒗发生5.7级地震,地震为正断型,发生在丽江-小金河断裂西侧正断型地震易发区,发震断裂为NW走向的永宁断裂,破裂沿主震向NW向单侧扩展,地震是在大角度SE向压应力作用下,永宁断裂内部应力积累到一定程度引发破裂使断层产生右旋错动的结果<sup>[14]</sup>。

弥渡地电场观测自2012年3月初开始,NS、EW、NE三个测向日变、月变形态均有大幅度改变,变化幅度是正常变化的10倍左右,NS、EW测向为负异常,NE测向为正异常(图6)。异常持



a: NS 测向长极距; b: EW 测向长极距; c: NE 测向长极距

图6 弥渡地电场原始分钟值曲线图(2012年1-9月)

Fig.6 Original minutes value graph of geoelectric field in Midu (2012, January –September)

续大约100 d左右,云南宁蒗发生 $M$  5.7地震,震后逐渐恢复正常。

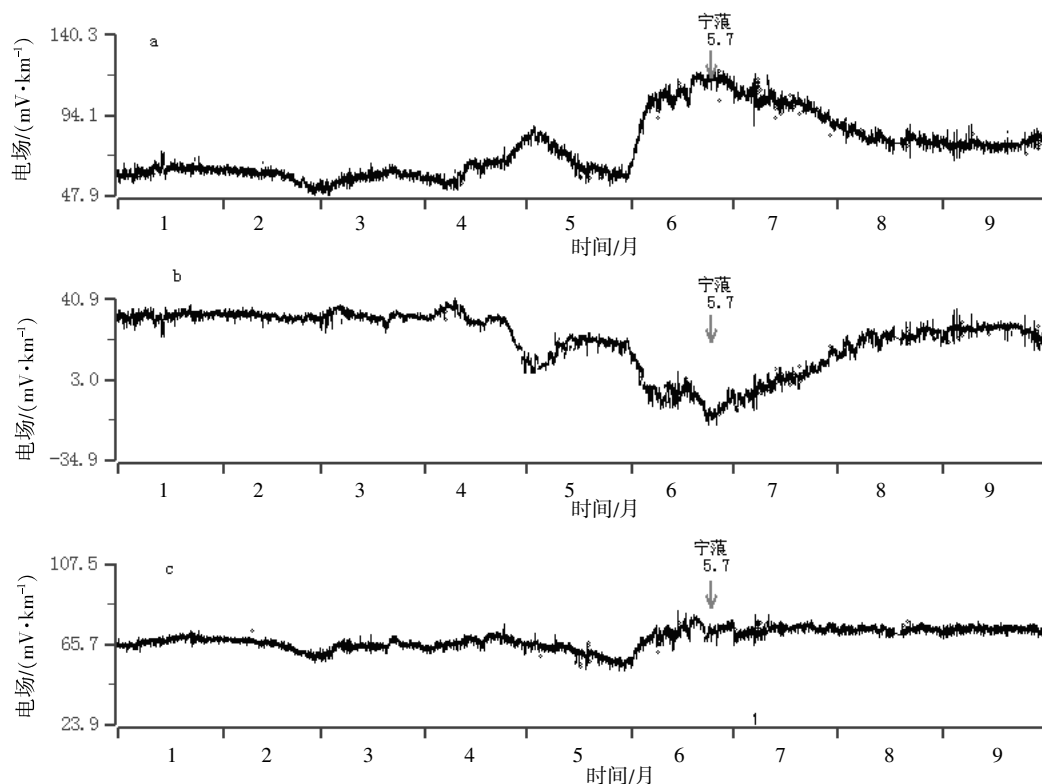
为了充分证明在宁蒗 $M$  5.7地震前,弥渡地电场观测到的异常是地震前兆异常,我们选取了观测系统及环境较好同处在滇西的腾冲地电场观测,以及弥渡地震台同台观测的气汞和动水位观测进

行分析,分析结果如下:

(1) 腾冲地电场观测 2012年1至3月观测曲线变化不大,在2012年4月23日开始,到6月24日宁蒗 $M$  5.7地震前,NS测向出现上升、下降又大幅度上升的异常变化,EW测向与NS测向相反,出现下降、上升又大幅下降的异常,EW测向异常

幅度达到约 100 mV/km (图 7)。NE 测向在 6 月初出现小幅度的上升, 异常现象不明显。根据腾冲地震台相关观测日志记录显示: 腾冲地电场仪器工作正常, 无故障。并且严格按照《地震及前兆数字观测技术规范》(电磁观测)和《地电场观测资料评比标准》的相关要求, 在每季度的相同时间对观测仪器进行了测量准确度的标定, 以及测试检查外线路绝

缘、观测室接地电阻, 检查避雷装置, 室内线路开关、接头和辅助设备, 标定和检查结果亦符合《地震及前兆数字观测技术规范》(电磁观测)和《地电场观测资料评比标准》相关要求, 因此该观测系统正常, 比较稳定、可靠。台站工作人员也对观测环境进行巡视, 观测环境正常, 无干扰。腾冲地震台距离宁蒗 M5.7 地震震中 340 km。腾冲地电场异常出



a: NS 测向长极距; b: EW 测向长极距; c: NE 测向长极距

图 7 腾冲地电场原始分钟值曲线图(2012 年 1 月-9 月)

Fig.7 Original minutes value graph of geoelectric field in Tengchong (2012, January -September)

现时间比弥渡地电场异常晚出现约 50 d。

(2) 宁蒗 M5.7 级地震前, 弥渡地震台气汞和动水位观测, 在 2012 年 3 月也相继出现异常: 弥渡气汞 2012 年 1 月、2 月观测正常, 月变形态稳定, 在 3 月出现两次单点突跳, 异常集中出现在 4、5、6 月, 在 6 月 26 日 16 时结束, 异常持续时间长, 异常还在持续中就发生地震, 震后 6 月 26 日 16 时后恢复正常。此异常幅度非常大, 是正常背景值的 10 倍, 最大的异常值出现在 2012 年 4 月 7 日 15 时, 达到 1.522 ng/L (图 8)。

(3) 弥渡动水位观测在 2012 年 1 月、2 月呈现趋势下降, 下降幅度不大, 与正常月变形态基本保持一致, 在 3 月下旬, 下降速率突然加大, 直到 2012 年 6 月 24 日宁蒗发生 5.7 级地震, 震后变化形态恢复正常 (图 9)。

从以上分析可以看出: 在宁蒗 M 5.7 地震前,

弥渡地电场异常和地下流体异常具有同步性, 异常基本上都是出现在 2012 年 3 月, 地电场异常出现时间比地下流体异常稍有提前。

我台针对以上异常, 在 2012 年 5 月上报云南省地震监测中心的《2012 年年中地震趋势会商报告》中提出了: 未来 6 个月, 省内及川滇交界有发生 5 级以上地震的可能, 特别关注川滇交界和滇西地区的会商意见。

另外刮风降雨等也会对大地电场资料造成干扰, 干扰变化形态基本与雷电干扰相似。除以上变化形态外, 弥渡地电场观测还会记录到阶跃型的上升或下降, 造成的原因不明, 还有待今后进行跟踪、查找和研究。

### 3 结语

综上所述, 分析结果表明: 弥渡地震台地电场



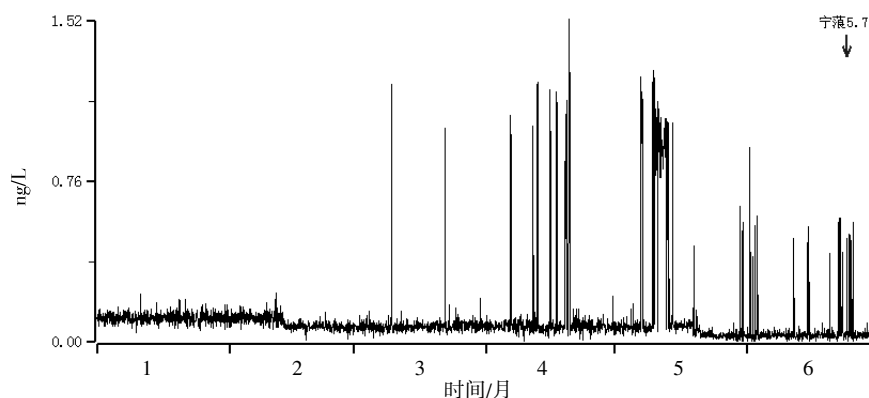


图 8 弥渡数字化气汞小时值曲线图(2012 年 1 月 1 日至 6 月 30 日)

Fig 8 The hour graph of Midu digital gas mercury (2012, January 1–June 30)

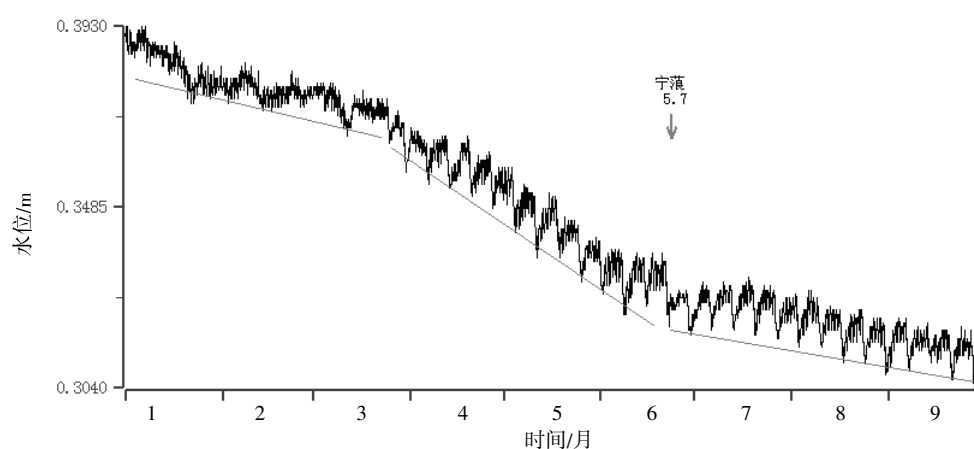


图 9 弥渡数字化动水位小时值曲线图(2012 年 1 月 1 日至 6 月 30 日)

Fig 9 The hour graph of Midu digital water level (2012, May 1 to June 30)

观测系统的供电、避雷、通信系统优良；2012 年观测数据连续率及完整率达到了 99.8 以上；月平均相关系数大于 0.8，月平均差值在 5 mV/km 以内，符合相关技术要求。弥渡地震台地电场观测在观测系统及环境保持较好条件的情况下，仪器稳定性相对较好，观测数据较真实地反映了地电场强度的变化，数据的可信度较高，可为地震监测预报和科研提供连续、可靠、准确的第一手资料。

#### 参考文献:

- [1] 中国地震局监测预报司. 地震电磁数字观测技术[M]. 北京: 地震出版社, 2002: 43.
- [2] 席继楼, 邱颖, 张颖, 等. 地电场试验台阵观测及数据分析研究[J]. 地震, 2007, 27 (6): 113.
- [3] 褚金学, 李朝明, 张平. 地电场电极深埋试验研究[J]. 防灾科技学院学报, 2012, 14 (1): 35.
- [4] 褚金学, 李文新. 弥渡地震台地电场观测技术改造[J]. 地震通讯, 2011, 2011 (4): 34.
- [5] 中国地震局. 地震及前兆数字观测技术规范(电磁观测)[M]. 北京: 地震出版社, 2001: 54.
- [6] 孙正江, 王华俊. 地电概论[M]. 北京: 地震出版社, 1984: 3–95.
- [7] 张建国, 张国勇, 王晋萍. 场电特性与防雷工程[J]. 山西气象, 2003, 52 (3): 47–63.
- [8] 黄清华, 刘涛. 新岛台地电场的潮汐响应与地震[J]. 地球物理学报, 2006, 49 (6): 1745–1754.
- [9] 马钦忠, 冯志生, 宋治平, 等. 崇明与南京台震前地电场变化异常分析[J]. 地震学报, 2004, 26 (3): 304–312.
- [10] 田山, 王建国, 徐学恭, 等. 大地电场观测地震前兆异常提取技术研究[J]. 地震学报, 2009, 31 (4): 424–431.
- [11] 邹润莉. 地球电场与地球磁场的形成机理[J]. 地球物理学进展, 2008, 23 (4): 107–120.
- [12] 汪忠德. 中国大陆自然电场的前兆机理与特征[J]. 西北地震学报, 2008, 30 (4): 360–365.
- [13] 张彬, 杨选辉, 易志刚. 松潘–平武地震前地震视应变场的时空演变[J]. 西北地震学报, 2007, 29 (3): 121–123.
- [14] 钱晓东, 苏有锦, 李琼. 2012 年云南宁蒗–盐源 5.7 级地震及震前异常分析[J]. 地震研究, 2012, 35 (4): 460–463.