

都兰和大武地电场观测干扰因素分析^{*}

高慧慧¹, 孟凡博¹, 文 勇², 李科长¹

(1. 青海省地震局 都兰地震台, 青海 都兰 816199; 2. 青海省地震局 德令哈地震台, 青海 德令哈 817099)

摘要: 采用都兰和大武地震台地电场观测资料, 收集整理了影响地电场观测的干扰源; 利用常规变化干扰的识别方法, 对各种干扰因素进行分析研究。由于观测物理量的原因, 地电场观测所受到的干扰因素比较多, 通过对典型干扰事件进行列举论证, 阐述了如何正确识别干扰异常和非干扰异常, 对今后正确排除各类干扰源, 鉴别地电场震前异常变化提供依据。

关键词: 都兰地震台; 大武地震台; 地电场; 观测数据; 干扰因素

中图分类号: P319

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)增刊-0124-09

0 前言

大地电场是地球表面存在的天然变化电场, 它是由地球外部的各种电流体系(电离层、磁层、对流层的电流体系等)与地球介质相互作用产生的地表感应电场(席继楼等, 2007), 由于大地电场观测容易受外界磁电等因素的干扰, 观测数据中各种“噪声”信号也随之增多(孙正江, 2009)。青海目前正在运行的地电场台站有 2 个, 分别是大武地震台和都兰地震台。笔者对这 2 个台站地电场观测数据包括测区环境变化、观测系统本身的变化、数据内在质量、干扰因素等进行综合分析, 排除一些常见干扰, 该项工作有利于今后地电场观测资料的处理和分析, 为震情跟踪研判和地震预测提供基础信息。

1 台站基本情况

1.1 观测场地

都兰地震台位于海西蒙古族藏族自治州都兰县县政府所在地都兰县城和平街 6 号。该地区风多风大, 平均气温 2.7℃, 年温差 ±20℃。地电场地设在上庄村一队, 距离观测室 5 km, 海拔 3 224 m。布极中心点距摆房约 450 m, 共分南北、东西、

北西向三道测线。测区周围地形是农田, 公共极、北长极和北短极外线路均有一水渠低层穿过。外线路为地埋, 埋深 1.5 m, 环境较稳定, 干扰小。都兰地震台位于柴达木盆地的腹部, 由于受喜马拉雅运动的影响, 新构造运动十分强烈, 深大活动性断裂规模大, 地处可可西里——巴颜喀拉、柴达木 2 个大地震带之间, 地震活动频繁、强度高, 是破坏性地震的多发地区。一年干旱少雨, 日照充足, 昼夜日照时数 2 903.9 ~ 3 252.5 h。

大武地震台位于阿尼玛卿雪山北麓, 格曲河东侧, 坐落于玛沁腹地——大武滩, 又称格科塘, 距西宁 440 km。城区四周群山环抱, 东南高, 西北低, 海拔 3 719 m。主导风向为西风, 年平均气温为零下 0.6℃, 最高气温 26.6℃, 最低气温零下 34.9℃, 最大温差 22.4℃, 属高原大陆性气候。年均降水量 443 mm, 平均蒸发量 1 462.4 mm, 平均气压 644 mm 汞柱, 最大冻土深度 246 cm。大武地震台位于库玛断裂带东段北侧。库玛断裂带是青藏高原内部一条重要的活动断裂带, 也是大陆内部一条著名的左旋走滑深大断裂带, 它构成了二级构造单元, 是青藏断块与甘青断块的分界。该断裂具有发育历史悠久、长期剧烈活动和现代活动强烈的特点, 历史上曾发生过数次 7~8 级强震, 仅 1900 年以来发生 7 级以上强震 5 次, 最大地震为 2001 年 11 月昆仑山口西 8.1 级地震(青海省地震局, 2005)。

^{*} 收稿日期: 2014-08-30.

1.2 仪器情况

都兰和大武地震台的大地电场观测均采用中国地震局地震预测研究所研制的 ZD9A - II 地电场仪, 电极采用兰州地震研究所生产的固体不极化电极。两台地电场仪均于 2007 年 7 月架设, 2008 年 1 月 1 日正式运行。该地电场仪综合了国内外同类仪器的大多数功能, 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, 主要用于测量大地电场强度及其随时空的变化 (席继楼等, 2007)

固体不极化电极, 其主要技术指标为: 在饱和 NaCl 溶液中, 一对电极之间的极差小于 1.0 mV; 极差漂移 (30 min 稳定性): 不超过 ± 0.01 mV; 极差漂移 (24 h 稳定性): 不超过 ± 0.1 mV; 极差漂移 (30 d 稳定性): 不超过 ± 1.0 mV; 频率响应范围: 0 ~ 1 Hz; 10 s 内短周期噪声小于等于 10 μ V (赵和云等, 1998)。

1.3 外线路布设方式

地电场强度矢量是重要的地球物理常量之一 (图 1)。在地电场观测时, 按照分量测量、矢量合成的方法, 对地表地电场强度进行测试。当测量得到至少 2 个 (正交) 分量以后, 由式 (1) 和式 (2) 可以计算得到测点 O 的平均地电场强度值 E 和方位角 α :

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}.$$
 (1)

$$\alpha = 90^\circ - \operatorname{tg}^{-1} \frac{E_y}{E_x}.$$
 (2)

都兰台以 O 点为中心点, 如图 2a 所示, 按照“多方向、多极距”观测方法布设测量线路, 即双

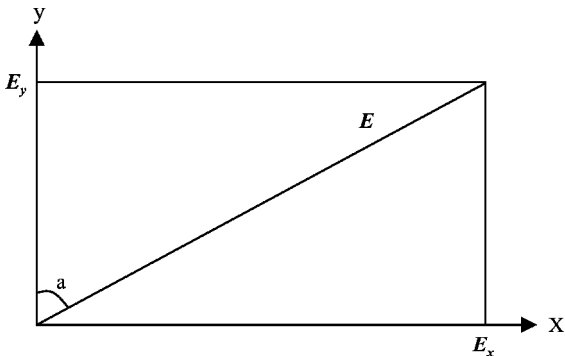


图 1 地电场矢量图
Fig. 1 Electric field vector

L 布设的 NS、EW、N45°E6 条测线, 每个测量方向分别采用两种不同极距独立装置进行对比观测, 每个测量方向极距装置见表 1。

大武台以 O 点为中心点, 采用十字交叉方式如图 2b 所示布设。每个测量方向极距装置见表 1。

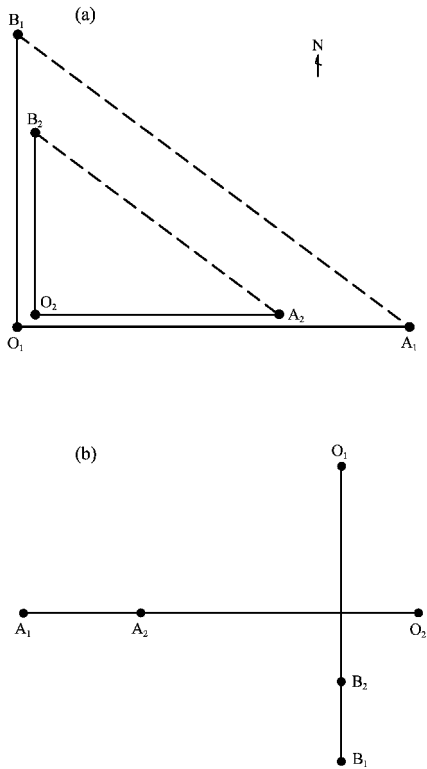


图 2 都兰 (a)、大武 (b) 地震台电场电极分布图
Fig. 2 The electrode layout of geoelectric field at Dulan (a) and Dawu (b) Stations

表 1 都兰、大武电场布极装置参数
Tab. 1 Parameters of electrode layout of geoelectric field at Dulan and Dawu Stations

		观测装置参数					
都兰	测 道	O ₁ B ₁	A ₁ O ₁	A ₁ B ₁	O ₂ B ₂	A ₂ O ₂	A ₂ B ₂
	电极极距/m	300	300	424	150	150	212
大武	测 道	O ₁ B ₁	A ₁ O ₁	A ₁ B ₁	O ₂ B ₂	A ₂ O ₂	A ₂ B ₂
	电极极距/m	150	175	231	100	150	180

2 观测数据分析

选取 2008 ~ 2011 年都兰和大武地震台观测数据, 根据观测系统运转及资料产出情况, 对有代表性的数据曲线变化形态进行分析研究。

2.1 数据质量分析

质量分析即对两组数据的变化过程进行分析, 相关系数能够反映两个变化过程的相似程度。一般情况下, 就地电场观测台站而言, 主要对同测向不同测道的观测数据, 利用计算得到的相关系数, 初步判断观测系统是否可靠, 所以也称自相关分析。

自 2008 年正式运行以来, 都兰地震台观测数据连续率和完整率都保持在 95% 以上 (表 2)。但数据的相关性不是很稳定, 除去客观因素导致的仪器故障, 如 2008 年 7 月因雷击导致数采故障, 返厂维修; 2010 年 9 月外线路维修以外, 每逢灌溉季节, 观测数据就出现明显的突跳 (台阶), 相关系数较低, 差值很高且不稳定, 数据曲线的变化较大 (图 3), 表明数据不稳定。

自 2008 年正式运行以来, 大武地震台地电场外线路及数采故障率较高, 连续率和完整率在 87% 以上 (图 3, 表 2)。除 2008 年数据相关性符合规范要求以外, 其余逐年在下降, 主要原因为外线路绝缘、雷击等, 导致数据不稳定, 数据曲线变化较大。

表 2 2008 ~ 2011 年都兰、大武地电场数据统计

Tab. 2 Statistic of geoelectric field data at Dulan and Dawu Stations from 2008 to 2011

台站	年份	连续率%	完整率%	相关系数	差值
都兰	2008	95.33	95.54	0.841 9	9.184
	2009	95.88	96.00	0.773 4	11.60
	2010	96.84	95.41	0.678 2	25.66
	2011	99.88	96.40	0.455 2	15.30
大武	2008	99.77	95.90	0.772 5	0.816 7
	2009	95.84	89.30	0.748 4	6.188 3
	2010	77.12	87.45	0.656 1	8.608 6
	2011	99.24	97.39	0.717 0	13.65 2

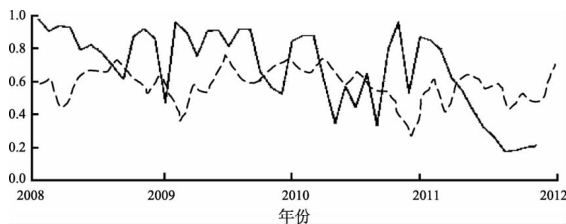


图 3 都兰台观测数据年均相关系数图

Fig. 3 Average annual coefficient of observation data at Dulan and Dawu Stations

由以上两个台大地电场数据内在质量分析得出: (1) 观测系统不稳定, 导致数据的相关性较差。观测系统不稳定原因可能为大地电场观测系统的不极化电极使用期限短, 观测资料会出现大幅度、不稳定的漂移变化 (陆阳泉等, 1998)。这是因为固体不极化电极在土壤埋设时间较长后, 电极固体电解液与土壤接触不良, 出现分离, 造成接地电阻变大, 并且电极本身固化而内阻的增大, 接地电阻的增大和内阻的增大这两种情况都将导致测数不正常; (2) 引起观测数据变化的原因可能是降雨、浇地干扰, 雨 (雪) 水下渗到电极处, 引起电极极化电位变化所导致; (3) 外线路绝缘性不好, 造成数据台阶; (4) 雷击、数采故障等导致数据中断。

2.2 地电场日变化特征

为了能够正确判断大地电场的干扰因素, 就需要对其正常变化形态进行分析。本文所指的日变化是以一个太阳日为周期且依赖于地方时的变化, 即在地球自转的作用下, 由于太阳位置的不断变化, 产生了测点上空电离层等离子体中的周期性电流变化, 这种电流变化可以在地球表面感应产生具有一定规律性的地电场变化, 其周期为 1 天 (席继楼等, 2002)。如图 4 所示, 日变很清晰, 但日变形态有所区别, 即每天中午 11 时左右会出现低值状态, 两侧各有一个极大值。

就日变而言, 其 NS 向日变形态应与地磁水平分量 EW 向日变形态基本一致; EW 向日变形态应与地磁水平分量 NS 向日变形态基本一致, 二者相位存在差异。如图 5 所示, 将都兰台日变地电场与地磁静日正常的日变化规律做比较分析, 地电场与地磁场的快变化部分有相同的场源, 应具有相同类似的变化。另外, 地电场与地磁场在相位上略有差别, 一般前者滞后于后者。

3 干扰因素及原因分析

3.1 磁场变化干扰

大地电场主要起源是外空电流体系, 它与地球外部磁场变化有着直接关系, 地球外部磁场的变化, 比如磁扰、磁暴、电离暴大多起源于太阳大气最外层的日冕向空间持续抛射出来的大量带电粒子流, 由它形成的太阳风高速压缩磁层、电离层, 其中的带电粒子形成的电流冲击地球磁场,

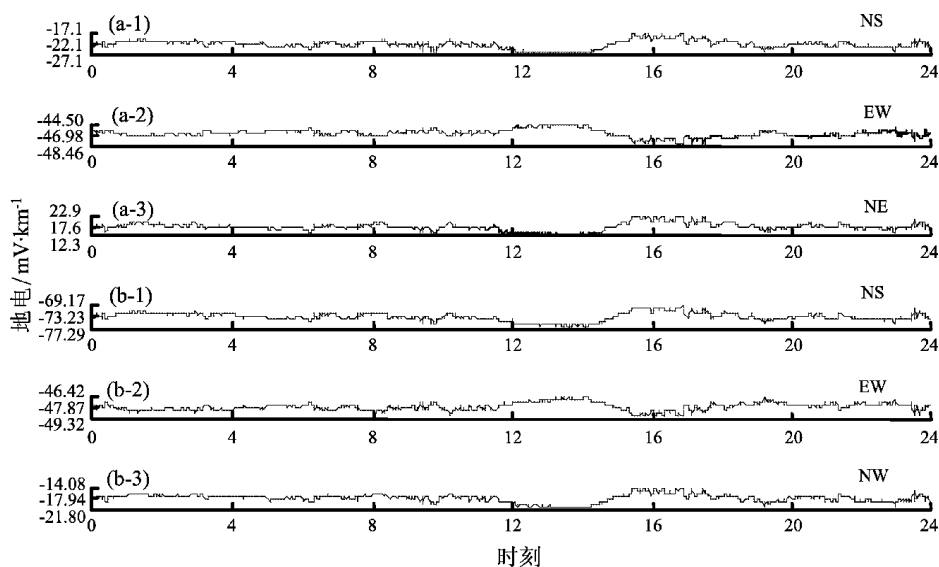


图4 2007年10月15日都兰台长极距(a)及短极距(b)电场日变化分钟值曲线图

Fig. 4 Minute value curve of daily change of electric field in long (a) and short (b) polar distance at Dulan Station on Oct. 15, 2007

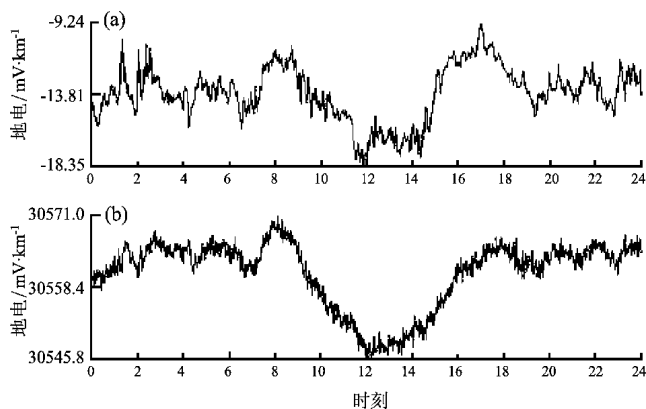


图5 2008年3月7日都兰台NS长极距地电场观测(a)及其与地磁场同时段数据变化图(b)

Fig. 5 Data change of geoelectric field in long polar distance in NS (a) and geomagnetic field (b) at the same time at Dulan Station on Mar. 7, 2008

使得磁层内对流电场增强,环电流粒子增多;电离层电离激增,电子密度突然增大,使地球磁场强度发生明显的变动,从而引起地电场观测数据的急剧变化(徐文耀,2003)。

磁扰时大地电场分钟值观测曲线变化形态如图6所示。2010年4月5日地磁K指数为5时,地电场观测记录到磁扰事件,可以看出磁扰发生时地电场观测数据变化特征(叶青等,2007)。如图7所示,地磁观测记录同步发生变化,6道数据同时出现异常,形态表现为高频脉冲,影响其正

常日变形态,其变化幅度与磁扰的强度有关,并随着磁扰强度的增强而增大;变化时间和磁扰持续时间有关,磁扰结束后,地电场观测数据也随之恢复正常。

3.2 雷电干扰

对流层中的雷电现象是地电场高频变化的场源之一,雷电发生时,带有电荷的雷云与地面的突起物接近时,它们之间就发生激烈的放电,从而改变了区域电场的分布环境(黄海清等,1984)。

由于雷电通常离得较近,电压很高,在放电的瞬间,导致地电场观测数据变化幅度也较大,持续时间也相对较长,图8为大武地电台2010年6月30日大地电场分钟值观测曲线变化形态,自13~14时左右观测值明显偏离正常的变化,曲线形态发生急促畸变。雷电期间地电场变化特征为:观测数据离散度较大,特别是在放电期间,呈现出典型畸变,观测数据大幅突跳,为正常时数倍。

3.3 降雨、农田灌溉、观测环境等干扰

引起观测数据变化的原因可能是灌溉(雨、雪)水下渗到电极处,引起电极极化电位变化所导致(图8、图9)。由于极化电位不一致,将在测量回路中产生一个附加的电极极化电位差,从而影响到地电场观测(席继楼等,2002),引起数据变化。这样的干扰会随着水分的蒸发,农田逐渐干涸,观测曲线会逐步恢复到正常日变形态,一般需要持续几天。

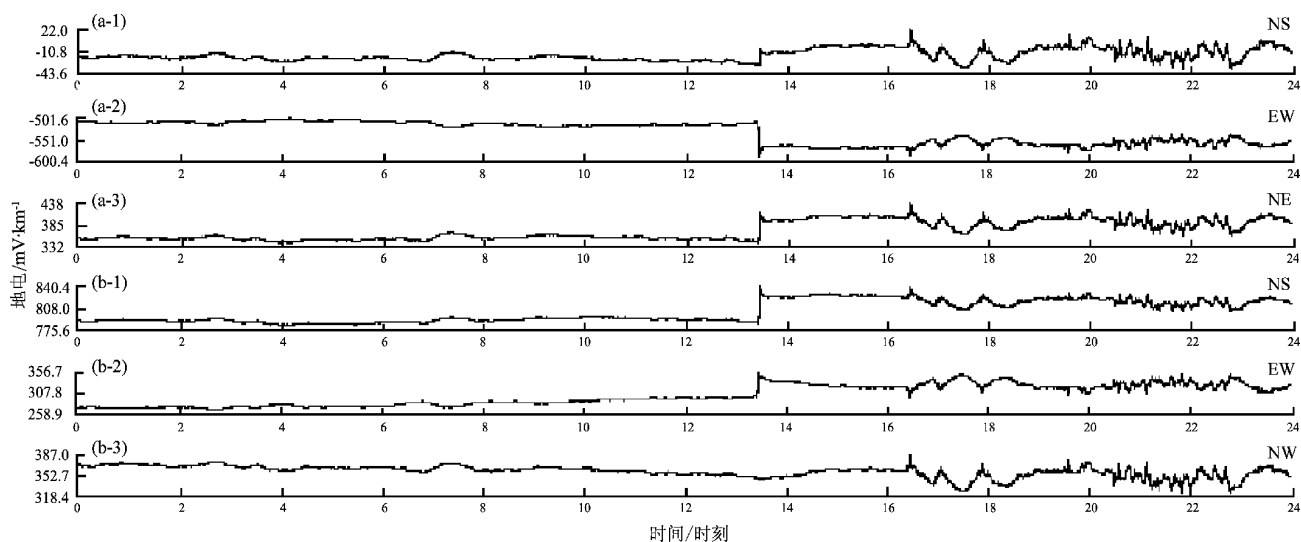


图 6 2010 年 4 月 5 日磁扰时都兰台长极距 (a)、短极距 (b) 地电场地电场分钟值曲线

Fig. 6 Minute value curve of geoelectric field in long (a) and short (b) polar distance interfered by magnetic disturbance at Dulan Station on Apr. 5, 2010

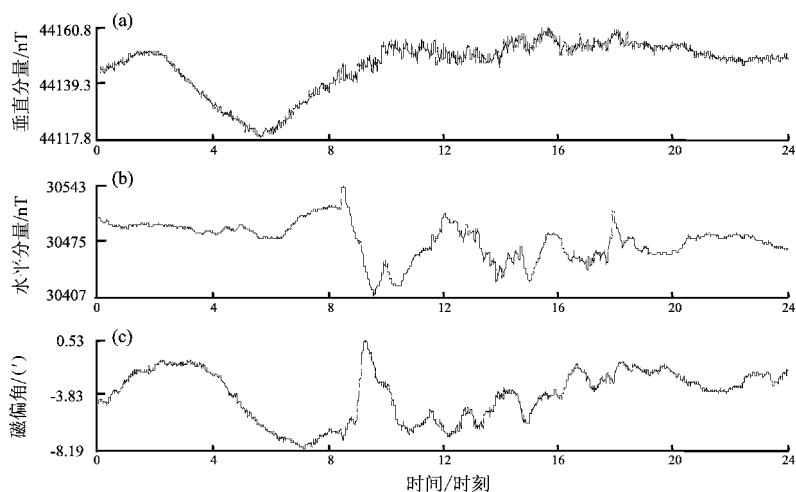


图 7 2010 年 4 月 5 日磁暴都兰台地磁分钟值曲线

Fig. 7 Minute value curve of geomagnetism interfered by magnetic storm at pulan staion on Apr5, 2010

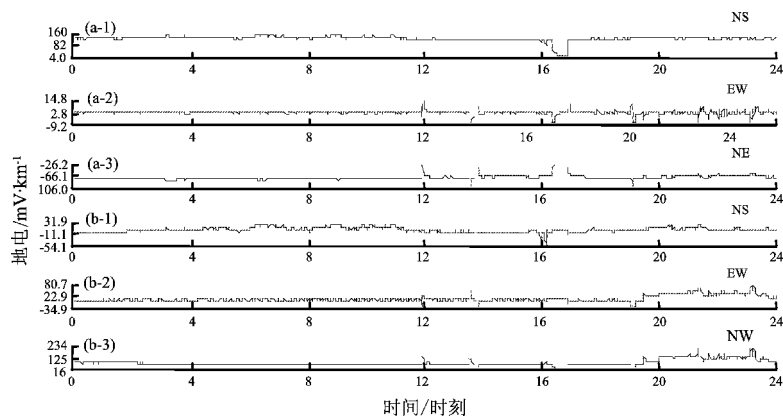


图 8 2010 年 6 月 30 日大武台长极距 (a)、短极距 (b) 地电场地雷击分钟值曲线图

Fig. 8 Minute value curve of geoelectric field in long (a) and short (b) polar distance interfered by lightning at Dawu Station on Jul. 30, 2010

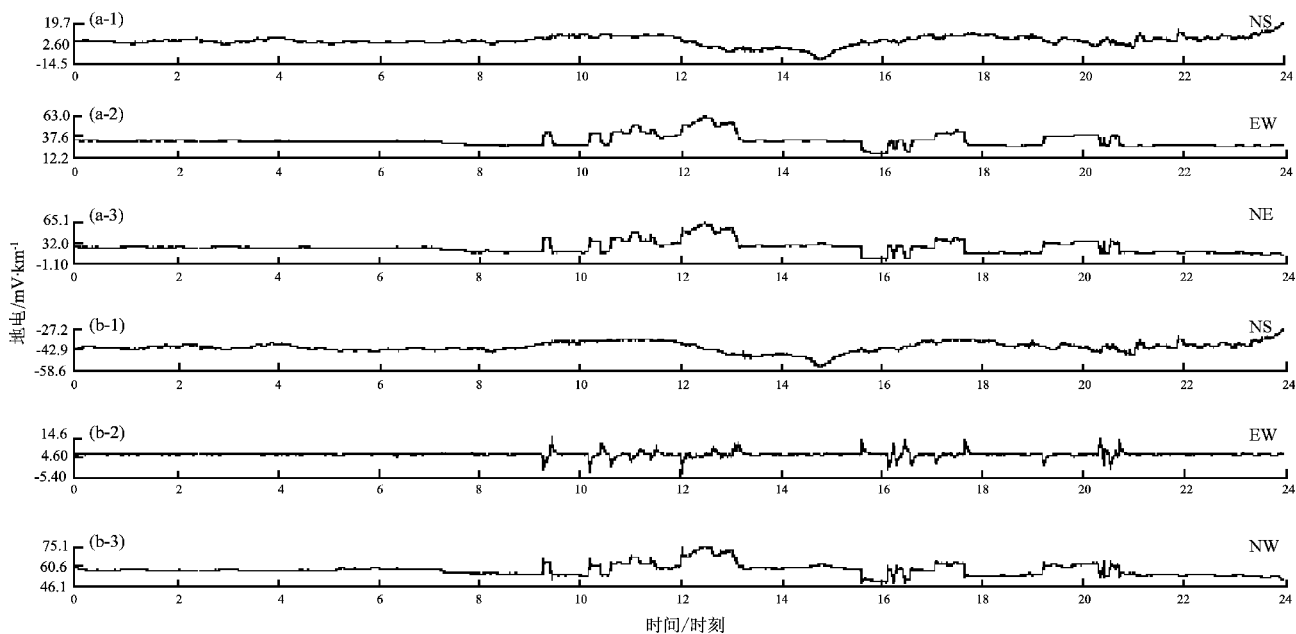


图9 2008年1月12日大武台长极距(a)、短极距(b)地电场下雪分钟值曲线图
Fig. 9 Minute value curve of geoelectric field in long (a) and short (b) polar distance interfered by snow at Dawu Station on Jan. 12, 2008

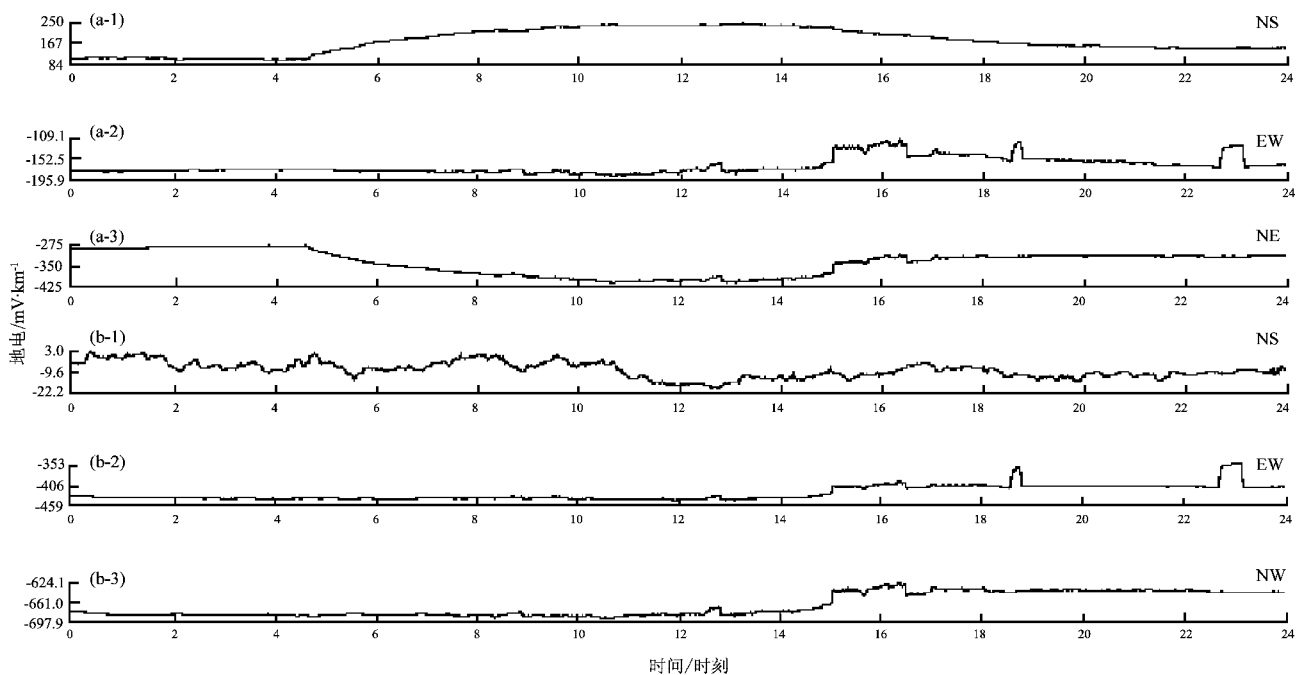


图10 2009年9月14日大武台长极距(a)、短极距(b)地电场下雨分钟值曲线图
Fig. 10 Minute value curve of geoelectric field in long (a) and short (b) polar distance interfered by rain at Dawu Station on Sep. 14, 2009

由此可以看出,电极处渗水引起数据变化的特征是:地电场观测数据在短时间内呈现大幅度的变化,往往是大幅度的上升或者下降,并且渗水量越多引起的“台阶”也就越大,为正常值的数倍以上,并且在渗水后的一段时间内地电场数据仍旧是不稳定的趋势变化。

3.4 外线路绝缘不好干扰

自2008年底开始都兰台地电场观测曲线形态出现异常变化(图11)。通过对外线路接地检查,发现接地电阻均小于 $2\text{ k}\Omega$ 。2010年8月对外线路进行部分维修时发现,外线路绝缘皮损坏,造成铜芯线外露,后经更换部分外线,处理接线头后,

观测数据恢复正常,经分析数据出现突跳(台阶)变化系外线路绝缘性能降低导致漏电和线路接头接触不良所致。

在地电场观测中,线路的完好和接触良好也是非常重要的。如果线路中出现漏电、接触不良的情况,地电场数据会随时间的变化而产生“台阶”和“高频变化”。

3.5 仪器标定干扰

在实际工作中,由于一些特殊情况需要将地电场观测外线路暂时断开,比如检查外线路绝缘度等原因,这些事件也会引起观测数据的变化(图12)。

因为大地电场观测系统是一个封闭的环路,为保障观测数据的可靠性,需要定期断开外线路来检查其绝缘度。都兰台2008年12月27日分钟值观测曲线变化形态图表明对大地电场外线路进行绝缘度检查时观测数据发生变化(图12)。

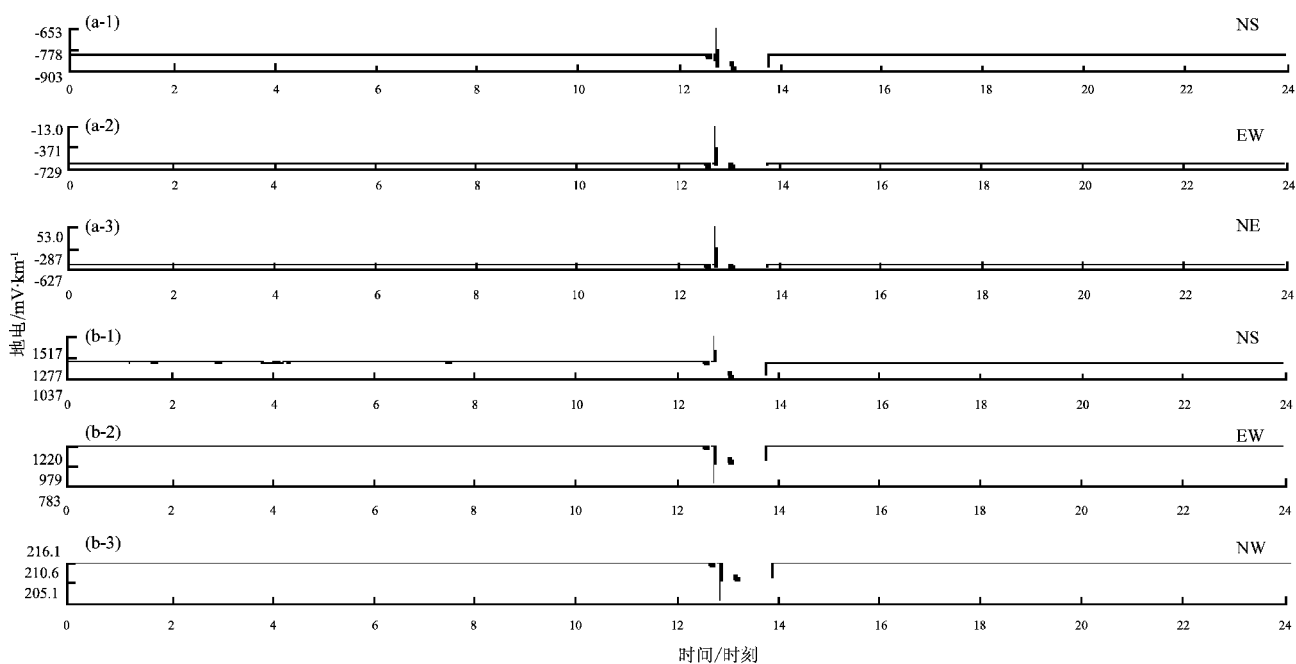


图11 2010年8月26日都兰台长极距(a)、短极距(b)地电场外线路断路分钟值曲线图

Fig. 11 Minute value curve of geoelectric field in long (a) and short (b) polar distance interfered by external circuit breaker on Aug. 26, 2010 at Dulan Station

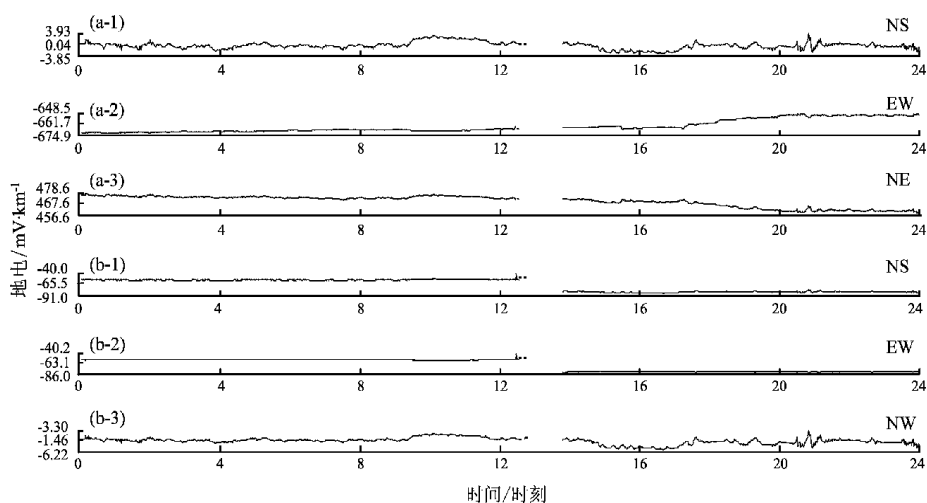


图12 2008年12月27日都兰台长极距(a)、短极距(b)地电场外线路绝缘检查分钟值曲线

Fig. 12 Minute value curve of geoelectric field interfered by insulation check of external circuit at Dulan Station on Dec. 27, 2008

其特征为外线路断开后,观测数据出现大幅度变化,其变化幅度为正常值的数倍,且直线下降,速度快,变化明显。当线路接通后,数据又立刻直线回升,恢复正常。它与磁扰和雷电干扰的区别在于线路断开后,变化形态成直线快速漂移,并且幅度变化大,观测数据恢复也较快。

3.6 电极老化干扰

大地电场观测使用的是固体不极化电极,突出问题就是电极老化使用时间较短(路阳泉等,1998)。如果电极老化,观测到的地电场电位不稳定,观测数据相关系数越来越低(图13),显示观测数据随机大幅突跳、阶跃,曲线形态产生飘移,看不出地电场正常的日变形态,这种不稳定变化就会和地电场信号叠加在一起,造成观测数据随机变化。

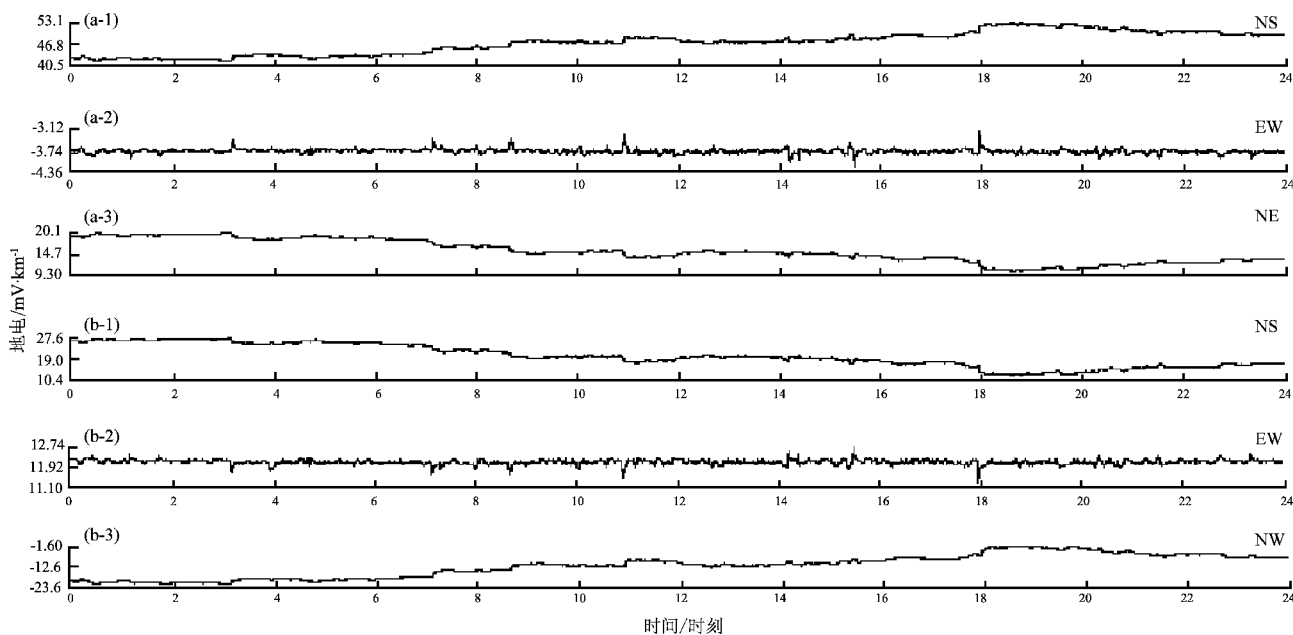


图13 2010年3月5日大武台长极距(a)、短极距(b)地电场电极老化分钟值曲线

Fig. 13 Minute value curve of geoelectric field in long (a) and short (b) polar distance interfered by electrode aging at Dawu Station on Mar. 5, 2010

4 结论与讨论

都兰台和大武台的大地电场观测普遍受降雨(雪)、雷电、电磁暴、观测环境、农田灌溉干扰,日变和电极的稳定性、背景噪声、地下电性结构、季节有密切关系,这两个台站大地电场自观测以来映震能力不好,这可能与电场容易受各种自然因素干扰及其他干扰有一定关系,电极也是制约观测资料最重要的因素。

笔者讨论了都兰和大武地电数据相关性逐年降低,即逐年变差的主要原因,针对这些分析提出以下建议:

(1) 地电场观测系统电极的不稳定干扰及降雨、农田灌溉,是可以抑制的干扰源。影响地电场观测资料稳定性的主要原因是非极化电极。非极化电极使用

时间不能过长,否则资料出现大幅度漂移变化;更换电极,观测资料的连续性较差。建议使用较稳定的电极

(2) 对地电台址及周围地区的规划要做调研和了解。大地电场观测占地面积较大,需要较大的观测环境保护区。随着农村经济结构的调整和公路、铁路等现代化交通的发展,其干扰信号强,且无法排除和避免。因此,台站及管理机构要与地电台址所属地区的规划部门进行及时有效的沟通,使相关部门在进行规划和施工前应首先考虑地震监测设施的环境保护问题。

参考文献:

- 杜学彬,叶青,赵杰. 2007. 地电场日变化研究[J]. 地震, 27(supp): 121-130.
- 黄清华,刘涛. 1984. 新岛台地电场的潮汐响应与地震[J]. 地球物理学报, (6): 1745-1754

- 陆阳泉,梁子斌,刘建毅. 1998. 固体不极化电极的使用效果及其在地震监测预报中的应用前景[J]. 地震,18(supp):21-26
- 青海省地震局. 2005. 青海省地震监测志[M]. 北京:地震出版社.
- 阮爱国. 1995. 国内外大地电场观测及其地震预报研究综述[J]. 高原地震,(3):123-126.
- 孙正江. 2006. 地电概论[M]. 北京:地震出版社,
- 席继楼,邱颖,张颖,等. 2007. 地电场试验台阵观测及数据分析研究[J]. 地震,27(supp):112-113.
- 席继楼,赵家骧,王燕琼,等. 2002. 地电场观测技术研究[J]. 地震,22(2):122.
- 徐文耀. 2003. 地磁学[M]. 北京:地震出版社.
- 叶青,杜学彬,周克昌. 2007. 大地电场变化的频谱特征[J]. 地震学报,29(4):382-390
- 赵和云,阮爱国,梁子斌. 1998. Pb-PbCl₂ 固体不极化电极在地电场观测中的作用和效能[J]. 地震,18(supp):46-52.
- 中国地震局监测预报司. 2002. 地震电磁数字观测技术[M]. 北京:地震出版社.

Analysis of Interference Factors of Geoelectric observation at Dulan and Dawu Station

GAO Hui-hui¹, MENG Fan-bo¹, WEN Yong², LI Ke-chang¹

(1. Dulan Seismic Station, Earthquake Administration of Qinghai Province, Dulan 816199, Qinghai, China)

(2. Delingha Seismic Station, Earthquake Administration of Qinghai Province, Delingha 817099, Qinghai, China)

Abstract

Using the observation data of geoelectric field at Dulan and Dawu Seismic Stations, we collect and organize the interference source of geoelectric field observation. Using the identification methods of the interference of routine variation, we analyze the various interference factors of influencing the geoelectric field observations at Dulan and Dawu Seismic Station. The results show that due to the observation physical quantity, the quantity of the interference factors in geoelectric field observation are more. Taking the typical disturbance events for example, we elaborate the correct identification of interference anomaly and non-interference anomaly, which could correctly eliminate all kinds of interference source, and identify the abnormal changes of the geoelectric field before earthquakes in the future.

Key words: Dulan Seismic Station; Dawu Seismic Station; geoelectric field; observation data; interference factors