

山东地区地电场观测资料分析研究^{*}

董晓娜¹, 鲁成义², 曲利¹, 苏道磊³, 张慧峰¹, 刘海林⁴

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014; 2. 马陵山地震台, 山东 郯城 276114;
3. 济南市地震局, 山东 济南 250001; 4. 安丘地震台, 山东 安丘 262100)

摘要:介绍了山东地区7个地电场观测台的概况,选取各台2007~2011年的观测数据,从资料的完整性、内在质量(包括相关系数和归零差值)、数据变化及受干扰情况等几个方面进行了分析和探讨。结果表明:各台地电场观测资料保持了较好的连续性和完整性,数据能够满足分析预报使用的要求。从数据质量来看,郯城、菏泽、陵阳和大山台的数据较好,其相关系数大于0.95,更换电极后归零差值控制在1 mV/km左右,可为地震预测研究提供可靠的数据资料。在数据变化形态方面,山东地区地电场变化形态多数属于潮汐型地电场,日常观测中,主要受到了地电暴、雷电及外线路故障等干扰。

关键词:地电场;数据连续性;日变特征;山东地区

中图分类号: P319.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)03-0420-09

0 引言

地球表面存在天然的变化电场和稳定电场,总称地电场。地电场是重要的地球物理场之一,地电场观测主要观测其地表分量及时空变化。根据不同的场源,分布于地表的地电场可划分为大地电场和自然电场,大地电场是由地球外部的各种场源(宇宙射线、太阳辐射与太阳风、地球自转以及大气层变化等)作用在地球表面感应产生的分布于整个地表或较大地域的变化电场,一般具有广域性。自然电场是由地下场源产生的,是地下介质电性结构、地表、裂隙流体及地下金属体的物理、化学变化引起的局部性电场变化,一般具有局部性(地域性)。

中国地震系统的地电场观测始于1966年邢台地震之后,1985年在甘肃开展数字化地震地电场试测,1990年中国地震局兰州地震研究所(CEA-LIS)与法国国家科学研究院克莱蒙费朗地球物理观象台(CNRS-OPGC)在甘肃天祝建立了中法国际合作地电、地磁场综合观测台。随着“九五”项目的实施,中国地震局开始了规范化的地电场观测。“十五”项目完成之后,全国逐步形成了大

规模的地电场观测台网。多年来,国内外对地电场观测资料的分析研究取得了大量成果(Varotsos, Alexopoulos, 1984; 毛恩桐等, 1999; 席继楼等, 2002; 郑兆苾, 汪雪泉, 2005; 汪忠德, 2008; 赵洁等, 2009; 谭大诚等, 2010; 叶青等, 2007)。通过对观测资料的分析研究,有助于更好地认识地电场的变化特征,有效识别干扰及异常,从而提高大地电场观测资料质量,为识别地震前兆异常提供依据。

1 台站简介

“九五”及“十五”项目完成后,山东地区共建立了7个地电场观测台郯城马陵山台(简称郯城台)、安丘台、莒县陵阳台(简称陵阳台)、无棣大山台(简称大山台)、菏泽台、乳山台、邹城台(图1)。

据张继红等(2010)研究表明:沂沭断裂带及其周围地区是大地震多发区,其附近地区的电性结构复杂,变化多,具有发生强震的孕震环境。沂沭断裂带位于郯庐断裂带中段,是连接鲁西、鲁东隆起之间的构造结合带,其新构造变形沿走向表现不均一,断裂活动具有明显分段性(晁洪

^{*} 收稿日期: 2011-11-03.

基金项目: 中国地震局2011年度“地震监测、预报、科研”三结合项目(201125)和2012年度山东省地震局合同制科研项目(12Q24)联合资助.

太等, 1997)。沂沭断裂带由 4 条断裂组成, 从东到西分别为: 昌邑—大店断裂、安丘—莒县断裂、沂水—汤头断裂、郯郡—葛沟断裂。这 4 条断裂构成了两侧凹陷、中央凸起的“堑垒”结构。

为重点监测沂沭断裂带附近的地电场变化, 沿沂沭断裂带陆续建立了安丘、郯城和陵阳 3 个观测台, 其中安丘台地处沂沭断裂带北段, 在安丘—莒县断裂上; 郯城台地处沂沭断裂带中段, 跨安丘—莒县断裂东侧; 陵阳台地处昌邑—大店断裂带南端与陵阳—葛河断裂交汇部位。之后, 又相继建立了其他 4 个台。其中, 大山台地处新生代沉降带埋宇隆起。菏泽台地处鲁西南平原, 紧邻聊考断裂带; 乳山台地处牟平—乳山断裂附近; 邹城台地处尼山—峰山断裂之间。

山东地区 7 个地电场台的观测仪器均使用中国地震局分析预报中心研制的 ZD9A - II 数字化地电场仪, 数据产出为 1 次/min。各台严格按照《地震台站观测环境技术要求》(GB/T 19531.2 - 2004) 和《地震台站建设规范》(DB/T 18.2 - 2006) 进行了观测环境勘选, 布极区内地形开阔平坦, 无铁、磁管线和其它铁、磁物体, 区内及附近无较大河流、水渠和积水坑, 无工业游散电流和其他电磁信号的干扰源产生。

各台站均采用多方向、多极距观测方法, 即: 在两个以上的方向上进行测量, 每个测向至少布设两个以上的测道。“该方法可以准确判断数据的

可靠性, 检查和排除测量系统中出现的问题, 识别降雨、电极极化、场地影响及近场电磁干扰等影响。与之对应的是双“L”型布极方式, 即在测区内共布设 3 个观测方向: NS 向、EW 向及一个斜道方向 (NE 或 NW, 具体方向根据当地实际观测场地来确定); 也可根据测区内地质构造的特点, 布设为与台站附近断层走向平行、垂直、斜交的 3 个方向 (席继楼等, 2002)。在 3 个观测方向上布设长、短两个极距, 长极距一般大于 300 m, 以保证高信噪比, 长、短极距之比可为 2:1 至 1.5:1。各台线路均采用架空方式, 并按照《地震台站建设规范》(DB/T 18.2 - 2006) 要求, 地电台站测量线加装避雷装置后与测量仪器相接, 测量线与电极引线之间采用闸刀连接, 并做防雨处理。各地电场观测台的基本信息如表 1 所示, 布极类型如图 2 所示。

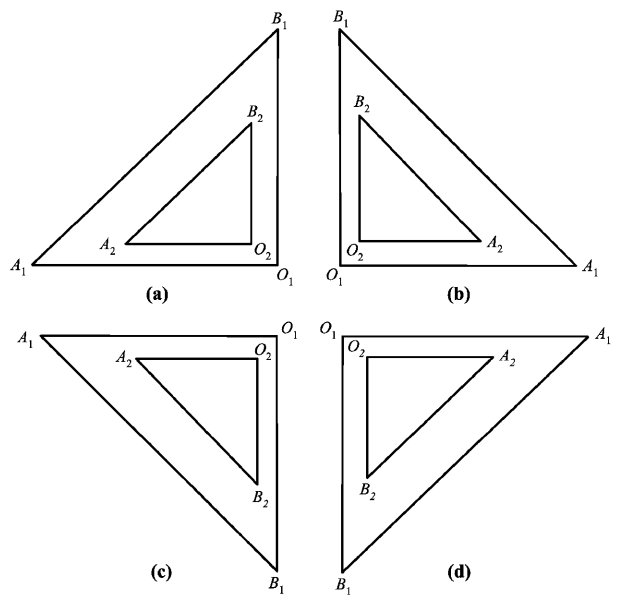


图 2 地电场布极图

Fig. 2 Poles layout of geo-electric field

2 资料的连续性和完整性

观测数据的连续性和完整性是地震预测研究对前兆观测数据的基本要求, 通常用数据连续率和完整率来衡量。连续率的统计对象是原始观测数据, 即由测量仪器直接产出的未经任何处理的数据。完整率的统计对象是预处理数据, 即按照学科要求经过相应处理后的数据。

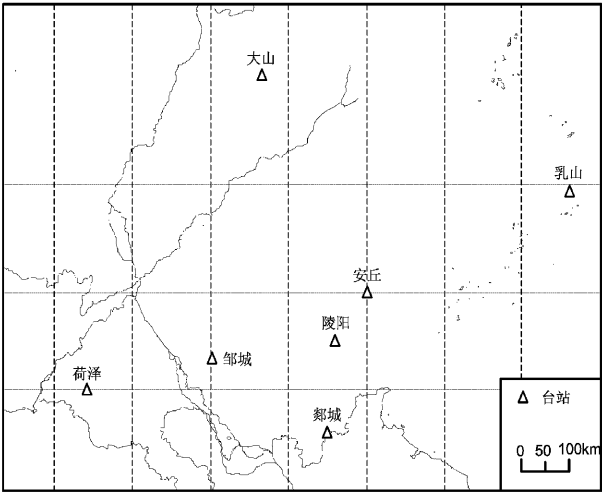


图 1 山东地电场观测台空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of geo-electric field observation stations in Shandong Province

连续率和完整率的计算公式分别为

连续率 = $\frac{\text{原始数据实际总个数}}{\text{原始数据应有总个数}} \times 100\%$, (1)

完整率 = $\frac{\text{预处理数据实际总个数}}{\text{预处理数据应有总个数}} \times 100\%$. (2)

根据式 (1) 和 (2), 本文对 2007 ~ 2011 年山东地区地电场观测数据的连续率和完整率分别进行了统计, 结果详见表 2 和表 3。从表 2 中可以

看出, 各台的连续率较高, 5 年的平均连续率为 98.91%, 除刚投入观测的 2007 年较低外 (96.80%), 其余 4 年均在 99% 以上。可见, 观测资料保持了较好的连续性, 表明各台仪器稳定性较高, 观测系统运转基本正常。

相比较而言, 完整率总体偏低, 从表 3 中看出, 5 年的平均完整率为 96.06%。投入观测初期, 由于预处理经验不足及预处理尺度把握上的偏差, 导致观测数据的完整性较差。随着经验的不断积累, 每年平均完整率呈逐渐上升趋势, 由 2007 年

表 1 山东区域地电场观测台站基本信息表

Tab. 1 Basic information of geo-electric field observation stations in Shandong

| 台站 | 断裂带位置 | 仪器型号 | 投入观测时间/年-月 | 外线路 | 布极方式 | $0_1A_1=0_1B_1$ | $0_2A_2=0_2B_2$ | 布极图类型 |
|-----|--|---------|------------|------------------------|----------|-----------------|-----------------|-------|
| 郯城台 | 沂沭断裂带中段,跨安丘—莒县断裂东侧 | ZD9A-II | 2006-07 | 7×φ1 mm 铜芯 乙烯外套线,架空 | NS\EW\NE | 307 | 170 | (d) |
| 安丘台 | 沂沭断裂带北段,在安丘—莒县断裂上 | ZD9A-II | 1998-06 | 7×φ1 mm 铜芯 乙烯外套线,架空 | NS\EW\NW | 315 | 136 | (a) |
| 陵阳台 | 地处昌邑—大店断裂带南端与陵阳—葛河断裂交汇部位 | ZD9A-II | 2006-09 | 7×φ1 mm 铜芯 乙烯外套线,架空 | NS\EW\NE | 310 | 180 | (d) |
| 大山台 | 地处新生代沉降带埕宁隆起,隆起以北是黄骅新生代拗陷,以南是济阳拗陷,隆起与拗陷之间为断层接触 | ZD9A-II | 2006-11 | 7×φ1 mm 铜芯 乙烯外套线,架空 | NS\EW\NW | 400 | 200 | (a) |
| 菏泽台 | 地处鲁西南平原,聊考断裂带中北段东 | ZD9A-II | 2008-03 | 7×φ1 mm 铜芯 乙烯外套线,架空 | NS\EW\NW | 350 | 200 | (a) |
| 乳山台 | 地处牟平—乳山断裂附近 | ZD9A-II | 2006-11 | 7×φ1 mm 铜芯 乙烯外套线,架空 | NS\EW\NE | 360 | 240 | (d) |
| 邹城台 | 地处尼山—峰山断裂之间 | ZD9A-II | 2006-08 | 7×φ1 mm 铜芯 乙烯外套线,架空 | NS\EW\NW | 306 | 180 | (c) |

表 2 地电场观测数据连续率(%)

Tab. 2 Continuous rate of geo-electric field observation data(%)

| | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 各台平均 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 郯城 | 99.19 | 99.75 | 99.73 | 99.86 | 99.85 | 99.68 |
| 安丘 | 98.13 | 99.76 | 99.49 | 99.86 | 99.92 | 99.43 |
| 菏泽 | — | 99.34 | 99.48 | 99.46 | 99.79 | 99.52 |
| 陵阳 | 99.87 | 99.54 | 98.72 | 99.26 | 99.89 | 99.46 |
| 大山 | 94.61 | 99.34 | 98.31 | 99.02 | 99.80 | 98.22 |
| 邹城 | 89.33 | 97.26 | 97.74 | 98.60 | 99.71 | 96.53 |
| 乳山 | 99.65 | 99.77 | 99.53 | 99.32 | 99.36 | 99.53 |
| 年平均 | 96.80 | 99.25 | 99.00 | 99.34 | 99.76 | 98.91 |

注: 菏泽台于 2008 年 3 月开始观测,其连续率从 2008 年 3 月起开始统计。

表 3 地电场观测数据完整率(%)

Tab. 3 Integrity rate of geo-electric field observation data(%)

| | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 各台平均 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 郯城 | 98.51 | 98.11 | 98.27 | 99.09 | 99.71 | 98.74 |
| 安丘 | 97.43 | 97.15 | 99.39 | 99.86 | 99.92 | 98.75 |
| 菏泽 | — | 97.34 | 96.54 | 99.18 | 99.73 | 98.20 |
| 陵阳 | 98.73 | 96.35 | 97.24 | 97.01 | 99.36 | 97.74 |
| 大山 | 89.95 | 98.24 | 97.81 | 98.97 | 99.77 | 96.95 |
| 邹城 | 65.41 | 61.00 | 95.62 | 97.66 | 98.65 | 83.67 |
| 乳山 | 98.01 | 98.83 | 99.03 | 98.32 | 97.78 | 98.39 |
| 年平均 | 91.34 | 92.43 | 97.70 | 98.58 | 99.27 | 96.06 |

注: 菏泽台于 2008 年 3 月开始观测,其完整率从 2008 年 3 月起开始统计。

的91.34%逐步提高到2011年的99.27%。综上所述,山东地区7个台的地电场观测数据的连续性和完整性能够满足分析预报使用的要求。

3 数据内在质量

依据地电场广域性,通过对同一测向不同测道的观测数据在时域上进行相关分析和研究,可验证观测数据的可靠性,检验观测结果的质量。简言之,就是通过计算同一测向不同测道观测数据的相关系数和归零差值对地电场观测数据质量进行评判和控制。

3.1 相关系数

由于在同一局部地区,自然地电场是基本稳定的,因此在理论上,同一测向不同测道的数据变化规律应该是一致的。用相关系数来衡量在同一方向上的长短极距变化趋势,若趋势一致,则说明数据可信度较高;若趋势不一致,则需要考虑观测系统是否正常工作,测区内是否存在干扰等。相关系数的计算方法:将每天的1440个分钟值数据分别参与计算,然后采用去极值的方法计算其算术平均值,得到该天数据的相关系数。相关系数的公式为

$$\gamma_{xy} = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i (X_i - \bar{X})^2 \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

根据公式(3),本文对2007~2011年山东地区各地电场台3个测向长短极距观测数据的相关系

表4 相关系数
Tab.4 Correlation coefficient

| | 2007年 | 2008年 | 2009年 | 2010年 | 2011年 | 各台平均 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 郯城 | 0.36 | 0.38 | 0.93 | 0.91 | 0.95 | 0.71 |
| 安丘 | 0.82 | 0.80 | 0.78 | 0.81 | 0.88 | 0.82 |
| 菏泽 | — | 0.41 | 0.41 | 0.61 | 0.95 | 0.60 |
| 陵阳 | 0.76 | 0.62 | 0.59 | 0.66 | 0.97 | 0.72 |
| 大山 | 0.98 | 0.94 | 0.72 | 0.73 | 0.97 | 0.87 |
| 邹城 | 0.58 | 0.32 | 0.26 | 0.33 | 0.37 | 0.37 |
| 乳山 | 0.72 | 0.69 | 0.79 | 0.72 | 0.69 | 0.72 |
| 年平均 | 0.70 | 0.60 | 0.64 | 0.68 | 0.83 | 0.69 |

注:菏泽台于2008年3月开始观测,其相关系数从2008年3月起开始统计。

数进行计算,结果详见表4。从表中可以看出5年的平均相关系数为0.69,基本满足相关系数不小于0.6的基本要求。从各年均值来看,刚投入观测时,相关系数较好;随着时间推移,由于电极老化等原因,相关系数下降较多,由2007年的0.71降至2008年的0.6;2009~2010年,有4个台站更换了电极,相关性随之大幅提高;到2011年,相关系数达到了0.83,数据质量保持在较高的水准。从表中可以看出,郯城、菏泽、陵阳和大山台及震的相关性较好(更换电极后大于0.95),安丘和乳山的相关性一般,邹城则较差。

3.2 归零差值

由于在某一局部地区地电场是基本稳定的,因此在理论上,同一测向不同测道观测数据的变化幅度应该是一致的。用归零差值可以判断同一方向的观测数据变化幅度是否一致,是否存在漂移现象。归零差值的计算方法:首先去掉地电场数据中的背景值。将所有观测数据与该测道的00:00数据(或第一个测量数据)相减,得到该测道的归零日变化数据;然后计算同方向两个测道归零数据的差值序列;最后求出差值序列的算术绝对平均值,得到归零差值。

$$\Delta_{xy} = \frac{\sum_i |(X_i - X_0) - (Y_i - Y_0)|}{N} \quad (4)$$

式中, X_i 、 Y_i 为参与计算的两个测道的分钟测量数据($i = 0,1,2,\cdots$), N 为参加计算的数据总数, X_0 、 Y_0 为每天测量数据的初始值。

根据式(4)本文2007~2011年山东地区各地电场台3个测向长短极距观测数据的归零差值进行计算,结果详见表5。从表中可以看出,5年的平均归零差值为18.69,整体偏大。从各台站看,归零差值最好的是大山台,5年的平均值仅为0.72 mV/km,其他台归零差值都偏大。郯城、菏泽、陵阳和大山台观测数据的归零差值较好(更换新电极后控制在1 mV/km左右),说明这4个台同一方向的观测数据变化幅度比较一致,不存在漂移现象,观测系统运行正常,具有较高稳定性。其他台归零差值则普遍较大,超出技术规范要求,主要原因是电极老化导致观测系统不稳定,造成的数据变化幅度过大。

表 5 归零差值 (mV/km)

Tab. 5 Difference of return-to-zero (mV/km)

| | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 各台平均 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 郯城 | 55.50 | 36.96 | 3.61 | 5.75 | 0.99 | 20.56 |
| 安丘 | 9.02 | 7.78 | 7.59 | 9.03 | 7.57 | 8.20 |
| 菏泽 | — | 7.88 | 9.83 | 7.54 | 0.39 | 6.41 |
| 陵阳 | 13.15 | 18.96 | 21.69 | 15.87 | 1.33 | 14.20 |
| 大山 | 0.14 | 0.30 | 1.16 | 1.54 | 0.44 | 0.72 |
| 邹城 | 60.23 | 58.03 | 96.46 | 42.59 | 61.66 | 63.79 |
| 乳山 | 13.23 | 30.01 | 7.44 | 7.44 | 7.86 | 13.20 |
| 年平均 | 25.21 | 22.85 | 21.11 | 12.82 | 11.46 | 18.69 |

注: 菏泽台于 2008 年 3 月开始观测, 其归零差值从 2008 年 3 月起开始统计。

4 数据变化形态

地电场的变化受地理位置、地下构造、地形地貌、布极环境及观测装置系统运行状况等诸多因素的影响, 导致其变化形态呈现多样性、复杂性的特点。目前, 中国大陆地电场曲线的日变形态主要有“峰—谷”型、近直线型、无序变化型和混合型 4 种类型。

山东区域大部分台站的地电场曲线形态属于“峰—谷”型。“峰—谷”型地电场主要起源于潮汐现象, 所以又称为潮汐地电场。潮汐主要通过两条途径在地表产生地电场, 一种是潮汐力直接作用于岩石, 固体潮导致岩石裂隙水周期性渗流, 产生过滤电场; 另一种则是潮汐力作用于高层大气后形成空间 S_q 电流系, 通过磁场在地面产生了感应电场。根据产生途径的不同, 潮汐地电场又分为 TGF-A 型和 TGF-B 型 (谭大诚等, 2010)。

4.1 TGF-A 型潮汐地电场

一般情况下, 地电场曲线形态呈“峰—谷”型, 其记录台站多数位于海洋、湖泊等水域附近, 因为在大水域附近, 观测到的地电场主要是由固体潮引起裂隙水周期性渗流形成的过滤电场。数据曲线拥有类似形变观测数据的曲线特征, 即: 有比较规则的“双峰—双谷”形态, 呈现连续的近正弦形态, 这种地电场称为 TGF-A 型潮汐地电场。山东区域仅有乳山台和陵阳台属于 TGF-A 型潮汐地电场。

乳山台距离海洋较近, 陵阳台虽远离海洋和大水域, 但其所处的地理位置紧邻小湖群, 台站

西南侧约 0.2 km 处有一个小水库, 北侧约 0.8 km 处有一小水库, 北侧及东侧约 2.5 km 处分别有一小水库。乳山台日变形态见图 3a, 陵阳台日变形态见图 3b。两个台均可观测到比较明显的“双峰—双谷”形态, 且多日的连续形态呈近似正弦形。但从峰值和谷值出现的时间点来看, 两个台并不同步。乳山台每日在 7 时左右及 19 时左右分别出现 1 个谷值, 在 2 时左右及 14 时左右分别出现 1 个峰值。而陵阳台每日在 3 时左右及 15 时左右分别出现 1 个谷值, 在 9 时左右及 21 时左右分别出

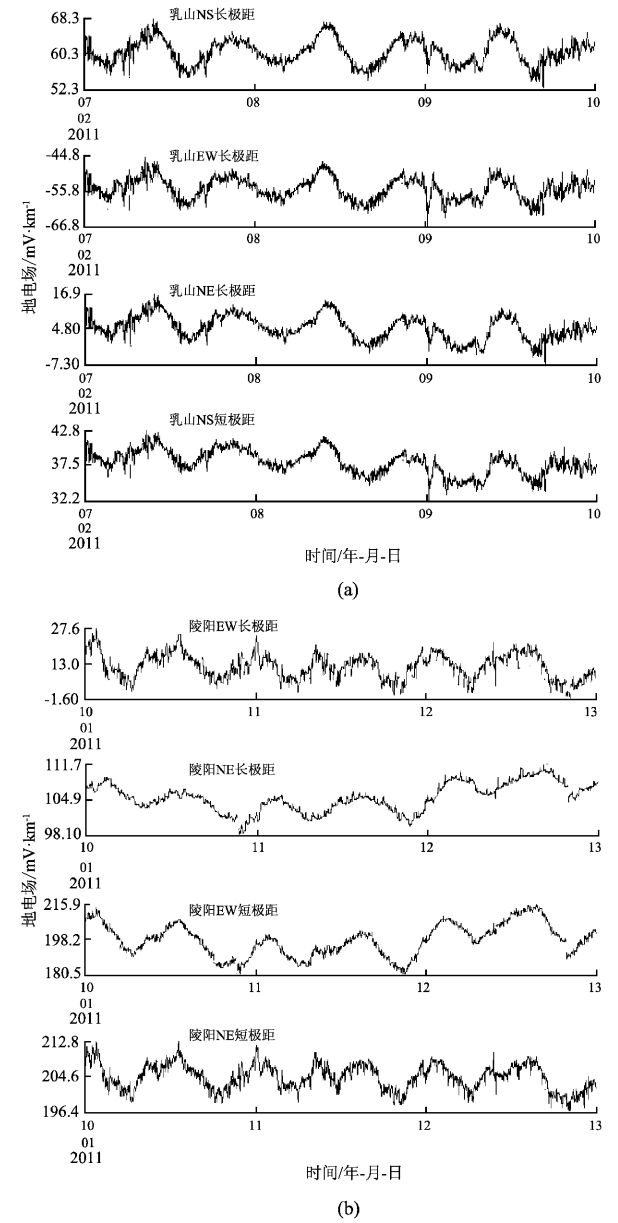


图 3 TGF-A 型地电场日变形态图
Fig. 3 Daily variation curves of TGF-A geo-electric field

现 1 个峰值。两个台峰值和谷值的出现的时间相差约 4 h，由此可见，TGF-A 型潮汐地电场具有一定的区域性。

4.2 TGF-B 型潮汐地电场

若台站附近没有水域或距离地表水域稍远，但其地下岩石含水度高、透水性较好，那么观测到的地电场主要是 S_q 电流系在地表的感应电场引起裂隙水周期性渗流产生大地电流场。数据曲线特征为：早晚相对平静呈近直线状，午时左右出现近正弦波形，连续多天呈近梯形状，这种地电场称为 TGF-B 型潮汐地电场。

山东区域多数地电场观测台属于 TGF-B 型潮汐地电场，如：郯城台、安丘台、菏泽台和大山台，各台曲线形态如图 4 所示。从图中可见，每个台的波谷时间点相对稳定且一致，早晚相对平静呈近直线状，每日午时前后约 6 小时左右呈近似正弦形态，全天近正弦波形出现间断，连续多日的形态呈近梯形状。另外，各台曲线形态的特征在时间点上具有很好的同步性。因此，TGF-B 型潮汐地电场具有一定的广域性。

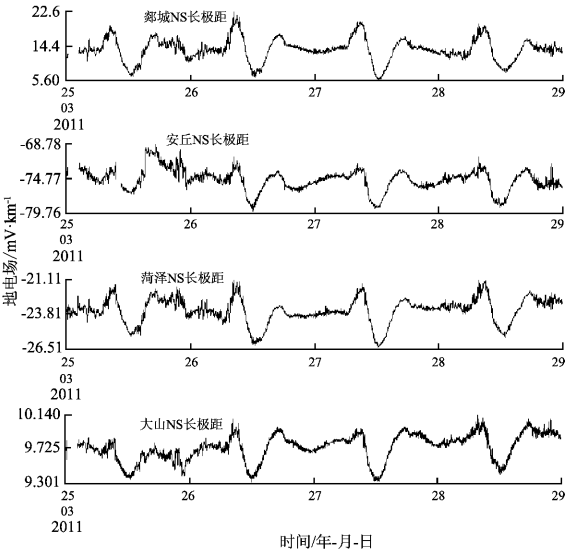


图 4 山东区域 TGF-B 型潮汐地电场日变形态图
Fig. 4 Daily variation curves of TGF-B geo-electric field

5 主要干扰

5.1 地电暴

大地电场主要起源是外空电流体系，它与地

球外部磁场变化有直接关系。地球外部磁场的变化都会引起大地电场的变化。磁暴是来自外空电离层的天然电磁源之一，磁暴期间地电场会记录到频率较高、且幅度较大的扰动变化，一般称之为“地电暴”。地电暴也是地电场天然背景变化的典型形态之一。地电暴发生时，数据产生突跳，各测向变化幅度可达到正常日变幅度的几倍以上。由于它是全球同时性的强烈磁扰引起的，因此地电场台站均可同步记录到较明显的波动异常（张学民等，2006）。

北京时间 2011 年 2 月 18 日 9 时 30 分（对应世界时为 2011 年 2 月 18 日 1 时 30 分）发生了地电暴事件，山东区域的 7 个地电场观测台站同时记录到了该地电暴事件。该事件造成了本区域内 7 个观测台产生了持续约 8 小时的变化，并且各台的变化时间段基本同步、变化形态相似、变化幅值近乎相等（图 5a）。

5.2 雷电

大气电场与地电场有对立统一性，既相互独立、又相互影响并形成一种场电变化体系。它们除了其它物理量的相互交换外，还有电的交换，雷电就是它们相互作用的产物。在无雷暴云天气时，大气电场与地电场在场电的疏密区呈相对平衡状态，形成对立统一的自然场电动态体系。地电场是一个相对稳定的、有一定自身变化规律的静态电场，与大气电场中雷暴云电场相比梯度要小的多，因为地球表面的电导率远远大于空气的电导率。一般情况下，地电场高频变化的场源是对流层中的雷电，主要是雷电改变了区域电场分布环境，特别是在雷雨天气的情况下，雷电通常离得较近，在放电的瞬间，引起数据变化幅度也较大，可达正常时的数倍，持续时间也相对较长（张建国等，2003）。

图 5b 为 2010 年 4 月 22 日出现雷电现象时，邹城地震台地电场数据变化形态，观测值明显偏离正常的变化。从图中可以看出，雷电期间电场变化特征为：观测数据离散度较大，特别是在放电期间，因强烈电流瞬间干扰，数据呈现出典型的畸变，地电场变幅可达几百甚至上千 mV/km ，可达正常值的几倍乃至几十倍，最严重时还会将仪器直接击坏。

5.3 外线路故障

（1）线路开路。2007 年 9 月 24 日 20 时 29 分

起,邹城台地电场数据各个测向同时出现大的变化,经检查观测系统及外线路发现,悬空架设的外线路被盗割。外线路使用的是 $7\times\phi 1\text{ mm}$ 软铜线,以每档约 50 m 计,共盗割约 $1\,050\text{ m}$,NS向8档线中的5档双线和3档单线全部被盗割,EW向8档线中有4档双线被盗割,被盗割线路的示意图如图5c所示,盗割前后数据变化如图5d所示。

(2) 开关跳闸。2010年3月10日邹城台地电场NS向长极距和NW向长极距数据出现异常变化,在9时8分数据突然出现大的突跳。对观测系统及外线路进行详查,发现NS向长极距接线盒的空气开关跳闸,闭合开关后,数据恢复正常。开关跳闸及闭合前后的数据变化情况,如图5e所示。笔者分析认为此次数据突跳变化系NS向长极距接

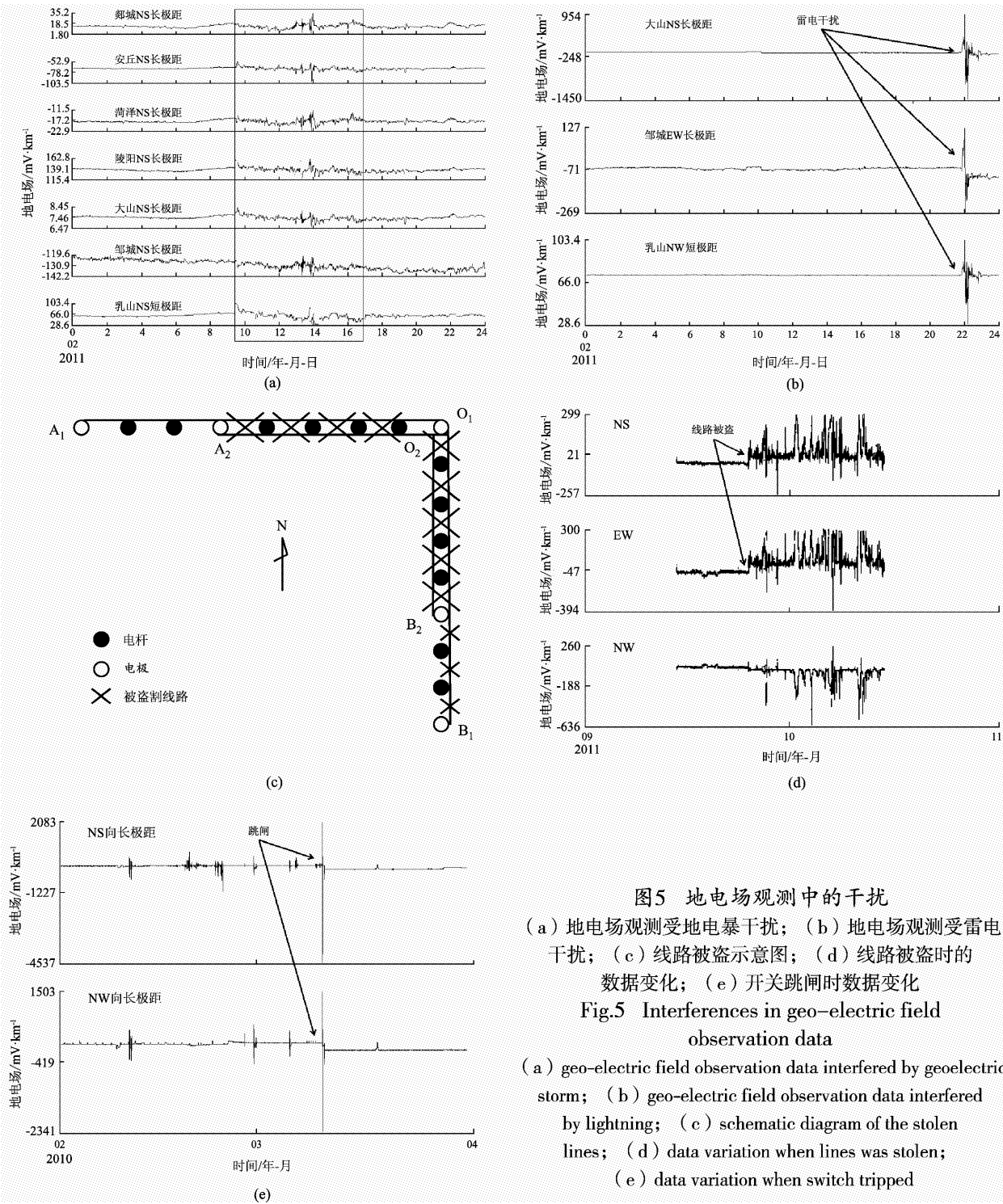


图5 地电场观测中的干扰
(a) 地电场观测受地电暴干扰; (b) 地电场观测受雷电干扰; (c) 线路被盗示意图; (d) 线路被盗时的数据变化; (e) 开关跳闸时数据变化
Fig.5 Interferences in geo-electric field observation data
(a) geo-electric field observation data interfered by geoelectric storm; (b) geo-electric field observation data interfered by lightning; (c) schematic diagram of the stolen lines; (d) data variation when lines was stolen; (e) data variation when switch tripped

线盒的空气开关跳闸所致。另外, 存在因线路接触不良引起的数据突变的可能性, 线路接触不良主要包括: 室内接头虚接(应作焊接处理)、室外连接开关锈蚀或开关未接触到位(应作定期检查)、避雷器接触点螺钉未紧固或开关未接触到位(应作定期检查)。

6 结论

本文首先对山东地区7个地电场观测台的概况进行了简单阐述, 之后对2007~2011年各台的观测资料从连续性和完整性、内在质量(包括相关系数和归零差值)、数据变化形态和受干扰情况等几个方面进行了分析和探讨。

(1) 各台地电场观测资料的连续率较高, 5年的平均连续率为98.91%, 投入观测当年的连续率是96.80%, 其余4年均在99%以上。完整率总体偏低, 但呈逐年上升趋势, 由2007年的91.34%逐步提高到2011年的99.27%。总之, 山东地区地电场自投入观测以来, 数据保持了较好的连续性和完整性, 能够满足分析预报使用的要求。

(2) 从内在质量来看, 郯城、菏泽、陵阳和大山相关系数大于0.95, 归零差值控制在1 mV/km左右(2011年更换电极后), 质量较好, 精度较高, 可为地震研究提供可靠的数据资料; 而安丘台、邹城台和乳山台数据质量稍差, 部分指标不合格, 数据稳定性不高。经初步分析知, 观测环境、仪器稳定性、观测装置运转状况(如电极工作状态、测量线路绝缘及线路接触情况等)、线路定期保养和维护检查等都是影响地电场观测数据精度的重要因素。

(3) 在数据变化形态方面, 山东地区地电场变化形态多数属于潮汐型地电场。其中, 乳山台和陵阳台属于TGF-A型潮汐地电场, 主要特征表现为: 可观测到比较明显的“双峰—双谷”形态, 且多日的连续形态呈近似正弦形。郯城台、安丘台、菏泽台和大山台属于TGF-B型潮汐地电场, 主要特征表现为: 每个台的波谷时间点相对稳定

且一致, 早晚相对平静呈近直线状, 每日午时前后约6 h左右呈近似正弦, 全天近正弦波形出现间断, 连续多日的形态呈近梯形状。

(4) 在日常观测中, 山东地区地电场主要受到了地电暴、雷电及外线路故障等干扰。地电场观测中的干扰识别分析和排查, 是一个不断探索和经验积累的过程, 正确识别并及时排除各种干扰, 对获得真实数据、提取有用的地震前兆地电场信息有很大的帮助。

参考文献:

- 晁洪太, 李家灵, 崔昭文, 等. 1997. 郯庐断裂带潍坊——嘉山段全新世活断层的活动方式与发震模式[J]. 地震研究, 20(2): 218-226.
- 刘运生, 毛春长, 等. 1996. 地球物理学简明教程[M]. 北京: 地震出版社.
- 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.
- 谭大诚, 赵家骊, 席继楼, 等. 2010. 潮汐地电场特征及机理研究[J]. 地球物理学报, 53(2): 544-555.
- 汪忠德. 2008. 中国大陆自然电场的前兆机理与特征[J]. 地震学报, 30(4): 360-365.
- 席继楼, 赵家骊, 王燕琼, 等. 2002. 地电场观测技术研究[J]. 地震, 22(2): 67-73.
- 叶青, 杜学彬, 周克昌, 等. 2007. 大地电场变化的频谱特征[J]. 地震学报, 29(4): 382-390.
- 张继红, 赵国泽, 肖骑彬. 2012. 郯庐断裂带中段(沂沭断裂带)电性结构研究与孕震环境[J]. 地球物理学报, 53(3): 605-611.
- 张建国, 张国勇, 王晋萍. 2003. 场电特性与防雷工程[J]. 山西气象, 52(3): 47-63.
- 张学民, 郭建芳, 郭学增. 2006. 河北省数字地电场数据分析[J]. 中国地震, 22(1): 64-75.
- 赵洁, 杜学彬, 胡建军, 等. 2009. 嘉峪关地电场观测资料分析[J]. 西北地震学报, 31(3): 290-295.
- 郑兆蕊, 汪雪泉. 2005. 蒙城台地电场资料分析[J]. 地震, 25(2): 41-47.
- DB/T 18.2—2006, 地震台站建设规范[S].
- GB/T 19531—2004, 地震台站观测环境技术要求[S].
- Varotsos P, Alexopoulos K. 1984. Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes[J]. I Tectophysics, 110(1-2): 73-98.

Research on the Observation Data of Geo-electric Field in Shandong Region

DONG Xiao-na¹, LU Cheng-yi², QU Li¹, SU Dao-lei³, ZHANG Hui-feng¹, LIU Hai-lin⁴

(1. *Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, Shandong, China*)

(2. *Malingshan Seismic Station of Shandong Province, Tancheng 276114, Shandong, China*)

(3. *Earthquake Administration of Jinan Municipality, Jinan 250001, Yunnan, China*)

(4. *Anqiu Seismic Station, Earthquake Administration of Shandong Province, Anqiu 262100, Yunnan, China*)

Abstract

Introducing the general situation of 7 geo-electric field observation stations in Shandong region, we selected the observation data recorded by 7 stations from 2007 to 2011 and analyzed the integrity, intrinsic quality (including correlation coefficient and zero difference), the shape of normal daily variation of the geo-electric observation data and the its situation of interferences. The results showed that the observation data kept the continuous and integrity and met the requirements of earthquake analysis and prediction. In the aspect of intrinsic quality, the quality of the geo-electric data recorded by Tancheng, Heze, Lingyang and Dashan stations was high, and the correlation coefficient of data was larger than 0.95, the return-to-zero difference was controlled less than 1 mV/km after replacing the electrode. It could provide reliable data for seismic research. And in the other aspect of daily variation shape, the shape of observation data in Shandong Region was tidal geo-electric field mostly. In daily observation, the data variation shape was mainly affected by various kinds of interferences such as geo-electrical storms, lightning and external line fault.

Key words: geo-electric field; data continuity; daily variation characteristics; Shandong Region