

李飞, 史红军, 高研, 等. 2018 年松原 M5.7 地震前地电场变化特征研究 [J]. 华南地震, 2020, 40 (3): 92-101. [LI Fei, SHI Hongjun, GAO Yan, et al. Study on the Change Characteristics of Geoelectric Field before the Songyuan M5.7 Earthquake in 2018[J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (3): 92-101]

## 2018 年松原 M5.7 地震前地电场变化特征研究

李 飞<sup>1</sup>, 史红军<sup>2</sup>, 高 研<sup>3</sup>, 刘立波<sup>4</sup>

(1. 江苏省新沂地震台, 江苏 新沂 221400; 2. 吉林省榆树地震台, 吉林 榆树 130400;  
3. 黑龙江省绥化地震台, 黑龙江 绥化 152000; 4. 吉林省四平地震台, 吉林 四平 136000)

**摘要:** 运用常规波形、地电场日变幅各向异性度、差值法与渗流方位角法对不同时长四平台、长春台、榆树台、绥化台的地电场观测数据进行分析, 结果显示: 各台能够记录到地震异常, 其中榆树台、绥化台地电场在震前 6~10 d 日变畸变明显。四个台地电场日变幅各向异性都存在超过 2 倍均方差的 3~4 个月的短期异常, 其中长春台、榆树台、四平台相对明显。长春台 NS 向与榆树台 EW 向归零差值法分别存在 2 个多月、1 个多月的短期异常, 绥化台归零差值法的异常偏弱, 四平台部分时段受到干扰, 应判定无异常。对于渗流方位角方法, 四平台、榆树台与绥化台异常特征较明显, 长春台异常相对较弱。各类分析方法存在一定的差异性, 异常出现的早晚也各不相同, 这与各台的电性条件、发震构造与各台构造关联性存在一定关系。

**关键词:** 地电场; 各向异性; 差值法; 异常

中图分类号: P315 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2020) 03-0092-10

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.03.013

## Study on the Change Characteristics of Geoelectric Field before the Songyuan M5.7 Earthquake in 2018

LI Fei<sup>1</sup>, SHI Hongjun<sup>2</sup>, GAO Yan<sup>3</sup>, LIU Libo<sup>4</sup>

(1. Xinyi Seismic Station of Jiangsu Province, Xinyi 221400, China; 2. Yushu Seismic Station of Jilin Province, Yushu 130400, China; 3. Suihua Seismic Station of Heilongjiang Province, Suihua 152000, China; 4. Siping Seismic Station of Jilin Province, Siping 136000, China)

**Abstract:** The paper analyzes the geoelectric field observation data of the Siping, Changchun, Yushu and Suihua stations by using conventional waveform, daily amplitude anisotropy of geoelectric field, difference method and seepage azimuth method for different durations. The results show that all stations can record seismic anomalies, and the geoelectric field of Yushu station and Suihua station have obvious daily distortion 6–10 days before the earthquake. The daily amplitude anisotropy of the four stations has a short-term anomaly of more than

收稿日期: 2019-05-08

作者简介: 李飞 (1970–), 男, 高级工程师, 主要从事监测预报工作。

E-mail: 1075624821@qq.com

2 times the mean square error for 3-4 months, and the abnormalities of the Changchun, Yushu and Siping stations are relatively obvious. There are short-term anomalies of more than 2 months or more than 1 month in the NS direction of Changchun station and EW direction of Yushu station. The abnormality of the method of zero return difference of Suihua station is weak. The Siping station was disturbed during part time, and there should be no abnormalities. For the seepage azimuth method, the anomaly characteristics of the Siping station, the Yushu station and the Suihua station are more obvious, and that of the Changchun station is relatively weak. There are certain differences between different methods, and the abnormal time is also different, which has a certain relationship with the electrical conditions of each station, the correlation between the seismogenic structure and each station structure.

**Keywords:** Geoelectric field; Anisotropy; Difference; Anomaly

## 0 引言

地电场是重要的地球物理场之一,自“九五”以来,中国研究人员对地电场日变化、地电暴、频谱等方面做了大量的工作<sup>[1-12]</sup>,引入或发展了诸如极化斜率法、垂直极化投影法、比值法、谱分析、HHT 方法、渗流方位角等分析方法并进行映震总结<sup>[13-20]</sup>。上述研究表明地震前地电场存在着异常前兆变化信息,为地震地电场资料的分析与预报提供了理论依据和方法指南,对地震预测,特别是短临地震预测具有重要的意义。但由于地电场资料产生过程容易受到各类因素的影响,对地电场资料做到正确的甄别,特别是运用地电场资料进行地震的预报尝试,依然是地电场工作人员的一个难题。

2018 年 5 月 28 日 01 时 50 分 52 秒在吉林省松原市宁江区发生一次 M5.7 级地震(124°43'E、45°16'N),震源深度为 13 km。这是 2013 年 10~12 月吉林前郭 M5.8 级震群之后本区一次震级接近的地震,也是 2017 年 7 月 23 日松原 M4.9 级地震之后的一次中强震。本文试图运用地电场常规波形、日变幅各向异性度、归零差值法、渗流方位角法对四平台、长春台、榆树台、绥化台地电场相关资料提取震前的相关异常变化。

## 1 台站概况

四平台位于吉林省中南部四平市,地处松辽平原西缘,测区附近有北东向四平—长春断裂和北西向团子山—白山断裂;测区内第四纪

盖层约 20 m,下伏白垩系基岩,海拔 196 m。长春台位于吉林省长春市农安县三岗乡,地处松辽盆地东缘,测区附近有北东向四平—长春断裂测区内第四纪盖层约 20 m,下伏侏罗纪火山岩,海拔 187 m。榆树台位于吉林省北部榆树市,地处松辽平原东部隆起区,测区附近有北东向四平—长春、伊通—舒兰两个深大断裂带和北西向卡岔河断裂;测区内第四纪盖层约 40 m,下伏白垩系基岩,海拔 204 m。绥化台位于黑龙江省绥化市,地处松辽平原北缘,测区附近有呼兰河断裂带、扶余—肇东—绥化—逊克断裂带;测区内第四纪盖层约 10 m,下伏白垩系基岩,海拔 179 m。四台布极区地形开阔,地势平坦,相对高差不超过 1 m。四台观测仪器都为 ZD9A-II 型地电场仪,测量频段为 0~0.005 Hz,观测数据产出为 1 次/min。外线路的布设方式除绥化台采用米字型外,其余几台采用倒 L 型(或反 L 型)的布极方式;共布三个方向,每个方向又布长、短二种极距。其中四平台 NS、EW 向长极距为 300 m,短极距为 200 m, N45°W 向长极距为 420 m,短极距为 280 m;长春台 NS、EW 向长极距为 200 m,短极距为 150 m, N45°E 向长极距为 283 m,短极距为 212 m;榆树台 NS、EW 向长极距为 200 m,短极距为 100 m; N45°W 向长极距为 283 m,短极距为 141 m;绥化台 NS、EW 向长极距为 300 m,短极距为 200 m; N45°E 向长极距为 283 m,短极距为 141 m。各台电极都为 Pb-PbCl<sub>2</sub> 不极化电极,埋深都在 3 m 以上,观测系统的建设及布极区的环境状况均符合相关规范<sup>[21-22]</sup>的技术要求。四台的地质构造、台站分布如图 1。

## 2 观测资料基本情况及资料选取

磁静日地电场变化是指 1 月内太阳活动最为平静的数天地电场变化。根据马铭志等<sup>[23]</sup>对四平、榆树台地电场的研究：地电场各测向都存在明显的潮汐波现象，日变化基本上呈现出双峰单谷的特点；榆树台地电场两测向的日变幅基本相同，四平台两测向的日变幅相差略大；

这与史红军等<sup>[10]</sup>对吉林地区地电场的研究结果基本一致。在本文预研究时段，各台地电场由于受到电极性能不稳定、降雨等因素影响（绥化台还存在电阻率测量影响），观测资料或多或少会出现漂移、台阶、突跳等现象（图略），在分析过程中虽然对资料进行了预处理，但各类干扰的影响量无法完全排除。

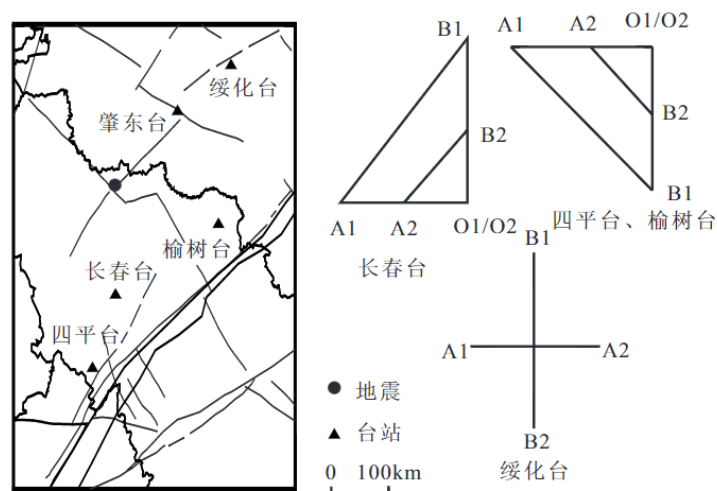


图 1 台站地质构造、布极示意图

Fig.1 The schematic diagram of geological structure and arrangement of stations

2018 年 5 月 28 日吉林松原发生  $M5.7$  级地震，四平台、长春台、榆树台和绥化台的震中距分别为 230 km、150 km、160 km 和约 260 km；虽然肇东台距离震中较近（140 km），但资料受到电极极化的影响严重，故本文对此台资料不予论述。据已有的研究，地震发生前，电磁场会出现日变化波形畸变及高频成分，接近地震发生时高频能量会加大<sup>[24]</sup>，地电场主要反应的是地震短临信息<sup>[6,24]</sup>。所以本文的几种分析方法选取资料的长度分别为：常规波形（日变畸变）为一个月、差值法为 4 个月、日变幅各向异性与渗流方位角为 6 个月，在震前，四个台的地电场是否存在临震异常，为此进行如下分析。

## 3 异常分析

### 3.1 常规波形分析

根据马铭志等<sup>[23]</sup>对四平、榆树台地电场

的研究：两台优势周期主要以 12 h、8 h 为主，最大优势周期都为 12 h。在通常情况下，该区域的地电场日变化半日波最强的特点可作为识别地震前地电场日变化波形畸变现象的依据。图 2 为 2018 年 5 月 1 日 -31 日榆树台、绥化台 NS、EW 长极距的分钟值曲线（长短极距基本相同），从图 2 可以看出：榆树台在 2018 年 5 月 18-22 日之间（图中的方框），特别是 5 月 21 日完全看不到日变；同期绥化台改变了原有的变化趋势，两测向同步出现小幅度台阶。经调查核实，在此期间，两台无任何影响因素。通过与 5 月 1 日 -3 日两台同测向的日变幅对比可知（见表 1）：绥化台两段时间的日变幅基本接近且 5 月 18 日 -22 日之间的日变幅略大，而榆树台 5 月 18 日 -22 日的日变幅很不明显且不如 5 月 1 日 -3 日的日变幅显著。查看同期不同地区新沂台地电场的资料（表 1 与图 3）：同时段新沂台地电场与榆树台、绥化台的变化存在一定的差异性（四平台地电场 5 月 20 日 -26 日部分时段存在干扰，长春台受到地铁影响，造

成同时段日变化数据无法清晰对比): 新沂台两时段同测向日变幅比值接近 1.0 (EW/NS) 且日变清晰, 未出现绥化台同期的变化趋势; 而榆树台同测向日变幅比值都为 0.7 左右、绥化台同

测向日变幅比值又异与其他两台由此说明 5 月 18 日 -22 日榆树台、绥化台的日变畸变是真实可靠的, 日变畸变发生在震前 6-10 d。

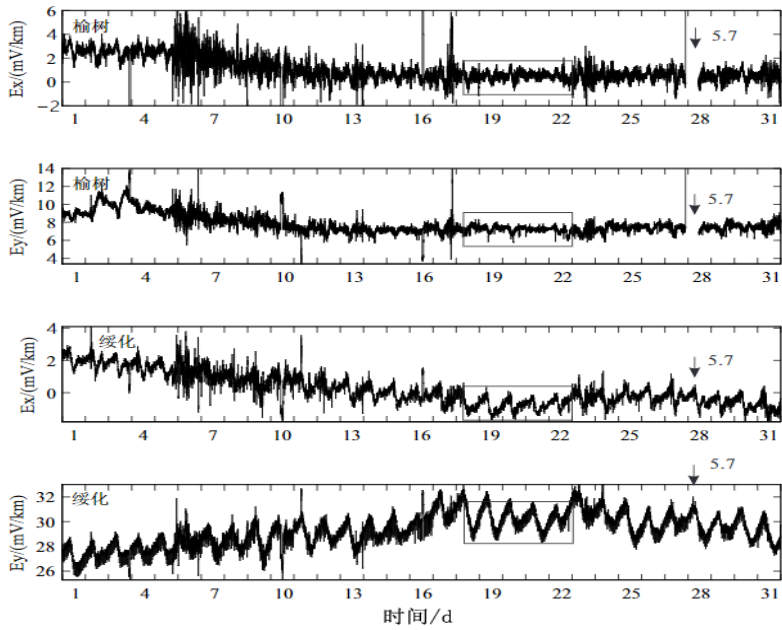


图 2 2018 年 5 月 1-31 日榆树台与绥化台地电场分钟值曲线

Fig.2 The minute-value curves of geoelectric field at Yushu and Suihua stations from May 1<sup>st</sup> to May 31<sup>st</sup>, 2018

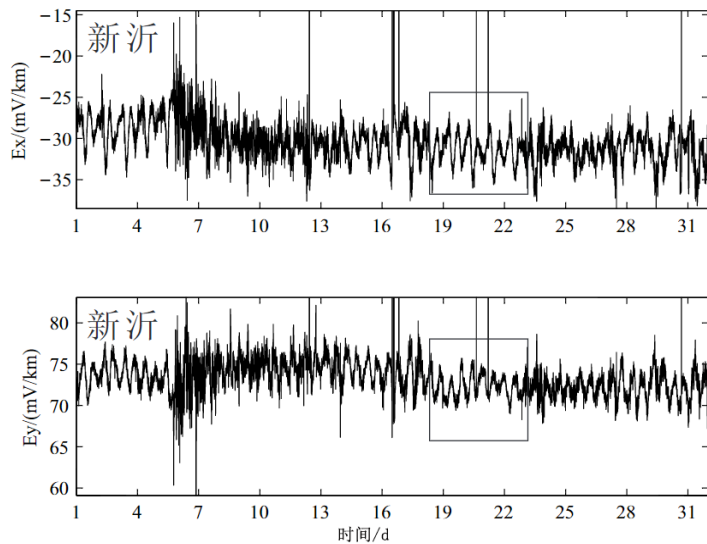


图 3 2018 年 5 月 1-31 日新沂地电场分钟值曲线

Fig.3 The minute-value curves of geoelectric field at Xinyi station from May 1<sup>st</sup> to May 31<sup>st</sup>, 2018

表 1 2018 年 5 月份不同时段地电场日变幅统计表						
Table 1 Statistics of daily variation of geoelectric field in different periods in May 2018						
时段	榆树 NS(mV/km)	榆树 EW(mV/km)	绥化 NS(mV/km)	绥化 EW(mV/km)	新沂 NS(mV/km)	新沂 EW(mV/km)
5 月 1 日~3 日	1.0	1.4	1.5	1.9	6.8	5.1
5 月 18 日~19 日	0.7	0.9	1.2	2.5	6.4	4.7

### 3.2 日变幅各向异性度

地电场各向异性度方法指的是：当地震孕育发生期间，来自震源区的电信号被观测到时，由于受到场地地下探测范围内介质电性条件的影响，以及各台之间、不同测向之间地下介质的不均匀性，致使台站不同测向记录到的电信号会可能存在差异性，进而导致不同测向日变幅的比值偏离原来固定值；因此可以利用这一比值的变化检测地震孕育过程中地电场电信号的变化情况。此研究方法是笔者首次提出。

在计算日变幅前，首先对不同干扰分类进行相关的处理：如去除偶然的突跳或脉冲、高压直流干扰、数据线性漂移等影响，由于地电场的高频变化明显高于地磁场，因此也对不同台站数据进行不同阶数的滑动滤波去除这些高频变化，处理之后的数据基本可以计算日变幅。经过对数台资料多次验证的结果与人工判读结果相对比，一般采用 3~5 阶数滑动滤波基本可以达到预期；再分别选取每天日变化波峰 3 个最大值数据、波谷 3 个最小数据计算平均值，之后计算出的日变幅较为接近真实值；最后运用正交测向日变幅的比值来提取异常。其计算公式见式 (1)：

$$S = \frac{\Delta \bar{E}_{NS}}{\Delta \bar{E}_{EW}} \quad (1)$$

式 (1) 中， $\Delta \bar{E}_{NS}$ 、 $\Delta \bar{E}_{EW}$  分别表示 NS 测道、

EW 测道的日变幅， $S$  值表示各向异性度的系数，同时式 (1) 表明  $S$  值是一个无量纲的常量。异常判据为  $S$  值 2 日以上超过 2 倍均方差或曲线形态发生明显畸变。需要指出的是，此处理方法得到的结果还不一定是地震前兆信息，例如在发生电磁暴时，新沂台各测向的日变幅较平稳时段会发生较大变化，甚至会出现地电场 EW 向日变幅的增幅大于 NS 向的增幅的现象；在电磁扰动强烈时，各测向日变幅的变化亦较静日变化发生明显变化<sup>[25]</sup>，这就会对  $S$  值产生明显的影响。在本文预研究时段，发生外空电暴的时段仅为 3 月 18 日与 5 月 6 日 ( $k=5$ )，电磁扰动时段为 3 月 3、9、14、16 日与 5 月 31 日；为除此影响，采用 FFT 方法进行排除：用原始数据与地电暴及电磁扰动造成地电场变化的差值进行地电场日变幅的提取。

图 4 为四个台地电场日变幅各向异性度曲线，从图可以看出：四平台于 3 月 5-6 日、3 月 24-25 日、5 月 3-4 日出现正脉冲，超过 2 倍均方差，最大值超过 4 倍均方差（3 月 5-6 日）。经查，这几天既无外空电暴，也无外界干扰，观测数据变化正常。此外，自 5 月 3 日出现正脉冲到发震，曲线摆动幅度略微增大，且震前 1 个月左右时间曲线形态畸变： $S$  值摆动明显增大，震后恢复；从第一次出现脉冲到发震共计 85 d。

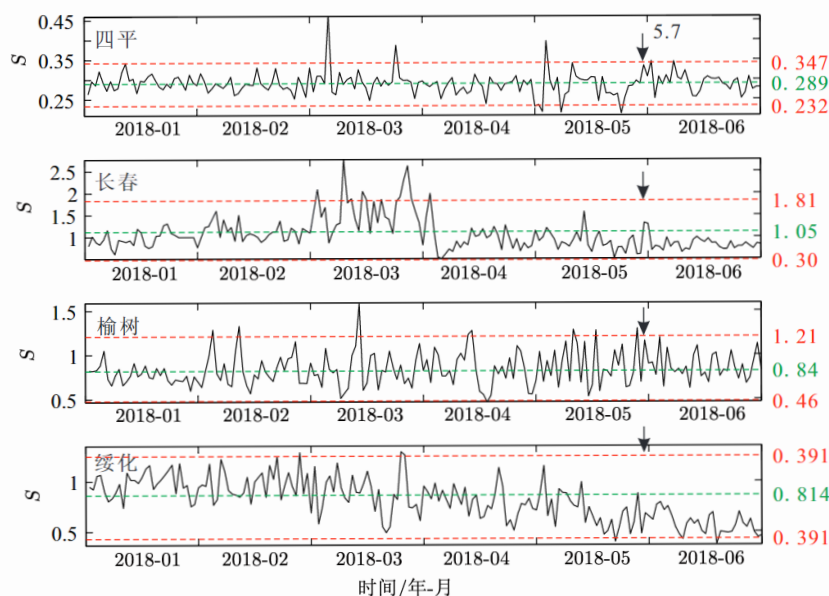


图 4 2018 年 1~6 月地电场日变幅各向异性度曲线

Fig.4 Anisotropy degree curve of daily amplitude of geoelectric field from January to June in 2018

长春台于2月2日曲线开始抬升,3月1-4月1日曲线再次整体抬升,曲线形态发生明显畸变:整体处于均值线以上;且多日超过2倍均方差,最大值接近4倍均方差(3月7日);4月2日之后,曲线开始趋于平稳,特别是震后曲线十分平稳。由于在计算过程中消除了电磁暴与电磁扰动剧烈的影响,S值曲线变化与此因素无关,总体上长春台异常十分明显,从3月1日出现明显异常到发震共计89d。

榆树台2月2-4月20日曲线离散度较前后时间段发生较为明显的变化且处于相对高值,其中2月2日、2月7日、3月12-13日(上述几日均为磁静日)超过2倍均方差的正脉冲;4月20日之后,曲线的变化频次(或周期)发生明显变化,总体上异常异常形态弱于四平、长春台,从2月2日到发震共计116d,从3月12日到发震共计78d。

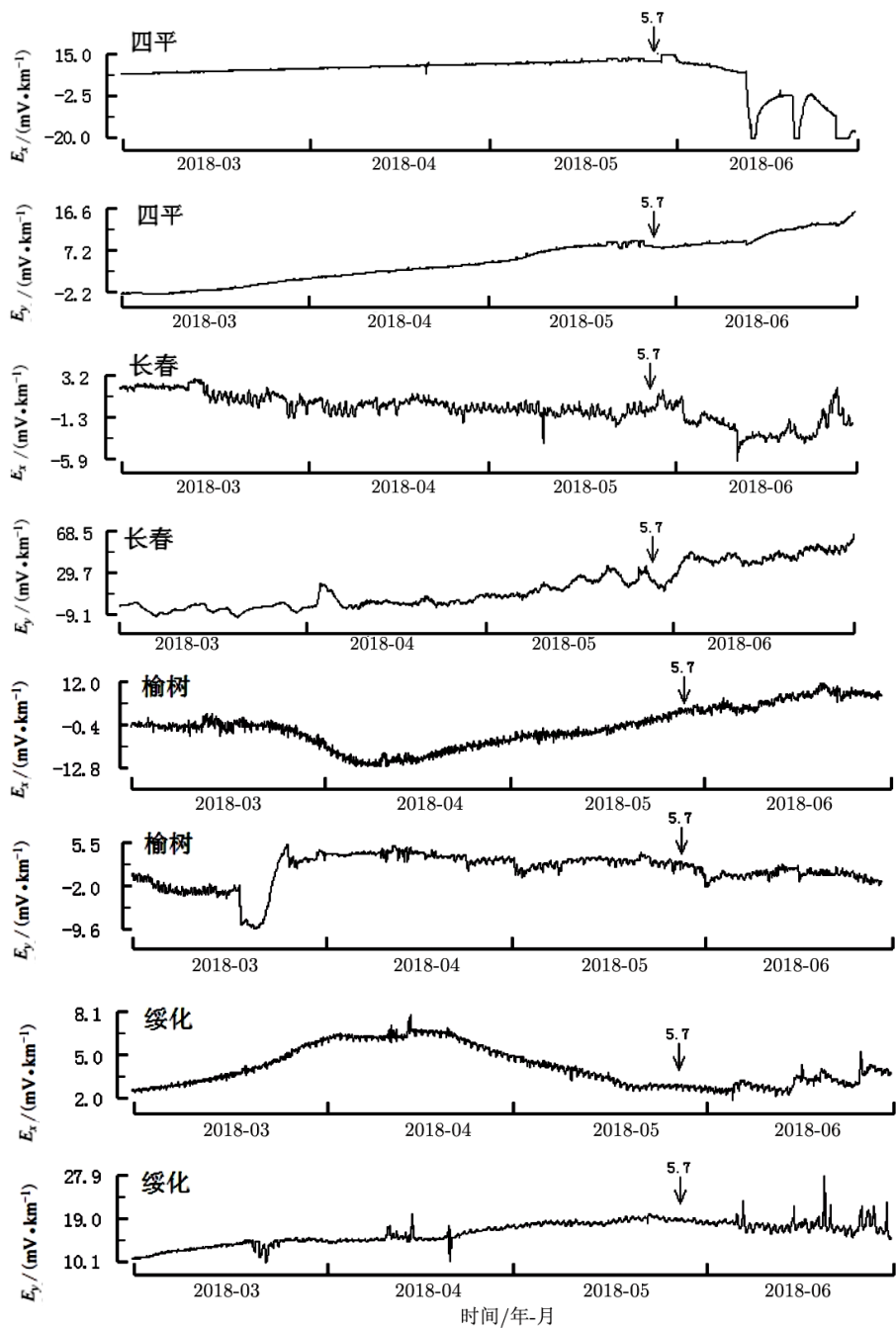


图5 2018年3~6月地电场小时值差值曲线

Fig.5 The hour-value difference curves of geoelectric field from March to June in 2018

绥化台曲线总体呈下降趋势,且曲线异常形态明显弱于其它三台,仅3月24-25日(亦为磁静日)超过2倍均方差,从出现异常到发震共计65 d。总体上,四台异常特征呈现出震中距越近,异常持续越长,异常越明显。

### 3.3 归零差值异常分析

归零差值的计算方法:首先去掉地电场的背景值,即将每天所有数据都与第一个数据相减,之后再计算同测向长短极距的差值序列。图5为四台小时值归零差值曲线,由于各条曲线存在的漂移、方波等现象各不相同,说明长短极距的数据存在不同类别或不同程度的干扰,应对资料做可靠性分析。地电场资料分析中,长短极距的差值及计算相关系数是检验观测装置可靠性和数据质量的通用方法:相关性越高、差值越小,说明长短极距数据一致性较高;可用性较强。表2为图5所示相关台站的相关系数、差值统计结果(四平台5月29日之后数据未纳入计算)。针对各台曲线形态,查阅相关时段的工作日志可知:(1)四平台NS向5月28日受 $B_1$ 电极充电影响,导致相关曲线出现方波变化;6月份多日受到降雨和 $B_2$ 电极性能不稳的影响(一般表现为电极性能受到降雨产生的过滤电场触发,造成数据产生不同长度的漂移;当过滤电场消失后,电极状态能够逐步自动恢复,下同。),相关测向出现的大幅度脉冲,最大超过10.0 mV/km,远大于正常差值;同期相关系数明显降低,多为0.6以下。对于EW向,由于长短极距存在反向漂移的现象,造成差值曲线漂移严重。此外,5月20-26日白天间歇存在农业机械耕种影响,造成曲线出现多个方波变化。(2)长春台5月29日之后由于 $A_2$ 电极性能不稳略有加重,造成EW向漂移相对明显,进而造成相关系数略低于平稳时段;其它时段与测向,资料未受影响。(3)榆树台NS向由于3月12日、4月11、14、15、18日、5月2日受到 $B_1$ 电极状态不稳影响,造成相关测向的差值略有增大、相关系数低于0.5。对于EW向,由于受到3月18-26日 $A_2$ 电极充放电影响,造成相关曲线呈现出凹兜现象、差值最大超过10.0 mV/km、相关系数低于0.6。此外,5月2-3日、6月16日由于受到降雨影响,造成差值产生2.0 mV/km左右的变化、相关系数维持在0.72左右。(4)绥化台NS向和EW向于4月11日

~15日同时出现2.0 mV/km左右的突跳、相关系数降低0.4,经查未发现产生的原因。EW向于3月17-20日、4月21日出现突跳,经查系 $A_2$ 电极性能不稳及降雨造成的;此外,6月差值曲线出现的数天突跳,亦为降雨影响。

表2 相关系数与差值统计表

Table 2 The statistics of correlation coefficient and difference

台站	相关系数		差值 (mV/km)	
	NS	EW	NS	EW
四平	0.97	0.89	0.15	0.45
长春	0.99	0.98	0.54	1.03
榆树	0.85	0.87	0.59	1.27
绥化	0.82	0.86	0.26	0.46

经过以上对各台数据可靠性分析,结合图5可以看出:(1)四平台的归零差值曲线5月29日之后受到降雨及 $B_1$ 电极性能不稳的影响,严重压制了曲线;2个测向于5月20-26日出现的方波变化是由于断续的农业机械耕种影响,异常的真实性严重降低,因此判断四平台差值应无真正的异常。(2)对于长春台NS向归零差值的异常特征,其变化形态与马铭志等<sup>[23]</sup>对2013年前郭M5.8级震群前榆树台NS向的研究结果十分相似:NS向3月13-5月25日差值曲线摆动幅度明显增大,数据变化频率明显异与前后时段,平静2日后发震,从出现异常到发震共计76 d。EW向自4月7日之后差值曲线摆动幅度增大,数据变化频率也与前后时段不同,只不过EW向的异常变化明显弱于NS向。(3)对于榆树台,排除外界干扰NS向归零差值曲线未见明显异常,EW向4月11-15日存在的明显突跳,经查数据无干扰;从出现异常到发震共计48 d。同时也可以看出4月11-6月8日出现与长春台EW向3月13日-5月25日曲线的变化相似,判读此变化为地震异常及震后调整;总体上,榆树台的异常变化不如长春台显著。自震后10天的6月9日开始,曲线逐步恢复到3月初的变化形态。(4)对于绥化台,排除外界干扰NS向和EW向仅于4月11-15日出现似同步的明显突跳;总体上异常不突出,异常亦弱于长春台NS向、榆树台EW向。

### 3.4 渗流方位角

在磁静日,四台地电场日变化呈现出明显

的峰谷变化;由于空间电磁场强烈变化对渗流方位角的计算基本无影响,因此可利用各台渗流方位角的变化进行异常信息的提取<sup>[26]</sup>。图6为四台渗流方位角变化曲线,从图可以看出:四平两个测向于5月3-5月24日之间出现非常明显的同步、间断性波形畸变;不同测向之间略有差异,电极故障或场地干扰等难以解释这种间断畸变的同步性。长春台两个测向之间变化较同步,在地震发生前后1个月左右时间内 $\alpha$ 角摆动较为平稳(NS向较EW向明显),明显异于5月8日之前的摆动情况;由于 $\alpha$ 角总体上摆动幅度不大,异常难以判读异常的起

始时段。榆树台NS向与EW向 $\alpha$ 角异常主要集中于3月28日-4月1日、4月9日-5月2日(EW向5月19日亦存在一突跳),两测向的高频突跳同步性相对较高。绥化台NS向与EW向 $\alpha$ 角异常变化存在差异:NS向异常突跳主要集中在3月19-22日、4月9-15日时段,而EW向的异常突跳主要集中在3月19-22日、4月6日-5月24日时段(此时段 $\alpha$ 角摆动略大,明显低于前一时段及NS向4月9-15日的幅度)。总体上,四台 $\alpha$ 角异常变化较明显,但各台之间的异常特征存在差异性。

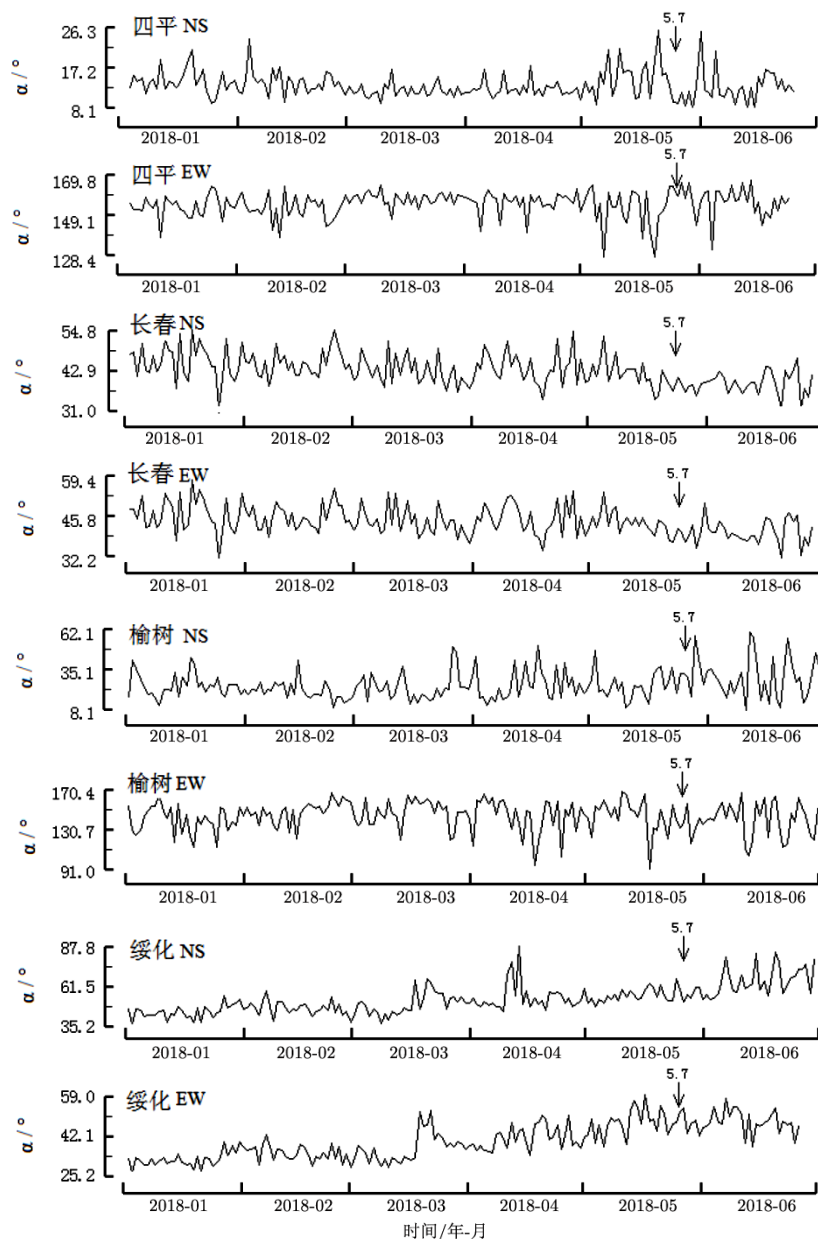


图6 2018年1~6月地电场 $\alpha$ 角变化曲线

Fig.6 The  $\alpha$  changing curves of geoelectric field from January to June in 2018

## 4 异常差异性分析

地震孕育过程中,岩石介质破裂的物理过程是产生地震电磁前兆现象的根本原因,岩石破裂生电而激发低频电磁现象及其可观测性已被岩石破裂实验所证实<sup>[27]</sup>。各台地电场呈现出时间轴上的变化频次发生了明显改变,表明此时可能受到来自震源区或附近断层构造活动产生的不稳定电流场的作用。由于各台所处地质构造存在差异性,这就有可能造成各台异常特征存在差异性。

几种分析方法,榆树台与长春台异常最为明显,这可能与两台的震中距最近有关:这是由于在地震孕育和发生过程中,受到地壳板块的挤压作用,台站所在位置的地下介质发生了形变,激发出电磁辐射,造成距离震中区越近的台站越容易观测到地震前后地电场的异常变化;距离越远,发震前后地电场的异常不显著。

此次松原 M5.7 级地震的发震构造位于 EW 向扶余北断裂附近,通过图 1 可知:四平台存在 124° 经向 F<sub>4</sub> 断裂(图 1 未示出)通过四平-长春断裂与台站相连,可能存在地震信号“传递通道”的放大作用。同时根据以往对本区的地质调查<sup>[28]</sup>:EW 向扶余北断裂(发震构造)与 NE 向的扶余一肇东断裂(绥化台站所处的构造)关系密切,其深部存在相连的可能性,可能更有利于地震信号的传播。受此影响,四平台、绥化台虽然震中距较远,但也能够记录到较为明显的短临异常。

由于地表电性结构对电场的影响比对磁场的影响要大<sup>[29]</sup>,通过场地介绍可知,各台第四纪覆盖层较深浅不一,这可能是各台异常特征存在差异性的一个原因。

通过浅层电测深计算结果可知,榆树台浅层电阻率观测维持在 44~55 Ωm 左右,不同测向存在差异性。四平台浅层电阻率观测维持在 13~21 Ωm 左右,不同测向存在差异性。绥化台浅层电阻率观测维持在 28~29 Ωm 左右,不同测向之间差异性较小。长春台浅层电阻率观测维持在 5~7 Ωm 左右,不同测向之间差异性较小。由深部电测深曲线可知(长春台无此数据),榆树台 20~100 m 的电阻率观测值维持在 25~35 Ωm, 100~400 m 的电阻率观测值维持在 35~60 Ωm; 不同测向之间略有差

异;四平台 20~100 m 的电阻率观测值维持在 20 Ωm 左右, 100~400 m 的电阻率观测值维持在 18 Ωm 左右,不同测向之间基本无差异。绥化台 20~100 m 的电阻率观测值维持在 29 Ωm 左右,随之深度增加,电阻率观测值逐步降低到 10 Ωm 左右,不同测向之间差异性较小。由于各台浅、深层电阻率的结果不同,且不同方向差异性不同,这就造成不同分析方法的异常特征呈现各向异性、多样性的一个原因;这与马铭志等<sup>[23]</sup>对四平、榆树台地电场产生差异性的原因也与此相同。

此外,对于归零差值法与渗流方位角两种分析方法,由于 4 台站存在电极性能不稳及干扰情况存在差异,这也是造成各台异常特征存在差异的一个原因。而日变幅各向异性度方法由于首先对资料进行了干扰排除等预处理,基本不受电极性能不稳等因素影响,各台之间产生差异性的原因是否与各台电性结构关联性较大,有待进一步研究。

## 5 结论

通过对 2018 年 5 月 28 日吉林松原 M5.7 级地震前后周边 4 个地电场台站资料的相关分析和论述,得到如下初步结论:

(1) 几种分析方法呈现出如下特征:①对于常规波形,榆树台与绥化台地电场在震前 6~10 天出现日变畸变,此异常为临震异常。②对于地电场日变幅各向异性度方法,其异常判据为 S 值 2 日以上超过各台均值的 2 倍均方差或曲线形态发生明显畸变。各台在震前都有异常出现,长春台与榆树台地电场在震前 3~4 个月出现较为明显的短期异常,四平台与绥化台的异常不如上述 2 台明显。这符合“震中距越近,异常出现越早、越明显;震中距越远,异常出现越晚、越不明显”的特征。③对于差值法,长春台 NS 向存在 1~2 多月的短期异常,榆树台 EW 向出现 2 个月左右短期异常,绥化台的异常弱于长春台 NS 向、榆树台 EW 向;四平台 2 个测向虽然在震前 2~8 d 出现异常,由于存在断续的农机干扰,降低了异常的信度,应视为无异常。④对于渗流方位角方法,四平台、榆树台与绥化台异常特征较明显,长春台异常相对较弱。(2) 由于各台之间、不同测向之间地下电性条件存

在一定差异性,加之各台地质构造与发震构造之间的关联性的差异,造成在震前各台地电场资料异常呈现出多样性;只有降低或排除干扰、提高电极的稳定性及多种方法综合运用,才能提高分析预测的准确性。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 杜学彬,叶青,赵杰,等.地电场日变化研究[J].地震,2007,27(增刊):121-130.
- [3] 叶青,杜学彬,周克昌,等.大地电场变化的频谱特征[J].地震学报,2007,29(4):382-390.
- [4] 谭大诚,赵家骝,席继楼,等.潮汐地电场特征及机理研究[J].地球物理学报,2010,53(3):544-555.
- [5] 郭建芳,李非,张秀霞,等.地电场日变幅与地电暴分析[J].地震地磁观测与研究,2010,31(3):18-23.
- [6] 范莹莹,杜学彬,Zotnichi J.汶川Ms8.0大震前的电磁现象[J].地球物理学报,2010,253(12):2887-2898.
- [7] 李飞,韩小飞,孙雷,等.新沂台地电场与地磁场、连云港台体应变的日变化分析[J].地震研究,2011,34(4):457-465.
- [8] 李飞,杜学彬,董淼.新沂台和马陵山台地电场日变化及潮汐响应初步分析[J].地震学报,2017,39(4):565-578.
- [9] 崔腾发,杜学彬,叶青,等.中国大陆经纬链地电场日变化[J].地球物理学报,2013,56(7):2358-2368.
- [10] 史红军,席继楼.吉林地区地电场变化特征分析研究[J].地震,2011,31(4):125-132.
- [11] 孙雷,李飞,杨冯威.新沂台地电场频谱特征的分析与研究[J].华南地震,2013,33(2):93-102.
- [12] 解滔,杜学彬,刘君,等.汶川Ms8.0海地Mw7.0地震电磁信号小波能谱分析[J].地震学报,2013,35(1):61-71.
- [13] 毛桐恩,席继楼.地震过程中的大地电场变化特征[J].地球物理学报,1999,142(4):520-527.
- [14] 沈红会,冯志生,燕明芝,等.地电场震前变化的探讨[J].西北地震学报,2006,28(1):28-31.
- [15] 马钦忠.地电场多极距观测装置系统与文安M5.1地震前首都圈地电场异常研究[J].地震学报,2008,30(6):615-625.
- [16] 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(31):424-431.
- [17] 安张辉,元丽华,李宁,等.HHT方法在地电场数据处理中的应用[J].地球物理学进展,2010,25(2):525-532.
- [18] 刘君,杜学彬,Jacques Zlotnicki,等.几次大震前的地面和空间电磁场变化[J].地球物理学报,2011,54(11):2885-2897.
- [19] 谭大诚,赵家骝,席继楼,等.青藏高原中强地震前的地电场变异及构成解析[J].地球物理学报,2012,55(3):875-885.
- [20] 章鑫,王丽,杜学彬.大地电流研究进展与展望[J].地球科学进展,2016,31(7):708-717.
- [21] 中国地震局.GB/T 19531.2-2004地震台站观测环境技术要求第2部分:电磁观测[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [22] 中国地震局.DB/T 18.2-2006地震台站建设规范地电台站第2部分:地电场台站[S].北京:地震出版社,2006.
- [23] 马铭志,李飞,李雪梅.吉林四平、榆树台地电场与长春台地磁场、分量应变的变化分析[J].大地测量与地球动力学,2016,36(11):1114-1119.
- [24] 赵和云,阮爱国,杨荣,等.天祝大地电场异常与1995年永登5.8、1996年天祝5.6级地震[J].西北地震学报,2002,24(1):36-40.
- [25] 李飞,杜学彬,鲍海英,等.新沂台与马陵山台地电暴变化特征对比分析与讨论[J].地震,2018,38(4):84-93.
- [26] 谭大诚,席继楼,张慧,等.地电场水文地质因素及裂隙水主体渗流方向逐日计算[J].地震学报,2013,35(1):64-69.
- [27] 郭自强,周大庄,马福胜,等.岩石破裂中的电子发射[J].地球物理学报,1988,31(5):566-571.
- [28] 邵博,沈军,于晓辉,等.松原市扶余北隐伏活动断裂地震潜势研究[J].地震工程学报,2016,38(4):616-623.
- [29] 中国地震局科技监测司.地震地磁观测技术[M].北京:地震出版社,1995.