DOI:10.14075/j.jgg.2021.09.018

文章编号:1671-5942(2021)09-0979-06

基于大地电场岩体裂隙水渗流模型的地震前兆异常特征研究

张志宏[1]　李梦莹[1]　焦明若[1]　黄明威[1]　孙庆山[1]　孔祥瑞[1]

1　辽宁省地震局,沈阳市黄河北大街 44 号,110034

摘　要:基于地电场潮汐波岩体裂隙水(电荷)渗流(移动)模型计算辽宁地区大地电场优势方位角 α,并对比分析降雨、温度、磁暴等典型干扰对大地电场优势方位角 α 的影响程度。结果表明,大地电场优势方位角 α 受典型干扰的影响较小。结合 2013-01-23 辽宁灯塔 M_S5.1 地震前后优势方位角 α 的动态变化研究发现,多个同一或相邻地质构造地电场台站准同步的岩体裂隙电荷移动方位的长时间突变可认为是中强地震的前兆异常。

关键词:辽宁地区;大地电场;优势方位角 α

中图分类号:P315　　**文献标识码**:A

20 世纪 70 年代,希腊、法国、日本等国家将地电场应用到地震等自然灾害的监测预警领域,国内地电场用于地震预测预报研究也有快速发展[1-4],但研究方法大多有局限性,如对机理的解释不足或在复杂噪音信号干扰下不易辨识震前信号等。因此,黄清华等[5]提出将大地电场和自然电场分离研究的物理解析方法;谭大诚等[6-8]提出基于大地电场岩体裂隙水(电荷)渗流(移动)模型,并应用模型计算出场地岩体裂隙水的主渗流方位,得到一个地区的背景渗流方位,以此观测地震前后优势方位的变化特征;而辛建村等[9]模拟加入脉冲、电阻率观测人工供电、地电等典型干扰后发现,在干扰幅度小于观测台日变波峰值时,方位角 α 的计算结果基本不受影响。

基于此,本文利用地电场潮汐波建立岩体裂隙水(电荷)渗流(移动)模型,基于辽宁地区大地电场观测数据,研究典型干扰对岩体裂隙电荷移动的影响程度,并提取 2013 年辽宁灯塔 M_S5.1 地震前后岩体裂隙电荷移动异常的时、空、强特征,探索和讨论异常产生的机理。

1　辽宁地区大地电场波形特征及场地岩石裂隙优势走向分析

大地电场 E_T 日变源于电离层 S_q 电流和潮汐力[10-11],根据大地电场 E_T 日变波形,大地电场可以分为 24 h 持续的 TGF-A 型和时间选择形态的 TGF-B 型两种类型。近年研究表明,TGF-A 型主要受日、月潮汐的影响,而 TGF-B 型是地球电离层 S_q 电流的作用。TGF-B 型相对稳定的潮汐波是大地电场日变化主要的波形特征,前 10 阶谐波的周期为 23～24 h、12 h、7.9 h、6 h、4.8 h、4 h、3.4 h、3 h、2.7 h 及 2.4 h,场地地质构造决定了日变波形的形态,且形态稳定[6-7]。因此,为了判定辽宁地区大地电场的波形形态,本文仅计算 2019-06-01 辽宁新城子、义县和阜新 3 个台站 NS 向 E_T 分钟值和前 10 阶谐波振幅谱值。如图 1(a)所示,3 个台站的观测数据波形均为 TGF-B 型,且波形的波峰、波谷起止时间基本一致,可以明显地观测到最大波谷时间选择在 12 h 左右,对应台站前 10 阶的谐波振幅逐渐减小(图 1(b))。

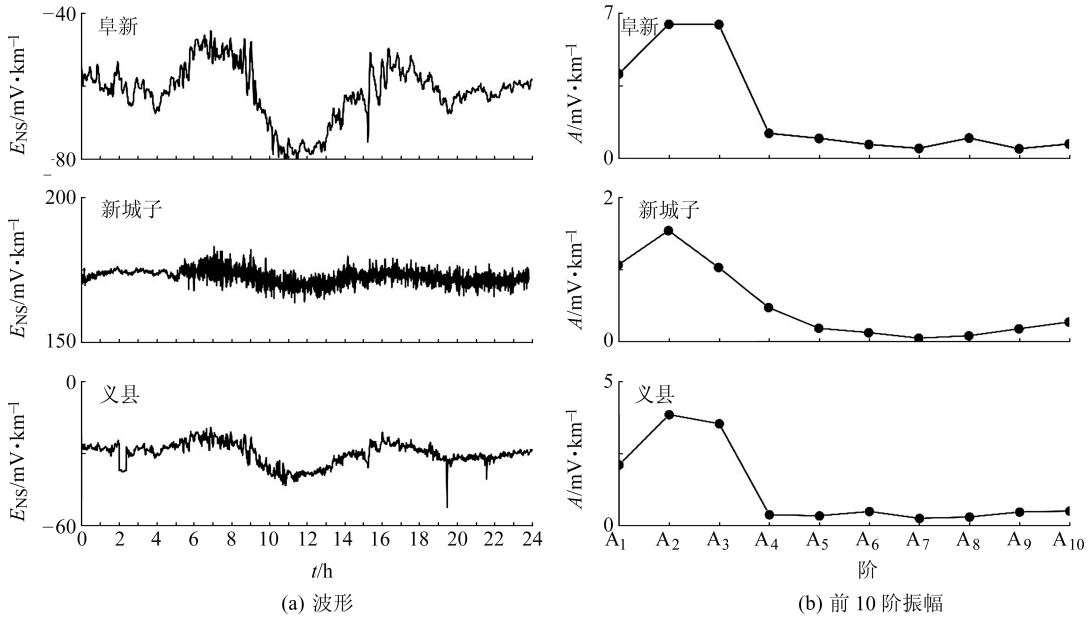
利用 3 个台站 2019-06-01 的数据计算其波形相关性,表 1 为 3 个台站不同方向之间的谐波相关性系数 K_1 均值统计,06-02 和 06-03 各台的相关性与表 1 基本一致。依据大地电场潮汐机理学说[6],TGF-B 型潮汐地电场主要是空间 S_q 电流在地面的反映,其受到地下岩体裂隙、渗透率及含水度等因素影响较大。表 1 说明同一台站不同方向之间岩体裂隙发育程度不一致。

收稿日期:2020-12-08

项目来源:辽宁省科学技术计划项目(2019010223-JH8/103)。

第一作者简介:张志宏,工程师,主要从事地震电磁理论及应用研究,E-mail:568950612@qq.com。

通讯作者:焦明若,研究员,主要从事地震预报和前兆机理研究,E-mail:mrjiao1963@yahoo.com。



(a) 波形 (b) 前 10 阶振幅

图 1 2019-06-01 阜新、新城子和义县台地电场的波形和前 10 阶振幅谱

Fig. 1 The waveform and the first 10 order amplitude spectrum of the geoelectric field at Fuxin, Xinchengzi and Yixian stations on June 1, 2019

表 1 2019-06-01 辽宁不同方向地电场 K_1 均值统计

Tab. 1 Statistics of correlative coeficient (K_1) of geoelectric field in different directions in Liaoning on Jun 1, 2019

台站	NS/EW	NS/NE	NS/NW	EW/NE	EW/NW
新城子	0.706 4	0.735 7	—	−0.001 4	—
义县	0.765 1	0.978 9	—	0.827 7	—
阜新	−0.588 6	—	0.993 2	—	−0.686 2

假设观测场地岩体为 3 层水平均匀介质，上层电阻率为 ρ_1，厚度为 h_1；渗流层的电阻率为 ρ_2，厚度为 h_2；下层介质不导电。在地面观测到的电场强度关系式中，系数 C 与岩体含水度、裂隙度、矿化度等因素有关，v 为水中电荷渗流速度[12]，则大地电场强度计算公式如下：

$$E = \frac{h_2/\rho_2}{h_1/\rho_1 + h_2/\rho_2} \cdot C\sum v_{ei} \tag{1}$$

根据式(1)计算辽宁地区 3 个大地电场的电场强度 E，结果表明，同一台站不同方向之间的地电场潮汐波峰谷值差异较大，新城子台 NS、NE 和 EW 向峰谷值接近；义县台 NS 和 NE 向峰谷值相差不多，与 EW 向相差较大；阜新台 NS 和 NW 向峰谷值相差较小，与 EW 向差距较大(表 2)。

表 2 2019-06-01 辽宁地电场潮汐波峰谷值

Tab. 2 Peak-to-trough values of tidal wake of geo-electric field in Liaoning on Jun 1, 2019

台站	E_{NS} /mV·km^{-1}	E_{EW} /mV·km^{-1}	E_{NW} /mV·km^{-1}	E_{NE} /mV·km^{-1}
新城子	13	10	—	7
义县	23	4	—	32
阜新	35	5	31	—

在地电场的观测数据中，E_{SP} 为自然电场，E_T 为大地电场，E_r 为干扰成分，则地电场 E 可以表示为：

$$E = E_{SP} + E_T + E_r \tag{2}$$

设地电场观测分钟值数据为 E_i，日均值计算自然电场 E_{SP} 的表达式可简化为：

$$E_{SP} \approx (1/1\ 440) \cdot \sum_{i=0}^{1\ 439} E_i \tag{3}$$

利用式(3)能够基本消除大地电场 E_T 和干扰成分 E_r。设第 j 天的自然电场为 $E_{SP(j)}$，则自然电场 E_{SP} 的稳定性可表示为：

$$\Delta E_{SP} = E_{SP(j+1)} - E_{SP(j)} \tag{4}$$

用 α 表示场地岩体裂隙水电荷移动的主渗流方位，也称为地电场 E_T 优势方位[6]。当台站地电场 NS、NW 向之间的相关性高时，地电场 E_T 的优势方位角 α(北偏东)计算公式为：

$$\alpha = 180^\circ - \arctan\left\{\sqrt{2}\,\frac{\sum_{i=1}^{10} A_{NE(i)}}{\sum_{i=1}^{10} A_{NS(i)}} - 1\right\} \tag{5}$$

式中，$A_{NW(i)}$、$A_{NS(i)}$ 分别为 NW、NS 向第 i 阶潮汐谐波振幅。

对于一个数据序列 y_t(时间序列总数为 n)，数学上可表示为：

$$y_t = \bar{y} + \sum_{i=1}^{n/2}\left[a_i \cdot \cos\left(\frac{2\pi it}{n}\right) + b_i \cdot \sin\left(\frac{2\pi it}{n}\right)\right] \tag{6}$$

式中，a_i、b_i 的计算公式为：

$$\begin{cases} a_i = \dfrac{2}{n} \cdot \sum_{t=1}^{n} y_t \cdot \cos\left(\dfrac{2\pi it}{n}\right) \\ b_i = \dfrac{2}{n} \cdot \sum_{t=1}^{n} y_t \cdot \sin\left(\dfrac{2\pi it}{n}\right) \end{cases} \tag{7}$$

则 A_i 为:

$$A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \tag{8}$$

依据式(5)计算新城子、义县和阜新台的场地岩石裂隙水主体渗流方向(见表 3,单位(°)),可以看出,义县和新城子台 3 d 的岩体裂隙水的平均渗流方向相差不多,而阜新台有较大差别。

表 3　2019-06-01～06-03 辽宁地电台站岩石裂隙水主体渗流方向

Tab. 3　Preferred orientation of crack water seepage in Liaoning from Jun 1 to Jun 3

台站	06-01	06-02	06-03
新城子	58.93	41.88	37.21
义县	55.66	79.79	66.18
阜新	165.91	174.28	156.71

2　辽宁地区大地电场频谱特征及潮汐波产生过程中的信噪比

傅里叶变换适用于稳态信号的频域分析,而自然界中的信号多为非稳态信号,信号中不同频率成分的出现时间无法判断,快速傅里叶变换能够克服这一困难。图 1(a)是对 2019-06-01 数据进行快速傅里叶变换谐波分析的结果,可以看出,前 6 阶的谐波振幅明显占优,周期分别为 23～24 h、12 h、7.9 h、6 h、4.8 h 及 4 h。表 4 为各台站 2019-06-01～06-03 NS 向前 10 阶潮汐谐波振幅之和与前 100 阶谐波振幅之和的比值 T_A,可以看出,3 个台站的潮汐谐波影响的程度相差不大。

表 4　2019-06-01～06-03 辽宁地电场 T_A 值

Tab. 4　T_A values of geoelectric field in Liaoning from Jun 1 to Jun 3, 2019

台站	06-01	06-02	06-03	平均
新城子	0.12	0.15	0.19	0.15
义县	0.09	0.13	0.12	0.11
阜新	0.12	0.14	0.11	0.12

3　大地电场典型干扰对岩体裂隙优势方位计算结果的影响

3.1 地磁暴干扰影响

地磁暴是高速等离子体云到达地球空间后引发的最具代表性的全球空间环境扰动事件,会导致大地电场观测波形的相位变化。地磁暴的强度可以表征太阳风暴中高速等离子体云的影响大小,其等级一般用 K_P 指数来划分,$K_P>5$ 为强磁暴干扰。

图 2 为 2017-09-01～09-30 新城子台地电场 NS、EW、NE 三个方向的分钟值电场强度 E。由图可知,09-08 磁暴指数 $K_P=8$,09-27 及 09-28 的 $K_P=6$,这 3 次磁暴期间的地电场强度受到了不同程度的影响,NS、EW 向电场强度 E 影响的幅度最大,但新城子台地电场在 09-08 磁暴期间的岩体裂隙优势方位角 α 增加幅度仅为 0.5%,说明岩体裂隙优势方位角 α 受磁暴的影响较小。

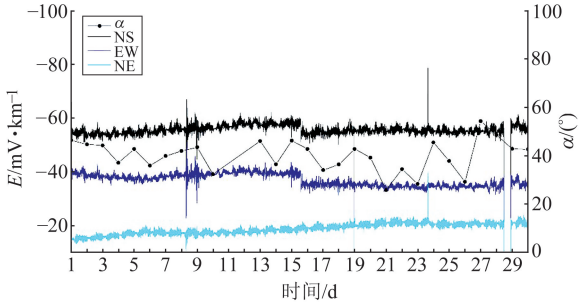


图 2　新城子台地电场裂隙优势方位角 α 在磁暴干扰前后的数据变化特征

Fig. 2　Data change characteristics of the dominant azimuth α of the electric field fissure at Xinchengzi station before and after the magnetic storm interference

3.2 温度、降雨干扰的影响

降雨量和温度的骤变是地电场观测中最常见的干扰因素。新城子台位于辽宁中部地区,相对锦州义县台降雨量较大,2018-05 是近年来新城子台降雨量最大的月份,因此选取 5 月的降雨量数据分析 $\Delta\alpha$ 的变化特征。由图 3 可以看出,05-22 的降雨量达到 14.5 mm,α 变化量 $\Delta\alpha$ 增大了 12 %;05-03、05-16 降雨量为零,但 $\Delta\alpha$ 分别减小了约 40 %和 48 %;05-27～05-29 新城子台为持续降雨天气,对比 05-26 的 α 变化量 $\Delta\alpha$ 有减小的趋势。由此说明,新城子台地电场降雨量对优势方位角 α 的影响不显著。

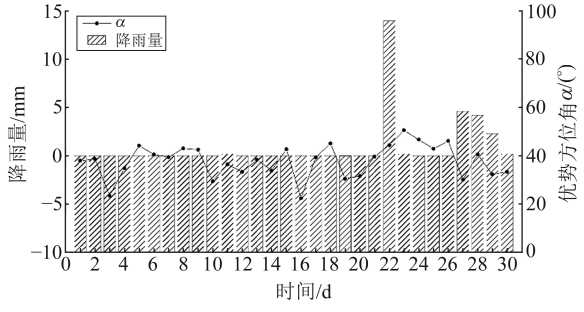


图 3　新城子台地电场裂隙优势方位角 α 在降雨干扰前后的数据变化特征

Fig. 3　Data change characteristics of the dominant azimuth angle α of the electric field fissure at Xinchengzi station before and after rainfall interference

4　震例回溯

2013-01-23 辽宁省灯塔地区(41.48° N,123.17°E)发生 M_S5.1 地震,震源深度为 7 km,辽宁大部分地区震感强烈,此次地震是继 1999 年岫岩 M_S5.4 地震后辽宁地区发生的最大地震。灯塔 M_S5.1 地震发生在 NE 向营口-佟二堡断裂

北段，王岩等[13]根据地震参数计算分析认为，灯塔 $M_S5.1$ 地震破裂类型为走滑型，精定位结果为 NE 向破裂。图 4 为 2013 年灯塔 $M_S5.1$ 地震前沈阳新城子台大地电场岩体裂隙优势方位角 α 的计算结果，可以看出，2012 年前 11 个月新城子台岩体裂隙优势方位角 α 处于 50°～70°范围内，2012-12-04 α 突变为 89.54°，保持 10 d 的持续突跳(间或剪裂)、偏转、剪裂，最大突变幅度 $\Delta\alpha$ 约为 45°。2013-01-23 灯塔 $M_S5.1$ 地震发生在异常恢复阶段，震中距约为 67 km，当天的 α 为 89.37°，震后 2 d 异常恢复。不同的是，α 相比震前背景值有较大幅度的减小，变化范围在 40°～50°，可能是震后区域应力场调整使得岩体结构收缩，α 的背景值减小。2013 年灯塔 $M_S5.1$ 地震后新城子台岩体裂隙优势方位角 α 的突变异常不明显，2013-11-17～11-24 出现了一组突跳异常，异常的幅度 $\Delta\alpha$ 约为 20°，异常期间距离台站 295 km 发生了吉林松原 $M_S5.8$ 震群。前兆场观测存在同震响应，新的一组突跳异常可能是吉林松原 $M_S5.8$ 震群的同震响应。

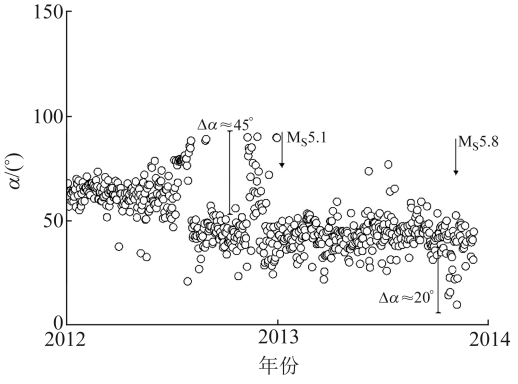


图 4 灯塔 $M_S5.1$ 地震前后新城子台地电场岩体裂隙优势方位角 α 的数据变化

Fig. 4 Data changes of geoelectric field rock fracture dominant azimuth angle α before and after the Dengta $M_S5.1$ earthquake at Xinchengzi station

图 5 为锦州义县台岩体裂隙方位在灯塔 $M_S5.1$ 地震前后的变化曲线，义县台位于锦州-阜新断裂上，历史地震活动水平较低。由图可知，义县台岩体结构发育不完全，α 基本保持在 45°左右。2012-01-16 岩体结构出现剪裂，方位角 α 为 −10.45°，01-23 α 变为 88.36°，后恢复背景水平，突跳异常期间台站观测系统正常，台站所属区域或构造单元无较大地震发生。2012-12-16 α 再次持续突跳(间或剪裂)、偏转、剪裂，持续变化至 2013-03-09，α 突变期间距离台站 158 km 处发生 2013-01-23 灯塔 $M_S5.1$ 地震，在近 3 个月 α 的突变过程中最大 $\Delta\alpha$ 约为 45°。2013-11-10 α 由 44.38° 突变为 85.4°，12-02 恢复至 44.97°，突变 $\Delta\alpha$ 约为 40°。异常期间观测系统正常，距离台站 420 km 发生 2013-11-22 松原 $M_S5.8$ 震群。

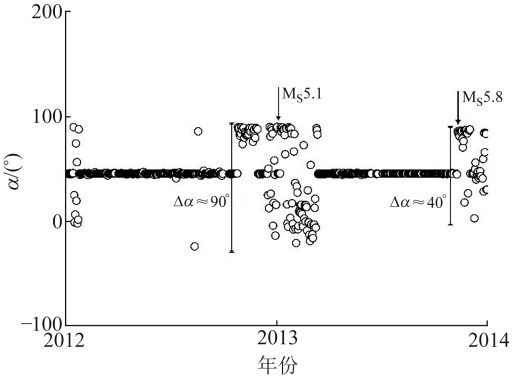


图 5 灯塔 $M_S5.1$ 地震前后义县台地电场岩体裂隙优势方位角 α 的数据变化

Fig. 5 Data changes of geoelectric field rock fracture dominant azimuth angle α before and after the Dengta $M_S5.1$ earthquake at Yixian station

因此，从新城子台和义县台的 α 背景值、异常时间、对应地震可以看出，α 的前兆短临异常或同震响应特征显著。

5 讨 论

5.1 异常台站水文地质和地质构造概况

图 6 为异常台站的空间分布，新城子台地电场地位于依兰-伊通断裂沈阳段，该段处于隐伏状态，是第四纪活动断裂，活动时期主要在早中更新世，晚更新世以来没有活动。义县台位于锦州盆地东北部，医巫闾山西侧断裂、义县-金岭寺断裂及大凌河断裂的交会部位，历史上中强地震活动平静。也就是说，新城子地区岩体结构破碎，应力不易集中，岩体裂隙方位角 α 的角度分

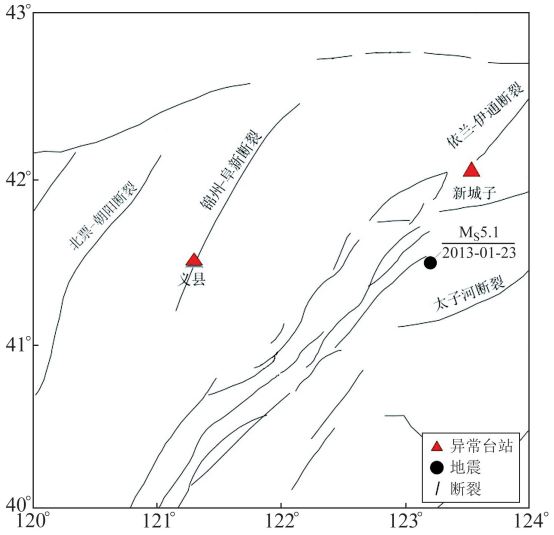


图 6 辽宁义县与新城子大地电场台站分布

Fig. 6 Distribution of telluric field stations in Yixian and Xinchengzi, Liaoning

布区间离散,而义县地区岩体结构发育完整,应力相对集中,岩体裂隙方位角 α 的角度分布区间相对集中。

2015 年新城子观测场地深井(603 m)钻孔取样分析结果表明,其水文地质结构在 0～82.0 m 深度处为 Q_3 时期的灰褐色粉土及褐黄色含水度低、渗透率低的粉质粘土,82.0～404.5 m 深度处为 Nq 时期的含水度低的砂岩。义县地电场区域地层上部为砂、圆砾混土(Q_4),下部为砂质页岩(K_2s),0.0～4.2 m 深度处主要为黄褐色的含水度高的粉质粘土,4.2～6.1 m 深度处为黄褐色含水度高的细砂,9.0～240.0 m 深度处主要为全风化、含水度低的砂质页岩。从 2 个台站的水文地质概况可以看出,新城子场地明显比义县场地岩体结构更加发育,因此基于大地电场岩体裂隙水渗流模型计算得到的 2 个异常台站 α 的结果可靠。

5.2　异常可靠性分析

地震孕育前兆场的形成是预测地震的重要指标,也是三大前兆学科相互配合验证异常可靠性的过程。焦明若等[14]在震后总结震例时提出 8 项前兆异常,其中 3 项是趋势性异常,5 项是短期异常(表 5),异常主要集中在震中 100 km 范围内。震中距仅为 67 km 的新城子台地电与辽阳台水氡(震中距 26.8 km)、营口台石英摆倾斜(110 km)和鞍山台水温(53.8 km)等数据的异常持续时间在 3 个月以内;锦州义县台地电(震中距 158 km)与震中距较近的形变(辽阳台伸缩、辽宁台大面积区域水准及抚顺台伸缩)和震中距较远的流体类(盘锦台水氡)等测项的异常持续时间超过 6 个月。综合 2013 年灯塔 M_S5.1 地震前兆场的时、空特征可以看出,新城子和义县台地电场的异常不是孤立的异常信号,是孕震区形变、流体相互作用的电异常信号,证实了异常的客观存在。

表 5　2013 年辽宁灯塔 M_S5.1 地震前兆异常统计

Tab.5　Statistics of precursor anomalies before the Liaoning Dengta M_S5.1 earthquake in 2013

序号	异常台项	震中距/km	异常特征	异常持续时间
1	辽宁台大面积区域水准	—	库伦旗至沈阳之间、下辽河盆地及附近地区的加速隆起异常	1997～2011 年
2	辽阳台伸缩	31	持续 3 a 的趋势加速压缩异常	2010～2013 年
3	盘锦台水氡	105	持续 2 a 的高值异常	2011～2013 年
4	辽宁台流动重力	100	沈阳及海城附近出现重力高梯度带	2011-10～2012-10
5	抚顺台伸缩 EW 向	70	EW 向张性加速	2012-06～2013-01
6	鞍山台水温	53.8	持续上升	2012-09～2013-01
7	营口台石英摆倾斜	110	破年变	2012-11～2013-01
8	辽阳台水氡	26.8	高值异常	2012-12～2013-01

6　结　语

1)利用地电场潮汐波建立的岩体裂隙水(电荷)渗流(移动)模型适用于辽宁地区大地电场的数据分析。

2)岩体裂隙优势方位角法在辽宁地区能够得到稳定的背景场,该方法对辽宁地区观测场地的典型干扰具有很好的抑制作用。

3)辽宁地区大地电场优势方位角 α 前兆异常属于中短期异常,同震响应显著。

4)相邻地质构造的 2 个台站准同步优势方位角 α 偏转 45°是辽宁地区中强地震的前兆异常特征。

综上所述,通过地电场潮汐波计算场地岩体裂隙优势方位角 α,在复杂环境条件下展开地电场地震前短临异常跟踪具有重要意义。

致谢:本文在撰写过程中使用了甘肃省地震局谭大诚研究员科研团队提供的地电分析程序,在此表示感谢。

参考文献

[1]　马钦忠. 地电场多极距观测装置系统与文安 M_S5.1 地震前首都圈地电场异常研究[J]. 地震学报,2008,30(6):615-625(Ma Qinzhong. Multi-Dipole Observation System and Study on the Abnormal Variation of the Geoelectric Field Observed at Capital Network before the 2006 Wen'an Hebei of China,M_S5.1 Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica,2008,30(6):615-625)

[2]　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(Tian Shan,Wang Jianguo,Xu Xuegong,et al. Research on the Technique of Extracting Seismic Precursory Anomaly from Telluric Electric Field Observation[J]. Acta Seismologica Sinica,2009,31(4):424-431)

[3]　范莹莹,杜学彬,Jacques Zlotnicki,等. 汶川 M_S8.0 大震前的电磁现象[J]. 地球物理学报,2010,53(12):2 887-2 898(Fan Yingying,Du Xuebin,Jacques Zlotnicki,et al. The Electromagnetic Phenomena before the M_S8.0 Wenchuan Earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics,2010,53(12):2 887-2 898)

[4]　席继楼,陈敏,董蕾,等. 长宁 M_S6.0 地震前后地电场秒数据变化特征研究[J]. 地震,2020,40(4):129-143(Xi Jilou,Chen Min,Dong Lei,et al. Study on the Second Data Varia-

tion Characteristics of Geoelectric Field before and after Changning M_S6.0 Earthquake[J]. Earthquake, 2020, 40(4):129-143)

[5] 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):1 745-1 754(Huang Qinghua, Liu Tao. Earthquakes and Tide Response of Geoelectric Potential Field at the Niijima Station[J]. Chinese Journal of Geophysics,2006,49(6):1 745-1 754)

[6] 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(Tan Dacheng, Zhao Jialiu, Xi Jilou, et al. A Study on Feature and Mechanism of the Tidal Geoelectrical Field[J]. Chinese Journal of Geophysics,2010,53(3):544-555)

[7] 谭大诚,王兰炜,赵家骝,等. 潮汐地电场谐波和各向波形的影响要素[J]. 地球物理学报,2011,54(7):1 842-1 853(Tan Dacheng, Wang Lanwei, Zhao Jialiu, et al. Influence Factors of Harmonic Waves and Directional Waveforms of Tidal Geoelectrical Field[J]. Chinese Journal of Geophysics,2011,54(7):1 842-1 853)

[8] 谭大诚,辛建村,王建军,等. 大地电场岩体裂隙模型的应用基础与震例解析[J]. 地球物理学报,2019,62(2):558-571(Tan Dacheng, Xin Jiancun, Wang Jianjun, et al. Application Foundation and Earthquake Case Analysis of the Telluric Field Rock Crack Model[J]. Chinese Journal of Geophysics,2019,62(2):558-571)

[9] 辛建村,谭大诚,赵菲,等. 典型干扰对岩体裂隙优势方位计算结果的影响研究[J]. 地震,2017,37(4):112-122(Xin Jiancun, Tan Dacheng, Zhao Fei, et al. Calculation of Preferred Orientation of Rock Cracks Influenced by Typical Interferences[J]. Earthquake,2017,37(4):112-122)

[10] 赵国泽,汤吉,邓前辉. 人工源超低频电磁波技术及在首都圈地区的测量研究[J]. 地学前缘,2003,10(增 1):248-257(Zhao Guoze, Tang Ji, Deng Qianhui, et al. Artificial SLF Method and the Experimental Study for Earthquake Monitoring in Beijing Area[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(S1): 248-257)

[11] 张学民,翟彦忠,郭学增,等. 远震前的地电场潮汐波异常[J]. 地震学报,2007,29(1): 48-58(Zhang Xuemin, Zhai Yanzhong, Guo Xuezeng, et al. Tidal Wave Anomalies of Geoelectrical Field before Remote Earthquakes[J]. Acta Seismologica Sinica,2007,29(1): 48-58)

[12] 左恒,吴爱祥,王贻明,等. 地电场对裂隙岩块中溶浸液渗流特性影响的研究[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(5):972-976(Zuo Heng, Wu Aixiang, Wang Yiming, et al. Study on Effect of Geoelectric Field on Seepage Properties of Leaching Solution in Fractured Rock Block[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007,26(5):972-976)

[13] 王岩,李彤霞,钱蕊,等. 主成分分析法在 2013 年灯塔 M_S5.1 地震预测中的应用[J]. 地震地磁观测与研究,2017,38(5):44-48(Wang Yan, Li Tongxia, Qian Rui, et al. Prediction Study of Dengta M_S5.1 Earthquake in 2013 Based on Principal Component Analysis[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research,2017,38(5):44-48)

[14] 焦明若,王海燕,曹凤娟,等. 2013 年 1 月 23 日辽阳灯塔 5.1级地震异常分析[J]. 防灾减灾学报,2014,30(1):1-6(Jiao Mingruo, Wang Haiyan, Cao Fengjuan, et al. Analysis of Seismic Anomaly of M_S5.1 Dengta Earthquake in Liaoyang on January 23, 2013[J]. Journal of Disaster Prevention and Reduction,2014,30(1):1-6)

Study of the Characteristics on Earthquake Precursor Anomalies: Based on the Telluric Field Rock Crack Water Seepage Model

ZHANG Zhihong[1] *LI Mengying*[1] *JIAO Mingruo*[1]
HUANG Mingwei[1] *SUN Qingshan*[1] *KONG Xiangrui*[1]

1 Liaoning Earthquake Agency, 44 North-Huanghe Street, Shenyang 110034, China

Abstract: In this paper, based on the tidal wave of the telluric field, we establish a model of the seepage (movement) of the rock crack water(charge) seepage, and calculate the dominant azimuth angle α of the telluric field in Liaoning area. We make a comparative analysis on the degree of change of the dominant azimuth angle α of the telluric field that we combined with typical disturbances such as rainfall, temperature, and magnetic storms. The results show that the dominant azimuth α of the telluric field is limited by typical interference. Combined with the dynamic change of the dominant azimuth α before and after the 2013-01-23 Liaoning M_S5.1 earthquake, we find that the long-term sudden change of the charge movement direction of the rock mass fissures of the same or adjacent geological structure geoelectric field stations can be considered as the precursory anomaly of a moderately strong earthquake.

Key words: Liaoning area; telluric field; dominant azimuth angle α

Foundation support: Science and Technology Program of Liaoning Province, No. 2019010223-JH8/103.

About the first author: ZHANG Zhihong, engineer, majors in seismic electromagnetic theory and application, E-mail: 568950612@qq.com.

Corresponding author: JIAO Mingruo, researcher, majors in earthquake prediction and precursory mechanism, E-mail: mrjiao1963@yahoo.com.