

doi:10.3799/dqkx.2014.168

# 地震台站地电场异常特性:以中国航空工业总公司625研究所为例

杜秋姣<sup>1,2,3</sup>, 李阶法<sup>4</sup>, 李献瑞<sup>1,3</sup>, 曾佐勋<sup>1,3\*</sup>

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学数学与物理学院, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学教育部长江三峡库区地质灾害研究中心, 湖北武汉 430074

4. 中国航空工业总公司625研究所, 北京 100000

**摘要:** 通过分析中国航空工业总公司625研究所地电场监测站30多年监测的原始资料,提取了其中8组数据,包括4组地电场中的长期异常信号和4组对应震级 $M_s \geq 6.0$ 以上的地震震前短临异常信号.发现这些异常信号有以下特征:地电场中的长期监测图中包括了许多不同大小、距离远近地震的孕震信息,其中近区大震会主控一条或多条曲线的走势,远大、近小的地震会造成曲线时上时下的振荡;从4组地电场短临信号监测图中发现震前地电场异常总体表现为下降(上升)—折返—回跳—发震的模式,说明地电场异常变化形态具有相似性和重复性,证明地电场观测确实能监测到震前异常.发现适合该监测站预测发震时间的新方法:根据折返天数与回跳天数大致相等,即回跳日期加上折返天数为发震日期,证明地电场短临预测方法具有一定的实用性.

**关键词:** 地电场;异常特征;短临前兆;天然地震.

**中图分类号:** P319

**文章编号:** 1000-2383(2014)12-1851-06

**收稿日期:** 2014-06-20

## Precursory Abnormal Characteristics of Goelectric Field: A Case Study of Seismostation in 625 Research Institute of Aviation Industry Corporation of China

Du Qiujiao<sup>1,2,3</sup>, Li Jiefa<sup>4</sup>, Li Xianrui<sup>1,3</sup>, Zeng Zuoxun<sup>1,3\*</sup>

1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. School of Mathematics and Physics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Three Gorges Research Center for Geo-hazard, Ministry of Education, China University of Geosciences Wuhan 430074, China

4. 625 Research Institute of Aviation Industry Corporation of China, Beijing 100000, China

**Abstract:** The goelectric field data recorded for more than thirty years at seismostation in 625 Research Institute of Aviation Industry Corporation of China were analyzed, and eight sets of data including four sets of long-term abnormal signals and four sets of short-term abnormal signals were extracted. The abnormal short-term signals correspond to four  $M_s > 6.0$  earthquakes. The goelectric field signals have the following characteristics. (1) The long-term goelectric field curves include precursory information from many earthquakes with different magnitudes and epicenter distances. The near-field and major earthquakes control the trendy of goelectric field curves. Meanwhile big far earthquakes and small near earthquakes can cause oscillations up and down. (2) In the four short-term signals, we find that the goelectric field curves show a common pattern of up(down), return, bound and occurring phases. The goelectric field abnormal forms have similarity and repeatability. This proves that the goelectric field observation can monitor the impending earthquake precursor. A new method to predict the occurrence-time is found. Based on the number of return days approximately be equal to the number of bound days, the date of occurrence time is the date of return plus the number of bound days. It pushes further the method of goelectric field short-term earthquake pre-

**基金项目:** 国家“985”创新平台建设项目;国家青年科学基金项目(No.41404041);中国博士后科学基金(No.2014M562079).

**作者简介:** 杜秋姣(1977-),副教授,从事电磁学地震预测研究.E-mail:dqjhh@163.com

\* **通讯作者:** 曾佐勋, E-mail: zuoxun.zeng@126.com

cursor toward practice.

**Key words:** geoelectric field; abnormal characteristics; short-term precursor; earthquake.

## 0 引言

地电场法测量技术较为简便,其中利用地电场的异常变化短临预报地震是一种较好的手段(毛桐恩等,1999).地震会产生异常地电场现象的首次确认要追溯到 1871 年 Varley 对加拿大地震的观测. Myachkin *et al.*(1972)报道前苏联在远东勘察加的一些地震前 3~16 d 于震中附近记录到电场强度达 100~300 mV/km 的异常变化. Qian *et al.*(1990)报道唐山地震前震中附近地电观测台记录到与引潮力有关的电场变化,以及与废油井自喷有关的电场特殊图型的异常. Corwin and Morrison(1977)报道美国在一次  $M_s 2.4$  地震前 120 h,距震中 2.5 km 的一个观测点记录到的电场强度达 12 mV/km 的清晰变化,并认为震前异常机理是断层膨胀孔压突然降低引起流体扩散流动所产生的动电效应.

中国对地电的观测是在 1966 年邢台地震之后起步的.1968 年,位于河北香河的群测点首先开展地电场试验观测,后来地电场观测在全国有了很大进展,多次预测过中强地震.突出实例是海城虎庄邮电支局和冶金 102 队曾经用地电场法对海城地震进行了成功预测(赵玉林等,1995).虽然地电场作为一种短临预测方法在国内外均有成功预测的震例,并具有方法技术较为简便、易于推广、可实现群测群防等优点,但是由于地电场信号存在许多干扰因素,并非所有地电场的变化都与地震有关.此外异常的规律及产生的机理尚不清楚,所以需要对其进行详细的了解和深入的研究.

地震前优质观测点的长期观测和震例研究十分重要(Varotsos and Lazaridou,1991).中国航空工业 625 研究所地震台站从 1976 年开始坚持进行地电场的观测,积累了 30 多年的地震监测原始资料,笔者对这些资料进行了检查分析,发现地电场观测资料中存在着丰富的地震前兆变化信息,是研究地震前地电场信号异常规律的宝贵财富.本文利用 625 研究所地震监测站 1976—2009 年观测数据,分析地电场信号中长期异常和短临异常,总结预测未来地震震级、发震时间、震中位置三要素的经验规律,推进以物理为基础的地震预测方法深入发展.

## 1 地震监测站仪器观测系统

在地震预测中地电场观测主要是研究地表电场强度以及其随时间和空间的变化规律,探索地电场异常与地震的关系.625 所地震监测站位于北京地区  $39^{\circ}56'N, 116^{\circ}37'E$ .观测仪表为微安电流表,检测地电场的方法是在地下安置两套埋深为 1 m 左右的电极,用导线接到微安电流表上,就会显示出地电流的数据,每天将定时监测的数据按时间延伸的顺序绘制成曲线图.自 1975 年 3 月起,用过两组测量仪,每组独立观测两个方位的地电场,两个方位的电极布线成十字形.以测点  $39^{\circ}56'N, 116^{\circ}37'E$  为电势零点埋电极,利用地电流异变流动的能量来源于震中的理论,分析曲线的升降与地震发生方位的相关性.第 1 组电极是北南方向和东西方向,北南线极距 24 m,东西线极距 16 m,埋深 1.3 m.电极开始是采用铅板,第 3 年起改用耐热合金叶片,解决化学电位不稳定问题.东西线是在  $39^{\circ}56'N$  附近的的东西方向埋线,零位线是  $116^{\circ}37'E$  的经度线附近,利用监测地电流数据绘制曲线图,正值是地电流通过此线向东流去,负值是通过此线向西流去.北南线是在  $116^{\circ}37'E$  附近的北南方向埋线,零位线是  $39^{\circ}56'N$  纬度线,正值是地电流通过此线向北流去,负值是通过此线向南流去.长期以来对 200 km 内的大小地震的三要素显示好而准,但远震信息不明显.第 2 组测量仪是短极距的,是在地面边长为 2.5 m 的正方形 4 个角上埋地面直径 4 cm、长 20 cm 的 4 个炭棒组成,埋深 1.5 m,组成北西线和北东线,其中北西线显示孕震信息比较丰富,包括距测点 2 000 km 外的地震信息,所以下面震例中主要给出北西线的地电场信号.

大量地电场观测研究表明:电极极化、降雨、线路故障等各类噪声以及震前异常都可以观测到电磁异常信号,例如:电极埋设初期或电极附近土体结构被破坏时,由于电极极化地电流出现大幅度变化;降雨使地下水位发生变化,产生过滤电场,在降水后一段时间会出现电场的极大值;在雷电感应下,产生极化电场,地电流曲线呈脉冲变化;线路接触不良,造成曲线呈锯齿状变化(席继楼等,2002;林向东等,2007;史红军,2009;史红军等,2010).通过正确识别各类噪声干扰,排除了噪声后剩余的信号被认为是与地震有关的震前异常信号(钱复业和赵玉林,

2005;郭建芳等,2010)。另外,在唐山大震后测点又增加了地应力、磁三针的自动记录和电磁波同一台 65 型拾震仪。地应力和电、磁数据同时观测,可以有效排除各种干扰,总结地震电信号的前兆特征。

## 2 震前地电场异常特征

### 2.1 地电场中长期异常

图 1 是 1976 年全年的地电场日均值曲线,图中标出了 14 次地震,东西线自 6 月 20 日起不断下降,7 月 20 日达到低值  $-2.5 \mu\text{A}$ ,随后曲线折返,回升的过程中发生唐山  $M_s 7.8$  大地震;北南线 6 月 20 日从  $-10 \mu\text{A}$  开始不断上升,7 月 18 日达到峰值  $3.75 \mu\text{A}$ ,随后曲线折返,从测点 1976 年的综合监测大图上就证实了唐山  $M_s 7.8$  地震控制了曲线总的升降趋势。

图 2 是 1996 年 11 月至 1997 年 4 月半年地电场日均值曲线,图中标出了 19 次地震,该图显示北东线的地电场曲线从 1996 年 12 月 12 日开始缓慢下降,经历了平稳—下降—上升—持续—折返的过程。北西线的地电场曲线走势的大趋势和北东线类似,但是曲线的波动比较大,例如:在 1997 年 2 月 20 日~3 月 16 日显示日本伊豆半岛群震前异常幅度达  $110 \mu\text{A}$  的跳动,说明北西线比较敏感。

图 3 是 1999 年 4 月到 11 月地电场日均值曲线。9 月 21 日台湾  $M_s 7.4$  地震虽然在测点的南稍偏东约 2 000 km 处,但它主控了测点北西线地电场曲线长达 4 个半月的时间,在它发生之后,11 月 1 日距测点西偏南约 200 km 处发生的浑源  $M_s 5.6$  地震变为强者。曲线加速下降,10 月下旬台湾  $M_s 6.0$  余

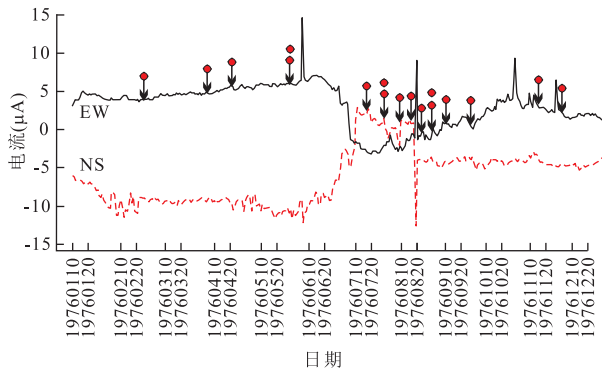


图 1 1976 年全年东西线(黑色实线)和北南线(红色虚线)地电场日均值曲线

Fig.1 The day even value curves of the geoelectric field for the year 1976

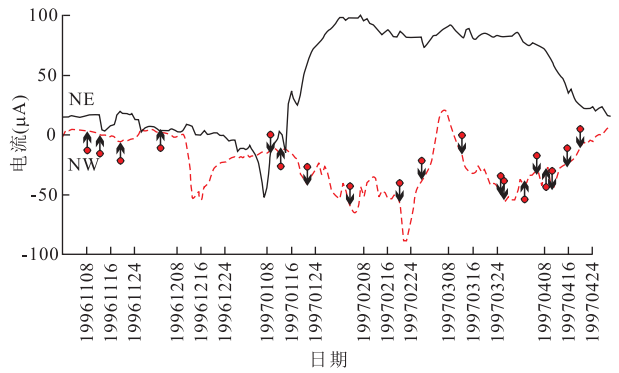


图 2 1996 年 11 月~1997 年 4 月北东线(黑色实线)和北西线(红色虚线)地电场日均值曲线

Fig.2 The day even value curves of the geoelectric field from Nov. of 1996 to Apr. of 1997

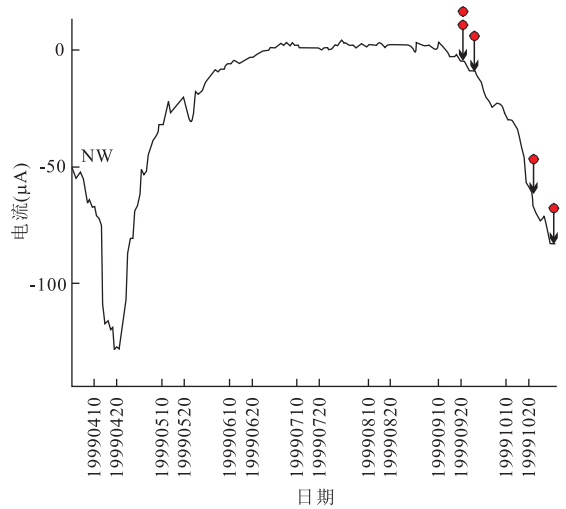


图 3 1999 年 4 月~1999 年 10 月北西线地电场日均值曲线

Fig.3 The day even value curves of the geoelectric field from Apr. of 1999 to Oct. of 1999 in NW direction

震和浑源  $M_s 5.6$  地震的能量主控了曲线的下降,在 35 天中下降了  $80 \mu\text{A}$ 。

图 4 是 2000 年全年地电场日均值示意图,全年地震次数很多,图中只标注了  $M_s > 6.0$  地震,曲线上的每次跳动后都有地震。北西线上显示 1 月 20 日至 2 月 24 日地电场曲线出现异常,地电流从  $-100 \mu\text{A}$  变为  $-25 \mu\text{A}$ ,变化幅度达  $75 \mu\text{A}$ 。据分析该异常可能是 2 月 29 日菲律宾马荣火山大喷发的前兆,火山位于测点南偏东约 3 150 km。火山爆发之后,曲线明显异常,11 月 16 日发生了的  $M_s 7.8$  和  $M_s 6.1$  巴布亚新几内亚大震 2 次,随后又发生一系列群震。纵观全年曲线地震活动,控制曲线趋势的是马荣火山和巴布亚新几内亚地区的  $M_s 7.8$  大群震,孕震长达 8 个月、短临半个月,可见地电场变化幅度

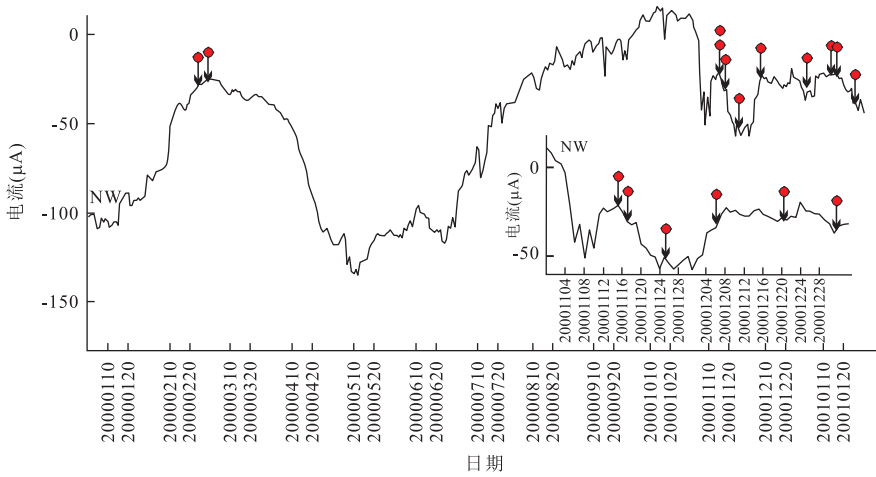


图 4 2000 年全年北西线地电场日均值曲线

Fig.4 The day even value curves of the geoelectric field in NW direction for the year 2000

大、持续时间长是大震前兆。

在地球上每年都有很多地震不断发生,图 1~图 4 地电场曲线清楚显示不论远近、大小、深浅蕴含着丰富的地震前兆信息.结论发现:一旦近区孕育大震,在这个大震发生前,它就会主控一条或多条曲线出现大升降活动,同时那些远大、近小的地震会在曲线图中造成曲线上下动荡的局面。

### 2.2 地电场短临异常

地电场预测地震实际上就是监测一个地震发生前,它在地下微观世界所造成的地球局部电场异常活动的过程.625 所台站于 1976 年的 6、7 月期间用地电场监测到了唐山  $M_s$ 7.8 地震发生前 34 d 的临震活动;1997 年底,用地电场监测方法又监测到 1998 年 1 月 10 日河北省张北的  $M_s$ 6.3 地震发生之前两个多月的孕震三部曲;2001 年监测到了发生在昆仑山  $M_s$ 8.2 地震前地电场异常信号;2008 年监测到汶川  $M_s$ 8.2 地震前长达 8 个多月的孕震过程.孕震过程中曲线的第 1 个拐点称为折返点,到达折返点过程中出现突跳的拐点(孕震过程中第 2 个拐点)称为回跳,从折返到发震的过程称为临震。

图 5 显示 1976 年地电场北南线日均值曲线自 6 月 24 日开始持续上升,7 月 11 日达到峰值,上升幅度  $12.5 \mu A$ ,随后折返缓慢下降,下降过程中 7 月 28 日在唐山相继发生  $M_s$ 7.8 和  $M_s$ 7.1 地震,震中位于测点东偏南 140 km 和 180 km.经历了上升—折返—发震的孕震过程,并且上升过程经历的时间和折返过程相等约为 17 d.东西线日均值曲线 6 月 29 日开始出现异常,曲线持续下降,7 月 19 日降至低值,降幅约  $9.4 \mu A$ ,随后折返缓慢回升,回升过程中 7 月 28 日发

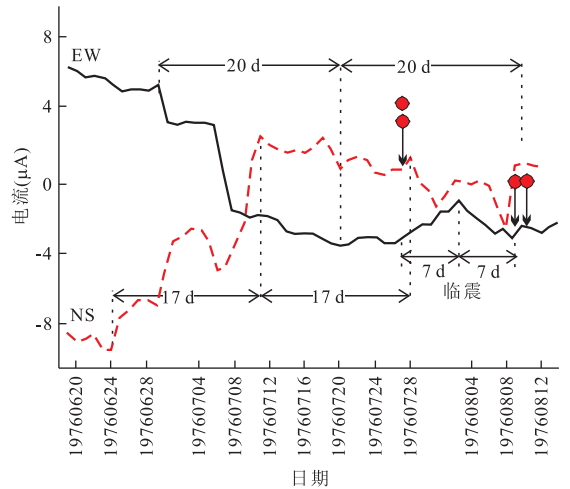


图 5 1976 年唐山  $M_s$ 7.8 地震前东西线(黑色实线)和北南线(红色虚线)地电场异常信号

Fig.5 Abnormal signals of the geoelectric field before the  $M_s$ 7.8 earthquake in Tangshan in 1976

震,7 月 31 日出现突跳,8 月 8 日、9 日又发生两次地震.经历了下降—折返—回跳—发震的孕震过程,下降时间和临震时间相等约为 20 d,而且临震过程中折返时间和回跳时间近似相等约为 7 d。

图 6 显示 1998 年张北  $M_s$ 6.3 地震前地电场北西线日均值曲线,1997 年 11 月 8 日开始持续下降,12 月 18 日达到谷值  $-135 \mu A$ ,降幅  $130 \mu A$ ,随后折返上升,进入临震期,10 d 后达到峰值  $-95 \mu A$ ,之后下降过程中 1998 年 1 月 10 日在张北发生  $M_s$ 6.3 地震,震中位于  $41^{\circ}06'N, 114^{\circ}18'E$  在测点西北偏南约 240 km 处.经历了下降—折返—回跳—发震的过程.下降时间和临震时间近似相等约为 23 d,而且临震过程中折返时间和回跳时间近似相等约为 10 d。

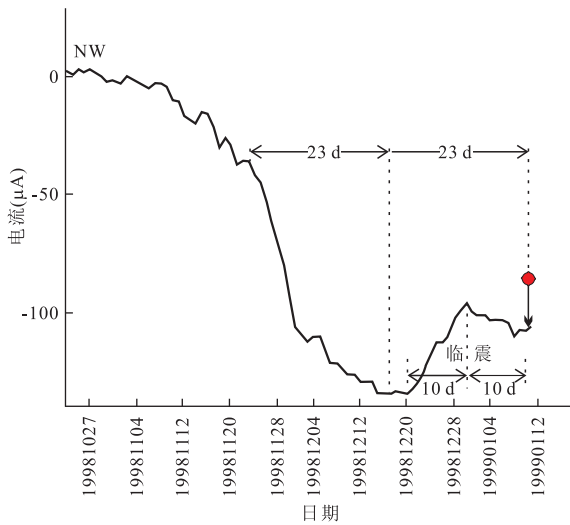


图 6 1998 年张北  $M_s$ 6.3 级地震前地电场异常信号

Fig.6 Abnormal signals of the geoelectric field before the  $M_s$ 6.3 earthquake in Zhangbei in 1998

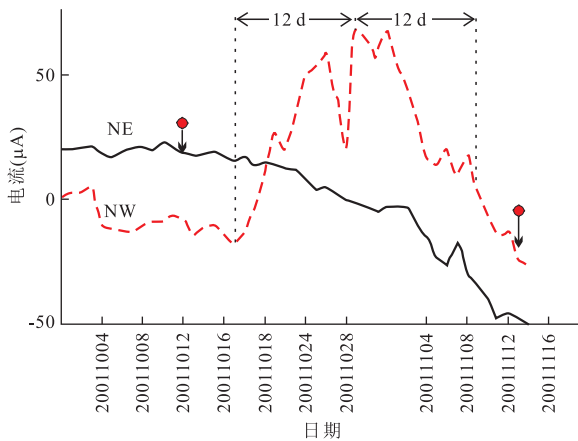


图 7 2001 年青海若羌  $M_s$ 8.2 级地震前东北线(黑色实线)和北西线(红色虚线)地电场异常信号

Fig.7 Abnormal signals of the geoelectric field before the  $M_s$ 8.2 earthquake in Ruojiang, Qinghai in 1998

图 7 显示 2001 年昆仑山上青海若羌  $M_s$ 8.2 地震前地电场北西线日均值曲线,2001 年 10 月 3 日开始缓慢下降,10 月 16 日降至谷值,然后折返快速上升,10 月 29 日达到峰值,异常幅度约  $90 \mu A$ ,随后陡降,12 d 之后 11 月 14 日降到初始值,发生  $M_s$ 8.2 地震,震中位于  $36^{\circ}12'N, 90^{\circ}54'E$ ,位于测点西稍偏南约 2 266 km,经历了下降—折返—回跳—发震的过程.临震过程中折返时间和回跳时间相等约为 12 d.东北线孕震现象不明显,可能与测点的地质构造有关.

图 8 显示出 2008 年 5 月 12 日汶川  $M_s$ 8.2 地震的孕临震的三步曲,长达 8 个多月的全过程.从这条地电场的监测图上可以清楚地看到,从 2007 年 9 月

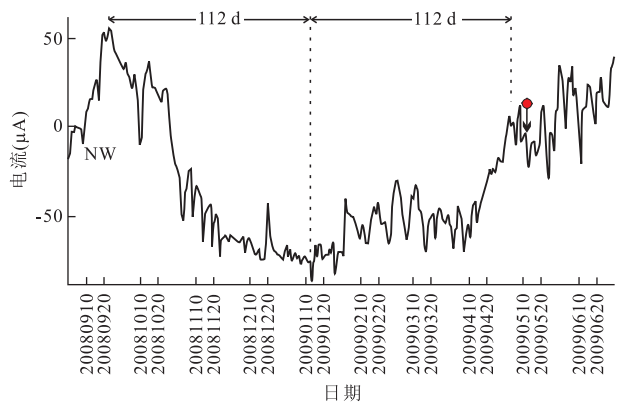


图 8 2008 年汶川  $M_s$ 8.2 地震前地电场异常信号

Fig.8 Abnormal signals of the geoelectric field before the  $M_s$ 8.2 earthquake in Wenchuan in 2008

初开始孕震,随后曲线出现时高时低的连续下降现象,到 2008 年的 1 月 13 日到最低点,整个下降过程经历 112 d,地电流由正值降到负值,变化幅度约  $141 \mu A$ ,曲线平稳折返慢回升,到 4 月 7 日后曲线开始加速回升,这是进入临震的征兆,经过 31 d,5 月 8 日地电流由  $-70 \mu A$  升到  $12 \mu A$ ,陡升幅度  $82 \mu A$ ,随后 4 天的时间曲线从正  $12 \mu A$  降到初值  $-13 \mu A$ ,2008 年 5 月 12 日汶川发生  $M_s$ 8.2 地震,震中  $30^{\circ}59'N, 103^{\circ}22'E$ ,在测点西南约 1 493 km.经历了下降—折返—发震的过程.下降时间和折返时间近似相等约为 112 d.

根据地电流曲线的走势和电流的方向,判断震中的方位.北南线地电流正值持续上升或负值持续下降,称为正异变,震中位于零位线的南边;反之,地电流曲线正值持续下降或负值持续上升,称为负异变,震中位于零位线的北边.东西线地电流曲线正值持续上升或负值持续下降,称为正异变,震中位于零位线的西边;反之,负异变,震中在东边.1976 年唐山  $M_s$ 7.8 地震前,北南线出现正异变,东西线出现负异变(图 5),震中位于测点东偏南方位.北西线曲线正值上升或负值下降,属于正异变(图 6~图 8),震中位于测点偏南.

### 3 结论与讨论

通过对 625 所监测站从 1976—2009 年观测资料的整合分析,得出如下初步结论:

(1)如图 1~图 4 所示,全年地电场曲线中包括许多地震信息,甚至包括了影响较小的远震或小震的孕震信息.近区孕育的大震会主控一条或多条地

电场曲线出现大升降活动,那些远大、近小的地震会使曲线产生波动。

(2)地震孕、临、震三步曲:在无孕震的情况时,地电场曲线只是上下小波动,随着时间的推移,曲线出现持续上升或下降,代表着孕震的开始。震级的大小与孕震的时间和异常幅度的大小成正比。当孕震的曲线持续升降幅差很大、时间又很长时,就应注意它的突然折返,如果是持续性的回返,那就是临震信息开始了。若是近震就会出现宏观异常活动,如动植物反常、地下井水突升、突降、发浑等。曲线在孕震过程中突然出现大跳,然后又回到原位,那是远震影响。

(3)发震日期是地震预测中的关键要素之一,从日均值的曲线图看发震日期。震前地电场异常总体表现为下降(上升)一折返一回跳一发震的模式,异常下降(上升)时间与临震时间近似相等,而且临震过程中折返时间与回跳时间近似相等,所以回跳日期加上折返天数就是发震日期,如图 5~图 7 所示。

(4)从曲线的变化确定震中距离测点的远近和震中方位。在曲线出现孕震时,升降的陡与缓大体上显示出了震中的远近,陡快是近区震,缓慢是远震。从图上曲线所上升(下降)的最大幅度和折返回降(回升)的幅度对比看震中到测点的距离。曲线回了刚一半,震中是在几百里范围内,如图 5~图 6 所示;曲线回到起点线,震中比较远(图 7~图 8)。根据曲线的变化趋势和流向,可判断正异变和负异变时地震发生方位。

## References

- Corwin, R. F., Morrison, H. F., 1977. Self-Potential Variations Preceding Earthquakes in Central California. *Geophys. Res. Lett.*, 15(1): 171-174. doi:10.1029/GL004i004p00171
- Guo, J. F., Li, F., Zhang, X. X., et al., 2010. The Analysis of the Geoelectricity Daily Amplitude and Electric Storm. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 31(3): 18-23 (in Chinese with English abstract).
- Lin, X. D., Xu, P., Lu, Y., et al., 2007. Several Typical Interferences in Geoelectric Observation. *North China Earthquake Sciences*, 25(1): 16-22 (in Chinese with English abstract).
- Mao, T. E., Xi, J. L., Wang, Y. Q., et al., 1999. The Variation Characteristics of the Telluric Field in the Process of Earthquake. *Chinese Journal of Geophysics*, 42(4): 520-528 (in Chinese with English abstract).
- Myachkin, V. I., Sobolev, G. A., Dolbikina, N. A., et al., 1972. The Study of Variations in Geophysical Fields near Fo-

cal Zones of Kamchatka. *Tectonophysics*, 14(3-4): 287-293. doi:10.1016/0040-1951(72)90077-7

- Qian, F. Y., Zhao, Y. L., 2005. Study on Geoelectric Field Method for Short-Term and Impending Earthquake Prediction. *Earthquake*, 25(2): 33-40 (in Chinese with English abstract).
- Qian, F. Y., Zhao, Y. L., Xu, T. C., et al., 1990. A Model of Earthquake-Impending Precursor of Geoelectricity Triggered by Tidal Forces. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 62(3-4): 284-297. doi:10.1016/0031-9201(90)90173-U
- Shi, H. J., 2009. Analysis on the Interference Factors in Geoelectric Field Observation. *Seismological Research of Northeast China*, 25(2): 51-57 (in Chinese with English abstract).
- Shi, H. J., Yang, T., Zhao, W. X., et al., 2010. Analysis of Geoelectric Field Data at Yushu Seismic Station. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 31(3): 126-134 (in Chinese with English abstract).
- Varotsos, P., Lazaridou, M., 1991. Latest Aspects of Earthquake Prediction in Greece Based on Seismic Electric Signals. *Tectonophysics*, 224(1-3): 321-347. doi:10.1016/0040-1951(93)90055-O
- Xi, J. L., Zhao, J. L., Wang, Y. Q., et al., 2002. Research on Observational Technology of the Geoelectric Field. *Earthquake*, 22(2): 67-73 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. L., Li, Z. N., Qian, F. Y., et al., 1995. Comprehensive Criteria for the Transition from the Middle-Term to the Short-Term and Impending Anomalies of Geoelectric Precursors. *Earthquake*, 15(4): 308-314 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 郭建芳,李非,张秀霞,等,2010.地电场日变幅与地电爆分析.地震地磁观测与研究,31(3):18-23.
- 林向东,徐平,鲁跃,等,2007.地电场观测中几种常见干扰.华北地震科学,25(1):16-22.
- 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.地球物理学报,42(4):520-528.
- 钱复业,赵玉林,2005.地电场短临预报方法研究.地震,25(2):33-40.
- 史红军,2009.地电场观测过程中的干扰因素分析.东北地震研究,25(2):51-57.
- 史红军,杨桐,赵卫星,等,2010.榆树地震台地电场观测数据分析.地震地磁观测与研究,31(3):126-134.
- 席继楼,赵家骝,王燕琼,等,2002.地电场观测技术研究.地震,22(2):67-73.
- 赵玉林,李正南,钱复业,等,1995.地电前兆从中期向短临过渡的综合判据.地震,15(4):308-314.