

# 会昌台垂直摆观测资料与地震对应关系分析

谢 斌<sup>1,2</sup>, 赵爱平<sup>1,2</sup>, 邓月圆<sup>2</sup>, 余志成<sup>2</sup>, 邓 辉<sup>2</sup>, 冯 亮<sup>3</sup>, 黄仁桂<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>江西九江扬子块体东部地球动力学野外科学观测研究站, 江西 九江

<sup>2</sup>江西省地震局, 江西 南昌

<sup>3</sup>江西理工大学, 江西 赣州

收稿日期: 2022年2月15日; 录用日期: 2022年3月4日; 发布日期: 2022年3月30日

## 摘 要

本文介绍了会昌地震台观测环境的基本情况, 对2010年1月至2021年12月的垂直摆观测资料中与台湾地区 $M_s \geq 6.5$ 级地震之间对应的异常图像进行分析。结果表明, 会昌地震台垂直摆观测资料在震前一个月均出现了不同程度的短临异常, 资料具有较强的映震能力, 为台站地震监测及临震预报提供一种参考。

## 关键词

垂直摆, 台湾地震, 异常特征

# Analysis on the Correspondence between the Observation Data of Vertical Pendulum and Earthquake of Huichang Seismostation

Bin Xie<sup>1,2</sup>, Aiping Zhao<sup>1,2</sup>, Yueyuan Deng<sup>2</sup>, Zhicheng Yu<sup>2</sup>, Hui Deng<sup>2</sup>, Liang Feng<sup>3</sup>, Rengui Huang<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Observatory for Geodynamic of the East Yangtze Block in Jiujiang, Jiujiang Jiangxi

<sup>2</sup>Jiangxi Earthquake Agency, Nanchang Jiangxi

<sup>3</sup>Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou Jiangxi

Received: Feb. 15<sup>th</sup>, 2022; accepted: Mar. 4<sup>th</sup>, 2022; published: Mar. 30<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

This paper introduces the basic situation of the observation environment of Huichang Seismostation, and analyzes the anomalous images corresponding to the  $M_s \geq 6.5$  earthquakes in Taiwan

\*通讯作者。

文章引用: 谢斌, 赵爱平, 邓月圆, 余志成, 邓辉, 冯亮, 黄仁桂. 会昌台垂直摆观测资料与地震对应关系分析[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(3): 336-347. DOI: 10.12677/ag.2022.123035

area in the vertical pendulum observation data from January 2010 to December 2021. The results show that the vertical pendulum observation data of Huichang Seismostation have different degrees of short impending anomalies in one month before the earthquake, and the data have strong earthquake reflection ability, which can provide a reference for the station's earthquake monitoring and impending earthquake prediction.

## Keywords

Vertical Pendulum, The Taiwan Earthquake, Anomalous Characteristics

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

许多年来,国内外科学家公认的是地震前兆具有较大的复杂性,而地震预报必须要依据某种前兆来进行,所以首先我们就要加强地震前兆理论的研究和实践。地震前兆异常的研究是地震预测预报的基础,对地震预报工作具有重要的指导作用。众多学者通过运用前兆观测资料对诸多震例开展了震前异常特征分析,取得了许多有益的研究成果。邱永平等[1]对宁波地震台与台湾三次中强震处于近南北轴线的特殊位置进行了同震响应探讨,发现在震前垂直摆EW分量出现阶跃异常现象;蒋薇等[2]对通海地震台垂直摆倾斜仪观测资料在宁蒗5.7级地震前出现的异常进行了分析,结果表明通海台垂直摆倾斜仪在震前出现了明显的中期、短临异常,有明显的趋势转折、破年变、矢量反向、速率超二倍均方差等现象;柯昌安等[3]对宁强5.7级地震前陕西定点形变的异常现象进行了分析,阐述了临震前陕西形变观测资料出现了短临异常现象,异常形态趋势转折;李杰等[4]对濮阳ML4.6地震前泰安台形变进行异常特征分析,泰安台倾斜仪出现了显著的短、临前兆异常,地震发生在异常达到最大值前后,且震中异常背向初期地壳的倾斜方向。

地形变又称地震形变。在地震发生时或地震前后,由于构造运动或地震构造力和地震波振动作用,地表产生变形的现象。通过地形变观测可监测到震前出现的前驱波、慢地震或蠕变事件等现象[5][6]。垂直摆倾斜仪就是地形变测量手段和仪器的其中一种[7]。

会昌地震台距离台湾地区约530 km,台站垂直摆倾斜仪对台湾中强震反应特别明显。会昌地震台垂直摆倾斜仪安装在山洞内,它能够有效地排除来自地表的各种干扰,取得可信度较高的观测数据。本文对垂直摆2010年至2021年的观测资料与台湾地区 $M_s \geq 6.5$ 级地震之间的对应关系及异常图像进行分析,探讨其观测曲线异常特征与地震的关系[8]。

## 2. 观测环境

会昌地震台设在江西省赣州市会昌县文武坝镇岚山公园内,距主城区5 km,有简易公路到达台站。台站风景秀丽,无明显干扰,是地震观测的良好场地,具有优质的地质观测条件,台基岩性为加里东期花岗岩,台基坚硬,背景噪声极低,周围无厂矿与输、变电设施,满足综合台站观测规范的要求[9]。

会昌地震台山洞总长约85米。主巷道安装了三道密封门,洞内温度常年稳定在20℃左右。2007年3月垂直摆倾斜仪布设在台站山洞内,摆房距洞口深约60米,与山洞过道由一扇密封门隔离。垂直摆观测墩直接浇筑在基岩上,随着时间的推移,观测墩已同下面基岩全面融合,周边有隔震槽[10]。

### 3. 异常分析

#### 3.1. 资料选取

会昌地震台垂直摆倾斜仪周边无人为干扰，具有较好的观测环境，同时近年来仪器运行稳定，故障断记少，产出了大量连续稳定的观测资料[11] [12]。本文选用 2010 年 1 月至 2021 年 12 月的观测资料，以台湾地区  $M_s \geq 6.5$  级地震为研究对象，对此期间垂直摆观测到的震例进行震前异常曲线和矢量图异常特征分析，总结震例异常的特点、形态，并运用一阶差分求速度值和二阶差分求加速度值提取异常[13] [14] [15]。通过中国地震局地震数据中心，检索了 2010 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日台湾地区  $M_s \geq 6.5$  级地震，共计 9 个地震。详见表 1。

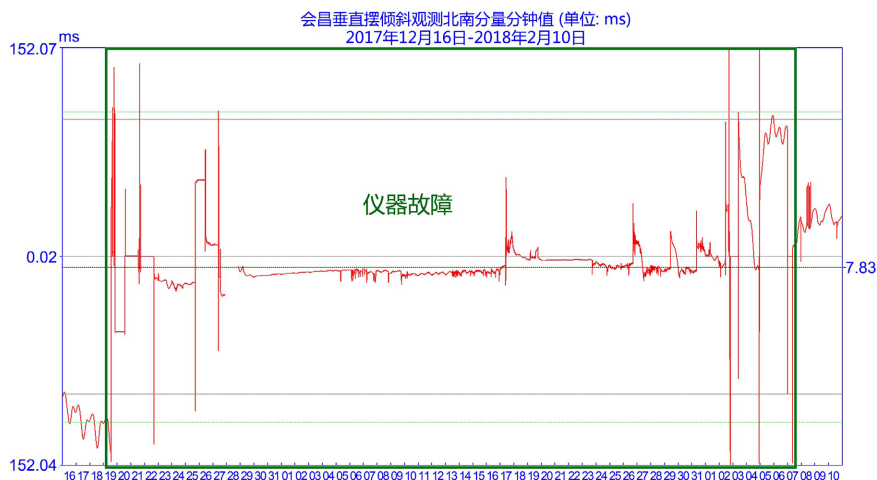
**Table 1.** Earthquakes with  $M_s \geq 6.5$  in Taiwan from January 1, 2010 to December 31, 2021

**表 1.** 2010 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日台湾地区  $M_s \geq 6.5$  级地震

| 序号 | 发震时刻<br>(北京时)            | 纬度<br>(°) | 经度<br>(°) | 震级<br>( $M_s$ ) | 深度<br>(km) | 参考地名      |
|----|--------------------------|-----------|-----------|-----------------|------------|-----------|
| 1  | 2010-03-04<br>08:18:47   | 22.96     | 120.70    | 6.7             | 7          | 台湾高雄      |
| 2  | 2010-04-26<br>10:59:50   | 22.43     | 123.75    | 6.7             | 12         | 台湾东南      |
| 3  | 2013-06-02<br>13:43:01   | 23.87     | 120.99    | 6.7             | 5          | 台湾南投      |
| 4  | 2013-10-31<br>20:02:06   | 23.51     | 121.44    | 6.8             | 11         | 台湾花莲      |
| 5  | 2015-04-20<br>09:42:55.0 | 24.01     | 122.51    | 6.7             | 20         | 台湾花莲附近海域  |
| 6  | 2016-02-06<br>03:57:26   | 22.94     | 120.54    | 6.7             | 15         | 台湾高雄      |
| 7  | 2018-02-04<br>21:56:41   | 24.20     | 121.70    | 6.6             | 12         | 台湾花莲海域    |
| 8  | 2018-02-06<br>23:50:41   | 24.10     | 121.65    | 6.8             | 10         | 台湾花莲县附近海域 |
| 9  | 2019-04-18<br>13:01:06   | 24.08     | 121.60    | 6.7             | 24         | 台湾花莲海域    |

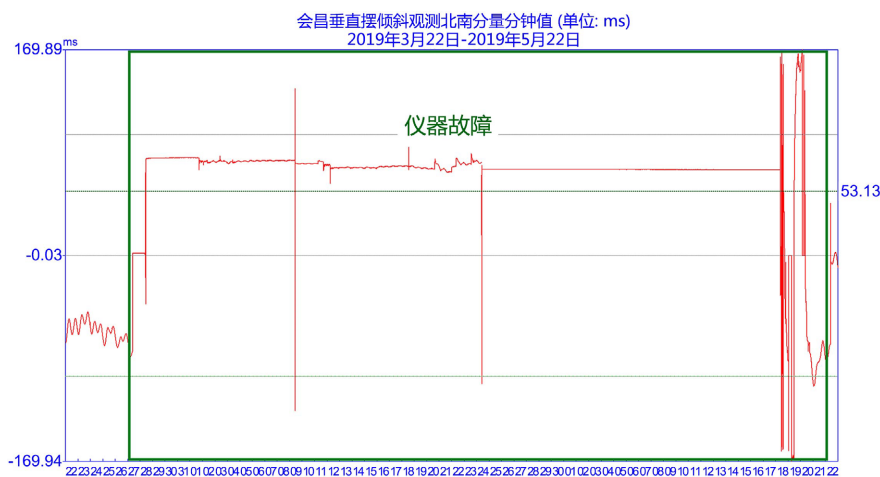
#### 3.2. 震前观测曲线异常分析

2018 年 2 月 4 日台湾花莲 6.6 级、2 月 6 日台湾花莲 6.8 级和 2019 年 4 月 18 日台湾花莲 6.7 级三个地震发生前后因仪器故障，无法分析(如图 1，图 2)。对表 1 中其余 6 个地震震前一个月内的垂直摆观测资料进行研究分析后发现，除 2013 年 10 月 31 日 6.8 级地震震前异常不明显外，垂直摆北南分量观测曲线在其余地震震前均出现了不同形态的异常。2010 年 3 月 4 日台湾高雄 6.7 级地震前垂直摆北南分量在 2 月 13 日至 2 月 16 日出现了小幅突跳、波浪形抖动等异常图像(如图 3)；2010 年 4 月 26 日台湾东南 6.7 级地震前在 4 月 9 日至 11 日出现了褶皱、锯齿型连续错动、掉格型突跳等异常图像(如图 4)；2013 年 6 月 2 日台湾南投 6.7 级地震前在 5 月 15 日至 21 日出现了褶皱、固体潮畸变波动等异常图像(如图 5)；2013 年 10 月 31 日台湾花莲 6.8 级地震前一个月内垂直摆北南分量未发现明显异常(如图 6)；2015 年 4 月 20 日台湾花莲 6.7 级地震前在 4 月 9 日至 17 日出现了褶皱、掉格型突跳、波浪形抖动等异常图像(如图 7)；2016 年 2 月 6 日台湾高雄 6.7 级地震前在 1 月 15 日至 17 日出现了掉格型突跳、波浪形抖动等异常图像(如图 8)。



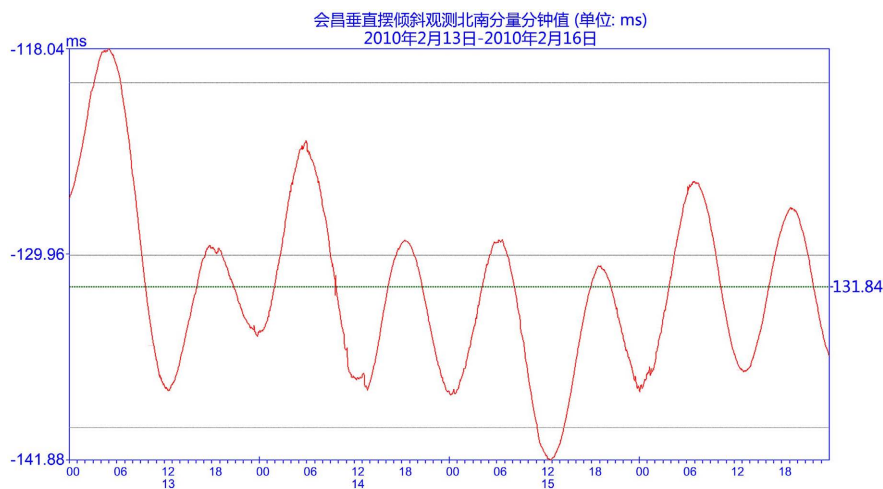
**Figure 1.** Vertical pendulum failure from December 19, 2017 to February 3, 2018

**图 1.** 2017 年 12 月 19 日至 2018 年 2 月 3 日垂直摆故障



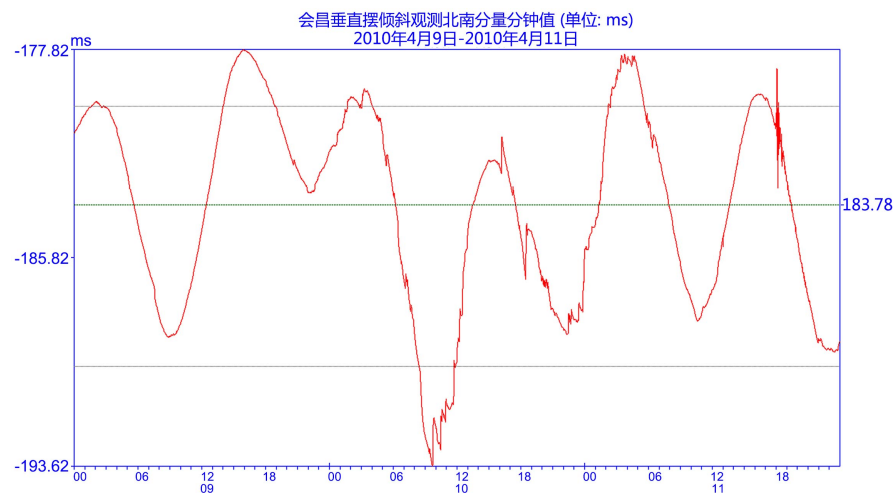
**Figure 2.** Vertical pendulum failure from March 27 to May 20, 2019

**图 2.** 2019 年 3 月 27 日至 5 月 20 日垂直摆故障

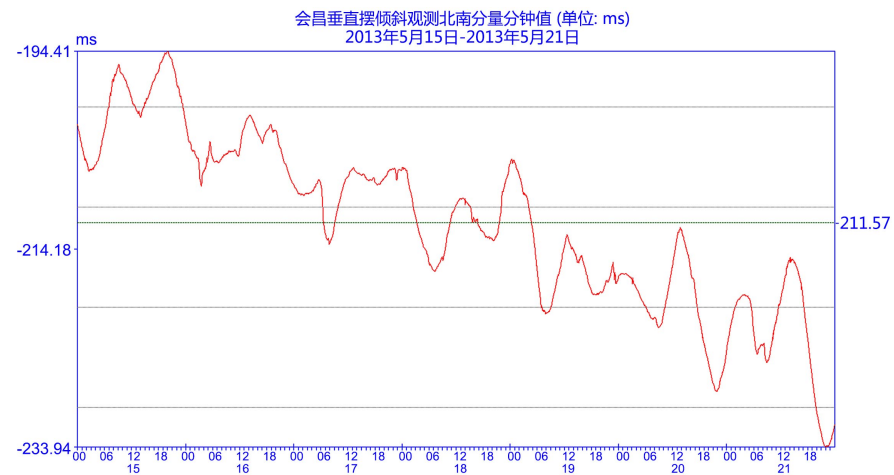


**Figure 3.** Anomalies before the Ms6.7 Kaohsiung, Taiwan earthquake on March 4, 2010

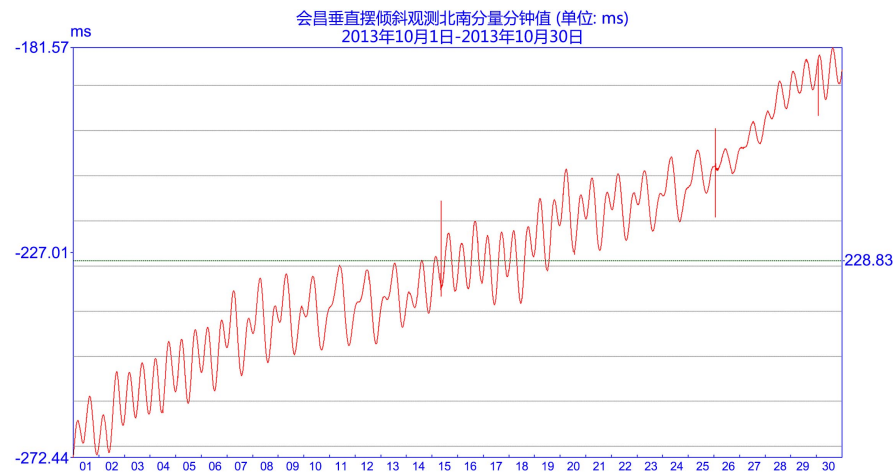
**图 3.** 2010 年 3 月 4 日台湾高雄 6.7 级地震震前异常曲线图



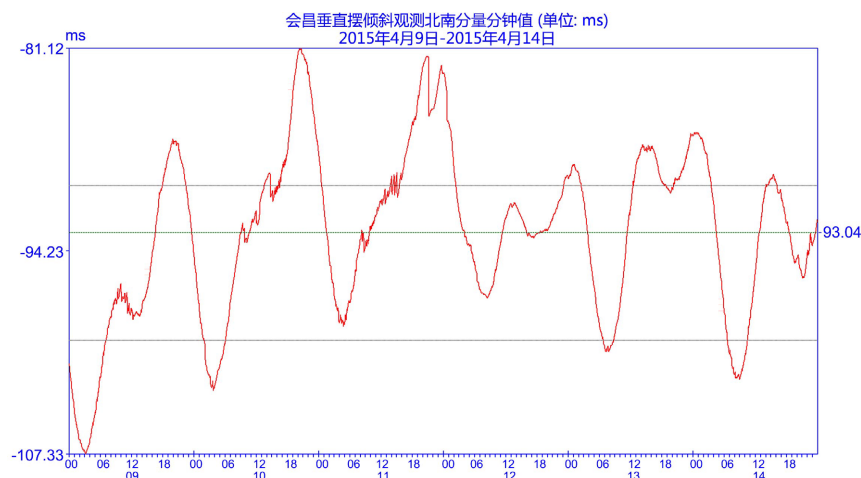
**Figure 4.** Anomalies before the Ms6.7 southeast Taiwan earthquake on April 26, 2010  
**图 4.** 2010 年 4 月 26 日台湾东南 6.7 级地震震前异常曲线图



**Figure 5.** Anomalous curve before the Ms6.7 Nantou Taiwan earthquake on June 2, 2013  
**图 5.** 2013 年 6 月 2 日台湾南投 6.7 级地震震前异常曲线图

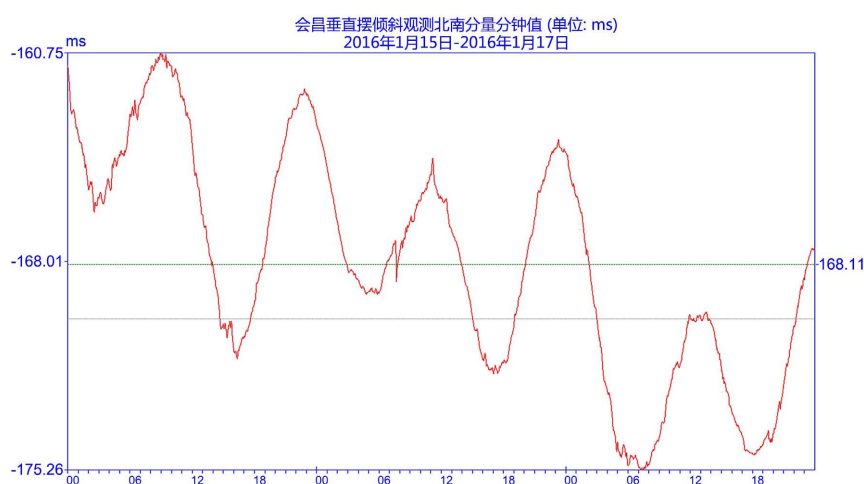


**Figure 6.** Graph of the earthquake before Nantou Ms6.7 earthquake in Hualien, Taiwan, October 31, 2013  
**图 6.** 2013 年 10 月 31 日台湾花莲 6.8 级地震震前曲线图



**Figure 7.** Anomalous curve before the Ms6.7 Hualien Taiwan earthquake on April 20, 2015

**图 7.** 2015 年 4 月 20 日台湾花莲 6.7 级地震震前异常曲线图



**Figure 8.** Anomalous curve before the Ms6.7 Kaohsiung, Taiwan earthquake on February 6, 2016

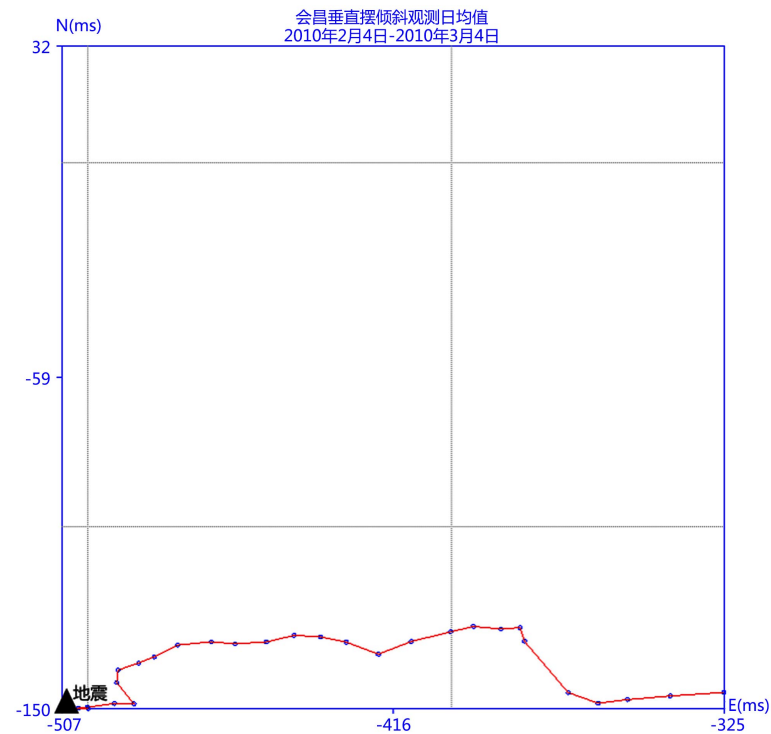
**图 8.** 2016 年 2 月 6 日台湾高雄 6.7 级地震震前异常曲线图

### 3.3. 震前矢量图异常分析

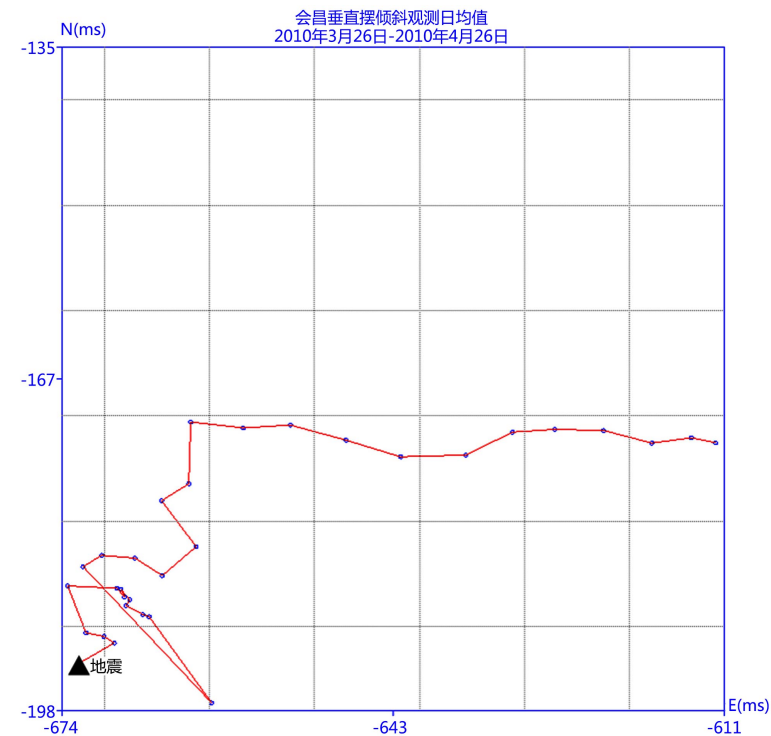
对表 1 中 2010 年 3 月 4 日台湾高雄 6.7 级地震、2010 年 4 月 26 日台湾东南 6.7 级地震、2013 年 6 月 2 日台湾南投 6.7 级地震、2015 年 4 月 20 日台湾花莲 6.7 级地震和 2016 年 2 月 6 日台湾高雄 6.7 级地震进行震前一个月日均值矢量图研究分析, 我们发现在震前日均值矢量图中呈现出临震反向、速率加大变化、拐弯、打结等异常特征(如图 9~13), 观测资料异常时段仪器运行正常, 未发现人为或自然干扰。

### 3.4. 差分法异常分析

在地震研究中, 通常要排除各种干扰, 突出前兆信息[16] [17]。单分量测值的一阶差分和二阶差分反映的是该分量形变速度和加速度的变化, 是抑制较长周期变化, 突出前兆信息的有效方法[18] [19] [20] [21]。运用一阶差分和二阶差分分别绘制了表 1 中 2010 年 3 月 4 日台湾高雄 6.7 级地震、2010 年 4 月 26 日台湾东南 6.7 级地震、2013 年 6 月 2 日台湾南投 6.7 级地震、2015 年 4 月 20 日台湾花莲 6.7 级地震和 2016 年 2 月 6 日台湾高雄 6.7 级地震震前速度和加速度值曲线(如图 14~18), 从各图中可以看出通过一阶差分和二阶差分滤除曲线中较长周期变化后, 地震震前均出现了不同程度的高频异常。

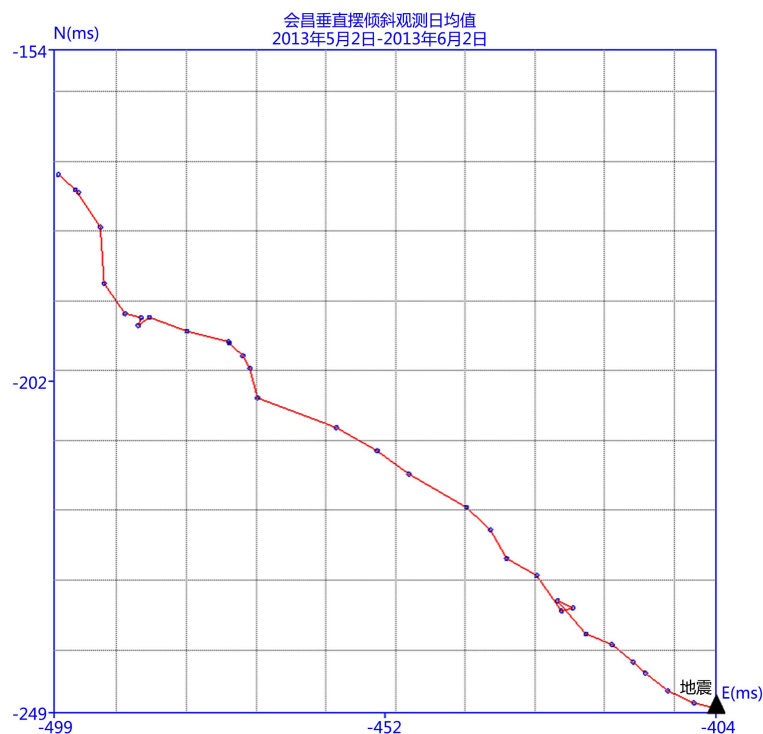


**Figure 9.** Vector image of the earthquake before the magnitude Ms6.7 earthquake in Kaohsiung, Taiwan, March 4, 2010  
**图 9.** 2010 年 3 月 4 日台湾高雄 6.7 级地震震前矢量图



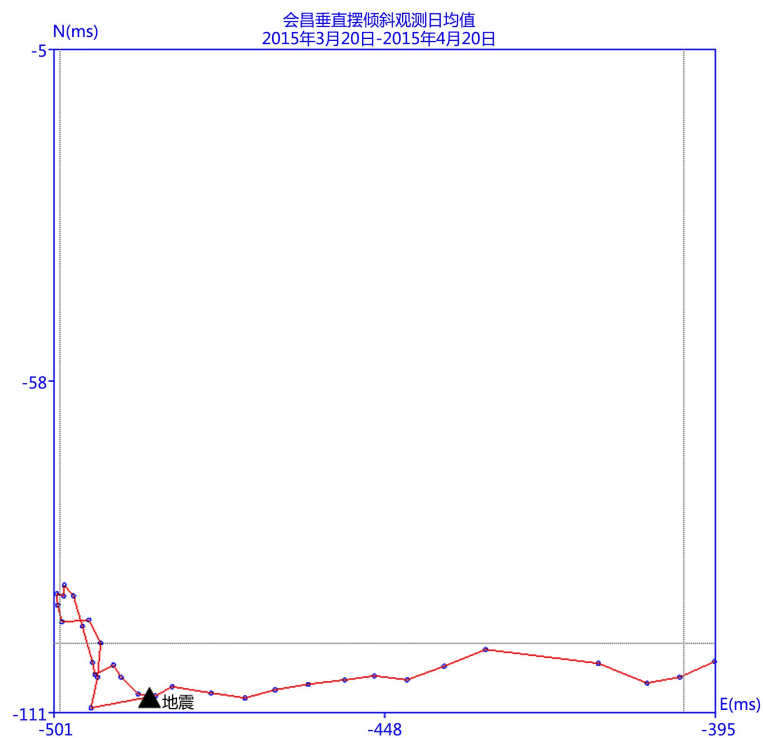
**Figure 10.** Vector image of the earthquake before the magnitude Ms6.7 earthquake southeast of Taiwan on April 26, 2010  
**图 10.** 2010 年 4 月 26 日台湾东南 6.7 级地震震前矢量图





**Figure 11.** Vector image of the earthquake before the magnitude Ms6.7 earthquake in Nantou, Taiwan, June 2, 2013

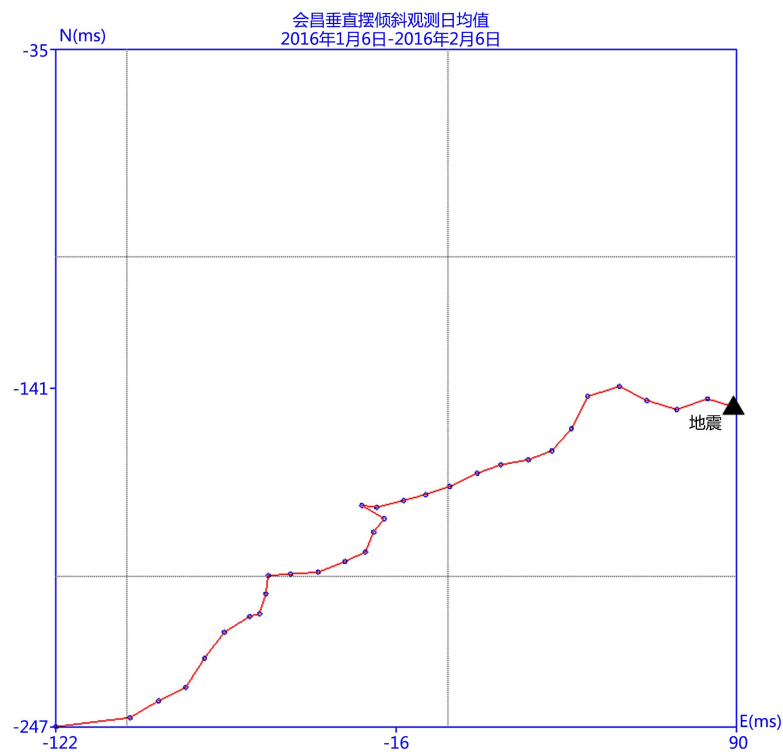
**图 11.** 2013 年 6 月 2 日台湾南投 6.7 级地震震前矢量图



**Figure 12.** Vector image of the earthquake before the magnitude Ms6.7 earthquake in Hualien, Taiwan, April 20, 2015

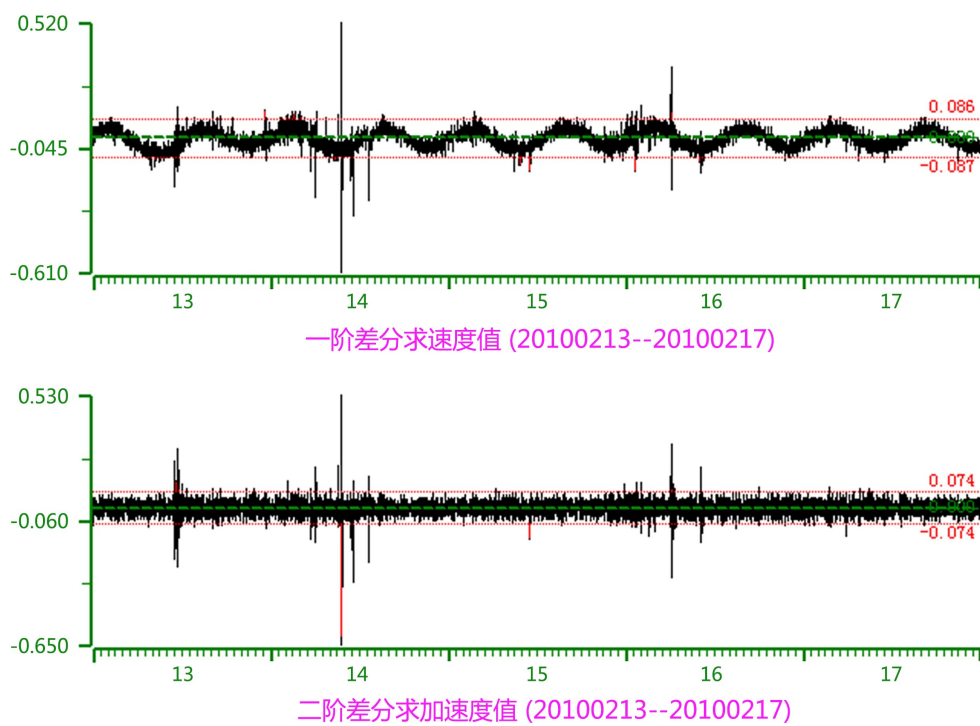
**图 12.** 2015 年 4 月 20 日台湾花莲 6.7 级地震震前矢量图





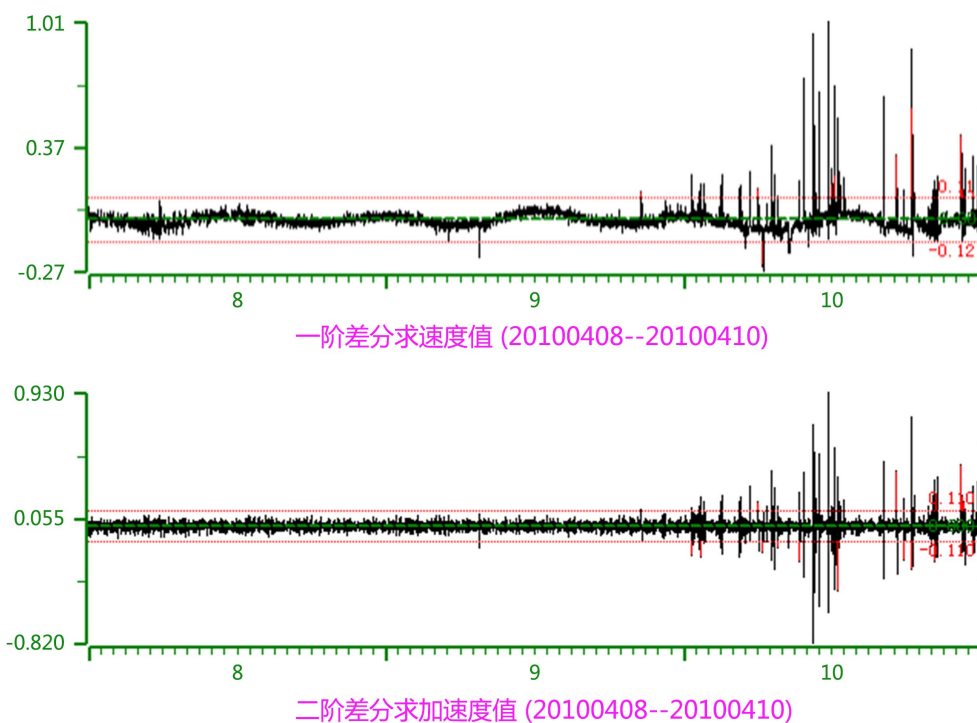
**Figure 13.** Vector image of the earthquake before the Ms6.7 Kaohsiung, Taiwan, February 6, 2016

**图 13.** 2016 年 2 月 6 日台湾高雄 6.7 级地震震前矢量图



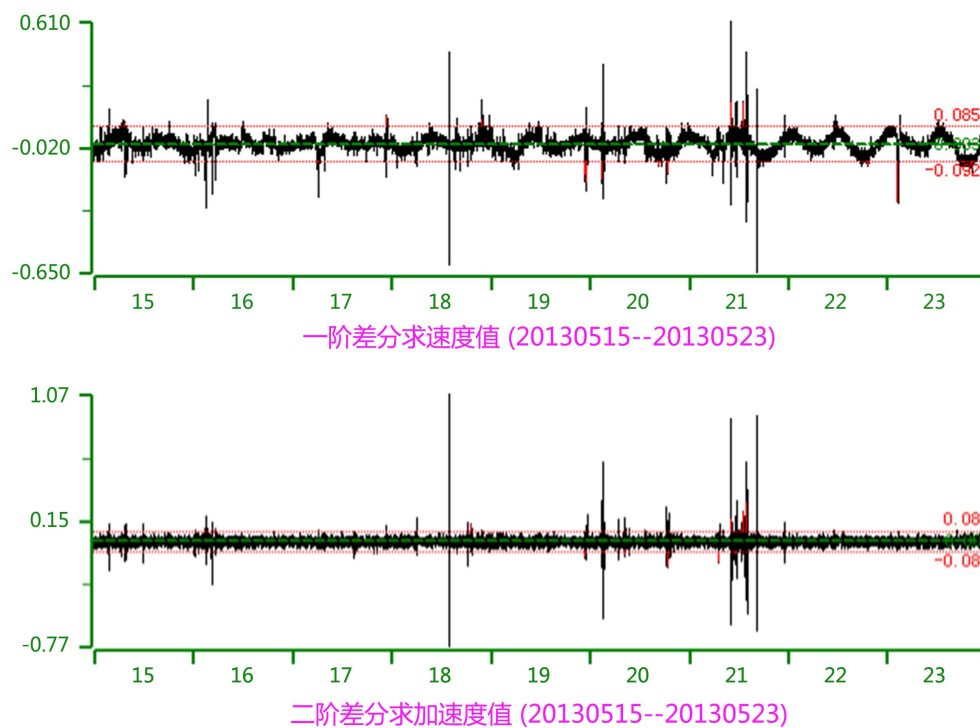
**Figure 14.** Abnormal curves of velocity and acceleration before the Ms6.7 Kaohsiung, Taiwan earthquake on March 4, 2010

**图 14.** 2010 年 3 月 4 日台湾高雄 6.7 级地震震前速度、加速度异常曲线图



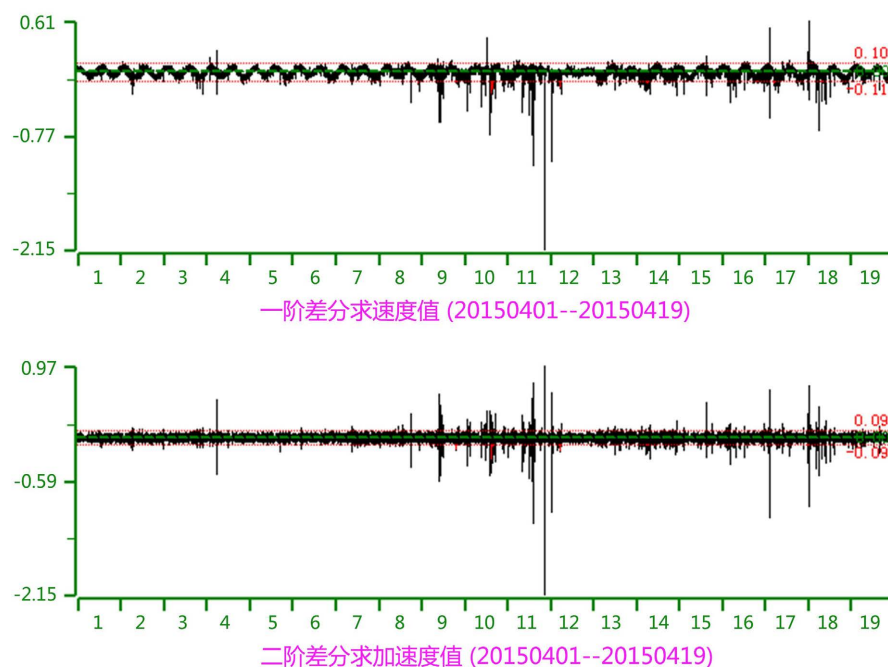
**Figure 15.** Abnormal curves of velocity and acceleration before the Ms6.7 southeast Taiwan earthquake on April 26, 2010

**图 15.** 2010 年 4 月 26 日台湾东南 6.7 级地震震前速度、加速度异常曲线图



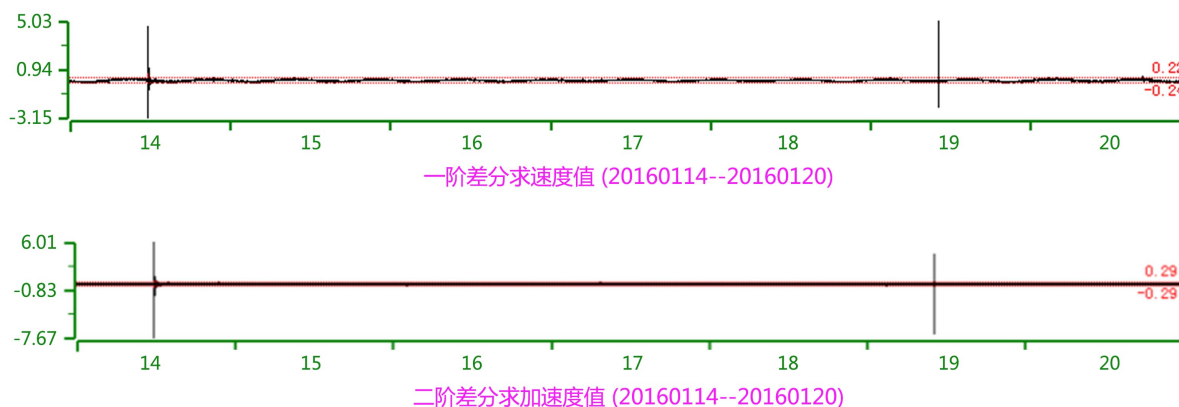
**Figure 16.** Abnormal curves of velocity and acceleration before the Ms6.7 Nantou Taiwan earthquake on June 2, 2013

**图 16.** 2013 年 6 月 2 日台湾南投 6.7 级地震震前速度、加速度异常曲线图



**Figure 17.** Abnormal curves of velocity and acceleration before the Ms6.7 Hualien Taiwan earthquake on April 20, 2015

**图 17.** 2015 年 4 月 20 日台湾花莲 6.7 级地震震前速度、加速度异常曲线图



**Figure 18.** Abnormal curves of velocity and acceleration before the Ms6.7 Kaohsiung, Taiwan earthquake on Feb 6, 2016

**图 18.** 2016 年 2 月 6 日台湾高雄 6.7 级地震震前速度、加速度异常曲线图

#### 4. 结论与讨论

综上所述，会昌地震台垂直摆十多年的观测资料表明会昌台山洞基岩条件好，产生的形变观测资料精度较高，有利于开展地震前兆异常研究。本文通过原始形态、矢量图分析和差分法异常分析三种方法提取的异常特征与台湾地震有良好对应关系，但这也属震后分析总结，说明地震预报研究的难度很大。

1) 会昌地震台观测环境较好，垂直摆观测资料连续稳定，具备良好的映震能力，但对于每个台湾地震震前异常表现也存在一定差异，这也充分说明了地震前兆异常的复杂性，仅为台站地震监测及临震预报提供一种参考。

2) 会昌台垂直摆北南分量在台湾地区  $M_s \geq 6.5$  级地震除 2013 年 10 月 31 日台湾花莲 6.8 级地震震前异常不明显外，其他地震震前一个月内均出现了不同程度的褶皱、锯齿型连续错动、台阶状、掉格型突

跳或波浪型抖动等异常图像。同时在震前日均值矢量图中也呈现出临震反向、速率加大变化、拐弯、打结等异常特征。

3) 通过一阶差分和二阶差分滤除曲线中较长周期变化后,地震震前速度和加速度值曲线均出现了不同程度的高频异常,震前异常对应好,特征明显,易于识别。

## 基金项目

江西九江扬子块体东部地球动力学野外科学观测研究站开放基金资助项目(OGYB202006)。

## 参考文献

- [1] 邱永平. 宁波地震台地倾斜对中国台湾南部中强地震的响应特征[J]. 地震地磁观测与研究, 2013, 34(2): 24-27.
- [2] 蒋薇, 杨学慧, 王华柳, 等. 宁蒗 5.7 级地震前通海垂直摆倾斜异常变化分析[J]. 高原地震, 2014, 26(1): 31-35+7.
- [3] 柯昌安, 牛安福, 李正媛, 等. 宁强 5.7 级地震前陕西定点形变的异常现象[J]. 西北地震学报, 2011, 33(2): 177-181.
- [4] 李杰, 李希亮, 卢双苓, 等. 濮阳 ML4.6 地震前泰安台形变异常特征分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(4): 100-104.
- [5] 胡亚轩, Araya, A., 汪翠枝, 刘文义. 地震地形变观测系统的组成、发展及应用[J]. 地震科学进展, 2020, 50(10): 23-29.
- [6] 江在森, 牛安福, 等. 我国地形变观测预报地震的现状及对地震预测问题的思考[J]. 国际地震动态, 2005(5): 174-178.
- [7] 吕品姬, 李正媛, 耿丽霞, 等. VP 型垂直摆倾斜仪观测频带的分析及改进[J]. 大地测量与地球动力学, 2020, 40(5): 540-545.
- [8] 张红秀, 李艳, 郭林旺, 等. 山西临汾中心地震台数字洞体摆观测资料映震能力分析[J]. 山西地震, 2010(4): 34-39.
- [9] 汤兰荣, 曾新福. 会昌台洞体形变观测资料干扰分析[J]. 防灾减灾学报, 2019, 35(1): 47-51.
- [10] 赵爱平, 李传江, 周红艳, 等. 会昌地震台相同测点倾斜固体潮观测之对比分析[J]. 华南地震, 2012, 32(2): 121-132.
- [11] 谢斌, 罗建明, 黄仁桂, 等. 会昌地震台地磁观测资料异常特征与地震关系分析[J]. 自然科学, 2018(11): 187-188.
- [12] 游波涛, 何宇飞, 杨中书, 等. 会昌地震台 FHD 地磁 Z 分量日变幅逐日比地震关系初探[J]. 科技创新与应用, 2015(12): 40-41.
- [13] 冯琼松, 杨艳珠, 邓存华. 昆明地震台 SS-Y 伸缩仪观测资料在中强地震前的异常分析[J]. 四川地震, 2015(4): 32-35.
- [14] 佟国刚. 数字形变固体潮汐在中强地震前异常变化的研究[J]. 国际地震动态, 2012(6): 133.
- [15] 王飞, 陶媛, 储飞, 等. 安徽省钻孔体应变数据异常浅析[J]. 科技资讯, 2018, 16(10): 23-27.
- [16] 李希亮, 刘希强, 张玲, 等. 高阶统计量在形变固体潮汐异常信息提取中的应用[J]. 西北地震学报, 2012(4): 359-364.
- [17] 张红秀, 郭国详, 郭林旺, 等. 数字洞体摆倾斜观测常见干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2012, 33(5): 208-211.
- [18] 何应文, 段勇, 杨树峰, 等. 云龙 Ms5.0 地震前云龙台的定点形变异常[J]. 华北地震科学, 2017(4): 60-65.
- [19] 谢松桦, 尹忆寒. 黔江地震台 VS 型垂直摆观测资料应用初探[J]. 高原地震, 2019, 31(1): 41-45.
- [20] 蒋志英, 赖爱京. 乌什地震台应变仪观测资料对比分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2015, 36(3): 110-114.
- [21] 蒋薇, 杨铭昌, 王华柳, 等. 2014 年云南盈江 Ms6.1、鲁甸 Ms6.5、景谷 Ms6.6 地震前通海台垂直摆倾斜仪异常变化特征分析[J]. 国际地震动态, 2015(11): 30-36.