

# 泰安地震台地倾斜观测一致性 及干扰因素分析<sup>①</sup>

郭春生<sup>1</sup>, 刘海刚<sup>2</sup>, 朱治国<sup>1</sup>

(1. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 山东省地震局, 山东 济南 250000)

中国开展地震地球物理观测以来, 积累了海量观测数据, 震例研究表明<sup>[1-5]</sup>, 中强地震发生前, 地倾斜可能会出现不同程度的异常变化。但同一观测环境下, 不同仪器, 同物理量观测不一致<sup>[6]</sup>、观测数据间缺少整体性的协调对应关系<sup>[7]</sup>, 仍是地震预报难题之一。另外, 建立在地球表层的形变台站会受到各种因素影响, 会激励、调制出相应的周期性变化, 并为观测仪器所记录, 观测值序列必然蕴含多种物理数学信息<sup>[8]</sup>。地球内部的应力一直存在, 地震发生并不需要太大的应力增量; 同时, 地震的“效果”也决不是把积累起来的应力彻底“释放掉”, 而这就意味着地震前兆信息的强度, 比原来所认为的要小得多<sup>[9]</sup>, 因此研究观测数据中的干扰因素并剔除, 将对异常的识别与提取具有现实意义。同一观测环境下, 不同仪器相同物理量观测一致性问题的研究较少, 赵慧琴<sup>[6]</sup>运用形态对比法、Venedikov 调和分析法讨论了易县地震台形变资料的一致性。王梅<sup>[10]</sup>对泰安基准台固体潮形变观测各分量的曲线形态、潮汐参数等进行了对比分析。形变会商技术方法列装的主要异常分类中包含趋势转折、破年变、潮汐畸变等异常类型。因此本文中选取泰安地震台 3 套地倾斜资料为研究对象, 将数据分离出日波、半日波、月波、年波和趋势变化等频段, 并利用相关性分析探究不同频段地倾斜观测资料的一致性及其相应频段的干扰因素。

## 1 台站及观测仪器介绍

泰安基准地震台始建于 1967 年 2 月, 处于鲁中隆起, 莱芜弧形断裂带北侧, 辛庄至垛庄 NW 向断裂带西侧(36. 21°N, 117. 12°E)。台基为太古代泰山群(Art)花岗片麻岩体, 台址岩体完整致密均匀, 波导性良好, 测量信噪比高, 可靠性好<sup>[10-12]</sup>。仪器洞室主洞进深 76 m, 最大覆盖厚度 29 m, 室温年变幅约 0. 06 °C。DSQ 水管倾斜仪于 1998 年 2 月开始观测, 同室还架有 SSQ 水平摆倾斜仪(2000 年 5 月投入观测), 数字化 VS 垂直摆倾斜仪(1998 年 8 月投入观测), 2 套仪器相距仅 2 m。泰安台地倾斜观测环境达到规范要求, 干扰少, 但是观测仪器的调试和维修带来的相互干扰严重, 尤其是水管倾斜仪标定经常超限, 影响观测质量<sup>[13]</sup>。

① 收稿日期:2021-02-02;修回日期:2021-04-02.

课题项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(2020D01A85);中国地震局震情跟踪专项(2022020505).

作者简介:郭春生(1978~),男,工程师,2004年毕业于新疆大学电气工程及其自动化专业,主要从事地震前兆观测的分析及系统的运维工作。E-mail:gcskw269@163.com

## 2 数据处理

### 2.1 资料基本情况

选取泰安地震台地倾斜及气象资料 2015 ~ 2019 年小时值数据为研究对象。由图 1, 泰安地倾斜趋势性变化存在矛盾, NS 分量、垂直摆和水平摆趋势 N 倾, 而水管仪则为趋势 S 倾; EW 分量, 水管仪、垂直摆趋势 E 倾, 而水平摆由趋势 W 倾, 2016 年起转平。从年变形态来看, 水管仪 NS 分量存在故障, 数据不稳定, 基本无年变形态, 其他分量年变形态清晰。气温、气压年变形态清晰且趋势变化不明显。本文中拟利用滤波技术将数据分解为日波、半日波、月波、年波及趋势等频段, 进一步研究不同频段信息的一致性及其干扰因素。

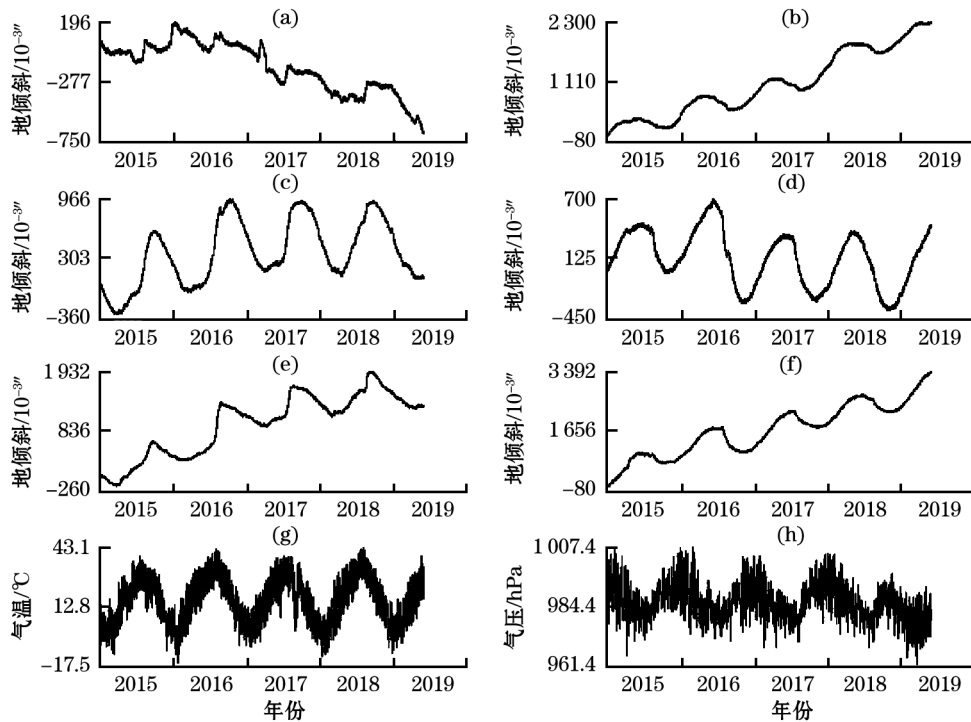


图 1 泰安地震台地倾斜、气压、气温曲线图

(a) 水管仪 NS 分量 (b) 水管仪 EW 分量 (c) 水平摆 NS 分量 (d) 水平摆 EW 分量 (e) 垂直摆 NS 分量  
(f) 垂直摆 EW 分量 (g) 气温 (h) 气压

Fig. 1 Curves of ground tilt, air pressure and air temperature at Taian Seismic Station

### 2.2 别尔采夫滤波

利用别尔采夫滤波可以将地球物理场观测量分解成由日月引力作用形成的潮汐部分和仪器的零漂及其它因素引起的低频趋势变化。利用别尔采夫滤波分离出泰安地倾斜各分量、气温、气压的日波、半日波(图 2)。

计算泰安地倾斜各分量、气温、气压的日波、半日波及理论固体潮间的相关系数, 结果见表 1。以水平摆与垂直摆 NS 向和水管与水平摆 EW 向为例绘散点图(图 3)。泰安地倾斜日波、半日波频段观测结果一致性较好, 且均与理论固体潮具有较高的线性相关性。

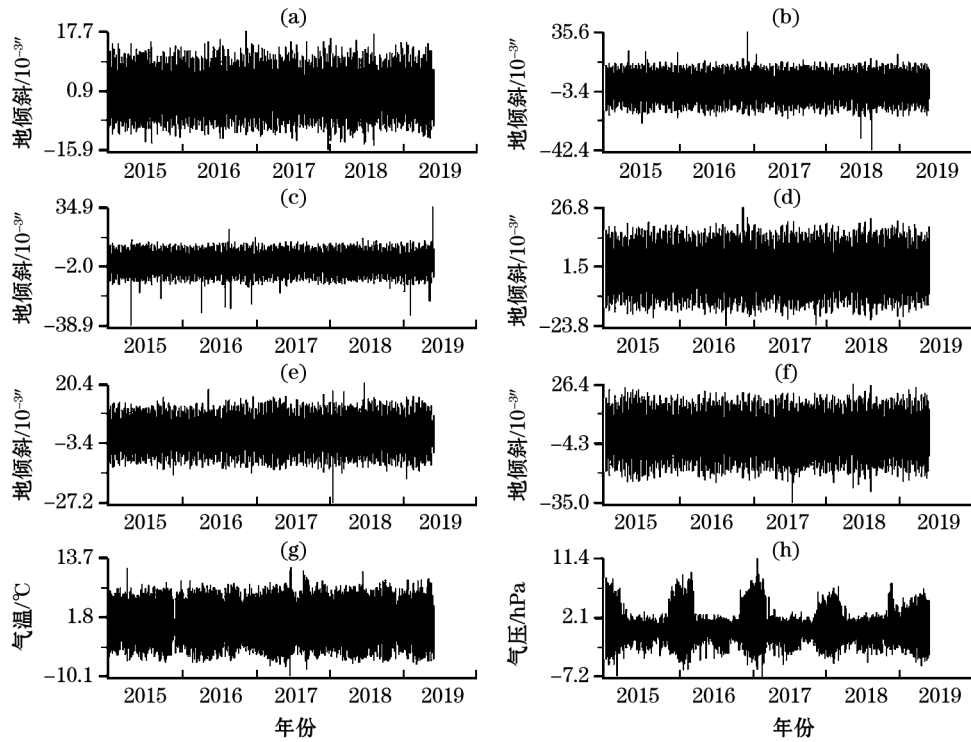


图 2 泰安地倾斜、气压日波及半日波、气温曲线图

(a) 水管仪 NS 分量 (b) 水管仪 EW 分量 (c) 水平摆 NS 分量 (d) 水平摆 EW 分量 (e) 垂直摆 NS 分量 (f) 垂直摆 EW 分量 (g) 气温 (h) 气压

Fig.2 Taian ground tilt, diurnal and semidiurnal wave of atmospheric pressure and temperature curves

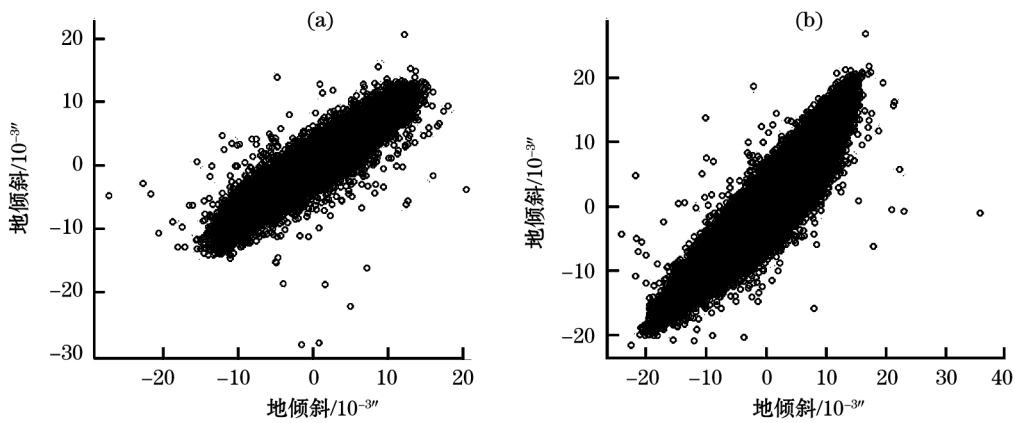


图 3 泰安地倾斜不同分量间的散点图

(a) 水平摆与垂直摆 NS 分量 (b) 水管仪与水平摆 EW 向散点图

Fig.3 Scatter plot between different components of Taian ground tilt

### 2.3 多项式分段曲线拟合

利用一般多项式分段曲线拟合法<sup>[14]</sup>将滤除日波、半日波剩余的低频成分中滤除周期在 1

~2 个月内的月波(图 4)、年波(图 5)和残差趋势变化(图 6)。计算泰安地倾斜各分量、气温、气压月波之间的相关系数,结果见表 2。

表 1 泰安地倾斜与气温、气压、固体潮相关系数表(日波、半日波)

分向	水管仪		水平摆		垂直摆	
	NS 分量	EW 分量	NS 分量	EW 分量	NS 分量	EW 分量
气温	-0.070 44	-0.085 954	-0.014 963	-0.091 342	-0.020 020	-0.188 61
气压	-0.070 691	0.195 94	-0.270 94	0.143 83	-0.186 65	0.180 3
理论固体潮	0.604 20	0.937 93	0.880 53	0.981 36	0.892 43	0.964 85
水管仪	1	1	0.344 81	0.925 89	0.362 22	0.907 67
水平摆	-	-	1	1	0.934 02	0.958 08

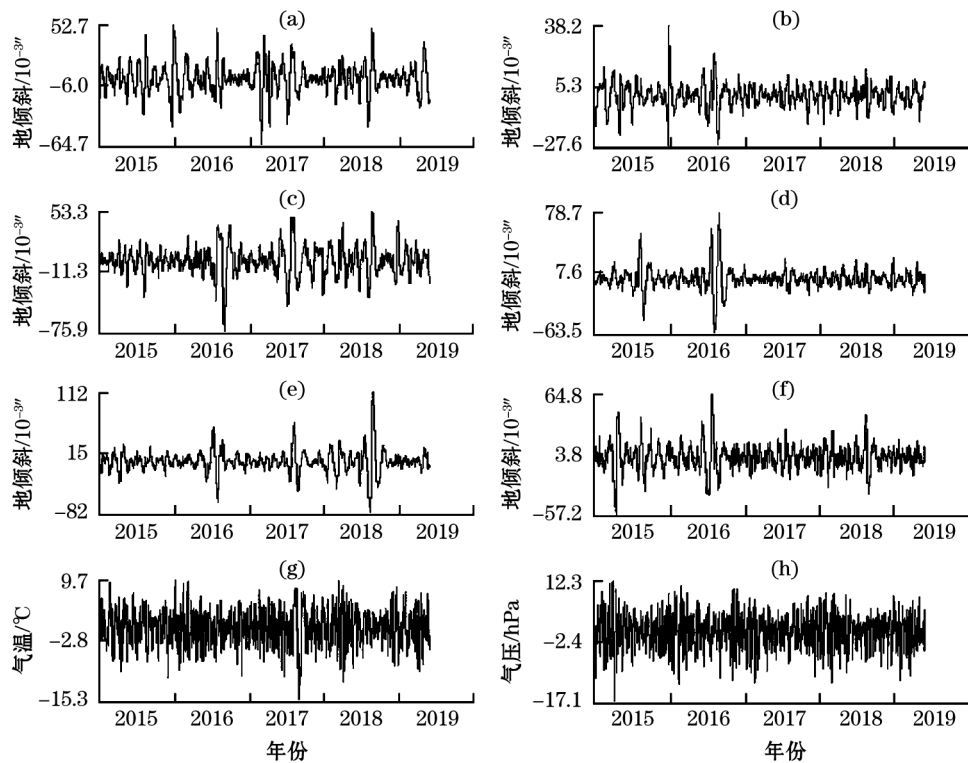


图 4 泰安地倾斜、气温、气压月波图

(a) 水管仪 NS 分量 (b) 水管仪 EW 分量 (c) 水平摆 NS 分量 (d) 水平摆 EW 分量  
(e) 垂直摆 NS 分量 (f) 垂直摆 EW 分量 (g) 气温 (h) 气压

Fig. 4 Monthly wave curves of Taian ground tilt, temperature and pressure

结合图 4 及表 2 可知,泰安地倾斜在月波频段的一致性较差,与气温、气压也基本无线性关系。统计泰安地倾斜年波滞后气温的相位,并计算相关系数,结果见表 3。由图 5 及表 3,除水管仪 NS 分量年变形态较差外,泰安地倾斜的年波相位平移之后,均与气温具有较高的线性相关性。水平摆、垂直摆 EW 向与气压也具有一定相关性。

表 2 泰安地倾斜各分量与气温、气压相关系数表(2016-01~2020-04)

分向	水管仪		水平摆		垂直摆	
	NS 分量	EW 分量	NS 分量	EW 分量	NS 分量	EW 分量
气温	0.185 36	0.099 828	0.181 48	-0.098 357	0.0317 6	-0.144 27
气压	-0.042 819	0.087 456	-0.055 573	0.023 197	0.092 336	0.284 69
水管仪	1	1	0.417 89	-0.095 215 9	0.223 269	0.279 19
水平摆	-	-	1	1	0.364 53	0.179 96

表 3 泰安地倾斜滞后温度相位及与气温、气压相关系数

分向	水管仪		水平摆		垂直摆	
	NS 分量	EW 分量	NS 分量	EW 分量	NS 分量	EW 分量
相位/d	135	85	86	125	78	137
气温	0.691 89	-0.947 81	0.924 111	-0.950 48	0.874 15	-0.950 83
气压	0.455 37	-0.309 94	0.297 82	-0.656 57	0.200 59	-0.723

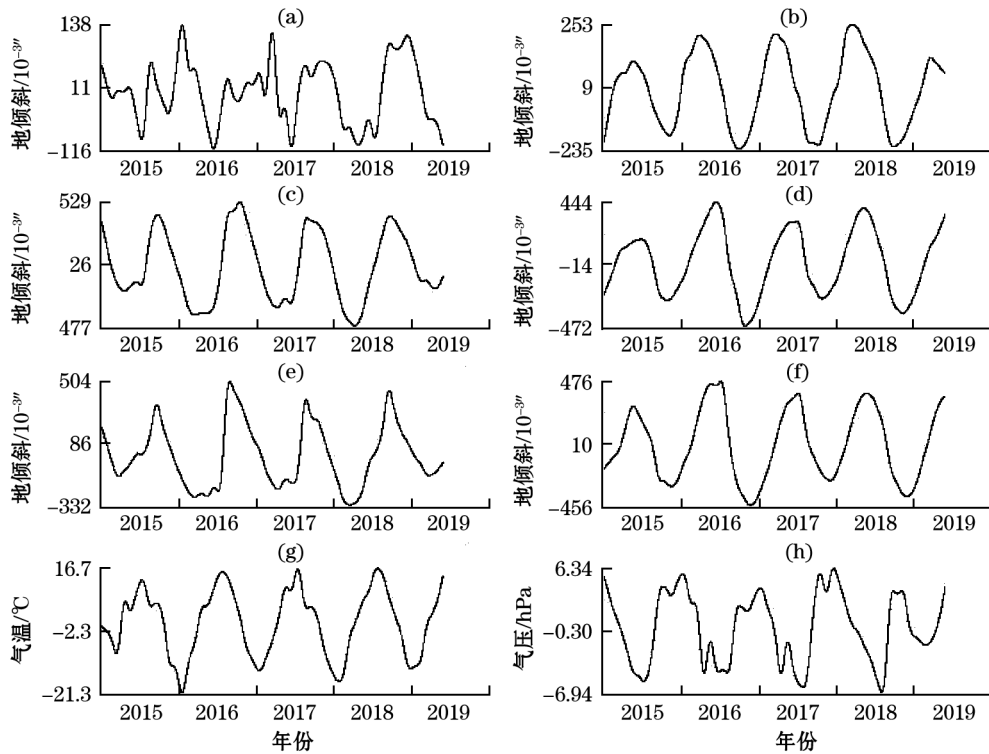


图 5 泰安地倾斜、气温、气压年波图

(a) 水管仪 NS 分量 (b) 水管仪 EW 分量 (c) 水平摆 NS 分量 (d) 水平摆 EW 分量  
(e) 垂直摆 NS 分量 (f) 垂直摆 EW 分量 (g) 气温 (h) 气压

Fig. 5 Annual wave curves of Taian ground tilt, temperature and pressure

泰安地倾斜的趋势变化是矛盾的,且与气温、气压相关性不大(图6)。地倾斜 NS 分量中,水平摆、垂直摆 2015 年以来 N 倾,2018 年后逐渐由 N 倾转为 S 倾;水管仪 2016 年以来基本为 S 倾。地倾斜 EW 分量中,水管仪、垂直摆 2015 年以来 E 倾,与水平摆的变化趋势不一致。

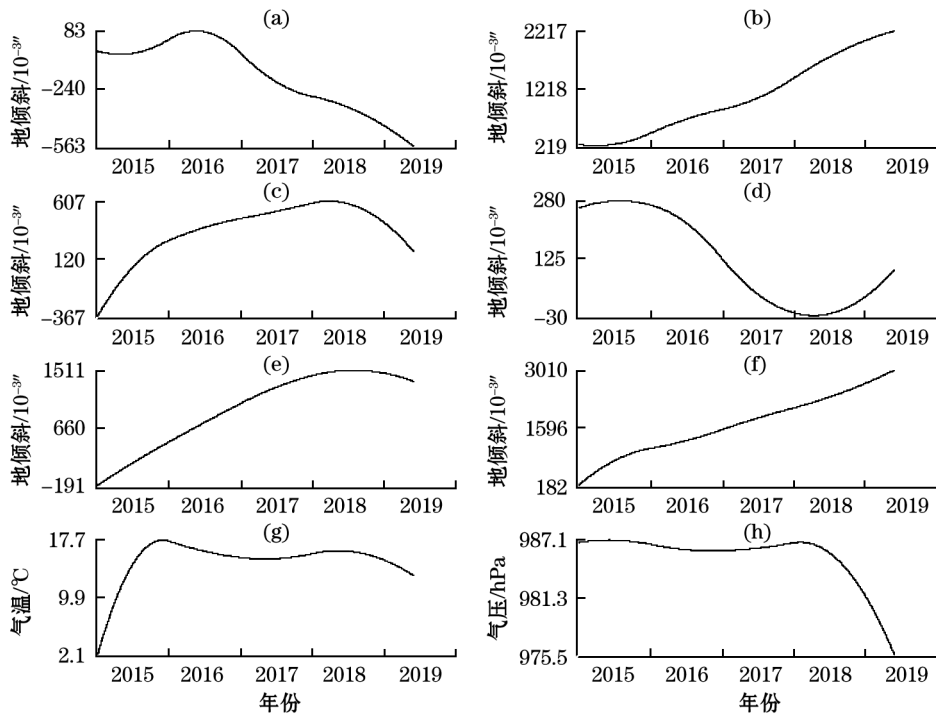


图6 泰安地倾斜、气温、气压趋势图

(a) 水管仪 NS 分量 (b) 水管仪 EW 分量 (c) 水平摆 NS 分量 (d) 水平摆 EW 分量  
(e) 垂直摆 NS 分量 (f) 垂直摆 EW 分量 (g) 气温 (h) 气压

Fig. 6 Trend curves of ground tilt, air temperature and air pressure in Taian

### 3 分析与讨论

利用别尔采夫滤波及多项式分段线性拟合等方法,将泰安地震台地倾斜、气温、气压分解为日波、半日波、月波、年波等频段。通过研究表明,泰安地倾斜在日波、半日波频段一致性较好,均与固体潮有较高的线性相关性,这也充分说明泰安地倾斜固体潮记录清晰可靠,日波、半日波频段的主要影响因素为固体潮,仅水管仪 NS 分量可能由于仪器故障原因,与固体潮相关性较差。

泰安地倾斜月波频段的一致性较差,与气温、气压基本无关,泰安地倾斜月波频段基本受气象因素的影响较小。复杂地形条件下地倾斜的年变化幅度受到温度的影响更为显著,山坡受影响比近山脚的平地大 1 个数量级<sup>[15]</sup>,泰安地倾斜年波虽有差异,但基本一致,经相位平移之后,均与气温具有较高的线性相关性,这说明泰安地倾斜年周期变化可能受温度的影响较大。温度对体应变的影响存在一个热传导的过程<sup>[16-17]</sup>,泰安地倾斜的年波与气温存在相位滞后说明温度对地倾斜的影响也存在一个热传导过程,泰安垂直摆、水平摆相距仅 2 m,2 套观测仪器两分量滞后温度的相位差基本一致,与水管仪的相位滞后有一定差异,说明滞后温度的相位可能与仪器架设的位置有关。泰安地倾斜不同测项的趋势变化存在一定的矛盾,究竟哪一个分量的变化反应的是真实的区域应力变化难以确定,所以如何利用资料的趋势变化研究区

域应力变化仍然是一个需要深入研究的问题。

## 4 结 语

形变是地震孕育的动力学背景、是地震预报直接可靠的力学型前兆。形变台站测得的信息反映的是地球物理场的信息,那么同台不同仪器相同的物理测项的观测结果应具有-致性;如果测得的信息仅反映仪器测点或仪器本身属性信息,那么利用所测结果预测场上地震的发生情况则是错误的,或者说是没有意义的。本文中对泰安地倾斜-致性及干扰因素的研究,有助于了解观测值序列所包含的信息及其物理意义,加深对其物理意义的理解,且能够在一定程度上判定仪器差异性对观测带来的观测系统误差。尤其是在地震的分析预报中,对提取异常的可靠性分析具有一定的指导意义。

### 参考文献:

- [1] 王长江,康有名,宋晓冰,等.困惑地震预报的一个问题——对于同物理量观测不一致问题的讨论[J].地震地磁观测与研究,2005,26(6):62-67.
- [2] 李娜,向阳,朱成英,等.2017年9月16日新疆库车  $M_s5.7$  地震前兆异常分析[J].内陆地震,2019,33(1):41-52.
- [3] 韩桂红,高歌,滕海涛,等.2020年1月19日新疆伽师  $M_s6.4$  地震前乌恰钻孔倾斜异常特征及可靠性分析[J].内陆地震,2020,34(1):87-94.
- [4] 钱才,高歌,张峰,等.2020年6月26日于田  $M_s6.4$  地震前于田垂直摆倾斜异常特征及可靠性分析[J].内陆地震,2020,34(3):303-308.
- [5] 赵彬彬,高歌,李桂荣,等.2020年6月26日新疆于田  $M_s6.4$  地震前前兆形变异常特征分析[J].内陆地震,2020,34(3):286-294.
- [6] 赵慧琴,张肖.易县地震台形变资料的一致性及差异性分析[J].山西地震,2017,(1):17-21.
- [7] 王春玲.浅谈地震形变观测中存在的弊端问题[J].阴山学刊,2014,28(3):110-112.
- [8] 中国地震局监测预报司.地形变测量[M].北京:地震出版社,2008.
- [9] 吴忠良,蒋长胜,彭汉书,等.与地震预测预报有关的几个物理问题[J].物理,2009,38(4):233-237.
- [10] 王梅,牛安福,季爱东,等.泰安台固体潮平行观测-致性分析及对异常判定的意义[J].地震,2007,27(4):43-50.
- [11] 于庆民,卢双苓,郝军丽,等.泰安地震台形变仪器映震能力统计分析[J].地震研究,2015,38(3):408-415.
- [12] 卢双苓,郝军丽,王帅合,等.泰安台钻孔应变观测干扰的识别[J].内陆地震,2012,26(3):263-272.
- [13] 李希亮,卢双苓,王强,等.泰安地震台形变监测效能浅析[J].华南地震,2013,33(3):29-34.
- [14] 张凌空,牛安福.不同周期气压波对钻孔体应变仪观测结果的影响[J].中国地震,2008,24(4):415-521.
- [15] 曹建玲,石耀霖.地表温度年变化对地应力和地倾斜的影响[J].中国科学院研究生院学报,2005,22(3):303-308.
- [16] 陈顺云,刘力强,刘培淘,等.应力应变与温度响应关系的理论与实验研究[J].中国科学:D辑,2009,39(10):1 446-1 455.
- [17] Turcotte D L, Schubert G. Geodynamics[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1986.

## CONSISTENCY OF GROUND TILT OBSERVATIONS AT TAIAN SEISMIC STATION AND INTERFERENCE FACTORS

GUO Chun-sheng, LIU Hai-gang, ZHU Zhi-guo

(1. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China;

2. Shandong Earthquake Agency, Jinan 250000, Shandong, China)