

# 福建永安小陶地震台体应变大幅变化的异常核实分析<sup>①</sup>

刘水莲<sup>1</sup>, 洪旭瑜<sup>2</sup>, 张清秀<sup>2</sup>, 杨锦玲<sup>2</sup>, 全建军<sup>1</sup>, 陈美梅<sup>1</sup>, 林慧卿<sup>1</sup>

(1.福建省地震局永安地震台,福建永安 366000; 2.福建省地震局,福建福州 350003)

**摘要:**按照中国地震局异常核实要求,通过对福建永安小陶地震台钻孔体应变观测系统、观测环境进行逐项现场核实分析,结合观测资料的异常变化特征,重点进行多测项、多测点资料对比,核实引起体应变大幅变化的原因是降水干扰结束后卸除压性状态的非孕震异常。

**关键词:**体应变大幅变化;异常核实;卸压

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)增刊 2-0270-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2016.Supp.2.0270

## Anomaly Verification Analysis of a Substantial Change in Borehole Body Strain of the Xiaotao Seismic Station

LIU Shui-lian<sup>1</sup>, HONG Xu-yu<sup>2</sup>, ZHANG Qing-xiu<sup>2</sup>, YANG Jin-ling<sup>2</sup>, QUN Jian-jun<sup>1</sup>,  
CHEN Mei-mei<sup>1</sup>, LIN Hui-qin<sup>1</sup>

(1.Yong'an Seismic Station, Earthquake Administration of Fujian Province, Yong'an 366000, Fujian, China;

2.Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China)

**Abstract:** According to the requirements of China Earthquake Administration anomaly verification, Through on-site verification analysis of the Xiao Tao seismic borehole body strain observation system and observation environment, Based on the anomalous variation of the observed data, Emphasis is put on the comparison of the data, Check out the cause of body strain change is non Earthquake abnormal, it's the release of pressure condition after the interference of precipitation.

**Key words:** body strain change; anomaly verification; the release of pressure condition

### 0 引言

我国的钻孔应变观测已历有 40 多年,主要以体积式和分量式两种钻孔应变仪为主,精度达到  $10^{-9}$ ,可以记录到各种应变潮汐及非应变信息。随着大量观测资料的产出积累,如何在日常观测中核实并剔除非震异常信息是目前迫切需要解决的问题,也是为进一步研究地下区域应力场应力变化、提取与地震前兆异常提供连续可靠的数据基础<sup>[1]</sup>。多位学者都曾进行过钻孔应变固体潮信息的提取及畸变的成因分析探讨<sup>[2-5]</sup>。

由于前兆观测中的地震前兆异常与非震前兆异常大多没有显著区别,且除了会受到观测技术系统自身的影响外,还会受到更多来自观测系统以外的

因素干扰。这些影响因素复杂多样,必须经过详细的异常核实后,才能确认干扰源及准确进行异常资料性质判定。按照中国地震局监测司下达的核实异常要求<sup>[6]</sup>,通过对 2016 年 5-7 月福建永安小陶地震台钻孔体应变一次大幅变化的异常进行核实分析,提出一些对异常核实过程中的认识和建议。

### 1 台站观测技术系统

#### 1.1 台站基本情况

永安市位于中生代红色断陷山间盆地,外缘绕以中-古生代岩层的丘陵山地,是 NE 向政和海丰断裂带与 NW 向永安-晋江断裂带交汇处,具备发生中强震的地质背景。为了提高地区的防震减灾能力,

① 收稿日期: 2016-10-16

作者简介: 刘水莲(1983-),女,工程师,现从事地震台站前兆监测工作。E-mail: 470175472@qq.com。

福建省地震局与三明市地震局、永安市科技局合作开展钻孔体应变前兆测点建设项目,受永安市科技局委托,成立小陶钻孔体应变项目组,永安地震台承担协助钻孔体应变观测井建设任务的实施及今后的观测任务。图 1 为钻孔体应变测点空间分布图。

约 10 m,其下地层主要为花岗岩,风化较弱,岩石强度高、结构致密、岩石颗粒硬度大,局部岩石硅化富含石英,具有强研磨性(研磨性最高可达 10 级),孔区上部土层可钻性级别在 I—VI 级,下部级别在 IX—XI 级,最终钻孔成孔开口孔径 150 mm,终孔孔径 130 mm,孔深 81.27 m,水位埋深 2.25 m。

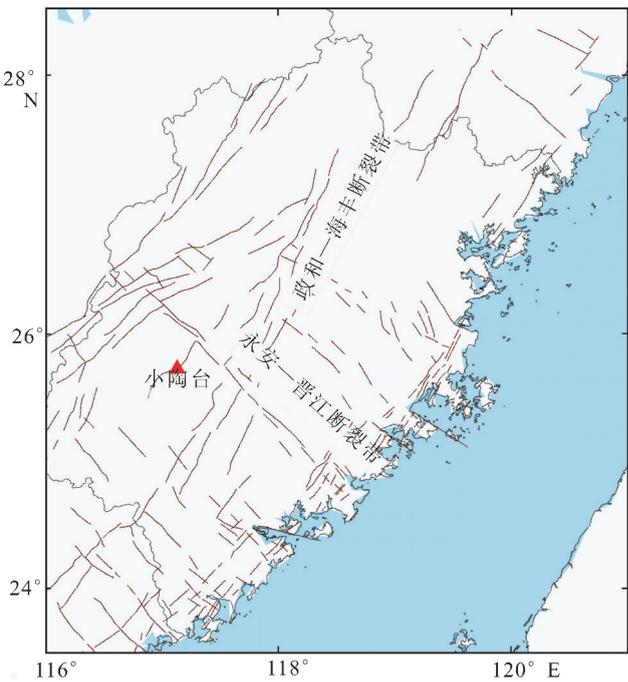


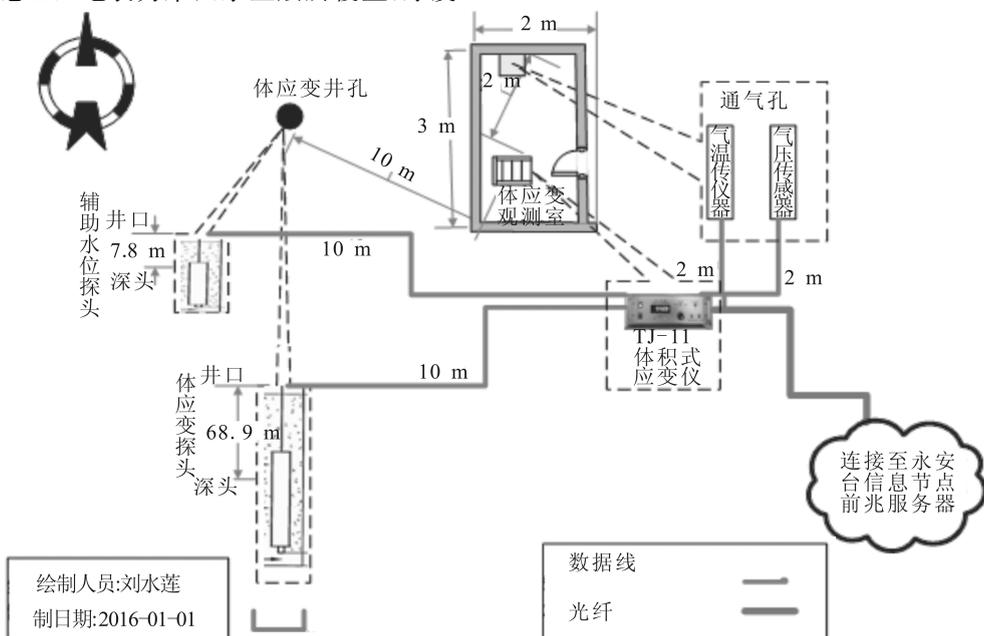
图 1 钻孔体应变测点空间分布图

该项目于 2012 年 12 月立项,2013 年 3 月进行选址钻孔完工,地址位于小陶二中新校区实验教学楼北面 9.9 m 处。根据区域地质及钻孔资料显示,小陶二中施工区地表为第四系土层所覆盖,厚度

### 1.2 观测装置

小陶钻孔体应变观测室设在距离井孔 10 m 处的教学楼配电室,有体应变仪主机摆放在桌子上,室内温度、湿度满足年温度在 5°~30°、湿度不大于 80% 的要求。钻孔体应变仪使用 220 V 市电,测点地处中学校园内,另外备有 12 V 免维护电瓶,仪器进行避雷接地,避雷地网采用学校教学楼的预设地网,基本保证仪器的防雷。从近期几次雷雨天气来看,仪器防雷效果良好。小陶钻孔体应变观测采用的是北京震苑迪安防灾技术研究中心生产的 TJ-2 型体应变仪,同时进行辅助气温、气压、钻孔水位的观测。

小陶仪器房距离有人值守台站直线距离约 33 km,观测数据需通过光纤自动传输至台站信息节点室,以实现数据的传输。数字化观测采用地震前兆台网数据管理系统,对观测仪进行数字化数据采集,利用地震前兆台网处理系统对观测数据进行预处理并入库。工作人员通过办公室的计算机,启动 ORACLE 数据库管理系统,在调制解调器及电信通讯线路的作用下,接收储存在井口观测房采集器中的地震前兆监测数据。图 2 为钻孔体应变仪器布设图。



绘制人员:刘水莲  
制日期:2016-01-01

数据线  
光纤

图 2 永安小陶地震台 TJ-11 型体积式钻孔应变仪器布设图

永安小陶二中测点所配备的 TJ-2 型钻孔体应变仪试运行以来,工作状态良好,观测曲线清晰,能够记录到清晰完整的固体潮,完整率达到99.95%。整套地形变前兆观测系统工作正常,体应变观测精度 $\leq 0.05$ ,达到了国家 I 类台的精度。该观测井具备了采用全自动数字化地形变监测仪正式开展形变监测的条件,能提供有价值的闽台地区和三明地区的短临地震前兆信息,为本地区的防震减灾,保护本区的经济建设和人民和生命财产安全作出服务。

### 1.3 长期存在的主要干扰源和其他问题

本钻孔位于学校院内,周围有汽车及人流走动,

探头易受影响;其次,体应变曲线形态受气象因素干扰较明显,当遇台风暴雨天气时,地面荷载加大,体应变值会产生大幅度压性变化,无其他明显干扰源。

## 2 体应变异常变化调查分析

### 2.1 异常变化描述

2016年自6月30日开始体应变观测值出现单向张性变化,曲线表现为趋势下降,变化量当日最大达到 $135.8(10^{-9})$ ,超过正常日变幅的一倍,6月30日—7月4日共变化 $544.8(10^{-9})$ 。图3为体应变及辅助正点值曲线图。

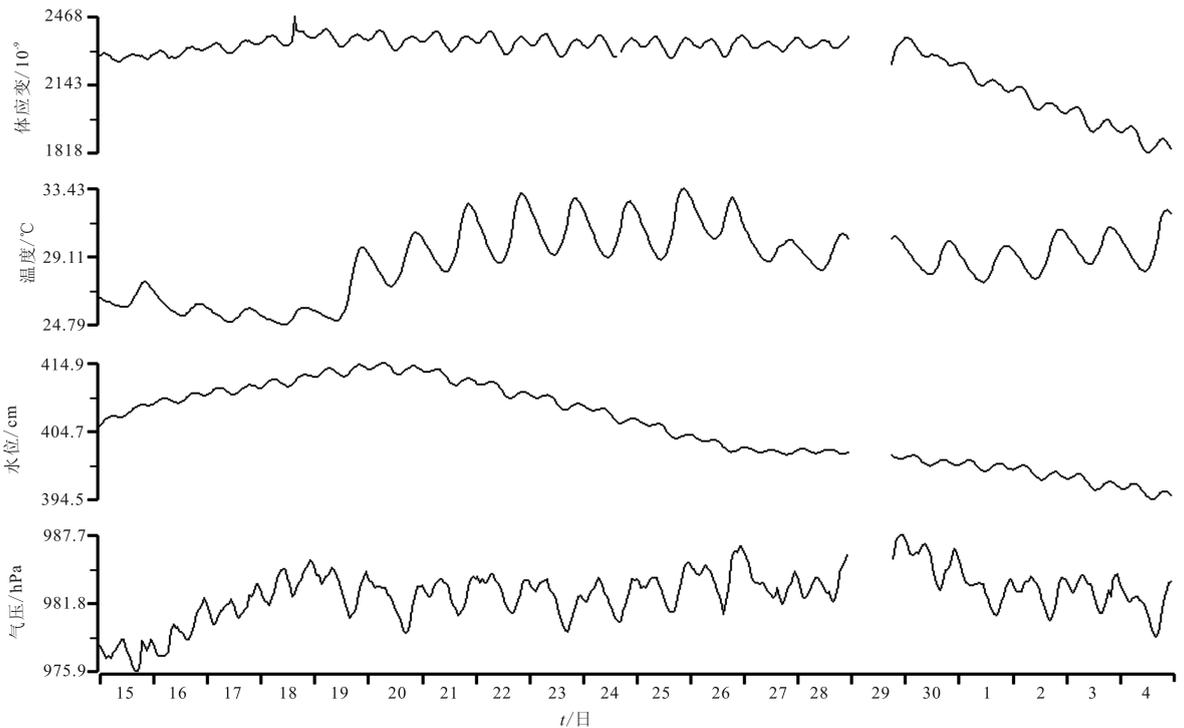


图3 体应变及辅助测项数据曲线图(2016-06-15—07-04)

### 2.2 异常初步排查

如图3所示,7月6日处理该测项观测资料时,发现张性趋势变化仍然存在,同步对比钻孔气温、气压、水位观测曲线,辅助温度无显著变化;辅助水位自6月20日下降,直至体应变异常出现,仍保持下降趋势。辅助气压6月30日也曾出现趋势下降,但7月2日该测项已恢复正常,而体应变的张性变化异常仍然在持续。因此,初步排除辅助气温、水位及气压干扰。

### 2.3 现场异常核实

#### 2.3.1 技术观测系统工作状态

为保证钻孔体应变仪正常观测运行,确保体应变观测资料的连续性和可靠性,严格按照《地震及前

兆数字观测技术规范》(中国地震局,2001)的有关要求进行观测系统技术维护及观测质量监控,井下探头基本量程: $6 \times 10^{-6}$ ,并能运用开阀动作将该量程无限拓展,分辨力 $< 1 \times 10^{-9}$ ,自身稳定性 $< 1 \times 10^{-7}$ /年,气压760 mmHg条件下可以连续工作。观测人员定期到无人值守测点巡检,并按要求进行标定,2016年6月24日标定重复精度 $-1.78\%$ (标准为 $< \pm 3\%$ ),符合要求,采用原格值 $2.40 \times 10^{-9}$ /(mV),表明仪器性能正常。

#### 2.3.2 环境干扰情况调查

(1) 2016年7月5日发现这一异常变化后,观测人员立即电话联系无人值守台托管员,询问观测环境变化情况,经回复2016年6月30日至7月5

日无明显降温、刮风、降水等天气变化。

(2) 2016 年 7 月 6 日托管员首先进入仪器房检查仪器,仪器指示灯正常显示,供电、通讯电路无异常。观察室外井孔周边地形无改变,井口盖板等装置无损坏、无落石。未见周边工业用井和农用井。测点周边 2 km 内地形地貌无改变,没有大型影响地形变观测的施工。图 4 为实地勘察的钻孔体应变测点环境及仪器照片。

### 2.4 几次仪器故障对测值的影响

小陶地震台位于永安市小陶二中校内,该学校

是 2013 年建成使用的新校区,各方面设施还不够完善,经常需要中断交流供电,进行长时间诸如环境或基本设施的增加改造,而体应变仪虽然备有 12 V 免维护电瓶,但仍无法长时间供电,因此多次导致体应变仪断电缺记,恢复交流供电后仪器自动重启,观测至今共出现 4 次重启情况。最近一次即出现本次异常变化前一天,2016 年 6 月 29 日 00:00—17:19 小陶二中停电,体应变仪电瓶电量耗尽,造成了原始数据断记,当日 17:20 小陶二中恢复交流供电,仪器自行重启恢复正常观测。2016 年断电缺记见表 1。



图 4 钻孔体应变测点环境及仪器照片

表 1 体应变仪断电记录表

序号	日期	起始时间	结束时间	台阶/( $\times 10^{-9}$ )	漂移时长/h	情况说明
1	2016-03-27	15:01	17:56	405.7	6	10:29-15:00 停电,恢复通电后,仪器重启
2	2016-05-17	17:39	23:59	448.9	4	05:59-17:38 停电,恢复通电后,仪器重启
3	2016-05-31	0:00	20:34	42.7	6	5 月 24-31 日数采故障造成的长时间原始数据缺数,5 月 31 日 20:35 仪器重启恢复正常观测
4	2016-06-29	0:00	17:19	225.8	5	仪器断电,中断观测,17:20 自动重启。

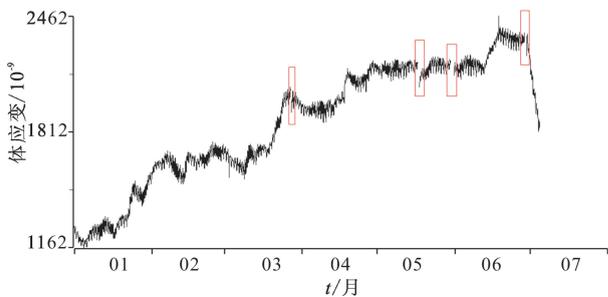


图 5 体应变分钟值曲线图(2016-01-01—07-04)

由表 1 及图 5 可见,本次异常前共有 4 次长时间断电。每次恢复供电后,仪器会进行重启,重启后体应变值会下降一个较大的台阶,随后会有一个快速压性漂移的过程,此过程一般持续 4~6 个小时,之后恢复正常记录。2016 年 5 月 24 日以来小陶体应变仪多次无故频繁死机,需反复断电重启,5 月 30

日又出现死机现象,无法连接仪器,经反复重启均无效,5 月 31 日联系电信维修人员进行检测,发现电信机房连通光端机线路正常,因而判断仪器到光端机间传输异常,测试仪器与光端机间网线,其显示正常,用自带笔记本连接光端机,其网络信号全部显示正常,最终确定仪器内部故障。拆开钻孔体应变仪器盖板,发现工控板网络信号灯显示异常(长亮),最终判断为高温天气导致仪器房温度过高而引起仪器数采故障(工控板死机)。随即将仪器断电,关闭工控板电路,重新拔插网络接口,重启后仪器恢复正常。5 月 31 日至 6 月 29 日期间,仪器也发生过几次短时间的重启,均未对数据造成影响,表明数据的趋势变化与地面仪器的故障无关,其主要来自地下探头的受力变化,因此认为本次异常与地面仪器重启无关。

## 2.5 区域地下受力状态

经过前述工作后,排除了技术系统、观测场地环境改变、人为干扰等原因后,仍未找到确切原因。通过每日追踪分析,终于体应变数据在2016年7月9日停止下降,并突升(压性漂移) $59.4(10^{-9})$ ,且当日正巧降暴雨108 mm,之后也有陆续降水,直接导致小陶钻孔水位突升14.39 cm,33 km外同区域的永安台体应变测值也突升 $170.9(10^{-9})$ 。这一同步现象出现后,笔者认为区域受力状态应当是同步的,可以拉长时间尺度进一步排查区域地下应力变化是否存在异常。

小陶地震台与永安地震台均在永安辖区,二者直线距离约33 km。永安台内也有一台TJ-IIC型钻孔体应变仪进行观测。从地质构造来说,两个测点地下断层构造同属NE向政和海丰断裂带与NW向永安-晋江断裂带交汇处。本文选取2016年1月1日至7月12日观测日均值进行对比分析(图6),发现存在三个阶段:(1)2016年1月1日至5月31日,两个测点观测值总体均呈现压性漂移特征,永安台测值高于小陶台测值,受到气象干扰变化形态及变化量一致,同步性很好;(2)6月1日至7月8日,永安台体应变持续张性漂移,而小陶体应变值平稳变化,两个测点值变化不同步,大小也发生了变

化;(3)7月9日至今,小陶体应变测值经过大幅下降,恢复至5月18日前较低的状态,与永安台体应变测值的变化形态及变化量也基本恢复一致。

从上述三个阶段来看,重点关注在第二阶段,随着小陶体应变的持续受压,测值大小发生逆转,但两个测点仍存在降水导致的区域地下荷载加大引起的测值同步变化,如2016年6月12日00:00—18日23:59时段受到126.4 mm降水的影响,永安台体应变大幅上升 $211.9(10^{-9})$ ,小陶体应变同步上升 $197.5(10^{-9})$ 。且通过对比永安台体应变2014—2016年的同期曲线(图7),2014—2015年变化形态基本一致,2016年5月开始张性变化,较前两年提前了一个月,但仍有冬春季呈压性、夏季呈张性趋势变化的年变规律。结合降水量统计,2016年3—4月降水总量为530.2 mm,5月降水减少,总量仅148.4 mm,显示永安台体应变2016年5月的张性漂移为非震异常,属于降水减少后的正常卸压变化。因此,小陶体应变测值2016年5月没有发生与永安台测值的同步张性变化,而是在6月30日才出现大幅急速的张性漂移,随后恢复正常同步,此应当与区域地下应力变化异常无关,属于降水结束后前期卸压不明显、后期加速的非孕震异常。

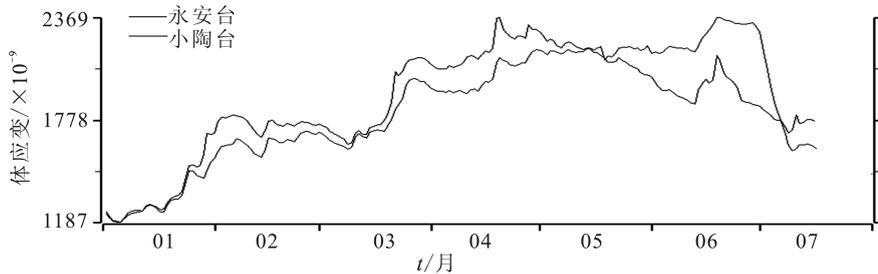


图6 小陶体应变与永安体应变数据对比曲线

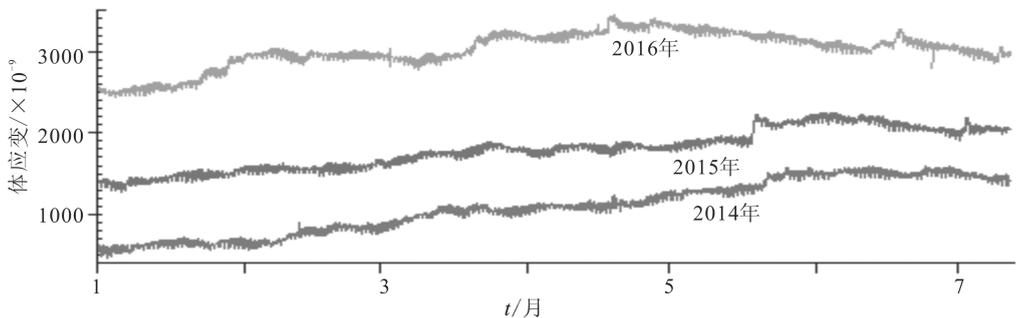


图7 永安台体应变多年同期对比曲线图(2014—2016年)

### 3 结论及建议

我们最终确定小陶体应变异常变化时段为 2016 年 6 月 1 日—7 月 8 日,本时段永安台体应变因降水影响结束而在 5 月持续产生张性漂移,小陶体应变值在 6 月 29 日前均为平稳变化,未发生同步卸压反应,导致两个测点值大小也发生了逆转(异常前永安台体应变值高于小陶体应变值),直到 2016 年 6 月 30 日才出现大幅急速的张性漂移,随后恢复正常同步,2016 年 7 月 9 日两个测点值大小关系也回到异常前状态。针对这一影响差异,结合小陶体应变与永安台应变钻孔资料,得到以下结论:

(1) 数据的趋势异常与地面测量仪器的关系不大,主要是受到地下应力变化影响,因此首先排除地

面仪器故障的影响。

(2) 如图 8 所示,小陶体应变、小陶钻孔水位、永安台体应变及降水量长趋势来看,均仍存在同步特征。当出现大范围降水后,对地面造成压性荷载,使得地下岩层受压,直接表现为体应变值上升,地下水渗入并孔后引起钻孔水位的升高;降雨结束后,受压状态消失,此时地下岩层受力逐渐膨胀,恢复至正常,表现为体应变值下降,钻孔水位下降。

(3) 小陶钻孔体应变 2016 年 5 月卸压反应不如永安台体应变明显,究其原因,永安台钻孔岩性为凝灰岩,且岩石出露较浅,更容易受到地表水的渗入影响,变化幅度也较大,并孔水体由孔隙流向地下含水层也较为快速,而小陶体应变钻孔内为致密的花岗岩,相应的变化就会更小、更缓慢。

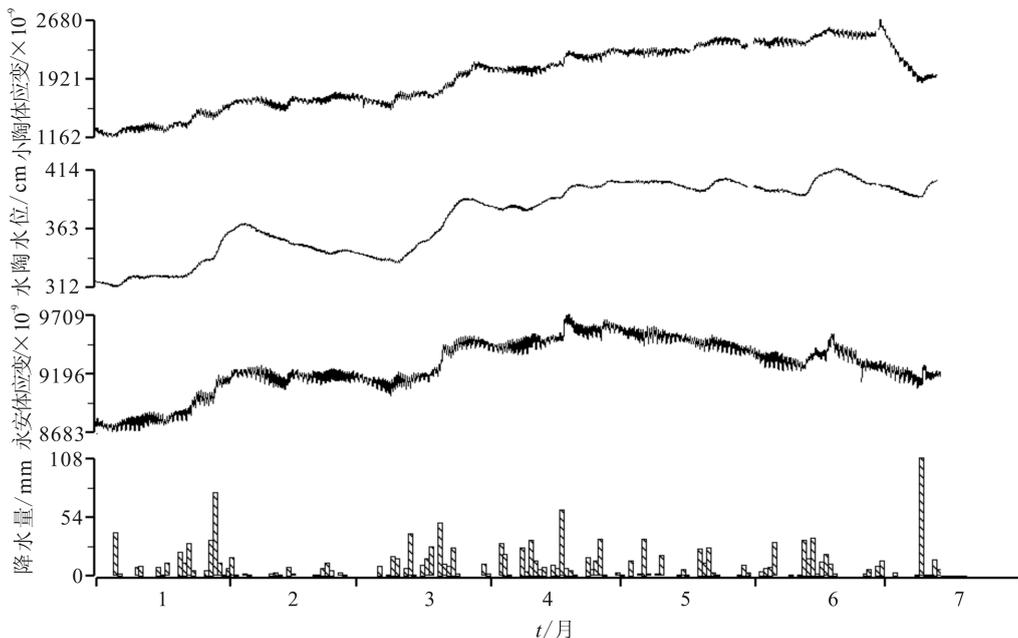


图 8 各相关数据对比图(2016-01-01—07-12)

(4) 在本次数据异常核实的过程中,最初因为由于仪器观测时间短,辅助资料的一致性对比会受到影响;排除了场地环境、人为干扰等影响后,也不能轻易将其归结为仪器问题;进而对仪器进行相关操作,又有可能影响数据的连续率,错过一些异常信息;因此只有经过较长时间的资料跟踪,多测项对比分析,才能准确地找到数据异常的原因。

### 参考文献

[1] 牛安福,张凌空.中国钻孔应变观测能力及在地震预报中的应

用[J].大地测量与地球动力学,2011,31(2):48-52.

[2] 王梅.数字化体应变仪观测值突跳的分析[J].地震,2002,22(1):110-114.

[3] 杨林章.体应变潮汐观测资料信息提取与映震效果[J].地震,2003,23(1):48-52.

[4] 李杰,刘敏,等.数字化钻孔应变干扰机理及异常分析[J].地震研究,2003,26(3):230-237.

[5] 卢双苓,李峰,王强,等.泰安地震台钻孔应变固体潮畸变的分析探讨[J].华北地震科学,2008,26(2):49-52.

[6] 中国地震局监测预报司.地震前兆异常落实工作指南[M].北京:地震出版社,2000.