

刘川琴, 裴红云, 隆爱军, 等. 安徽省 TJ-II 型钻孔体应变观测资料干扰分析[J]. 华南地震, 2016, 36(3): 68–74. [LIU Chuanqin, PEI Hongyun, LONG Aijun, et al. Interference Analysis of Observation Data of TJ-II Bore-hole Body Strain Data in Anhui[J]. South china journal of seismology, 2016, 36(3): 68–74.]

安徽省 TJ-II 型钻孔体应变观测资料干扰分析

刘川琴¹, 裴红云², 隆爱军¹, 孙鸿博¹, 卢叶啸¹, 王燚坤¹

(1. 安徽省合肥地震台, 合肥 230031; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031)

摘要: 对安徽省内同一时间安装, 不同地理位置, 不同构造条件的 5 个台站 TJ-II 型钻孔体应变观测资料进行分析, 结果表明: 5 个台站体应变受到的干扰因素存在差异, 其中合肥、黄山台体应变受地下水位、降雨、气压影响明显, 两台体应变和水位相关程度达到 0.85 以上, 气压相关程度达到 0.70 以上, 降雨干扰系数较大, 其中合肥台约为 $0.50 \times 10^{-8}/\text{cm}$ 。蚌埠台钻孔应变存在严重抽水干扰, 产出数据规律不明显; 六安台钻孔体应变受水位干扰较小, 短周期气压干扰明显, 嘉山台仪器安装在无水钻孔内, 受降水和水位干扰较小。

关键词: TJ-II 钻孔体应变; 干扰; 气象因素; 环境因素

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2016) 03-0068-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.03.010

Interference Analysis of Observation Data of TJ-II Bore-Hole Body Strain Data in Anhui

LIU Chuanqin¹, PEI Hongyun², LONG Aijun¹, SUN Hongbo¹,
LU Yexiao¹, WANG Yikun¹

(1. Hefei Seismic Station, Anhui Province, Hefei 230031, China; 2. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: The paper analyzed and discussed the observation data of five TJ-II bore-hole body strains which were installed at the same time with different geographical locations and tectonic conditions. The results show that the interference factors on five TJ-II body strains were different. The observations of Hefei and Huangshan body strain were obviously influenced by underground water, rainfall and atmosphere, and the correlation coefficient of their body strain and water level is more than 0.85. The correlation coefficient of their body strain and the air pressure is more than 0.7 and the interference coefficient of rainfall is larger, of which the Hefei

收稿日期: 2015-07-29

基金项目: 安徽省地震局合同制项目 201432

作者简介: 刘川琴(1981-), 工程师, 主要从事地形变观测与研究工作.

E-mail: liuchuanqin1026@sina.com.

station is about $0.50 \times 10^{-8}/\text{cm}$. The Bengbu station's body strain has been severely influenced by the pumping of well near borehole, and the law of output data is not obvious. The body strain of Liuan station is less influenced by water level, and is obviously influenced by air pressure in a short period. The instrument in the Jiashan station is installed in the borehole without water, so it is less influenced by rainfall and water level.

Key words: TJ-II Bore-hole; Body strain; Interference; Meteorological factors; Environmental factors

0 前言

中国研制的体积式应变仪器 TJ-I 型于 1984 年获得了成功,目前已改进为 TJ-II 型,2009 年以来安徽在郯~庐断裂中南段及其附近安装了 TJ-II 体积式钻孔体应变仪器,获得了宝贵的观测资料,由于地理位置、地质条件的差异,各台观测资料的稳定性、可靠性及显示出的干扰图像、均存在差异,而判断一个地震台站应变资料出现的异常变化是否是地震前兆异常,需要判断这些异常是否满足地震前兆的 3 个必要判据:① 有正常背景;② 非干扰影响;③ 与地震有关^[1-3],全面分析其变化特征和干扰因素是有效使用这些前兆资料、提取前兆异常的基础。本文选择同一时期安装在蚌埠、嘉山、合肥、黄山、六安地震台的钻孔体应变资料进行分析,总结其干扰因素和变化特征,希望给地震预报提供一些基础性资料。

1 台址资料概况

为进一步加强短临跟踪,2009 年以来,安徽省地震局陆续在郯庐断裂带中南段的嘉山、蚌埠、合肥、六安、黄山安装 TJ-II 体积式钻孔应变仪,

钻孔探头安装深度在 60~80 m,该仪器进行体应变、气压、温度、水位测项观测,观测精度达 10^{-9} 。其中蚌埠台钻孔应变存在严重抽水干扰,目前已停止观测,其他台站观测质量良好,仪器能保持较高的运行率和数据完整率。台站应变曲线光滑,固体潮清晰,日变规律较为明显,具有良好的周期性特征。

2 主要干扰分析

从历年产出的体应变观测资料中发现,体应变观测受到多种干扰因素的影响,主要可分为三大类:一是气象因素和地下水水位的影响;二是观测环境的影响;三、是供电、仪器故障等影响。

2.1 气象因素

2.1.1 降雨影响

体应变数据普遍受天气影响明显,特别降雨天气,体应变主要表现为两种变化,一是连续降雨天气,雨水逐渐渗入岩体孔隙中,孔隙压力增加,水位上升,使岩体体应变产生压缩变形,体应变数据和水位数据上升趋势一致,时间上体应变降雨响应滞后于水位变化,随着降雨天数的增

表 1 安徽省 TJ-II 钻孔体应变台站概况
Table 1 General situation of TJ-II bore-hole strain stations in Anhui province

台站	经度/°	纬度/°	钻孔岩性	钻孔深度/m	安装时间/年-月	灵敏度	备注
蚌埠	117.3	32.9	花岗片麻岩	62.7	2009-05	10^{-9}	抽水井干扰,2011 年 8 月停测
合肥	117.2	31.8	红砂岩	72.3	2009-06	10^{-9}	
嘉山	118.3	32.9	凹凸棒石	64.3	2009-08	10^{-9}	
黄山	118.3	29.7	砂岩	68.2	2009-08	10^{-9}	2011 年 3 月 11 日-7 月 21 日,仪器故障,疑似汶川 8.0 级地震原因。
六安	116.5	31.7	泥质粉、砂岩	65.4	2009-11	10^{-9}	雷击使仪器于 2012 年 7 月 20 至 9 月 14 日探头故障

加一般会持续数日;二是强降雨天气体应变出现快速上升变化,强降雨带来大地负荷效应,降雨结束后体应变数据恢复正常,体应变和水位高值时间基本一致,后随水位下降,体应变恢复正常。

通过以上分析发现,合肥台和黄山台受降雨

影响严重,降雨干扰特征相似,在降雨季节,体应变会随着降雨的持续,处于一直上升的变化;强降雨天气体应变会随着水位的快速上升,出现同步的快速上升变化,时间上体应变滞后于水位变化(如图 1 和图 2);这可能和两个台站所处的地

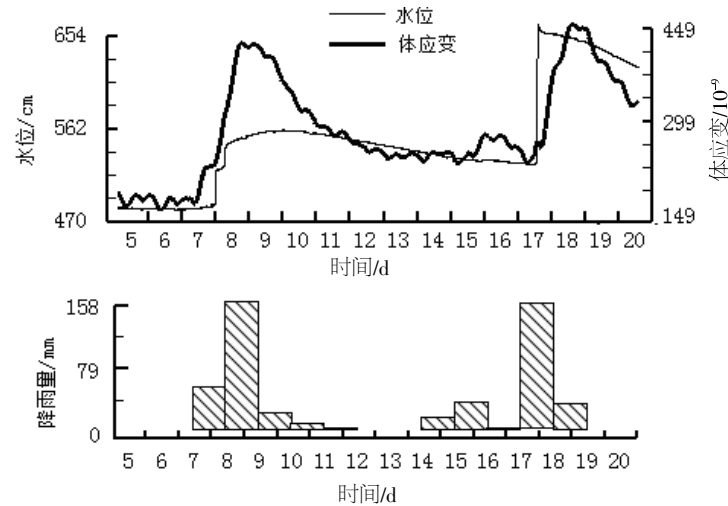


图 1 2015 年 6 月 5 至 20 日黄山台体应变、水位分钟值、降雨日值曲线

Fig.1 The curves of body strain, minute value of water level and daily value of rainfull from 5th to 20th, June, 2015

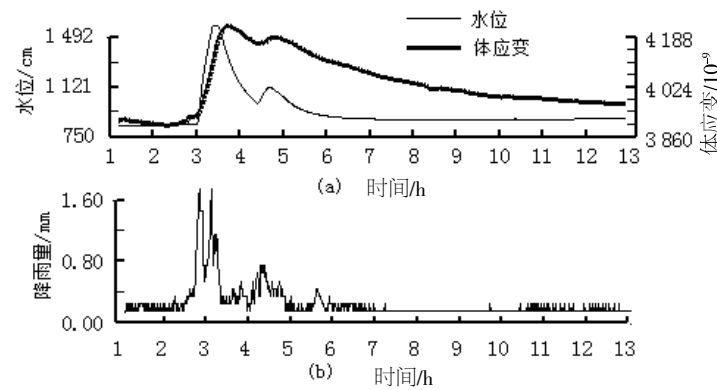


图 2 2015 年 6 月 17 日合肥台水位、体应变、降雨分钟值曲线

Fig.2 The minute value curves of water level, body strain and rainfall of Hefei seismic station on the 17th June, 2015

理位置、井孔地质条件有关，黄山台和合肥台处于山区环境，两个台站海拔高程相近，周边有山，钻孔岩性主要为砂岩，井孔有水，在降雨季节，水位受降雨影响明显，水位的变化会引起体应变数据的变化，但两个台站体应变受降雨影响也存在一定的差异，两者的驱动降雨量不同，合肥台的驱动降雨量，约为 30 mm，黄山体应变驱动降

雨量约为 50 mm。表 2 统计了几次比较典型的降雨情况和干扰系数，从表 2 中可以看出合肥体应变，井孔水位对降雨的放大倍率最大，降雨干扰系数约为 $0.50\times10^{-8}/\text{cm}$ ；黄山体应变水位对降雨的放大倍率比合肥台小很多，降雨干扰系数变化较大，可能和井孔及仪器安装情况、降雨效率不同有关；而嘉山台和六安台体应变受降雨干扰影响

表 2 各台降雨情况及干扰系数

Table 2 Rain conditions and inference coefficient

台站	时间/年-月-日	降雨量/mm	体应变 变化量/ 10^{-8}	井水位 变化量/cm	水位对降雨 的放大倍数	井水位的 干扰系数 $10^{-8}/\text{cm}$	降雨量 干扰系数 $10^{-8}/\text{mm}$
合肥	2012-07-13	51	29.0	529	115	0.055	0.63
合肥	2015-06-17	82	32.8	735	90	0.045	0.40
黄山	2013-04-30	90.1	85.7	32	3.6	2.68	0.95
黄山	2013-06-27	190.7	52.9	134	7.0	3.94	0.28
六安	2013-07-07	70	9.7	83	11.8	0.117	0.139

较小,在连续降雨天气,存在一定的趋势上升变化,但对强降雨天气即时效应不明显,可能和嘉山台井孔地质条件及钻孔无水有关。而六安台钻孔 36 m 以下的岩石以长石、石英石体为主,岩体致密度较高,多呈闭合式长柱状,少量节理裂隙,降雨天气,水分渗透较慢,水位上升缓慢,对体应变的影响主要为趋势性变化,短时快速变化不明显。

2.2.2 气压干扰

气压是影响钻孔应变观测的主要因素之一。大气压对体应变观测数据的主要影响作用于地壳表面和作用在井孔水面上,两者共同作用的结果,引起岩石中孔隙压的波动,从而致使体应变发生

变化,气压波可分为周期性和非周期性变化^[3],气压的周期性变化在不同的季节表现出的强弱也不同,其中短周期扰动比较显著^[4]。安徽省钻孔体应变普遍受到气压变化的影响,并在不同季节表现出强弱不同,一般春、秋、冬季影响较大,由于资料存在固体潮、水位升降及不同程度的其他干扰因素,这些变化与气压无关,故选取体应变小时值数据资料,并选择环境干扰、降水干扰等相对较少的时间段进行分析,由于嘉山台数据开阀频繁,数据呈现向上漂移趋势,对体应变数据进行了拟合处理,对处理后的数据和气压进行回归相关分析,以回归系数作为干扰系数,结果见表 3。

表 3 各台体应变气压相关系数
Table 3 The correlation coefficient between the bore-hole strain and air pressure

台站	时间/年-月	相关系数	回归系数 10 ⁻⁸ /cm
合肥	2011-02	0.869	1.46
合肥	2012-04	0.701	2.89
黄山	2011-01	0.724	0.86
黄山	2011-02	0.706	0.86
嘉山	2011-02	0.796	0.40
嘉山	2012-04	0.579	0.22
六安	2011-02	0.737	0.40

从表中可以看出省内台站普遍受到气压影响,体应变和气压相关系数以月为窗长基本都达到 0.7 以上,说明气压对钻孔体应变干扰明显,但长趋势气压影响容易区分和排除,对前兆异常提取影响不大。短周期内,气压扰动影响更为显著,在其他干扰较小时,省内台站体应变受气压影响特征较为一致,随着气压的波动变化呈现一致性变化,如图 3 中 a 和 b 列举了六安台和嘉山台气压和体应变数据曲线,两者趋势性一致;在气压骤变时,体应变随着气压的变化出现快速响应变化,如图 3 中 c 所示。

2.2 水位影响

含水层孔隙水压力变化带动水位的变化,孔隙压力变化又会带来体应变的变化。井区周边干旱、降雨、抽水、灌水对水位产生显著影响,水位变化使体应变出现和水位同步的变化特征,在提取异常时,需要去除水位干扰。安徽省内体应变受到水位干扰,主要表现在自然井水位的变化、周边环境变化促使井水位变化,如井区周边井孔

施工及周边抽水井抽水影响等。

2.2.1 井水位变化

对省内台站的分析发现,受地下水动态变化影响较大的是合肥、黄山体应变,体应变年变动态和水位的年变动态基本一致,两者呈显著相关。选择其干扰较小的时段以月为窗长计算体应变与水位的相关系数,表 4 中列出了 2013 年 10 至 12 月合肥台和 2013 年 12 月至 2014 年 2 月黄山台体应变、水位相关系数和干扰系数,在所选的时间段中体应变和水位相关性达到 0.85 以上。从图 4 可以明显的看出合肥台水位和体应变年变化趋势基本一致,水位和体应变高值一般出现在每年 4 至 10 月份,可能和合肥地区季节性降雨有关,合肥地区降雨主要集中在每年 4 至 10 月份,降雨补给使水位升高致使体应变发生变化。六安、嘉山体应变受水位影响较小,其中嘉山台钻孔为无水钻孔。水位对体应变的影响主要和井孔所处的地理位置和钻孔岩性有关;而安装仪器时井孔的密封性也会对体应变数据产生一定的影响。

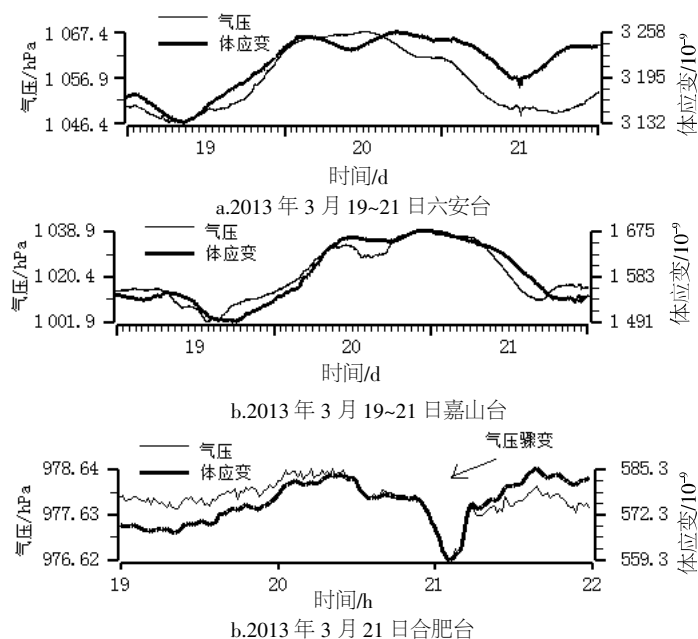


图3 气压、体应变分钟值曲线

Fig.3 The minute value curves of the air pressure and volume strain of Hefei seismic station

表4 体应变水位相关系数

Table 4 The correlation coefficient between the body strain and the water level

合肥(时间/年-月)	相关系数($10^{-9}/\text{cm}$)	回归系数	黄山(时间/年-月)	相关系数($10^{-9}/\text{cm}$)	回归系数
2013-10	0.967	0.68	2013-12	0.857	2.07
2013-11	0.986	1.31	2014-01	0.858	2.98
2013-12	0.966	1.08	2014-02	0.904	1.71

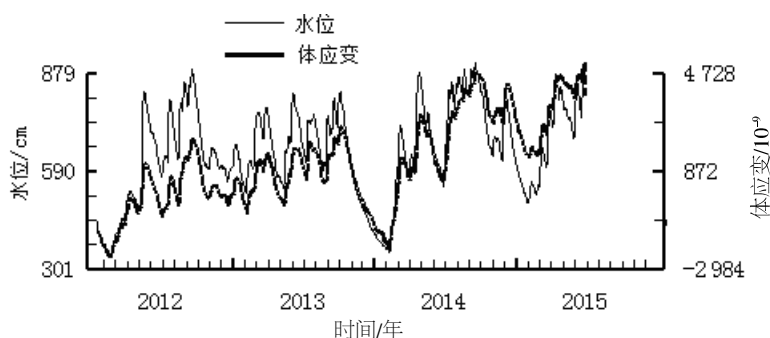


图4 合肥台水位、体应变日均值曲线

Fig.4 The mean value curves of the water level and body strain of Hefei seismic station from 2012 to 2015

2.3 环境干扰

2.3.1 施工干扰

钻孔观测环境可比喻为井下仪器的外延,或者说钻孔观测环境是井下地形变连续观测仪器的重要组成部分,所以井区周边环境变化对体应变干扰较大,特别是井区周边施工、抽水、注水都会使数据出现不同程度干扰变化^[9],不易识别数据真伪,给数据处理带来困难。

2011年合肥台距体应变井口5 m处测震深井施工导致体应变5月10日至6月13日出现较大

波动(图5),其中测震井安装套管,分别在5月19日、6月2日向井下注水,使得体应变数据在5月20日、6月2日出现了上升的台阶变化,计算水位干扰系数分别为 $35.52 \times 10^{-9}/\text{cm}$ 、 $30.69 \times 10^{-9}/\text{cm}$,水位干扰系数比降雨天气已统计的水位干扰系数高2到4倍,而这次波动后6月17日距离此井孔78 km发生了桐城3.7级地震,无法判断此次地震是否存在异常。

2.3.2 抽水干扰

蚌埠台体应变从2009年投入使用,一直受到

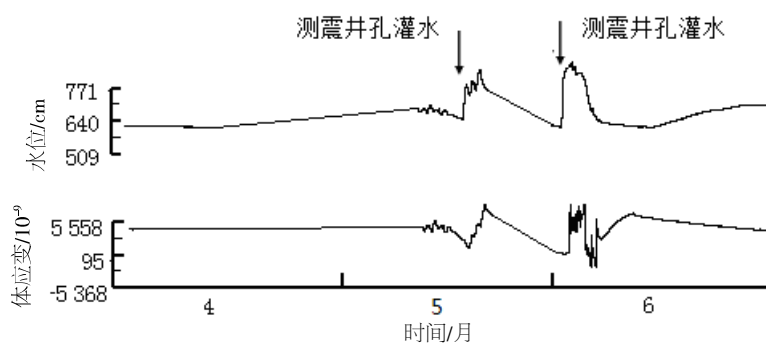


图5 钻孔水位、体应变 2011 年 4~6 月小时值曲线

Fig.5 The hour value curves of the borehole water level and bore-hole body strain from April to July, 2011

严重干扰,对产出数据进行统计、跟踪调查、现场实验^[6-7]发现,该台体应变观测受到附近 3 口居民生活用井和 1 口水氡观测井抽水影响,其中距离体应变观测井 88.2 m 的水氡观测井抽水影响最为严重,居民用水井抽水时间多集中在 5 至 8 时和 16~19 h,水氡井抽水在 8 点 15 分开始,持续抽水 30 min,此时间段和图 6 中体应变所出现的显著变化基本一致,体应变基本每天呈现此干扰形态,严重影响了数据的质量。

2.4 其它干扰

在体应变观测过程中,体应变还受到雷击、停电、切换交直流电源、线路接触不良、数采故障等,使数据出现突跳、台阶变化、脉冲变化等干扰现象。常见的有雷击导致的台阶变化(图 7b)。2014 年 9 月 12 日黄山台附近为雷雨天气,体应变出现了台阶变化;线路接触不良导致体应变出现不规则的突跳现象,如 2014 年 12 月黄山台体应变出现了不规则的脉冲变化,经过专家核查,认为是线路接触不良导致的变化;合肥台体应变数

据在 23 时 55 分左右出现突跳频繁,疑似日期转换导致的突跳如图 7a 所示。

针对以上情况,工作人员需要定期检查维护仪器,及时矫正仪器参数,做到每天定时检查仪器,发现死机,及时重新启动仪器;而由于恶劣天气或其他原因导致的仪器故障,建议为台站配置备用仪器。

3 结语

通过对安徽 5 个台 TJ-II 型钻孔应变仪观测资料的分析研究可知,省内台站体应变观测普遍受到气象因素影响,同时体应变还受到水位、环境及仪器故障等干扰,不同地理位置和钻孔条件,使得其干扰特征和影响程度存在异同,总结如下:

(1) 台站所在位置周边有高于台站海拔的山峰,且岩体破碎、透水性好的钻孔,一般受到降雨和水位、气压干扰严重。如合肥和黄山台体应变,观测资料干扰特征相似,体应变年变化和水位年变化形态基本保持一致,相关程度高;且体

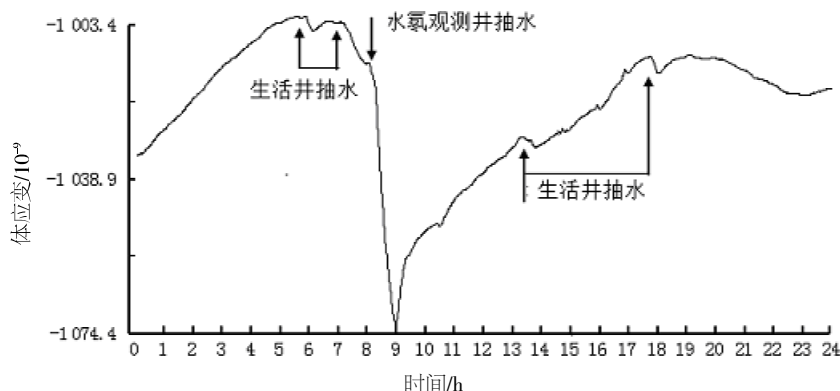


图6 2009 年 9 月 18 日抽水影响曲线

Fig.6 The pumping interference curve of bore-hole body strain on September 18th, 2009

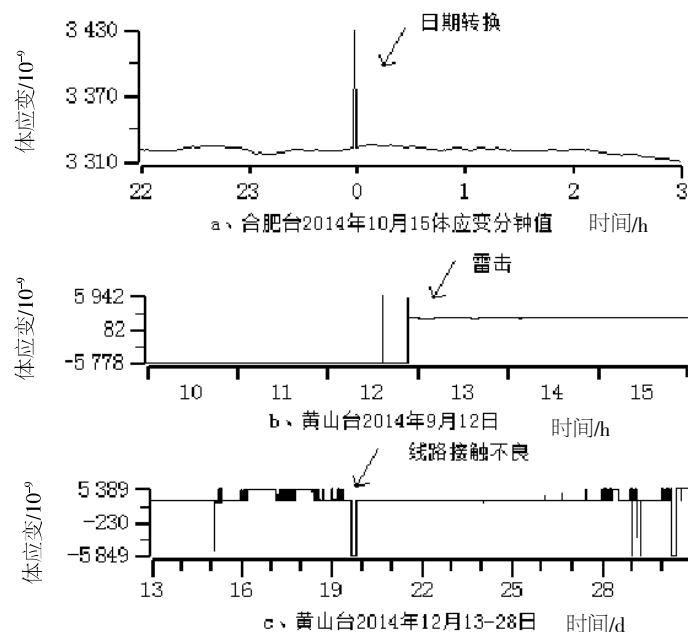


图7 体应变干扰特征

Fig.7 Interference characteristics of body strain

应变受到降雨影响显著，特别是强降雨天气，体应变即时效应明显。

(2) 无水钻孔，体应变受水位及降雨干扰较小。如嘉山台体应变，钻孔处于润溪镇清明山上，钻孔为无水钻孔，从目前记录体应变数据来看，未发现降雨对体应变的明显干扰，季节性降雨时，体应变有升高趋势，但不明显，目前主要受到气压干扰和仪器故障干扰。

(3) 钻孔岩体完整致密度高，体应变受干扰相对较小，如六安台体应变，岩体多呈闭合式长柱状，少量节理裂隙，水分渗透较慢，水位上升缓慢，降雨引起水位变化对体应变的影响较小，主要为缓慢的趋势性上升变化，快速变化不明显。短周期内受到气压干扰和雷电干扰较多。

(4) 钻孔所在区域有其他钻孔，且钻孔之间有一定的联通性时，体应变数据受到抽水和灌水影响一般较大，如蚌埠台和合肥台的体应变。蚌埠台体应变井周边有几口民用井和水氢观测井，体应变受到附近井孔抽水影响，而附近抽水井不定时的抽水，致使体应变出现不规则的干扰形态，观测以来体应变数据没有记录到固体潮汐变化，很难辨认数据真实形态，给前兆异常识别带来困难。合肥台钻孔所在观测平台有几口其他手段的观测井，在井口施工灌水时，体应变出现了异常变化。

(4) 台站体应变受气压干扰的特征相似，省

内体应变短周期变化尤其是日变化主要受到气压影响，体应变随着气压的波动而发生波动变化，形态基本一致；在其他干扰较小时，体应变月变化受气压干扰较大，两者相关程度较高。

参考文献:

- [1] 邱泽华. 关于地震前兆的判断问题[J]. 大地测量与地球动力学, 2010, 30:1-6.
- [2] 蒲小武, 陈征, 高原, 等. 武都分量钻孔应变在汶川 M_s 8.0 级地震前的异常变化分析[J]. 震灾防御技术, 2014, 9 (1): 133-141.
- [3] 张凌空, 何世海, 刘北顺. 体应变观测中的气压干扰机制和排除方法研究[J]. 地震, 1996, 2 (20): 144-152.
- [4] 李杰, 刘敏, 邹钟毅, 等. 数字化钻孔体应变干扰机理及异常分析[J]. 地震研究, 2003, 3 (26): 230-238.
- [5] 苏恺之, 张 钧, 李秀环, 等. 钻孔环境在钻孔地形变观测中的作用[J]. 地震地磁观测与研究, 2005, 26 (6): 46-55.
- [6] 李罡风, 姜薇薇, 陶 媛, 等. 蚌埠钻孔应变受抽水干扰的分析[J]. 西北地震学报, 2011, 33 (S1): 456-460.
- [7] 张理轻, 马晔, 杨宇. 钻孔雷达数据处理技术及分析[J]. 地震工程学报, 2014, 36 (4): 1 107-1 112.