

刘川琴, 金 艳, 裴红云, 等. 大蜀山地震台钻孔体应变观测综合分析[J]. 华南地震, 2015, 35 (3): 34–39. [LIU Chuanqin, JIN Yan, PEI Hongyun, et al. Comprehensive Analysis of Borehole Body Strain Data in Dashusan Seismic Station[J]. South china journal of seismology, 2015, 35 (3): 34–39.]

大蜀山地震台钻孔体应变观测综合分析

刘川琴¹, 金 艳², 裴红云², 隆爱军¹

(1. 安徽省大蜀山地震台, 合肥 230031; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031)

摘要: 对大蜀山地震台 TJ-II 钻孔体应变日常形态、常见干扰、映震效应进行分析, 结果显示: 大蜀山台体应变资料受水位、降雨、气压影响显著。在其他干扰较小的情况下, 体应变和水位相关程度最高, 相关系数达 0.9 以上, 水位干扰系数最高可达 $10.13 \times 10^{-9} \text{cm}$ 。体应变仪地震波形记录较好, 能清晰地记录到全球 7 级以上, 全国 6 级以上地震波形; 而目前资料未发现明显的前兆异常。

关键词: 固体潮; 钻孔体应变; 气压; 降雨; 水位

中图分类号: P315.723 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2015) 03-0034-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.03.005

Comprehensive Analysis of Borehole Body Strain Data in Dashusan Seismic Station

LIU Chuanqin¹, JIN Yan², PEI Hongyun², LONG Aijun¹

(1. Hefei Seismic Station, Anhui Province, Hefei 230031, China;

2. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: The paper analyzes the daily form, common interference and response to earthquake of TJ-II borehole body strain in Dashushan seismic station. The results show that it is significantly influenced by rainfall, water level and pressure. If other interference is weak, body strain is highly correlated with water level with the correlation coefficient above 0.9 and the highest interference coefficient of water level $10.13 \times 10^{-9} \text{cm}$. The body strain can record seismic wave well which can clearly record waveform of earthquakes with $M \geq 7$ in the world and $M \geq 6$ in China. No obvious precursor anomaly is found.

Keywords: Earth tide; Borehole body strain; Air pressure; Rainfall; Water level

收稿日期: 2014-10-24

基金项目: 2015 年中国局三结合课题 KS06 资助

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

E-mail: liuchuanqin1026@sina.com.

0 引言

大蜀山地震台(原名合肥地震台)于2009年安装了TJ-II钻孔体应变观测仪,现已连续观测5年多,体应变安装在台站院内,辅助气压、气温、水位观测项目。水位及体应变探头安置于观测井中,气压及气温探头安置于观测室内,其中气压观测曲线呈现夏低冬高年变形态,温度呈现夏高冬低形态,水位曲线冬春季节下降,夏秋季节上升,体应变呈现和水位一致的趋势变化,冬春季节下降,夏秋季节上升。TJ-II体应变仪的数据文件为分钟值,精度为 10^{-9} ,体应变能记录到清晰的应变固体潮变化、地震波形;还可以记录到气压、水位、降雨、雷电、电压等干扰。本文对大蜀山地震台体应变观测资料进行了分析,介绍了该体应变日常变化形态及常见干扰形态,并对体应变映震特征进行分析讨论。

1 观测环境概况

大蜀山地震台(以下简称大蜀山台)处于华北断块区南缘,邻庐北北东向深大断裂西侧33 km处,区域断裂构造比较发育,体应变观测井位于合肥市西郊大蜀山(死火山口)东麓森林公园内,

当地属于淮阴地槽东端的丘陵地带,覆盖层较薄,观测地形呈西高东低,台站西北面为森林公园,井口海拔高程约为77 m,体应变所在的台站观测平台周边10 m范围内有多项井下观测项目分别为:电磁波、深井测震和砂层应变。基岩岩性为火山岩、玄武岩、辉绿岩和白垩系红砂岩。安装时记录到钻孔探头底部埋深72.3 m,孔径130 mm,水深7 m,红砂岩,岩性较软,井孔条件相对较差。

2 体应变及辅助观测的年变形态

体应变2009年6月在大蜀山台成功安装,同年8月12日数据录入数据库,仪器安装之初存在漂移情况,2009年年底逐渐趋于稳定,本文选择2009—2014年的观测资料为研究对象,对文中使用的辅助观测资料进行了预处理,去除了大的台阶阶变和突跳。自观测以来体应变主要出现两次较大事件,2010年7月13日至2010年12月2日仪器探头故障,出现台阶变化;2011年5月13日至6月11日测震深井注水,数据波动变化。

从图1可以看出,气压年变形态清晰稳定;体应变与水位呈较好的正相关变化,每年夏秋季节降雨补给,水位根据降雨补给情况,呈上升

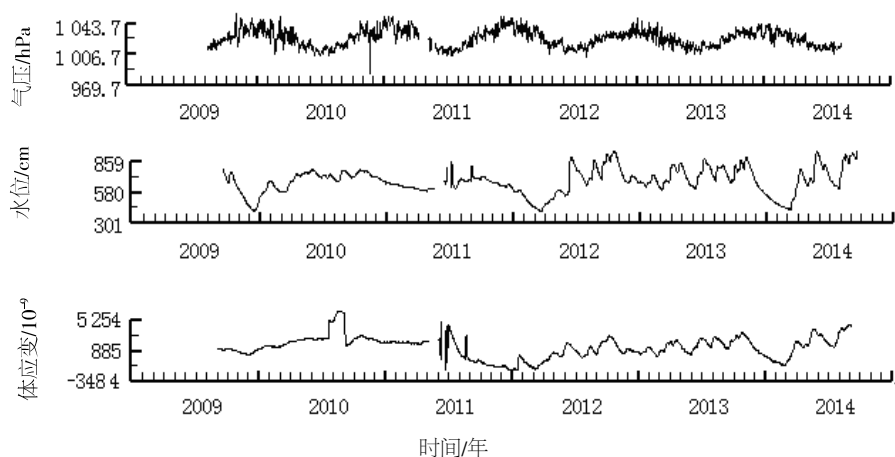


图1 体应变及气压、水位日值曲线

Fig.1 Daily value curves of body strain, pressure and water level

性波动变化,体应变保持和水位同步波动变化,年变化主要和当地季节性降雨补水相对应。

选取数据干扰较小时段如图2所示,可以看出体应变日变规律明显,固体潮清晰,具有良好的周期性特征(体应变向上表示压缩,理论固体潮向下表压缩)。

3 体应变观测常见干扰及原因分析

大蜀山台体应变观测中常见的干扰主要为水位、降雨、气压、仪器故障、供电系统、周边井

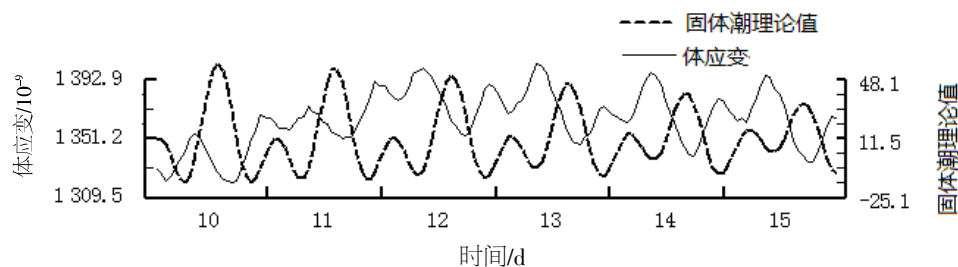


图2 体应变、固体潮小时值曲线

Fig.2 The hour value curve of borehole body strain and earth tide

孔注水等干扰,主要分为三大类:一是地下水位变化的影响,其中主要是由降雨、天气干旱、周边井口注水导致的水位变化;二是气压变化的影响;三是供电系统故障、仪器故障等影响(此影响为普遍性,在此不作赘述)。

3.1 水位干扰

水位变化主要由降雨、天气干旱、井孔周边注水、抽水等影响岩体含水层中孔隙水的饱和程

度,从而改变孔隙水压力的大小,致使体应变发生变化^[1]。大蜀山台体应变资料主要受天气变化和周边井口注水影响,目前周边未出现抽水情况,对体应变与水位变化进行对比分析发现,两者在趋势上存在很好的正相关性,以月为窗长计算体应变与水位的相关系数,结果如表1所示,从表1可以看出,除个别月份外,体应变与水位变化相关系数较高,在其他干扰不显著的情况下体应变和水位相关系数达到0.9以上。

表1 体应变水位相关系数

Table 1 The correlation coefficient between the body strain and the water level

时间/年-月	相关系数	干扰系数($10^{-9}/\text{cm}$)	时间/年-月	相关系数	干扰系数($10^{-9}/\text{cm}$)
2012-09	0.466	6.25	2013-09	0.622	8.31
2012-10	0.956	12.04	2013-10	0.968	6.83
2012-11	0.604	9.29	2013-11	0.988	13.15

3.1.1 降雨干扰

降雨对水位的影响,主要表现为两种形式,一是连续降雨天气,水位连续升高达几个月,体应变保持和水位同步的升高趋势;二是短时强降雨天气,一般为数小时到几日的强降雨,降雨产生大地负荷效应,使水位出现快速上升变化,体应变保持和水位同步的上升变化,降雨结束后数小时水位和体应变数据恢复正常,体应变高值时间滞后于水位高值时间。

从图3a中可以看出,7至9月,合肥以降雨天气为主,水位保持缓慢升高趋势,体应变保持和水位相同的趋势变化,随着天气的转晴,水位逐渐下降,体应变也逐渐下降。这类干扰单从体应变曲线上看,容易判断为前兆异常。

图3b是一次典型的强降雨导致体应变快速变化的例子,2012年8月20日晚20时至21时降暴雨,降雨量达到85 mm,体应变变化 48.6×10^{-8} ,井水位变化750 cm,井水位的干扰系数为 $0.065 \times$

$10^{-8}/\text{cm}$,降雨干扰系数为 $0.572 \times 10^{-8}/\text{mm}$ 。由于数字化雨量器故障,以即时强降雨带来的水位变化作图分析,体应变和水位变化较为一致如图3所示。

3.1.2 周边井口注水干扰

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一个不可缺少的重要组分,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^[2],不易识别数据真伪,给数据处理带来困难。

2011年距体应变井口9.5 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4),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。

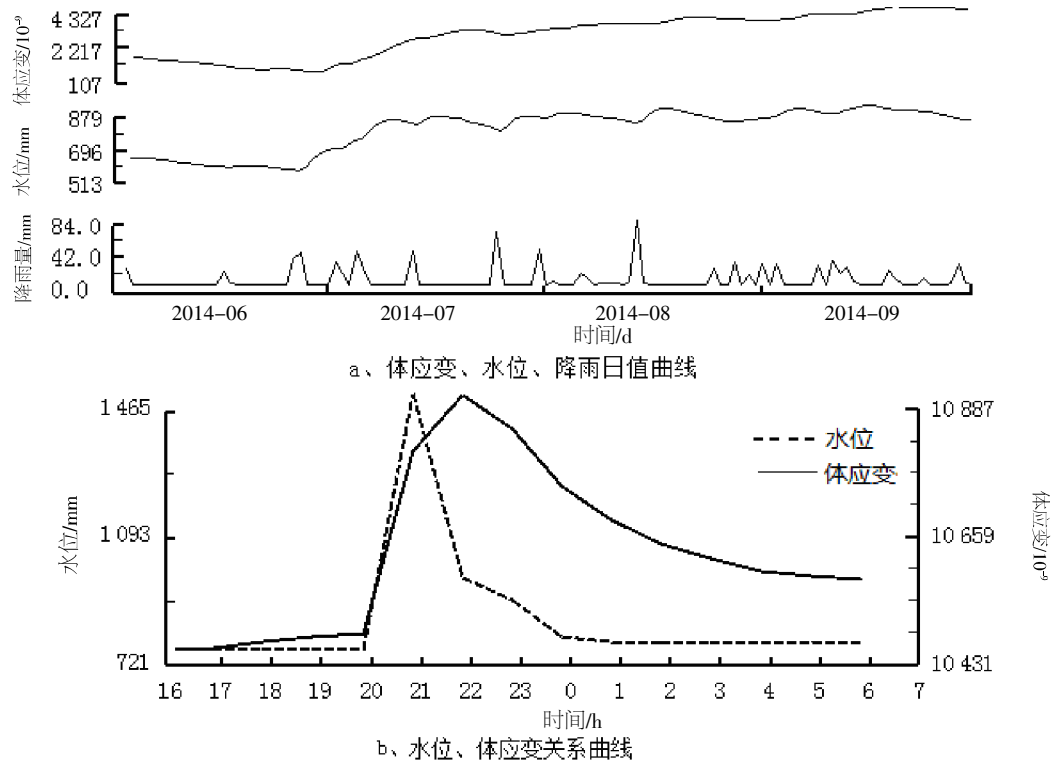


图 3 水位、体应变变化时序图

Fig.3 The sequence diagram of water level and body strain

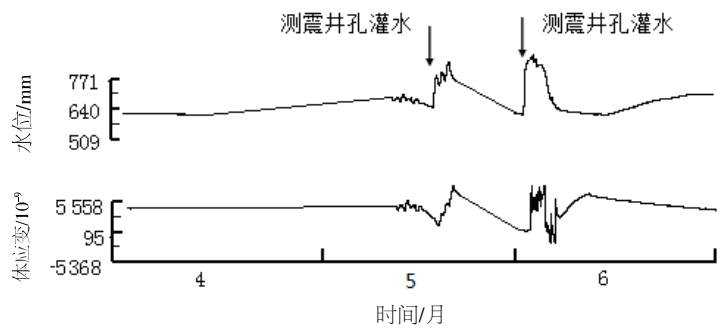


图 4 钻孔水位、体应变小时值曲线

Fig.4 The hour value curves of the borehole water level and body strain

3.2 气压干扰

气压是对体应变观测影响较大的因素之一，气压影响系数与台址岩石的弹性模量、泊松系数有关^[6]；大蜀山台体应变普遍受到气压的影响，不同周期气压波对体应变影响的特征不同，主要以月、日、半日周期气压波作用最为显著，在没有其他干扰的情况下，体应变保持和气压一致的波动变化，形态和固体潮汐变化类似，短周期气压波较容易识别和剔除^[3-4]。强对流天气，气压出现快速变化，体应变出现和气压一致的变化关系，如图 5 所示。

4 地震波记录及映震情况分析讨论

4.1 地震波记录情况

体应变仪以其高灵敏性不仅能清晰记录到固体潮汐变化，而且能记录到震时地震波的变化，本文统计 2013 年 10 月 1 日至 2014 年 9 月 30 日，全球共发生 7 级以上地震 15 次，主要分布在环太平洋板块及板块交界地区；全国发生 6 级以上地震 4 次，主要分布在青藏块体、云南和台湾地区；华东地区未记录到 5 级以上地震；安徽省 4 级以上地震 1 次，发生在霍山地区。震时大蜀山体应变仪记录的地震波为全球 7 级以上地震 12 次，全

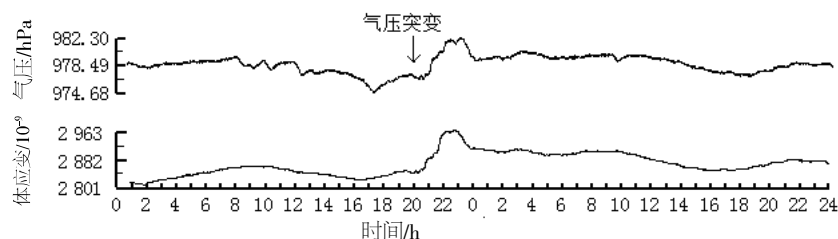


图5 2014年7月30至31日体应变、气压分钟值曲线

Fig.5 The minute value curves of the air pressure and body strain during 30-31, July, 2014

国6级以上地震4次。由于体应变低频采数,在统计时间内暂未记录到华东地区及省内4级以上地震。根据以往地震资料情况,大蜀山体应变异常与2011年1月19日安庆4.8级地震等地震的对应情况(图6)。

从统计数据及体应变地震波形图上可以看出,大蜀山台体应变仪记录地震波能力较强,对发生

在全球7级以上的强震能清晰地记录到地震波全过程,且波形幅度较大,形态完整,对全国6级以上地震波形记录较好。所记录的地震波形主要为地震波上下波动,震后恢复固体潮正常形态;由于体应变低频采数,记录的近震地震波幅度相对较小,波形不完整,同时体应变记录的地震波难以确定最大振幅。

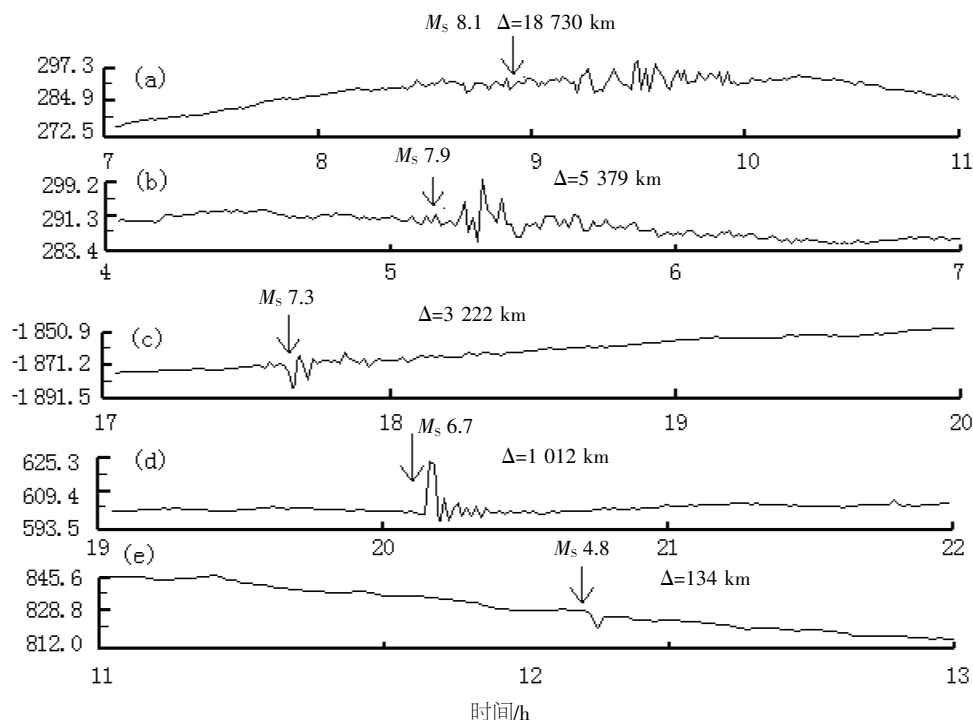
(a) 2014年4月2日智利 M_s 8.1; (b) 2014年6月24日拉特群岛 M_s 7.9; (c) 2014年2月12日新疆 M_s 7.3(d) 2013年10月31日台湾花莲 M_s 6.7; (e) 2011年1月19日安庆 M_s 4.8

图6 体应变异常与地震的对应情况

Fig.6 The seismic waveform record by borehole body strain

4.2 映震情况分析讨论

体应变自观测以来,省内发生较大地震为2014年4月20日霍山4.3级地震、2011年1月19日安庆4.8级地震(震前仪器有故障发生),由于体应变受水位、气压干扰严重,原始数据很难识别数据形态,需要对数据进行相关处理,本文

对2014年1月以来体应变曲线进行气压和水位多元回归改正,对残差曲线进行分析(图7),发现霍山4.3级地震前残差值存在超两倍均方差现象。由于省内地震较少,没有震例借鉴,且没有考虑到气压、水位变化和体应变时间的差异性,异常还有待进一步验证。

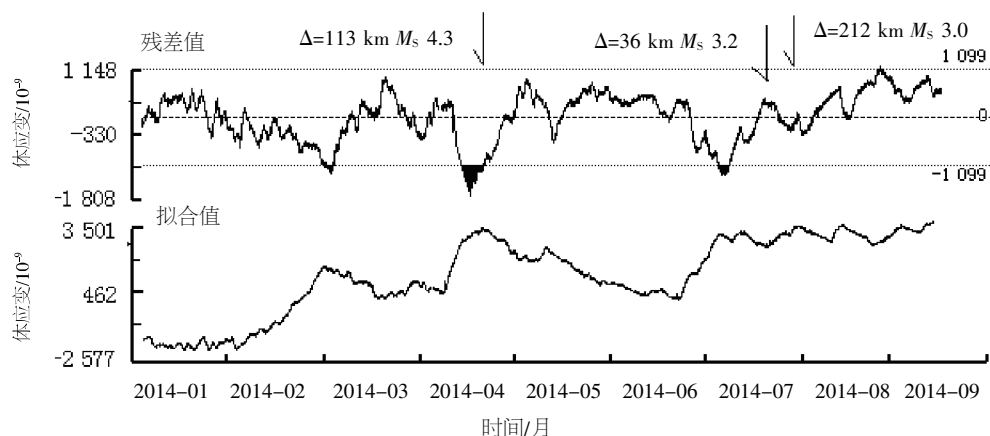


图7 合肥台体应变气压、水位改正后残差、拟合曲线

Fig.7 The residual curve and fitting curve of body strain in Hefei station after the correction of water level and pressure

5 结论与建议

(1) 大蜀山台体应变, 其年变形态主要和钻孔水位有关, 体应变与水位呈较好的正相关变化, 每年夏秋季节性降雨补给, 水位根据降雨补给情况, 呈上升性波动变化, 体应变保持和水位同步波动变化, 年变化主要和当地季节性降雨补水相对应。在干扰较小时段, 体应变日变规律明显, 固体潮清晰, 具有良好的周期性特征。

(2) 大蜀山台体应变观测主要受到水位、气压干扰严重, 体应变长趋势和水位变化一致, 相关性很好, 短周期以气压干扰为主, 特别是气压日波、半日波影响严重。究其原因可能与观测场地基岩的破碎程度及岩性有关, 形变仪器需要将仪器探头安放在完整的基岩上, 但在实际安装很难保证安装在理想的位置; 而大蜀山台体应变钻孔为红砂岩, 岩性较软, 介质弹性模量较小, 这样的介质受水位、气压干扰相对较大。

(3) 体应变能较好的记录到地震异常, 特别是全球7级以上地震和全国6级以上地震, 体应变能记录到明显的异常波形; 而前兆异常较难判断, 主要由于周边近场地震较少, 前兆异常判断经验不足, 还有待进一步研究总结。

综上所述, 提出两点建议: ① 体应变观测场地近距离范围内, 减少钻孔打井, 减少对体应变观测的影响; ② 在仪器下井时做好仪器耦合的基础工作, 保证岩石与探头之间应力的连续传递, 有效地接受地应变场信息。

参考文献:

- [1] 李杰, 邹钟毅, 闫德桥, 等. 数字化钻孔体应变干扰机理及异常分析[J]. 地震研究, 2006, 26 (3): 230-238.
- [2] 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.
- [3] 郑江蓉, 徐徐, 王俊, 等. 六合体应变干扰因素与地震短临异常特征研究[J]. 西北地震学报, 2011, 33 (1): 84-90.
- [4] 陈大柱, 张新成, 高守全, 等. 温泉地震台钻孔体应变观测资料分析[J]. 内陆地震, 2014, 28 (1): 63-69.
- [5] 刘水莲, 李祖宁, 杨颖, 等. 福建省数字化钻孔体应变观测资料质量初步分析[J]. 华南地震, 2007, 27 (4): 79-87.
- [6] 张凌空, 吴利军, 杨颖. 雷暴产生的气压突变对体应变与同井水位干扰的对比研究[J]. 中国地震, 2012, 28 (1): 69-77.
- [7] 李兰生, 高力, 赵昭, 等. 气压对徐州地区三套体应变仪不同影响原因的分析[J]. 国际地震动态, 2012, 11 (407): 23-28.
- [8] 杨绍富, 徐长银, 孙海军. 新疆钻孔应变对汶川8.0和日本9.0级地震的同震响应特征分析[J]. 华南地震, 2013, 33 (1): 43-48.