

# 六合体应变干扰因素与地震短临异常特征研究

郑江蓉<sup>1</sup>, 徐 徐<sup>2</sup>, 王 俊<sup>1</sup>, 江昊琳<sup>1</sup>

(1. 江苏省地震局, 江苏 南京 210014; 2. 南京市地震局, 江苏 南京 210008)

**摘要:**利用江苏省南京市六合地震台钻孔体应变2003年1月1日至2008年12月31日的数字化观测资料,对气压和降雨这二种主要干扰因素的基本变化规律进行分析,讨论了发生在该台预报效能范围内的3次中强地震的短临异常特征。结果表明:气压变化在各个季节对观测值均有较大的影响,以短周期的正相关干扰影响为主,在时间上往往表现为准同步,相关系数能达到0.6~0.7以上;降雨对体应变的影响与降雨过程、降雨量及降雨时间等有密切的关系,持续降雨只有积累到一定程度才能促成固体潮畸变,这一过程虽较复杂,但仍有一定的规律可循。六合体应变对区域内中强地震有1~2月的突出短临异常变化。

**关键词:**江苏六合地震台; 钻孔体应变; 气压; 降雨; 干扰; 短临异常特征

中图分类号: P315.727

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2011)01-0084-07

## Research on the Disturbance in Volume Strain Data at Liuhe Seismic Station and Its Short-Imminent Abnormality Characteristics

ZHENG Jiang-rong<sup>1</sup>, XU Xu<sup>2</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, JIANG Hao-lin<sup>1</sup>

(1. Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China;

2. Earthquake Administration of Nanjing, Nanjing, 210008, China)

**Abstract:** Based on the digital observation data of borehole volume strain at Liuhe seismic station near Nanjing city, Jiangsu province, from 2003 to 2008, the main disturbance factors as atmospheric pressure and rainfall are analyzed, and the short-imminent abnormality characteristics of the volume strain for 3 earthquakes in the range of predict efficiency are discussed. The results show that the atmospheric pressure in short period affect strongly to value of strain with synchronization on time, the positive correlation coefficient is 0.6~0.7. The effect of rainfall to the strain is complicate, depends on the process, duration time and volume of rain. Only rainfall accumulate to certain volume the solid tide can be distorted. But we still found some features between rainfall and volume strain. The volume strain at Liuhe station had significant short-imminent abnormalities in 1~2 months before regional moderate-strong earthquakes.

**Key words:** Liuhe seismic station in Jiangsu province; Borehole volume strain; Atmospheric pressure; Rainfall; Disturbance; Short-imminent abnormality

## 0 引言

钻孔体应变是监测地壳变形的一种有效手段,观测精度达到 $10^{-9}$ ,能清晰的记录到固体潮。经过前兆数字化改造后的钻孔应变仪具有较好的稳定性

和高采样率,其探头埋深地下几十米处,减少了外部人为干扰影响,固体潮观测精度有明显提高。张凌空<sup>[1]</sup>、高福旺<sup>[2]</sup>、杜品仁<sup>[3]</sup>、苏恺之<sup>[4]</sup>、李杰<sup>[5]</sup>等对数字化钻孔体应变的观测进行了深入研究,发现在影

收稿日期: 2009-12-09

基金项目: 江苏省科技厅社会发展项目(BS2006085); 国家自然科学基金(40901272)

作者简介: 郑江蓉(1971-),女,江苏苏州人,高级工程师,主要从事地震监测预报工作。

响观测资料精度的各种因素中气压和降雨成为最主要的干扰源,不同台点体应变对气压和降雨的响应模型有较为一致的物理机制,呈现出类似的干扰变化规律。但由于各台的地理位置、地质条件、钻孔参数不同等多种因素影响,不同台点的响应模型也呈现出较大的差异性和地区性。

江苏省六合地震台的钻孔体应变数字化改造以来,观测资料正常背景变化形态和固体潮观测精度较之以往有明显的提高,气压和降雨对观测资料的影响具有较强的典型变化图像。本文对 2003 年 1 月 1 日至 2008 年 12 月 31 日六合钻孔体应变观测资料的正常变化和观测精度进行研究,分析气压和降雨这二种主要干扰因素的基本变化规律,并给予一定物理意义的量化,讨论发生在该台预报效能范围内的 3 次中强地震的短临异常特征,特别是对于包括地震异常信息、降雨干扰信息等多因素引起的观测资料异常变化,用有物理意义的合理方式进行识别的方法。

1 测点地质概况

位于江苏省南京市六合地震台的 T J - 2 C 型体积式钻孔应变仪安装于 2002 年 8 月,测点位置北纬 32°30'54",东经 118°56'42"。大地构造单元上属于江南隆起的北部边缘,属中—新生代沉积盆地,覆盖层很薄,下为震旦系白云岩、灰岩与燕山期中酸性侵入岩互层,缺乏坚硬岩石。海拔高度 104 m,体应变钻孔深度 80.17 m,仪器探头安装在蚀变灰岩层中。图 1 为六合体应变钻孔柱状图。

2 资料选取及观测精度分析

研究选用的六合体应变 2003 年 1 月 1 日至 2008 年 12 月 31 日整点值观测资料来自江苏省地震前兆数据库,数据连续率达到 99%,观测精度达到 10<sup>-9</sup>,能记录到清晰的固体潮和远大震地震波,并对华东区域内的几次有感中强地震有一定的异常反映。降雨资料 2003 年 1 月 1 日至 2006 年 12 月 31 日来源于江苏省气象局六合观测站,2007 年以后来源于六合地震台辅助观测。

表 1 为六合体应变 6 年来的观测资料年变幅和用 V e n e d i k o v 调和分析计算的 M<sub>2</sub> 波潮汐因子、中误差和相对中误差的年均值。

岩体经打钻之后孔壁周围的岩石出现卸载现象,岩体应力重新分布,从而造成钻孔后初始地应力的变化,且不能恢复到钻孔前基本平衡的应力状

态<sup>[6]</sup>;加之仪器安装初期钻孔传感器由膨胀水泥密封,与地下岩体存在相互耦合过程,探头周围及探头

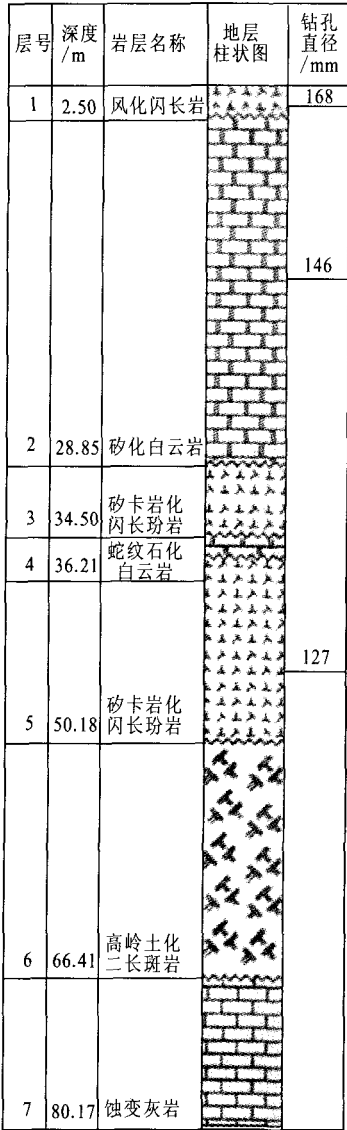


图 1 六合体应变钻孔柱状图

Fig. 1 The histogram of borehole volume strain in Liuhe seismic station.

表 1 六合体应变观测资料精度计算结果

| 年    | 年变幅    | 去零漂后  | M <sub>2</sub> 波 | 中误差     | 相对中误差   |
|------|--------|-------|------------------|---------|---------|
|      |        | 年变幅   | 潮汐因子             |         |         |
| 2003 | 49 474 | 8 986 | 1.627 1          | 0.021 1 | 0.013 0 |
| 2004 | 12 904 | 2 102 | 1.669 4          | 0.057 5 | 0.034 4 |
| 2005 | 14 670 | 5 240 | 1.619 8          | 0.011 5 | 0.007 1 |
| 2006 | 5 490  | 4 134 | 1.605 5          | 0.008 2 | 0.005 1 |
| 2007 | 2 806  | 2 580 | 1.692 1          | 0.007 2 | 0.004 3 |
| 2008 | 870    | 945   | 1.738 2          | 0.017 5 | 0.0101  |

内部力学状态需建立新的平衡机制;同时仪器系统自身的零漂或岩体的含水状态均会影响岩石构造应力的缓慢累积,造成记录曲线变化幅度较大,在一定

时段内呈线性变化,并不能真实的反映井孔周围的应力状态。表1可看出2003年的观测值呈线性快速上升变化,用直线拟合去除零漂后观测年变幅依然较大。随着观测时间增长仪器零漂减小,新的平衡机制形成,自2006年起观测资料趋于平稳,年变幅度逐年减小。计算评定观测资料内在精度的 $M_2$ 波潮汐因子、中误差和相对中误差,符合体应变观测规范的精度要求。

### 3 主要干扰因素影响

#### 3.1 气压对体应变观测的影响

对体应变观测影响较大的因素之一是气压的变化,气压影响系数与台址岩石的弹性模量、泊松系数有密切关系。气压在地壳内不同深度影响不同,在地下100 m时气压影响最大。理论上气压每增加 $1 \times 10^2$  Pa,应变值向压缩方向变化约 $1 \times 10^{-8}$  [7]。通过对体应变与气压的观测资料分析可知,不同周期气压波对体应变影响的特征不同,主要以年、月和日、半日周期气压波的作用最为显著。

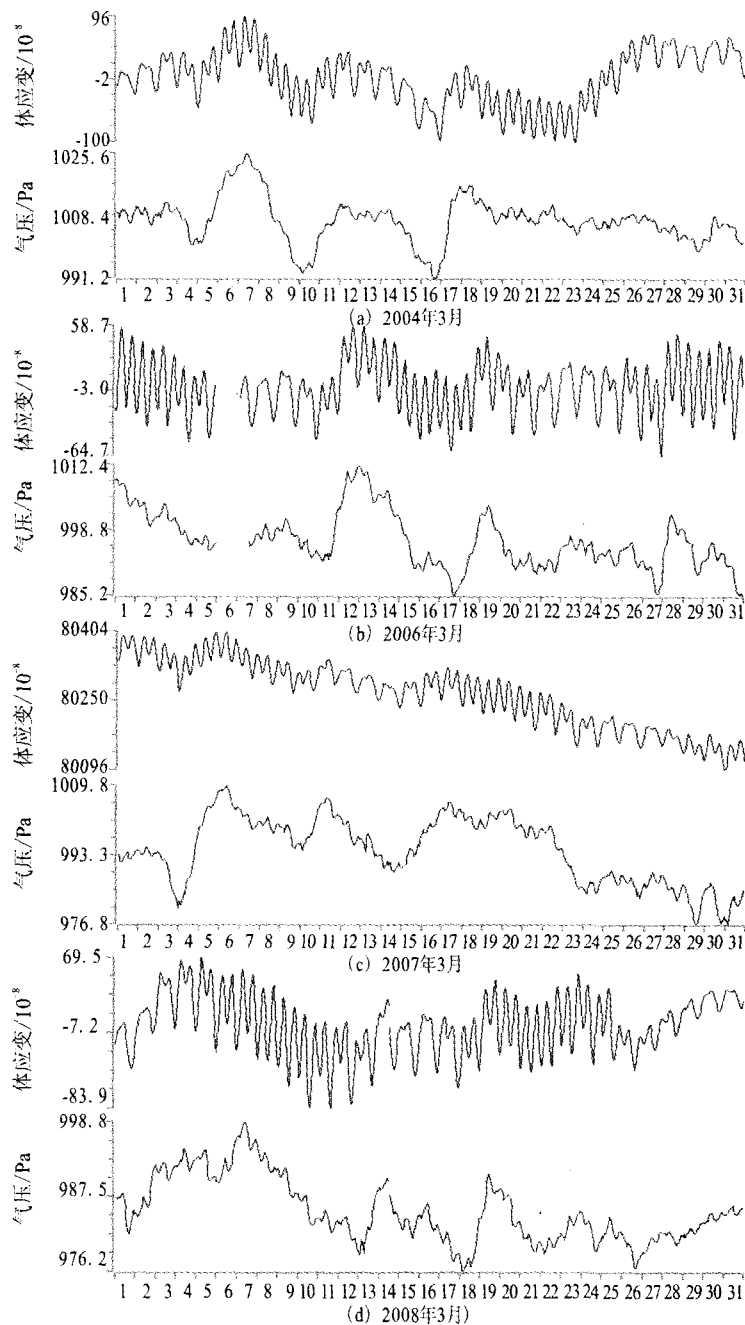


图2 六合体应变日均值曲线与气压日均值曲线关系图

Fig. 2 Comparison of daily values between the volume strain and atmospheric pressure at Liuhe seismic station.

在短临异常分析中短周期气压干扰影响相当突出,其变化一致性较好,气压效应有超前与滞后现象,一般可达 1 至 2 小时。选取基本没有降雨影响的 2004、2006、2007、2008 年每年 3 月的体应变与气压的日均值资料进行研究,用 2 阶一般多项式曲线拟合去除体应变趋势变化后,对比二个物理量的观测曲线(图 2),可发现变化形态基本一致。选取一元线性回归模型计算体应变和气压的相关系数:

$$\alpha(t) = a + bP(t) \quad (1)$$

其中  $\alpha(t)$  为体应变观测值;  $P(t)$  为气压观测值;  $b$  为回归系数;  $a$  为常数项。经计算六合体应变  $b = 1.0567(1 \times 10^{-10}/\text{Pa})$ 。考虑气压效应的超前或滞后影响,计算资料取用五日均值,计算结果(表 2)表明短周期气压变化与体应变的相关性较高,相关系数能达到 0.6~0.7 以上,特别是气压变幅越大相关性越好,以正相关为主。由此可知在日常资料分析时,与每月的固体大小潮汐变化类似,短周期气压的干扰影响容易识别和剔除。

表 2 六合体应变与气压五日均值相关系数

| 时间段     | 相关系数    |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
|         | 2004-03 | 2006-03 | 2007-03 | 2008-03 |
| 1—5 日   | 0.207   | 0.446   | 0.508   | 0.697   |
| 6—10 日  | 0.834   | 0.185   | 0.772   | 0.645   |
| 11—15 日 | 0.790   | 0.612   | 0.754   | 0.497   |
| 16—20 日 | 0.505   | 0.606   | -0.105  | 0.444   |
| 21—25 日 | -0.174  | 0.579   | 0.686   | 0.716   |
| 26—31 日 | 0.564   | 0.229   | 0.624   | 0.892   |

### 3.2 降雨对体应变观测的影响

降雨对观测资料的影响较为复杂,降雨的速率、持续时间、累计总量、地质条件、探头周边介质的导水能力等都会对体应变观测产生不同的影响,同时气压、地下水位、降雨三者又是互为作用的干扰因子<sup>[8]</sup>。为了讨论的深入,首先假设研究时间段的气压基本稳定;其次由于降雨必然导致水位的变化而引起孔隙压力的变化,也就导致了体应变测值的变化,地下水位和降雨可作为同一个影响因子并线性相关。

对比分析 2003 年至 2008 年的降雨量与体应变观测值,其影响可分为三类:当降雨量低于 50 mm/d 时,对观测值基本上没有影响;当降雨量在 51~150 mm/d 时,变化形态基本遵循上升—指数形式衰减—回到正常固体潮变化波动形态(图 3(a)),不同雨量会出现不同的体应变数据变化,时间上会出现一定的滞后,由于水的渗透需要一定时间,因而孔隙压力的增加是逐渐进行的;当降雨量大于 150

mm/d 时,气象学上称其为特大暴雨,可理解为降雨带来的荷载效应对观测点和仪器是一次直接受力过程,形成快速上升—下降的脉冲式变化,上升的体应变变化量约  $293 \times 10^{-8}$ ,衰减变化仍呈指数形式,只是持续时间较短,仅 2 天后便回至正常变化形态(图 3(b))。

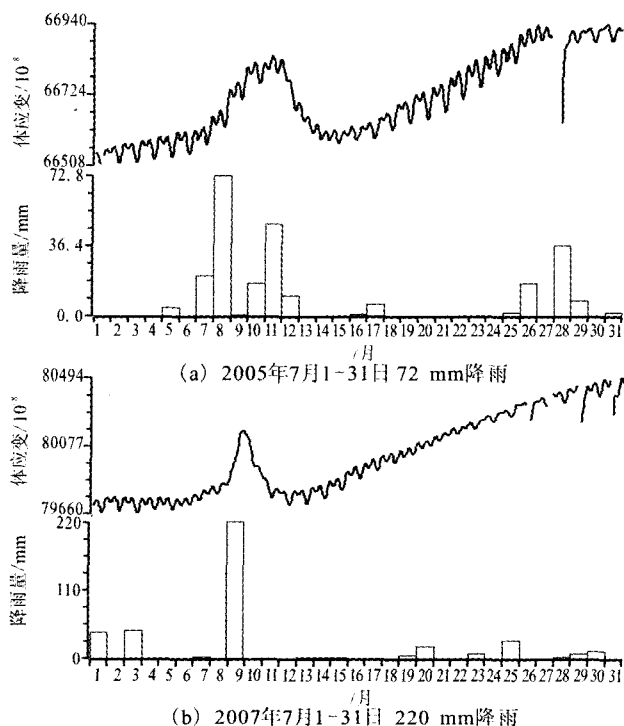


图 3 六合台降雨量与体应变观测曲线关系

Fig. 3 The relationship between rainfalls and volume strain curves at Liuhe seismic station.

统计六合体应变 72 个月内大于 50 mm 降雨时的体应变变化量,作降雨量和体应变变化量关系图(图 4),其中图 4(a)为降雨初期引起体应变增量变化图,图 4(b)为体应变恢复过程中变化量。降雨量在 50~150 mm 时大部分的体应变增量在  $100 \times 10^{-8} \sim 150 \times 10^{-8}$ ;达到高值回调时呈现指数形式衰减,持续时间较长,回调幅度较大,一般在  $100 \times 10^{-8} \sim 300 \times 10^{-8}$ ,且并不和上升变化一一对应。对这 14 次降雨引起上升变化和下降变化过程分析,不一一对应主要原因有二:①对于体应变增量较小的一些变化回调图像不显著;②日降雨速率也有一定的调制作用,如降雨速率慢,岩体孔隙渗透能及时释放降雨引起的压应力,回调也就不显著。

为了定量地分析体应变对降雨的响应情况,引入降雨干扰系数  $\beta$  和降雨效率  $\eta$  进行讨论<sup>[9]</sup>,设降雨量为  $w(\text{mm})$ ,由其产生的体应变增量为  $\Delta\alpha(1 \times 10^{-8})$ ,产生增量的时间为  $\Delta t(\text{d})$ ,则

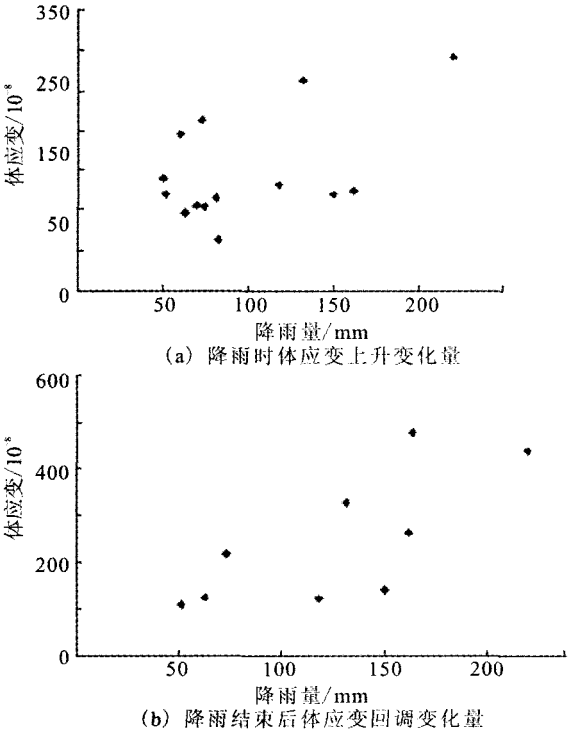


图 4 不同降雨量引起的体应变变化量统计图  
Fig. 4 The statistical diagrams of volume strain variation due to different rainfalls.

降雨干扰系数:  $\beta = \Delta\alpha / w$  (2)

降雨效率:  $\eta = \beta / \Delta t$  (3)

计算六合体应变在日降雨量大于 100 mm 时的降雨系数  $\beta$  和降雨效率  $\eta$ , 结果如表 3。分析表 3 的各组数据可知, 六合体应变对不同降雨模式的降雨效率是有一定差距的。

表 3 六合体应变降雨系数  $\beta$  和降雨效率  $\eta$

| 时间         | $w/\text{mm}$ | $\Delta\alpha / 1 \times 10^{-8}$ | $\Delta t(\text{d})$ | $\beta/[1 \times 10^{-8}/\text{mm}]$ | $\eta/[1 \times 10^{-8}/\text{mm} \cdot \text{d}]$ |
|------------|---------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 2003-07-06 | 219           | 265                               | 0.5                  | 1.21                                 | 2.42                                               |
| 2005-09-04 | 150           | 120                               | 2.0                  | 0.80                                 | 0.40                                               |
| 2007-07-09 | 220           | 293                               | 0.5                  | 1.33                                 | 2.66                                               |
| 2007-09-20 | 162           | 124                               | 1.5                  | 0.76                                 | 0.51                                               |
| 2008-07-30 | 118           | 89                                | 1.0                  | 0.75                                 | 0.75                                               |
| 2008-08-02 | 164           | 110                               | 1.5                  | 0.67                                 | 0.45                                               |

2003 年和 2007 年分别有一次特大暴雨, 根据气象部门的整点值降雨数据, 219 mm 和 220 mm 的降雨过程基本上是在半天内完成的, 降雨效率高干扰系数大, 对体应变的影响非常显著。其回调过程很快, 二天之内这次的干扰影响就消失, 背景变化和固体潮形态回到正常形态(图 3(b)), 因此在降雨量很大时引起岩体孔隙压力的改变是突发性的, 体应变观测值出现的变化相当同步。

累计降雨量较大时( $\geq 100$  mm), 降雨效率并不

与降雨量成正比, 更多的决定于降雨方式和降雨持续时间。如 2008 年 7 月的降雨量为 118 mm, 降雨持续时间为 24 小时。2005 年 9 月和 2007 年 9 月的降雨量为 150 mm 和 162 mm, 虽然这二次的降雨量大于 2008 年 7 月, 但累计这些降雨量的时间分别是 48 小时和 36 小时, 相比而言是较缓慢的一种降雨形态, 降雨效率低于 2008 年 7 月的 0.75。

因此可认为降雨对体应变的影响与降雨过程、降雨量及降雨时间等有密切的关系。由于水的渗透需要一定时间, 孔隙压力的增加是逐渐进行的, 所以体应变对降雨的响应存在延迟效应。持续降雨只有积累到一定程度(外在因素), 才能促成固体潮畸变, 这一过程虽然较为复杂, 但它们之间的内在响应仍有一定的规律可寻。

4 几次中等地震的短临异常讨论

六合体应变对区域内中等地震有 1~2 月的突出短临异常变化, 是在对资料的反复深入分析中逐步认识到的, 同时在 2007 年 5 月 6 日响水 4.0 级地震的震前短临预测取得了一定的实效。本文根据 4 级地震有效映震范围 200 km 左右、5 级地震有效映震范围 300 km 左右、6 级地震有效映震范围 400 km 左右<sup>[10]</sup>的钻孔体应变有效范围, 选取有典型意义的 3 次地震短临异常进行讨论(表 4)。

表 4 短临异常分析选用地震

| 编号 | 地震时间       | 地震名称 | 震中位置                   |                        | 震级 / $M_L$ | 震中距 /km |
|----|------------|------|------------------------|------------------------|------------|---------|
|    |            |      | 纬度/ $^{\circ}\text{N}$ | 经度/ $^{\circ}\text{E}$ |            |         |
| 1  | 2005-11-26 | 江西九江 | 29.72                  | 115.72                 | 5.7        | 410     |
| 2  | 2006-07-26 | 安徽定远 | 32.53                  | 117.62                 | 4.7        | 116     |
| 3  | 2007-05-06 | 江苏响水 | 34.20                  | 119.65                 | 4.0        | 210     |

4.1 江西九江 6.0 级地震

2005 年 11 月 26 日江西九江发生  $M_L 5.7$  地震, 位于六合台西南约 400 km。六合体应变资料在震前 10 天在没有任何显著外力作用和降雨气压等干扰影响下改变正常零漂背景变化, 于 11 月 15 日出现转折向下, 至 24 日 10 天内平均每日下降  $88 \times 10^{-8}$ , 总计下降幅度约  $809 \times 10^{-8}$ , 24 日开始转折回升, 转向两天后, 即 11 月 26 日发生 5.7 级地震, 震后处于缓慢上升应力恢复调整时期(图 5)。

4.2 安徽定远 4.7 级地震

2006 年 7 月 26 日安徽定远 4.7 级地震期间, 在受到较大降雨干扰影响的背景下, 六合台出现了变化形态既与九江地震异常图像相似, 也与降雨的基本形态“上升—指数形式衰减”一致的异常图像(图 6)。自 6 月中旬以来六合地区进入雨季, 7 月 2

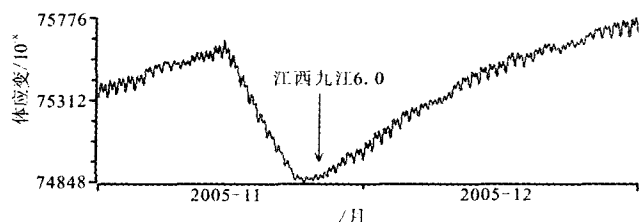


图5 2005年11月26日江西九江  $M_L$  5.7地震前后六合体应变异常

Fig. 5 Abnormality of volume strain at Liuhe station before and after Nov. 26, 2005, Jiujiang  $M_L$  5.7 earthquake.

日38 mm的降雨引起体应变观测值的一个小幅增量上升后开始转折呈指数形式下降,在此期间7月5日48 mm的降雨也可从图中识别出一个小幅上升,但由于回调的量值大于上升的增量,因而变化不突出;7月8日达到最低值后回升,与六合体应变受降雨影响呈现的形态完全一致;随后7月20日六合地区出现了更大一次的暴雨,降雨量达到96 mm,7月19日和7月20日累计降雨达到137 mm,在7月22日观测曲线开始转折快速下降变化,出现固体潮畸变。由于有此干扰在日常会商分析时一直判定为降雨干扰,但在下降4天后也就是7月26日即发生了安徽定远  $M_L$  4.7地震。

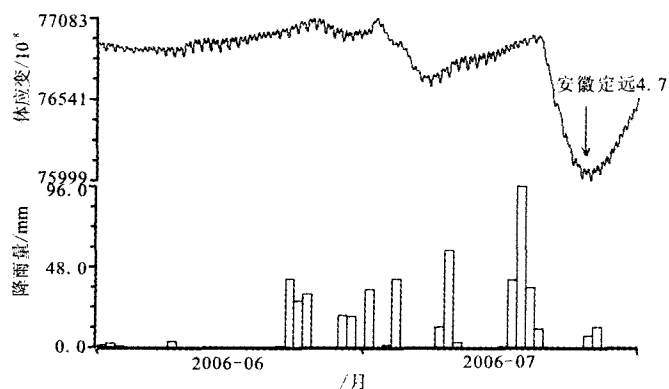


图6 2006年7月26日安徽定远  $M_L$  4.7地震期间六合体应变异常和降雨量

Fig. 6 Abnormality of volume strain at Liuhe station before July 26, 2006, Dingyuan  $M_L$  4.7 earthquake and rainfall.

即使现在回顾性分析,在当时背景下仅希望依靠变化图像对这次地震短临异常做出判断也是很困难的。对这种多因素引起的异常变化判定,需要用有物理意义的合理方式进行分别识别。运用公式(2)、(3)和表3的计算结果,可近似地参考2005年9月4日的降雨效率 $\eta$ 。2005年9月4日在2日内

降雨量为150 mm,与本次2日内降雨量137 mm相近,取降雨效率 $\eta = 0.40 / \text{mm} \cdot \text{d}$ ,计算出体应变受降雨干扰影响的变化量约为 $\Delta\alpha = 109 \times 10^{-8}$ ,在此异常期间体应变变化幅度累计为 $956 \times 10^{-8}$ ,扣除降雨干扰影响量,则变化量为 $847 \times 10^{-8}$ ,到7月26日最低值时日均变化为 $141 \times 10^{-8}$ ,即在扣除降雨对体应变干扰的增量之后,异常变化幅度和变化形态依旧存在。

### 4.3 江苏响水4.0级地震

2007年5月6日江苏响水4.0地震前,4月9日六合体应变观测值出现了快速转折下降。这次的异常较易判定,与九江地震震前一样,没有任何显著外力作用和降雨气压等干扰影响下,异常变化持续时间长变化幅度大(图7),对此异常4月17日召开紧急会商会,明确提出了预报意见<sup>①</sup>;在4月25日月会商时六合体应变观测值总变化量为 $1046 \times 10^{-8}$ ,平均日变幅为 $70 \times 10^{-8}$ ,且仍处于异常变化发展阶段,需密切关注省内近期中地震的发生<sup>②</sup>;江苏省地震局在4月30日召开全省市地震局长和地震台长会议,通报近期震情和异常情况,要求各单位做好地震监测和应急准备工作。之后5月6日发生响水4.0级有感地震。

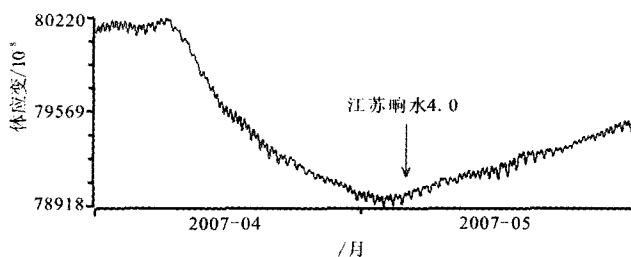


图7 2007年5月6日江苏响水  $M_L$  4.0地震期间异常

Fig. 7 Abnormality before May 6, 2007, Xiangshui  $M_L$  4.0 earthquake.

## 5 结论和讨论

(1) 六合体应变观测资料主要受气压和降雨的干扰影响,且干扰系数较大。气压干扰在各个季节均存在,时间上往往表现为准同步或体应变较气压变化超前或滞后1~2小时,相关系数能达到0.6~0.7以上,以短周期的正相关干扰影响为主,在资料

① 江苏省地震局. 江苏省临时会商地震监测报告第1期. 2007.

② 江苏省地震局. 江苏省周、月地震监测报告第20、21期. 2007.

分析中容易识别和排除;降雨对体应变的影响与降雨过程、降雨量及降雨时间等有密切的关系,总体上遵循“快速抬升—指数形式衰减—缓慢恢复到正常背景变化”形态,但对不同的降雨过程又呈现出一定的差异,虽然较为复杂,但它们之间的内在响应仍有一定的规律可寻。

(2) 六合体应变观测是一种较好的地震短临异常监测手段,对区域内中强地震有1~2月的突出短临异常变化。在无任何外界干扰因素影响情况下,地震短临异常较易识别;在有降雨等外界干扰因素影响时观测资料的异常变化,需用干扰系数和干扰效率对干扰增量进行排除。

(3) 通过对六合体应变的降雨和中强地震短临异常图像讨论,可知该观测点和观测仪器对地下岩石在受到一定强度的外力挤压或者在荷载发生变化时均有典型变化,且多以3个月内的短临异常为主。但由于六合地震台位于苏浙皖交界地区,地震活动水平本身偏低,周边也没有更多的钻孔体应变台进行同步观测,对取得更多更准的地震预测实效带来较大的困难,但在资料的深入研究上仍做出了积极的探索。

### [参考文献]

- [1] 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):415-421.
- [2] 高福旺,李丽,牛安福,等.对体应变干扰因素的识别及排除[J].地震,2004,24(增刊):90-97.
- [3] 杜品仁.气压变化及其对壳形变和深井水位的影响[J].地球物理学报,1991,34(1):73-81.
- [4] 陆明勇,牛安福,鲁德顺,等.地壳形变与地下水动态异常特征研究进展[J].西北地震学报,2005,27(1):89-95.
- [5] 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,2003,26(3):231-238.
- [6] 孔礼健,朱元清,尹纪尧.钻孔对初始应力场扰动影响的初步研究[J].西北地震学报,2009,31(2):131-135.
- [7] 丁风和,赵铁锁,九占军,等.大甸子井水位的气压系数及其震前异常[J].西北地震学报,2007,29(2):174-182.
- [8] 张绍治,拾礼勤.徐州台体应变动态观测干扰因素的分析与信息提取[A]//地震预报方法实用化研究文集——形变、重力、应变专集[G].北京:地震出版社,1991:535-541.
- [9] 张凌空.降雨对体应变的干扰[J].地壳形变与地震,1995,4(3):78-83.
- [10] 国家地震局预测预防司.地壳形变分析预报方法[M].北京:地震出版社,1998:72-91.

(上接70页)

### 3.3 宏观异常与地震预报

汶川地震前在甘肃陇南地区的其它地震前兆异常并不明显,因此实现地震预报显然是十分困难的。然而这次地震前在陇南地区却出现了相当数量的宏观异常,而且在异常时空分布特征中所隐含的发展地点与时间的信息也相当明显。因此,如果开展宏观异常观测和重视宏观异常信息的研究,则有可能在震前作出一定程度的地点和时间的预报。

### [参考文献]

- [1] 安徽省地震局.宏观异常与地震[M].北京:地震出版社,1978.
- [2] 国家地震局预测预防司.地震宏观异常预报方法[M].北京:地震出版社,1997.
- [3] 刘五洲,车用太,张北—尚义地震宏观异常的震后调查及分析[J].地震地质,1998,(2):183-188.

- [4] 国家地震局编写组.一九七六年唐山大地震[M].北京:地震出版社,1982:315-343.
- [5] 朱凤鸣,吴戈.一九七五年海城地震[M].北京:地震出版社,1982.
- [6] 陈立德,赵维城.一九七六年龙陵地震[M].北京:地震出版社,1979.
- [7] 代炜,严武建,马占虎.2008年3月30日甘肃肃南5.0级地震特征[J].西北地震学报,2010,32(3):307-312.
- [8] 刘小凤,张辉,梅秀苹,等.甘东南地区震情预警指标模型及方案研究[J].西北地震学报,2010,32(3):237-243.
- [9] 肖武军,关华平.汶川8.0级地震以及其它大地震前的地电阻率异常特征[J].西北地震学报,2009,31(4):349-354.
- [10] 聂永安,姚兰予,赵国敏.大震前宏观异常的机理研究[J].西北地震学报,2009,31(2):196-200.
- [11] 王爱国,杨晓鹏,等.汶川Ms8.0地震对甘肃陇东地区的破坏影响与特征分析[J].西北地震学报,2009,31(1):80-85.