

湖北巴东 Ms5.1 地震前宜昌台 洞体应变观测资料变化原因分析^{* 1}

蒋玲霞^{1,2)} 孙伶俐^{1,2)} 李明^{1,2)} 罗俊秋^{1,2)} 戴苗^{1,2)}

(1)湖北省地震局,武汉 430071

(2)中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室),武汉 430071)

摘要 采用常规数值方法与小波变换方法对巴东 Ms5.1 地震前宜昌台洞体应变资料的异常变化现象进行分析,结果表明存在超过 2 倍均方差现象,异常起始时间与台站附近土石方开挖起始时间一致。用地表集中荷载模型计算土石方开挖引起的荷载变化对应变的影响,结果表明,理论值比实际观测值小一个数量级,因此该异常变化不能仅归结于土石方开挖引起的荷载变化,可能存在其他干扰因素或地壳应力的变化。

关键词 洞体应变;小波变换;荷载模型;巴东 Ms 5.1 地震;地壳应力变化

中图分类号:P315.7

文献标识码:A

ANALYSIS FOR CHANGES OF CAVE STRAIN DATA AT YICHANG SEISMOSTATION BEFORE Ms5.1 BADONG EARTHQUAKE

Jiang Lingxia^{1,2)}, Sun Lingli^{1,2)}, Li Ming^{1,2)}, Luo Junqiu^{1,2)} and Dai Miao^{1,2)}

(1)Earthquake Administration of Hubei Province, Wuhan 430071

(2)Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071)

Abstract The data of cave strain at Yichang Seismostation before the Ms 5.1 Hubei-Badong earthquake were analyzed with conventional numerical method and wavelet transform method. The result shows the start time of excavation near by was consistent with the time when the abnormal appeared. However, the mean square variance of observation values was larger than that caused by excavation as 2 times. Therefore the abnormal related to not only the load fluctuation of excavation, but also to other confounding factors or crustal strain changes.

Key words: cave strain; wavelet transform; load model; Ms5.1 Badong earthquake; crustal strain change

1 观测台站及资料概况

宜昌台洞体应变仪位于宜昌地震台院内的形变观测山洞内。山洞基岩为白垩纪下统石门组砾岩,砾岩胶结完整。仪器洞深约 200 m,覆盖层厚 35 m,洞室温度恒定,全年平均温度为 18.02 ℃。宜昌台山洞洞体条件优越,洞体岩石坚硬,山顶植被茂盛;山洞 10 km 范围内无大中小型水库,观测区 1 km 范

围内无抽、注水活动。山洞距主街道 1 km,距居民住宅楼 300 ~ 500 m。5 km 范围内无采矿和爆破点,3 km 范围内无大型矿区和大型振动源,1.5 km 范围内无输变电站、高压线和无线发射台,十分适合开展地形变观测工作。

宜昌台洞体应变仪为 2001 年安装的数字化观测仪器。经过多年的观测运行,仪器工作稳定,资料连续可靠,能够清晰地记录固体潮变化,地应变日变

* 收稿日期:2014-03-20

作者简介:蒋玲霞,女,1982 年生,硕士,主要从事地壳形变观测技术研究。E-mail:jlx608@126.com。

固体潮曲线清晰、光滑;受季节影响明显,有明显的季节变化特征。

2 趋势异常

宜昌台形变观测洞体应变年变特征如图 1。往年观测资料一般遵循一定的规律,即每年 3~4 月出现固体潮高值,处于转折下降呈压性变化;每年的 10~11 月出现固体潮低值,处于开始上升呈张性变化。图 2 为 SS-Y 洞体应变东西分量年变规律。从图 2 可见,2013 年东西分量年变幅度增大、相位提前。

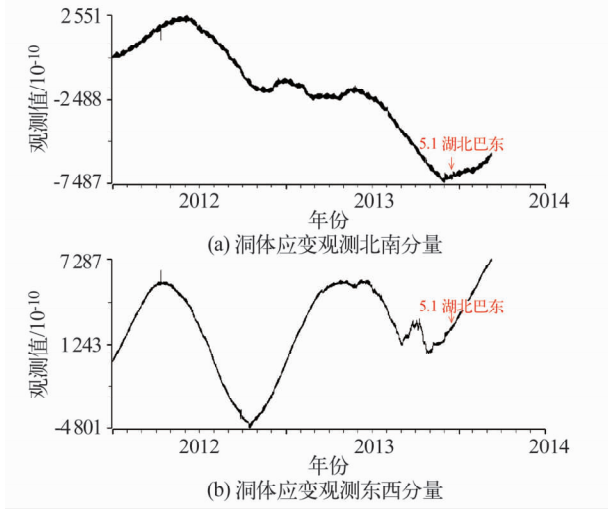


图 1 洞体应变 NS、EW 分量整点值观测曲线
Fig. 1 Annual trend of the hourly of NS and EW component of Cave strain at Yichang seismostation

2013 年 7 月以来,其洞体应变 EW 分量发生破年变异常现象,表现为在原有背景上由压性变为张性上升变化,再转为压性的变化过程。观测值明显偏离正常值,应变的张性和压性变化量已分别达到 -1.52×10^{-7} 、 2.52×10^{-7} ,变化幅度约为往年正常年的 3 倍(图 1)。相位提前约 2 个月,于 2013 年 9 月提前转折。异常出现在巴东 Ms5.1 地震前约 106 d,转折出现在发震前 40 d,在转折恢复中发生地震。

3 异常调和分析与小波分析

洞体应变 EW 分量由于具有较好的年周期形态,我们采用潮汐分析、非潮汐分析提取高频信息,以消除相关干扰因子的影响和资料中的周期成分。小波分析^[1]方法可给出不同尺度下信号分解的近似和细节部分,因此,在数据分析时以不同尺度的近似和细节部分的正常背景为依据,判断观测数据是否存在长期和短期异常。分析时我们选用正则性较好的 daubechies 小波进行分析。两种方法处理结果如图 3、图 4 所示。

图 3 潮汐调和与分析结果显示,在 2013 年 7 月底

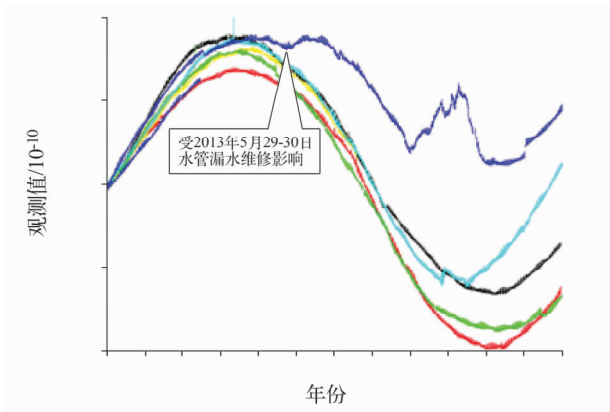


图 2 洞体应变 EW 分量整点值年变观测曲线
Fig. 2 Annual trend of the hourly of EW component of cave strain at Yichang seismostation

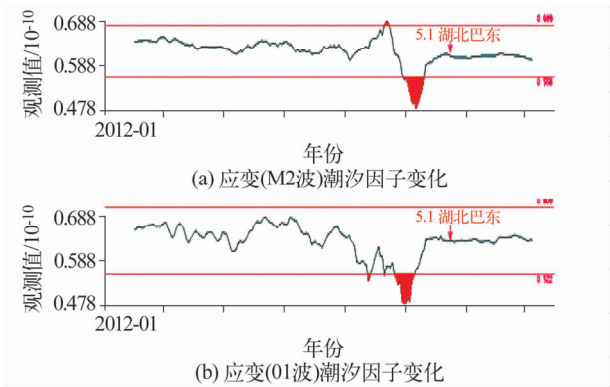


图 3 潮汐处理结果
Fig. 3 Results of earthtide processing

潮汐因子开始加速下降,11 月初又开始上升,12 月开始逐渐平稳变化,7~10 月潮汐因子超过 2 倍均方差,说明 EW 分量高频信息有所增强。图 4 显示,细节部分长周期第 6 层(64~128 h)在 2013 年 9~11 月出现超 2 倍方差的异常。

对该异常现象,经过核查,基本可以排除观测系统故障,或观测洞室温度变化、外界环境温度变化、降雨量等因素的影响(表 1,图 5)^[2-4]。

台站外围观测环境调查发现,自 2013 年 7 月起,台站附近有多处土石方开挖活动。这些土石方工程距台站最近的仅 0.2 km,最远的约 0.8 km,最大开挖量约 2 500 m³。为确定这些土石方开挖活动对台站应变观测的影响,利用岩石开挖荷载模型进行定量分析。

4 岩石开挖荷载模型计算分析

用三维无限半空间边界上作用集中载荷模型,可以精确计算出山体岩石开挖对形变观测的影响。其计算公式为^[5-7]:

表 1 洞体应变 EW 分量年变趋势与累计降雨量统计表

Tab.1 Statistics of the annual variation amplitude and the accumulated rainfall of EW component of cave strain at Yichang seismostation

时间	年累计降雨量/mm	年平均温度变化/℃	洞室内年平均温度变化/℃	EW 分量转折日期	
				由张向压	由压向张
2007-06 ~ 12	428.6	21.58	16.86	04-18	10-28
2008-01 ~ 12	596.6	16.00	17.83	4-19	11-08
2009-01 ~ 12	985.1	19.95	17.97	04-13	11-03
2010-01 ~ 12	1 277.4	19.66	17.20	04-26	10-27
2011-01 ~ 12	979.9	18.76	17.83	04-17	11-09
2012-01 ~ 12	873.9	19.53	17.95	04-18	10-17
2013-01 ~ 12	842.3	18.49	17.87	05-10	09-01/11-05

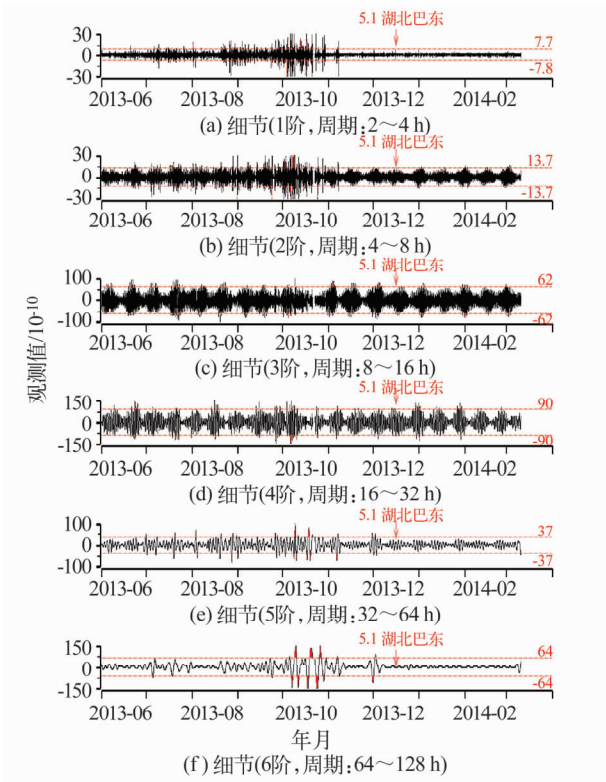


图 4 小波分析结果

Fig. 4 Results analyzed with wavelet

$$u = \frac{Fxz}{4\pi GR^3} - \frac{Fx}{4\pi R(G + \lambda)(R + z)} \tag{1}$$

其中, u 表示 x 水平方向的位移, F 为垂直地面的集中荷载力, $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, G 和 λ 是拉梅常数, 它们可以由虎克定律得:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}, \lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \tag{2}$$

式中 ν 为泊松比, E 为杨氏模量。

集中荷载对应变产生的影响, 只需要计算出水平方向的应变 $e_x = \frac{\partial u}{\partial x}$, 即

$$e_x = \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{3Fx^2z}{4G\pi R^5} + \frac{Rz}{4G\pi R^3} + \frac{Fx^2}{4\pi R^2(z + R)^2(G + \lambda)} +$$

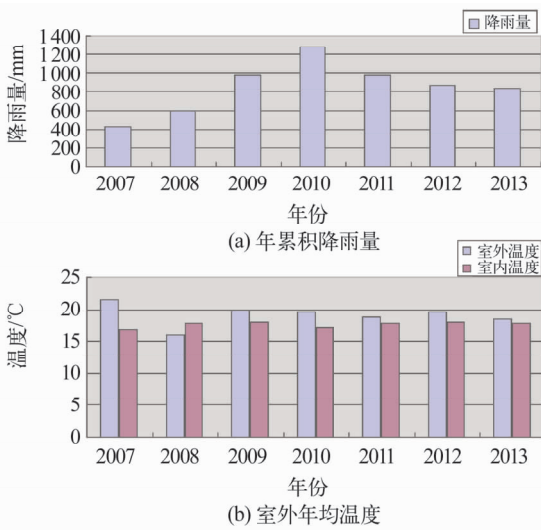


图 5 2007 ~ 2013 年降雨量、环境温度、洞室内温度统计
Fig.5 The rainfall, environment and room temperature at Yichang seismostation in 2007-2013

$$\frac{Fx^2}{4\pi R^3(z + R)^2(G + \lambda)} - \frac{F}{4\pi R(z + R)(G + \lambda)} \tag{3}$$

由于是在地面进行岩石开挖施工, 取 $y = 0$, 黄土的泊松比取 $\nu = 0.44$, 黄土的杨氏模量取 $E = 8 \times 10^6$ Pa。假定岩石开挖的距离不变, 根据上述三维荷载模型, 模拟出岩石开挖阶段的荷载变化与应变变化的关系曲线(图 6)。

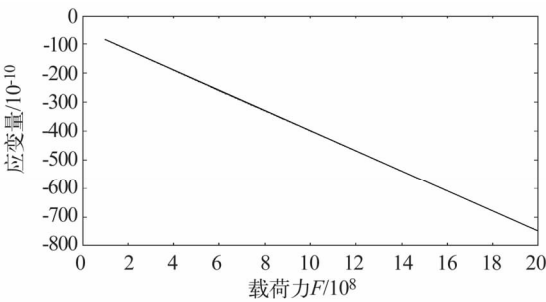


图 6 荷载与应变的理论关系图
Fig.6 Theoretical relation of load and strain

由于施工地点分布不均匀,且各处施工进度时间不一致,计算时将所有施工开挖的土石进行简单累加,得到开挖总量约 $3.41 \times 10^4 \text{ m}^3$, 约合 $8.184 \times 10^4 \text{ t}$ 。由此计算出的开挖活动对宜昌台产生的体应变变量约为 -3.3644×10^{-8} , 该应变变量与实际观测所得的 $(-1.52 \times 10^{-7}, 2.52 \times 10^{-7})$ 小一个数量级。因此,宜昌台 2013 年 9~11 月体应变 EW 分量的异常变化不能简单地归结于岩石开挖引起的荷载变化。

5 结 语

潮汐调和分析与小波分析结果均显示,自 2013 年 7 月尤其是 7 月以来,宜昌台 SS-Y 洞体应变 EW 分量潮汐因子有超过 2 倍均方差现象,小波长周期第 6 层(64~128 h)在 2013 年 9~11 月间出现超 2 倍方差的异常。这两种方法所反映的异常信息与施工时间较为一致。然而,通过三维荷载模型计算出来的应变变量比实际观测到的应变变量小一个数量级,所以 2013 年 9~11 月宜昌台洞体应变 EW 分量的异常变化不能仅仅只归结于岩石开挖活动,可能存在其他因素,或者与地壳应变变化有一定关系。

参 考 文 献

1 李杰,等. 利用小波变换方法分析形变观测资料的正常背景变换特征[J]. 地震学报,2005(1):33-41. (Li Jie, et al. Analyses on normal background characteristics about deformation observation data on the basis of wavelet transform method[J]. Acta Seismologica Sinica, 2005,27(1):33-41)

2 王梅,等. 数字化形变观测干扰识别[J]. 大地测量与地球

动力学,2004(1):94-98. (Wang Mei, et al. Identification of disturbance of digital deformation observations[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004(1):94-98)

3 袁曲,等. 三峡与葛洲坝水库泄洪冲沙对宜昌台形变观测的干扰[J]. 大地测量与地球动力学,2009(增刊 I):84-89. (Yuan Qu, et al. Influence of flood discharge and sand scouring of three gorges reservoir and Gezhouba reservoir on deformation observation at Yichang seismostation[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2009(1):84-89)

4 袁曲,等. 伸缩仪台站维护管理要点分析[J]. 大地测量与地球动力学,2007(专刊):156-158. (Yuan Qu, et al. Analysis on station maintenance and management of extensometer[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007(Spec):156-158)

5 胡卫建,等. 荷载对钻孔应变测值影响的实验及力学解析[J]. 地震,2002(3):95-104. (Hu Weijian, et al. Experimental result and theoretic analysis concerning the borehole strain responding to the load on Earth's surface[J]. Earthquake, 2002,22(3):95-104)

6 邱泽华. 钻孔应变观测点到地面荷载干扰源最小“安静”距离的理论分析[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(23):4063-4067. (Qiu Zehua. Theoretic studies on the shortest 'quiet' distance between borehole strain observatory site and surficial mechanical disturbance sources[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004,23(23):4063-4067)

7 马栋,等. 荷载对钻孔应变观测影响的实例分析[J]. 地震研究,2014,37(1):79-85. (Ma Dong, et al. Example analysis of influence of load on the borehole strain observation[J]. Journal of Seismological Research, 2014,37(1):79-85)

(上接第 38 页)

究[J]. 地壳形变与地震,1996(1):72-78. (Gan Jiasi, Liu Suowang. In vestigation advance of the Wuduhe fault in the Huangling block[J]. Crustal Deformation and Earthquake,1996(1):72-78)

7 李安然,等. 鄂西三峡区域重力场特征及其地震构造意义[J]. 地震地质,1987,9(3):71-78. (Li Anran, et al. Characteristics of gravity field in the Three-Gorge region, western Hubei Province and its seismotectonic significance[J]. Seismology and Geology,1987,9(3):71-78)

8 廖武林,等. 三峡地区 P 波速度层析成像研究[J]. 大地测量与地球动力学,2007(3):80-84. (Liao Wulin, et al. Tomographic imagery of P wave velocity structure in Three Gorges region[J]. J Geod Geodyn,2007(3):80-84)

9 张毅,等. 三峡地区中上地壳密度结构[J]. 地球科学,2012,37:213-222. (Zhang Yi, et al. Density structure of upper and middle crust in Three Gorges reservoir area[J]. Earth Science,2012,37:213-222)

10 程振炎,等. 均衡重力异常计算方法 [J]. 物探与化探,1985,9(5):340-346. (Cheng Zhenyan, et al. Computing method for isostatic gravity anomalies [J]. Geophysical and Geochemical Exploration,1985,9(5):340-346)

11 Wei Jin. Analytical study on abnormal change intime _variable gravity at Yichang seismostation before the M5.1 Badong earthquake [J]. Geodesy and Ceodynamics, 2014(1):55-63.