

樊冬, 赵希磊, 丁雨, 等. 多时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压效应的响应分析[J]. 华南地震, 2019, 39 (2): 43-50. [FAN Dong, ZHAO Xilei, DING Yu, et al. Response Analysis of SS-Y Extensometer to Pressure Effect in Multi-time Scale[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(2): 43-50]

多时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压效应的响应分析

樊冬¹, 赵希磊², 丁雨¹, 谢庆², 严吉³, 周志⁴, 朱厚林⁴

(1. 安徽省淮北地震台, 安徽 淮北 235000; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031; 3. 安徽省泾县地震台, 安徽 宣城 242000; 4. 安徽省佛子岭地震台, 安徽 六安 237000)

摘要: 整理淮北台 2014 年以来 SS-Y 伸缩仪观测资料, 分析其在年、月、日和短时(数十分钟)不同时间尺度下对气压效应响应的差异, 通过建立适当的数学模型拟合出相应的响应曲线, 结果表明: 在短周期时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压效应的修正方程改进效果显著。

关键词: SS-Y 伸缩仪; 气压效应; 地壳应变; 时间尺度; 干扰特征分析

中图分类号: TU43 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662(2019)02-0043-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.02.007

Response Analysis of SS-Y Extensometer to Pressure Effect in Multi-time Scale

FAN Dong¹, ZHAO Xilei², DING Yu¹, XIE Qing², YAN Ji³,
ZHOU Zhi⁴, ZHU Houlin⁴

(1. Huaibei Seismic Station, Huaibei 235000, China; 2. Anhui Earthquake Agency, Hefei 230031, China; 3. Jingxian Seismic Station, Xuancheng 242000, China; 4. Foziling Seismic Station, Lu'an 237000, China)

Abstract: According to the observation data of SS-Y extensometer at Huaibei Seismic Station since 2014, the differences of its response to air pressure effect in different time scales of year, month, day and short-time (tens of minutes) are analyzed. And by establishing appropriate mathematical model, a corresponding response curve is fitted. The results show that the modified equation of pressure effect can be improved obviously by SS-Y extensometer in the short-time scale.

Keywords: SS-Y extensometer; Pressure effect; Crustal strain; Time scale; Analysis on interference characteristics

收稿日期: 2017-12-27

基金项目: 中国地震局“三结合”课题(161201)、安徽省地震科研基金(20180413)、安徽省地震局“场带站”科研专项联合资助

通讯作者: 樊冬(1985-), 男, 本科, 工程师, 主要从事地震监测、形变观测与研究。

E-mail: 1312723090@qq.com.

0 引言

气压的畸变通过与大地的耦合所产生的短临动力作用对大地形变的影响,成为地壳表面上最重要的快速加卸载源,可以作为一种短临动力对非稳定地体的控震问题进行研究^[1]。伸缩仪作为精密测量地壳岩体水平方向上两点间距离相对连续变化的仪器,能够为研究地震孕育过程提供重要依据^[2-3],其固定端、测量端仪器装置和地面直接刚性连接,和地面震动是全频带响应。目前分析气压对 SS-Y 伸缩仪的影响,多为定性分析^[4-8],少部分涉及定量分析,如张文来等认为应变观测值波动与气压变化呈正比,气压变化是伸缩仪日变观测曲线畸变的主要因素之一;卢双苓等对泰安地震台伸缩仪运行分析结果显示,伸缩仪受气压影响主要以短周期微动态干扰导致固体潮畸变为主。笔者对淮北地震台 SS-Y 伸缩仪的观测资料研

究发现,气压影响也最为显著,且气压在短时间内扰动可以引起 SS-Y 伸缩仪数据的同步变化^[9-11]。本文在年、月、日及短时(数十分钟)等不同时间尺度下研究 SS-Y 伸缩仪对气压变化的响应特征,建立气压干扰的数学解析式,在一定程度上剔除气压因素干扰,希望能够为识别地震前兆异常提供一些帮助。

1 观测概况

淮北地震台形变观测山洞位于 4A 景区的相山公园内,座落在相山背斜南翼,洞体为奥陶系灰岩,于 2006 年 08 月安装了 SS-Y 型钢瓦棒伸缩仪,并布设于密封腔体内,设有 NS、EW 分量。SS-Y 伸缩仪目前处于稳定运行状态,可清晰记录固体潮曲线,有较好映震效果。

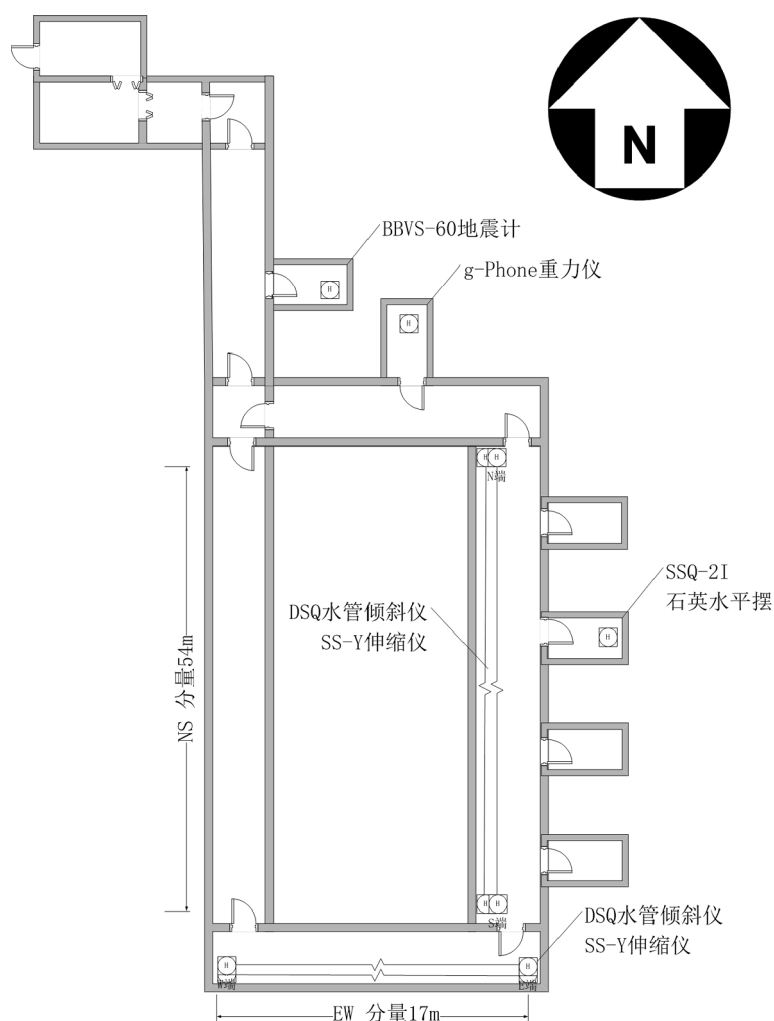


图 1 淮北台形变观测山洞仪器布设示意图

Fig.1 Diagram of instrument layout for deformation observation cave at Huaibai Seismic Station

表 1 淮北台 SS-Y 伸缩仪的主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of SS-Y extensometer at Huaibai Seismic Station

仪器名称	型号	分量	基线长度/m	在用格值/mV	分辨力	漂移/年	采样率	样点/min
伸缩仪	SS-Y	NS	54	3.2292×10^{-10}	优于	$<10^{-6}$	1	
		EW	17	10.699×10^{-10}	1×10^{-9}			

注：标定时间为 2017 年 06 月 16 日

2 SS-Y 伸缩仪工作原理^[12-13]

SS-Y 伸缩仪工作原理及结构示意图如下，其观测到的水平方向上两点间单位长度相对变化量即为应变量。

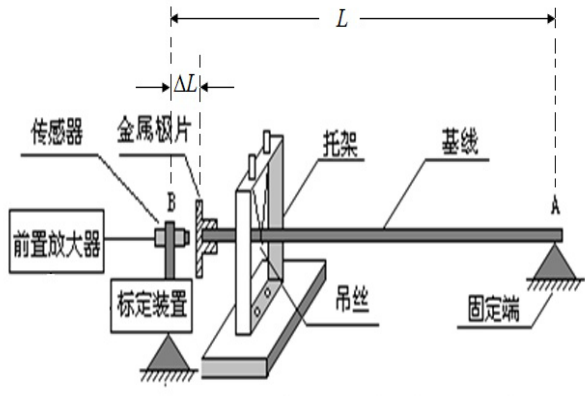


图 2 SS-Y 伸缩仪原理及结构示意图^[14]

Fig.2 The principle and structural diagram of SS-Y extensometer

$$\varepsilon=\frac{L'-L}{L}=\frac{\Delta L}{L}\tag{1}$$

其中： L 为原地壳表面两点间的距离，即基线长； L' 为变化后地壳表面两点间的距离； ΔL 为地面两点的变化量； ε 为应变量，即单位长度的相对变化量。

3 不同时间尺度下的影响特征

整理淮北台数字化 SS-Y 伸缩仪和气压数据资料，并对 SS-Y 伸缩仪绘图数据进行归零处理，在年、月、日及短时(数十分钟)时间尺度下，研究 SS-Y 伸缩仪对气压变化的响应特征，观测实践表明，不同时间尺度下，气压对 SS-Y 伸缩仪的影响特征也不全相同。

3.1 年时间尺度响应特征

选取 2014 年以来 SS-Y 伸缩仪运行较为稳定的 2014 年 01~07 月、2015 年 07~12 月、2016 年

06~12 月和 2017 年 01~06 月四个时间段日均值绘图分析，并绘制相同时段气压数据曲线。如图 3 所示，SS-Y 伸缩仪年变周期明显，两分量和气压在 2014 与 2017 上半年变化趋势一致，在 2015 与 2016 下半年变化趋势一致，上半年与下半年变化趋势相反；NS 分量上半年呈现“张性-压性-张性”、下半年呈现“压性-张性-压性”变化趋势，且 SS-Y 伸缩仪 NS 与 EW 分量变化趋势对称；气压在上、下半年分别显示出线性下降、上升趋势变化。显然，在年时间尺度下，SS-Y 伸缩仪两分量和气压数据相关性不大，SS-Y 伸缩仪对气压变化的响应特征不显著。

3.2 月时间尺度响应特征

绘制 2014 年以来各月 SS-Y 伸缩仪两分量和气压观测数据的整点值同轴曲线图，选择 SS-Y 伸缩仪潮汐记录清晰的 2015 年 10 月和 2017 年 07 月。如图 4 所示，SS-Y 伸缩仪 NS 与 EW 分量变化趋势对称，固体潮记录清晰，SS-Y 伸缩仪两分量和气压观测数据有显著的周期性，但两者周期显著不同，曲线变化趋势也不一致。说明在月时间尺度下，SS-Y 伸缩仪对气压变化的响应特征也不显著。

3.3 日时间尺度响应特征

逐日对 2017 年观测数据分钟值绘图浏览发现，在单日时间尺度下，多数情况 SS-Y 伸缩仪与气压变化曲线之间关系均十分复杂，无显著规律；同时也存在少数日期两者之间的同步趋势变化(图 5)。影响 SS-Y 伸缩仪观测数据的原因很多^[14]，既有地壳应变信息，还包含气象类因素(如气压，降雨，大风)等背景噪声信息。与年(图 3)、月(图 4)时间尺度下 SS-Y 伸缩仪两分量对称性变化不同的是，单日时间尺度下 SS-Y 伸缩仪和气压同步变化时，其两分量变化趋势也十分相近，可以认为此时 SS-Y 伸缩仪数据主要受气压因素影响，在此条件下 SS-Y 伸缩仪对气压变化的响应特征为同步变化。

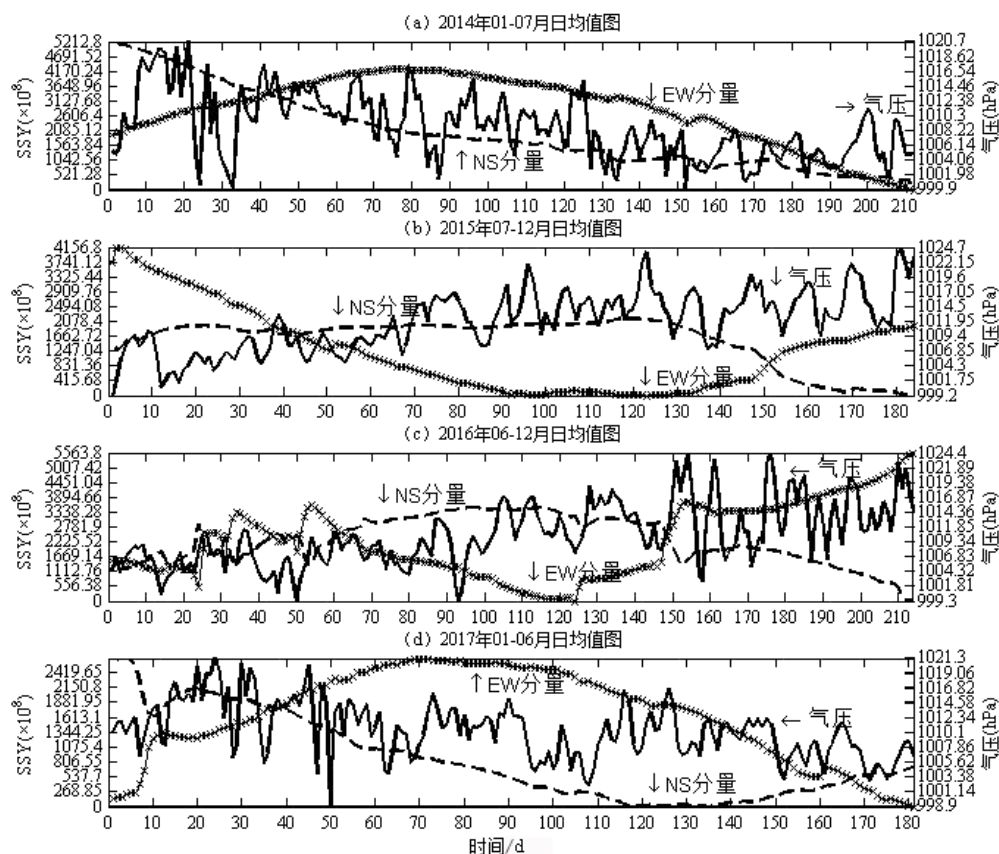


图3 年时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压响应特征

Fig.3 Response characteristics of SS-Y extensometer to air pressure effect in time scale of year

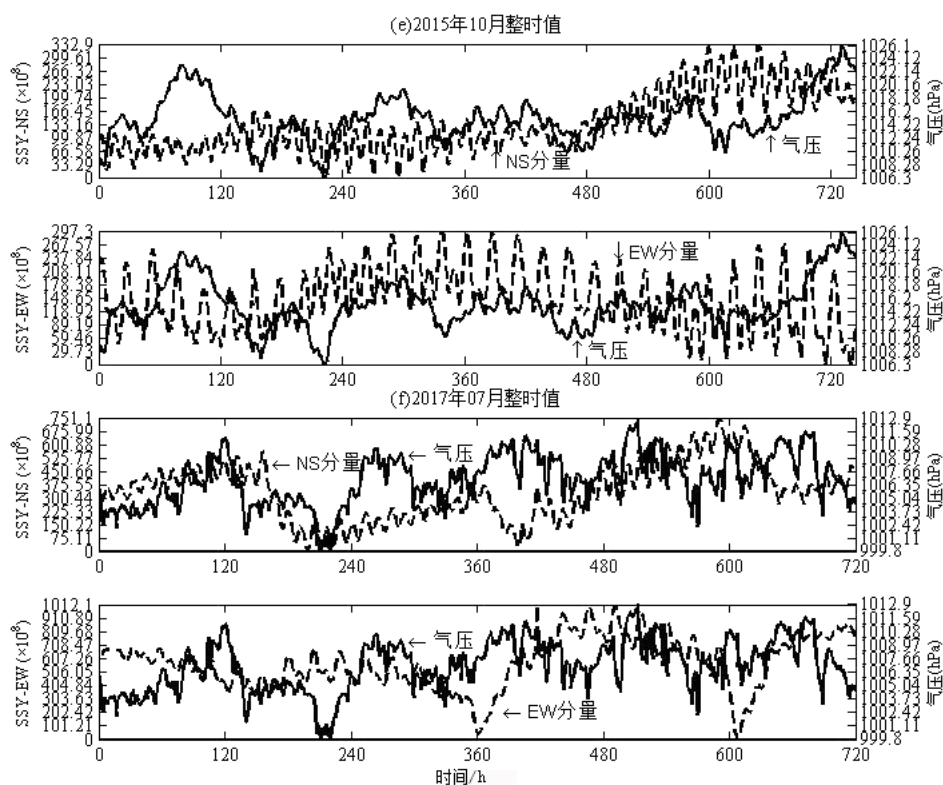


图4 月时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压响应特征

Fig.4 Response characteristics of SS-Y extensometer to air pressure effect in time scale of month

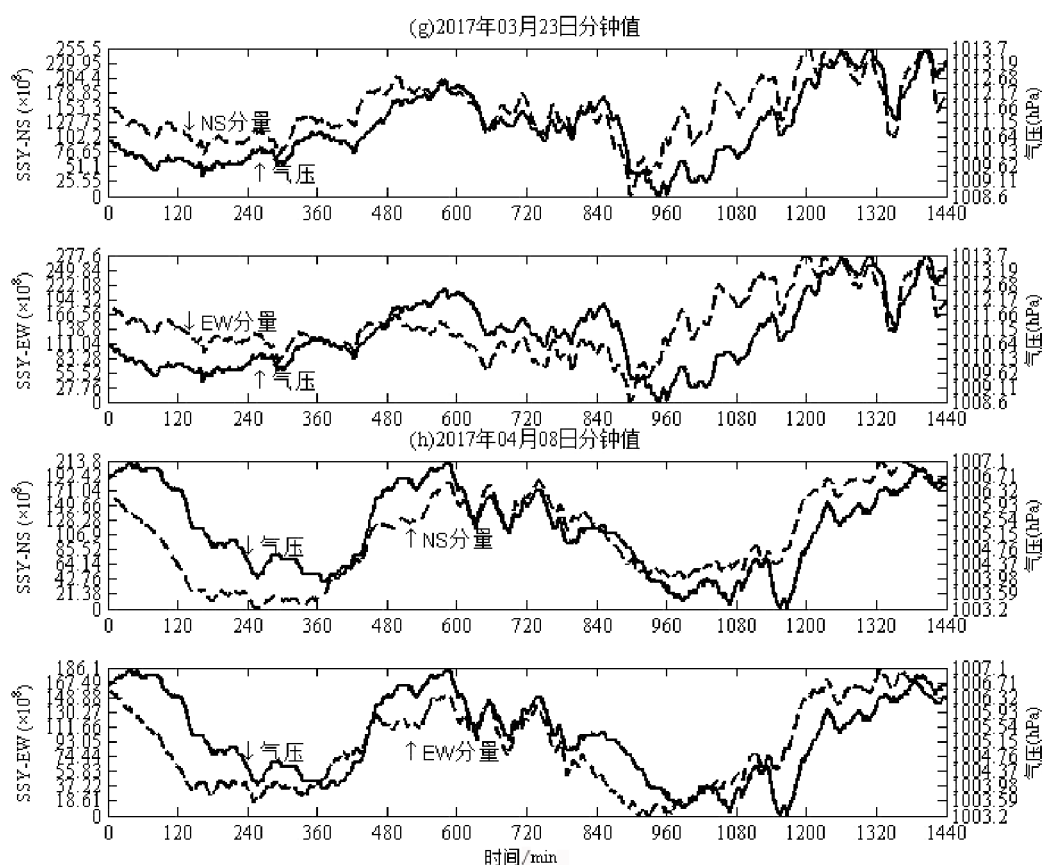


图5 日时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压响应特征

Fig.5 Response characteristics of SS-Y extensometer to air pressure effect in time scale of day

3.4 短时时间尺度响应特征^[14]

对淮北台历史数据资料整理、研究发现,气压在数十分钟左右发生的显著扰动情况下,SS-Y 伸缩仪会出现同步扰动(图6),这与张文来、卢双玲、赵小贺等相关研究一致。其具体形态可以归结为:①由同步下降(压性)向同步上升(张性)变化;②由同步上升(张性)向同步下降(压性)变化,这体现出气压对地表的加卸载作用过程。由此得出:气压短时间扰动时,SS-Y 伸缩仪观测数据与气压变化同步性较好,主要受气压因素影响,且NS、EW分量变化一致,可以认为SS-Y 伸缩仪对气压变化的响应特征也是同步变化。

4 同步响应的数理分析

综上所述,SS-Y 伸缩仪在年、月等长时间尺度下对气压响应特征不显著,在单日和短时时间尺度下,SS-Y 伸缩仪对气压变化出现高度同步响应特征,且两者形态一致,起止时间一致。此时

气压作为地表荷载的主要加卸载力源,是影响SS-Y 伸缩仪观测的主要因素,类比气压对体应变观测的影响机制^[15-16],气压作用于地表主要影响水平变化,气压增大,地表荷载增大,地表由水平状态出现凹面曲变,则两点间的水平线性应变随之增大,反之亦然。再根据SS-Y 伸缩仪工作原理知^[12-14],地表两点间的水平线性应变与气压同步变化,说明两者线性相关明显,可以建立SS-Y 伸缩仪与气压观测值之间的一元线性回归方程。图5、6实例中SS-Y 伸缩仪与气压的一元线性回归分析结果如表2,可见各例相关系数均大于0.5,线性相关性强。

$$y=f(P)=a+b \cdot P \quad (2)$$

表中NS与EW分量的差异应来自于基线长度的不同,而 a 、 b 、 r 差异主要来自于数据选取的不同。由于2015年03月08日18:40~19:30时段两分量的相关系数 r 均最大,且一次项系数 b 差别较小,而常数项 a 的大小仅引起系统性偏差,不影响数据的趋势变化,故取该例参数均值作为回

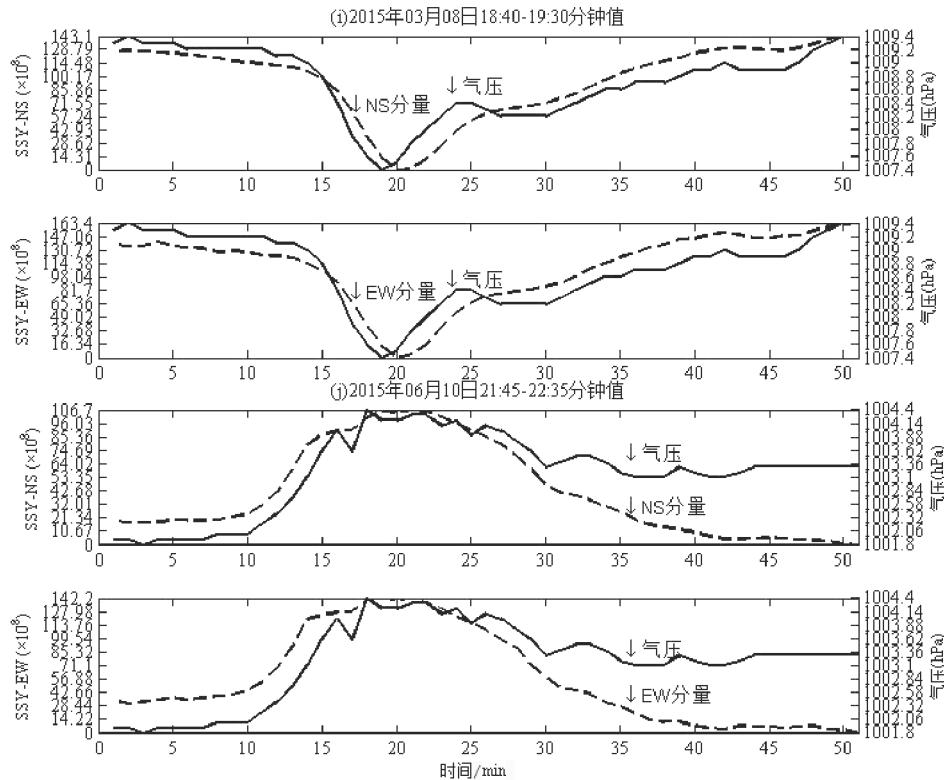


图 6 短时时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压响应特征

Fig.6 Response characteristics of SS-Y extensometer to air pressure effect in time scale of short-time

表 2 气压与 SS-Y 伸缩仪同步扰动线性回归结果

Table 2 Linear regression result of synchronized disturbance between pressure and SS-Y extensometer

参数	2015-03-08(18:40~19:30)		2015-06-10(21:45~22:35)		2017-03-23(00:00~23:59)		2017-04-08(00:00~23:59)	
	NS 向	EW 向	NS 向	EW 向	NS 向	EW 向	NS 向	EW 向
B	68.17	73.00	30.54	34.83	33.44	26.91	39.74	35.22
$a(\times 10^4)$	-6.66	-10.04	-2.47	-5.94	-4.54	-1.22	-5.19	-2.06
R	0.91	0.89	0.64	0.55	0.82	0.57	0.71	0.74
S_y	39.58	43.44	36.60	48.90	49.51	57.77	60.31	51.12
$S_q(\times 10^3)$	0.25	0.27	0.16	0.19	1.55	1.25	1.63	1.44
S_{yhat}	16.10	19.74	28.29	41.26	28.00	47.53	42.42	34.20
$S_a(\times 10^3)$	4.32	5.30	5.20	7.59	6.11	1.04	1.04	0.84
S_b	4.28	5.25	5.18	7.56	0.60	1.02	1.04	0.83

其中： b 为一次项系数， a 为常数项， r 为相关系数， S_y 为总均方差， S_q 为回归均方差， S_{yhat} 为剩余均方差， S_a 为 a 的均方差， S_b 为 b 的均方差。

归结果应是最优的，进而得到 SS-Y 伸缩仪对气压线性响应的一般数学表达式(3)。

$$y_P=70.58\times P-8.5\times 10^5 \tag{3}$$

则 SS-Y 伸缩仪对气压线性响应的修正数学表达式为

$$\hat{y}=y_c-y_P=y_c+8.5\times 10^5-70.58\times P \tag{4}$$

其中： y_P 是 SS-Y 伸缩仪对气压因素响应值，

y_c 是 SS-Y 伸缩仪观测值， P 是气压值， \hat{y} 是剔除气压因素修正值。

5 修正表达式检验

根据式(4)，对日时间尺度和短时时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压响应实例进行修正，将 SS-Y

仪观测值和改正值归零后的数据绘图 7。知:修正后的气压干扰得以显著改善,SS-Y 伸缩仪对气压因素响应的同步扰动幅度明显减弱(图 7a),甚至

消失(图 7b),气压周期变化的形态已剔除,且曲线形态显著变化,原隐含的高频信息得以显示(图 7c、7d)。

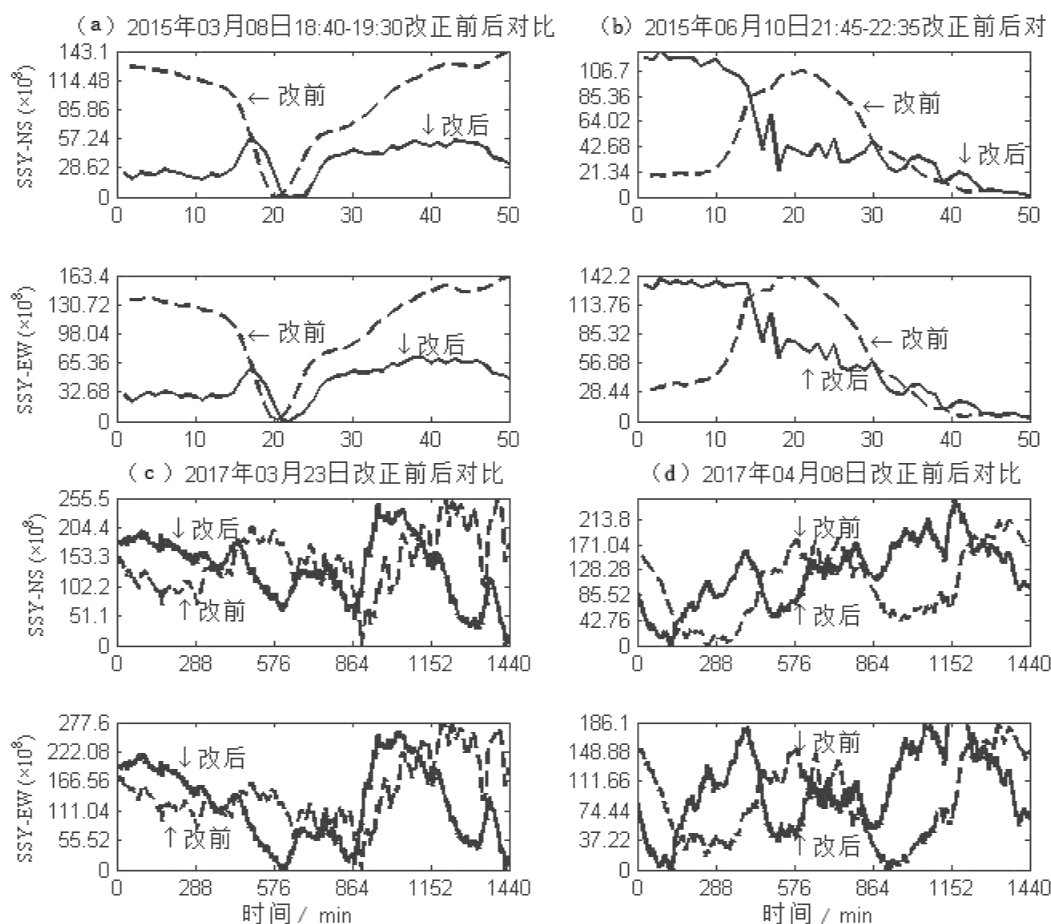


图 7 剔除气压因素前后对比图

Fig.7 Contrast of SS-Y extensometer before and after removing air pressure effect

6 结语

通过多时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压响应特征分析发现,长周期气压变化对 SS-Y 伸缩仪影响不显著,短周期气压变化不仅影响显著,且足以造成 SS-Y 伸缩仪观测固体潮曲线的畸变,并湮没其他可能的异常信息。

气压作为地表荷载的主要加卸载力源,是影响 SS-Y 伸缩仪观测的主要因素之一。气压对 SS-Y 伸缩仪影响是通过作用于地表水平形变引起的,气压增大导致地表荷载加大,水平面出现凹陷使得两点间的水平线性应变随之增大,反之亦然。

不同时间尺度下 SS-Y 伸缩仪对气压响应的特征显著不同,气压的短周期显著扰动对 SS-Y 伸缩

仪观测在数十分钟时间长度,甚至全天会有明显的干扰,但在更长的月、年时间尺度下影响不显著。

在日时间尺度和短时(数十分钟不等)时间尺度下,SS-Y 伸缩仪对气压响应的特征是同步扰动,两者形态相同、趋势一致,线性正相关性强。

根据 SS-Y 伸缩仪对气压的响应特征,建立响应的数学模型(3),得到了剔除气压影响的数学表达式(4)。

通过剔除气压因素影响发现,改进效果显著,隐含的高频信息得以显示,这将对准确识别 SS-Y 伸缩仪观测资料气压干扰造成的异常提供一定帮助。

参考文献:

- [1] 孟建国,李栋梁,王强. 气-地间耦合所产生的短临动力对大地形变的影响分析[J]. 高原地震,2010,22(3):45-51.
- [2] 中国地震局监测预报司. 地震地形变观测技术[M]. 北京:地震出版社,1995.
- [3] 杨江,吕宠吾,吴涛,等. SS-Y 伸缩仪灵敏度、分辨力、传递函数测试方法研究[J]. 大地测量与地球动力学,2012,32(1):156-159.
- [4] 张文来,罗宏江,苏萍,等. 气压变化对 SS-Y 伸缩仪观测日变曲线的干扰分析[J]. 内陆地震,2006,20(3):266-270.
- [5] 卢双苓,林秀娜,邢伟伟,等. 泰安地震台伸缩仪运行分析[J]. 地震地磁观测与研究,2011,32(4):83-89.
- [6] 赵小贺,卢双苓,冯志军,等. 洞体形变数字化观测干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究,2009,30(4):55-62.
- [7] 王梅,李峰,孔向阳,等. 数字化形变观测干扰识别[J]. 大地测量与地球动力学,2004,24(1):94-98.
- [8] 杨绍富,苏萍,徐长银,等. 霍拉山洞体数字化形变观测干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究,2015,36(2):47-52.
- [9] 樊冬,鲍从民,李惊生,等. 应对数字化地形变观测干扰分析与实践[J]. 防灾科技学院学报,2012,14(4):47-53.
- [10] 樊冬,吴坤,李惊生,等. 密封措施对降低洞体形变观测气象类因素干扰的效果与分析[J]. 华南地震,2014,34(3):69-75.
- [11] 鲍从民,王雪莹,尹传兵,等. 安徽省数字化形变仪器及其观测资料的综合分析[J]. 地震地磁观测与研究,2009,30(4):47-54.
- [12] 徐春阳,杨江,张双凤. SS-Y 型伸缩仪安装中应注意的问题[J]. 大地测量与地球动力学,2009,29(S1):138-140.
- [13] 吕宠吾,孙亚强,杜为民,等. SS-Y 型短基线伸缩仪及其标定装置[J]. 地壳形变与地震,2001,21(3):82-88.
- [14] 樊冬,尹传兵,李惊生,等. SS-Y 型伸缩仪气压扰动影响的特征分析与数学改正[J]. 大地测量与地球动力学,2017,37(12):1313-1316.
- [15] 乔子云,马兴国. 体应变的气压效应[J]. 山西地震,2000(2):36-38.
- [16] 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的研究[J]. 地震,1996,16(2):144-152.