

以丽江地震台为例研究潮汐观测仪器格值变化检测及格值归化方法*

闫伟¹, 陈国琴¹, 杨跃文², 王栋梁¹

(1. 中国地震台网中心, 北京 100045; 2. 云南省地震局 丽江地震台, 云南 丽江 674100)

摘要: 针对形变固体潮汐类观测数据, 提出了一种新的检测仪器格值变化的方法, 即潮汐因子相除法, 并从理论上推导了利用此方法检测由于格值变化引起潮汐因子变化的原理, 同时还提出利用格值变化时间前后 M_2 波潮汐因子比值作为系数进行格值归化的方法。最后, 结合丽江地震台水平摆实际观测数据, 验证了格值变化检测和格值归化方法的可行性, 并论述了在分析数据长周期趋势变化前需进行格值检测和归化的重要性。

关键词: 格值变化检测; 格值归化; 潮汐因子; 调和分析; 长周期趋势变化

中图分类号: P315.7

文献标识码:

文章编号: 1000-0666(2015)04-0613-04

0 引言

对于地球观测系统而言, 太阳、地球引力是目前唯一能够精确计算的外力, 地球固体潮汐观测也是目前衡量地震前兆仪器数据产出质量的重要指标之一 (DB/T 31.2—2008)。利用固体潮观测值和理论值解算潮汐参数方法也成为现今研究地壳介质变化的重要手段 (刘序俨等, 1997; 刘冠中, 刘远征, 2013; 李兴坚等, 2013; 秦双龙等, 2013)。同时, 潮汐参数在地震预测领域也应用广泛 (张晶等, 2005, 2006, 2007; 吕品姬等, 2014; 李希亮等, 2013)。由前兆数据观测原理和数据产出过程可知, 绝大多数的地壳倾斜、应变的初始产出物理量为电压, 经与仪器“格值”相乘后可转换为相应的物理观测量, 如应变、倾斜等。由于潮汐因子的计算主要关注的是某波段观测固体潮汐幅度与理论固体潮汐幅度的比值, 且格值与观测数据是相乘关系。因此, 初始计算的潮汐因子结果应包含了“格值”的变化信息, 且格值的变化会导致潮汐因子出现相应的变化。趋势转折现象是目前研究前兆信息与地震关系的重要手段之一 (司学芸等, 2013), 同样, 格值的变化也会引起数据变化趋势出现转折。本文以固体潮汐的谐波为出发点, 研究格值变化检测及格值

归化方法的可行性。

1 理论模型

郝钦文 (1991) 在 Doodson 引潮位展开式基础上, 给出了精密的引潮位完全展开式, 观测值方程可表示为 (张晶, 张立, 2003)

$$y = \sum_{k=1}^n H_k \cos(\omega_k t + \varphi_0 + \Delta\varphi) + \sum_{i=0}^m C_i t^i + v. \quad (1)$$

其中, y 为观测值, k 为某谐波符号, n 为固体潮谐波数, ω_k 为该谐波的角速度, φ_0 为初始相位, $\Delta\varphi$ 为相位滞后, C_i 为趋势项系数, m 为趋势项阶数, v 为改正数。

调和分析实际上为某谐波的观测潮汐幅度与理论潮汐幅度的比值。由 2014-01-01 ~ 2014-03-01 某点 (31.0°N, 103.4°E) 的理论固体潮 (图 1a) 及其频谱分析结果 (图 1b) 可以看出, 理论固体潮中能量最大的为 M_2 波和 O_1 波。因此, 本方法采用 M_2 波和 O_1 波作为研究对象。

由于观测值包含了格值的信息, 其各谐波也相应地包含了格值信息, 且符合以下关系:

$$y_{M_2} = S \cdot \gamma \cdot A_{M_2}, \quad (2)$$

$$y_{O_1} = S \cdot \zeta \cdot A_{O_1}. \quad (3)$$

* 收稿日期: 2015-04-02.

基金项目: 中国地震局监测预报司 2015 年度震情跟踪定向工作任务 (2015020201) 资助.

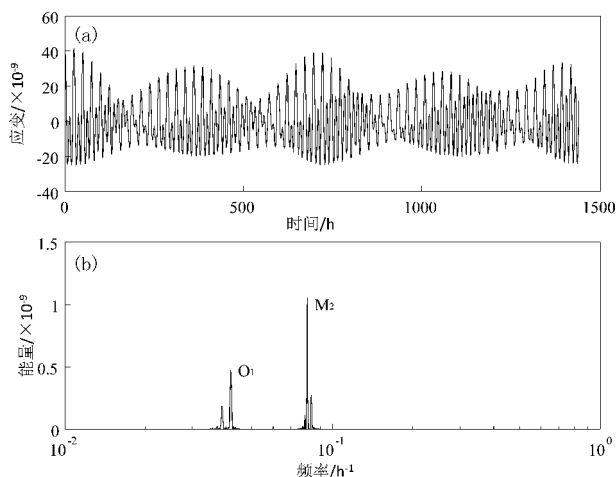


图1 2014年1月1日起某点(103.4°N, 31.0°E)体应变理论固体潮(a)及其频谱分析结果(b)

Fig. 1 The theory tide of body strain at a point (103.4°N, 31.0°E) since Jan. 1, 2014 (a) and its spectrum analysis result (b)

其中, y_{M_2} 为 M_2 波潮汐观测幅度, γ 为 M_2 波潮汐因子, y_{O_1} 为 O_1 波潮汐观测幅度, ζ 为 O_1 波潮汐因子, A_{M_2} 、 A_{O_1} 分别为 M_2 和 O_1 波的理论潮汐幅度, S 为格值。

式(2)与式(3)相除即可消除数据格值的影响, 即:

$$y_{M_2 O_1} = \frac{y_{M_2}}{y_{O_1}} = \frac{\gamma}{\zeta} \cdot \frac{A_{M_2}}{A_{O_1}}. \quad (4)$$

由式(4)可以看出, 利用谐波潮汐因子相除的方法可以检测出仪器格值变化的时段。

2 实例分析

2.1 数据基本情况

丽江地震台位于红河断裂北端, 周边构造以北东走向为主。水平摆观测仪器放置于坑道内, 坑道全长 176.78 m, 仪器墩为天然原岩, 岩性为灰岩。坑道覆盖 106 m, 覆盖面为天然灌木植被, 山洞内恒温在 16.5℃ 左右(云南省地震局, 2005)。丽江地震台水平摆观测北南分量主要数据变化特征为: (1) 2013 年 5 月 8 日以来, 曲线呈现较快的趋势上升现象(图 2a); (2) 2013 年 5 月 8 日开始, 该曲线固体潮汐明显变大(图 2b)。相关台站日志查询结果为: 2013 年 5 月 8 日该仪

器出现故障, 按照《地震前兆台网运行管理办法》要求(中国地震局, 2008), 需要对仪器进行标定和格值调整操作。

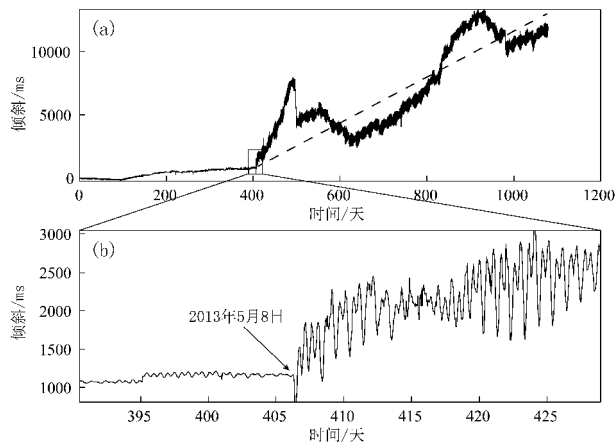


图2 丽江地震台水平摆北南分量观测时间序列(a)及其局部放大效果(b)

Fig. 2 The observation time series (a) and its local amplification effects (b) recorded by horizontal pendulum in NS at Lijiang Station

2.2 格值检测

由于仪器标定操作可能会导致仪器格值变化, 因此有必要检测仪器的格值是否发生了变化, 检测方法可概括为: 通过调和分析分别计算 M_2 波和 O_1 波潮汐因子时间序列, 判断二者是否出现了阶变型的变化, 然后通过二者相除, 若相除后的结果稳定, 即表明潮汐因子出现的阶变型变化为仪器格值变化引起。

以丽江地震台水平摆为例, 首先通过调和分析(60 d 为窗长, 20 d 为步长)解算出 M_2 波潮汐因子 γ 的时间序列(图 3a)、 O_1 波潮汐因子 ζ 的时间序列(图 3b), 然后二者相除可得到比值 γ/ζ (图 3c)。图 3 中 P_1 点代表的时间为 2013 年 4 月 24 日, 解算该时间点潮汐参数所使用的原始数据时间段为 2013 年 2 月 23 日 0 时~2013 年 4 月 23 日 23 时, 即 P_1 点之前不包含 2013 年 5 月 8 日格值调整时间; P_2 点代表的时间点为 2013 年 7 月 13 日, 解算该时间点所使用的原始数据时间段为 2013 年 5 月 14 日 0 时~2013 年 7 月 13 日 23 时, 即 P_2 点之后也不包含 2013 年 5 月 8 日格值调整时间; P_1 点和 P_2 点之间包含了格值调整的时间。

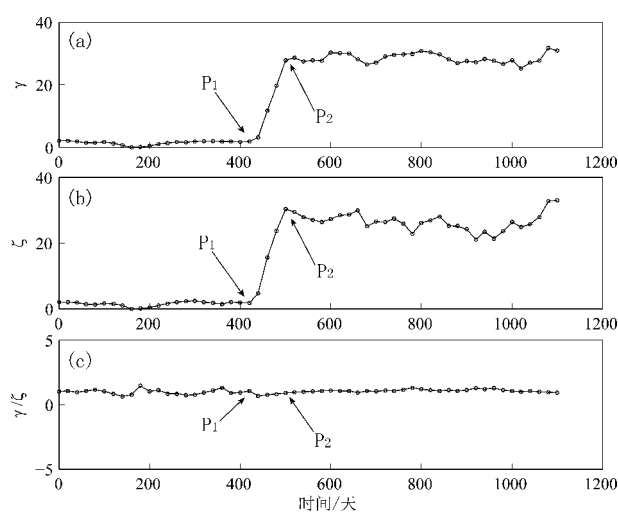


图3 丽江台水平摆北南分量 M_2 波潮汐因子 (a)、 O_1 波潮汐因子 (b) 及 M_2 波与 O_1 波潮汐因子之比 (c)

Fig. 3 The time series of M_2 tide factor (a), O_1 tide factor (b) recorded by horizontal pendulum in NS at Lijiang Station and their rates (c)

从图 3a、b 可以看出, M_2 波潮汐因子和 O_1 波潮汐因子时间序列呈现较突出的 3 个阶段: (1) P_1 点之前, 潮汐因子相对稳定; (2) $P_1 \sim P_2$ 点之间, M_2 波潮汐因子和 O_1 波潮汐因子出现了同步上升趋势; (3) P_2 点之后, 潮汐因子解算结果又重新稳定。从图 3c 可以看出, 由于 5 月 8 日格值变化引起的 3 个阶段变化特征并未在其比值上出现, 即比值变化表现相对稳定。从图 3 纵向对比分析便可以检测出 5 月 14 日~7 月 13 日之间存在着调整仪器格值的操作。

由格值检测过程可以看出, 调和与分析时选取的窗长和步长可能会影响到潮汐因子的计算精度和时间分辨率, 因此笔者建议选取 60 d 为窗长和 20 d 为步长进行格值检测计算。针对某时段内出现多次格值调整的特殊情况, 可以适当地缩小窗长和步长的取值, 但应保证满足调和与分析的计算要求。

2.3 格值归化

由于调整格值变化会影响其趋势变化, 所以在讨论丽江地震台水平摆北南分量是否存在趋势变化时, 需进行格值归化操作。格值归化的目的是将不同格值的数据归化到统一格值上来, 以查看其真正的相对变化。实际操作时可将图 3a 中 P_1

点之前 M_2 波潮汐因子平均值 (1.486) 与 P_2 点之后 M_2 波潮汐因子平均值 (28.506) 的比值作为改正系数进行归化, 归化后的结果如图 4 所示。

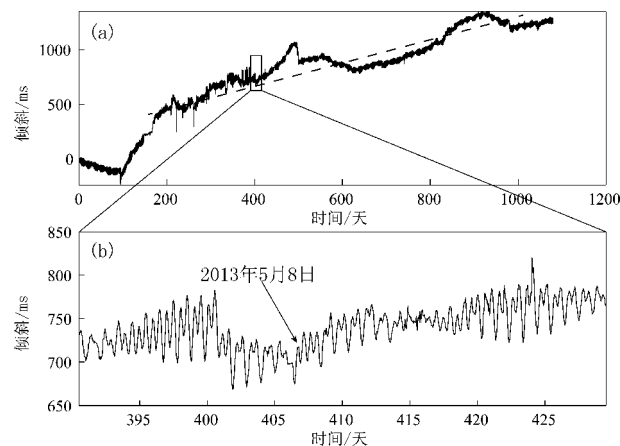


图4 经格值改正后丽江水平摆北南分量时间序列 (a) 及其局部放大效果 (b)

Fig. 4 The time series (a) and its local amplification effects (b) after the scale calibration recorded by horizontal pendulum in NS at Lijiang Station

对图 4 和图 2 进行对比可以看出: (1) 格值归化前的趋势转折现象 (图 2a) 在归化后已不存在 (图 4a), 表明该现象非真实的地壳倾斜变化, 而是由格值变化引起; (2) 格值归化前局部放大效果显示的 2013 年 5 月 8 日后潮汐幅度突然变大的现象 (图 2b) 在归化后也不存在 (图 4b), 表明该现象也是由于格值变化引起。因此, 格值归化方法不论对于趋势分析还是对于固体潮幅度分析都非常重要。

3 结论与讨论

本文以丽江地震台为例, 探讨了格值变化对观测曲线趋势变化的影响, 并论证了利用潮汐因子相除方法进行格值检测和归化的可行性。经过分析, 可得出以下结论:

(1) 针对由于人为调整导致格值变化较大的数据, 利用 M_2 波和 O_1 波潮汐因子相除的方法, 可以有效地进行格值检测。

(2) 利用格值变化时间前后 M_2 波潮汐因子比值作为改正系数的方法可以有效地进行格值归化。

(3) 由丽江地震台格值归化前后可以看出, 在分析数据趋势变化时首先应考虑是否由格值变化所致。

对于实际观测数据中某段时间内多次调整格值的情况, 格值检测时所选定的窗长应小于最小格值变化的时间间隔, 格值归化时应选取某一时段的潮汐因子作为基准, 其它时段的潮汐因子比值作为比例系数进行归化。

由于本文提出的格值变化检测过程除了查看 M_2 波潮汐因子与 O_1 波潮汐因子比值的时间序列是否稳定外, 还需查看 M_2 波潮汐因子的时间序列是否出现大的台阶性变化。因此, 本方法目前只能检测出较大幅度的台阶型变化, 对于格值的均匀增加或减小现象还不能检测出来, 这也是今后需要重点研究的内容。

本文的完成与中国地震台网中心牛安福研究员、中国地震局地震预测研究所张晶研究员、云南省地震局王永安副研究员、中国地震局监测预报司张勇进行过有益的探讨, 在此表示感谢。

参考文献:

李希亮, 卢双苓, 李峰, 等. 2013. 泰安台水平摆对范县 4.3 级地震的潮汐异常响应[J]. 大地测量与地球动力学, 33(增): 82-84.

- 李兴坚, 李建康, 徐玉红, 等. 2013. 高台台 JCZ-1 地震计 LP 通道数据固体潮信息提取[J]. 地震研究, 36(4): 532-535.
- 刘冠中, 刘远征. 2013. 确定地壳形变观测曲线趋势转折点的定量方法与实例[J]. 内陆地震, 27(3): 251-256.
- 刘序俨, 黄声明, 吴长江. 1997. 固体潮整体综合分析方法研究[J]. 地壳形变与地震, 17(1): 57-63.
- 吕品姬, 张燕, 赵莹, 等. 2014. 巴东 $M_s 5.1$ 地震前的潮汐形变观测异常分析[J]. 大地测量与地球动力学, 34(3): 52-58.
- 秦双龙, 廖丽霞, 陈莹, 等. 2013. 永安井水位潮汐变化在闽台地区中强地震前兆特征中的分析研究[J]. 地震研究, 36(3): 275-280.
- 司学芸, 孙小龙, 邵志刚, 等. 2013. 南北地震带流体资料趋势性转折与强震的关系[J]. 中国地震, 29(1): 148-156.
- 郝钦文. 1991. 精密引潮位展开级某些诠释[J]. 地球物理学报, 34(2): 182-194.
- 云南省地震局. 2005. 云南省地震监测志[M]. 北京: 地震出版社.
- 张晶, 陈荣华, 杨林章, 等. 2006. 强震前形变潮汐异常判识与机理研究[J]. 地震学报, 28(2): 150-157.
- 张晶, 牛安福, 高福旺, 等. 2005. 固体潮汐参数变化与地震关系研究[J]. 大地测量与地球动力学, 25(3): 86-90.
- 张晶, 郝钦文, 杨林章, 等. 2007. 引潮力与潮汐应力对强震触发的研究[J]. 地球物理学报, 50(2): 448-454.
- 张晶, 张立. 2003. 中强地震前形变固体潮汐资料短期信息提取[J]. 地震, 23(3): 71-78.
- 中国地震局. 2008. 地震前兆台网运行管理办法, 中震函[2008] 202 号.
- DB/T 31. 2—2008, 地震观测仪器进网技术要求地壳形变观测仪[S].

Method of Scale Change Detection and Scale Calibration Illustrated by the Case of Tide Observation Instrument at Lijiang Seismic Station

YAN Wei¹, CHEN Guo-qin¹, YANG Yue-wen², WANG Dong-liang¹

(1. China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

(2. Lijiang Seismic Station, Earthquake Administration of Yunnan Province, Lijiang 674100, China)

Abstract

By analyzing the deformation earth tide observation data, we proposed the new method of dividing two tide factors (calculating the rate of two tide factor) to detect the scale change of instrument. Then we deduced the principle of detecting the tide factor change induced by the scale change by the new method in theory. We also put forward the method of scale calibration, that is the ratio of M_2 tide factor before and after scale value change was taken as the coefficient to correct the scale. Finally, combing with the observation data of horizontal pendulum at Lijiang Seismic Station, we verified the feasible of the scale detection method and scale calibration method, and elaborated the importance of the scale detecting and calibration before analyzing the long-period trend changes of the data.

Key words: scale change detection; scale calibration; tide factor; harmonic analysis; trend change in long period