

泰安台水平摆对范县4.3级地震的潮汐异常响应^{* 1}李希亮¹⁾ 卢双苓²⁾ 李峰²⁾ 王强²⁾ 张玲¹⁾(1)山东省地震局,济南 250014
(2)泰安基准地震台,泰安 271000)

摘要 运用CUM-AIC方法处理泰安地震台水平摆观测资料,发现其2011年10月13日河南省范县和山东省鄄城交界发生的4.3级地震前存在异常信号,分析显示该方法能较好地提取潮汐形变短临异常。

关键词 范县地震;泰安地震台;水平摆;CUM-AIC方法;短临异常

中图分类号:P315.73

文献标识码:A

RESPONSE OF TIDAL ANOMALIES OF HORIZONTAL TITLMETER AT
TAIAN SEISMOSTATION BEFORE M_L 4.3 FANXIAN EARTHQUAKELi Xiliang¹⁾, Lu Shuangling²⁾, Li Feng²⁾, Wang Qiang²⁾ and Zhang Ling¹⁾(1)Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014
(2)Taian Seismostation, Taian 271000)

Abstract The CUM-AIC method had been applied to extract ground deformation anomaly. The tidal deformation observation data of Taian seismostation before the M_L 4.3 earthquake in the boundary region of Fanxian and Juancheng counties on October 13 in 2011 are processed and analyzed. The abnormal signal is found before the earthquake, the result shows that the method can extract short-impending anomalies of seismic tide.

Key words: Fanxian earthquake; Taian seismostation; horizontal tiltmeter; CUM-AIC method; short-impending anomaly

1 引言

水平摆倾斜仪是监测地球固体潮汐形变的一种高灵敏度仪器。通过对观测数据的分类研究,表明水平摆倾斜仪对周边有感地震和中强地震有较好的异常响应^[1,2]。李杰等^[3]分析了2006年4月9日濮阳4.6级地震前泰安台水平摆的观测数据,发现地震前出现显著的短、临前兆异常,地震发生在异常达最大值前后,且震中背向异常初期地壳的倾斜方向,说明泰安台水平摆对该地区的地壳应力应变反应敏感。范县4.3级地震距濮阳4.6级地震约12 km,距泰安地震台约159 km,两个地震的震级相差不

大。本文将利用CUM-AIC方法分析范县地震前泰安台水平摆的潮汐记录。

2 原理与方法

2.1 高阶统计量

高阶统计量是一种新的信号分析和处理工具,在信号处理过程中,不但包含幅变信息,保留信号的相位信息,还可以抑制噪声,得到传统二阶统计量没有的信息。高阶统计量主要包括高阶矩、高阶累积量、高阶矩谱、高阶累积量谱等四种。在实际应用中,常用的是随机过程的高阶累积量^[4]。

* 收稿日期:2013-04-23

基金项目:中国地震局2013年度“地震监测、预报、科研”三结合项目(SJH201301)

作者简介:李希亮,男,1980年生,工程师,主要从事地震前兆研究工作。E-mail:lxlustc@126.com

设随机变量 x 的概率密度为 $f(x)$, 则 x 的特征函数为

$$\Phi(\omega) = E\{\exp(j\omega x)\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{j\omega x} dx$$

其中, 特征函数实际上就是概率密度函数 $f(x)$ 的傅立叶变换。随机变量 x 的第二特征函数定义为 $\psi(\omega) = \ln\Phi(\omega)$, 将 $\psi(\omega)$ 按照泰勒级数展开为

$$\Psi(\omega) = \ln\Phi(\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{C_k}{k!} (j\omega)^k + 0(\omega^n)$$

随机变量 x 的第二特征函数 $\Psi(\omega)$ 按泰勒级数展开系数 C_k 就定义为随机变量 x 的 k 阶累积量:

$$c_k = (-j)^k \frac{d^k}{d\omega^k} \Psi(\omega) \big|_{\omega=0} \quad (k \leq n)$$

由于 c_k 是用第二特征函数 $\Psi(\omega)$ 定义的, 所以又称为累积量生成函数。

对于 n 维随机变量 (x_1, x_2, \dots, x_n) , 其联合特征函数定义为:

$$\Phi(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) = E\{\exp[j(\omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \dots + \omega_n x_n)]\}$$

即随机变量 (x_1, x_2, \dots, x_n) 的概率密度函数为 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的 n 维傅立叶变换。定义其联合特征函数为 $\Psi\omega(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) = \ln\Phi(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 。随机变量 (x_1, x_2, \dots, x_n) 的阶数为 $r = k_1 + k_2 + \dots + k_n$ 的联合累积量定义为

$$c_{k_1 k_2 \dots k_n} = (-j)^r \frac{\partial^r \Psi(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)}{\partial \omega_1^{k_1} \partial \omega_2^{k_2} \dots \partial \omega_n^{k_n}} \big|_{\omega_1 = \omega_2 = \dots = \omega_n = 0}$$

设 $\{x(n)\}$ 为平稳随机过程, $x_1 = x(n)$, $x_2 = x(n + \tau_1)$, \dots , $x_k = x(n + \tau_{k-1})$, 则其中 k 阶累积量为

$$c_{kx}(\tau_1, \dots, \tau_{k-1}) = \text{cum}\{x(n), x(n + \tau_1), \dots, x(n + \tau_{k-1})\}$$

在 $k \geq 3$ 时, k 阶累积量称为高阶累积量。

2.2 CUM-AIC 方法

AIC 方法可以发现信号时间序列的不稳定点, 与 AIC 曲线极小值相对应。具体思路是用两个时间段数据的三阶累积量 (third-order cumulant) 代替震相识别中 VAR-AIC 方法中的方差, 称为 CUM-AIC 方法。AIC 函数表示为:

$$\text{AIC}(k) = k \log(\text{CUM}(x[1, k])) + (N - K - 1) \log(\text{CUM}(x[k + 1, N]))$$

若正常固体潮汐观测中有异常信号介入, 将出现两个不同的稳态过程, CUM-AIC 曲线将对应出现一个极小值 (图 1), 说明有异常信号介入, CUM-AIC 方法就是利用两个局部稳态的时间序列的划分来识别地震前兆异常。在正常背景场下, 水平摆记录到的信号包括固体潮汐和背景噪声, 背景噪声不会引起固体潮汐观测的突变。

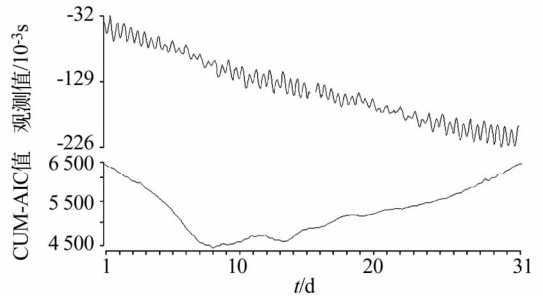


图1 2011年8月水平摆EW原始数据和CUM-AIC值
Fig.1 Original data and CUM-AIC values of EW component of horizontal tiltmeter in August, 2011

3 潮汐异常响应分析

3.1 台站和仪器概况

泰安台为国家基准地震台, 全国 I 类地形变观测台。地处莱芜弧形断裂带北侧的泰山山前断裂附近, 台基为太古代泰山群 (Art) 花岗片麻岩, 岩体完整、致密、均匀。地脉动水平低, 波导性良好, 测量信噪比高, 可靠性好。仪器洞室最大覆盖厚度 29 m, 总进深 130 m, 室温年变幅约 0.06 °C, 日温差小于 0.004 °C, 洞室内相对湿度小于 90 %。泰安 SSQ-2I 型水平摆倾斜仪 2000 年 5 月投入观测, 工作环境稳定, 无明显干扰源, 固体潮记录清晰。

3.2 资料预处理和干扰排除

CUM-AIC 方法计算之前, 剔除记录到的地震波信号, 消除了气压、雷电、洞室进人、仪器故障及附加载荷等干扰因素对水平摆观测的影响, 提高了计算结果的可靠性。

3.3 CUM-AIC 方法分析

泰安台水平摆 NS 向 2011 年 9 月 4—7 日出现 N 倾 (图 2), 7—10 日转为 S 倾, 11—17 日加速 N 倾, 9 月 17 日开始恢复, 10 月 16 日恢复到正常水平, 最大变化幅度为 63.72 ms。水平摆 EW 向 2011 年 9 月 17—21 日改变趋势出现 W 倾, 在地震前 5 天的 W 倾速度为 5.01 ms/天, 大于地震前平均值 2.13 ms/天。

地震的很大一部分能量在震前会以各种形式缓慢释放, 从而形成各种前兆, 不同的孕震阶段有不同前兆表现^[5]。采用 CUM-AIC 方法, 对 2011 年 10 月 13 日河南省范县和山东省鄄城交界 4.3 级地震前泰安台水平摆观测资料进行处理与分析, 结果显示: 水平摆 NS 向的 CUM-AIC 值 (图 3) 反映出 3 次信号突变, EW 向的 CUM-AIC 值 (图 4) 不同程度地反映出 2 次信号突变, 这些突变点能较好地反映出观测曲线的转折或加速, 反映出异常信号的介入点。

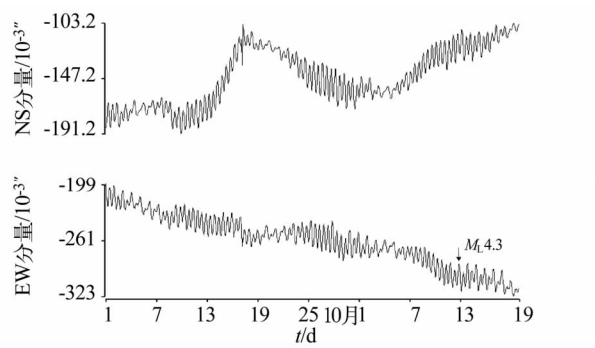


图2 范县地震前后水平摆原始记录(2011-09-01—10-19日)

Fig.2 Original records of horizontal tiltmeter before and after Fanxian earthquake(2011-09-01—10-19)

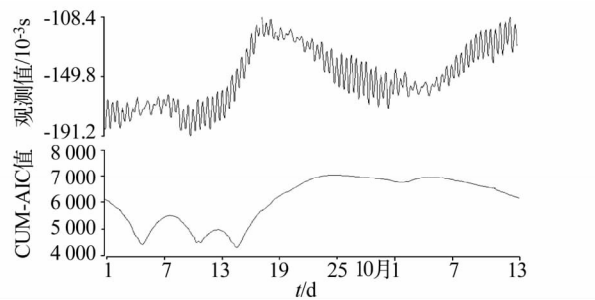


图3 泰安台水平摆NS分量的CUM-AIC值

Fig.3 CUM-AIC values of NS component of horizontal tiltmeter at Taian seismostation

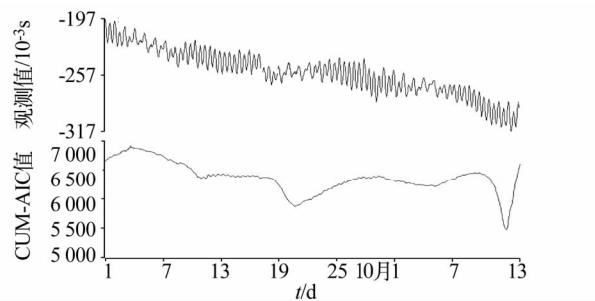


图4 泰安台水平摆EW分量的CUM-AIC值

Fig.4 CUM-AIC values of EW component of horizontal tiltmeter at Taian seismostation

4 讨论与结论

范县4.3级地震发生在聊考断裂西侧。聊考断裂带南起河南兰考,北至聊城以北,与齐广断裂交会,大致呈北北东向延伸,全长达270多千米,是鲁西断隆和临清拗陷的分界断裂和地质分界线。聊考断裂带由一系列规模不等的北北东、北东向断裂组成,历史上沿该断裂带发生多次5级以上地震,其中最大的是1937年菏泽7.0级地震,该区具有发生中强以上地震的构造背景。

范县4.3级地震的震源机制解显示主破裂面走向为 183° ,倾角 75° ,滑动角 28° ,主压应力方向为 64° ,主张应力方向为 337° ,与该区正常情况下主压应力场方向 $85^{\circ} \pm 15^{\circ}$,主张应力场方向 $350^{\circ} \pm 15^{\circ}$ 比较一致,说明该地震是在区域应力场作用增强的背景下发生的。

利用CUM-AIC方法处理泰安台水平摆SN、EW两个测项观测资料后显示:在区域应力场背景增强的情况下,观测资料CUM-AIC值均不同程度的出现了短临前兆异常,但该异常在原始曲线上难以识别。由此可见,采用CUM-AIC方法处理形变潮汐观测资料,能较好地反映出观测曲线的转折或加速,说明该方法在识别固体潮汐异常方面具有一定的可行性。

参 考 文 献

- 1 刘其寿,等. 龙岩地震台中强地震前地倾斜异常分析[J]. 大地测量与地球动力学,2012,(6):16-19.
- 2 张红秀,等. 临汾地震台数字水平摆曲线畸变与地震关系[J]. 地震地磁观测与研究,2012,33(1):44-48.
- 3 李杰,等. 濮阳 $M_L4.6$ 地震前泰安台形变异常特征分析[J]. 大地测量与地球动力学,2007,(4):100-104.
- 4 王书明,等. 地球物理学中的高阶统计量方法[M]. 北京:科学出版社,2006.
- 5 张燕,等. GPS时间序列揭示地震前兆的初步探索[J]. 大地测量与地球动力学,2005,(3):96-98.