

用福建连续重力资料研究台风“麦德姆”活动特征^①

钟继茂, 关玉梅, 杨锦玲

(福建省地震局, 福建 福州 350003)

摘要:福建省地处我国东南沿海, 每年 5—10 月都会受到台风的侵袭, 目前建有厦门、漳州、福州三个连续重力观测台站。以 2014 年第 10 号强台风“麦德姆”为例, 利用重力观测资料研究: (1) 台风引起的地脉动信号的强度和卓越频率的变化规律; (2) 台风卓越周期与台风强度和移动速度的关系; (3) 连续重力资料非潮汐信息提取。结果表明: (1) 台风靠近台站时地脉动信号增强, 登陆后迅速减弱, 福州台记录的信号卓越频率要比其他台站高; (2) 台风卓越周期与台风强度和台风移动速度的关系比较复杂; (3) 用现代滤波器能有效滤除长期存在的干扰信号。

关键词: 福建; 重力观测; 频谱分析; 地脉动; 卓越频率; 滤波器; 台风

中图分类号: P444; P315.728

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)04-1090-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.04.1090

Research on the Characteristics of Typhoon “Matmo” Using Continuous Gravity Data from Fujian Province

ZHONG Ji-mao, GUAN Yu-mei, YANG Jin-ling

(Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract: Fujian Province is located on the southeast coast of China, and is affected by a number of typhoons between May and October every year. At present, there are three continuous gravity observation stations in Fujian Province (Xiamen, Zhangzhou, and Fuzhou stations) and gPhone gravity meters are used at these stations. The tenth strong typhoon of 2014, which was named “Matmo”, crossed the island of Taiwan, landed at the southern coastal town of Gaoshan, Fuqing City, Fujian Province, on July 23 at 15 : 30, and then weakened into a severe tropical storm. Taking this typhoon as an example, we used the continuous gravity data to study: (1) the rules governing changes in the strength and predominant frequency of the microtremor signal caused by the typhoon; (2) the relationship between the typhoon’s predominant period and its strength and moving speed; and (3) extraction of non-tidal information from the continuous gravity data. The results were as follows: (1) The amplitude of the signal that was recorded by the three stations changed from strong to weak as typhoon “Matmo” moved from close by to far away, and weakened rapidly after landing. This result was consistent with the actual situation. The predominant frequencies with time changed similarly because Xiamen station is relatively close to Zhangzhou station. The closer the distances are, the higher the frequencies are: this may be associated with

① 收稿日期: 2014-11-07

基金项目: 福建省地震局青年科技基金(Y201305); 福建省地震局科技基金专项(SF201516)

作者简介: 钟继茂(1964—), 男, 江西瑞金人, 硕士, 高级工程师, 主要从事地壳形变观测资料分析处理与地震预报研究。

E-mail: zjm85403@163.com。

the signal propagation path and the nature of the medium. (2) The relationship between the typhoon's predominant period and its strength and moving speed is complex, which may be related to the twisting path and complex terrain. (3) The coastal continuous gravity observation interference can be divided into two categories: long-term and short-term. A Kalman filter can effectively remove the long-standing, more regular interference components. Under normal circumstances the filtering result is almost a straight line, which is useful for judging whether the data are normal.

Key words: Fujian Piovince; gravity observation; spectrum analysis; microtremor; predominant frequency; filter; typhoon

0 引言

福建省地处我国东南沿海,每年 5—10 月都有数量不等的台风登陆或从邻近的台湾海峡经过。为了研究台风这一自然灾害的发生机理及其影响,进而对其进行监测预报,金星等^[1]利用宽频段速度记录的频域特征研究了台风生成、发展、消亡整个过程的波谱特征,得到在台风不同阶段卓越周期的变化特点,认为台风信号有效频带为 0.1~0.3 Hz。钟继茂^[2]利用福建省连续重力观测资料研究了 2012 年第 5 号台风“泰利”的卓越频率等特征,结果在 0.25 Hz 左右。郭明瑞等^[3]则用连续重力观测仪的原始记录分析研究了 2013 年 2 月 6—8 日圣克鲁斯群岛 6 次强震的同震响应特征。

本文以 2014 年第 10 号强台风“麦德姆”为例,拟研究:(1) 台风引起的地脉动信号的强度和卓越频率的变化规律;(2) 台风卓越周期与台风强度和移动速度的关系;(3) 连续重力资料非潮汐信息的提取,以期探讨台风“麦德姆”活动特征和对连续重力观测资料滤波处理方法的改进。

1 福建省连续重力观测和台风“麦德姆”概况

目前福建省有三个连续重力观测台站,即厦门台、漳州台和福州台,均采用 gPhone 重力仪,其采样率为秒采样,精度为 10^{-8} ms^{-2} ,分辨率 $0.01 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。2014 年第 10 号台风“麦德姆”在横穿台湾岛之后,于 7 月 23 日 15 时 30 分在福建福清南部高山镇沿海登陆,登陆时强度由之前的台风级减弱为强热带风暴。福建省连续重力观测台站分布和台风“麦德姆”路径如图 1。

2 台风“麦德姆”活动特征

2.1 离散傅里叶变换中数据长度与频率分辨率的关系
要区分频率轴上的两个频率点 f_1 和 f_2 ,有效

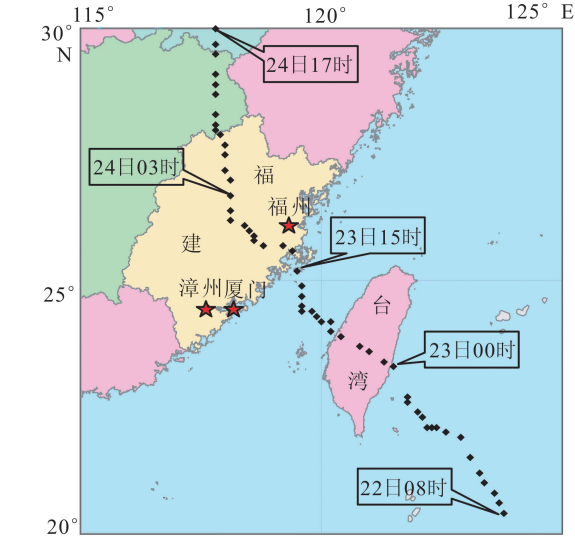


图 1 福建省连续重力观测台站分布和台风“麦德姆”路径
Fig.1 Distribution of continuous gravity stations in Fujian Province and track of typhoon“Matmo”

数据长度 N 必须满足以下关系式:

$$\frac{2f_s}{N} < |f_1 - f_2| \tag{1}$$

式中: f_s 为采样频率^[4]。在本研究中,采样频率 $f_s=1 \text{ Hz}$,如果取 1 小时为一个时间窗,数据长度 $N=3\ 600$,则频率分辨率为 $\Delta f=|f_1-f_2|=5.6 \times 10^{-4} \text{ Hz}$,能满足本研究的需要。

2.2 台风信号频谱特征

为了研究在台风“麦德姆”期间(2014 年 7 月 22—25 日)三台重力仪记录的地脉动信号强度和卓越频率随时间的变化过程,编写了以 1 小时为时间窗的观测资料傅里叶变换 Matlab 程序代码,频谱分析结果见图 2。

从图 2 的频谱幅值曲线可以看出,2014 年 7 月 22—25 日台风“麦德姆”从趋近到渐远重力观测台站,信号强度从增强到减弱。其中福州台重力仪记

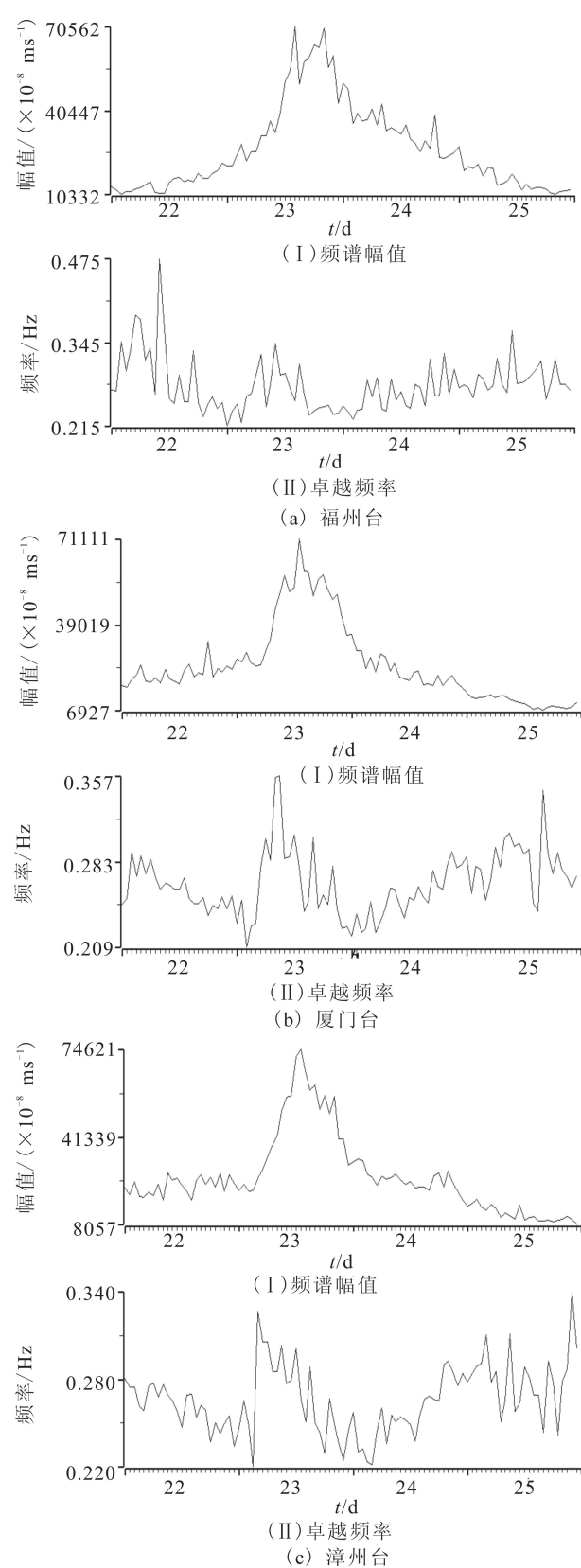


图 2 福建省三个连续重力观测台站记录记录的“麦德姆”频谱分析结果

Fig.2 Frequency spectrum analysis results of typhoon “Matmo” recorded by the three continuous gravity stations in Fujian Province

录到台风于 7 月 23 日 15—16 时在福建福清南部高山镇沿海登陆,登陆时信号强度迅速减弱,之后继续接近和远离福州台,相应地,信号又增强和逐渐减弱;而厦门台和漳州台只记录到台风登陆前后信号增强和减弱,因为台风路径离它们较远。

从图 2 的卓越频率曲线来看,厦门台和漳州台信号卓越频率随时间变化特点相近,但与福州台不同,可能与台风引起的地脉动信号传播路径以及介质性质有关。由于厦门台和漳州台相距较近(50 km),信号传播路径和介质性质相近,所以卓越频率随时间变化特点相近;而厦门台和福州台相距较远(210 km),信号传播路径和介质性质不同,使得卓越频率随时间变化特点也不同。

另一组数据也可说明这一问题。福州台、厦门台、漳州台卓越频率的平均值分别是 0.278 4、0.264 4、0.266 1 Hz。厦门台和漳州台相近(差 0.001 7 Hz),与福州台不同(差 0.004 0 Hz),且福州台高频成分多于另外两个台,这与台风路径靠近福州台有关,距离近,高频衰减少。

2.3 卓越周期规律统计

卓越周期是卓越频率的倒数。卓越频率是通过频谱分析得到的信号中所占能量最大的频率成分,所以卓越周期的变化也可以反映台风信号能量的变化。我们认为卓越周期与台风强度和台风中心移动速度有关,台风强度和台风中心移动速度等资料可查阅中国天气网^[5]得到,采用文献^[1]的模型:

$$T = a + b(V_D^{0.5} - V_0^{0.5}) + cV_r * \cos \theta \quad (2)$$

式中: a 为待定常数,反映噪声水平的影响; V_D 为台风强度(中心风速, m/s), V_0 体现了台风对卓越周期开始产生影响时的中心风速(m/s), 整个第二项反映了台风强度(中心风速)对卓越周期的影响; $V_r * \cos \theta$ 为成一定角度的多普勒效应影响项,其中 V_r 为台风移动速度(km/h), θ 为台风移动方向同台风与台站连线夹角,可由余弦定理确定。

三个台的拟合结果列于表 1,可见:(1) 参数 b 和 c 的数值均较小,台风卓越周期较为稳定,在 3.7 s 左右。(2) 参数 b 数值在 10^{-1} 数量级,参数 c 数值在 10^{-3} 数量级,参数 b 要远大于参数 c ,说明台风源的强度对台风振动信号的卓越周期起到了主要控制作用,多普勒效应影响较小,但它还是客观存在的。(3) 参数 b 和参数 c 既有“+”值又有“-”值,台风卓越周期与台风强度和台风移动速度的关系比较复杂,这可能与台风移动路径曲折和地形复杂有关。

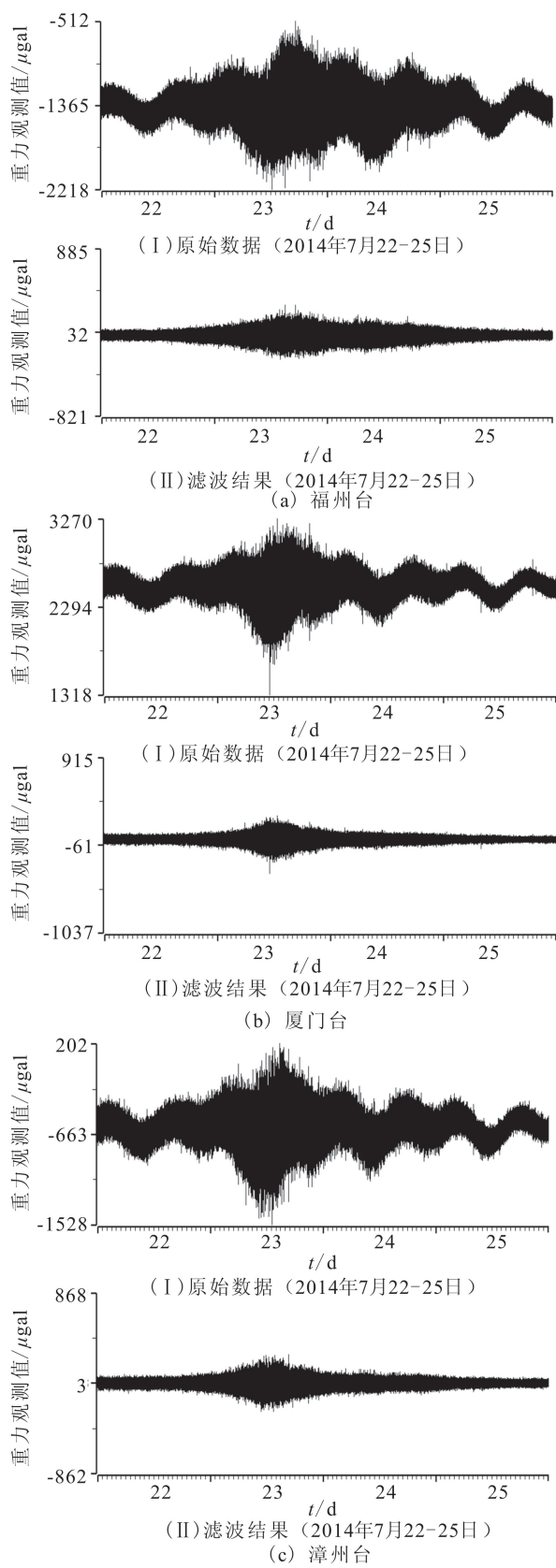


图 3 台风期间福建省三个重力观测台的原始数据及滤波结果

Fig.3 Raw data recorded by the three continuous gravity stations in Fujian province during the typhoon “Matmo” and the filtered results

表 1 模型参数拟合值			
Table 1	Fitting values of model parameters		
参数	福州台	厦门台	漳州台
a	3.592	3.782	3.758
b	0.198 4	0.273	−0.070 6
c	−0.008 996	−0.008 921	0.002 399
V_0	24.70	28.48	43.01

3 非潮汐信息提取研究

沿海连续重力观测受到各种干扰,如台风、地震、潮汐(包括固体潮和海潮)、噪声(主要是海浪冲击海岸产生的地脉动)及降雨等。由于这些干扰信号的频带交织在一起,用经典的滤波方法难以排除,经典滤波器输入信号中有用成分和希望滤除的成分占用不同的频带;而现代滤波器如维纳滤波器、卡尔曼滤波器等,其输入信号中有用信号和希望滤除的成分频带交叠。为此,我们不把干扰因素分为高频和低频,而是分为长期存在的和短期出现的两大类,长期存在的干扰如仪器零漂、潮汐、噪声等;短期出现的干扰如地震、台风、降雨、前兆信号等。

图 3 是这三个重力观测台在“麦德姆”台风期间的原始数据和卡尔曼滤波结果。由图可见,卡尔曼滤波能较好地滤除长期存在的、比较有规律的干扰成分,经过滤波后不论是低频的潮汐干扰还是高频的本底噪声基本看不到了,只剩下台风信号。正常情况下(没有地震、台风、降雨等)滤波结果几乎是一条直线(图 4),这样为我们判断资料是否正常提供了有利条件。

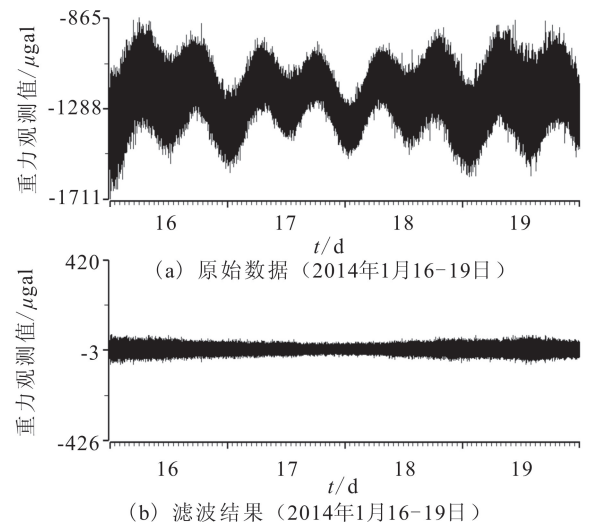


图 4 正常情况下福州台原始数据和滤波结果

Fig.4 Original data and the filtered result from Fuzhou station under normal circumstances

对于短期出现的干扰信号的排除,有待进一步研究,但至少目前我们可以根据地震同震响应、台风报道和天气情况等加以识别。

4 结 论

(1) 用秒采样重力观测资料研究台风引起的地脉动信号的强度和卓越频率随时间的变化规律时,以 1 小时为时间窗的数据长度满足傅里叶变换频率分辨率要求。

(2) 福建省三个连续重力观测台站都记录到台风由近及远时信号强度由强变弱的过程,且台风登陆时迅速减弱,这与实际情况相符;离台风路径近的台站记录的信号卓越频率高,这可能与信号传播路径和介质性质有关,距离近,则高频衰减少。

(3) 台风卓越周期与台风强度和台风移动速度的关系比较复杂,但较为稳定,在 3.7 s 左右。

(4) 沿海连续重力观测受到干扰可分为长期存在干扰和短期出现干扰两大类,卡尔曼滤波能较好地滤除长期存在的、比较有规律的干扰成分。正常情况下滤波结果几乎是一条直线。

参考文献(References)

[1] 金星,康兰池.利用宽频带速度记录的频域特征研究台风[J].自然灾害学报,2007,16(4):27-35.
JIN Xing, KANG Lan-chi. Research on Typhoon Using Frequency Character of Broadband Velocity Record[J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(4): 27-35. (in Chinese)

[2] 钟继茂.福建省连续重力观测资料分析[J].大地测量与地球动力学,2013,33(增刊 I):53-56.
ZHONG Ji-mao. Analysis on Fujian Continuous Gravity Observation[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2013, 33(Suppl I): 53-56. (in Chinese)

[3] 郭明瑞,郭昱琴,胡久常,等.琼中地震台重力仪记录同震响应特征分析[J].地震工程学报,2013,35(3):698-701.
GUO Ming-rui, GUO Yu-qin, HU Jiu-chang, et al. Analysis of the Characteristics of the Coseismic Response of the Gravity Instrument at the Qiongzong Seismostation[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 698-701. (in Chinese)

[4] 罗军辉,罗勇江,白义臣,等. MATLAB7.0 在数字信号处理中的应用[M].北京:机械工业出版社,2005.
LUO Jun-hui, LUO Yong-jiang, BAI Yi-chen, et al. Application of MATLAB7.0 to Digital Signal Processing[M]. Beijing: China Machine Press, 2005. (in Chinese)

[5] <http://www.weather.com.cn/>

(上接 1081 页)

[11] Zhu L P, Heimberger D V. Advancement in Source Estimation Techniques Using Broadband Regional Seismograms[J]. Bull Seis Soc Am, 1996, 86(5): 1634-1641.

[12] 龙锋,张永久,闻学泽,等.2008 年 8 月 30 日攀枝花—会理 6.1 级地震序列 $M_L \geq 4.0$ 事件的震源机制解[J].地球物理学报, 2010, 53(12): 2852-2860.
LONG Feng, ZHANG Yong-jiu, WEN Xue-ze, et al. Focal Mechanism Solutions of $M_L \geq 4.0$ Events in the $M_S 6.1$ Pan-zhihua—Huili Earthquake Sequence of Aug 30, 2008[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(12): 2852-2860. (in Chinese)

[13] 吕坚,郑勇,马玉虎,等.2010 年 4 月 14 日青海玉树 $M_S 4.7$ 、

$M_S 7.1$ 、 $M_S 6.3$ 地震震源机制解与发震构造研究[J].地球物理学进展, 2011, 26(5): 1600-1606.
LV Jian, ZHENG Yong, MA Yu-hu, et al. Focal Mechanisms and Seismogenic Structures of the $M_S 4.7$, $M_S 7.1$ and $M_S 6.3$ Yushu Earthquakes of April 14, 2010[J]. Progress in Geophysics, 2011, 26(5): 1600-1606. (in Chinese)

[14] 李强,江在森,武艳强.海原—六盘山断裂带现今构造变形特征[J].大地测量与地球动力学, 2013, 33(2): 18-22.
LI Qiang, JIANG Zai-sen, WU Yan-qiang. Present-day Tectonic Deformation Characteristics of Haiyuan—Liupanshan Fault Zone[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2013, 33(2): 18-22. (in Chinese)