

福建省连续重力观测资料分析^{*1}

钟继茂

(福建省地震局,福州 350003)

摘要 借助 Matlab 平台,采用功率谱密度估计方法和傅里叶谱,分析 2012 年 4 月 11 日苏门答腊 8.6 级地震引起的地球自由振荡和 2012 年第 5 号台风“泰利”的卓越频率等特征。结果显示:厦门台和福州台能监测到地球自由振荡信号的基频振型;漳州台和福州台监测到的台风的卓越频率约为 0.25 Hz。

关键词 连续重力观测;地球自由振荡;功率谱密度估计;卓越频率;台风

中图分类号:P315.72+6

文献标识码:A

ANALYSIS ON FUJIAN CONTINUOUS GRAVITY OBSERVATION

Zhong Jimao

(Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003)

Abstract With the help of the Matlab platform, the Earth's free oscillations caused by the Ms8.6 Sumatra earthquake on April 11, 2012 and the predominant frequency of typhoon Talim of No. 5 in 2012 are analyzed by the power spectral density estimation and Fourier spectrum. The results show that Xiamen and Fuzhou stations monitored the baseband modes in free oscillation signals, while Zhangzhou and Fuzhou stations monitored the typhoon with predominant frequency about 0.25 Hz.

Key words: continuous gravity observation; Earth's free oscillation; power spectral density estimation; predominant frequency; typhoon

1 引言

福建地处我国东南沿海,每年 5—10 月都会受到台风袭扰。金星等^[1,2]利用宽频带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,又利用宽频带速度记录的时域特征研究了台风形成、发展过程中振动能量的变化,统计了均方根速度与台风参数的对应关系。

为了检验福建地区重力仪监测信号的能力,本文选择地震和台风分别研究,结果表明仪器监测到大地震引起的地球自由振荡和台风引起的地面运

动。基于监测结果,借助 Matlab 平台,编写功率谱密度估计程序,研究 2012 年 4 月 11 日苏门答腊 8.6 级地震引起的地球自由振荡。通过傅里叶变换,得到了 2012 年第 5 号台风“泰利”的卓越频率,又引入“台风均方根速度”概念,比较了漳州台和福州台监测到台风的“均方根”速度和持续时间。

2 观测资料预处理

福建地区的连续重力观测台站与各台站使用仪器的参数见表 1。

2012 年 4 月 11 日苏门答腊北部附近海域发生 8.6 和 8.2 级地震,震源深度 20.0 km。厦门台

* 收稿日期:2012-12-28

基金项目:福建省防震减灾“十一五”重点项目

作者简介:钟继茂,男,1964 年生,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

DZW 型重力仪和福州台 gPhone 重力仪记录到这次大地震同震响应(图 1),但漳州台 PET 型重力仪地震时出现故障。考虑到地球自由振荡周期大约在 1 分钟~1 小时,选用分钟采样的厦门台 DZW 型重力仪资料。由于福州台 gPhone 重力仪资料为秒采样,故需重采样得到分钟值数据,再分析研究。研究时段取 2012 年 4 月 11—16 日共 6 天数据,期间个别缺数采用线性插值处理。

表 1 福建地区重力观测仪器参数
Tab. 1 Parameters of gravity observation instruments in Fujian area

台站名称	仪器型号	分辨率 (10^{-8}ms^{-2})	精度 (10^{-8}ms^{-2})	采样率	启用时间 (年-月-日)
厦门台	DZW	0.1	1	分钟	2001-06-08
漳州台	PET	0.01	1	秒	2008-03-01
福州台	gPhone	0.01	1	秒	2011-11-08

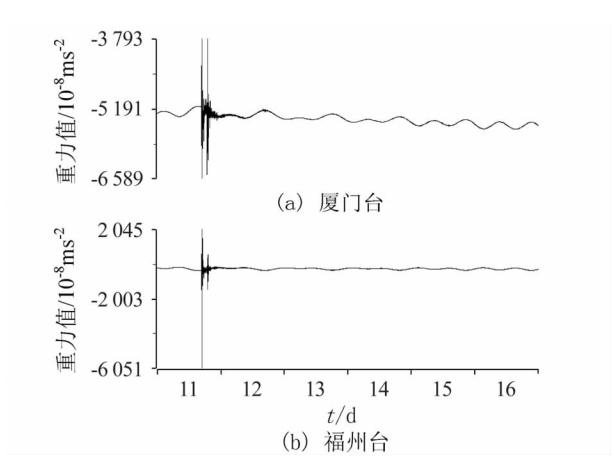


图 1 苏门答腊地震同震响应(2012-04-11—16 日)
Fig. 1 Coseismic response to Sumatra earthquake(2012-04-11—16)

对于离散随机信号序列 $x(n)$,其自相关函数 $r_x(m)$ 定义为^[3]

$$r_x(m) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)x(n+m) \tag{1}$$

由 $x(n)$ 的 N 个观察值 $x_N(0), x_N(1), \cdots, x_N(N-1)$ 估计自相关函数的估计式有:

有偏估计

$$\hat{r}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-|m|} x_N(n)x_N(n+m) \tag{2}$$

无偏估计

$$\hat{r}_x(m) = \frac{1}{N-|m|} \sum_{n=0}^{N-1-|m|} x_N(n)x_N(n+m) \tag{3}$$

随机信号的功率谱 $P_x(e^{j\omega})$ 为

$$P_x(e^{j\omega}) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} r_x(m)e^{-j\omega m} \tag{4}$$

厦门台重力观测分钟值时间序列(2012 年 4 月 11—16 日)的功率谱密度估计的 Matlab 程序代码

```
为[4]:
load x % 载入时间序列 x
nfft = 8192;
fs = 1/60; % 采样频率,单位 Hz
Cx = xcorr(x, 'unbiased'); % 计算序列的自相关函数,采用无偏估计
Cvk = fft(Cx, nfft); % 计算 FFT
pxx = abs(Cvk); % 求解 PSD
f = fs * (0:(nfft/2))/nfft;
figure, plot(f, pxx(1:(nfft/2+1)))
set(gca, 'YLim', [0 1e+6]);
set(gca, 'XLim', [0 9e-3]);
xlabel('频率/Hz');
ylabel('功率谱密度/(10^-8 ms^-2)^2 (Hz)^-1');
```

运行结果如图 2(a)。图 2(b)为福州台同期的结果。

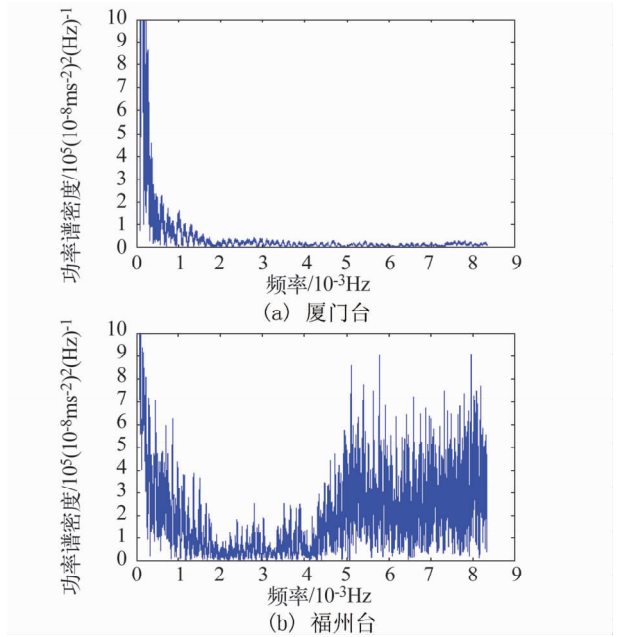


图 2 台站重力观测时间序列功率谱
Fig. 2 Power spectrum of time series of station gravity observation

3 自由振荡信号监测结果

从图 2(a)可以看出,在频率 $(0.3 \sim 8.3) \times 10^{-3}$ Hz,厦门台重力观测监测到的是地球自由振荡低频率振型(振型频率越低,信号功率越大)。表 2 是基频振型 $S_0 \sim S_9$ 的厦门台监测结果与 Dziewonski 和 Anderson 的观测结果^[5]的对比。

由表 2 可见,对于地球自由振荡频率,厦门台测得的结果与文献[5]的结果存在差异。产生误差的原因:1)苏门答腊强烈地震属于双震型,激发的地

球自由振荡应当是双震分别激发的自由振荡叠加的结果,与孤立型地震激发的地球自由振荡不同;2)在实际计算自相关函数时,只能用有限长度时间序列代替无限长度时间序列进行估计。虽采用无偏估计,但自相关函数两端附近,参与计算的数据量小,具有较大的方差。由于功率谱密度是自相关函数的傅里叶变换,因此功率谱密度也是估计的;3)观测资料预处理过程中没有作滤波处理,尤其是没有对信号频率处于地球自由振荡频率范围内的非地球自由振荡信号进行滤波,这有待今后进一步工作。

表2 ${}_0S_0 \sim {}_0S_9$ 的厦门台结果与文献[5]结果的比较(单位: 10^{-3}Hz)

Tab.2 Result comparison between Xiamen station and references[5] from ${}_0S_0$ to ${}_0S_9$ (unit: 10^{-3}Hz)

振型	厦门台结果	文献[5]结果	两者之差
${}_0S_0$	0.817 9	0.814 7	0.003 2
${}_0S_2$	0.303 1	0.309 3	-0.006 2
${}_0S_3$	0.472 0	0.468 5	0.003 5
${}_0S_4$	0.647 0	0.647 0	0.000 0
${}_0S_5$	0.848 4	0.840 2	0.008 2
${}_0S_6$	1.023 4	1.038 2	-0.014 8
${}_0S_7$	1.239 0	1.232 4	0.006 6
${}_0S_8$	1.414 0	1.413 1	0.000 9
${}_0S_9$	1.580 8	1.577 6	0.003 2

正常情况下(无地震,图3),重力潮汐变化观测时间序列的功率谱密度分布见图3,功率谱密度随频率指数衰减,高频端的功率密度很小。而图2(b)表明,福州台主要监测到地球自由振荡信号高频振型,高频端功率密度较大。表3是福州台监测的自由振荡高频振型的频率和功率密度。

表3 福州台监测自由振荡高频振型的频率和功率密度(部分)

Tab.3 Frequencies and power densities of higher vibration modes of free oscillations monitored by Fuzhou station (partly)

振型	频率 (10^{-3}Hz)	周期 (s)	功率密度 ($((10^{-8}\text{ms}^{-2})^2(\text{Hz})^{-1})$)
${}_0S_{44}$	5.104 6	195.90	8.58×10^5
${}_0S_{48}$	5.399 6	185.20	7.78×10^5
${}_0S_{50}$	5.635 6	177.44	7.50×10^5
${}_0S_{52}$	5.771 9	173.25	9.05×10^5
${}_0S_{61}$	6.581 6	151.94	7.22×10^5
${}_0S_{69}$	7.318 1	136.65	7.50×10^5
${}_0S_{74}$	7.792 2	128.33	7.39×10^5
${}_0S_{76}$	7.950 8	125.77	9.08×10^5
${}_0S_{80}$	8.180 7	122.24	7.69×10^5

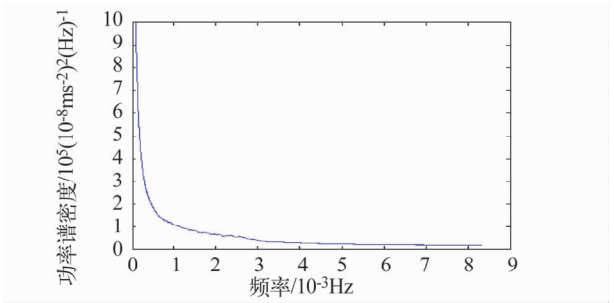


图3 正常情况下重力观测功率谱密度分布
Fig.3 Power spectral density distribution of gravity observation under normal circumstances

4 台风监测结果

图4是2012年第5号热带风暴“泰利”期间漳州台和福州台重力观测原始记录。

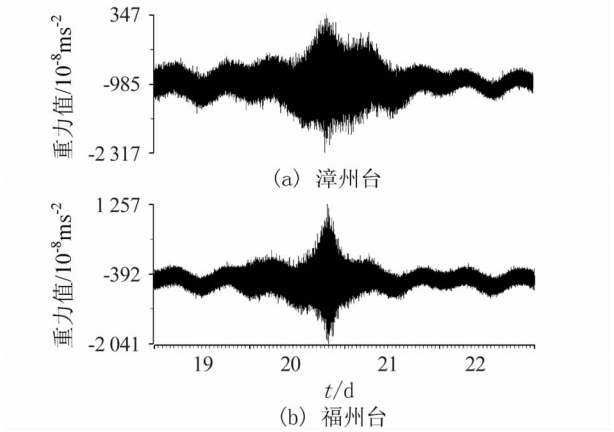


图4 台风“泰利”期间重力观测原始记录(2012-06-19—22日)
Fig.4 Original records of gravity observation during typhoon Talim

漳州台 PET 型重力仪和福州台 gPhone 重力仪均为秒采样,研究时段取2012年6月19—22日,计345 600 s数据。将台站重力观测时间序列作傅里叶变换,把时间域信号转换到频率域,得到傅里叶谱,谱上振幅最大值所对应的频率为卓越频率^[6]。图5是台风时间序列傅里叶谱,可以看出卓越频率在0.25~0.3 Hz,这与文献[1]的结论相符。

由重力仪工作原理可知,当仪器墩有加速度时,摆杆位置发生变化,此时仪器读数反映了垂直方向地面加速度。加速度对时间的积分得到速度,因此有可能把“台风均方根速度(RMS)”概念^[2]引入台风期间的重力观测。将重力仪原始观测数据滤波去固体潮汐等低频成分后,作积分运算得到速度时间序列,再选取1小时为一个时间窗,做出垂直向均方根速度随时间变化图6。从图6看出,漳州台监测到最大风速比福州台大,持续时间也比福州台长。

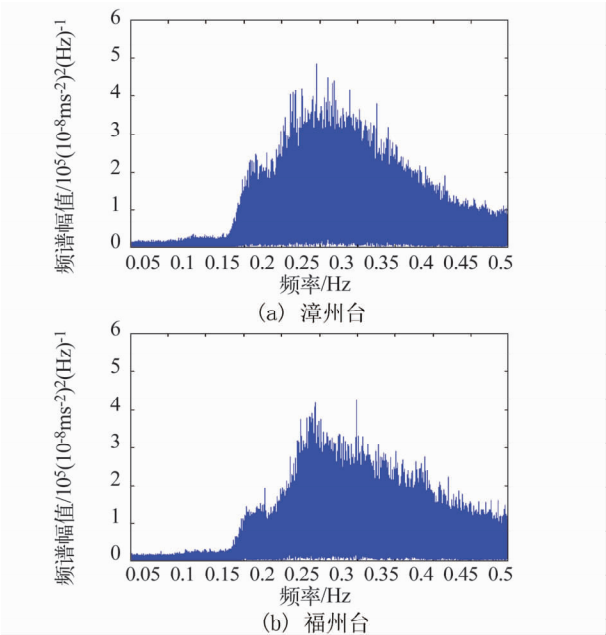


图5 台风信号 FFT 频谱幅值

Fig. 5 FFT spectrum amplitude of typhoon signal

5 结论

1)福建省连续重力观测监测到苏门答腊地震激发的地球自由振荡信号基频振型,其中厦门台主要监测到低频率振型,而福州台主要监测到高频振型。

2)2012 年第 5 号台风“泰利”6 月 19—22 日沿台湾海峡北上,沿海的漳州台 PET 型重力仪和福州台 gPhone 重力仪监测到此次台风卓越频率在 0.25~0.3 Hz。

3)漳州台 PET 型重力仪和福州台 gPhone 重力仪监测到台风“泰利”引起的地面垂直方向均方根速度随时间变化。漳州台监测到最大速度比福州台大,持续时间也比福州台长。这与台风沿台湾海峡

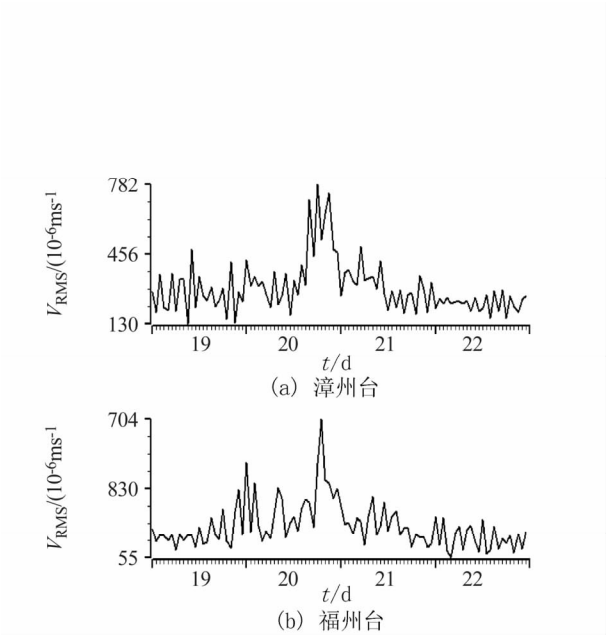


图6 “泰利”台风均方根速度随时间变化

Fig. 6 Variation of root-mean-square velocity with time of typhoon Talim

北移并减弱的实际情况相符。

参 考 文 献

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.

2 金星,康兰池. 利用宽频带速度记录的时域特征研究台风[J]. 自然灾害学报,2010,19(1):158-167.

3 伯晓晨,等. Matlab 工具箱应用指南——信息工程篇[M]. 北京:电子工业出版社,2000.

4 郭仕剑,等. MATLAB7. x 数字信号处理[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.

5 Dziewonski A M and Anderson D L. Preliminary reference earth model[J]. Phys Earth Planet Int,1981,25:297-356.

6 马宗晋,等. 地震词典[M]. 上海:上海辞书出版社,1991.