

高台台 JCZ-1 地震计 LP 通道数据 固体潮信息提取*

李兴坚^{1,2,3}, 李健康¹, 许玉红⁴, 冯红武¹, 刘小明¹, 雷功明⁴

(1. 甘肃省地震局 高台地震台, 甘肃 高台 734300; 2. 中国地震局 兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国地震局 兰州地球物理野外观测站, 甘肃 兰州 730000; 4. 甘肃省地震局 嘉峪关中心地震台, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘要: 通过对甘肃省高台地震台 JCZ-1 超宽频地震计 LP 通道垂直分量记录进行分析, 提取了固体潮汐信息, 并与 PET 重力仪观测数据及重力固体潮理论值提取的固体潮汐信息进行了对比。结果显示: JCZ-1 地震计 LP 通道垂直分量信号记录到了明显的固体潮汐信息, 通过 FFT 频谱分析提取到了清晰的日波、半日波振幅谱, 而 1/3 波振幅谱反应不明显, 该结果与同台的 PET 重力观测数据及重力固体潮理论值所求得的结果相一致。

关键词: JCZ-1 超宽频带地震计; 固体潮; LP 通道; 垂直分量; PET 重力仪

中图分类号: P315.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2013)04-0532-04

0 引言

随着数字地震台网技术的不断发展进步和观测技术的改进, 越来越多的长周期或者宽频带数字地震仪器也记录到了地球固体潮的信息。吕永清等 (1997) 在 JCZ-1 地震计 LP 通道资料中发现了地球自由振荡; 万永革等 (2004, 2005, 2007) 用中国数字地震台网的 VH 频段研究了与地球自由振荡相关的信息; 张雁滨等 (2006) 采用经典的 Venedikov 调和分析方法, 对武昌台 JCZ-1 超宽频地震计 LP 通道记录的垂直分量进行了潮汐信息的提取分析, 结果显示武昌台 JCZ-1 地震计仪器的垂直分量固体潮观测基本达到了传统的固体潮观测仪器的观测精度; 曾宪军等 (2010) 对蒙城地震台 JCZ-1T 超宽频地震计 LP 通道记录的固体潮特征进行了提取分析, 表明 JCZ-1T 地震计对于观测固体潮是成功的, 且可信度高。

本文以高台地震台 JCZ-1 超宽频地震计的 LP 加速度垂直分量记录资料为研究对象, 提取其固体潮汐信息, 并与本台 PET 重力观测资料提取的固体潮汐信息进行对比。

1 JCZ-1 超宽频地震计性能特征

JCZ-1 地震计是我国自行研制的高灵敏、低噪声、大动态范围、高分辨率的新型超宽频带地震计 (蔡亚先等, 1995, 1997, 2007)。该仪器的动态范围为 140 dB, 每个地震计分别有速度和加速度两个信号通道输出: BB 速度信号通道, 频带为 0.003 3 ~ 20 Hz, 周期范围为 0.05 ~ 360 s, 输出灵敏度为 103 V/M/s; LP 加速度信号通道, 频带为 0.003 3 ~ 0 Hz, 周期范围为 360 s ~ DC, 输出灵敏度为 104 V/M/s²。该仪器具有密封性好、高精度、恒温功能的环境保护装置, 有效抑制了大气压力和温度变化对仪器的影响, 保证了稳定连续的观测条件, 因而 JCZ-1 地震计已成为全频带观测地震波的仪器, 观测信息覆盖了从地震波到固体潮及更长周期的信号。

高台地震台 JCZ-1 地震计于 1999 年投入使用, 速度通道 (BB 通道) 的采样率为 50/s, 数据量纲是 ms⁻¹, 记录地震波及相对高频的信息, 主要用于地震监测、日常地震波震相分析。加速度通道 (LP 通道) 采样率为 1/s, 数据量纲是 ms⁻², 它的 3 个分量观测的物理量分别是地表运动在垂

* 收稿日期: 2012-11-08.

基金项目: 国家地震局合同制项目 (三结合) 项目 (2011040) 和甘肃省地震局科技发展基金项目 (2013Y03) 共同资助。

直、东西及南北方向的加速度变化,其观测精度为 10^{-8} ms^{-2} 。高台地震台 JCZ-1 地震计 LP 通道频率特性见图 1。

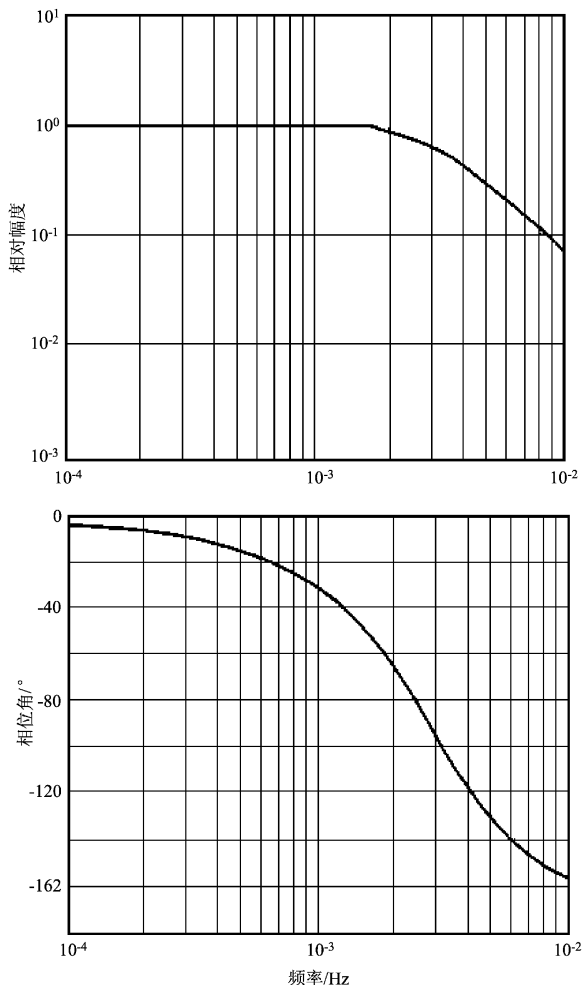


图 1 JCZ-1 地震计 LP 通道频率特性

(a) 幅频特性; (b) 相频特性

Fig. 1 Frequency characteristics of JCZ-1 seismometer in LP channel

(a) amplitude-frequency characteristic;

(b) phase-frequency characteristic

2 JCZ-1 超宽频地震计 LP 通道数据处理

信号处理的各种方法都是把采样率 f_s 视为固定值,即在一个数字系统中只有一种采样频率。但在实际系统中,经常会遇到采样率转换的问题。目前,中国地震台网的宽频带数字地震仪的采样率均为 $100/\text{s}$,采用通常的信号处理方法进行长时间序列数据处理,会导致数据量过大而计算机内存超界而不

能处理,需要降低采样率(万永革,2012)。

高台台 JCZ-1 超宽频带地震计 LP 通道记录的采样率为 $1/\text{s}$,由于数据量很大,直接形成计算所需要的数据文件,容易造成数据外溢和计算机死机。因此,需要降低采样率。应用 MATLAB 语言编写程序调用 decimate 函数对 LP 通道记录数据进行 $1/60$ 、 $1/3600$ 抽取,可得到采样间隔为 1 min (与地震前兆观测数据的采样间隔一致)和 1 h (与大部分固体潮分析数据的采样间隔一致)的数据文件。

对 2009 年 1 月 1 日至 12 月 31 日的连续数据进行采样率变换处理,分别得到分钟值和小时值采样间隔数据。

图 2a 为 2009 年 7 月 20 日一天时间长度的观测数据分钟值的降低采样率抽取的 LP 加速度信号(未乘格值)曲线、对比同时段 PET 重力观测值分钟值曲线(图 2b)和重力固体潮理论值曲线(图 2c),可看出 JCZ-1 地震计 LP 通道观测信号具有典型的固体潮变化特征,与 PET 重力观测曲线及理论值基本符合。

图 3a 为 2009 年 7 月 18 日 00 时至 25 日 23 时连续 8 天时间长度的 JCZ-1 地震计 LP 通道垂直分量的小时值数据曲线,对比同时段的 PET 重力观测值曲线(图 3b)及重力固体潮理论值曲线(图 3c),可见 JCZ-1 地震计 LP 通道观测信号质量较好,重力固体潮汐清晰明显。

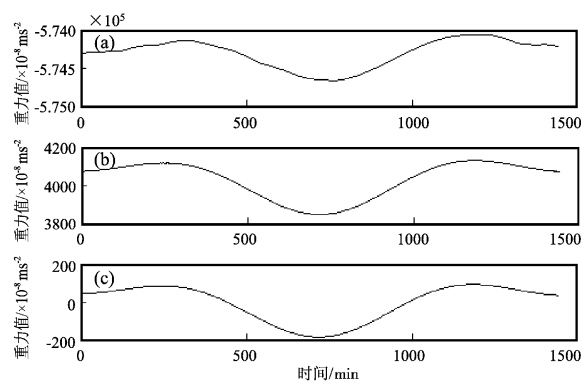


图 2 2009 年 7 月 20 日高台台分钟值曲线

(a) 抽取的 LP 通道垂直分量; (b) PET 重力观测值; (c) 理论值

Fig. 2 Minute value curve recorded by Gaotai Station on Jul. 20, 2009

(a) the extracted vertical component in LP channel; (b) PET gravity observational value; (c) theoretical value

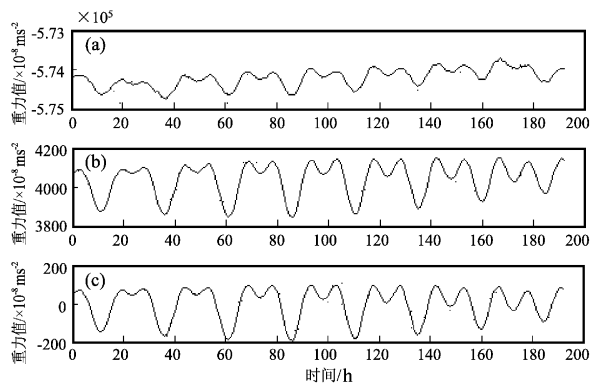


图3 2009年7月18日00时~25日23时

高台台小时值曲线

(a) 抽取的 LP 通道垂直分量; (b) PET 重力观测值; (c) 理论值

Fig. 3 Hour value curve recorded by Gaotai Station from 00:00, Jul. 18 to 23:00, Jul. , 25, 2009

(a) the extracted vertical component in LP channel; (b) PET gravity observational value; (c) theoretical value

3 JCZ-1 地震计 LP 通道垂直向记录到的固体潮

使用 FFT 对采样率变换后的 JCZ-1 地震计 LP 垂直通道记录小时值数据、相同时段的 PET 重力观测小时值数据和理论值数据进行固体潮汐频谱分析。

图4给出了2009年1月1~31日的小时值数据的FFT频谱结果。从3种数据的振幅谱结果看, JCZ-1 地震计 LP 通道垂直分量(图4a)记录到了清晰的月波(26 h)、日波(24 h)、半日波(12 h), 而 $\frac{1}{3}$ 波(8 h)反应不明显。从 PET 重力数据(图3b)和理论值(图4c)结果看, 无明显半月波, $\frac{1}{3}$ 波(8 h)也很微弱。

通过上述分析, 我们确认高台地震台 JCZ-1 超宽频地震计的 LP 加速度通道输出的信号主要为固体潮信息。

4 结论与讨论

(1) 对高台地震台 JCZ-1 地震计 LP 通道垂直分量记录数据进行采样率转换, 抽取得了1分钟和1小时采样间隔的数据, 提取到其观测信号具有典型的固体潮变化特征, 并与同台的 PET 重力观测曲线及理论值曲线形态基本符合。

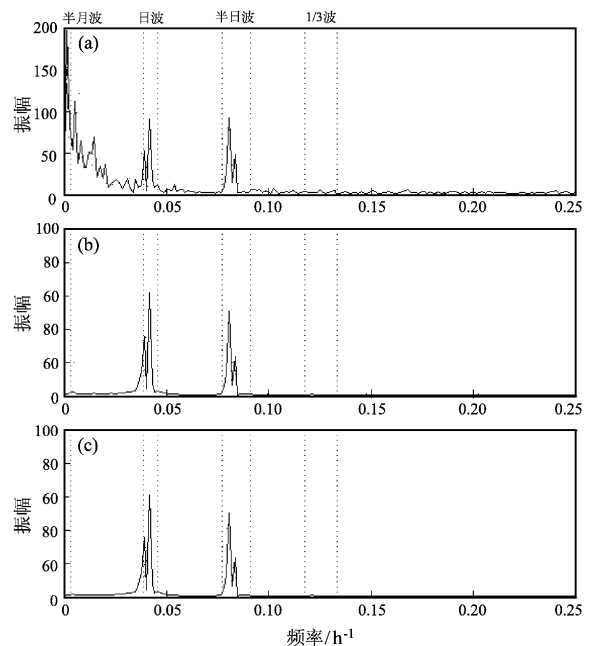


图4 2009年1月1日~31日高台台小时值

数据的FFT频谱结果

(a) LP 通道垂直分量; (b) PET 重力观测; (c) 理论值

Fig. 4 FFT spectrum of hour value data recorded by Gaotai Station from Jan. 1 to Jan. , 30, 2009

(a) the extracted vertical component in LP channel; (b) PET gravity observational value; (c) theoretical value

(2) 应用 FFT 对通过采样率转换抽取后的高台地震台 JCZ-1 地震计 LP 通道垂直分量小时值数据、PET 重力数据、固体潮理论值进行了频谱分析, 得到了3种数据的振幅频谱, 清晰地显示了周日波、半日波振幅, 而 $\frac{1}{3}$ 波振幅均反应不明显, 应该与观测台基有关。

(3) 通过上述的初步分析, 确认高台地震台 JCZ-1 超宽频地震计的 LP 加速度通道输出的信号主要为固体潮信息。

(4) JCZ-1 超宽频地震计的观测丰富了地球物理观测信息, 为多种研究目的提供了新的观测平台。在没有重力观测的地方基本可以使用低频地震仪观测结果替代。

感谢甘肃省地震局监测中心许康生高级工程师, 防灾科技学院万永革教授在本研究中给予的悉心指导和热心帮助!

参考文献:

蔡亚先, 吕永清, 程俊玲, 等. 2007. JCZ-1T 超宽频带地震计作为综

- 合观测仪器的拓展应用[J].地震地磁观测与研究,28(5):29-34.
- 蔡亚先,吕永清,周云耀,等.1995. JCZ-1超宽频地震计[J].地壳形变与地震,15(3):1-8.
- 蔡亚先,吕永清,周云耀,等.1997. JCZ-1甚宽频道观测初探[J].地震地磁观测与研究,(5):44-50.
- 吕永清,蔡亚先,周云耀.1997.用JCZ-1超宽频带地震仪观测地球的自由振荡[J].地壳形变与地震,17(3):103-105.
- 万永革,盛书中,郭燕平.2005.中国数字地震台网记录的昆仑山口西地震的地球环型振荡[J].地震,25(1):31-40.
- 万永革,盛书中,周公威,等.2007.中国数字地震台网记录的苏门答腊—安德曼地震激发的地球球型自由的检测[J].地震学报,29(4):369-381.
- 万永革,周公威,郭燕平.2004.昆仑山口西地震激发的地球环型振荡[J].防灾减灾工程学报,24(1):1-7.
- 曾宪军,孙宏博,张娟,等.2010. JCZ-1T超宽频地震计LP垂直通道记录的固体潮特征[J].地震地磁观测与研究,31(4):108-113.
- 张雁滨,蒋俊,蔡亚先,等.2006.武昌台JCZ-1地震计LP通道的信号分析[J].大地测量与地球动力学,26(4):112-115.

Solid Tide Information Extracted from Data in LP Channel Recorded by JCZ-1 Seismometer at Gaotai Station

LI Xing-jian^{1,2,3}, LI Jian-kang¹, XU Yu-hong⁴, FENG Hong-wu¹, LIU Xiao-ming¹, LEI Gong-ming⁴

(1. Gaotai Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Gaotai 734300, Gansu, China)

(2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(3. Lanzhou National Geophysical Research Station Field of Scientific Observation, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(4. Jiayuguan Central Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Jiayuguan 735100, Gansu, China)

Abstract

We compared the solid tides extracted by the vertical component recording in LP vertical channel recorded by JCZ-1 seismometer at Gaotai Station, the observational data of PET gravimeter and the gravity solid tide theoretical value. The results showed as follows: the solid tide information was recorded obviously by the vertical component recording in LP vertical channel by JCZ-1 seismometer. The clear amplitude spectrum of the day wave and half-day wave through FFT spectral analysis was obtained, while the amplitude spectrum of the 1/3 day wave was not obvious. This result was consistent with that of the observational data of PET gravimeter and the gravity solid tide theoretical value at Gaotai Station.

Key words: JCZ-1 ultra-broadband seismometer; solid tide; LP channel; vertical component; PET gravimeter