

琼中地震台重力仪记录同震响应特征分析^①

郭明瑞, 郭昱琴, 胡久常, 刘 伟, 郑 华, 卢永健

(海南省地震局, 海南海口 570203)

摘要:2013 年 2 月 6—8 日圣克鲁斯群岛发生 6 次强震, 琼中地震台的重力仪记录都有同震响应出现。本文从重力仪记录的面波的延迟时间、最大变形幅度、同震持续时间 3 个方面研究了 6 次强震的同震响应特征。

关键词: 强震; 琼中地震台; 重力仪记录; 同震响应; 特征

中图分类号: P315.72+6

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)03-0698-04

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0698

Analysis of the Characteristics of the Coseismic Response of the Gravity Instrument at the Qiongzong Seismostation

GUO Ming-rui, GUO Yu-qin, HU Jiu-chang, LIU Wei, LU Yong-jian

(Earthquake Administration of Hainan Province, Haikou, Hainan 570203, China)

Abstract: Far-field seismic-wave-induced fluctuation of water levels was first recorded in deep wells in Italy in 1899, and, since then, seismologists and hydrogeologists all over the world have been studying this phenomenon. Since the loading of the coseismic response has wide regional characteristics, its features are easily recognized. Today, since no breakthrough progress has been made in the study of seismic precursor mechanisms, the study of coseismic response is of critical importance for the understanding of earthquakes and their precursors.

Interim characteristics of the wave, wave characteristics, and earthquake preparation process using the whole point semidiurnal tidal observation data can represent the solid earth tides well, but not the pre-earthquake short-term fluctuations due to the large-scale sampling rate increase, suggesting that the use of digital deformation observation data is preferable. Since short-cycle fluctuation and jumping occur before the earthquake, precursor short-impending information and co-seismic deformation information of global earthquakes are essential.

In February 2013, six earthquakes occurred in the Santa Cruz Islands, and there was a co-seismic response of the gravimeter at Qiongzong. The coseismic response characteristics in three aspects of delay time of surface wave, the greatest deformation range and co-seismic duration were researched. In this paper, we study 6 earthquakes in the Santa Cruz Islands on February 6, 2013. Before an earthquake, the gravity instrument observation curve is smooth; the observational curve of the gravimeter at the Qiongzong seismostation on Feb. 6, 2013 denotes a strong earthquake ($M_s 7.5$), which shows a pulse-shape at the onset of pulsation, recorded at 09:22. (Beijing time) The response curve of the gravimeter reaches a low value by 09:44 and rises gradually to a peak at 09:46, before returning to the original level, lasting a total of 42 minutes. The result shows that the time delay of the surface wave is the same in earthquakes originating at the

^① 收稿日期: 2013-04-15

作者简介: 郭明瑞(1983—), 女(汉族), 甘肃省天水, 本科, 助理工程师, 主要从事地震监测和分析预报工作。

same place. The duration of the coseismic response is related to the resolution ratio of the observation instrument; the amplitude of the coseismic response is positive correlated with the magnitude of the earthquake. The coseismic responses are mostly high-frequency impulses caused by surface waves, some of which had long periods. The strain-step changes and wave motions were caused by the arrival of the corresponding surface waves. The shape and size of the step changes and the response time recorded by different instruments were different; this difference is probably a reflection of different instrument properties, such as sensitivity and frequency response. The result may help us reach a better understanding of the performance of digital observation instruments, providing us a way to study the short-impending anomaly prior to earthquake. Further analysis and studies on focal mechanism of the earthquake is necessary to better understand the characteristics of gravimeter records for distant and strong earthquakes.

Key words: strong earthquake; Qiongzong seismostation; response of the gravimeter; co-seismic response; characteristics

0 引言

利用固体潮汐观测的整点值数据可以很好地反映地球固体潮汐的日波、半日波特征及地震孕育过程的中期特征,但对于临近地震前出现的更短周期的中短期的脉动,则不能满足研究的需要。而数字化形变观测资料提供了其研究的可能性。数字化观测由于采样率的大幅度的提高,丰富了潮汐观测的震前变化信息^[1],如地震前短周期的脉动,突跳,前驱波^[2]等短临信息及全球大地震的同震形变等,借助形变观测有可能建立形变异常与远距离地震之间的关系或研究远震对形变观测的影响及其关系^[3]。本文选取发生在 2013 年 2 月 6 日、8 日圣克鲁斯群岛的 6 次大地震,从琼中地震台重力仪记录的面波的延迟时间、最大变形幅度、同震持续时间 3 个方面研究琼中台重力仪对远震的同震响应特征^[4]。

1 琼中地震台重力观测概况

海南岛在大地构造上位于华南块体西南部。琼中地震台地处海南隆起的中部,受区域性的两大 EW 向深大断裂与 NE 向主体构造断裂以及次一级的 NW 向构造断裂所控制。台站位于海南岛中部琼中黎族苗族自治县营根镇,周围 10 km 内无大断裂通过,台址岩基为海西—印支期花岗岩,岩性致密坚硬。台站自 2008 年购置安装重力仪,其观测资料稳定、可靠、完整性好。从观测数据来看,重力仪具有较宽的动态线形测量范围,较低的噪声水平和漂移率^[5]。

2 重力仪记录的同震响应特征分析

据中国地震台网测定,2013 年 2 月,圣克鲁斯

群岛发生 6 次强震(表 1)。
表 1 2013 年 2 月圣克鲁斯群岛 6 次 $M_s6.0$ 以上强震参数
Table 1 Basic parameters of 6 strong earthquakes ($M_s>6.0$) in Santa Cruz Islands in February 2013

序号	日期	时间	经度/(°)	纬度/(°)	深度/km	震级/ M_s
1	2013-02-06	09:12:25	165.0	-10.8	10	7.5
2	2013-02-06	09:23:20	165.0	-11.2	10	7.6
3	2013-02-06	09:54:14	165.7	-10.5	10	7.3
4	2013-02-08	02:59:14	165.7	-11	10	6.8
5	2013-02-08	19:12:12	165.8	-10.9	20	7.2
6	2013-02-08	23:26:39	166.0	-11.0	30	7.2

因数字化观测的采样间隔为 1 分钟,受采样间隔局限,同震形变波主要集中在面波频段,主要包括面波的延迟时间、最大形变幅度及同震持续时间等。这 6 次地震琼中地震台的重力仪都记录到同震形变波(图 1),同震响应参数见表 2。

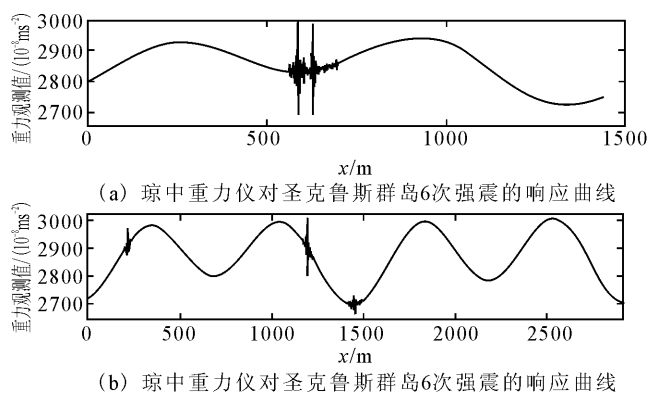


图 1 琼中重力仪对圣克鲁斯群岛 6 次强震的响应曲线

Fig. 1 Response curves of the gravimeter at Qiongzong seismostation to 6 strong earthquakes in Santa Cruz Islands

2013 年 2 月 6 日,圣克鲁斯群岛连续发生 3 次

地震。地震发生之前重力仪的观测曲线是光滑的^[6]。09 时 12 分圣克鲁斯群岛发生 $M_s 7.5$ 地震,

表 2 琼中重力仪记录的 2013 年 2 月圣克鲁斯群岛强震同震响应参数

Table 2 Co-seismic response parameters of gravimeter at Qiongzong seismostation to 6 strong earthquakes in Santa Cruz Islands in February 2013

时间	震级 / M_s	初动时间 /时:分	延迟时间 /分钟	最大波值 / $(10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})$	最小波值 / $(10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})$	波幅 / $(10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})$	响应持续 时间/分钟	响应 形态
2013-02-06T09:12	7.5	09:22	10	2996	2690	306	42	脉冲
2013-02-06T09:23	7.6	不明确	不明确	不明确	不明确	不明确	不明确	脉冲
2013-02-06T09:54	7.3	10:21	不明确	2987	2689	298	62	脉冲
2013-02-08T02:59	6.8	03:09	10	2971	2872	99	34	脉冲
2013-02-08T19:12	7.2	19:23	11	3009	2801	208	45	脉冲
2013-02-08T23:26	7.2	23:37	11	2732	2663	69	39	脉冲

从图 2 中可以看到,09 时 22 分,即主震发生后 10 分钟重力仪分钟值观测曲线出现了突跳,随后开始震荡,于 9 点 44 分达到最小波值 $2\,690 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;在最小波值只停留 1 分钟,随即大幅度震荡上升,于 9 点 46 分达到最大波值 $2\,996 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,这一波值持续了约 3 分钟;9 点 50 分,曲线震荡幅度明显变小,同震约持续 42 分钟,振幅为 $306 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。9 点 23 分该地点发生 7.6 级的地震,此时 7.5 级的地震对重力仪观测的影响尚未停止,观测曲线尚未恢复光滑,无法把该次的同震形变波与上次地震的同震形变波区分开来,因而无法分析响应特征。09 点 54 分 7.3 级地震发生后,琼中重力仪的同震响应形式仍为脉冲,从观测曲线中可看到,10 点 23 分,即主震发生后 25 分钟,曲线出现较大幅度的脉冲形态,10 点 27 分达到最小波值 $2\,689 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,随后大幅度上又将达到最大波值 $2\,987 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,再经过 62 分钟的震荡后恢复光滑。

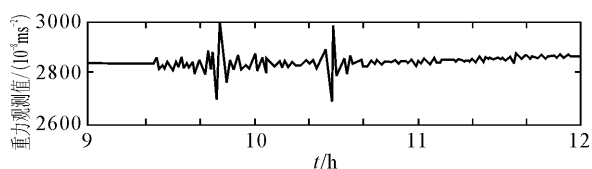


图 2 2013 年 2 月 6 日琼中重力仪器观测曲线
Fig. 2 Observation curve of the gravimeter at Qiongzong seismostation on Feb. 6, 2013

2013 年 2 月 8 日,圣克鲁斯群岛发生 $M_s 6.8$ 地震,从图 3 琼中台重力仪观测曲线中可以看到,03 点 09 分,即主震发生后 10 分钟,重力仪分钟值观测曲线出现突跳;随后开始震荡,于 3 点 32 分达到最小波值 $2\,872 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;之后便大幅度震荡上升,在最大波值只停留 1 分钟,于 9 点 33 分达到最大波值 $2\,971 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,持续了约 8 分钟;3 点 41 分,曲线震荡幅度明显变小。同震约持续 58 分

钟,振幅为 $62 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

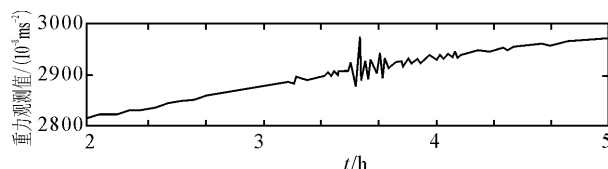


图 3 2013 年 2 月 8 日琼中重力仪器观测曲线(一)
Fig. 3 Observation curve (I) of the gravimeter at qiongzong seismostation on Feb. 8, 2013

2 月 8 日圣克鲁斯群岛又发生 $M_s 7.2$ 的地震(图 4),19 点 23 分,即主震发生后 11 分钟,重力仪分钟值观测曲线出现的突跳,随后开始震荡;于 19 点 45 分达到最大波值 $3\,009 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;在最大波值只停留 1 分钟,便大幅度震荡下降,于 19 点 46 分达到最小波值 $2\,801 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,这一波值持续了约 2 分钟;20 点 02 分,曲线震荡幅度明显变小。同震约持续 45 分钟,振幅为 $208 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

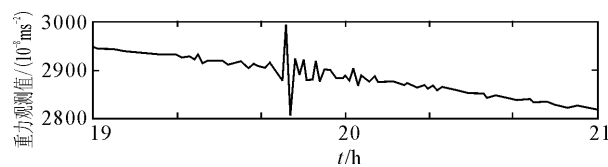


图 4 2013 年 2 月 8 日琼中重力仪器观测曲线(二)
Fig. 4 Observation curve (II) of the gravimeter at Qiongzong seismostation on Feb. 8 2013

3 重力仪记录的同震响应的面波延迟时间、最大波幅、持续时间

3.1 面波延迟时间

发生在圣克鲁斯群岛这 6 次地震对于琼中台震中距基本相同。其中 5 次地震时重力仪记录能清晰的辨别出初动时刻。琼中台重力仪记录到的同震形变波的延迟时间约 10 分或 11 分钟。考虑到数字化

观测的采样间隔为1分钟,可认为延迟时间是相同的。地震波在岩石中传播的时间与其传播的距离成正比,延迟时间的长短反映震中距的远近。

3.2 最大变形幅度

同震响应的最大波幅可能与震级大小有较强的相关关系,该特征对于分析地震短临前兆的特点及依据短临前兆进行地震预测研究是有意义的^[7],从数字观测资料的异常形态看,琼中台重力仪记录对圣克鲁斯群岛这6次地震的同震响应都是脉冲形式,6.8级地震的响应幅度明显比较小,波幅仅有 $99 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,7.5级的地震的波幅则达到最大 $306 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,震级大的对应同震形变波的波幅也比较大。2月8日23:26与19:12两次地震震级一样大,地点相同,但其深度不同,故波幅则有差别,进一步可以确认浅震造成的灾害要比深震严重。

3.3 同震持续时间

分辨率高的仪器,能观测到更微小的变化,因此同震持续时间与观测仪器的分辨率有关^[8]。对于同样的观测仪器,震级大的地震释放出的更多的能量,同震持续时间应该更长。同等震级,震中距远的地震造成的形变应该最小,同震持续时间有可能较短。琼中台重力仪记录在圣克鲁斯群岛这几次强震之后都是出现同震脉冲,震后曲线快速恢复光滑,回到震前趋势线上,无阶跃,漂移速率也没有改变。

4 结论

2013年2月6日至8日圣克鲁斯群岛发生6次6.0级以上的强震。通过对琼中台重力仪记录到的同震形变波资料进行分析,认为:(1)这6次远震,琼中台重力仪都记录到同震形变波,说明琼中台重力仪对巨大远震的映震能力很强。

(2)琼中台重力仪的记录曲线在圣克鲁斯群岛6次强震后都回到原趋势线上,没有阶跃,漂移速率也没有改变,表明该仪器比较稳定,适合固体潮潮汐观测。

(3)连续定点形变观测到的远震传播的地面震动信号的表现形式为脉冲或脉冲叠加阶跃。脉冲是由远震地震波经长距离传播形成的面波,当面波的频率与形变观测仪器自振频率接近时产生的共振现象。琼中台重力仪对这6次强震的响应形式都是脉冲,无阶跃,说明重力仪的自振周期和圣克鲁斯群岛远震的地震波的优势周期相近。

(4)地震波在岩石中传播的时间与其传播距离

成正比,对琼中台重力仪而言,这6次远震都发生在圣克鲁斯群岛中,震中距相同,其中5次同震波的初动明显,延迟时间也相同。

参考文献(References)

- [1] 张晶,牛安福,高福旺,等.数字化形变观测提取的地震短临异常特征[J].地震,2003,23(1):70-76.
ZHANG Jing, NIU An-fu, GAO Fu-wang, et al. On the Imminent and Short-term Characteristics of Earthquake Anomalies Obtained from the Digital Deformation Observations [J]. Earthquake, 2003, 23(1):70-76. (in Chinese)
- [2] 刘洪斌,尹亮,李东生,等.甘肃高台分量式应变前驱波的特征分析[J].西北地震学报,2012,34(3):299-238.
LIU Hong-bin, YI liang, LI Dong-sheng, et al. Analysis on Characteristics of Precursor Waves Recorded by Component Strain Observation at Gaotai Seismic Station, Gansu Province [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(3): 299-238. (in Chinese)
- [3] 牛安福,张晶,吉平,等.强地震引起的同震形变响应[J].内陆地震,2005,19(1):1-7.
NIU An-fu, ZHANG Jing, JI Pin, et al. Co-seismic Deformation Response of Strong Earthquake [J]. Inland Earthquake, 2005, 19(1):1-7. (in Chinese)
- [4] 牛安福,吉平,高福旺,等.印尼强地震引起的同震形变波[J].地震,2006,26(1):131-137.
NIU An-fu, JI Pin, GAO Fu-wang, et al. Co-seismic Deformation Waves Caused by Indonesia Earthquakes [J]. Earthquake, 2006, 26(1):131-137. (in Chinese)
- [5] 郑江蓉,徐徐,王俊,等.六合体应变干扰因素与地震短临异常特征研究[J].西北地震学报,2011,33(1):84-91.
ZHENG Jian-rong, XU Xu, WANG Jun, et al. Research on the Disturbance in Volume Strain Data at Liuhe Seismic Station and Its Short-imminent Abnormality Characteristics [J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(1): 84-91. (in Chinese)
- [6] 万永革.数字信号处理的MATLAB[M].北京:科学出版社,2007.
WAN Yong-ge. Digital Signal Processing MATLAB [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)
- [7] 付红,邬成栋,刘强,等.印尼巨大地震引起的云南水位异常记录及意义[J].地震地质,2007,29(4):873-882.
FU Hong, WU Cheng-dong, LIU Qiang, et al. Co-seismic Deformation Waves Caused by Indonesia Earthquakes [J]. Seismology and Geology, 2007, 29(4):873-882. (in Chinese)
- [8] 孙毅,程万正.特大远震引起的形变观测变化图象[J].内陆地震,2005,19(3):264-270.
SUN Yi, CHENG Wan-zheng. The Change Map of Deformation Observation Aroused by Huge Remote Earthquakes [J]. Inland Earthquake, 2005, 19(3):264-270. (in Chinese)