

长周期形变波特征分析*

陈双贵¹, 杨 斐³, 陈继锋², 闫万生¹, 田文通¹

(1. 甘肃省地震局 兰州观象台, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000;
3. 甘肃省地震局 平凉中心地震台, 甘肃 平凉 744300)

摘要: 利用一些大地震前观测到的短临和临震地震前兆异常资料, 综述了多年来长周期形变波观测事实和研究状况。利用地震前后记录到的典型震例异常图像的特点、形态、量级, 多层次分析了长周期形变波的异常持续时间, 有效监测范围, 主震震级范围, 异常形态, 周期及传播速度特性。结果表明: 长周期形变波异常持续时间多为震前几个小时到 6.5 天, 对应地震的震级大于 6.0 级以上, 有效距离范围 100 ~ 2 000 km。

关键词: 长周期形变波; 潮汐; 异常图像; 倾斜

中图分类号: P315.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2011)03-0308-05

0 引言

通过对地震形变进行观测与研究, 发现地震形变存在着一个继承性(准线性均速)运动—偏离继承性(加速度)运动—发生地震—震后调整逐步回复到继承性运动的过程, 因此当地形变时序出现由准线性至非线性趋势性变化时, 可能是大震、强震的短期前兆异常(冯德益等, 1984)。短临预报是地震预报中最薄弱的环节, 地震孕育过程的短临阶段应该是前兆信息最丰富的阶段, 也是最容易捕捉和识别前兆信息的阶段(吴云等, 2005)。1974 年 Kananori 报道了 1960 年 5 月 22 日智利 8.3 级大地震前 15 分钟, 在上万公里之外的加州帕萨迪地震台记录到了 300 ~ 600 s 的长周期形变波, 此后国内外不少学者相继报道了一些关于长周期形变波存在的短临前兆异常实例(Dieterich, 1978), 有些学者还进行了某种程度的地震预报。1990 年 10 月甘肃景泰 6.2 级地震前, 兰州台形变观测资料记录到了明显的“高频扰动”、“突跳”、“畸变”等异常现象(陈双贵等, 2006)。

1 长周期形变波的定义、理论探讨、现状和观测事实

1.1 长周期形变波的定义

大地震前应力集中, 构造内部积累了巨大的

能量, 必然在震中附近地区出现形变异常(应变和倾斜), 当弹性形变向塑性形变过渡并开始出现塑性形变时, 形变量很大, 沿着地壳传播形成长周期形变波, 只有这种波动才能长距离传播, 并且这种波源一定来自震中强应力地区。因为能够在很远的距离记录到震前、同震、震后形变波, 所以目前研究人员都不把它当作地倾斜, 而叫做超长周期形变波(邓建元, 1996)。这里提到的形变波是指一些震前波动、阶跃、突跳、扰动等。

1.2 长周期形变波的理论探讨

地震发生时, 震源仅释放地震孕育过程中积累的部分能量, 其余的大部分能量是在地震前以各种方式缓慢释放的, 长周期形变可能就是其中的一种。近年来, 国内外学者提出了多种关于长周期形变波的理论模型(韩元杰, 1984), 无论是“地震成核模式”、“IPE 模式”、非线性动力学中的“SOC 模式”, 还是断层预扩展理论、微破裂集结—广义成核理论、地震地形变演化过程中的“ β_2 ”和“ γ_1 ”阶段理论, 对长周期形变波的认识都是一致的或者相通的。在地震孕育过程中, 当能量接近破裂临界时, 往往会出现“地震”、“慢地震”、“静地震”、“蠕滑”等多种破裂的密集和明显的涨落, 并可能以波的形式向远方传播, 而长周期形变波就是这种性质的波(王少江, 殷志

* 收稿日期: 2010-03-24.

基金项目: 甘肃省青年地震科学基金(LC2010016)资助.

山, 1989)。郭增建和秦保燕 (1979) 指出：一般认为在大地震发生前，震源及其附近将会产生许多微小的错动和微小裂缝，大量微裂的串通，微错的进一步发展，将导致大断裂大错动的产生，那便可能是主震发生了。震前这种微裂微错的产生可以发射出频带较宽的振动现象，并且可以以波的形式向外发射，既有高频、中频的，也有低频的。

1.3 长周期形变波的研究现状

目前对长周期形变波的研究，还处于依靠片断记录对观测资料描述分析、实验及理论初步探讨阶段，缺乏系统的累积和研究。由于形变波是长周期的或者超长周期的波动，不容易引起人们的注意，甚至可能错误地看作是仪器的零漂和其他干扰，过去都是把它作为一种不明干扰来处理。形变波是目前已发现的可重复出现的、较可靠的短临前兆异常信息，对推动地震短临预报，具有重要的意义，在时间预测上有一定的作用，有望成为地震短临预报一个新的突破口。

1.4 短临异常图像实例

(1) 红山台水平摆倾斜仪在 1970 年 1 月 5 日通海 $M_s7.7$ 地震之前 21 h 记录到了明显的短周期波动 (图 1)。

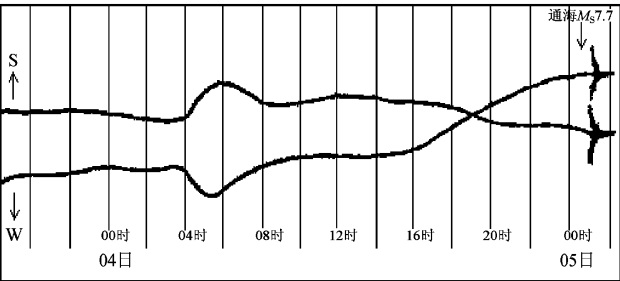


图 1 1970 年 1 月 5 日通海 $M_s7.7$ 级地震前红山台水平摆倾斜仪潮汐曲线异常图像^①

Fig. 1 Tidal deformation anomalous pattern recorded by the horizontal pendulum tiltmeter at Hongshan seismic station before Tonghai $M_s7.7$ earthquake on Jan. 5, 1970

(2) 1973 年 2 月 6 日四川炉霍 $M_s7.9$ 大震，位于震中以东 420 km 的西昌小庙台 JB 型水平摆

($t=12.5\text{ s}$) 倾斜仪，在震前 7 h 两分量同时记录到了脉动加粗状异常图像，波动周期约 20 min，震后 2 h 趋于正常 (图 2) (陈德福, 2006)。

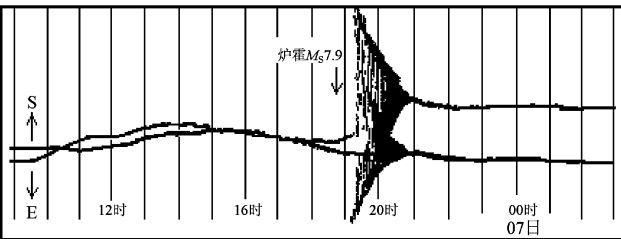


图 2 1973 年 2 月 6 日四川炉霍 $M_s7.9$ 大震前西昌台水平摆倾斜仪潮汐曲线异常图像

Fig. 2 Tidal deformation anomalous pattern recorded by the horizontal pendulum tiltmeter at Xichang seismic station before Luhuo $M_s7.9$ earthquake on Feb. 6, 1973

(3) 甘肃高台地震台电容式应变仪整点值曲线在 2001 年 11 月 14 日昆仑山西口 $M_s8.1$ 地震前后记录到的成组突跳，震中距 $\Delta \approx 970\text{ km}$ (图 3) (尹亮等, 2002)。

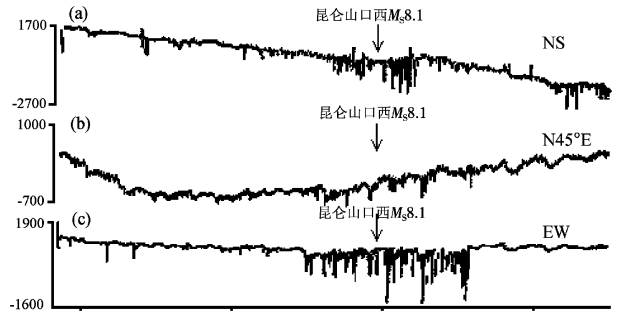


图 3 2001 年 11 月 14 日昆仑山西口 $M_s8.1$ 地震前高台台应变仪整点值异常曲线图

Fig. 3 Integral hour values anomalous pattern recorded by the body strain gauge at Gaotai seismic station before West Kunlun Mountains Pass $M_s8.1$ earthquake on Nov. 14, 2001

(4) 1990 年 10 月 20 日天祝—景泰 6.2 级地震，距震中 110 km 的兰州安宁台 SQ-70 型水平摆倾斜

① 周硕愚. 2006. 地形变基础知识与地震预报.

仪 NS 分量记录了震前 28 h 内连续 13 h 的潮汐曲线偏离状波动异常（周期 40 min）图像，幅变 $0.015''$ (7.3×10^{-8})（图 4）（陈德福，2006）。

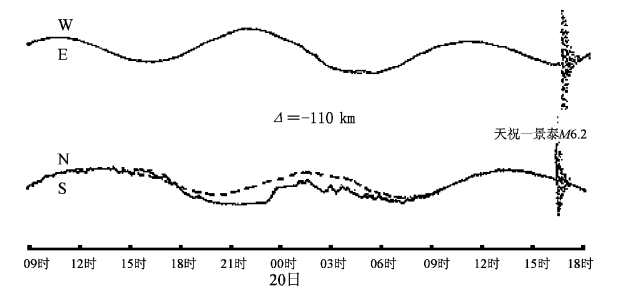


图 4 1990 年 10 月 20 日天祝—景泰 6.2 级地震前兰州台水平摆记录潮汐曲线偏离状波动异常图 ($\Delta = 110$ km)

Fig. 4 Tidal fluctuating anomalous pattern recorded by the horizontal pendulum tiltmeter at Lanzhou seismic station before Tianzhu-Jingtai M_s 6.2 earthquake on Oct. 20, 1990

(5) 1988 年 11 月 6 日云南澜沧—耿马 M_s 7.6 地震，距震中以北 295 km 的云南下关台 GS - 15 重力仪在震前 12.5 h 记录到了原始潮汐曲线脉动加粗异常图像，最粗处达 10 mm，而在正常情况下记录曲线粗 2 ~ 3 mm 粗，震后恢复正常（图 5）（陈德福，2006）。

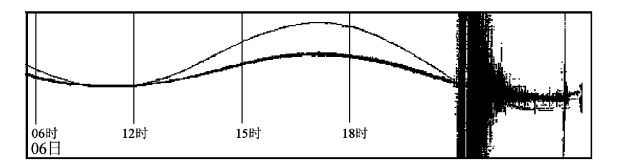


图 5 1988 年 11 月 6 日澜沧—耿马 M_s 7.6 地震前云南下关台重力仪潮汐形变脉动加粗异常图

Fig. 5 Pulsation overstriking anomalous pattern of tidal deformation recorded by gravimeter at Xiaguan seismic station, Yunnan province before Lancang-Gengma M_s 6.2 earthquake on Nov. 6, 1988

(6) 1986 年 11 月 15 日台湾花莲 M_s 7.6 地震，距震中以西 250 km 的厦门台 SQ - 70 型水平

摆倾斜仪，在震前 5 h，NS 分量记录到了反锯齿状的潮汐形变波异常图像，幅度 $0.02''$ (96×10^{-8})，波动周期约为 30 min，震后恢复正常（图 6）。

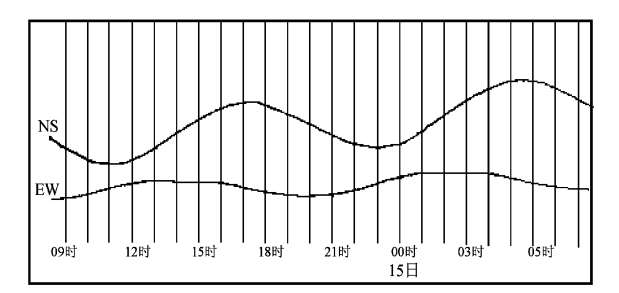


图 6 1986 年 11 月 15 日台湾花莲 7.6 级地震地震前厦门台水平摆记录的潮汐曲线异常图①

Fig. 4 Tidal deformation anomalous pattern recorded by the horizontal pendulum tiltmeter at Xiamen seismic station before M_s 7.6 Hualian, Taiwan earthquake on Nov. 15, 1986

(7) 1999 年 9 月 21 日台湾 M_s 7.6 地震，距震中 2 000 km 的兰州台 SSY - II 伸缩仪，在震前 1.5 h，NS 和 EW 分量都记录到了明显的阶跃，震后恢复正常（图 7）。

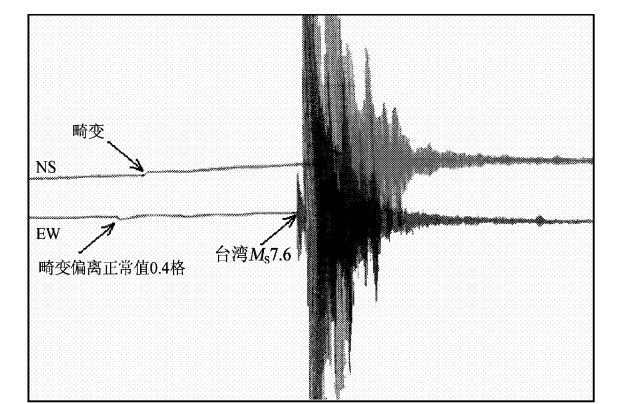


图 7 1999 年 9 月 21 日台湾 M_s 7.6 地震前兰州台应变伸缩仪记录的潮汐阶跃异常曲线图

Fig. 7 Tidal deformation step anomalous pattern recorded by the extensometer at Lanzhou seismic station before Taiwan M_s 7.6 earthquake on Sep. 21, 1999.

① 周硕愚. 2006. 地形变基础知识与地震预报.

2 长周期形变波特征及其异常图像分析

2.1 异常持续时间

通过对多年积累资料的收集整理得出形变波异常出现的时间:97%以上都集中在震前几小时至6.5天以内,也有震前几十分钟至几十天出现的异常,由此可见形变波出现后,大约一周左右发生地震的可能性最大(陈德福,2006)。

2.2 有效监测范围

有效监测范围和震级大小密切相关,震级越大可监测到的范围越广,震级越小可监测的范围就越小,初步估略6级地震可监测范围约为300 km,7级约为400 km,8级为2 000 km左右。

2.3 主震震级范围

大小地震均可能记录到震前形变波,由于仪器灵敏度的限制或者环境背景噪声的干扰,小地震引起的形变波很难被仪器记录到,能被记录到的形变波以中强地震为主,6级以上地震记录到形变波的可能性更大。

2.4 异常形态

大中地震前记录到的形变波异常,其形态是以波动形式为主的。其波形有多种:锯齿状或反锯齿状波,脉冲状波,脉动加粗或串珠状波,潮汐曲线偏离即慢地震状波(陈德福,2006)。此外,也可将阶跃异常归为阶跃状波。这些都有可能大震震源附近的信号被形变仪器监测到的记录证据。

2.5 周期及传播速度

陈德福(2006)统计了12个震例,得出:形变波动周期一般在2~20 min和30~60 min内,个别达60~120 min,即包含有高频、中频、低频波。长周期形变波或蠕动传播速度约为0.5~3.5 km/s。对近震地形变倾斜传播速度为2.1~2.8 km/s,而远震则为3.3 km/s(吴迪等,2007)。因为远距离接收到的长周期形变波的主要成份是P波,因而对应的波速较大;而对于近距离接收到的长周期形变波,S波贡献较大,故其传播速度相对较小。

3 结论和讨论

(1)大地震的形成、发展和破坏的过程是应

力集中积累的过程,必然伴随形变的发生,因此在震中附近地区记录到的这种形变叫“地倾斜”。另一些地区会出现各种各样的地倾斜量,在相距数千公里的地区同样可以记录到,但这种倾斜量是通过波动的形式传播的所以称之为长周期形变波。由于地形变波的速度小于纵波速度,有时在距离震中近的台站先记录到地形变波和倾斜,而远离震中的观测站要滞后几分钟才能记录到这种形变波,这种滞后的时间差更证明地倾斜量是以波动形式传播的(胡毅力等,2006)。

(2)由于地形变观测技术的进步,数字化定点形变仪器的时间取样间隔达到了分钟值。从而使一些地形变连续观测台站记录到各种“形变波”,在对数字化原始观测资料的数据处理时一定要细心谨慎,不能把地震前形变波误当作干扰或者仪器的零漂来进行处理。

(3)专业分析预报人员应重视数字化日、时、分观测数据的快速处理,得到第一手可靠的资料,以便对潮汐形变动态图像进行远程跟踪监测;地形变台网要将固定观测点与流动观测点相结合,增加台网密度,在中长期预报基础上,在重点监视区加密流动点观测,捕捉临震前兆异常。

(4)形变波的周期长、频带宽、动力学和运动学问题复杂多样,目前对形变波的观测方法、识别方法还没有经验可借鉴。由于资料有限,形变波异常出现时间的分布范围,地震前形变波的有效监测距离,还需要进一步的实际验证。

参考文献:

- 陈德福. 2006. 潮汐形变短临异常图像及其时空特征[J]. 华南地震, 26(1): 89-105.
- 陈双贵, 闫万生, 田文通. 2006. 兰州形变台概况及资料映震能力的探讨[J]. 防灾科技学院学报, 8(3): 73-78.
- 邓建元. 1996. 对大地震前存在的超长周期形变波的研究[J]. 江苏力学, (12): 23-28.
- 冯德益, 潘琴龙, 郑斯华, 等. 1984. 长周期形变波及其反应的短期和临震地震前兆[J]. 地震学报, 6(1): 41-57.
- 郭增建, 秦保燕. 1979. 震源物理[M]. 北京: 地震出版社.
- 韩元杰. 1984. 预滑与地震前兆—长周期波动研究[J]. 西北地震学报, 6(1): 17-24.
- 胡毅力, 文丽敏, 杨润海, 等. 2006. 孕震过程中几个典型形变场的实验研究[J]. 地震研究, 29(2): 182-184.
- 王少江, 殷志山. 1989. 长周期形变波与慢地震[J]. 地壳形变与地震, 9(3): 2-8.

吴迪,罗奇峰,罗永锋. 2007. 长周期地震波的研究进展[J]. 地震研究,30(3):298 – 299.

尹亮,李兴坚,陈兰新,等. 2002. 昆仑山口西 $M_s8.1$ 地震前高台钻孔应变异常[J]. 大地测量与地球动力学,22(4):89 – 91.

吴云,周硕愚,苏恺之,等. 2005. 地形变测量[M]. 北京:地震出版社:54 – 55,245 – 250.

Dieterich J H. 1978. Preseismic slip in a large scale friction experiment, Proceedings of 19th U S Roch Mechanics Symposium:110 – 117.

Characteristics of Long-Period Deformation Wave

CHEN Shuang-gui¹, YANG Fei³, CHEN Ji-feng², YAN Wan-sheng¹, TIAN Wen-tong¹

(1. Lanzhou Observatory, Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(2. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(3. Pingliang Central Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Pingliang 744300, Gansu China)

Abstract

Selecting a great deal data of short-impending and impending earthquake precursory, and citing the recordings of the observational long-period deformation wave, we overview the research on the long-period deformation wave. Then we analyze the feature, shape and amplitudes of the anomalous images of the deformation wave of some typical earthquakes recorded by tidal deformation instruments before and after the earthquake to study the features of the long-period wave—duration of anomaly, effective monitoring rang, main shock magnitude range, anomaly shapes, period and propagation velocity. The results show that the duration of deformation anomaly extends from several hours to 6. 5 days. The magnitude of the predicted earthquake is greater than 6. 0 and the effective distance range is from 100 km to 2 000 km.

Key words: long-period deformation waves; tide; anomaly image; tilt