

郝晓光,胡小刚. 汶川大地震“震前扰动”存在“第三类脉动”吗? 地球物理学进展, 2009, 24(4):1213~1215, DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.04.008.

Hao X G, Hu X G. Are “third microseisms” in anomalous tremor before the great Wenchuan earthquake?. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2009, 24(4):1213~1215, DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.04.008.

## 汶川大地震“震前扰动”存在“第三类脉动”吗?

郝晓光, 胡小刚\*

(中国科学院测量与地球物理研究所, 动力大地测量重点实验室, 武汉 430077)

**摘要** 采用国家地震台网数十台地震仪的观测资料研究了汶川大地震和昆仑山大地震的“震前扰动”现象, 结果表明, “震前扰动”现象与强台风的影响密切相关, 适用于英国海洋学家 Higgins 的海浪非线性干涉理论中的“第二类脉动”。然而, 通过对信号时频特征的细致分析后发现: “震前扰动”信号存在着明显的“时频偏移”现象, 不完全符合“第二类脉动”的特征, 因此本文认为, 汶川大地震的“震前扰动”除了包含“第二类脉动”信号外, 还可能存在着“第三类脉动”, 这对强震短临前兆的研究有重要意义。

**关键词** 汶川大地震, 震前扰动, 时频偏移, 第三类脉动, 强震短临前兆

DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.04.008

中图分类号 P315

文献标识码 A

### Are “third microseisms” in anomalous tremor before the great Wenchuan earthquake?

HAO Xiao-guang, HU Xiao-gang\*

(Key Laboratory of Dynamic Geodesy, Institute of Geodesy and Geophysics, CAS, Wuhan 430077, China)

**Abstract** We studied anomalous tremor before the 2008 great Wenchuan earthquake and the 2001 great Kunlunshan by analyzing seismic data from stations of National Digital Seismograph Network of China. Our results show that some anomalous tremor microseismic activities are related to West Pacific Typhoons, which are the secondary microseisms that are due to the non-linear interaction of ocean waves as proposed by Longuet-Higgins. However, we found that there are time-frequency shift between microseismic signals at different site after further investigation. This anomalous feature should not belong to secondary microseismic activity. We suggest that third microseisms are likely induced during process of the secondary microseisms propagation.

**Keywords** the 2008 great Wenchuan earthquake, tremors before earthquakes, time-frequency shift, third microseisms, precursors of strong earthquake

2008年5月12日8.0级汶川大地震发生后, 作者最先指出汶川大地震存在约48小时的“震前扰动”现象<sup>[1~3]</sup>, 随后, 对汶川大地震和2001年11月14日昆仑山大地震、以及2009年3月19日汤加大地震的“震前扰动”现象进行了研究, 结果表明: “震前扰动”现象与强台风的影响密切相关, 存在着台风

触发地震的可能<sup>[4~6]</sup>。

我们在文献[6]中提出了“强台风有可能触发大地震”的推测, 而最新出版的《自然》(Nature)杂志上刊登了题为“台风触发慢地震”的论文<sup>[7]</sup>, 间接地支持了我们的观点; 这两篇论文几乎是同时发表的(都是2009年6月), 这说明台风与地震的关系问题已

收稿日期 2009-03-12; 修回日期 2009-07-22.

基金项目 湖北省自然科学基金(2008CDB056)、国家自然科学基金(40774011)、中国地震局地震预测研究所专项基金(02076902-26)和国家科技支撑计划项目(2008BAC35B05)联合资助。

作者简介 郝晓光, 男, 研究员, 主要从事大地测量学和板块动力学的理论研究。

\* 通讯作者 胡小刚, 副研究员. (E-mail: hxg432@sohu.com)

经引起了学术界的强烈关注。

虽然台风触发地震和“慢地震”的可能性是存在的,但是其中的机理还需要下大功夫去认识和研究. 1930年后, Banerji、Ramirez 和 Deacon 等人的论文指出,台风产生的海浪可以引起地脉动,但奇怪的是,这种台风海浪引起的地脉动在波浪到达海岸数小时之前就被岸上的地震仪记录到了<sup>[8~10]</sup>. 显然,海浪拍岸引起的地脉动只有在海浪到达岸边时才可能发生. 那么,这种在海浪到达岸边数小时之前就传送到岸边的地脉动信号是怎样产生的呢?

1950年,英国海洋学家 Languet-Higgins 在总结前人研究的基础上提出了著名的海浪波动非线性干涉理论<sup>[11]</sup>,用海浪驻波解释海洋引起的地脉动现象. Hasselmann<sup>[12]</sup>, Tanimoto<sup>[13~14]</sup> 进一步扩充和发展了这一理论. 根据 Higgins 的理论,台风海浪可产生两种地脉动效应:一种是海浪拍岸直接产生的脉动,称为“第一类脉动”(原生脉动),其频率与海浪周期相同,频率范围大约为 0.05~0.1 Hz(周期范围 10~20 s);“第一类脉动”的能量不大,在陆地上传播数十公里后就逐渐消失了. 另一种是海浪相互干涉,形成海水驻波在海底产生压力而引起的脉动,称为“第二类脉动”(次生脉动),其频率为海浪频率的 2 倍,频率范围大约为 0.1~0.5 Hz(周期范围 2~10 s). “第二类脉动”的能量比“第一类脉动”的能量大许多(约 100 倍)<sup>[15]</sup>,在陆地上可传播数千公里. 因此,地脉动信号主要以“第二类脉动”的形式出现在 0.1~0.5 Hz 的频率范围. “第二类脉动”以瑞利波的形式向海岸传播,瑞利波的传播速度约 3km/s,比海浪的传播速度要快得多;所以,台风海浪引起的地脉动(“第二类脉动”)在波浪到达海岸数小时之前就能够被岸上的地震仪记录到。

Higgins 的理论认为,“第二类脉动”的产生与海浪非线性干涉引起的海浪驻波有关,其海浪非线性干涉的一维简化模型表明:当两个传播方向相反、频率相同的海波,在海面上传播而发生干涉时,可形成海水驻波,驻波引起的海底压强  $P$  变化为

$$P = -0.5\rho a_1 a_2 \omega^2 \cos 2\omega t,$$

其中  $a_1, a_2$  为海波的振幅,  $\rho$  为海水密度,  $\omega$  为海浪的频率. 由此可见,驻波引起的海底压强变化频率是海浪起伏变化频率的 2 倍. 海浪驻波引起的海底压强变化与海水的深度无关,可传播到海底而不衰减. 而海浪(海水行波)直接产生的洋底压强会随着海水深度增加呈指数衰减. 许多观测和研究证实 Higgins 海洋驻波理论能合理地解释在浅水海域海

浪激发的地脉动现象,较好地说明能量从大气层传入海洋并传至海底,产生地脉动的过程以及地脉动的优势频率高于海浪频率的原因<sup>[16~19]</sup>.

我们在文献[5]和文献[6]中研究了汶川大地震、昆仑山大地震和汤加大地震的“震前扰动”与台风影响的关系,结果表明:这三大地震的“震前扰动”现象与强台风引起的“第二类脉动”密切相关,存在着强台风触发大地震的可能. 但是,通过对信号时频特征的细致分析后发现:汶川大地震和昆仑山大地震的“震前扰动”信号存在着明显的“时频偏移”现象,不完全符合“第二类脉动”的特征:

(1)昆仑山大地震发生前,中国南海上空产生了一次强台风 LingLing,中国内陆许多地震台站记录到的昆仑山大地震的“震前扰动”现象,但位于新疆地震台记录到的异常地脉动信号的频率明显低于其它地震台记录到的地脉动频率,存在着明显的“频率偏移”现象.

(2)在汶川大地震发生期间,西太平洋上空产生了一次强台风 Rammasun. 根据中央气象台资料, Rammasun 于 5 月 8 日在菲律宾以东的西北太平洋洋面生成,5 月 11 日风力达到最大为 14 级. 仔细比较中国内陆地震台与沿海地震台记录到的“震前扰动”,二者的波形有明显的区别. 中国沿海地区记录到的“震前扰动”提前约一天开始,其振幅最大值在 5 月 11 日——台风最强且距离海岸最近的时刻,而中国内陆地区记录到的“震前扰动”振幅的最大值在 5 月 12 日下午——大地震的爆发时刻,二者有 30 多小时的“时间偏移”。

汶川大地震和昆仑山大地震“震前扰动”的“时间偏移”与“频率偏移”现象不符合 Higgins 的理论“第二类脉动”的基本特征. 因为“第二类脉动”是以瑞利波的形式传送的,而瑞利波的频率在传送的过程中是不会发生变化的;瑞利波的传播速度约为 3km/s. 即使两地震台之间相隔数千公里,瑞利波到达的时间延迟也不过是十几分钟,怎么会有几十个小时延迟呢? 是不是存在着另一种信号呢?<sup>[20]</sup>

汶川大地震和昆仑山大地震“震前扰动”现象的“时间偏移”与“频率偏移”,使我们不得不考虑这样的问题:除了“第二类脉动”外,是否还可能存在着“第三类脉动”? 如果存在,这种“第三类脉动”又会是怎样产生的呢?

根据 Higgins 的理论,海浪的行波拍打海岸产生“第一类脉动”(原生脉动)、海浪的驻波形成的对海底压力变化产生“第二类脉动”(次生脉动),“第二

类脉动”是以瑞利波的形式(行波)在陆地上传送的。那么我们不禁要问,瑞利波有没有“行波”和“驻波”之分呢?

由波动力学的一般性理论可知,所谓驻波是指空间各点振动的相位处处相等,而行波则空间各点振动的相位处处不相等。驻波是行波在一定的边界条件下形成的,例如两端固定张紧的弦形成驻波,可看成是行波在两端反射形成驻波。所以,只要边界条件合适,瑞利波的“行波”也可以产生“驻波”。

于是我们大胆推测:当“第二类脉动”以瑞利波“行波”的形式在陆地上传播时,受构造和断层的阻挡等因素的影响,形成了适合“驻波”的边界条件而产生了瑞利波的“驻波”,这种“驻波”对“基底”形成的压力变化则产生了“第三类脉动”(再生脉动);如果这种“基底”正好处在预发地震的区域之下,那么“第三类脉动”触发地震的可能性就会变为现实。所以,“第三类脉动”(如果存在的话)对强震短临前兆的研究具有决定性的重要意义。

由 Higgins 的理论可知,“第二类脉动”要比“第一类脉动”的频率高一倍、能量高 100 倍,而我们在文献[5]中的研究则表明:在昆仑山大地震“震前扰动”现象中,位于新疆地震台记录到的异常地脉动信号的频率明显低于其它地震台记录到的地脉动频率;也就是说,“第三类脉动”(不妨暂时这样称呼)的频率要比“第二类脉动”的频率低。至于“第三类脉动”与“第二类脉动”的能量关系,我们正在进行深入研究,结果将另文发表。

## 参 考 文 献 (References):

- [1] 郝晓光,胡小刚,许厚泽,等. 汶川大地震前的重力扰动[J]. 大地测量与地球动力学,2008,28(3): 129~131.  
Hao X G, Hu X G, Xu H Z, *et al.* Gravity disturbance before the Wenchuan Ms8.0 earthquake[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics (in Chinese), 2008, 28(3): 129~131.
- [2] 郝晓光,胡小刚. 宽带地震仪资料证实汶川大地震“震前重力扰动”[J]. 地球物理学进展,2008,23(4): 1332~1335.  
Hao X G, Hu X G. Disturbance before the Wenchuan earthquake by broadband seismometer [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2008, 23(4): 1332~1335.
- [3] 胡小刚,郝晓光. 汶川大地震震带地震仪短临异常及成因初探[J]. 地球物理学报,2008,51(6): 1726~1734.  
Hu X G, Hao X G. The short-term anomalies detected by broadband seismographs before the May 12 Wenchuan earthquake, Sichuan, China [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2008, 51(6): 1726~1734.
- [4] 杨又陵,赵根模,高国英,等. 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西

- M8.1 地震前的缓慢地震事件[J]. 国际地震动态,2003(9): 1~4.  
Yang Y L, Zhao G M, Gao G Y. *et al.* The Slow Earthquake Event Occurring Before West to Kunlun Mountain Pass Earthquake of Ms 8.11 on November 14, 2001 [J]. Recent Developments in World Seismology (in Chinese), 2003, 9: 1~4.
- [5] 胡小刚,郝晓光. 强台风对汶川大地震和昆仑山大地震“震前扰动”影响的分析[J]. 地球物理学报,2009,52(5): 1363~1375.  
Hu X G, Hao X G. An analysis of the influences of typhoon Rammasun and LingLing on anomaly tremors before the great Wenchuan and Kunlunshan earthquakes [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2009, 52(5): 1363~1375.
- [6] 胡小刚,郝晓光. 2009 年 3 月 19 日 Mw7.6 级汤加大地震的“震前扰动”现象[J]. 地球物理学进展,2009,24(3): 866~870.  
Hu X G, Hao X G. Observation of fore-seismic disturbance of the 2009/03/19 Mw7.6 Tonga earthquake [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2009, 24(3): 866~870.
- [7] Liu C C, Alan T, Linde & I. Selwyn Sacks, Slow earthquakes triggered by typhoons, Nature. 2009, 459: 833~836.
- [8] Banerji S K. Phil. Trans. A, 1930, 229: 287.
- [9] Ramirez J E. Bull. Seism. Soc. Amer. 1940, 30: 35~84.
- [10] Deacon G E R, Ann N Y. Acad. 1949, 51: 3, 475.
- [11] Longuet-Higgins M S. A theory of origin of microseisms [J]. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A, 1950, 243: 1~35.
- [12] Hasselmann K A. A statistical analysis of the generation of microseisms [J]. Rev. Geophys., 1963, (1): 177~209.
- [13] Tanimoto T. Excitation of normal modes by nonlinear interaction of ocean waves. Geophys. J. Int., 2007, 168: 571~582.
- [14] Tanimoto T. Excitation of microseisms [J]. Geophys. Res. Lett., 2007, 34: L05308.
- [15] Haubrich R A, Munk W H, Snodgrass F E. comparative spectra of microseisms and swell [J]. Bulletin of the Seismological Society of America. 1963, 53(1): 27~37.
- [16] Haubrich R A, McCamy K, Microseisms: Costal and pelagic sources [J]. Rev. Geophys., 1969, 7(3): 539~571.
- [17] Bromirski P D, Duennebier F K. The near-coastal microseism spectrum: Spatial and temporal wave climate relationships [J]. J. Geophys. Res., 2002, 107(B8): 2166.
- [18] Bromirski P D, Duennebier F K, Stephen R A. Mid-ocean microseisms [J]. Geochem. Geophys. Geosyst., 2005, 6, Q04009.
- [19] Gerstoft P, Tanimoto T. A year of microseisms in southern California [J]. Geophys. Res. Lett., 2007, 34, L20304.
- [20] 郝晓光,胡小刚. “震前扰动”现象:从模糊走向清晰——对傅容珊教授商榷文章的回答 [J]. 地球物理学报,2009, (in press).  
Hao X G, Hu X G. Pre-earthquake-tremor maze, from confusing to gradually crystal—answer to the comment by Professor Fu Rong-Shang on “The short-term anomalies detected by broadband seismographs before the May 12 Wenchuan earthquake, Sichuan China” [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2009, (in press).