

分量钻孔应变仪记录的汶川、芦山强震前兆应变异常

池顺良

中国科学院计算地球动力学重点实验室;中国科学院大学地球科学学院,北京 100049

摘要 2007 年全国布设了由 40 台 4 分量钻孔应变仪组成的分量应变监测网络。位于四川姑咱地震台的应变仪先后记录了汶川和芦山强震孕震过程中的潮汐畸变异常现象。这些异常变化基本满足地震前兆的 3 项判据,故被初步认定是这两次强震孕育过程中的应变前兆。本研究对相关记录资料进行了分析,以期为后续强震预测和预报研究提供参考。

关键词 芦山地震;汶川地震;地震预报;钻孔应变;数据自检;地震前兆

中图分类号 P315.75

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.12.004

Strain Anomalies Before Wenchuan and Lushan Earthquakes Recorded by Component Borehole Strainmeter

CHI Shunliang

Key Laboratory of Computational Geodynamics of Chinese Academy of Sciences; College of Earth Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract China Earthquake Administration has installed a strain monitoring network of 40 sets four-component borehole strainmeters. One strainmeter located in Sichuan Guzan seismic station has recorded distinct tidal distortion and strain abnormality during the seismogenic process of Wenchuan and Lushan strong earthquakes. These abnormal changes basically met the three criteria of earthquake precursors, thus they were considered to be strain precursor of the seismogenic process of two strong earthquakes. In this paper, the related record information was analyzed, which would provide reference for the subsequent strong earthquake prediction.

Keywords Lushan earthquake; Wenchuan earthquake; earthquake prediction; borehole strain; data self-test; earthquake precursors

0 引言

芦山 M_s 7.0 级地震再次将强震预测问题摆在人们面前,事实上中国学者对地震预测探索的脚步一直没有停歇。地震前兆是地震预测的重要根据,如果观测不到强震前兆,就无法预测和预报强震,因此发现强震前兆是实现强震预报的前提。

1966 年邢台地震后,李四光先生开始积极推进地震预报工作,强调应重视地应力测量在地震预测中的作用。本实验室从事的钻孔应变观测是由李四光先生开创的地应力测量研究的接续。本文根据所了解的应变观测方面的实测资料,对强震能否预测进行了探讨。

钻孔应变(应力)观测技术是从 20 世纪 70 年代美国卡奈基研究所的萨克斯(Sacks)研制出世界上第一台钻孔体应变仪开始的。该仪器具有很高的灵敏度和良好的稳定性,很快被地震学家们布设到地震试验场和有地震危险的地区监

视地震活动。一直忧虑东京地区地震安全的日本地震学家引进了该项技术,1974 年在东京周围建起有 31 台体应变仪的监测网。但体应变仪不能检测剪应变。之后,既可测量体应变,又能测量剪应变的 3 分量钻孔应变仪问世。

在此期间,中国也成功研制了体应变仪和分量应变仪。中国的分量应变仪采用 4 分量布局,比观测对象(平面应变 3 分量)多 1 分量,因而具有数据自检功能。经过多年的实地试验和改进,分量应变仪的性能逐渐发展完善。

2003 年,美国启动“板块边界观测计划”(PBO),在西部沿海地区建设 174 个分量钻孔应变仪观测站。采用的主要是 Gladwin 3 分量钻孔应变仪,不久就发现了“慢地震”现象。钻孔应变观测成为继测震、GPS 后又一地学观测的重要工具。2004 年,中国地震局确定在“十五数字地震观测网络”工程中列入分量钻孔应变仪前兆分项。2007 年,全国布设的 40 套高

收稿日期:2013-04-22

作者简介:池顺良,教授级高级工程师,研究方向为地震观测技术和大地构造成因、分量钻孔应变仪全国布网与数据分析,电子信箱:chisl@263.net

分辨率 4 分量钻孔应变仪投入地震监测工作中,至今已积累了 5 年多宝贵的实测数据。5 年中,中国发生了汶川、玉树、芦山 3 次强震。布设的稀疏台网中的姑咱台距汶川 140km,距芦山 80km,位于距离震中 5~7 倍震源深度距离的边缘,还可接收到强震孕育过程中微弱的应变变化。

推测姑咱台是否接收到汶川、芦山两次强震的应变前兆,需要判断这些异常应变是否满足地震前兆的 3 条必要判据。(1) 有正常背景:所谓异常,是相对正常而言。而要确定异常,就必须给出正常背景。(2) 非干扰影响:异常不一定是地震孕震产生的。首先应检查仪器是否有问题?是否降雨,河、湖、海水位是否变化,是否附近抽、蓄水、工程建设等影响?是否滑坡等局部地质活动影响?以往是否出现过类似情况?要排除所有可能的干扰影响。(3) 与地震相关:只有这种异常变化与地震在时间、空间、机制上直接相关,才可能是地震前兆。有了围绕或处于震源区多台应变数据后就有可能作机制分析。若这些孕震过程中测得的应变数据能同孕震理论或数值模拟预期的应变变化相互验证,所谓的前兆才能被确证,而目前我们并不具备这些条件。本文根据姑咱台记录的观测数据,分析了汶川和芦山地震的前兆表现,以期为强震预测和预报提供理论依据。

1 数据资料及分析

1.1 汶川地震记录资料

姑咱台仪器 2006 年 10 月 28 日安装,几天后就记录到清晰连续的固体潮汐。图 1 是 2007 年 2 月 1—3 日,姑咱台连续 3d 的固体潮曲线,曲线光滑、规则,表明姑咱台应变记录在汶川地震发生前有正常背景。

2007 年 4 月中旬后,光滑的固体潮曲线上不时出现“压性脉冲”和“潮汐畸变”。之后,压性脉冲越来越严重。这种现象持续了 13 个月。图 2 是 2007 年 6 月 22—24 日连续 3d 姑咱台的纪录。

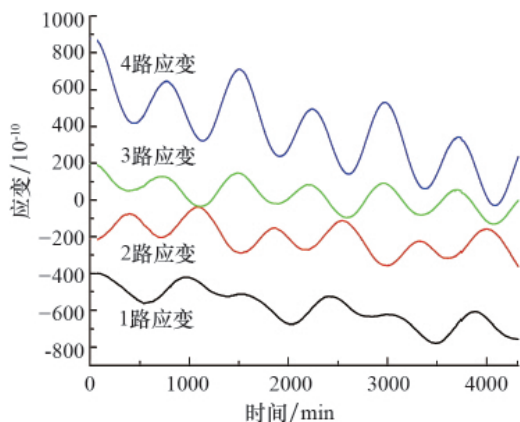


图 1 姑咱台固体潮曲线(2007 年 2 月 1—3 日)
Fig. 1 Tidal plot of Guzan seismic station (February 1-3, 2007)

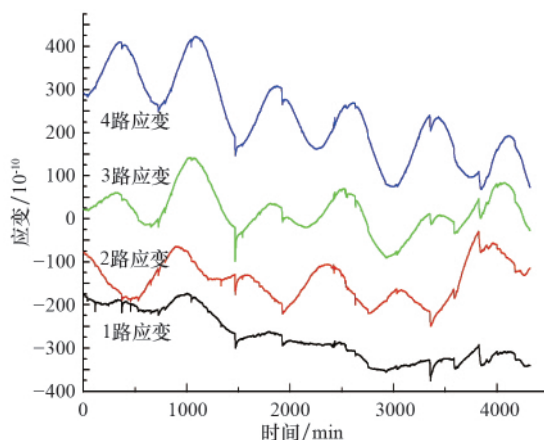


图 2 姑咱台固体潮曲线(2007 年 6 月 22—24 日)
Fig. 2 Tidal plot of Guzan seismic station (June 22-24, 2007)

通常情况下,记录数据出现不规则变化时首先要排除是否仪器故障。但 4 分量应变仪具有检验观测数据真实性的自检功能。自检条件为

$$1 \text{ 路数据} + 3 \text{ 路数据} = 2 \text{ 路数据} + 4 \text{ 路数据} + \text{任意常数} = \text{面积应变} \quad (1)$$

式(1)满足时,表明 4 路观测数据反映了地层真实应变变化。

图 3 为根据图 2 数据得到的(1+3)和(2+4)两条体应变曲线,两条曲线的相关系数达到 0.996,据此判断异常应变记录并非仪器故障,确实是地层的应变变化。

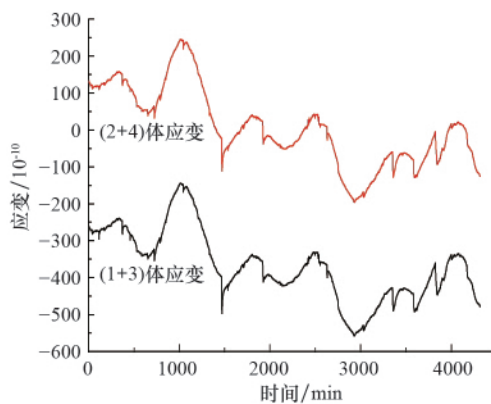


图 3 (1+3)和(2+4)体应变曲线(根据图 2 数据)
Fig. 3 Volumetric strain of (1+3) and (2+4) from Fig. 2

固体潮曲线畸变和“压性脉冲”越来越频繁,幅度越来越大,在 5.12 临近前又出现了一段相对平静期,直到 5 月 12 日 8.0 级大地震发生。图 4 是 2008 年 2 月 14—18 日 5d 姑咱台的连续记录。地层中大量的应变突变几乎将正常的应变潮汐完全掩盖。

尽管在 5.12 汶川地震之前 13 个月就发现了姑咱台的“压性脉冲”和“潮汐畸变”应变异常,但相距数百米至数千米

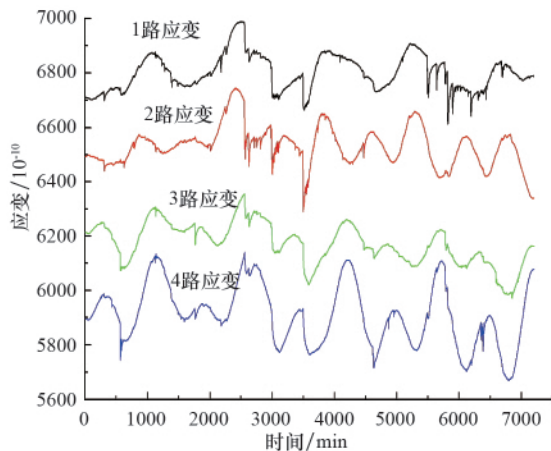


图4 姑咱台固体潮曲线(2008年2月14—18日)
Fig. 4 Tidal plot of Guzan seismic station (February 1-3, 2008)

范围内无同类仪器比对,分析人员无法确定是地震前兆还是某种未知干扰源所致(能引起相距数千米的两台仪器产生同样记录的只有大自然的力量)。为判断姑咱台钻孔应变仪观测到的“压性脉冲”和“潮汐畸变”的异常性质,准备在附近增设仪器比对观测来进一步分析,但钻孔地点还未落实,汶川大地震就已发生。地震后,“潮汐畸变”异常减弱。3年后固体潮记录逐渐恢复到图1所示的光滑、规则形态。表明这些应变异常确与汶川地震密切相关。

以上仅为关于布设在汶川震源区边缘的姑咱台记录的汶川强震孕育中应变前兆的定性说明,有关的学术论文可参考文献[1]~[3]。

1.2 芦山地震记录资料

2012年姑咱台的固体潮记录已恢复到图1所示的光滑、规则形态,但从9月开始,又不时出现“压性脉冲”和“潮汐畸变”。图5是2012年11月2—4日连续3d的应变观测数据。

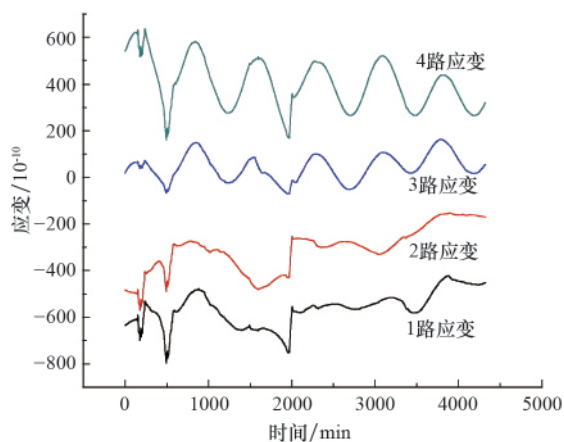


图5 姑咱台固体潮曲线(2012年11月2—4日)
Fig. 5 Tidal plot of Guzan seismic station (November 2-4, 2012)

“潮汐畸变”现象从9—12月持续3个多月。数据自检表明这种异常应变仍属地下应变变化的真实反映,说明导致汶川地震的龙门山断裂带活动并未停止。12月后,固体潮又逐渐恢复光滑、规则的形态。如何认识和解释这3个月的应变异常,成为分析者的疑问。如果这是未来可能发生强震的预兆,承担预测重任的分析预报人员也难以依据一个观测台的数据,判断未来可能发生的强震的三要素。

2013年4月15日18:20,姑咱台4路应变忽然同时出现突跳,应变幅度达到 1.2×10^{-7} ;16—19日,4路应变又同时出现大幅度变化,应变幅度超过 3×10^{-7} 。因当时台站附近公路正在施工,故难以确定这些应变异常是施工人为干扰还是前兆应变异常。20日08:02分芦山7级强震发生。

图6是2013年4月14—23日的应变观测曲线。4月20日芦山 M_s 7.0级地震的震波标于图上。震前激烈的应变变化十分明显。如果这些激烈的应变变化不是人为干扰,而是强震即将发生前的某种应变信号,对强震预测、预报无疑十分重要。而明确这些异常应变的性质还需后续的调查。这种调查往往耽误时间,更好的解决方案则是在仪器的布置上考虑拉开数千米距离双份比对测量。美国PBO项目中采用的是3份比对,“慢地震”现象就是由3份同步变化的资料确认的。

图6还记录了芦山 M_s 7.0级地震的震时应变阶,由此可以计算这次地震导致台站所在地层水平应变变化的幅度和方向。有密集的监测网就可绘得强震后区域应力调整图,有助于确定应力增强与减弱区域^[4]。

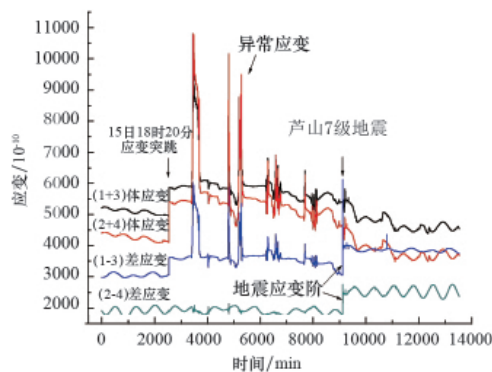


图6 姑咱台固体潮曲线(2013年4月14—23日)
Fig. 6 Tidal plot of Guzan seismic station (April 14-23, 2013)

汶川、芦山两次强震都是龙门山断裂带活动的产物,故两次强震前有大致相同的应变前兆异常反映符合常理。

2 地震预测进展

依据十五期间布设的40台仪器取得的观测数据,还取得了以下有助地震预测进展的成果:(1)世界上首次发现了应变固体潮汐响应的各向异性现象,并提出这种各向异性由附近断层引起的成因解释,开拓了通过应变固体潮观测,了解断层走向及断层连接状态的新方法,为通过应变观测揭示断

裂活动开辟了新途径^[5]; (2) 发现潮汐因子超理论预期的大幅变化; (3) 实现了 5 年长期变化数据满足 $(1+3)=(2+4)$ 严格的自检条件, 使钻孔应变观测技术向超低频段扩展, 向构造应变活动的长期监测目标进一步靠近; (4) 日本 9 级特大地震前, 首次观测到地层强烈被压缩现象^[6]; (5) 扩展钻孔应变仪的观测频段 0~3000Hz, 以便接收地声等临震信号。

3 结论

强震是有应变前兆的, 因此强震尤其是浅源强震是可能被人类预测、预报的。说“可能”是因为要实现预测、预报, 还有其他的必要条件。对于中国这样的大国, 布设 40 套高分辨率 4 分量钻孔应变仪实在太少, 5 年多观测能得出“地震是有应变前兆”的结论已是十分幸运。

参考文献 (References)

- [1] 邱泽华, 周龙寿. 用超限率分析法研究汶川地震的前兆应变变化[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(4): 1-9.
Qiu Zehua, Zhou Longtao. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2009,

29(4): 1-9.

- [2] 邱泽华, 张宝红, 唐磊, 等. 汶川地震前姑咱台观测的异常应变变化[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2010, 40(8): 1031-1039.
Qiu Zehua, Zhang Baohong, Tang Lei, et al. Science in China, Series D: Earth Sciences, 2010, 40(8): 1031-1039.
- [3] 刘琦, 张晶. S 变换在汶川地震前后应变变化分析中的应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2011, 31(4): 6-9.
Liu Qi, Zhang Jing. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011, 31(4): 6-9.
- [4] 邱泽华, 石耀霖. 地震造成远距离应力阶变的观测实例[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(S1): 60-64.
Qiu Zehua, Shi Yaolin. Science in China, Series D: Earth Sciences, 2003, 33(S1): 60-64.
- [5] 池顺良, 武红岭, 骆鸣津. 钻孔应变观测中潮汐因子离散性与各向异性原因探讨[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(6): 1746-1753.
Chi Shunliang, Wu Hongling, Luo Mingjin. Progress in Geophysics, 2007, 22(6): 1746-1753.
- [6] 池顺良. 日本 9 级大地震前我国钻孔应变网测到两起地块强烈受压事件[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(5): 1583-1586.
Chi Shunliang. Progress in Geophysics, 2011, 26(5): 1583-1586.

(责任编辑 王媛媛)

· 学术动态 ·

地震自救 4 大常识

(1) 大地震时不要惊慌。地震时, 若正在用火、用电, 应随手关掉煤气开关或电开关, 打开房门。如果住在平房, 可以迅速跑到门外, 来不及跑时可迅速躲到桌下、床下、紧挨墙根下或坚固的家俱旁, 趴在地下, 闭目, 用鼻子呼吸, 保护要害, 并用毛巾或衣物捂住口鼻, 以隔挡呛人的灰尘。在楼房时, 应迅速远离外墙及其门窗, 暂避到洗手间、厨房、厕所、楼梯间等跨度小而不宜塌落的空间避震。主震后应迅速撤离到户外, 撤离时要注意保护头部, 可用枕头等软物将头部护住。住在高层建筑里的人不能使用电梯, 也不要跑到阳台上, 尤其是不能跳楼。

(2) 人多先找藏身处。学校、商店、影剧院等人群聚集的场所如遇到地震, 最忌慌乱, 应立即躲在课桌、椅子或坚固物品下面, 待地震过后再有序地撤离。教师等现场工作人员必须冷静地指挥人们就地避震, 决不可带头乱跑。

(3) 远离危险区。如在街道、楼区遇到地震, 要注意用手或手提包等物品保护头部, 防止玻璃窗、广告牌等物掉落下来砸伤人。迅速远离高大建筑物、狭窄巷道, 到街心或空旷地带。远离高压线、变压器及石化、化学、煤气等有毒的工厂或设施。如在郊外遇到地震, 要注意远离山崖、陡坡、河岸及高压线等。正在行驶的汽车、火车要立即停车。

(4) 被埋时要保存体力。震后如发现自己不能脱险时, 应采取延缓生存时间的自救措施。地震引起房倒屋塌时, 空气中漂浮着大量灰尘。因此, 首先要防止呼吸道被尘埃堵塞; 其次决定生死的首要条件是有无空气, 故不要乱喊叫, 尽量节省氧气, 保存体力; 再者要冷静观察自身所处环境, 努力创造供生存的安全空间和易于被外面人发现的条件。

详见 http://news.xinhuanet.com/tech/2013-04/21/c_124608056.htm?prolongation=1。