

地壳形变观测与地震前兆 一般性问题的讨论*

牛安福

(中国地震台网中心, 北京 100036)

摘要 从构造变形及破裂成核的角度来看, 强地震前形变异常理应出现在地震震源附近, 而许多连续形变观测事实与这种认识往往是相矛盾的。本文研究了攀枝花多次形变异常结束后 10 天内的首发中强地震与异常之间的相关性, 发现西北地区 2000—2005 年 5.9 级以上地震震中(绝大多数作为异常后的首发地震)分布具有较好的规律性。本文揭示的事实对于认识形变观测与前兆本质、实验场区连续形变观测台网建设及物理预测方法探索等都提供了新的可能性。

关键词 地壳形变; 地震前兆; 远程相关

中图分类号 P315.72⁺⁵ **文献标识码** A

引言

地震短期与短临前兆不同于同震或震后变化, 所面临的关键性问题是建立异常变化与地震之间的相关性。围绕地震前兆与预测问题, 国内外开展了大量的地震前兆观测及预测方法研究, 但自前兆观测以来, 关于地震前兆的争论一直未中断过。

前兆观测的初衷是希望在临震前监测到未来潜在震源区的异常变化, 而国内外连续地形变观测结果却表明, 地震前显著的异常变化往往出现在远离震源几百公里甚至上千公里之外的区域上, 而近震源区可能观测不到或观测到极少的异常。1966 年帕克菲尔德

地震前一周曾报告沿发震断层发生了地表裂缝, 而在主震前 11.6 小时曾发生水管破裂, 这种现象表明, 地震前可能发生地表滑动, 并曾因此点燃起人们以此进行地震预测的希望。而在 2004 年 9 月 24 日帕克菲尔德地震前数天、数小时至数分钟, 虽然震源区布设有较密集的钻孔应变、剪应变仪及 GPS 台站, 但均未记录到显著的变化。因此, Bilham^[1]曾对地震预报的思路提出质疑。我国连续形变及流体观测结果也表明, 临近地震前在近震源区可能观测到个别的异常, 但在远离震源的区域上可观测到更多、更显著的异常变化^[2-6]。

强地震前观测到异常分布的这种特点, 使作者感受到重新认识前兆观测与前兆本质问题及创建前兆预报新体系的重要性。前兆变化不同于同震与震后变化, 其与地震震源的关系在时间上永远有一定距离, 相关性的

* 收稿日期: 2007-03-20。修回日期: 2007-05-11。

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAC01B02-02-01) 与地震联合基金(A07147)资助。

判别直接影响着研究结果的科学性^[7]。对于地震前近震源区发生的异常变化,我们可以将其理解为地震前兆,对于远场出现的异常变化有何意义呢?能否建立其与地震的联系呢?鉴于此,我们以攀枝花形变台观测结果为例,研究持续时间在1~4天范围内的突变异常结束后10天内首发中强地震分布的规律,并以此探讨建立前兆预报新体系的可能性。

1 地壳形变观测与地震前兆

长期以来,我们将地壳形变观测通常理解为是构造变形观测,实际上这将导致许多观测结果之间出现矛盾及前兆现象与地震之间关系的复杂性。为此,本文这里将对观测结果的构成进行简单地描述。

依据连续地倾斜、地应变(应力)、断层及GPS等形变观测结果,可建立多种形式的观测方程,但最基本的方程应是:

$$S = S_s + S_n + S_w + S_d \quad (1)$$

S_s 表示由构造运动引起的变形。该类变形与地震之间可建立较强的关系,如依据地震参数可获得相应的应变场分布,依据同震形变场也可反演计算地震断层的参数。该方面的研究与应用较多。从前兆的角度来看,构造变形往往反映了潜在地震震源周围的变形特征,长期以来,以异常报地震的思路也主要基于这一点。

S_n 表示临近地震破裂前岩石圈内断层加速扩展阶段引起的变形。它主要反映了地震断层测点附近变形的信息,但该阶段变形持续时间往往较短^[8-9]。

S_w 反映了各种周期应变波的影响。在地壳深部存在多种周期的应变波,这些波如同海啸与海浪在海陆架上的传播,依赖于削减带的特征。它具有传播远、传播动能大的特点,对地震往往具有较强的触发作用^[10-14]。

S_d 表示环境干扰与仪器干扰等影响,包括仪器漂移等。

方程(1)对地壳形变观测结果的描述使我们认识到地壳形变观测中一些显著的异常未必来自于地震震源或构造变形,而可能是地壳深部应变波的迁移与传播。

2 地壳形变突变与地震的远程相关性

强地震发生后,以往我们通常是要寻找震源附近地震之前几年的异常变化,这种思路一直延续至今。本文提出的远程相关性的问题,主要是基于越是临近地震发生,前兆现象与地震之间越具有更大相关性的假定。事实上,这种假定具有一定的普遍性。

2005年6月之前,攀枝花形变台钻孔应变和地倾斜观测较为正常,有较好的短期稳定性。钻孔应变观测采用RZB-1仪进行观测,安装在攀枝花仁和。RZB-1仪器有NS、N45W、EW、N45E和悬空5个分量进行同步观测,同时台站还开展了钻孔水位、孔温、气压等辅助观测。钻孔岩性为前震旦系会理群花岗片麻岩,钻孔深度81.75m,无明显环境干扰。地倾斜观测采用FSQ水管倾斜仪和JB金属摆倾斜仪进行,这些仪器安装于攀枝花南山。台基以灰色石英闪长岩、辉长岩为主,所有观测仪器的墩底均为石英闪长岩,岩石坚硬,透水性差,地下水位较低,无明显干扰。

2001年11月14日昆仑山8.1级地震前,四川攀枝花地应力自11月10日开始出现巨幅变化,变化幅度最大的为EW向和NW向,分别达到500和200 μ H(图1)。而观测到这一巨幅异常后,在本地及周围地区未发生显著的地震,而只是于11月14日在相距1500km的昆仑山口西发生了8.1级地震。

该台地倾斜观测也有类似的现象。2003年10月16日云南大姚6.1级地震后,攀枝花水管倾斜仪自10月19日开始加速南倾,4天内倾斜幅度达900ms(图2)。异常结束后,10月25日在甘肃山丹—民乐发生了6.1

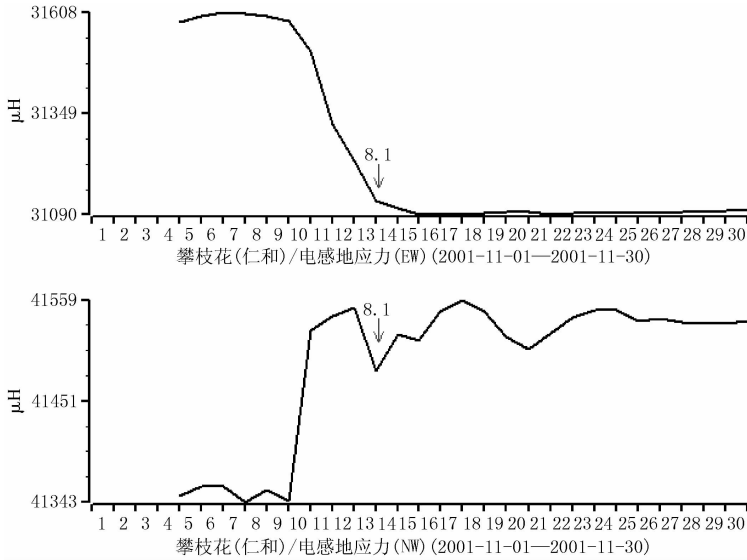


图1 昆仑山地震前攀枝花地应力的变化

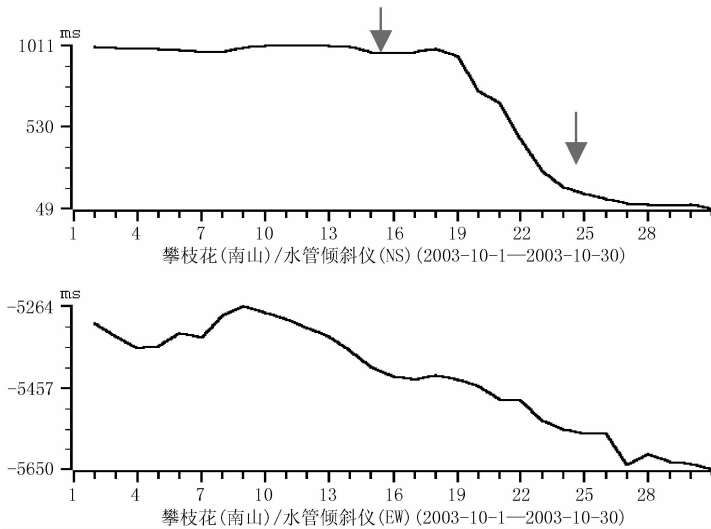


图2 甘肃山丹—民乐地震前攀枝花地倾斜的变化

级地震，距离攀枝花约 1300 km。尽管攀枝花台观测到这样显著的异常，但川滇地区在以后的 3 个月内未发生 5.5 级以上地震。

为讨论以上这种现象是否具有特殊性，我们对西北地区在 (83° ~ 110° E, 30° ~ 40°N) 范围内 2000 年 1 月至 2005 年 4 月间发生的 13 次 5.9 级以上地震(图 3)震前该台的形变进行了全面的分析。判别的准则依

赖于最小等待时间准则，即异常结束后 10 天内，西北地区的首发中强地震作为一次相关。

$$E_c = \{E; E_1, T \leq 10d\} \quad (2)$$

其中 E_c 表示一次相关地震， E_1 表示 10 天内出现的首次中强地震。

分析结果表明，在 13 次中强地震中，有 12 次地震震前 10 天内在攀枝花形变台观测

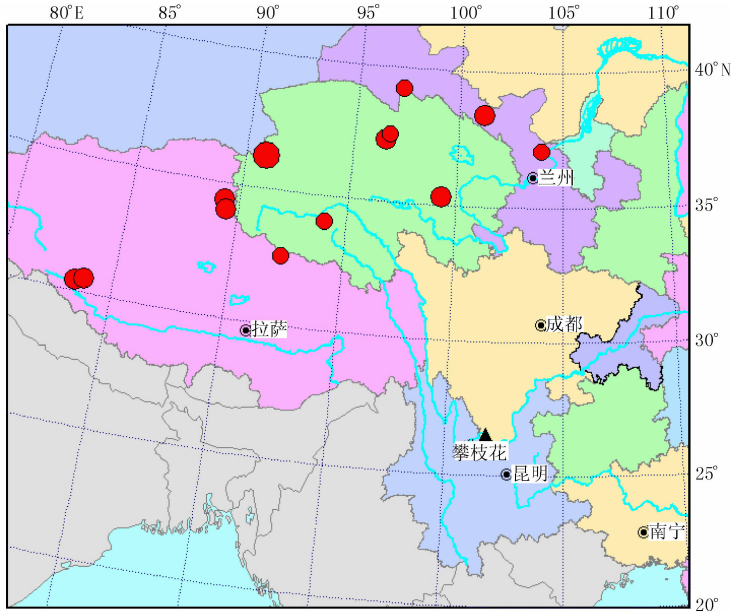


图3 2000年1月至2005年4月间西北地区发生的5.9级以上地震的分布

到短临突变性变化。该观测事实表明，攀枝花地应变与地倾斜观测对于反映西北地区中强地震具有前兆敏感性。

从攀枝花到这些地震震中平均距离为1380 km，其中多数地震的震中距离分布在 $2 \times (580 \pm 40) \pm 110$ km 范围内。此处给出的短临异常点与震中距离分布的这种特点与作者掌握的众多震例是符合的。在我国东部地区，短临异常点主要分布在离震中 $n \cdot (580 - 40) \pm 110$ km 范围内，在西部地区主要分布在 $n \cdot (580 + 40) \pm 110$ km 范围内。不排除近震源附近出现短临异常情况，主要分布在以测点为中心、半径为110~220 km的环形区域内。

3 讨论

短临突变性形变变化更主要的反映了地壳深部软流物质迁移的信息。从岩石圈构造变形的角度来看，最广泛应用的静力位错理论给出的形变变化在空间上连续分布，随距离呈现快速的衰减，主要分布在2~4倍的位错尺度范围内，一般很难在远距离上观测

到这种短期变化。断裂或地震力学中所揭示的破裂扩展过程或成核过程，其引起的应变场变化主要分布在裂纹端部^[9]在地表的投影及沿扩展方向在地表的投影区域附近，监测地震破裂前的成核过程往往需要较高的变形监测密度与采样率。提高采样率相对容易，而依靠提高采样密度来捕捉破裂前的信息实际上是很困难的，一方面是很难预知短时间内何处将有地震发生，另一方面是震源区附近往往是断层“闭锁段”，变形量较小，最关键的问题是成核阶段持续时间可能十分短暂^[9]。因此，连续地形变观测到的显著异常信息多数可能不是直接来自震源，而可能是反映了来自壳幔边界或软流圈内长周期应变波的迁移过程^[10-14]。

突变性形变变化对地震活动具有双重影响。长期连续形变观测结果表明，在观测台站出现持续时间在1~4天的形变异常后，通常短时间内在台站附近(200 km范围内)中小地震活动都有一个增强过程；但更重要的现象是短时间内在外围有显著的中强地震接着发生，这些地震通常发生在400~

600 km范围内或上千公里以外,并呈现一定的相对集中性。本文给出了震中距离主要分布在 $n \cdot (580 \pm 40) \pm 110$ km 范围内,其中 n 为整数。这里 (580 ± 40) km 可能反映了持续时间在 1 ~ 4 天内的形变波传播的波长,该特征距离与强地震发生的环型区域半径具有一定的相近性^[15]。因此,可借用板块弯曲模型来对形变观测到的现象进行解释。

依据板块弯曲变形方程^[16],在模拟削减带处岩石圈弯曲特征时可导出最大弯曲点至力作用点或倾斜测点的距离(力传递的半波长)为:

$$x = \frac{D_0}{4\pi} \left[a \cos \left(1 - \frac{TD_0}{4\pi d} \right) + 2k\pi \right],$$

$$k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

式中 D_0 依赖于地壳介质弹性模量、厚度与密度等参数,可取 580 km。 T 为观测到的倾斜量, d 由震例给出。

本文探讨了地壳形变前兆现象与地震之间可能存在的远距离相关性,这与传统意义上对“前兆”的理解有所不同,愿此文对认识地壳形变观测本质及走出前兆复杂性能有所帮助。

(作者电子信箱,牛安福:nafcsb2004@seis.ac.cn)

参 考 文 献

- [1] Bilham R. Co-seismic strain and the transition to surface afterslip recorded by creep-meters near the 2004 Parkfield epicenter. *Seism. Res. Lett.*, 2005, 76(1): 49-57
- [2] 杨又陵,温和平,张翼. 昆仑山口西 8.1 级地震前新疆定点形变异常初析. *内陆地震*, 2002, 16(4): 317-324
- [3] 车用太,谷元珠,鱼金子,等. 昆仑山口西 M_s 8.1 地震前地下流体的远场异常及其意义. *地震*, 2002, 22(4): 106-113
- [4] 蒋靖祥,尹光华,许凤柱. 昆仑山口西 8.1 级地震前库尔勒测区相对应力场变化. *地震*, 2003, 23(3): 89-96
- [5] 刘端法,刘克人,郑金涵,等. 1997 ~ 2003 白家疃地震台记录的重力变化. *地球物理学进展*, 2004, 19(4): 883-886
- [6] 田韬,卢永,杨军. 昆仑山口西 M_s 8.1 地震前远场应变异常研究. *内陆地震*, 2004, 18(2): 101-105
- [7] 牛安福. 地震短期、短临预测面临的“最后一分钟”. *国际地震动态*, 2005(2): 29-31
- [8] Das S, C H Scholz. Theory of time-dependent rupture in the Earth. *J. Geophys. Res.*, 1981, 86(B7): 6039-6051
- [9] Scholz C H 等著. 马胜利等译. *地震与断层力学*. 北京:地震出版社, 1996
- [10] Scholz C H. A physical interpretation of the Haicheng earthquake prediction. *Nature*, 1997, 267: 121-124
- [11] 笠原庆一著. 赵仲和等译. *地震力学*. 北京:地震出版社, 1984: 190-197
- [12] 牛安福. 长周期形变与地震. *地震学报*, 1993, 15(增刊): 560-564
- [13] 牛安福,吴翼麟,陈德福,等. 大同地震及其异常地倾斜场. *地震学报*, 1995, 17(1): 499-504
- [14] 王绳祖,张四昌,田勤俭,等著. *大陆动力学—网状塑性流动与多级构造变形*. 北京:地震出版社, 2001
- [15] 许绍燮. 17 世纪初泉州—琼山大震组群发生的相关性与构造特征. *大地测量与地球动力学*, 2005, 25(1): 1-5
- [16] 白武明等编著. *地球动力学*. 北京:地震出版社, 2003

Some Problems on the Ground Deformation Measurements and Earthquake Precursors

Niu Anfu

(China Earthquake Networks Center, Beijing 100036)

Abstract From the viewpoint of tectonic deformation and rupture nucleation, more anomalies of deformation should be found out near the source that easily accepted by many people, however, many measured data are not supported it. In this paper, the author explores the possible relation of deformation anomaly with distant earthquake, it has found out that 12 anomalies in strain or tilt observed at Panzhihua station appears 10 days before 13 earthquakes with magnitude more and equal to 5.9 occurred in North Western China during period from 2000 to 2005, and the epicentral distributions show a regular pattern. The revealed phenomenon gives us a new thought in recognizing the meanings of ground deformation and earthquake precursors, as well as in constructing the continuous monitoring networks in test site, and in exploring physical earthquake prediction.

Key words ground deformation; earthquake precursor; distant relation