

# 汶川 8.0 级地震的断层形变前兆分析<sup>\*</sup>

薄万举, 张立成

(中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

摘要: 对汶川 8.0 级地震的断层形变进行了分析, 并与唐山地震、丽江地震的大幅度断层形变异常进行了对比, 结论如下: (1) 汶川地震前耿达水准、唐山地震前宁河水准和丽江地震前永胜水准其异常有相似的特点; (2) 孤立的、无旁证的巨形变异常对强震中短期预测可能有着特殊的指示意义, 随着形变观测时空采样密度的大幅度提高, 有可能获得旁证; (3) 巨形变异常的出现虽不能轻易用于预报地震, 但也不能作为干扰轻易加以否定; (4) 从断层形变统计资料的数量、时空覆盖面考虑, 得出的子样统计结果应该是可信的, 从已有强震震例的数量考虑, 得出的子样统计结果有待随样本的不断增加而获得改进。

关键词: 汶川 8.0 级地震; 断层形变; 异常; 预测

中图分类号: P315.72 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)增刊-0419-05

## 0 引言

汶川 8.0 级地震是我国建国以来地震烈度最大、经济损失最为惨重的一次破坏性地震, 也是四川省有记录以来最大的一次地震。它给我们带来了不幸和灾难, 也提出了无数新的课题, 为我们研究特大地震提供了震例和资料。作为地震科学工作者, 应该充分利用好这些珍贵的资料, 不放过每一个可疑的细节, 挖掘出其可能存在的科学价值。

尽管形变观测资料越来越多, 时空覆盖面越来越广, 但在这次大地震前, 未发现地形变方面的前兆异常, 也未见到根据地形变手段给出的预测意见, 这本身就是一个值得研究的科学问题。由于具有形变前兆的大震震例极少, 我们从中强震中获得的经验和认知具有一定的局限性, 从不同的角度进行总结, 十分重要。本文中笔者对汶川地震震中区附近几处跨断层形变资料进行了分析, 希望能从中获得有意义的启示。

## 1 发震构造

这次强烈地震发生在龙门山断裂带, 该断裂带位于四川省的东北部, 形成于中生代, 燕山期局部有重新复活的现象。它是一条著名的逆冲断裂带, 断裂带南起泸定、天全, 向北东延伸经宝兴、灌县、

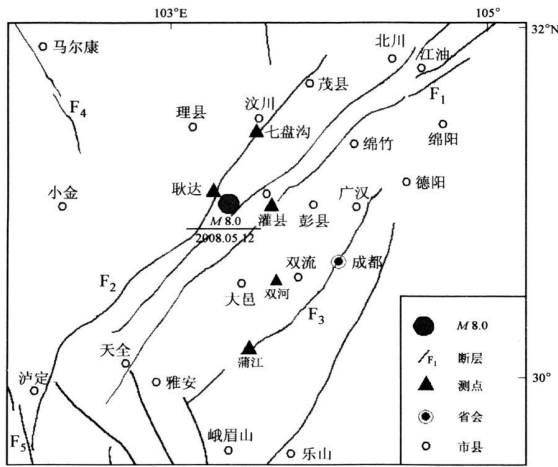
江油、广元进入陕西勉县一带, 全长约 500 km, 宽 40~50 km, 主要由 3 条断裂组成, 自西北往东南分别为汶川—茂汶断裂 (龙门山后山断裂)、映秀—北川断裂 (龙门山中央断裂) 和灌县—安县断裂 (龙门山前山断裂)。这次的主发震断裂为中央断裂。断裂带总体走向  $N45^{\circ}E$  倾向 NW, 倾角  $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。由于印度板块与欧亚板块长期强烈的碰撞推挤作用, 形成青藏高原的同时, 在高原与平原的交界区域形成大规模的逆掩推覆构造。龙门山的持续抬升, 山前的强烈拗陷, 正是这种构造活动的一部分。长期的、阶段性的构造活动, 加上复杂自然条件下的地质演化作用, 形成了多级夷平面 (唐荣昌等, 1993)。龙门山断裂分为南、中、北三段, 历史上的中强地震主要集在中南段, 北段地震活动水平十分弱。有史料记载以来, 龙门山断裂北段北川以北未发生过 6 级以上地震, 而断裂的中南段历史上曾发生过 4 次 6 级以上地震。

## 2 断层形变测点的分布

我国在汶川地震震中区龙门山断裂带 100 km 范围内有 5 处跨断层流动水准测量场地, 每年观测 4 期。这 5 处场地分别为跨汶川—茂汶断裂的耿达测点和七盘沟测点、跨灌县—安县断裂的灌县测点、跨双河断裂的双河测点和跨新津—蒲江断裂的蒲江测点。其中耿达测点距震中最近, 只有不

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-06-24.

到 15 km 的距离; 距震中最远的为蒲江测点, 约 90 km (图 1)。



F<sub>1</sub>: 灌县—安县断裂; F<sub>2</sub>: 汶川—茂汶断裂; F<sub>3</sub>: 新津—蒲江断裂;  
F<sub>4</sub>: 马尔康断裂; F<sub>5</sub>: 鲜水河断裂

图 1 龙门山断裂带和震中附近跨断层  
形变测点的分布

3 跨断层观测曲线的变化

3.1 蒲江测点

从图 1 可以看出, 5 个测点虽未直接跨越发震的主断裂(映秀—北川断裂), 但其所跨断裂同发震主断裂属于同一个断裂带, 且距离很近, 故从其观测曲线中应该能够得到一定的信息。先从相对最远的蒲江 1-2 跨断层水准观测曲线(图 2)来看, 图中给出了测线与断层关系的示意(结合曲线可方便地判定断层活动性质, 后同)。图中显示, 该区域存在一个长期的继承性活动趋势, 即山区一边上升, 平原一边下降, 与正常的构造活动趋势相吻合。但 1994~1995 年和 2005~2008 年观测曲线各出现了一次明显的压性波动, 震后分析, 前者可能与丽江 7.0 级地震有关, 后者可能与汶川 8.0 级地震有关。客观地讲, 在大量跨断层流动测量资料中, 类似的波动性变化比较普遍, 事先很难据此给出将要发生强震的判断。但 20 多年中, 两次压性波动对应两次强震, 说明这条跨断层短水准测线对区域应力场的变化是很敏感的, 如果这一结论成立, 该测点的变化对今后该区域应力场变化的动态监测和地震趋势判定有重要的指示意义, 值得总结, 应该引起重视。

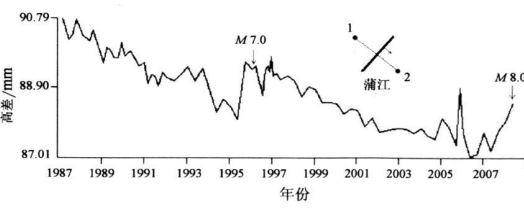


图 2 蒲江 1-2 跨断层水准观测曲线

3.2 双河测点

从图 3 可以看出, 汶川地震时双河测点跨断层水准发生了大幅度的同震形变, 因其比蒲江距震中近, 这一点很好理解。震前似乎有一点波动, 如去掉震时形变, 则其波动性异常更明显一些, 但相对 8 级大震, 将其作为前兆异常变化, 则幅度偏小, 推测与震中区在很长时间内可能处于相对闭锁状态有关。当然这种推测还有待于收集其它旁证材料进一步给出综合判断。

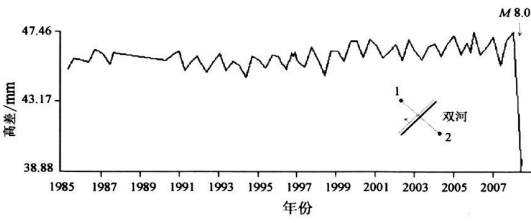


图 3 双河 2-1 跨断层水准观测曲线

3.3 灌县测点

从图 4 可以看出, 该测点跨断层水准与双河测点一样, 都发生了大幅度的同震变化。该测点震前十几年的时间里变化一直都相对比较平稳, 说明靠近震中的灌县—安县断裂震前基本不活动, 但 1992~1993 年有一个显著的变化, 笔者尚未找到合理的解释。当断层未处于闭锁状态时, 地壳应力场波动有可能产生较明显的断层位移, 但不一定会有地震发生, 这也增加了断层形变与地震之间关系的复杂性, 从而增加了将其用于预测地震的难度。

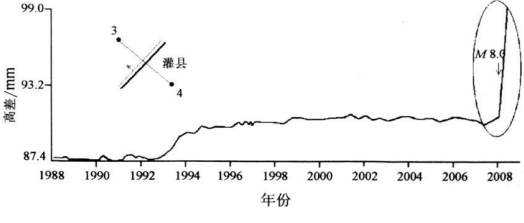


图 4 灌县 3-4 跨断层水准观测曲线

### 3.4 七盘沟测点与耿达测点

七盘沟测点和耿达测点均跨汶川—茂汶断裂, 位于发震断裂的上盘一侧, 与其它几个测点相比, 耿达测点震前出现了明显的大幅变化, 七盘沟测点变化很小, 不足以作为异常, 但因其距耿达测点近, 跨同一断裂, 所反映的断层活动性质相同 (图 5), 所以放在一起讨论。由图 5 可以看出, 两个测点自 2005 年开始均出现了异常变化, 到震前变化已经很明显。耿达测点 1 年多时间内变化了近 4.5 mm, 是前 4 年中出现最大异常变幅的 5 倍以上, 且显示下盘相对上升, 上盘相对下降。从七盘沟 A-C 跨断层水准看, 异常变化虽然明显, 但因其历史上有类似幅度的变化而无地震发生, 仅凭该异常难以判定是否会有地震发生; 耿达测点的相对变化幅度大得多, 可以说是巨形变异常, 震前就引起了相关单位的注意。针对这一变化, 四川省地震局多次派人到现场调查, 发现 A 点附近盖了两栋房子, 认为是干扰所致。现在回忆起来, 仍不能排除有干扰的存在, 但是这样的干扰能否造成如此大幅度的变化, 确实值得讨论。在缺少类似大震的经验, 事先的大形势判定及年度会商确定重点危险区时没有注意到该地区, 震前各种前兆异常配套的规律和表现形式与过去的震例又有很大差别 (以前没有内陆 8 级逆冲型震例) 的情况下, 实事求是地讲, 给出即将发生强震的判断是很困难的, 根据我们过去所认知的规律和经验, 仅根据上述异常事先对这样一次强震给出预测, 依据是不充分的。尽管如此, 笔者认为仍有必要进行总结, 希望从中寻找到有益的信息。

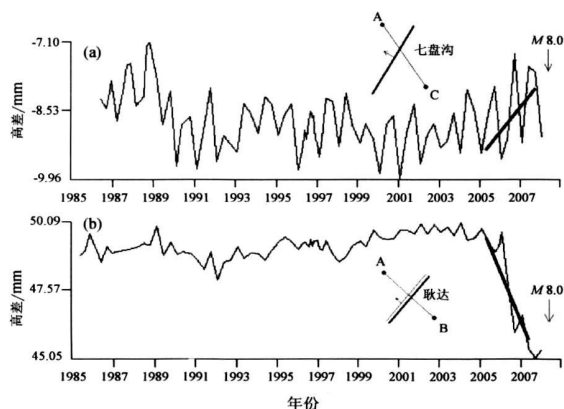


图 5 七盘沟 A-C (a) 和耿达 B-A (b)

跨断层水准观测曲线

## 4 分析与探讨

这样大的地震, 我们事先捕捉并认识到的典型前兆较少。但地壳破裂之前应该有一定的形变前兆, 有些可能是我们没观测到, 有些可能是我们没认识到。通过将汶川地震与历史上具有类似异常的震例进行对比, 我们希望能找出存在的共性, 取得更进一步的认识。

薄万举等 (2001a; 2001b) 曾提出过强震指标 K 因用于论证的子样过少, 难成定论, 但这次汶川强震又增加了一个支持的证据, 有必要再次对其进行回顾和总结。

(1) 1976 年唐山 7.8 级地震: 1976 年 4~6 月宁河 1-2 跨断层水准发生突变, 其变化量级为此前 3 年最大年变量的 5 倍 (图 6), 7 月 28 日发生了唐山  $M_s 7.8$  地震, 震中距约 50 km。

(2) 1996 年丽江 7.0 级地震: 1995 年 7 月云南永胜 2-3 跨断层水准发生突变, 变化量级为此前 3 年最大年变化量的 6.5 倍 (图 7), 1996 年 2 月 3 日发生了丽江  $M_s 7.0$  地震, 震中距约 82 km。

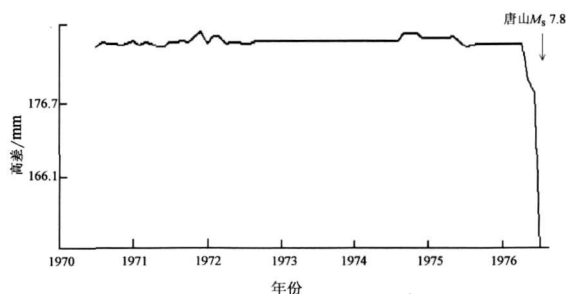


图 6 唐山地震前宁河 1-2 跨断层水准的变化

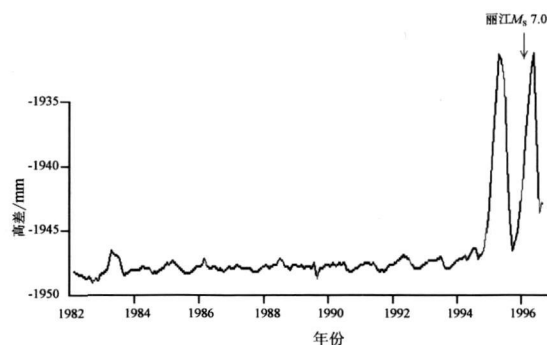


图 7 丽江地震前永胜 2-3 跨断层水准观测曲线

其它类似的大幅度形变异常与地震对应的例子还有, 因不属于断层形变, 在此不做讨论。

由图 5b 图 6和图 7中给出的三个巨形变异常, 可以得出以下几点结论:

- (1) 震前都出现跨断层水准的巨形变异常;
- (2) 巨形变异常均在 1 年时间内发生令人难以相信的大幅度变化;
- (3) 巨形变异常发生后一年内均发生了 7 级以上地震, 测量场地与震中的距离均在 85 km 以内;
- (4) 这样的异常均在震前引起了观测人员或分析研究人员的注意, 感到非同寻常, 但又认为用以报一个大地震缺少旁证, 且在进行现场落实后, 都找到了可疑的干扰源;

(5) 地震发生后, 都引起了人们的反思, 感到可疑干扰均不足以引起如此大幅度的异常变化;

(6) 一年内的异常变幅超出异常出现前 4 年内观测值最大变幅的 4 倍以上。薄万举等 (2001<sup>a</sup>; 2001<sup>b</sup>) 称其为强震异常指标  $K$ 。

根据以上 6 条总结对全国数百条跨断层水准流动测线几十年的资料进行全时空扫描, 发现完全符合的情况仅有这 3 次。

这里的“完全符合”不包括出现群体异常的情况, 即有旁证的情况。解释为: 这种异常都是强震前孕震区闭锁到震前临界预滑阶段出现的异常, 闭锁造成变幅偏小, 预滑造成变幅偏大, 从而  $K$  值超常地大; 而震前预滑只能在孕震区很局部的地方首先出现, 根据我国目前跨断层测量场地的分布密度, 难以有旁证出现, 一旦有旁证或群体性大幅度异常, 可能是其它干扰源所致, 也可能是孕震区尚未出现闭锁阶段的异常表现, 这时的异常往往是场异常的显示。未出现闭锁阶段, 很难孕育强震。当然属于前一个地震触发或强余震的情况除外。另外, 出现一次大的断层形变变化以后再出现大的变化的情况不在考虑之内, 因为相对后面的变化来讲, 前面的变化已证明目前未处于闭锁状态, 其  $K$  值也难以达到应有的高值 (因为背景值变幅大了)。如宁河、永胜水准震后的变化就很大。耿达水准 (图 5b) 目前尚未恢复

测量, 其震后的变化也一定会很大。曾有学者提出疑问, 为什么丽江地震后永胜水准出现的异常变化幅度同样很大而没有地震? 并以此来否定或质询第一次异常的意义。通过本文的讨论有助于解答这个疑问。从非线性动力学的观点也能给出解释: 地震后或断层发生较大的错动后, 区域应力场发生微小变化时, 断层形变的响应和以前相比会有很大的不同, 因为断层活化, 等于初始状态有了很大的变化。

## 5 结论

(1) 汶川地震前耿达水准异常、唐山地震前宁河水准异常和丽江地震前永胜水准异常有相似的特点。

(2) 孤立的、无旁证的巨形变异常对强震中短期预测乃至短临预测可能有着特殊的指示意义。随着形变观测时空采样密度的大幅度提高, 将来有可能获得旁证。

(3) 巨形变异常的出现, 虽不能轻易用于预报强震, 但也不能作为干扰而轻易地加以否定, 干扰源总是存在的, 问题是能否成为干扰足够的理由, 应该引起注意。

(4) 从统计断层形变资料的数量、时空覆盖面考虑, 本文结论是大子样统计的结果, 应该是可信的, 从已有强震震例来考虑, 本文结论是小子样统计的结果, 其正确性有待于随着样本的不断增加进一步验证。

## 参考文献:

- 薄万举, 华彩虹. 2001<sup>a</sup> 地形变前兆指标探讨 [J]. 地震, 21 (1): 25—32
- 薄万举, 杨国华, 郭良迁, 等. 2001<sup>b</sup> 地壳形变与地震预测研究 [M]. 北京: 地震出版社.
- 唐荣昌, 韩渭宾. 1993 四川活动断裂与地震 [M]. 北京: 地震出版社.

## The $M_s 8.0$ Wenchuan Earthquake: Precursor Analysis of Fault Deformation

BO Wan-jia ZHANG Li-cheng

(First Crust Deformation Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China)

### Abstract

We analyze the fault deformation of the Wenchuan  $M_s 8.0$  earthquake and compare it with the deformations caused by the Tangshan and Lijiang earthquakes. We find that the level anomalies are similar at Gengda Station before the Wenchuan earthquake, Ninghe Station before the Tangshan earthquake and Yongsheng Station before the Lijiang earthquake. These huge amplitude anomalies are isolated and not supported by other evidences, but they may be especially significant indication of medium- and short-term prediction of strong earthquake. Furthermore, with the spatio-temporal increase of crust deformation observation station, other supports to predict strong earthquake will be found. Therefore, neither could we use huge amplitude deformation anomaly to predict a strong earthquake at option, nor could we simply consider it as disturbance. From the used data of fault deformation, the statistic samples are great and the result is credible, but from the number of strong earthquakes, the samples are small and the statistic result should be improved with increasing number of strong earthquakes in the future.

**Key words:** Wenchuan  $M_s 8.0$  earthquake, fault deformation, anomaly, prediction