

# 芦山 7.0 级地震形变孕震背景及同震响应\*

蒋锋云, 朱良玉, 张晓亮, 王双绪, 季灵运

(中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 通过对芦山 7.0 级地震前龙门山断裂附近地壳水平变形的动态变化分析, 认为汶川 8.0 级地震对芦山 7.0 级地震具有促进作用, 芦山地震震前存在明显的中长期地壳水平形变孕震背景。并利用有限断层面解, 借助球面位错模型, 计算了芦山地震地表同震位移场, 对比震中附近 GPS 基准站 SCTQ 高频观测资料处理结果, 认为芦山地震同震影响范围较小。

**关键词:** 芦山地震; 汶川地震; 地壳水平变形; 同震响应

**中图分类号:** P315.727

**文献标识码:**

**文章编号:** 1000-0666(2013)04-0450-05

## 0 引言

距 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震不到 5 年的时间, 2013 年 4 月 20 日在龙门山断裂南段又发生了芦山 7.0 级地震。

汶川地震之后, 许多专家学者对龙门山地区地壳精细结构及汶川地震的发震机理展开了研究, 获得了许多成果。闻学泽等(2009)从地震破裂及历史地震的角度提出龙门山断裂带的南段和东昆仑断裂带东段是未来发生  $M \geq 7$  地震的潜在危险区。万永革等(2009)计算了汶川地震造成周围断层上静态库伦应力的变化, 认为汶川地震使得龙门山断裂带南端库伦应力增加 0.01 MPa。江在森等(2009)研究了汶川震前龙门山断裂附近流动 GPS 观测获得的地壳动态变化特征, 认为汶川地震震前存在明显的中长期孕震背景, 且在震前出现了以右旋活动为主兼有推挤的大尺度缓慢变形状态。这些研究表明龙门山断裂南段具有强震孕育的背景特征, 汶川地震对其构造应力场具有加载作用。本文利用两期 GPS 观测结果, 从形变的角度从发, 结合构造特征对不同时段龙门山断裂带上变形特征进行细致研究。同时, 利用芦山地震有限断层面解和陆态网络连续站 SCTQ 站高频 GPS 观测获得的震时动态位移, 研究芦山地震的同震响应特征。

## 1 芦山地震的发震机理及震前地壳动态变化特征

芦山地震发震地点位于龙门山山前断裂的南段, 距汶川地震仅 80 km。USGS 网站给出的

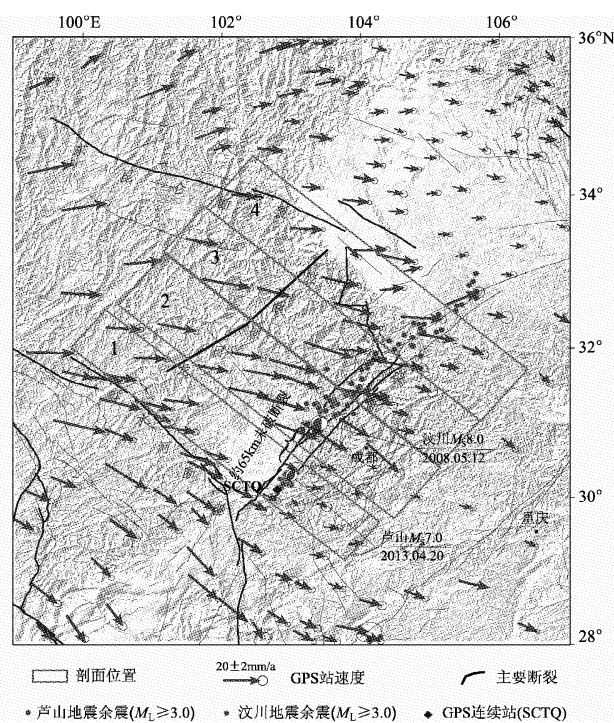


图 1 2009~2011 年龙门山断裂及附近 GPS 速度场  
Fig. 1 GPS velocity fields of Longmenshan Fault and its adjacent area during 2009 and 2011

\* 收稿日期: 2013-05-30.

基金项目: 中国综合地球物理场观测—鄂尔多斯地块周缘地区(201208009)和中国地震局地震行业科研专项(201208006)联合资助.

震源机制解显示其为逆冲型地震, 震源深度约 12 km, 断层滑动倾角约  $35^\circ$ 。从构造上分析, 其发震机理为长期以来巴彦喀拉地块向东运动受到四川盆地的阻挡, 使得应变能在龙门山断裂及其附近不断积累, 汶川地震和芦山地震正是这种长期积累的应变能在断裂带不同部位突然释放的结果 (张培震等, 2008)。笔者分别从 1999 ~ 2007 年和 2009 ~ 2011 年汶川震前、震后, 芦山地震之前两期 GPS 速度场来考察龙门山断裂及

一定范围内的面上流动 GPS 观测结果的动态演化特征。

如图 1 所示, 将龙门山断裂根据 GPS 速度及地震活动划分为 4 段, 剖面 1 主要跨芦山地震发震断裂即龙门山断裂南段, 剖面 2 跨汶川地震的主震区, 剖面 3 和剖面 4 跨越龙门山断裂的北段。通过将落在剖面内的 GPS 速度进行平行和垂直于断裂方向分解来考察龙门山断裂上的应变积累特征和断层活动状况。

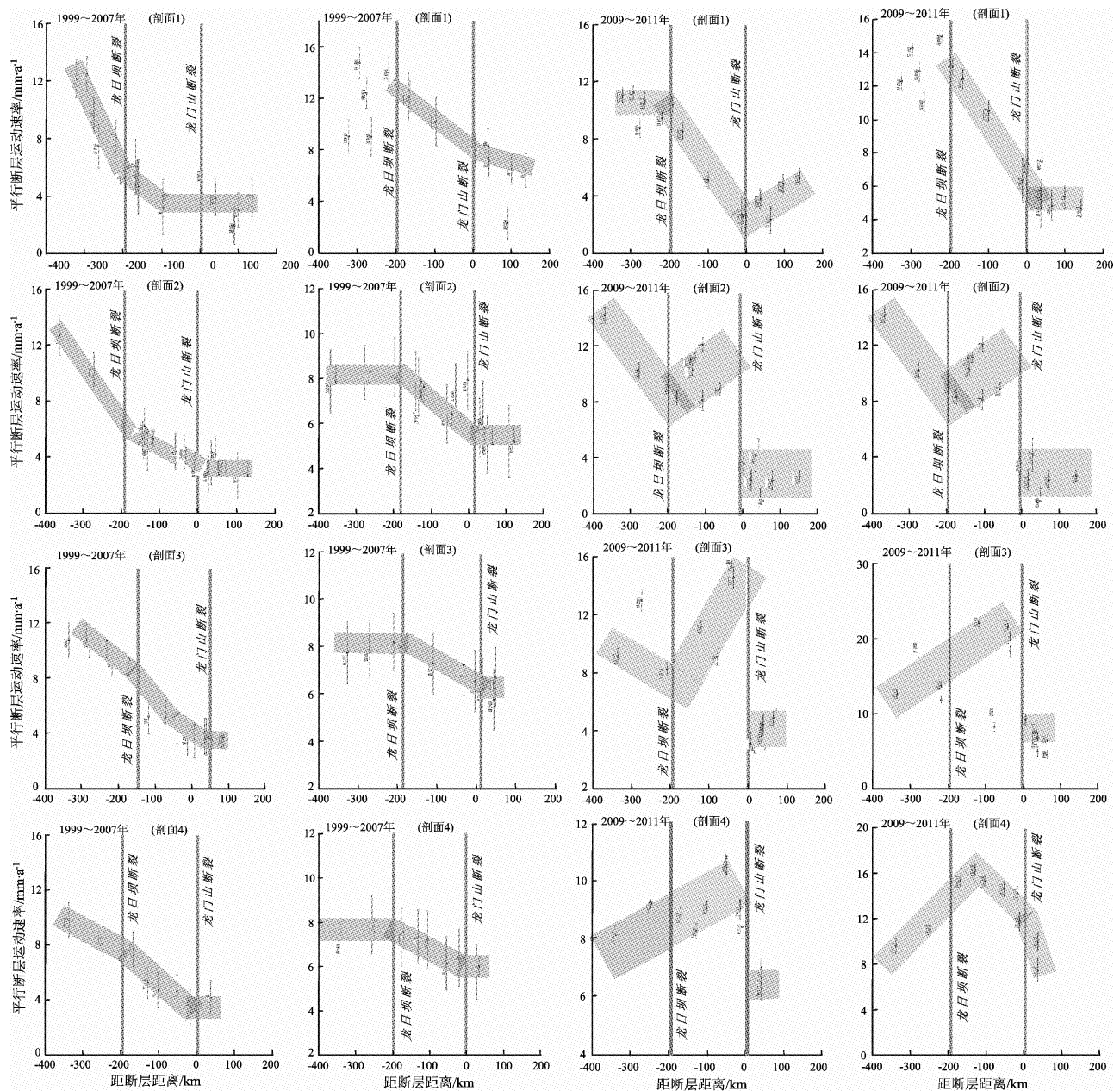


图 2 1999 ~ 2007、2009 ~ 2011 年跨龙门山断裂 GPS 速度场剖面投影

Fig. 2 The projection of vertical GPS velocity field profile across Longmenshan Fault from 1999 to 2007 and from 2009 to 2011

从剖面结果来看(图2),1999~2007年剖面投影反映了一个较长时间段,龙门山断裂及与之平行的龙日坝断裂(徐锡伟等,2008),从南至北形变应变分段积累特征。从平行于断裂的剖面投影可以看出:跨龙日坝断裂两侧存在在明显右旋滑动应变能的积累,具有右旋滑动闭锁特征,从剖面4到剖面1,由北至南右旋滑动应变积累和闭锁特征逐渐增强。跨龙门山断裂则表现为由南至北,右旋滑动应变积累和闭锁特征逐渐增强,和龙日坝断裂正好相反。从垂直于断裂的剖面投影可以看出:地壳缩短主要发生在龙日坝断裂至龙门山断裂200 km范围内,也就是在龙门山断裂前缘存在明显垂直于断裂方向的逆冲滑动应变积累背景,且在龙门山断裂附近具有明显的逆冲滑动闭锁特征。

2009~2011年剖面投影则反映了汶川地震之后、芦山地震之前,龙门山断裂附近地壳的最新运动与变形。由于汶川地震的发生,在龙门山断裂中北段可以明显看出断层的震后滑移,即在断层两侧存在明显的右旋滑脱和逆冲滑脱,但在断裂不同部位表现形式不一致,剖面2和3表现为逆冲和右旋走滑兼具的滑脱特征,这种震后的断层运动方式和汶川地震逆冲兼具右旋走滑的震源机制解具有很好的一致性(王彩勤等,2008),而剖面4则主要表现为右旋滑脱,和震前该段较强的右旋应变积累相对应。由剖面1可以看出,2009~2011年依然存在明显的垂直断裂的逆冲应变能积累和闭锁特征,从量值上来看,相比1999~2007年有所增强,反映了汶川地震对龙门山断裂南段的震后影响表现为使其逆冲应变能增强,促使了芦山地震的提前发生。

芦山地震后,一些专家认为在芦山地震和汶川地震之间还存在约65 km的闭锁区,由于GPS测点的空间分辨率有限,不能做进一步的细化研究分析。从龙日坝断裂两侧两个时段地壳运动表现看,汶川地震的震后影响,使得龙日坝断裂两侧右旋应变能的积累和逆冲应变能的积累得到了一定程度的缓解,从而有可能延后龙日坝断裂发生错动的的时间。这和万永革等(2008)给出的分析结果较为一致。我们还对芦山地震周围陆态网基准站最新数据进行了处理,结果没有发现明显的和地震有关的短临前兆异常信息,这和川滇地

区跨断层震前普遍出现前兆异常不一致。

## 2 芦山地震同震响应

芦山地震发生后,中国科学院测量与地球物理研究所第一时间利用小波分析方法,采用 $30^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的远震P波的垂直分量对该地震进行了反演研究,获得了该地震的有限断层面解(<http://www.whigg.ac.cn/>)。笔者利用该结果,采用球面位错模型(付广裕,2012)对该地震引起的地表同震位移进行了正算。从水平同震响应来看(图4),表现为典型的逆冲型地震同震变形,以龙门山断裂上下两盘垂直断层走向的对冲运动为主,且向震中汇集。最大水平同震位移在震中附近接近70 mm,向外围衰减较快,同震响应至安宁河断裂已经衰减至1~2 mm。从垂直同震响应来看(图3):震中及其附近由于挤压逆冲表现为显著的上升运动,量值最大达到160 mm,外围由于拉张表现为轻微下沉,量值大约为10 mm。总体影响范围较小,大致为以震中为圆心,半径为70 km的范围内。

笔者还收集了位于震中西南向约28 km,距震中最近的陆态网络GPS基准站SCTQ站1HZ的高频观测数据,借助GAMIT/GLOBK的TRACK运动学分析模块对该观测数据进行处理。处理过程中,由于LAHZ站位于相对稳定的拉萨块体上,且其作为国际IGS站本身具有较好的稳定性,因此将LHAZ站作为参考站,获得了SCTQ站对芦山地震

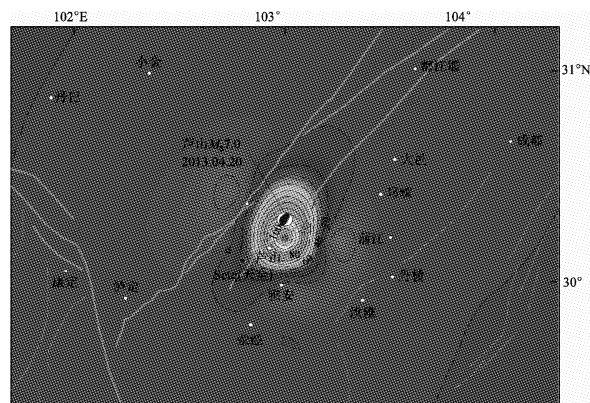


图3 芦山地震同震垂直位移场(单位:mm)

Fig. 3 Coseismic vertical displacement field of Lushan  $M7.0$  earthquake (unit: mm)

的震时位移响应（图5）。其震时动态位移特征为：对于东西向地震发生后15 s左右振幅位移达到最大值10 mm，最大震幅位移为向西运动；对于南北向，地震发生后15 s左右振幅位移达到最大值40 mm，最大震幅位移为向南运动；对于垂向，地震发生后18 s左右振幅位移达到最大值40 mm，最大震幅位移为向上运动。从曲线上看，该站点的同震位移U向和E向不太明显，主要表现在N向，

为向南运动，其量值大约为10 mm。结果和利用位错模型计算得到该位置的量值（图3、4）比较一致。

总体来看，芦山地震同震影响范围较小，余震也基本上在震中附近，沿断裂扩展的特征不明显，对其周围相关构造同震影响不大。

### 3 结论

芦山地震在震前存在明显的中长期地壳孕震背景特征，汶川地震对龙门山南段起到加载作用，使其破裂得以提前。在震前其周围的陆态网络GPS基准站未发现明显的短临异常信息。通过对同震影响分析认为：芦山地震同震影响范围较小，对其邻近构造影响有限。根据芦山地震余震分布（图1），认为芦山至汶川之间还有65 km左右的闭锁段未破裂。考虑到龙门山整条断裂应变分段积累特征，认为汶川地震和芦山地震对龙门山南段尚未破裂的闭锁区段具有一定的加载作用，是未来可能的强震发生部位，应加强防御和监测。

### 参考文献：

- 付广裕. 2012. 球体位错理论在2011年日本强震中的应用研究[J]. 大地测量与地球动力学, 32(6): 1-7.
- 江在森, 方颖, 武艳强, 等. 2009. 汶川8.0级地震前区域地壳运动与变形动态过程[J]. 地球物理学报(汶川地震专辑), 52(2): 505-518.
- 万永革, 沈正康, 盛书中, 等. 2009. 2008年汶川大地震对周围断层的影响[J]. 地震学报, 32(2): 128-139.
- 王彩勤, 陈章立, 郑斯华. 2008. 汶川大地震余震序列震源机制的空间分段特征[J]. 地球物理学报, 55(8): 2561-2574.
- 闻学泽, 张培震, 杜方, 等. 2009. 2008年汶川8.0级地震发生的历史与现今地震活动背景[J]. 地球物理学报(汶川地震专辑), 52(2): 446-454.
- 徐锡伟, 闻学泽, 陈桂华, 等. 2008. 巴彦喀拉地块东部龙日坝断裂的发现及其大地构造意义[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 38(5): 529-549.
- 张培震, 徐锡伟, 闻学泽, 等. 2008. 2008年汶川8.0级地震震源断裂的滑动速率、复发周期和构造成因[J]. 地球物理学报, 51(4): 1066-1073.

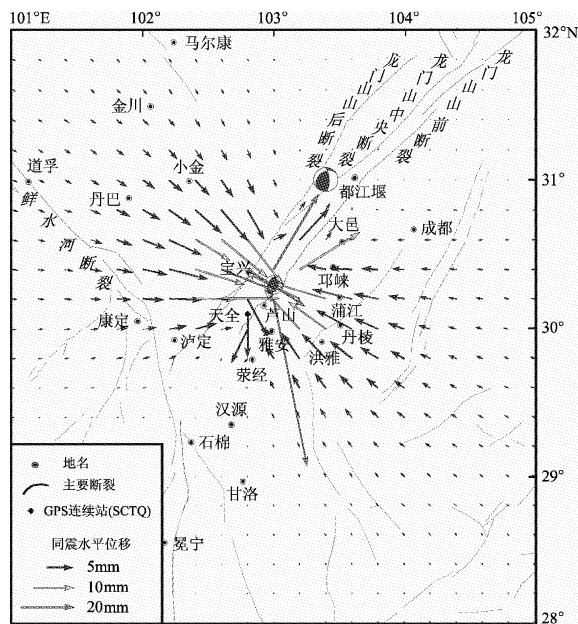


图4 芦山地震同震水平位移场

Fig. 4 Coseismic horizontal displacement field of Lushan M7.0 earthquake

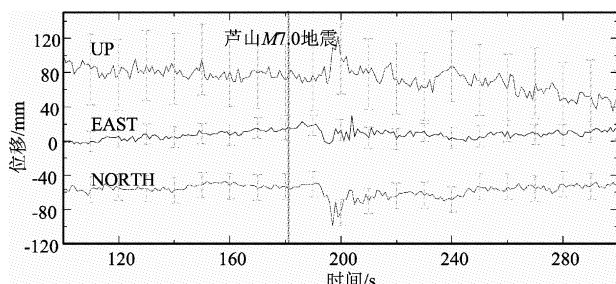


图5 GPS基准站SCTQ站同震位移

Fig. 5 Coseismic displacement of SCTQ Station of GPS reference station

## Deformation Preparation Background of Lushan $M_s7.0$ Earthquake and its Coseismic Response

JIANG Feng-yun, ZHU Liang-yu, ZHANG Xiao-liang, WANG Shuang-xu, JI Ling-yun  
(*Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, Shannxi, China*)

### Abstract

Analyzing the dynamic variation of crust horizontal deformation nearby the Longmenshan Fault before Lushan  $M7.0$  earthquake, we proposed that Wenchuan  $M8.0$  earthquake play an active role for Lushan  $M7.0$  earthquake. There existed obvious earthquake preparation background of crustal horizontal deformation in medium-and long-term before Lushan  $M7.0$  earthquake. Using finite-fault plane solution of Lushan  $M7.0$  earthquake, we calculated the surface coseismic displacement field of Lushan  $M7.0$  earthquake by spherical dislocation model. Contrasted with the processing result of high frequency observation data of GPS reference station SCTQ near the epicenter, we concluded that the coseismic influence scope of Lushan  $M7.0$  earthquake is small.

**Key words:** Lushan  $M7.0$  earthquake; Wenchuan  $M8.0$  earthquake; crust horizontal deformation; coseismic response