

汶川 8.0 级地震前龙门山断裂带的垂直变化特征

郭良迁, 塔 拉, 孙东颖, 杜雪松

(中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

摘要: 根据龙门山构造带上的跨断层水准测量资料, 计算了龙门山断裂带 1986 年至 2008 年 1 月的垂直活动速率、断层形变异常强度及测线的月变化率, 研究了龙门山断裂带 1986 至 2008 年初的异常变化。结果表明, 龙门山断裂带的垂直活动速率不大, 在 1 mm/a 以下。但是在大地震发生前的 1~3 a, 断层活动加速, 在形变异常强度图上变化显著, 在月变率统计图上, 也有明显的异常。龙门山断裂带的断层形变异常对于南北地震带上 600 余公里以内的 3 次 7 级以上大震均有反映, 对本区的地震反映更明显。

关键词: 地震; 断层形变; 异常强度; 月变率

中图分类号: P315.725 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2009) 03-0001-08

引言

2008 年 5 月 12 日, 四川省汶川发生的 $M_s 8$ 级地震, 引起强烈的地面运动, 使大量房屋倒塌, 人员伤亡, 造成了巨大损失。汶川 $M_s 8$ 级地震发生在龙门山断裂带上。龙门山断裂带位于南北地震构造带的中段, 是青藏断块区与华南断块区的分界带。新构造活动时期青藏高原受印度板块与欧亚板块碰撞俯冲产生的南北向挤压应力作用, 使地壳发生南北向缩短, 并且强烈隆升, 同时还出现向东的侧向运动。龙门山断裂带正位于青藏地壳物质东向运动的前部, 东侧受到华南断块区阻挡, 形成强烈的挤压构造活动带^[1]。地震是现在地壳构造活动的表现, 而地形变的观测结果也是现在地壳微动态变化的证据。不少地震工作者根据跨断层测量的形变资料研究过断裂带的现今活动性^[2~5]。为了监测龙门山断裂带的现今活动性, 20 世纪 70 年代在龙门山断裂带布设了 5 条跨断层测段, 每年复测 3 次, 积累了多年的资料, 为研究汶川 $M_s 8$ 级地震发生前龙门山断裂带的现今活动性提供了条件。研究汶川 $M_s 8$ 级地震前龙门山断裂带的活动, 对认识汶川 $M_s 8$ 级地震的孕育具有重要的意义, 也对今后的地震预测工作有所启示。

收稿日期: 2008-11-21

基金项目: 中国地震局“全国地震区划图编制项目”和“十一五”国家科技支撑课题 (2006BAC01B02-02-03) 资助。

作者简介: 郭良迁 (1950-), 男, 研究员. 主要从事地震预测、活动构造和地壳形变研究。

E-mail: guoliangqian@163.com.

本文根据跨龙门山断裂带的短水准观测资料, 计算断层垂直运动速率, 提取形变异常信息, 对断裂带的活动性和汶川地震的中长期前兆异常进行研究。

1 垂直变化

跨断层测量资料能够直接说明断层活动性。通过观测建在断层两盘上测点变化, 能直观地获得断层活动信息。龙门山断裂带建有 5 条水准测线, 分别布设在茂县-汶川断裂、灌县-安县断裂和蒲江断裂 (图 1), 而龙门山中央主断裂——北川-映秀断裂上没有测线^[1,2]。各测线 1986~2007 年的垂直变化速率都小于 1 mm/a (表 1), 其中耿达、七盘沟、双河测线的速率小于 0.1 mm/a, 灌县和蒲江测线的变化速率为 0.16~0.17 mm/a。由 5 处跨断层测线观测资料得到的断层平均垂直变化速率为 0.09 mm/a, 表明龙门山断裂带较长时期的垂直活动速率较小。在长趋势变化中仅双河断层表现为逆断活动, 其它 4 条测线变化均说明断层为正断活动。

表 1 所列测线都跨断层。由表 1 可见, 不同时间段断层活动的性质不同。耿达测点观测结果显示, 1986~1990 年、1991~1995 年和 1996~2000 年均为逆断活动, 1991~1995 年速率相对较大。2001~2005 年和 2006~2008 年为正断活动, 其中断层平均速率为 0.48 mm/a, 后一时间段的速率是本测点在各时段变化中的最大值。灌县测线的观测结果显示, 1986~1990 年、2001~2005 年、2006 至 2008 年 1 月断层为逆断活动, 1991~1995 年和 1996~2000 年为正断活动。断层平均活动速率为 0.18 mm/a, 其中, 1991~1995 年的变化速率大于其它时段。蒲江测线的观测结果显示, 1986~1990 年、1991~1995 年、1996~2000 年和 2001~2005 年断层为正断活动, 2006~2008-01 年为逆断活动。断层平均活动速率为 0.22 mm/a, 其中 1986~1990 年的变化速率最大, 其次为 2006 至 2008 年 1 月的速率。七盘沟测线的观测结果显示, 1986~1990 年和 1996~2000 年断层为正断活动, 1991~1995 年、2001~2005 年 2006 至 2008 年 1 月为逆断活动。断层平均活动速率为 0.19 mm/a, 2006 至 2008 年 1 月的速率最大。双河跨断层测线的观测结果表明, 在 1986 年到 2008 年 1 月各时间段中断都为逆断层活动, 由该测线观测资料计算得到, 断层平均活动速率为 0.11 mm/a, 1996~2000 年时间段的速率最大。

上述结果表明, 5 条跨断层测线, 有 4 条在汶川 M_s 8 级地震前 (2006 至 2008 年 1 月) 显示出逆断活动, 一条为正断活动。说明大震在中期 (1~3 a) 孕育阶段以逆断活动为主。

2 月变率

将跨断层观测资料, 内插至每月一值, 形成序列。然后用当月的观测值减去前一个月的观测值, 得到月变率值。用月变率除以月变率均值得到月变率的倍数 b 。分别对 $b > 2$ 、 $b > 2.5$ 、 $b \geq 3$ 、 $b \geq 4$ 的值以年为单位进行统计, 结果绘制成图 2。龙门山地区的 5 条跨断层测线从 1985 年到 2008 年 1 月共得到月变率值 1 343 个, 其中 $b > 2$ 的数量占 10%, $b > 2.5$ 的为

表 1 龙门山断裂带垂直变化速率
Table 1 Vertical deformation rates of Longmenshan fault zone

测段	测线方向	经度	纬度	时间	速度 mm/a
耿达 A-B	NW	103.30	31.08	1986~2008-01	0.04
				1986~1990	-0.01
				1991~1995	-0.19
				1996~2000	-0.10
				2001~2005	0.08
				2006~2008-01	2.00
灌县 3-4	NW	103.62	31.00	1986~2008-01	0.18
				1986~1990	-0.07
				1991~1995	0.66
				1996~2000	0.11
				2001~2005	-0.03
				2006~2008-01	-0.04
蒲江 2-1	NW	103.53	31.18	1986~2008-01	0.15
				1986~1990	0.34
				1991~1995	0.12
				1996~2000	0.26
				2001~2005	0.06
				2006~2008-01	-0.32
七盘沟 C-A	NNW	103.55	31.45	1986~2008-01	0.02
				1986~1990	0.19
				1991~1995	-0.10
				1996~2000	0.05
				2001~2005	-0.12
				2006~2008-01	-0.48
双河 1-2	NW	103.22	30.61	1986~2008-01	-0.04
				1986~1990	-0.05
				1991~1995	-0.04
				1996~2000	-0.25
				2001~2005	-0.14
				2006~2008-01	-0.07

5%， $b \geq 3$ 的为 2.9%， $b \geq 4$ 的为 2%。由图 2 可见，1988~1997 年和 2006~2007 年为异常时段，在图 2 上， $b > 2$ 和 $b > 2.5$ 的异常持续性和连续性较为清楚； $b \geq 3$ 、 $b \geq 4$ 的异常持续时间相对较短，为 1990~1997 年和 2006 年。于异常持续时间段中，在距龙门山断裂带的测线分布区 120 km 范围内，发生了 6.5 级地震(小金北部，1989-09-22)1 次；在 650 km 范围内共发生 7 级以上大震 2 次(共和 7 级，1990-04-26；丽江 7 级，1996-02-03)。从图 2($b > 2$ 、 $b > 2.5$)中可看出，在小金 6.5 级地震前，1988 年月变率大于 2 倍速率均值的就已出现，表明断裂活动性开始加强。但是在 $b \geq 3$ 和 $b \geq 4$ 的图中并未出现月变率大于 3 倍速率均值的异常。在共和 7 级大震前，1989 年月变率大于 2.5 倍速率均值的异常数量相对较多。月变率

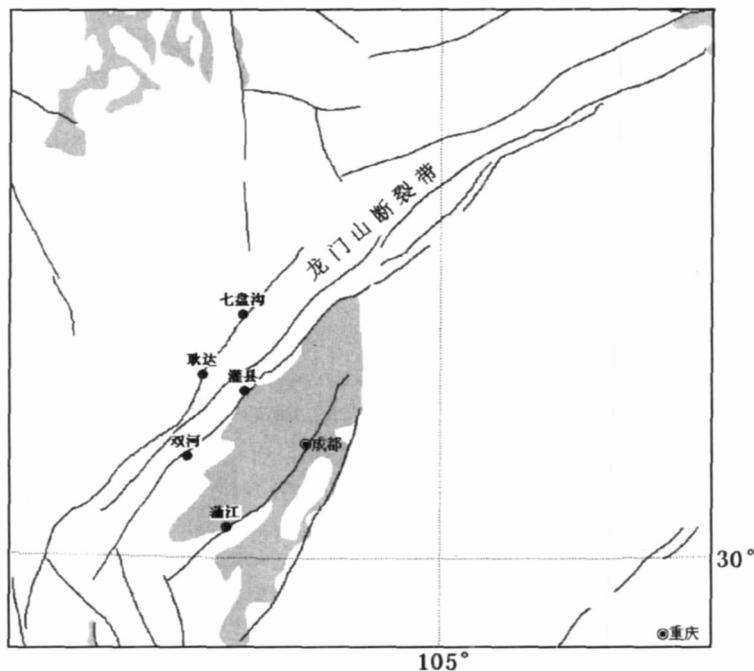
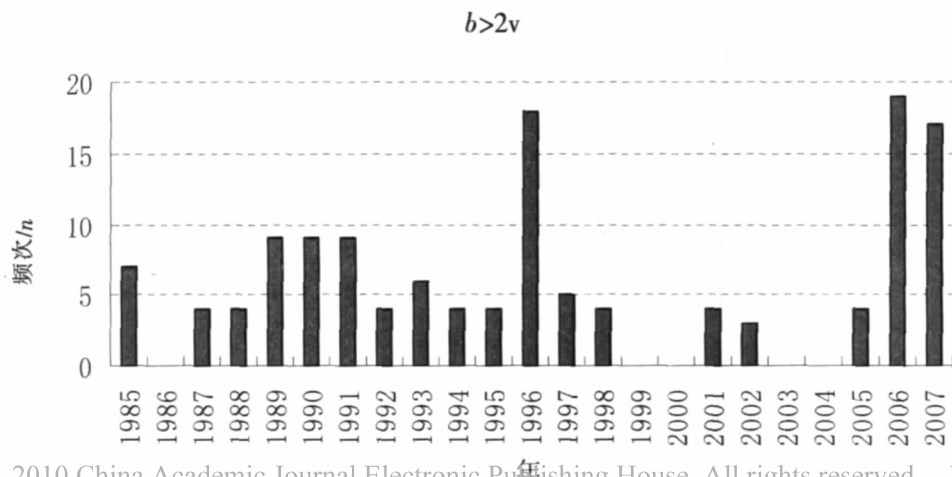


图 1 跨龙门山断裂带测点分布示意图

Fig.1 Distribution of leveling sites in Longmenshan fault zone

大于 3 倍速率均值的异常在 1990 年出现。1996 年丽江 7 级地震前，月变率大于 3 倍速率均值的异常在 1993 年出现峰值，1994 年降为 0，1995 年再度出现，1996 年形成峰值。月变率大于 4 倍速率均值的异常数量，1993 年出现峰值，到 1997 年一直呈现连续下降。2008 年汶川 8 级地震前，月变率大于 3 倍和 4 倍速率均值的异常数量在 2006 年出现峰值，2007 年降为 0。月变率大于 2 倍和 2.5 倍速率均值的异常数量在 2006 年和 2007 年都较多。



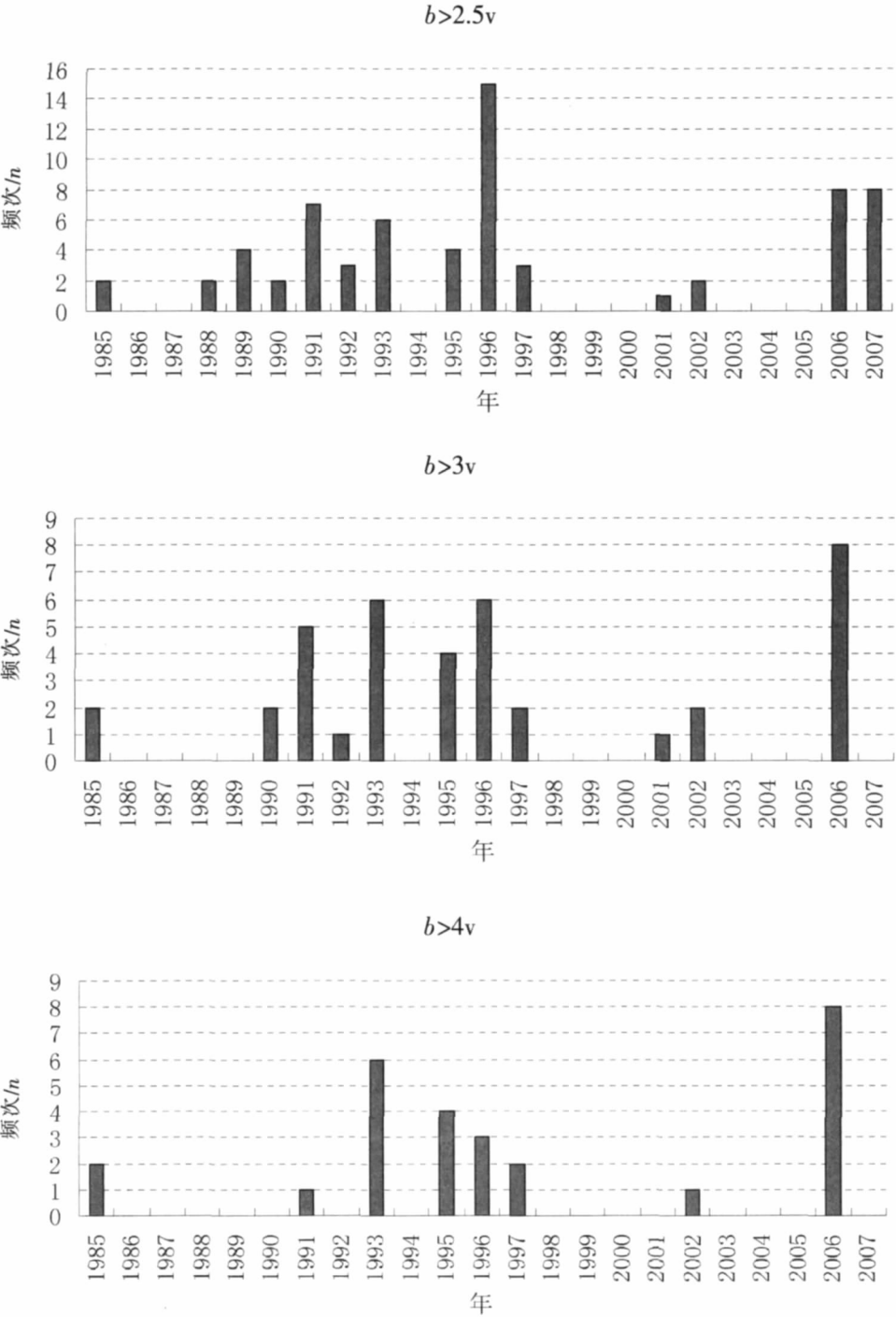


图 2 龙门山地区断层形变月变率异常图

Fig.2 Anomaly of monthly variation rates of fault deformation in Longmenshan area

上述情况表明,距断层形变测线较近的 6.5 级地震前,可以出现月变率大于 2 倍和 2.5 倍速率均值的异常,在 650 km 范围的 7 级以上地震前 1~3 年,均可出现月变率大于 2.5 倍、3 倍和 4 倍速率均值的异常。距测线较近的地区大震异常相对显著。和测点在同一断裂构造系的大震,其异常更显著(如汶川 8 级地震和丽江 7 级地震同在南北带上,震前龙门山地区的断层形变异常就相对显著)。另外,月变率异常和大震关系还受构造带发育的制约。

3 异常强度 R

异常强度 R 是根据断层形变的年速率求出的, R 值模型公式如 (1) [6]

$$R_i = 1 - e^{-r_i} \quad (1)$$

$$r_i = \frac{(h_i - h_{i-12})^2}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_i - h_{i-12}| + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|h_i - h_{i-12}| - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_i - h_{i-12}|) \right]^2}$$

R 为异常强度,是无量纲值。 h 为月观测值, $i=1, 2, \dots, n$, 即观测值序列个数。异常强度曲线图上的临界值是各测线 R 值之和的均值加上其偏差均值。对一个地区(或构造带)来说,当总体异常强度值大于临界值时为异常,小于临界值为正常变化状态。当异常强度值达到和超过临界值时,说明所在区域的断层活动普遍增强,孕震区应变以相对较快的速度增加,加快了地震发生的进程。因为地壳结构和组成物质的复杂性,异常强度的量值与地震大小并不呈现正比关系。一般说来异常强度值持续数月至 1 年以上,超过临界值的部分比较显著时,异常出现后约 3 年内在本区或者相关联的活动带上可能有较强地震发生。异常强度大则本地区 and 关系密切的构造带上有强震的可能性则大,它们之间有一定的对应关系。异常持续时间较短,或者异常不显著,不容易发生较强地震。

图 3 是龙门山断裂带 5 条测线的观测值计算的异常强度时序变化曲线。它表明,1986 年到 2008 年 1 月,本区出现过 3 次较显著异常:①1989~1990 年。②1993~1994 年。③

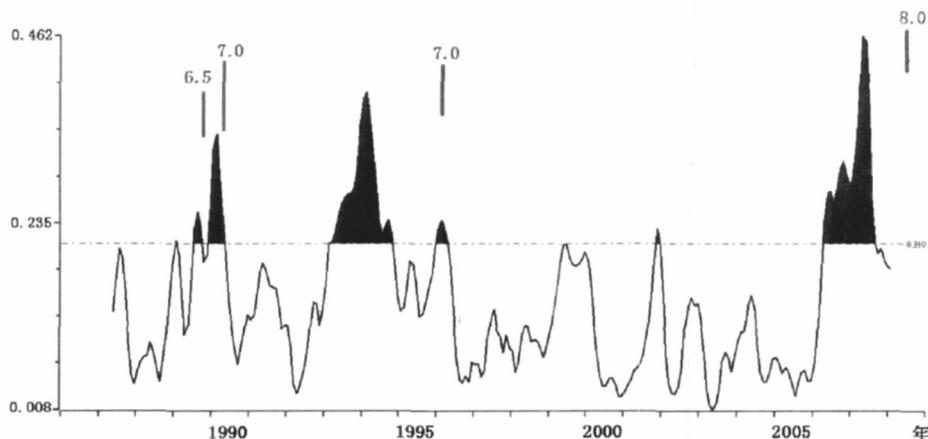


图 3 龙门山断裂带异常强度 R 值图

Fig. 3 R values of anomaly intensity of Longmenshan fault zone

2006~2007 年。1989~1990 年的异常出现后,发生了共和 7 级地震(1990-04-26),1993~1994 年异常出现后,发生了丽江 7 级地震(1996-02-03),2006~2007 年异常出现后,发生了汶川 8 级地震(2008-05-12)。3 次强异常出现都对应了本区 650 km 范围内的 7 级以上地震。地震都发生在异常出现后的 1~3 年中。这三次地震也主要分布在南北地震构造带上。

4 结论

(1) 龙门山断裂带上的 5 条跨断层水准测线多年的观测结果,揭示出龙门山断裂带的长期垂直活动速率较小,在 0.10 mm/a 以下,多数测线的变化显示断层为正断层活动。它是小范围内,断层两盘的相对运动。而穿过断裂带的水准路线剖面显示,横贯断裂带垂直差异变化在 4 mm/a 以上,垂直形变梯度在大区域中也较大^[7];根据青藏块体和华南块体的整体运动参数计算得到的龙门山断裂带水平运动速度结果也显著大于该值^[8],它反映的是大区域的块体整体活动。

龙门山地区的 5 条跨断层测线观测结果还说明在大震发生前 3 年左右时间里,水准变化显示出断层以逆断活动为主。

(2) 跨断层水准测线观测资料月变率统计结果显示,当月变率大于 3 倍均值的异常出现时,其后可能有较强地震发生,说明大震孕育中能激发断层出现较显著的变化。

(3) 以年速率均值与其残差之和为参考基准的异常强度 R 值越大,说明断层活动速率越大,断层活动性越强, R 值越小则说明断层活动性弱,处于相对稳定状态。对于区域断层形变,当 R 值大于临界值时视为异常。强异常时段出现后,常有较大地震发生。龙门山地区的断层形变从 1986 年到 2008 年 1 月,共出现过 3 次显著异常,在每次异常持续期间或结束后 3 年之内,都发生过 $M \geq 7$ 级的大震。1986 年到 2008 年 5 月,在距测点 650 km 范围内也仅有过 3 次大震,汶川 8 级地震是其中之一。它们说明,龙门山断裂带上的断层形变异常对于南北地震构造带的大地震孕育均有不同程度的反映。

(4) 由断层形变观测资料计算得到的月变率大于 3 倍速率均值的异常出现,可做为地震发生的中期前兆的异常。

当异常强度 R 值明显超过临界值,并且持续半年以上,其后也常有强震发生,同样可以做为估计强震发生的中短期前兆异常。

一般说来,地震总是与活动断层有关,不管平时断层活动速率是大是小,多数测线揭示在大震发生前的一定时期内,会出现加速变化。用不同的方法提取这种前兆信息,作为中期预测的依据,是可行的。

参考文献:

- [1] 徐锡伟,于贵华,马文涛,等.中国大陆中轴构造带地壳最新构造变动样式及其动力学内涵[J].地学前缘,2003,10(特刊):160-167.
- [2] 薄万举,杨国华,郭良迁,等.地壳形变与地震预测研究[M].北京:地震出版社,2001.
- [3] 郭良迁,薄万举,杨国华.华北地区断裂带的现代形变特征[J].大地测量与地球动力学,2003,23(2):29-36.
- [4] 赖锡安,黄立人,徐菊生,等.中国大陆现今地壳运动[M].北京:地震出版社,2004.
- [5] 马廷著,黄佩玉.京津唐活动断裂带现代运动特征[A].中国地震学会地震地质专业委员会.中国活动

断裂 [C]. 北京: 地震出版社, 1982.

[6] 郭良迁, 谢觉民. 张北 6.2 级地震的断层形变速率异常 [J]. 地壳形变与地震, 2001, 21(1): 79–84.

[7] 郭良迁, 薄万举, 杨国华. 中国大陆的垂直形变速率梯度及地震活动 [J]. 地震地质, 2001, 23 (3): 347–356.

[8] 郭良迁, 李延兴, 胡新康, 等. 中国大陆地壳运动与汶川 $M_s8.0$ 级地震孕育的关系 [J]. 地球物理学报, 2009, 52 (2): 531–537.

Vertical Deformation Characteristic of Longmenshan Fault Zone before Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake

GUO Liangqian, TA La, SUN Dongying and DU Xuesong

(First Crust Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, Tianjin 300180, China)

Abstract: Based on the cross-fault leveling data in Longmenshan tectonic belt, we calculated the vertical activity rates of Longmenshan fault zone within 1986–2008, anomaly intensities of fault deformation and monthly variation rates of the survey line and studied the anomalies of Longmenshan fault zone within 1986–2008. The result shows that the vertical activity rates of Longmenshan fault zone are not high and below 1mm/a, however, during one to three years before the large $M_s8.0$ earthquake, the fault activity was increasing, which exhibited remarkable changes on the anomaly intensities of deformation and monthly variation rates. Three big earthquakes with magnitude larger than M_s7 which occurred within 600km of the North–South seismic belt are reflected by the anomalies of fault deformations of Longmenshan fault zone, and the reflection is more noticeable when earthquakes occurred locally.

Keywords: Earthquake; Fault deformation; Anomaly intensity; Monthly variation rate