

川滇地区断层活动与地震关系研究\*

李瑞莎 张 希 王双绪 张四新 薛富平 王继英  
(中国地震局第二监测中心,西安 710054)

**摘 要** 选取川滇地区 16 个跨断层形变观测点,将断层两盘作为不变形的刚体分析断面相对滑动与断层两盘地表点位相对位移的定量关系,计算了各测点的水平扭动量、垂直位移量以及两者之间的比值,并分析了其与地震活动之间的关系。

**关键词** 川滇地区;地震;断层活动;跨断层测量;形变

**中图分类号**:P315. 72+5 **文献标识码**:A

STUDY ON RELATION BETWEEN FAULT ACTIVITY AND  
EARTHQUAKE IN SICHUAN-YUNNAN REGION

Li Ruisha, Zhang Xi, Wang Shuangxu, Zhang Sixin, Xue Fuping and Wang Jiying  
(Second Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054)

**Abstract** This paper choses 16 cross-fault deformation observation points in Sichuan-Yunnan region , for analyzing the quantitative relation between the relative sliding of fault plane and relative displacement of the sites on the two walls on ground surface and then calculates the amounts of horizontal twist, vertical displacement and the ratio between them, and analyzs the relation between the ratio and the earthquake activity simply.

**Key words**: Sichuan-Yunnan area; earthquake; fault activity; cross-fault observation; deformation

1 前言

跨断层位移测量是最直接、最可靠的反映地壳活动的观测手段之一,地震活动与断层活动强度及运动方式有直接的关系。焦青等<sup>[1,2]</sup>通过跨断层位移测点变化研究了首都圈断层运动与地震活动的相关特征。川滇地区断层活动强烈,强震活跃,跨断层测量开展较早,更有利于进行断层运动与地震活动关系的研究。

2 跨断层位移计算方法

测点的水平扭动和垂直位移变化代表了断层的

活动现状,而断层活动又反映了地壳中现今应力场的信息,因此,跨断层位移可能反映的是地壳上部局部现今应力场的变化或调整。

据文献[3,4],已知断层倾角 $\beta(0^{\circ}<\beta<90^{\circ})$ 和测线的数据,计算可得断层的水平扭动量 $\Delta S$ (以两盘作顺时针方向的扭动为正)和垂直位移量 $\Delta H$ (以上盘相对于下盘的下降为正)。当 $\Delta S>0$ 时,断层为右旋剪切,反之为左旋剪切;当 $\Delta H>0$ 时,上盘向下运动,断层为正断活动,反之为逆断活动。

1) 跨断层测点具有两条基线时,设两条基线分别与断层走向的夹角为 $\alpha_1、\alpha_2$ 。基线改变量分别为 $\Delta L_1、\Delta L_2$ 。断层的水平扭动量和垂直位移量为:

\* 收稿日期:2009-06-09  
基金项目:地震科学联合基金(A07130);中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项:青藏块体东北部强震孕育发生动态过程研究  
作者简介:李瑞莎,女,1982年生,助理工程师,主要从事地震预测、地壳形变及应力场方面的研究。E-mail:Rsli92@163.com

$$\left. \begin{aligned} \Delta S &\approx \frac{\sin\alpha_2\Delta L_1 - \sin\alpha_1\Delta L_2}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \\ \Delta H &\approx \frac{\cos\alpha_1\Delta L_2 - \cos\alpha_2\Delta L_1}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \text{tg}\beta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2) 跨断层测点具有一条斜交基线时,有:

$$\Delta S \approx \frac{\Delta L}{\cos\alpha} + \Delta H \frac{\text{tg}\alpha}{\text{tg}\beta} \quad (2)$$

3 测区概况及测点分布

川滇地区位于青藏高原的东缘,特殊的构造部位、强烈而频繁的地震活动以及地震与构造的各种典型而复杂的关系,使该地区成为研究地震活动与断层运动关系的极好地方。为此前人在此做过许多研究,并取得大量有价值的科研成果<sup>[5-7]</sup>。

川滇地区跨断层位移测量始于20世纪80年代初,大多数测点为流动观测点,周期为1~2个月,等

间隔观测。经过筛选得到符合计算要求的跨断层测点16个。这些测点主要分布在鲜水河断裂带、小江断裂带、红河断裂带等断裂带上,测量数据具有较好的连续性(表1)。用于计算的多数测点具有两条跨断层测线,仅汤家坪和漾濞只有一条测线,测点所跨断层走向以NW至近SN向为主(漾濞测点所跨脉地断层走向为EW),断层倾角较大(图1)。

4 跨断层位移计算结果与分析

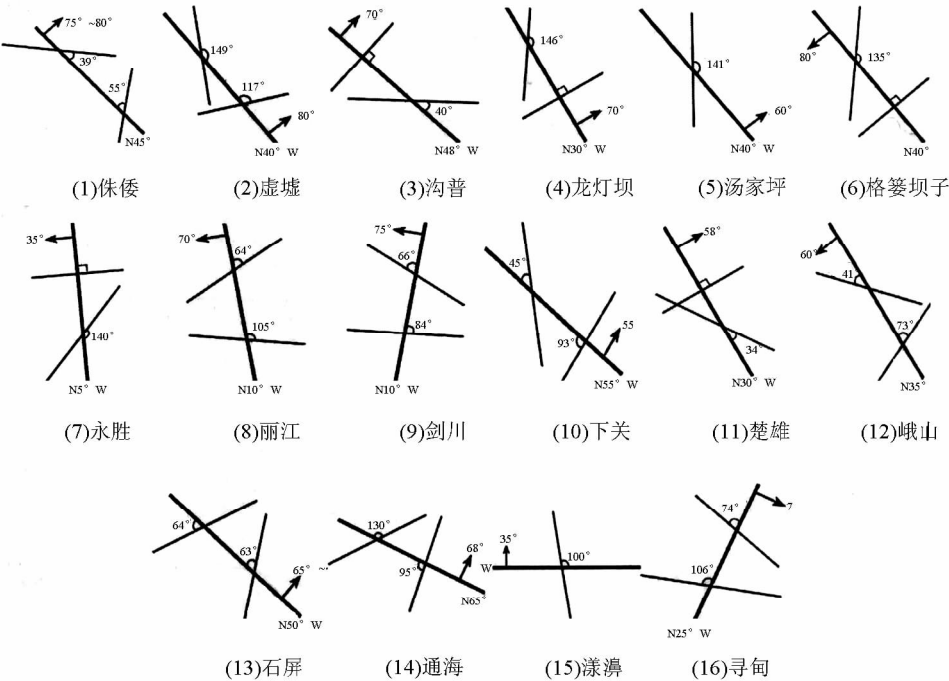
4.1 测点年变位移与地震活动分析

对川滇地区16个跨断层测点进行计算,得到了川滇地区跨断层测点在研究时段内每年的水平剪切扭动量和垂直位移量以及两者的比值。通过对结果的分析研究得出,测点的年变曲线与地震活动存在以下关系。

表 1 川滇地区跨断层位移测点资料概况

Tab.1 General situation of the data of cross-fault displacement observation sites in the Sichuan-Yunnan area

测点编号	测点名称	所跨断层	资料起止时间	测点编号	测点名称	所跨断层	资料起止时间
1	侏倭	鲜水河	1983—2008	9	剑川	剑川	1982—2008
2	虚墟	鲜水河	1981—2008	10	下关	洱海	1982—2008
3	沟普	鲜水河	1983—2008	11	楚雄	楚雄	1982—2008
4	龙灯坝	老乾宁-康定	1985—2008	12	峨山	曲江	1982—2008
5	汤家坪	汤家坪	1990—2008	13	石屏	石屏-建水	1982—2008
6	格篓坝子	鲜水河	1982—2008	14	通海	曲江	1982—2008
7	永胜	程海	1982—2008	15	漾濞	脉地	1982—2001
8	丽江	丽江	1982—2008	16	寻甸	小江西支	1982—2008



注:图中粗线为断层,细线为跨断层测线,箭头指向上盘

图 1 跨断层观测点位示意图

Fig.1 Sketch of cross-fault observation sites' position

1) 断层在震前或震时出现异常活动。永胜测点(程海断裂)在丽江 7.0 级地震前出现显著的左旋逆断活动,地震时显著右旋活动;丽江测点(丽江断裂)在丽江 7.0 级地震时出现显著的右旋逆断活动(图 2)。

2) 地震后断层出现震荡现象。寻甸测点(小江断裂)和汤家坪测点(则木河断裂)等,在丽江 7.0 级地震后出现了一次大幅震荡现象(图 3)。

3) 汤家坪测点(汤家坪断裂)、剑川测点(剑川断裂)和楚雄等测点(楚雄断裂)的垂直位移量与水平剪切扭动量之间的比值在地震前出现显著变化(图 4)。

4.2 测点不同时间段的平均活动速率

由于跨断层测量时间较短,不宜分太多时段进行研究,参考跨断层测点每年的水平扭动和垂直位移计算结果,并尝试以川滇地区及其周围中强地震的发震时间为分界点对各测点进行分时段计算,尽量将各测点资料起止时间分为两个时段,研究不同时段的断层水平活动和垂直活动现状。

四川测区内各点以 2001 年昆仑山口地震分界,云南测区内各点以 1996 年丽江地震分界,进行分段计算。首先计算测点各时段测量数据的变化量,然后利用式(1)或式(2)分别计算得出各时段内的水平剪切扭动总量和垂直位移总量,最后计算出各段平均水平活动与垂直活动的运动速率(表 2)。

表 2 川滇地区跨断层测点分时段年平均水平活动速率和垂直活动速率

Tab.2 Annual average of horizontal and vertical motion rates by time interval at cross-fault points in the Sichuan-Yunnan area

测点 编号	测点 名称	经度 (°)	纬度 (°)	时段	水平活动 (mm/a)	时段	垂直活动 (mm/a)	活动性质	变化情况
1	侏倭	100.30	31.63	1983—2001	-1.325	1983—2001	0.430	左旋正断	水平减弱
				2002—2008	-0.865	2002—2008	1.187	左旋正断	垂直增强
2	虚墟	100.57	31.45	1981—2001	-0.177	1981—2001	0.196	左旋正断	水平不显著
				2002—2008	-0.160	2002—2008	-1.336	左旋逆断	垂直反向
3	沟普	101.10	30.98	1983—2001	-1.340	1983—2001	-1.467	左旋逆断	水平减弱
				2002—2008	-0.862	2002—2008	-0.063	左旋逆断	垂直减弱
4	龙灯坝	101.33	30.73	1985—2001	-0.002	1985—2001	-0.078	左旋逆断	水平增强
				2002—2008	-0.129	2002—2008	-0.101	左旋逆断	垂直增强
5	汤家坪	102.77	27.00	1990—2001	1.727	1990—2001	1.143	右旋正断	水平反向
				2002—2008	-1.057	2002—2008	0.637	左旋正断	垂直减弱
6	格婆坝子	100.53	30.47	1982—2001	-0.051	1982—2001	-0.054	左旋逆断	水平增强
				2002—2008	-0.159	2002—2008	-0.252	左旋逆断	垂直增强
7	永胜	100.72	26.42	1982—1996	0.333	1982—1996	-0.567	右旋逆断	水平增强
				1997—2008	1.907	1997—2008	-0.051	右旋逆断	垂直减弱
8	丽江	100.25	26.88	1982—1995	0.106	1982—1995	0.092	右旋正断	水平增强
				1996—2008	0.715	1996—2008	-0.380	右旋逆断	垂直增强
9	剑川	99.93	26.63	1982—1995	-0.131	1982—1995	0.006	左旋正断	水平不明显
				1995—2008	-0.135	1995—2008	-0.051	左旋逆断	垂直反向
10	下关	100.30	25.62	1982—2008	-0.696	1982—2008	1.329	左旋正断	未分段
11	楚雄	101.52	25.03	1982—2008	0.722	1982—2008	-0.009	右旋逆断	未分段
12	峨山	102.50	24.12	1982—1996	-0.107	1982—1996	4.998	左旋正断	水平反向
				1997—2008	1.720	1997—2008	-0.146	右旋逆断	垂直反向
13	石屏	102.45	23.77	1982—1996	0.143	1982—1996	-0.313	右旋逆断	水平不明显
				1997—2008	0.122	1997—2008	-0.008	右旋逆断	垂直减弱
14	通海	102.72	24.00	1982—2002	1.261	1982—2002	-0.331	右旋逆断	水平反向
				2003—2008	-2.388	2003—2008	-0.398	左旋逆断	垂直不明显
15	漾濞	99.93	25.78	1982—2001	38.305	1982—2001	0.114	右旋正断	未分段
16	寻甸	103.10	25.55	1982—1996	-0.341	1982—1996	-0.255	左旋逆断	水平不明显
				1997—2008	-0.491	1997—2008	0.444	左旋正断	垂直反向

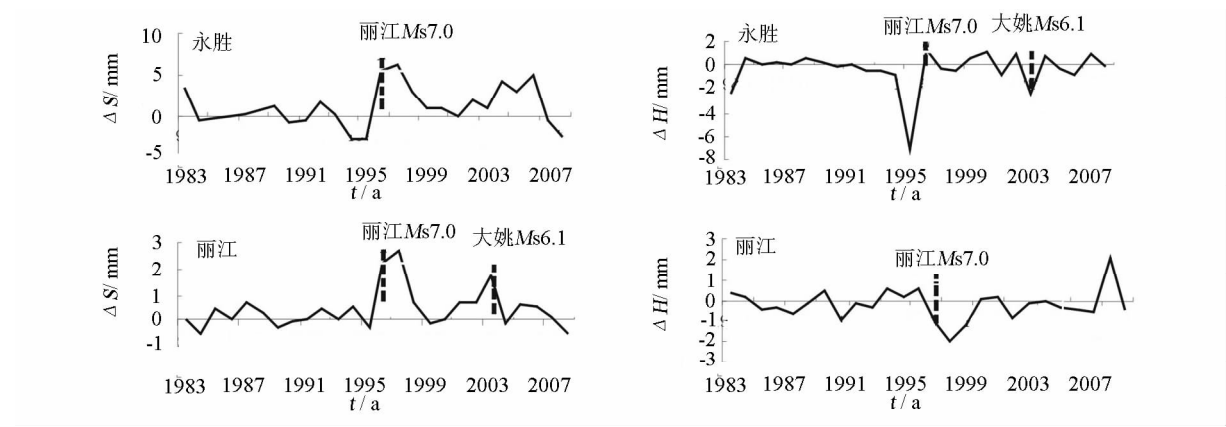
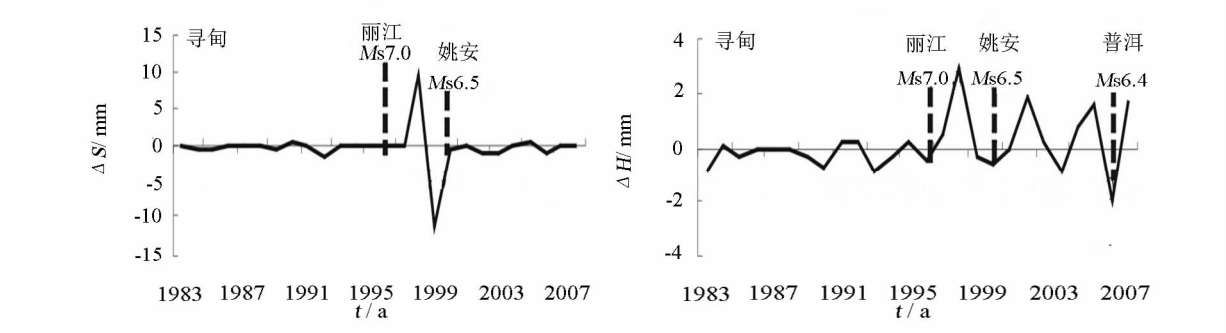
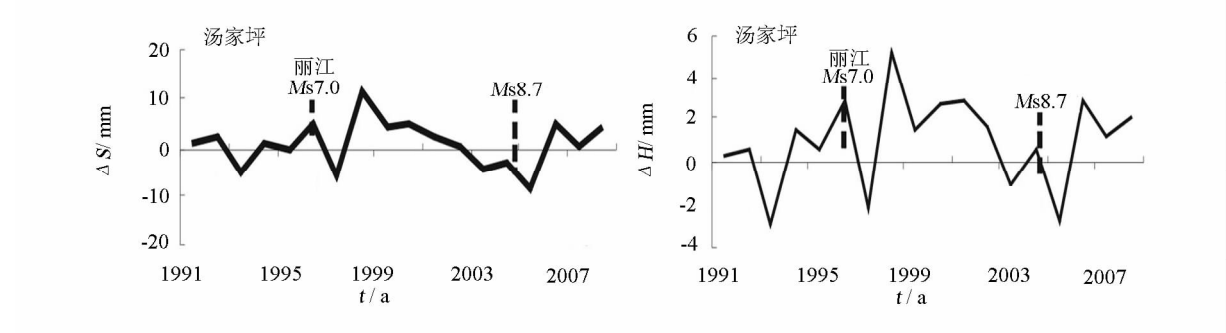


图2 丽江7.0级地震前或地震时断层的异常活动

Fig. 2 Anomalies before the Lijiang Ms7.0 earthquake or co-seismic anomalies at Lijiang and Yongsheng observation points



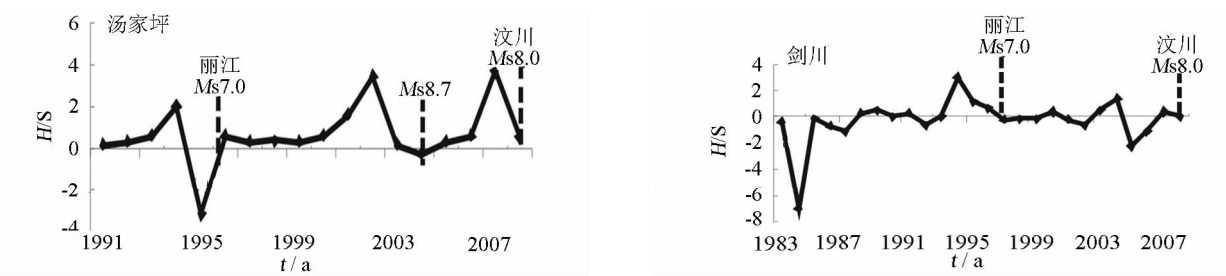
(a) 位于小江断裂北段的寻甸测点水平运动在丽江7.0级地震后出现一次大的震荡,姚安6.5级地震后恢复。垂直运动在丽江7.0级地震后加剧



(b) 位于则木河断裂南端的汤家坪测点在丽江7.0级地震后出现一次震荡,在2005年印尼8.7级地震后又出现小幅震荡

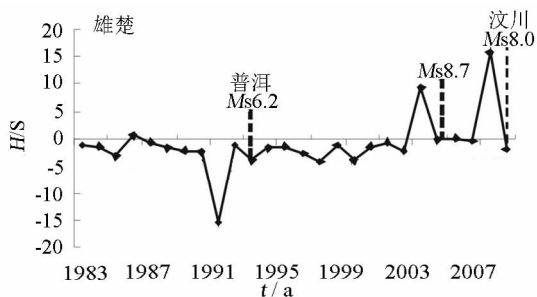
图3 地震后断层出现震荡现象的寻甸测点和汤家坪测点

Fig. 3 Fault oscillations after an earthquake at Xundian and Tangjiaping points



(a) 位于则木河断裂南端的汤家坪测点在丽江7.0级地震、印尼8.7级地震和汶川8.0级地震前1~2年垂直与水平方向运动量比变化显著

(b) 位于红河断裂的剑川测点在丽江7.0级地震和汶川8.0级地震前1~2年垂直与水平方向运动量比变化显著



(c) 位于楚雄-通海断裂西北段的楚雄测点在普洱 6.2 级地震、印尼 8.7 级地震和汶川 8.0 级地震前 1~2 年垂直与水平方向运动量变化显著

图 4 垂直位移量与水平剪切扭动量的比值在地震前出现显著变化的测点

Fig. 4 Points at which the vident change of the ratio between vertical dispelement and horizontal twist occurred

由表 2 可以看出,多数测点前后两个时段活动速率有不同程度的变化,或减弱或增强或反向活动。例如:侏倭测点 1983—2001 年时段在水平方向呈左旋活动,活动速率为 1.325 mm/a,而在 2002—2008 年时段的活动速率减弱到 0.865 mm/a;丽江测点在 1982—1995 年和 1996—2008 年的两时段中,水平活动由 0.106 mm/a 增强到 0.715 mm/a,垂直运动由正断活动 0.092 mm/a 反向变为逆断活动 0.380 mm/a。从上述可看出,不同的时间段断层活动存在一定的差异,这种变化可能与该区地震的孕育、发展、发生以及地壳上部现今应力场的局部调整变化有密切的关系。

## 5 结论

1) 断层活动加剧时可能会发生地震,地质资料呈显示程海断裂主要是以左旋逆断活动为主,丽江

地震前位于程海断裂北段的永胜测点也出现显著的左旋逆断活动。

2) 地震同样会影响断层的活动状况,位于小江断裂北段的寻甸测点水平运动在丽江 7.0 级地震后出现一次大的震荡。

3) 断层的垂直位移量与水平剪切扭动量两者之间的比值发生大幅度变化时,也是断层的运动状态在发生较大变化时,1~2 年内可能发生中、强地震。

4) 断层活动分时段具有差异性,这种变化可能与中强地震的孕育、发生和地壳上部现今应力场的调整变化有一定的相关性。

## 参 考 文 献

- 1 焦青,邱泽华,范国胜. 北京地区八宝山-黄庄-高丽营断裂的活动与地震[J]. 大地测量与地球动力学,2005,25(4):50-54.
- 2 焦青,范国胜. 河北文安地震前后首都圈跨断层位移的变化特征[J]. 大地测量与地球动力学,2007,27(6):17-21.
- 3 张超. 跨断层位移测量与局部断层活动[J]. 地震,1981,5:24-25.
- 4 张超,等. 应用短水准短基线测量监测断层现今活动的原理和方法[A]. 中国地震局地壳应力研究所编. 地壳构造与地壳应力文集(1)[C]. 北京:地震出版社,1987.
- 5 韩渭宾,蒋国芳. 川滇地区强震活动特征及其与地壳块体构造背景关系的研究[J]. 地震学报,2004,26(2):211-222.
- 6 张希,等. 川滇地区地壳水平运动特征与强震关系研究[J]. 大地测量与地球动力学,2003,23(3):35-41.
- 7 张希,等. 川滇地区近期地壳运动的应变积累[J]. 大地测量与地球动力学,2007,27(4):8-15.

(上接第 19 页)

扰动现象。因此汶川地震震前的扰动现象中确实含有热带气旋的影响因素。

3) 在地震和扰动现象的统计中,5 000 km 以内,7 级以上强震情况下发生的“平衡位置的扰动”现象的高发生率以及汶川地震震前超过 9 小时的平衡位置的扰动似乎存在一定的联系。作者认为汶川地震震前是否还受到震前的扰动有待对更多的强震动和未登陆热带气旋案例的统计分析。

## 参 考 文 献

- 1 郝晓光,等. 汶川大地震前的重力扰动[J]. 大地测量与地球动力学,2008,6(3):129-131.
- 2 郝晓光. L&R-ET 重力仪在极中山站记录到“不明地

学事件”[J]. 极地研究,1997,9(3):214-215.

- 3 Hao Xiaoguang. An unidentified geophysical event recorded with L&R-ET gravity meter at Zhongshan Station Antarctica[J]. Chinese Polar Science,1997,8(2):146-147.
- 4 郝晓光,等. 重力高频扰动与地震[J]. 地壳形变与地震,2001,21(3):9-13.
- 5 陈德福. 潮汐形变前驱波的时空特征[J]. 大地测量与地球动力学,2006,5(2):24-30.
- 6 陈德福,罗荣祥,刘国培. 倾斜异常图像分类及期特征浅析[A]. 见:地壳形变动力学观测与研究[C]. 北京:海洋出版社,1993.
- 7 周龙寿,等. 用小波分析方法检验强震“前驱波”[J]. 国际地震动态,2008,(11):53-53.
- 8 张雁滨,等. 热带气旋引起的震颤波[J]. 国际地震动态,2009,(4):52-52.