

# GPS 资料揭示的小江断裂近期运动特征<sup>\*</sup>

施发奇, 尤 伟, 付云文

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 利用中国地壳运动观测网络 1999 ~ 2009 年 5 期的 GPS 观测数据, 选择以区域重心基准为参考的方法, 从大地形变测量的角度分析和研究了小江断裂近期及其各段的地壳形变信息。结果显示: 小江断裂近期具有明显的左旋走滑运动特征, 并具有一定的张扭性质, 这种运动性质在汶川地震前后具有很好的继承性, 这也说明了汶川大地震对小江断裂的总体运动趋势并未造成太大的影响。2007 ~ 2009 年的 GPS 资料显示小江断裂北段的平均滑动速率为 4.75 mm/a, 平均张扭速率为 0.65 mm/a; 中段的平均滑动速率为 5.55 mm/a, 平均张扭速率为 1.55 mm/a; 南段的平均滑动速率为 4.72 mm/a, 平均张扭速率为 3.2 mm/a。

**关键词:** 小江断裂带; GPS; 重心参考基准; 地壳运动特征; 分段差异

**中图分类号:** P315.72

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2012)02-0207-06

## 0 引言

小江断裂带为近南北走向, 全长约 400 km, 分为北、中、南三段: 北段自巧家顺金沙江、小江河谷而下, 经蒙故至东川小江村, 呈单一结构; 中断自小江村分成东西两支, 东支往南分别经新村、寻甸到宜良徐家渡, 西支分别经汤丹、乌龙、嵩明杨林到阳宗海, 两支相距 12 ~ 16 km; 南段自宜良、阳宗海往南, 东、西两支各分成 2 ~ 4 条分支, 分支平行发育或斜裂交叉, 宏观呈辫状 (皇甫岗等, 2010)。

多年来, 国内许多地震工作者利用地质、地球物理和经典大地测量方法, 分析研究了小江断裂带地壳形变信息, 并取得了一些成果, 如小江断裂带第四纪以来的水平走滑运动速率最大可达 10 mm/a, 最小仅为 2.5 mm/a (毛玉平, 韩新民, 2003)。全新世以来, 小江断裂带平均滑动速率为: 北段 4 ~ 8.6 mm/a; 中段东支 4.8 mm/a, 西支 6.4 mm/a; 南段 2.5 ~ 4.8 mm/a (皇甫岗等, 2010)。

自 1998 年中国地壳运动观测网络建成以来, 分别于 1999、2001、2004、2007 和 2009 年对区域点进行了 5 期 GPS 观测, 其中在小江断裂带附近分布有 23 个监测点 (图 1)。笔者利用 23 个

监测点的 5 期 GPS 观测资料, 分析小江断裂的近期地壳运动特征。

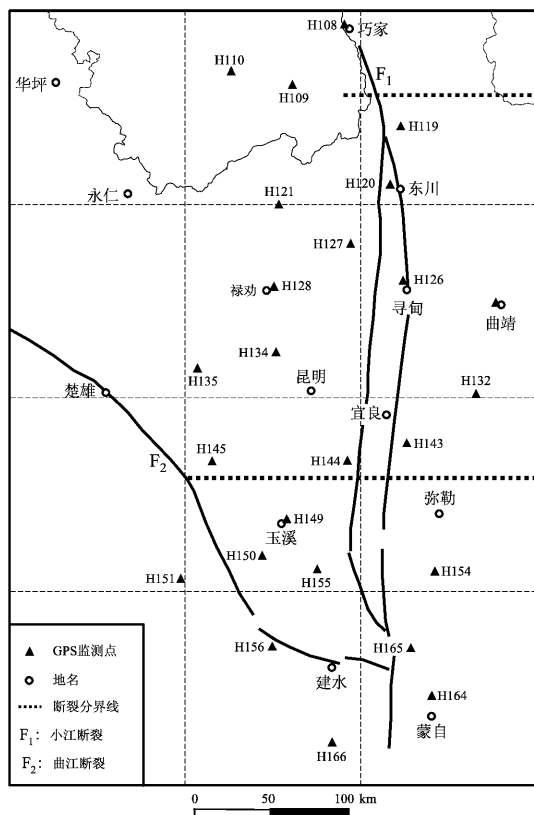


图 1 小江断裂带监测点分布图

Fig. 1 Layout of the GPS observation points of Xiaojiang River Fault

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2011-09-30.

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目“中国地壳运动观测网络”(G1998040703) 资助。

1 资料处理

针对小江断裂带附近分布的 23 个监测点记录的 5 期 GPS 观测资料,联合区域 IGS 站的 GPS 观测数据 (BJFS、WUHN、LHAS、URUM、KUNM、SHAO、XIAN、IRKT、KIT3、TWTF、GUAM、PIMO、BHR2、HYDE、PBR2、BAKO、NTUS、BAN2),利用 Gamit 软件对其进行载波相位处理,获得单日松弛解 (卫星星历采用 IGS 精密星历);然后利用 Globk 软件,综合本期观测的所有合并后的单日松弛解,以 ITRF 2000 为参考框架,分别获得了各期坐标综合解,在此基础上,最终获得了小江断裂及附近 1999~2001、2001~2004、2004~2007、2007

~2009 年 4 个时段的速度场 (表 1)。  
为了确保数据可靠,我们将获得的速度值与赖锡安等 (2004) 给出的监测点在 ITRF2000 框架下的速度值比较,结果仅有很小的差别,造成这种很小差别的原因,可能是由于在获取速度时,所固定的 IGS 站不完全相同造成的,这说明本文数据处理比较可靠。

2 小江断裂带地壳水平运动特征

图 2 显示的是在 ITRF2000 参考框架下,1999~2009 年 4 个时段小江断裂带及附近地区的运动速度场,从图中可以看出,小江断裂及附近地区地壳水平运动主要以东偏南方向运动为主,这主要由来自于青藏高原受印度板块推挤的继承性影

表 1 在 ITRF2000 框架下获得的 2007~2009 年小江断裂及附近速度信息  
Tab. 1 GPS velocity field of Xiaojiang River Fault and its surrounding area  
under the ITRF2000 reference framework from 2007 to 2009

监测点	$\varphi_N/ (^{\circ})$	$\lambda_E/ (^{\circ})$	东西向速度	南北向速度	东西向速度精度	南北向速度精度
			$V_e/ (\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	$V_n/ (\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	$E_{\text{sig}}/\text{mm}$	$N_{\text{sig}}/\text{mm}$
H108	26. 93	102. 91	36. 05	- 19. 89	1. 34	0. 86
H109	26. 62	102. 61	37. 48	- 24. 81	1. 23	0. 77
H110	26. 69	102. 26	37. 81	- 25. 37	1. 38	0. 90
H119	26. 41	103. 23	33. 82	- 14. 40	1. 12	0. 70
H120	26. 11	103. 17	36. 46	- 17. 42	1. 54	0. 98
H121	26. 00	102. 53	34. 86	- 24. 26	1. 45	0. 87
H126	25. 61	103. 24	37. 05	- 16. 24	1. 62	1. 04
H127	25. 80	102. 94	33. 18	- 20. 78	1. 50	0. 98
H128	25. 58	102. 51	33. 79	- 24. 01	1. 29	0. 83
H134	25. 24	102. 52	37. 39	- 17. 13	1. 89	1. 28
H135	25. 16	102. 07	30. 77	- 20. 42	1. 76	1. 18
H143	24. 77	103. 26	33. 63	- 13. 60	1. 36	0. 88
H144	24. 68	102. 92	31. 52	- 16. 30	1. 79	1. 24
H145	24. 68	102. 15	25. 74	- 19. 81	1. 73	1. 11
H149	24. 38	102. 58	30. 78	- 18. 09	3. 14	1. 80
H150	24. 19	102. 44	26. 15	- 19. 84	1. 33	0. 85
H151	24. 07	101. 98	28. 95	- 19. 92	1. 33	0. 83
H154	24. 11	103. 42	34. 26	- 14. 35	1. 83	1. 11
H164	23. 47	103. 40	33. 39	- 18. 19	1. 49	0. 94
H165	23. 71	103. 28	29. 68	- 10. 92	1. 50	0. 94

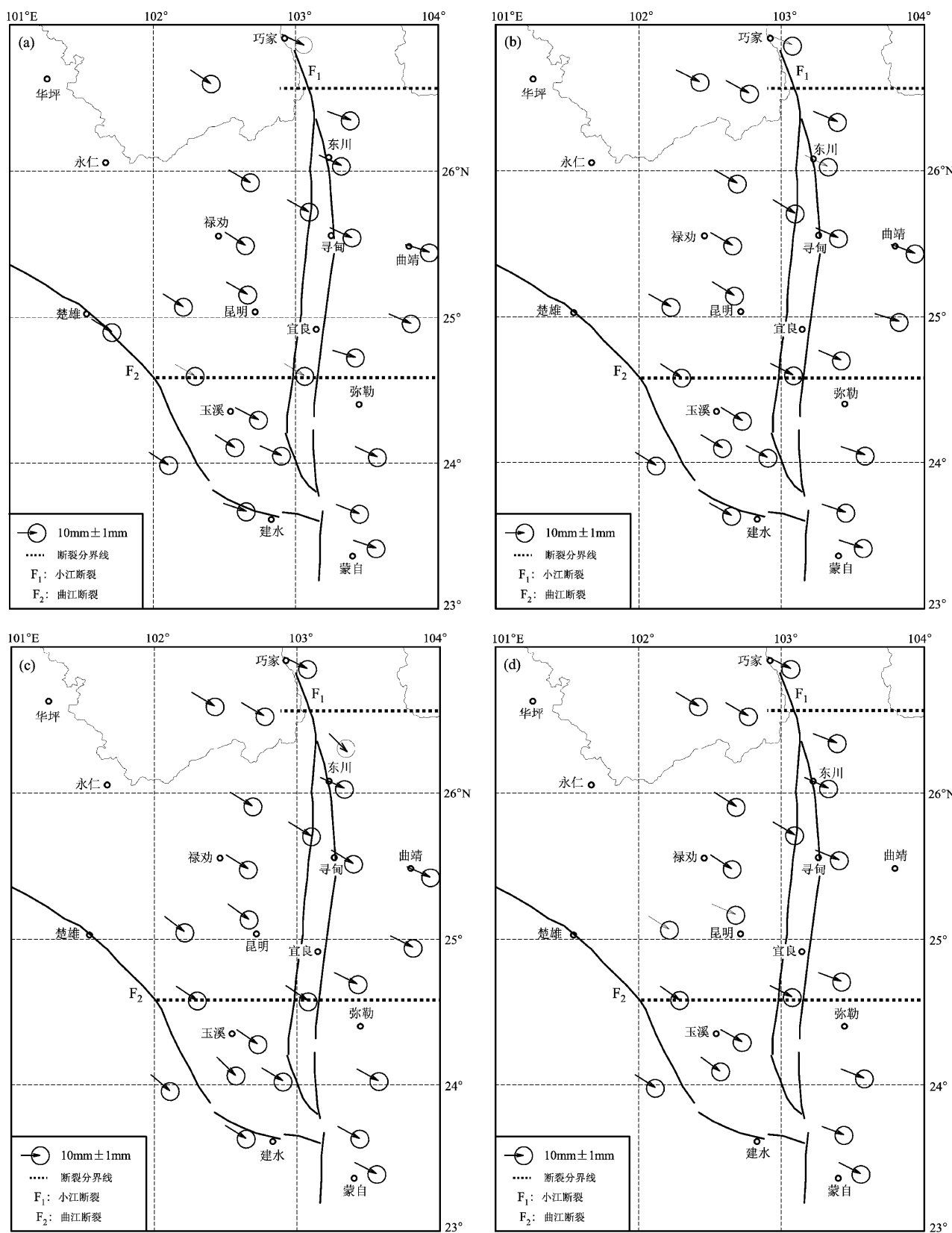


图2 1999~2009年小江断裂及附近GPS速度场（ITRF2000框架）

(a) 1999~2001年；(b) 2001~2004年；(c) 2004~2007年；(d) 2007~2009年

Fig. 2 GPS velocity field of Xiaojiang River Fault and its surrounding area from 1999 to 2009 (relative to the ITRF2000 reference framework)

响造成的。根据监测点的分布情况，提取地壳运动的时空变化曲线，并对其结果进行多项式拟合（图 3）。

从图 3 可以看出，小江断裂及附近地区近 10 年来 5 期 GPS 观测资料揭示的地壳运动水平变化量和形变特征比较一致。从 1999 ~ 2009 年东西向运动速度看（图 3 中黑色曲线和灰色曲线），小江断裂附近地区从西至东，地壳水平平张扭速率接近线性变化，从 25 mm/a 逐渐增加到 35 mm/a，反映出显著的张裂运动，但其张扭速度逐渐减小。从南北向的运动速度看（图 3 中红色曲线和粉色曲线），断裂东西两侧存在一个明显的错动，地壳水平平张扭速率从 20 mm/a 逐渐衰减到 10 mm/a，小江断裂反映出显著的左旋走滑运动特征。从整个 GPS 剖面水平变化量来看，小江断裂运动特征具有很好的继承性，即使在 2008 年汶川 8.0 级大地震发

生前后（2004 ~ 2007 年和 2007 ~ 2009 年 GPS 剖面水平变化量），这种继承性仍然保持，这说明 2008 年汶川大地震对小江断裂的总体运动趋势并未造成太大的影响。

### 3 小江断裂近期运动及分段差异运动特征

#### 3.1 参考基准的选择

从图 2 可以看出，在全球参考框架（ITRF2000）下，小江断裂及附近地区地壳水平运动主要以东偏南方向的运动为主，反映出其所处块体的整体运动趋势，但不能直观地了解小江断裂各盘或者各分段的差异运动，更无法了解其详细的地壳变化特征。因此，必须选择一个合适的参考基准，将断裂各盘或者各分段的差异运动直观

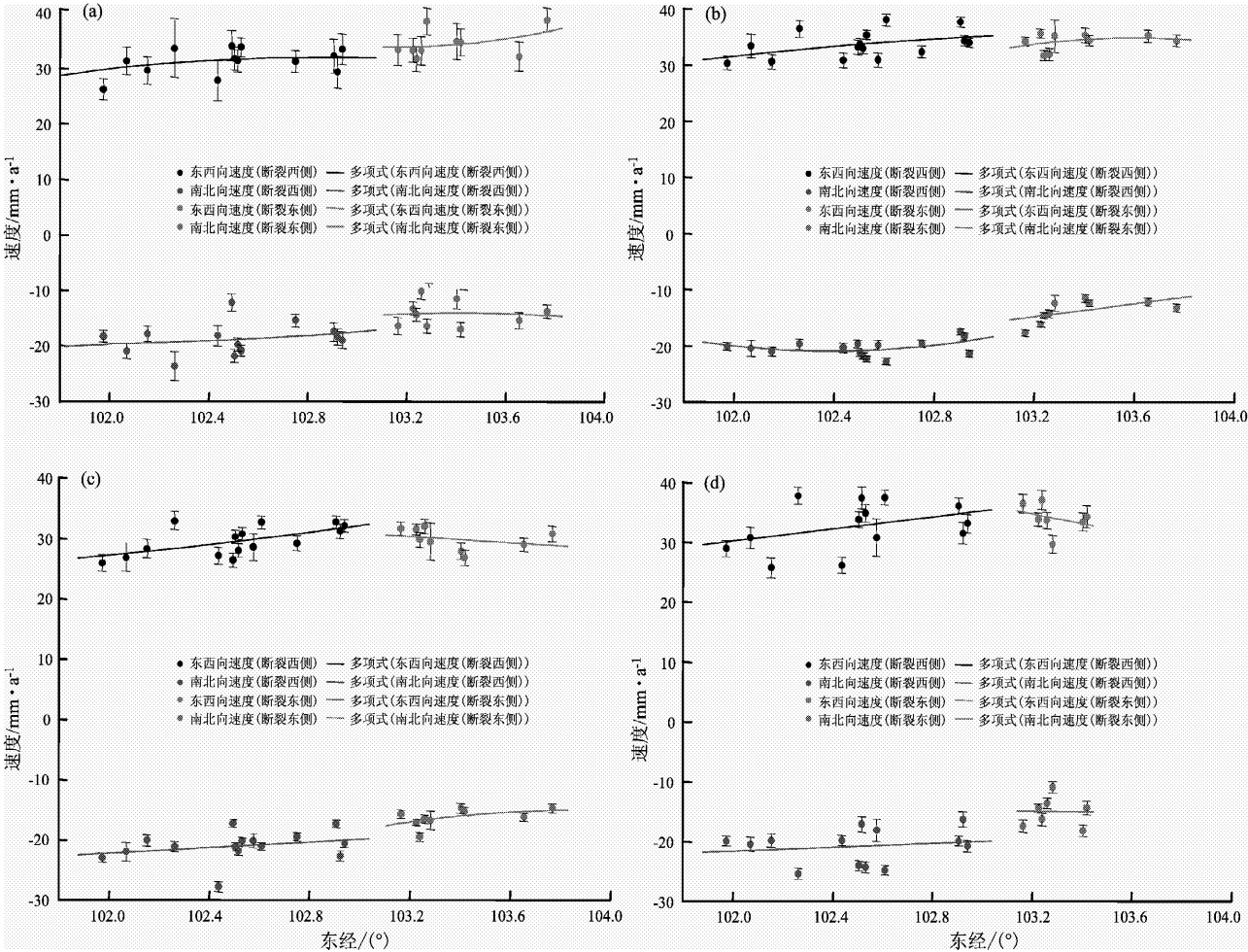


图 3 GPS 剖面水平变化量、多项式拟合曲线

(a) 1999 ~ 2001 年; (b) 2001 ~ 2004 年; (c) 2004 ~ 2007 年; (d) 2007 ~ 2009 年

Fig. 3 Horizontal variation of GPS section and polynomial fitting curve

地表现出来,进而对小江断裂各段的地壳运动特征进行更详细地分析。通过试算和分析,笔者认为以重心基准为参考能很好地反映断裂的差异运动。

假设在某个参考框架下求得的  $n$  个点,位移值记为  $V_{xi}$ 、 $V_{yi}$ 、 $V_{zi}$ ,此时若附加条件要求:

$$\begin{cases} \sum\limits_1^n V_{xi}=0 \\ \sum\limits_1^n V_{yi}=0, \\ \sum\limits_1^n V_{zi}=0 \end{cases} \tag{1}$$

在条件(1)下求得各点的位移,  $V_{xi}^C$ 、 $V_{yi}^C$ 、 $V_{zi}^C$ 即为重心基准下的位移,若重心坐标记为

$$\begin{cases} V_{x0}^C = \frac{\sum\limits_1^n V_{xi}}{n} \\ V_{y0}^C = \frac{\sum\limits_1^n V_{yi}}{n}, \\ V_{z0}^C = \frac{\sum\limits_1^n V_{zi}}{n} \end{cases} \tag{2}$$

则以重心为基准的位移为

$$\begin{cases} V_{xi}^C = V_{xi} - V_{x0}^C \\ V_{yi}^C = V_{yi} - V_{y0}^C, \\ V_{zi}^C = V_{zi} - V_{z0}^C \end{cases} \tag{3}$$

区域重心参考基准通常用于全部监测点位于变形区内,我们并不关心变形区整体的平移运动,而主要关心变形区内相对位移的情况(赖锡安等,2004)。

3.2 小江断裂带的近期运动特征

通过以上基准的选择,将监测点在全球参考框架( IRTF2000 )基准下的水平速度信息按照(1)~(3)式归算到区域重心参考基准下,得到了小江断裂带的近期地壳运动特征,并对小江断裂各分段位于不同盘(断裂东侧和西侧)的站点求取平均值,以表现断裂各分段的平均运动特征(图4)。

从图4中可以看出,小江断裂的北段、中段和南段具有明显的左旋走滑运动特征,并兼具张扭性质;根据2007~2009年断裂各段两侧的平均运动速率,得到北段的平均滑动速率为5.2 mm/a,平均张

扭速率为1.6 mm/a;中段的平均滑动速率为5.0 mm/a,平均张扭速率为2.8 mm/a;南段的平均滑动速率为4.8 mm/a,平均张扭速率为3.8 mm/a。

3.3 小江断裂带分段差异运动的计算

根据小江断裂北、中、南分段划分的情况,我们将1999~2009年5期观测资料的4个速度信息归算到重心参考基准下,并根据测点与断裂带的相互位置计算了沿断裂及垂直断裂各期资料所揭示的运动变化特征(表2)。

从表2中可以看出:自1999年以来小江断裂的北、中、南3段左旋走滑运动特征明显,速率一直保持在2.5~7.8 mm/a,滑动速率比较均匀,且随着时间的推移,表现较强的线性变化;另外,小江断裂还具有一定的张扭运动特征,在从北到南的空间分布上,张扭运动的量级逐渐增大,从0.65 mm/a增大到3.2 mm/a,这是否由于小江断裂南段和曲江断裂及红河断裂相连接,受到这些断裂的阻挡所造成,或者资料揭示的运动信息包含这些

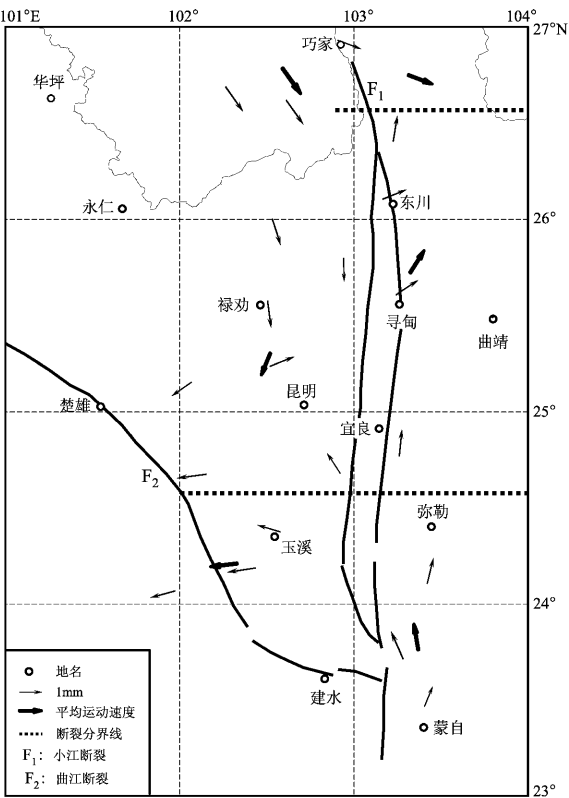


图4 2007~2009年小江断裂的分段运动特征(基于重心基准)

Fig.4 Segmentation motion features of Xiaojiang River Fault from 2007 to 2009 (relative to reference of center of gravity)

断裂的地壳形变等，这些都需要进一步考证。

表 2 小江断裂带分段运动特征

Tab. 2 Segmentation motion features of Xiaojiang River Fault

时段	沿断裂滑动速率/ (mm · a <sup>-1</sup> )			垂直断裂运动速率/ (mm · a <sup>-1</sup> )		
	北段	中段	南段	北段	中段	南段
1999 ~ 2001年	6. 2	5. 9	2. 5	0. 5	2. 2	5. 3
2001 ~ 2004年	3. 8	6. 7	7. 8	0. 4	0. 1	3. 4
2004 ~ 2007年	3. 8	4. 6	3. 8	0. 1	1. 1	0. 2
2007 ~ 2009年	5. 2	5. 0	4. 8	1. 6	2. 8	3. 8
平均速率	4. 75	5. 55	4. 72	0. 65	1. 55	3. 2

4 结论

通过对 1999 ~ 2009 年小江断裂及附近地区 5 期地壳运动观测网络区域站观测资料的收集处理，我们得出以下结论：

- (1) 小江断裂及附近地区地壳水平运动主要以东偏南方向运动为主，这主要受来自于青藏高原受印度板块推挤的继承性影响。
- (2) 小江断裂具有明显的左旋走滑运动特征，并具有一定的张扭性质。

(3) 小江断裂北、中、南 3 段具有显著的走滑运动特征，表现为较强的线性变化。另外，小江断裂带还具有一定的张扭运动特征，而且从北向南，张扭运动的量级逐渐增大，这是否受到曲江断裂、红河断裂的影响所造成，还需要考证。

(4) 小江断裂近期的水平运动特征表现为：北段的平均滑动速率为 4. 75 mm/a，平均张扭速率为 0. 65 mm/a；中段的平均滑动速率为 5. 55 mm/a，平均张扭速率为 1. 55 mm/a；南段的平均滑动速率为 4. 72 mm/a，平均张扭速率为 3. 2 mm/a。

(5) 从整个 GPS 剖面水平变化量来看，小江断裂的运动特征具有很好的继承性，即使在 2008 年汶川大地震发生前后（2004 ~ 2007 年和 2007 ~ 2009 年 GPS 剖面水平变化量），这种继承性仍然保持，这说明 2008 年汶川大地震对小江断裂的总体运动趋势并未造成太大的影响。

参考文献：

皇甫岗,陈顺,秦嘉政,等. 2010. 云南地震活动性[M]. 昆明: 云南科技出版社.

赖锡安,黄立人,徐菊生. 2004. 中国大陆现今地壳运动[M]. 北京: 地震出版社.

毛玉平,韩新民. 2003. 云南地区强震( $M\geq 6$ )研究[M]. 昆明: 云南科技出版社.

Recent Crustal Movement Characteristics of Xiaojiang River Fault Based on the GPS Data

SHI Fa-qi, YOU Wei, FU Yun-wen

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 430071, Yunnan, China)

Abstract

Using GPS observation data of five periods recorded in the crustal movement observation network of China from 1999 to 2009, we selected the regional gravity center as reference datum to study the recent crustal movement characteristics of Xiaojiang River Fault and its segmentation motion characteristics from geodetic deformation survey aspect. The results showed that the movement of Xiaojiang Fault featured characteristics of left-lateral strike slip and tension-shear, and these characteristics was the same before and after Wenchuan  $M8.0$  earthquake, which showed that the Wenchuan earthquake had no influence on the total movement of Xiaojiang River Fault. Using GPS data from 2007 to 2009, we obtained the average slip rate was 4. 75mm/a and the average tension-shear was 0. 65mm/a in the northern section of the Xiaojiang River Fault. In the middle section of it, the average slip rate was 5. 55mm/a and the average tension-shear was 1. 55mm/a. In the southern section of it, the average slip rate was 4. 72mm/a and the average tension-shear rate was 3. 2mm/a.

**Key words:** Xiaojiang River Fault belt; GPS; reference datum of gravity center; crustal movement characteristics; segmental differences