文章编号: 1009-3850(2006)02-0021-04

## 云南小江断裂中南段现今活动特征

### 唐文清, 刘宇平, 陈智梁, 张清志, 赵济湘

(成都地质矿产研究所,四川 成都 610082)

摘要: 小江断裂为川滇地块、华南地块的边界断裂,是一条重要活动断裂。本文利用GPS 监测结果,综合处理得到了欧亚框架下的运动速度场,并以此为基础,采用刚性假设下最小二乘法,对小江断裂中南各段的运动速度进行计算。计算结果表明: 断裂中段东支断裂运动速度为3.37±3.20mm/a,西支断裂为3.29±2.73mm/a;断裂南段为3.63±1.76mm/a。整个断裂表现为左行走滑为主兼有挤压活动的特征。这一结果与大的构造环境一致,表明在印度板块与青藏高原的挤压碰撞下,高原东部川滇地块受华南地块、印支地块的阻挡作用,小江断裂产生逆时针移动,呈左行走滑特征。

 关键
 词: 小江断裂; GPS; 运动速度; 云南

 中图分类号: P546
 文献标识码: A

青藏高原东南边缘是印度板块和欧亚大陆汇聚 而产生的主要变形区之一[1~4]。 印度板块持续向北 挤压作用,使得青藏高原东南边缘的地壳物质向东 南移动,其川滇地块因此向东南滑动及顺时针旋转, 由于遇到东部及南部稳定华南地块、印支地块的阻 挡,滑动及旋转运动两个构造变形在滇中地区叠加 一起,并不断发生冲断、逆掩,造成地壳的隆升和水 平缩短,导致了小江左旋走滑断裂带的形成50。地 震活动和地质证据均表明小江断裂所在地区的变形 是以向南的走滑运动和旋转为特征。因此,开展小 江断裂的构造变形研究,对探讨青藏高原的构造演 化和陆内变形具有重要的意义。同时,小江断裂作 为一条大型活动断裂和强震发生带,是我国南北地 震带的一个重要组成部分,其带上地震频繁,历史上 发生多次大地震[6~9]。因而,分析小江断裂现今活 动性特征,对研究该区地震活动性研究也具有现实 意义。

笔者利用高精度 GPS 监测结果得到的现今地 壳水平运动速度场,通过刚性地块假设下的最小二 乘法拟合,结合该地区的地质构造特征,对小江断裂中南段现今活动大小及性质进行了分析。

## 1 小江断裂地质特征

小江断裂空间分布总体呈南北展布,自北通过 巧家,沿金沙江、小江河谷延伸,向南抵达建水、个旧 附近(图 1)。在东川以南开始分为近于平行的东、 西两条分支断裂,近平行延伸,然后在其南端呈帚状 撒开。沿走向,小江断裂分成北、中、南三段:东川以 北为北段,为单一断层;中段为东川至通海、华宁,分 为东、西两支;华宁至红河断裂为南段。

小江断裂北段所在的区域。是以拉张或张剪性破裂为主的现代活动构造环境<sup>[10]</sup>。该区处于次一级的构造部位,地壳运动在此相应地向南东急转为向南,走滑运动因而分解成向南的走滑分量和 NW-SE 向的挤压分量,导致冲断作用的发生。在小江断裂北端,由于断裂端部的分叉结构的影响,形成了形成了巧家等一系列小震密集区。

小江断裂中段系强震和中强震多发地带[11]。

收稿日期: 2006-02-16

第一作者简介: 唐文清, 1966 年生, 副研究员, 主要从事构造及 GPS 等方面的研究。

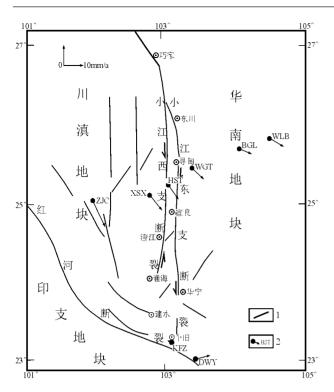


图 1 研究区构造及GPS 测站速度矢量略图 1. 断裂; 2 测站及运动方向

Fig. 1 Sketch of the tectonics and GPS monitoring stations in the study area

1= fault; 2= GPS monitoring stations and their direction of movement

该段自东川开始,向南分裂为东、西两条走滑断裂。西支断裂由多条次级剪切断层组成,分别被几个较大的拉分盆地分开,东支断裂可进一步分为许多次级小段。整体上,小江断裂中段是一条复杂的网状断裂带。两分支断裂间发育多条北东和北北东向断裂。这些小断层和由断裂围限的梭形、菱形和条形断块组成了小江断裂中段具有特色的网状结构<sup>12,13</sup>。东西支断裂之间所夹持的梭形断块,北部为几个北东向断裂分割的菱形断块;南部为由北北东向断裂分割的长条形断块。

小江断裂南段则与北西走向的曲江断裂、异龙湖断裂和红河断裂相互交汇,构成一特殊而复杂的构造格局一楔形断块构造,控制了该区断裂的新活动性和地震活动[14]。

地质研究也表明,小江断裂经过多期构造运动,由于受到近北西向的挤压作用,中更新世以来小江断裂一直是以左旋走滑运动为主的活动断裂,除在断裂北段部分地段表现出张性外,近期活动主要表现为左旋走滑为主的压扭性<sup>[5, 6]</sup>。小江断裂作为川滇地块与华南地块边界断裂,水平和垂直运动位移

量呈现南强北弱的格局[15]。

#### 2 GPS 监测与数据处理

为了对小江断裂活动性进行研究,根据其地质构造特征,本文选用了小江断裂剖面的 WLB(盘县)、BGL(富源)、WGT(马龙)、HST(嵩明)、ZJC(禄丰)测站,滇中测网的 XSX(昆明)、KFZ(个旧)测站以及红河断裂剖面的 DWY(屏边)测站。利用TRIMbLE4000SS 系列 GPS 双频接收机对测站进行多期监测。其中小江断裂剖面测站进行了两期监测(2002, 2004); 滇中测网测站进行了 5 期监测(1993, 1995, 1997, 2002, 2004); 红河断裂监测网进行了两期监测(1999, 2003)。

GPS 观测资料数据处理采用美国麻省理工学院 GAMIT/GLOBK 软件(Version 10.00),首先利用 GAMIT 进行单日解算,得到测站坐标的松弛解,再接合精密星历和全球站数据,用GLOBK 在无基准松弛约束条件下进行多时段综合解算和网平差,最终获得测站的运动速度。在数据处理过程中,为了更好地研究该区的构造变形,结合实际情况,采用欧亚框架作为研究参考框架,于是得到欧亚框架下的测站运动速度(表 1),运动速度精度为1~2mm,可信度为95%。

表 1 欧亚框架下小江断裂 GPS 测站运动速度场 Table 1 GPS velocity field of the monitoring stations within the Xiaojiang fault in the Eurasian reference framework

测站	测站位置(°)		东向分量(mm/a)		北向分量(mm/a)	
	经度	纬度	测算值	不定度	测算值	不定度
WLB1	104. 65	25. 82	7. 14	2. 51	<b>-4.</b> 18	2.11
BGL1	104. 23	25. 70	6. 20	2. 43	- 2 <b>.</b> 51	2.09
WGT1	103. 54	25. 48	6. 03	2. 62	- 5. 45	2.12
HST1	103. 11	25. 26	5. 17	2. 47	<b>−7.</b> 16	2.13
XSX1	103. 02	25. 17	6. 22	0. 87	<i>−</i> 7. 49	0.79
ZJC1	102. 08	25. 10	6. 36	2. 84	- 13.00	2.28
DWY1	103. 71	23. 02	7. 19	1.89	1. 84	1.50
KFZ2	103. 15	23. 29	-0.93	0.69	0. 31	0.63

## 3 小江断裂活动性计算

青藏高原东南缘是由构造活动强烈的断裂、地块组成的复杂区域。 地壳的运动主要在地块间进行,而地块内部的运动并不明显。 而 GPS 监测能提供准确的地壳运动结果,因而可以利用 GPS 监测结果进行地质块体间的活动断裂的研究。

在计算小江断裂活动性时,将断裂两侧地质块体视为刚性体,以地质块体内测站的重心速度代表该地质块体的整体运动速度。具体作法:利用计算所得的欧亚框架下 GPS 测量结果,首先根据地块内的测站运动速度矢量,分别用最小二乘法得出地块各自重心的东、北方向的速度矢量;然后根据所得的东、北方向的速度矢量分量,求得整个地块的运动速度和方向。再根据地块活动性强弱的实际情况,将活动性弱地块作为参考点(假设其静止不动),进而得到地块间的相对运动速度,既为断裂的活动速度(表 2)。

表 2 小江断裂各段测站及运动速度
Table 2 GPS monitoring stations and their velocities in individual parts of the Xia ojiang fault

构造位置	采用测站	5	整体速度及方向 (相对西侧)(mm/a)		
	东侧	西侧	V	方向	
东支 中段	WLB、BGL、WGT	HST	3. 37±3. 20	N23°E	
	BG L、WGT	HST	3. 32±3. 19	N17°E	
	WGT	HST	1.91±3.27	N27°E	
西支 中段	HST	XSX \ZJC	3. 29±2. 73	N20° W	
	HST	XSX	1. 10±2. 39	N73° W	
东支 南段	DWY	KFC	3. 63±1. 76	N3°E	

计算时采用了8个GPS 监测站,主要涉及到小江断裂中段和南段。在断裂中段有6个测站,基本上为一条观测剖面,断裂南段仅有两个测站。由于数量相对较少,分布又不均匀,绝大多数 GPS 测站处于小江断裂中段,得到的结果也仅能反映断裂部分地段的现今活动情况,一定程度上影响到对断层整体研究。然而,由于中段及南段是小江断裂最重要、最能体现运动特征的地段,因而对其的研究仍然具有特别的意义。

小江断裂中段分为东、西两支断裂、GPS 观测剖面横穿两断裂。东、西支断裂间有一个 HST 观测站,为研究两支断裂在中段活动提供了条件。在计算过程中,考虑到断裂两侧其他活动断裂的影响,为了探讨断裂带具体的活动情况,对于东支断裂西侧采用 HST 测站,而东侧 WGT、BGL、WLB 三测站则分别采用 3 种计算组合形式;西支断裂东侧采用 HST 测站,西侧 XSX、ZJC 测站采用两种计算组合形式(表 2)。在小江断裂南段,则东侧采用 DWY 站,西侧采用KFC站。计算采用欧亚框架下测站运动速

度,根据上述刚性假设下最小二乘法原理,分别求出各断裂两侧测站之间的相对运动速度,便得到各断层的现今运动速度。由于西侧相对于东侧构造相对简单,活动性也较弱,故选择西侧作为参考。

#### 4 初步结论

根据上述小江断裂计算结果,对于小江断裂中 段的东支断裂,两侧不同测站组合得到不同的结果, 断裂活动性不甚明显,范围1~4mm/a。其中东侧采 用3个及2个测站与采用1个测站相差较大,参考 断裂其他活动段的计算结果,采用 WLB、BGL、WGT 测站组合更能体现其活动特征。因此,小江断裂中 段东支断裂的运动速度不大,运动速度为3.37± 3.20mm/a。对于小汀断裂中段的西支断裂,其结果 与东支断裂情形相似,西侧采用两个测站的断裂运 动速度为3mm/a左右,而采用一个测站的断裂运动 速度仅为1mm/a左右。本文采用 XSX、ZIC 测站组 合, 其断裂运动速度为3.29±2.73mm/a。 对于小江 断裂南段,根据计算结果,其断裂运动速度为3.63± 1.76mm/a。因此初步可以得出结论: 小江断裂中段 东、西支断裂及断裂南段活动不大, 断裂运动速度为 3mm/a左右。

对小江断裂的活动性研究得出许多结果,如地质研究表明小江断裂断层活动速率为7~8mm/a<sup>[16]</sup>、8~12 mm/a<sup>[17]</sup>、13mm/a<sup>[18]</sup>,而地震资料计算结果为4~16mm/a<sup>[11]</sup>。这一结果与本文的结果有一定差异,这主要与小江断裂的范围有关。传统地质方法得到的结果包括了断裂东、西两支断裂的活动量,如果将两支断裂运动速度加在一起,其结果也基本一致。

对小江断裂的活动性质而言,东支断裂,无论是中段还是南段,东侧相对于西侧呈北东向运动,分解在近南北向断层上为走滑为主,兼有拉伸性质,断层为左行走滑断裂,而西支断裂东侧相对于西侧呈南西向运动,分解在断层上为表现出与东支断裂相同的活动特征及断裂性质。这一结果得到地质、地震研究的证实。

由此可见,印度板块与青藏高原的挤压碰撞,东部川滇地块受华南地块、印支地块的阻挡,作为东部边界的小江断裂带产生逆时针移动,表现为左行走滑断层,这一特征与该区大的构造环境一致。

#### 参考文献:

- ENGLAND P C, MOLNAR P. Right-lateral shear and rotation as the explanation for strik-slip faulting in east Tibet [ J]. Nature, 1990, 344: 140—142.
- [2] MOLNAR P, APPONNIER T P. Cenozoic teconics of Asia: effects of a continental collision [ J] . Sciences, 1975, 98, 419—426.
- [3] 阚荣举, 王绍晋, 黄山昆 等. 中国西南地区现代构造应力场与板内断块相对运动[J]. 地震地质, 1983, 5(2); 79—89.
- [4] 孙鸿烈,郑度,等.青藏高原形成演化与发展[M].广州:广东科 技出版社,1998
- [5] 王二七, B C Burchfiel, R H Rogden, 等. 滇中小江走滑剪切带晚新生代挤压变形研究[J]. 地质科学, 1995, 30(3); 209—219.
- [6] 曹忠权,宋方敏,汪一鹏,等. 小江断裂带中北段的新活动特征 [A]. 国家地震局地质研究所. 活动断裂研究(4)[C]. 北京: 地震出版社. 1995.
- [7] 程万正, 杨永林. 川滇地块边界构造带形变速率变化与成组强震[J]. 大地测量与地球动力学, 2002, 22(4): 21-25.
- [8] 何宏林,方仲景,李坪.小江断裂带西支断裂南段新活动初探 [J].地震研究,1993,16(3):291-298.

- [9] 李坪, 等. 鲜水河-小江断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1993. 201
- [10] 彭万里,周瑞琦.依据三角测量资料分析云南小江断裂北段的应力场 』].地球物理学报,1978,21(4);320—324.
- [11] 程万正, 刁桂苓, 吕弋培 等. 川滇地块的震源力学机制、运动速率和活动方式[J]. 地震地质, 2003, 25(1): 71—87.
- [12] 沈军, 汪一鹏, 宋方敏, 等. 小江断裂带中段的北东向断裂与断块结构 』, 地震地质, 1997, 19(3): 203—210.
- [13] 宋方敏, 汪一鹏, 曹忠权 等. 小江西支断裂中段活动断裂的组合特点及活动演化[A]. 国家地震局地质研究所. 活动断裂研究(2)[C]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [14] 俞维贤, 刘玉权, 何蔚. 云南小江断裂带现今地壳形变特征与地震[1]. 地震地质 1997, 19(1):17-21.
- [15] 闻学泽. 小江断裂带的破裂分段与地震潜势概率估计[J]. 地震学报. 1993, 15(3); 323-330.
- [16] 唐荣昌 韩渭宾, 等. 四川活动断裂与地震[M]. 北京: 地震出版社, 1993; 67—138.
- [17] 朱成男. 小江断裂带全新世速率测定与地震危险性评价[A]. 史前地震与第四纪地质文集[C]. 西安: 陕西科学出版社, 1982.
- [18] 申旭辉, 汪一鹏, 宋方敏, 等. 小江断裂带西支中段的走滑运动 [A]. 国家地震局地质研究所. 活动断裂研究 2[C]. 北京. 地震出版社, 1993. 41-54.

# Modern activity in the southern and central parts of the Xiaojiang fault in Yunnan

TANG Wen-qing, LIU Yu-ping, CHEN Zhi-liang, ZHANG Qing-zhi, ZHAO Ji-xiang (Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

**Abstract:** The Xiaojiang fault as the boundary fault is considered as an important active fault between the Sichuan-Yunnan and South China blocks. The GPS velocities for the southern and central parts of the Xiaojiang fault are calculated by means of the method of least squares on the basis of GPS velocities in the Eurasian reference framework at  $3.37 \pm 3.20 \text{ mm/a}$  for the eastern branch and  $3.29 \pm 2.73 \text{ mm/a}$  for the western branch in the middle part of the fault, and  $3.63 \pm 1.76 \text{ mm/a}$  for the southern part of the fault. These data coincide with those from the tectonic settings of the study area. Influenced by the collision and compression of the Qinghai-Xizang Plateau and obstruction of the Sichuan-Yunnan blocks by the South China and Indian blocks, a counterclockwise rotation of the Xiaojiang fault caused the left-lateral strike-slip faulting of the fault.

**Key words:** Xiaojiang fault; GPS; velocity; Yunnan