

DOI:10.13203/j.whugis20150416



文章编号:1671-8860(2017)12-1765-08

# 川滇地区近期地壳变形动态特征研究

朱爽<sup>1</sup> 杨国华<sup>1</sup> 刘辛中<sup>1</sup> 党学会<sup>1</sup>

1 中国地震局第一监测中心,天津,300180

**摘要:**基于 1999 年以来的 GPS 观测数据,重点分析了川滇地区近期的变形特征,计算给出了该区域主要断裂带的滑动速率,并结合 GPS 剖面初步识别了断裂带所处的孕震阶段。结果表明,红河断裂带始终处于弱形变区域,值得进一步关注;汶川地震后,由于研究区域应力场的调整和应变的重新分配,使得安宁河断裂带的活动变化较小,逐步趋缓,走滑分量存在明显趋缓现象,并且安宁河断裂带的闭锁深度在一定程度上有所增加;小江断裂带的走滑分量存在明显趋缓现象,显示存在强闭锁现象,小江断裂带平行于断层方向 GPS 速度剖面显示断裂带两侧变形平缓且变形范围较大;昭通、莲峰断裂的挤压和剪切变形积累均存在弱化现象,可能预示该区域挤压应变积累背景较高。

**关键词:**川滇地区;断裂带;速度场;应变率;滑动速率;GPS 剖面

**中图法分类号:**P228.42; P223

**文献标志码:**A

以 GPS 为代表的空间观测技术的发展为地壳变形研究提供了高精度、大尺度和统一参考框架的地表位移数据,为研究地球动力学问题提供了数据支撑。由于 GPS 速度场可以清晰展现地壳变形空间分布特征,因而被广泛应用于地学研究中<sup>[1,2]</sup>。川滇地区地处青藏高原东缘,一直是地学研究的热点区域。乔学军等将川滇地区分为 9 个次级活动块体,计算了各个活动块体的欧拉旋转矢量和主要活动断裂的运动速度,并分析了该地区的应变场特征<sup>[3]</sup>。丁开华等分别利用刚体运动模型、块体运动和形变模型反演了川滇地区内各活动块体的现今地壳运动和变形参数,并进一步对上述两种模型进行了辨识<sup>[4]</sup>。魏文薪等利用块体刚体旋转模型、块体整体旋转与均匀应变模型及块体整体旋转与线性应变模型求得各断裂带的平均滑动速率,并给出了川滇地区断裂带的近场滑动速率<sup>[5]</sup>。赵静等采用 DEFNODE 负位错反演程序估算了大凉山次级块体周边断层在汶川地震前后的断层闭锁程度和滑动亏损空间分布动态变化特征<sup>[6]</sup>。方颖等利用最小二乘配置、主成分分析、非线性回归等方法分析了川滇地区的地壳变形特征<sup>[7]</sup>。上述研究大多从单个方面分析川滇地区的形变特征,以及部分断裂带的单期滑动速率,本文在总结前人研究成果的基础上,通过

两期 GPS 形变场分析、两期断裂带滑动速率分析、两期 GPS 剖面分析等 3 个方面,综合多种变形结果对川滇地区的地壳变形特征开展针对性研究。

川滇地区作为我国强震密集带和地震断层交织带<sup>[8]</sup>,地震强度大、频度高。这些大地震的发生,对川滇菱形块体的运动产生深远影响,块体边界及内部多条断裂带的活动特征也将有所调整,值得进一步关注。本文利用 1999 年以来的 GPS 观测数据,经过统一处理并扣除研究区域典型强震影响,获取了稳定、可靠的 GPS 时间序列及速度场结果。在此基础上,对川滇地区近期的变形特征进行了速度场分析和应变率分析,并利用块体模型分析了安宁河、则木河、大凉山、莲峰、昭通鲁甸、小江、丽江小金河、程海、红河断裂带的滑动速率,也分析了典型断裂带的 GPS 剖面,获取了川滇地区地壳变形的动态运动特征,进一步解释汶川、芦山等地震后川滇菱形块体的运动情况。

## 1 GPS 变形场分析

### 1.1 数据解算

首先,利用 GAMIT/GLOBK 软件进行解算,得到测站坐标及卫星轨道的单日松弛解<sup>[9]</sup>。然

收稿日期:2016-03-02

项目资助:地震行业专项(201508010);科技部科技基础性工作专项(2015FY210400);地震科技星火计划(XH15061Y)。

第一作者:朱爽,硕士,主要从事 GNSS 数据分析及地球动力学研究。44ksks@163.com

后,利用 QOCA 软件对上述多个单日松弛解进行整体平差,选取分布于全球的 47 个 GPS 测站作为框架点,经过平差计算得到 ITRF2005 框架下的速度场。其中,1999~2007 年速度场结果用到了 1999、2001、2004、2007 年等 4 期陆态网观测资料(每期约有 1 000 测站,每个测站每期观测 4 d 以上);2009~2013 年速度场结果用到了 2009、2011、2013 年观测资料。在解算过程中,为了减小 2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震的影响,先利用 GPS 连续观测数据计算得到了该地震引起的同震位移,在求解速度场时扣除了上述同震影响。

## 1.2 变形场分析

根据求解得到的 ITRF2005 下的中国大陆速度场结果,利用块体旋转得到了基于中国大陆整体区域无旋转基准下的速度场。图 1 给出了研究区域的两期速度场结果,其中,黑色为 1999~2007 年结果,红色为 2009~2013 年结果。图 1 中 4 个矩形为文中分析所用的 4 个剖面分布图。从图 1 中可以看出,两期的速度场整体方向一致,受到印藏碰撞引起的北北东向推挤和高原隆升引起的重力势能作用,造成青藏高原物质东向挤出,遇到来自稳定华南块体的阻挡后,使得川滇地区围绕喜马拉雅东构造作顺时针转动<sup>[10]</sup>,北部以东南向为主,南部由东南向逐渐转为南向,研究区域西南部出现部分测站以西南向运动为主;两期的速率变化有序,在数值大小上略有不同,相比 1999~2007 年速度场结果,新一期的速度场在东北区域的东向运动有所增强,该结果与蒋锋云等的研究结果具有一致性<sup>[11]</sup>。

由于川滇地区 GPS 测点分布较密,相对于中国大陆的整体结果,局部区域的应变率分布具有更高的分辨率<sup>[12,13]</sup>。本文利用最小二乘配置球面应变率计算方法计算研究区域的应变率场<sup>[14]</sup>。图 2 给出了川滇地区东西向 GPS 应变率场演化结果,图 2(a)、2(b)中等值线及颜色填充为东西向应变率结果,箭头矢量为最大主应变率结果;图 2(c)、2(d)中等值线及颜色填充为最大剪应变率结果,箭头矢量为最大主应变率结果。结果显示川滇交界东部的安宁河-则木河-小江断裂带北段的东向西挤压变形明显增强,分别表明汶川地震后川滇菱形地块北部偏东地区的东向运动有所增强,有利于该区构造应力积累。另外,主应变率结果显示红河断裂带中段处于弱变形区。

考虑到川滇地区的断层以剪切运动为主,图 2 给出了最大剪应变率结果。结果显示,川滇地

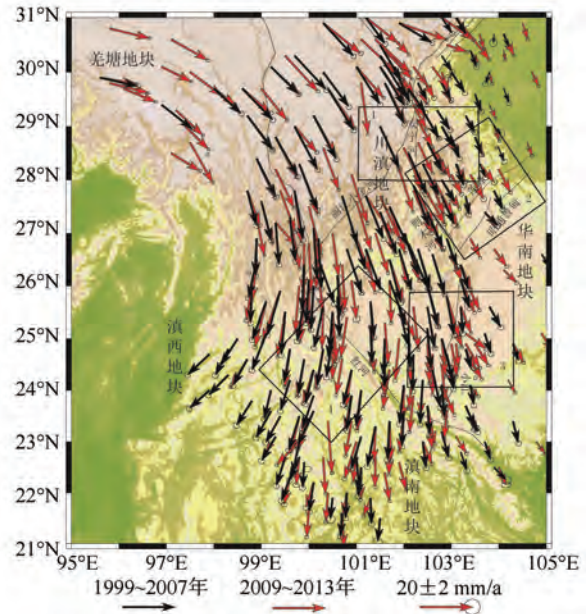


图 1 川滇地区速度场结果

Fig.1 Velocity Field in Sichuan-Yunnan Region

区的剪切变形存在弱化现象,表现为 2009~2013 年相对于 1999~2007 年最大剪应变高值区分布宽度有所减小。上述应变率结果表明汶川、玉树地震后川滇块体北部东向运动有所加强,导致剪切变形减缓。

## 2 主要断裂带滑动速率分析

为了定量分析研究区域主要断裂带滑动速率结果,基于图 1 结果进行分析<sup>[15]</sup>。具体处理流程为:①根据研究区域断裂带的分布,将断裂带两侧划分为两个块体;②依据每个块体内 GPS 速度结果计算块体欧拉参数;③利用这些参数计算块体边界(断层)上指定点的速度值,并求取速度差;④通过投影计算得到平行于(垂直于)断层的速度结果,得到断裂带滑动速率。利用块体内部采样点的原始值与利用参数得到的估计值相减得到所用刚体模型的误差,平均误差为  $\pm 0.22$  mm/a。表 1 给出了利用块体模型得到的断层滑动计算结果。从量值角度,安宁河断裂的左旋走滑速率为  $(4.49 \pm 0.32)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup>,与周荣军等<sup>[16]</sup>  $(4.7-5.3)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup>,徐锡伟等<sup>[17]</sup>  $(6.5 \pm 0.32)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup>,Shen 等<sup>[18]</sup>  $(4 \pm 2)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup> 和王阎昭等<sup>[10]</sup>  $(5.1 \pm 2.5)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup> 结果基本一致;则木河断裂带左旋走滑速率为  $(3.73 \pm 1.65)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup>,与王阎昭等<sup>[10]</sup>  $(2.8 \pm 2.3)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup> 结果相比较,比徐锡伟等<sup>[17]</sup>  $(6.4 \pm 0.6)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup>,Shen 等<sup>[18]</sup>  $(7 \pm 2)$  mm  $\cdot$  a<sup>-1</sup> 结果偏小。大凉山断裂的左旋走滑速率

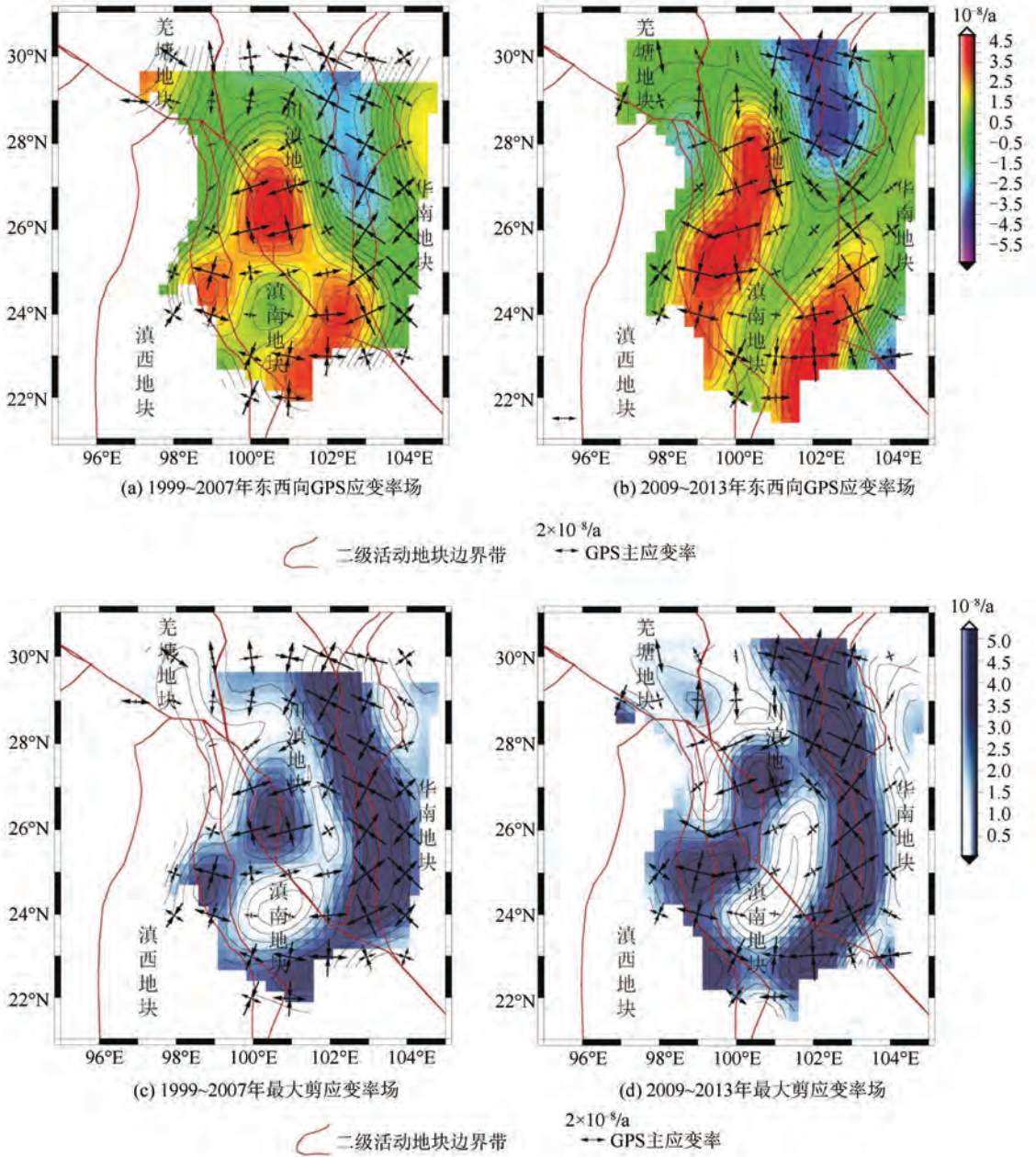


图 2 GPS 应变率场结果

Fig.2 GPS Strain Rate Tiled

与徐锡伟<sup>[17]</sup>  $(3.3 \pm 0.7) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  的结果基本一致。丽江小金河主要以左旋走滑与挤压运动为主,与 Shen 等<sup>[18]</sup> 得出的  $3 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  的左旋走滑速率相当,徐锡伟<sup>[17]</sup> 也给出了  $(3.8 \pm 0.7) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  的左旋走滑速率和  $(0.6 \pm 0.1) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  的挤压速率。丽江小金河北段的走滑速率相比南段较小,这与王阎昭等<sup>[10]</sup> 的结果相一致。红河断裂的运动相对川滇地块其他断裂来说,活动性不强,这与王阎昭等<sup>[10]</sup> 的结论相一致。它的右旋走滑速率只有  $(0.38 \pm 0.9) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , 挤压速率稍大,为  $(1.92 \pm 0.85) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , 这与前人研究结果也基本一致<sup>[18]</sup>。本文将小江断裂带分为 3 段进行反

演,从结果可以看出,从南向北左旋走滑速率逐渐增大,在中南段已达到  $(7 \pm 0.9) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , 这与 Shen 等<sup>[18]</sup> 所得结果  $(7 \pm 2) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  相近,但与王阎昭等<sup>[10]</sup> 所得结果  $(9.4 \pm 1.2) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  相比较小,可能是断裂范围选取的原因造成的。闻学泽等<sup>[19]</sup> 的研究中表明北东向昭通莲峰断裂表现为右旋走滑兼逆冲,或者以逆冲为主要错动方式,这与本文计算结果相符合,右旋走滑速率为  $(3.85 \pm 0.1) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , 挤压速率为  $(2.58 \pm 0.1) \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。图 3 给出了断层两侧的运动状态(刚体模型计算结果),其中,ANF 为安宁河断裂带,ZMF 为则木河断裂带,DLF 为大凉山断裂带,XJF 为小

江断裂带, LJ-XJF 为丽江-小金河断裂带, HHF 为红河断裂带, CHF 为程海断裂带, LFF 为莲峰断裂, ZLF 为昭通鲁甸断裂, 图 3(a) 是 1999~2007 年结果, 图 3(b) 是 2009~2013 年结果。

根据表 1 和图 3 的断层滑动速率动态结果可以看出, 东北向昭通鲁甸、莲峰断裂位于川滇地块与华南地块之间的边界带上, 以右旋运动为主; 安

宁河-则木河-小江断裂带是川滇次级块体的东边界, 川滇块体内部的断裂带多以左旋运动为主。红河断裂带中段始终处于弱变形区, 这与前文中的主应变率结果相对应; 安宁河断裂带活动逐步趋缓, 走滑分量存在明显趋缓现象; 昭通鲁甸、莲峰断裂的挤压和右旋剪切变形速率均逐渐减小; 小江断裂带南段走滑速率减缓。

表 1 主要断裂带滑动结果/(mm·a<sup>-1</sup>)

Tab.1 Slip Rate of Principle Faults/(mm·a<sup>-1</sup>)

断裂带	1999~2007 年(左旋为正, 拉张为正)		2009~2013 年(左旋为正, 拉张为正)	
	走滑速率	拉张/挤压速率	走滑速率	拉张/挤压速率
安宁河断裂	4.49±0.32	-0.14±0.37	2.33±0.77	-0.41±0.85
则木河断裂	3.73±1.65	0.74±1.44	2.33±0.58	2.33±0.61
大凉山断裂	2.91±0.54	-2.26±0.55	3.83±0.87	-1.97±0.85
丽江小金河断裂南段	5.96±0.8	-1.11±0.81	3.62±0.86	-1.98±0.86
丽江小金河断裂北段	1.83±0.67	-5.90±0.63	-0.34±0.96	-3.45±0.95
程海断裂	2.41±0.72	4.63±0.67	0.87±2.1	4.2±2.28
红河断裂	-0.38±0.9	1.92±0.85	-0.44±1.1	2.72±1.05
小江断裂北段	3.25±0.1	2.05±0.1	4.14±0.83	2.51±0.69
小江断裂中段	7.16±0.76	0.72±0.67	4.99±0.87	2.84±0.75
小江断裂南段	6.72±0.94	1.68±0.86	4.5±0.66	2.79±0.74
昭通鲁甸断裂	-6.22±0.1	-5.89±0.1	-2.22±0.99	-4.57±0.99
莲峰断裂	-3.85±0.1	-2.58±0.1	-2.9±0.66	-4.58±0.66

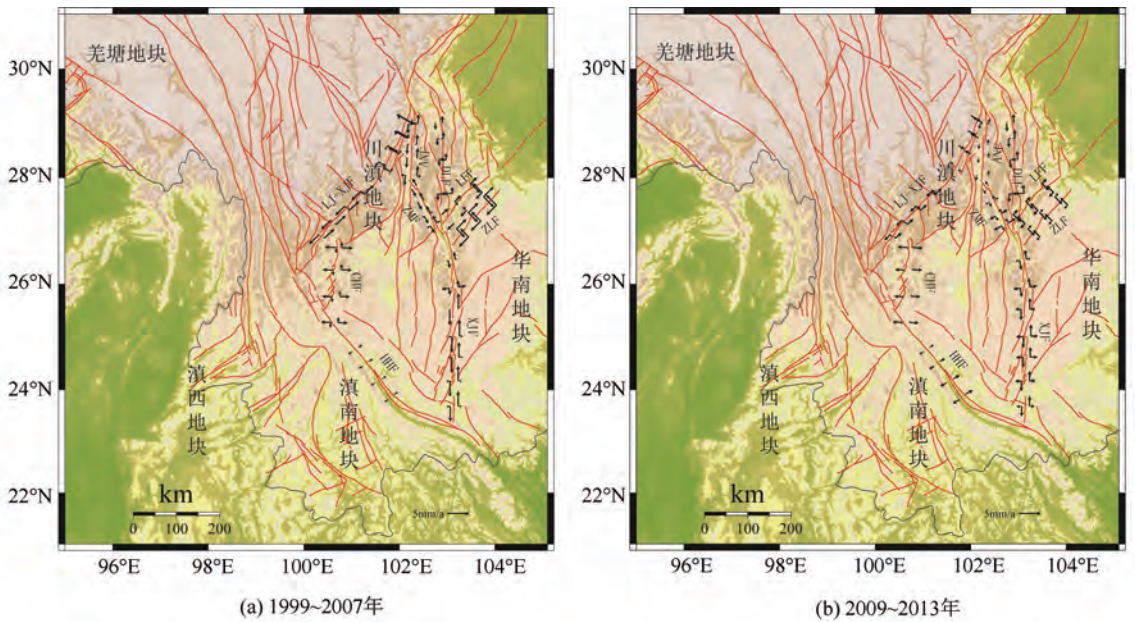


图 3 川滇地区断层滑动速率结果

Fig.3 Slip Rate of Faults in Sichuan-Yunnan Region

### 3 GPS 剖面分析

前文关于断层滑动速率的计算为模型值, 为了从真实数据角度分析重点断裂带的变形分布情

况, 图 4 给出了安宁河断裂带、昭通鲁甸断裂带、小江断裂带、红河断裂带等剖面投影结果(数据分布范围见图 1), 其中, 蓝色是 1999~2007 年结果, 红色是 2009~2013 年结果。

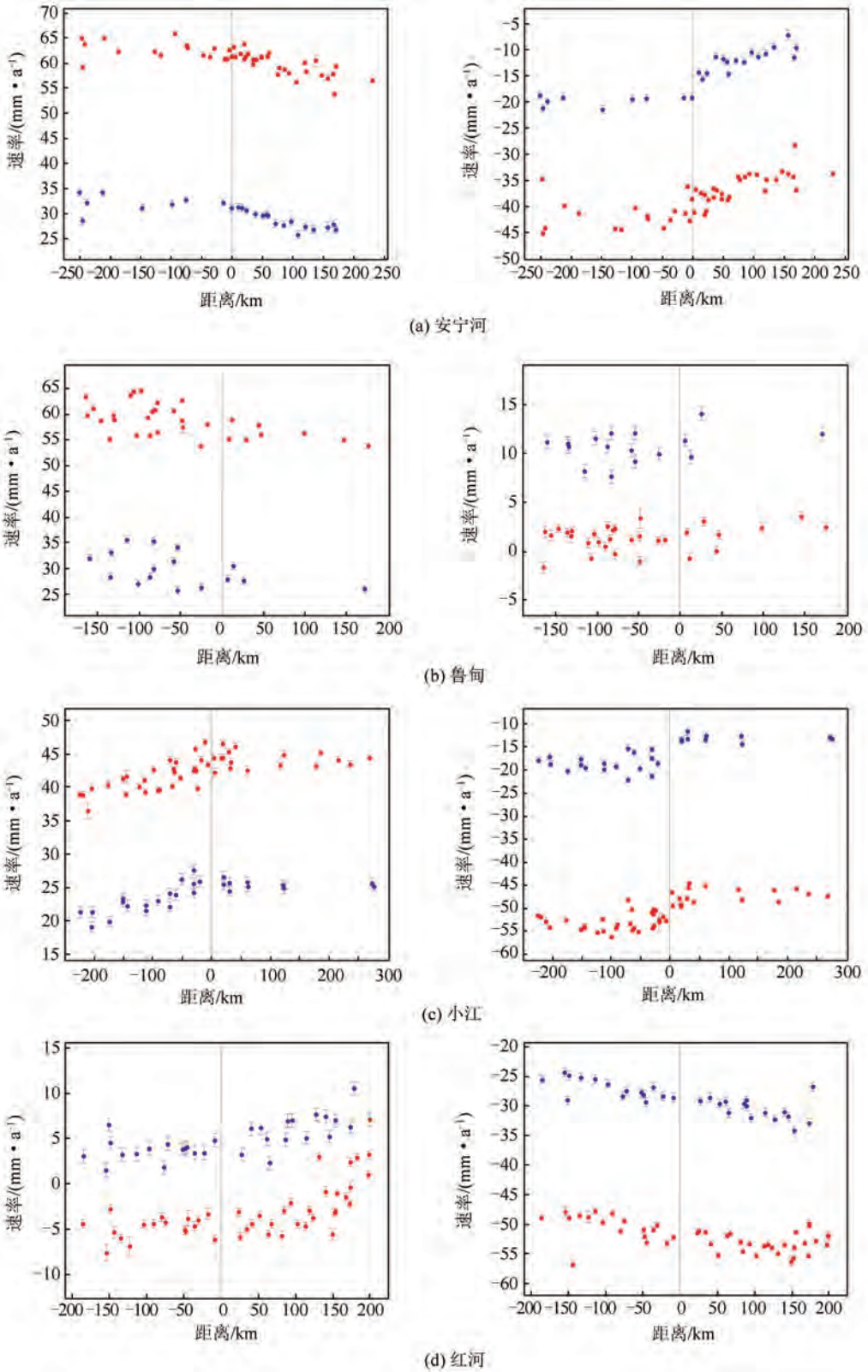


图 4 4 个主要断裂带 GPS 剖面结果  
 Fig.4 GPS Profile Results of 4 Faults

安宁河、小江、红河断裂带属于以走滑为主的断裂带,需关注其平行于断层方向的结果。由图 4 可以看出,安宁河断裂带两侧的滑动速率相差较小,结合 Meade 和 Hager 的孕震理论,断层两

侧的变形平缓且变形范围较大,安宁河断裂可能处于孕震的晚期;小江断裂带平行于断层方向的 GPS 速度剖面结果显示出同样的趋势,说明该段可能处于孕震中晚期;昭通鲁甸断裂带挤压和右

旋剪切变形有逐渐减缓的趋势,但变化不大。

对于以上有明显变化的两个断裂带,本文利用反正切位错模型求解闭锁深度,结果如图5所示,其中,蓝色为速率值,红色为拟合曲线。计算得出,安宁河断裂带在1999~2007年表现为震间

应变积累阶段,2009~2013年闭锁深度值相对于1999~2007年较大。小江断裂带也显示出同样的变化,2009~2013年闭锁深度值较1999~2007年有所增加,这说明断层活动闭锁度有所提高,值得进一步关注。

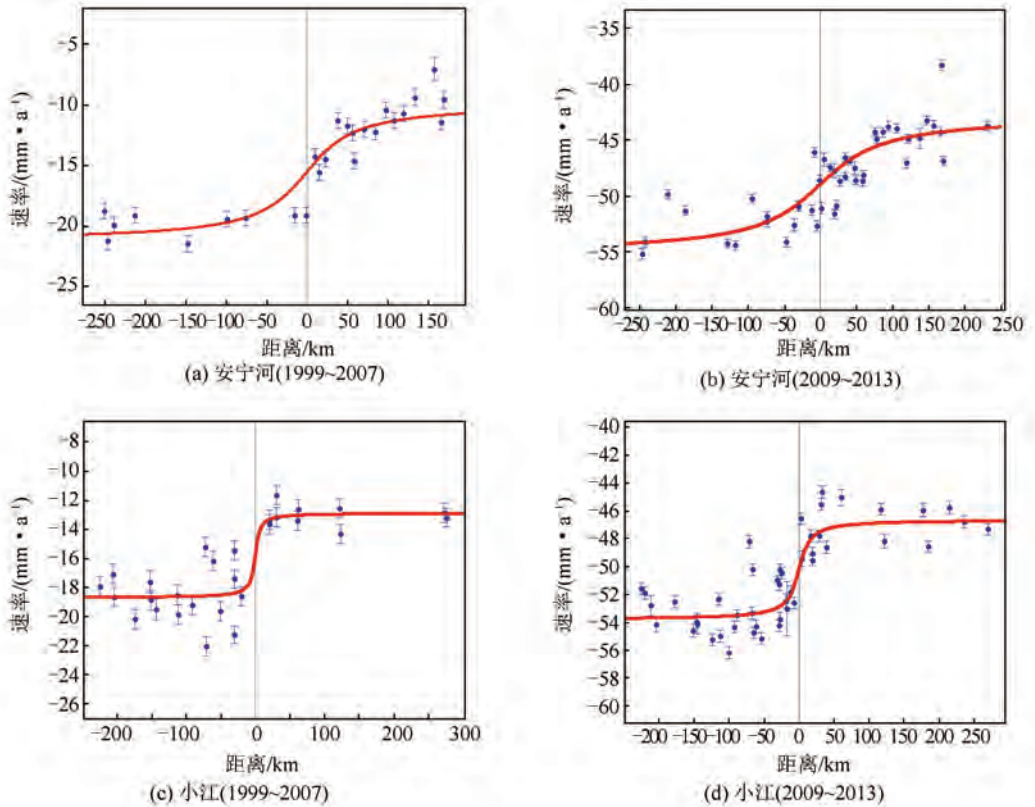


图5 安宁河、小江断裂带剖面反正切位错模型分析

Fig.5 The Arctangent Dislocation Model Analyze of Anninghe Fault and Xiaojiang Fault Profiles

## 4 结 语

本文采用了两种方法进行断裂带两侧运动差异的描述,分别为块体模型方法和GPS剖面方法,两者都能反映具有一定变形宽度的断层应变积累特征,用于描述块体相对运动的不一致性。其中,块体模型方法采用欧拉模型计算断裂带两侧块体的运动参数,利用求解的参数计算断层上指定点的速度差;GPS剖面方法直接将断裂两侧的速度进行平行和垂直于断层方向的投影。块体模型侧重于滑动速率的获得,GPS剖面侧重于断裂带两侧运动的差异描述。从上文结果可以看出,两种方法得到的结论相一致,具体如下。

1) 青藏高原物质向东运移,当物质运动至川滇地区时,受到相对刚性的华南地块的阻挡,造成了川滇菱形块体东缘的鲜水河、安宁河、则木河、小江断裂的强烈活动,这些断裂带多以为左旋走

滑运动为主,同时使得物质流的运动方向发生顺时针的偏转,由南东向过渡到南向。

2) 汶川地震后,龙门山断裂带吸收了一部分应力,使得安宁河断裂带的活动变化较小,逐步趋缓,走滑分量存在明显趋缓现象,并且安宁河断裂带的闭锁深度在一定程度上有所增加,发生地震的危险性较大。

3) 随着物质的南下,小江断裂带南段走滑速率减缓,闭锁深度增加;小江断裂带平行于断层方向GPS速度剖面显示断裂带两侧变形平缓且变形范围较大。

4) 鲁甸地震以后,昭通、莲峰断裂带的应变释放不显著,挤压和右旋剪切变形速率均逐渐减小,可能预示该区挤压应变积累背景较高。

5) 红河断裂带中段为最大剪应变率低值区,而红河西北段和东南段的剪切变形均较高,值得进一步关注。

致谢 感谢中国地震局第一监测中心武艳强

博士在计算过程中给予的无私帮助和指导。

## 参 考 文 献

- [1] Bayer R, Chery J, Tatar M, et al. Active Deformation in Zagros-Makran Transition Zone inferred from GPS Measurements [J]. *Geophys J Int*, 2006, 165: 373-381
- [2] Wu Y Q, Jiang Z S, Wang M, et al. Preliminary Results of the Co-seismic Displacement and Pre-seismic Strain Accumulation of the Lushan Ms7.0 Earthquake Reflected by the GPS Surveying [J]. *Chin Sci Bull*, 2013, 58, doi: 10.1007/s11434-013-5998-5
- [3] Qiao Xuejun, Wang Qi, Du Ruilin. Characteristics of Current Crustal Deformation of Active Blocks in the Sichuan-Yunnan Region [J]. *Chinese J. Geophys (in Chinese)*, 2004, 47(5): 805-811 (乔学军, 王琪, 杜瑞林. 川滇地区活动地块现今地壳形变特征 [J]. 地球物理学报, 2004, 47(5): 805-811)
- [4] Ding Kaihua, Xu Caijun, Zou Rong, et al. Crustal Movement and Strain Model of Active Blocks Analyzed by GPS in Sichuan-Yunnan Region [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(7): 822-827 (丁开华, 许才军, 邹蓉, 等. 利用 GPS 分析川滇地区活动地块运动与应变模型 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(7): 822-827)
- [5] Wei Wenxin, Jiang Zaisen, Wu Yanqiang, et al. Motion Characteristics of Major Faults in East Boundary of Sichuan-Yunnan Block Obtained with GPS Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(9): 1 041-1 044 (魏文薪, 江在森, 武艳强, 等. 利用 GPS 数据研究川滇地块体东边界主要断裂带运动特性 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(9): 1 041-1 044)
- [6] Zhao Jing, Liu Jie, Niu Anfu, et al. Study on Fault Locking Characteristic Around the Daliangshan Sub-Block [J]. *Seismology and Geology*, 2014, 36(4): 1 136-1 144 (赵静, 刘杰, 牛安福, 等. 大凉山次级块体周边断层的闭锁特征 [J]. 地震地质, 2014, 36(4): 1 136-1 144)
- [7] Fang Ying, Jiang Zaisen, Shao Zhigang, et al. Analysis on Crustal Deformation Characteristics in Sichuan-Yunnan Region with GPS Continuous Data [J]. *Journal of Seismological Research*, 2014, 37(2): 204-209 (方颖, 江在森, 邵志刚, 等. 利用 GPS 连续资料分析川滇地区的地壳变形特征 [J]. 地震研究, 2014, 37(2): 204-209)
- [8] Zhang Peizhen, Deng Qidong, Zhang Zhuqi, et al. Active Faults, Earthquake Hazards and Associated Geodynamic Processes in Continental China [J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2013, 43(10): 1 607-1 620 (张培震, 邓起东, 张竹琪. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程 [J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(10): 1 607-1 620)
- [9] Yang Bo, Zhang Fengshuang, Han Yueping. Non-Deviation Calculation and Filtering of Spherical Horizontal Strain Field [J]. *Journal of Seismological*, 2011, 34(1): 59-66 (杨博, 张风霜, 韩月萍. 球面水平应变场无偏差计算与滤波 [J]. 地震研究, 2011, 34(1): 59-66)
- [10] Wang Yanzhao, Wang Enning, Shen Zhengkang, et al. Inversion of Current Movement Velocity of Sichuan-Yunnan Main Rupture Constrained by GPS Data [J]. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 2008, 38(5): 582-597 (王阆昭, 王恩宁, 沈正康, 等. 基于 GPS 资料约束反演川滇地区主要断裂现今活动速率 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(5): 582-597)
- [11] Jiang Fengyun, Zhu Liangyu, Wang Shuangxu, et al. Research on the Characteristics of Crustal Block Movement in Sichuan-Yunnan Area [J]. *Journal of Seismological Research*, 2013, 36(3): 263-268 (蒋锋云, 朱良玉, 王双绪, 等. 川滇地区地壳块体运动特征研究 [J]. 地震研究, 2013, 36(3): 263-268)
- [12] Wu Y Q, Jiang Z S, Yang G H, et al. Comparison of GPS Strain Rate Computing Methods and Their Reliability [J]. *Geophys. J. Int.*, 2011, 185: 703-717
- [13] Wu Yanqiang, Jiang Zaisen, Yang Guohua, et al. The Application and Method of GPS Strain Calculation in Whole Mode Using Least Square Collocation in Sphere Surface [J]. *Chinese J. Geophys*, 2009, 52(7): 1 707-1 714 (武艳强, 江在森, 杨国华, 等. 利用最小二乘配置在球面上整体解算 GPS 应变场的方法及应用 [J]. 地球物理学报, 2009, 52(7): 1 707-1 714)
- [14] Wu Yanqiang. High Performance Computing and Distilling Crustal Deformation Information from GPS Data [D]. Beijing: Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, 2008 (武艳强. 高性能计算与 GPS 地壳形变信息提取 [D]. 北京: 中国地震局地震预测研究所, 2008)
- [15] Wu Yanqiang, Jiang Zaisen, Yang Guohua, et al. Deformation Characteristics of North Section of North-South Seismic Zone in Recent Period [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(9): 1 045-1 048 (武艳强, 江在森, 杨国华, 等. 南北地震带北段近期地壳变形特征研究 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(9): 1 045-1 048)
- [16] Zhou Rongjun, He Yulin, Yang Tao, et al. Slip

Rate and Strong Earthquake Rupture on the Moxi-Mianning Segment Along the Xianshuihe-Anninghe Fault Zone [J]. *Earthquake Research in China*, 2001, 17(3): 253-262(周荣军, 何玉林, 杨涛, 等. 鲜水河-安宁河断裂带磨西-冕宁段的滑动速率与强震位错[J]. *中国地震*, 2001, 17(3): 253-262)

- [17] Xu Xiwei, Wen Xueze, Zheng Rongzhang, et al. Pattern of Latest Tectonic Motion and its Dynamics for Active Blocks in Sichuan-Yunnan Region, China [J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 46 (Suppl.): 210-216 (徐锡伟, 闻学泽, 郑荣章, 等. 川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2003, 33(增刊): 210-

216)

- [18] Shen Z K, Lv J, Wang M, et al. Contemporary Crustal Deformation Around the Southeast Borderland of the Tibetan Plateau [J]. *J Geophys Res*, 2005, 110: B11409, doi:10.1029/2004JB003421
- [19] Wen Xueze, Du Fang, Yi Guixi, et al. Earthquake Potential of Zhaotong and Lianfeng Fault Zones of the Eastern Sichuan-Yunnan Border Region [J]. *Chinese J. Geophys*, 2013, 56(10): 3 361-3 372(闻学泽, 杜方, 易桂喜, 等. 川滇交界东段昭通、莲峰断裂带的地震危险背景[J]. *地球物理学报*, 2013, 56(10): 3 361-3 372

## The Deformation Characteristics of Sichuan-Yunnan Region in Recent Period

ZHU Shuang<sup>1</sup> YANG Guohua<sup>1</sup> LIU Xinzhong<sup>1</sup> DANG Xuehui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> First Crust Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China

**Abstract:** Based on the GPS observation data since 1999, recent deformation characteristics of Sichuan-yunnan region is analyzed, slip rates of main faults are calculated, meanwhile, GPS profiles are combined to analyze the periods of the earthquake generating. The results show that, East edge of Sichuan-Yunnan block; Xianshuihe fault, Anninghe fault, Zemuhe fault, Xiaojiang fault have intense activity, and the movement of the faults are given priority to left-lateral strike-slip. Honghe fault is still in the weak deformation area and the middle section of the Honghe fault zone is the maximum shear strain rate region, while the shear deformation in the northwest and southeast segment of the Honghe fault is higher, which deserves further attention. After Wenchuan earthquake, due to the adjustment of regional stress field and strain redistribution, the activity of the Anning river fault zone is relatively small, easing gradually, and the sliding component has the obvious tendency of slowing down, and the blocking depth of the Anning river fault zone has increased to a certain extent. With the south of the material, the speed of the south segment of the Xiaojiang fault is slowed down and the locking depth increases. GPS velocity profile in parallel to the fault direction of the Xiaojiang fault line shows that the deformation of the fault zone is smooth and the deformation scale is large, showing that there are strong blocking phenomenon. After the Ludian earthquake, the strain release of Zhaotong and Lianfeng fault zone was not significant, compression strain and shear deformation accumulation of Zhaotong-lianfeng is weakening, may indicate that the compressive strain accumulating background is higher.

**Key words:** Sichuan-Yunnan region; fault; velocity field; strain rate; slip rate; GPS velocity profile

**First author:** ZHU Shuang, master, specializes in GNSS data analysis and geodynamics research. E-mail: 44ksks@163.com

**Foundation support:** Earthquake Industry Research Projects, No. 201508010; Special Science and Technology Foundation of the Ministry of Science and Technology, No. 2015FY210400; Science for Earthquake Resilience, No. XH15061Y.