

基于 GPS 资料研究云南地区地壳形变动态特征^{*}

王 岩, 洪 敏^{*}, 邵德胜, 汪志民

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 基于 1999—2007 年和 2011—2013 年 2 期云南地区的 GPS 速度场资料, 结合最小二乘配置方法给出了 2 个时段应变参数和 GPS 速度剖面结果, 综合分析了汶川 8.0 级地震前后云南地区地壳变形动态演化特征。GPS 速度场动态演化结果表明: 整体上 GPS 速度场方向从川滇块体南部的南向逐渐转为滇南块体的南东向, 块体边界断裂带附近存在明显的相对运动特征。相比于 1999—2007 年, 点位更加密集的 2011—2013 年 GPS 速度场结果还反映了断裂带分段变形特征; 在滇南块体及周边地区, 南东向的运动有显著的增加。应变参数动态演化结果表明: 整体上呈现“中部拉张、两端挤压”的特点; 区域变形(剪切、拉张或挤压)的分布特征与区域主要断裂带的背景运动及变形特征密切相关; 相比于 1999—2007 年, 2011—2013 年的拉张变形区有所扩大, 并且有向东和向南扩展的趋势; 川滇块体东边界(小江断裂带)整体的挤压变形已经不再显著, 主要集中在小江断裂带北段靠北的区域。跨断裂带 GPS 速度剖面结果显示: 小江断裂带左旋滑动速率从北向南逐渐减小(由 10 mm/a 减至 5 mm/a), 北段变形宽度较宽; 红河断裂带右旋滑动速率约为 4 mm/a, 变形宽度较宽; 动态结果表明, 汶川地震对 2 条断裂带变形模式影响较小。

关键词: 最小二乘配置; GPS 速度场; 应变参数; GPS 速度剖面

中图分类号: P315.725

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2018)03-0368-07

0 引言

云南地区地处青藏高原东南缘地区, 是我国地震活动最为显著的地区之一, 该区域活动构造丰富且复杂(张俊昌等, 1980; 王义昭等, 1988; 李西, 2015), 这种特殊的构造环境也造就了该区域特殊的地壳变形特征。本区域位于南北地震南段, 多位研究学者针对南北地震带地区地壳变形的特征开展了大量研究(江在森等, 2001; 方颖等, 2008; 杨国华等, 2009; 丁开华等, 2013; 张希等, 2003; 武艳强等, 2012; 魏文薪等, 2012; 季灵运等, 2015), 另外, 也有学者针对云南地区的地壳变形特征开展了相关的研究(杨国华等, 2003; 洪敏等, 2014; 王伶俐等, 2015; 周海涛等, 2017), 但针对云南地区的地壳变形的动态演化特征研究还略显不足。2008 年汶川 8.0 级地震发生对云南地区地壳变形的影响如何, 该地震前后区域的变形是否有显著变化等问题值得进一步研究。因此, 本文基于 1999—2007 年和 2011—

2013 年云南地区的 GPS 速度场资料, 结合最小二乘配置方法给出 2 个时段应变参数结果和 GPS 速度剖面结果, 综合分析了汶川地震前后云南地区地壳变形动态演化特征。

1 GPS 资料概况及数据处理

我国从 20 世纪 80 年代末逐步开始 GPS 观测, 较大规模、高精度的 GPS 观测从“中国地壳运动观测网络”建设完成后开始, 该网络分布于中国大陆的 GPS 区域站约 1 000 个。在中国地壳运动观测网络基础上, 2007 年进行二期建设的“中国大陆构造环境监测网络”(简称陆态网络)把区域网点增加到 2 000 个。为研究云南地区地壳变形的动态演化特征, 本文主要利用中国地壳运动观测网络建成后的 GPS 复测资料进行研究, 这些资料包括: 中国地壳运动观测网络 GPS 区域网 1999, 2001, 2004, 2007 年复测资料, 中国大陆构造环境监测网络 GPS 区域网 2011, 2013 年复测资料。

^{*} 收稿日期: 2017-08-04.

基金项目: 李建城院士工作站(2015IC015)资助.

✉ 通讯作者: 洪敏(1982-), 高级工程师, 主要从事地壳形变监测与地震预测预报研究. E-mail: hmqr@qq.com.

GPS 区域网速度场精密解算工作与 GPS 时间序列解算类似,分2步进行。第一步为 GAMIT 解算,由于同步观测的测点较多,考虑到 GAMIT 单次解算的测点有限,一般采用分区解算方式,此步的主要产出为单日松弛解 hfile。第二步解算以单日松弛解 hfile 作为输入,融合中国大陆 GPS 连续站和 IGS 单日松弛解结果,采用 GLOBK 软件或 QOCA 软件 (Dong *et al*, 1998) 进行 GPS 速度解算。由于 GPS 速度解算至少需要 2 期 GPS 观测,因此统一 2 期 (多期) 解算结果的参考基准就显得尤为重要,此时参考框架点的选取原则与时间序列类似。另外一个需要关注的问题是同震位移的扣除,如果在地震后进行过 GPS 观测,则可以利用观测数据建立同震位移分布模型,对同震影响进行扣除。

基于上述处理原则,采用 GAMIT/GLOBK 软

件解算,得出了 1999—2007 年共 4 期和 2011—2013 年共 2 期云南地区 GPS 速度场结果。考虑到南北地震带中南部西侧为中国大陆最大的相对稳定的华南地块,在云南地区的 GPS 站实测速度中,扣除华南地块的欧拉刚体运动参数确定的理论值,获得该区域相对于华南地块的地壳运动速度图,既能够反映云南地区属于青藏地块区的强烈变形与稳定的华南地块的差异,也能够兼顾反映云南地区主要块体边界带的相对运动。笔者还针对制约多期 GPS 速度场动态演化特征分析的关键问题,利用改进拟准检定 (QUAD) 初选指标的方法,有效解决多期速度场的基准偏移对粗差剔除的影响,给出了相对华南基准的速度场结果 (邹镇宇等, 2015)。图 1 给出了由上述 GPS 观测资料解算获得的 1999—2007 年及 2011—2013 年云南地区相对于华南地块的 GPS 速度场结果。

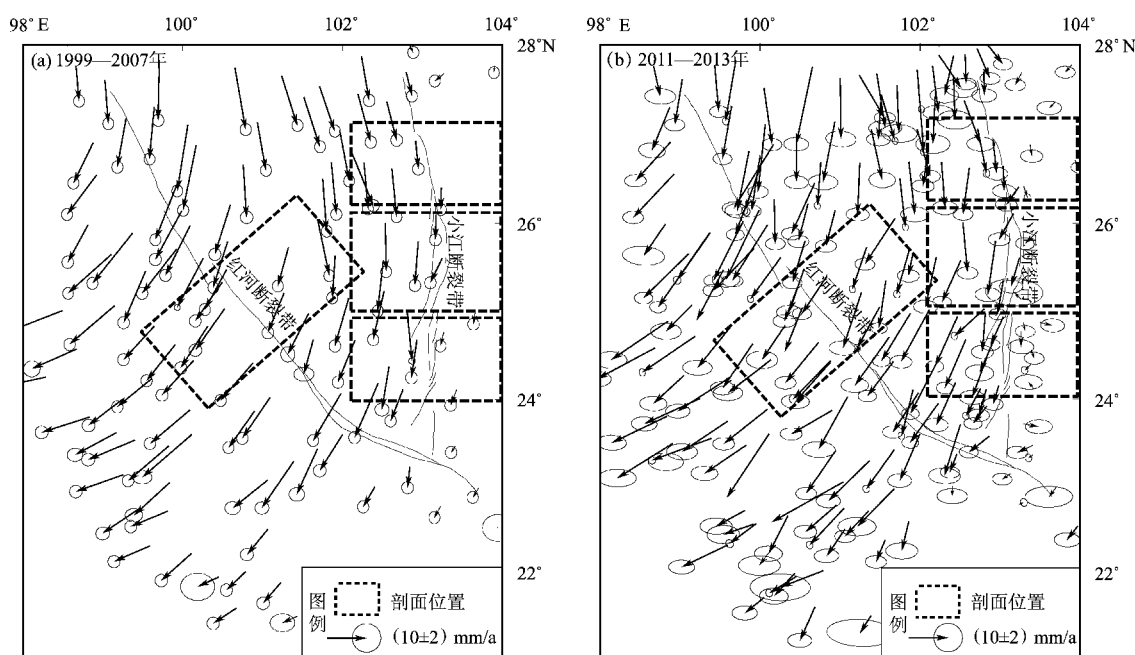


图 1 云南地区不同时段 GPS 速度场结果 (华南地块基准)

Fig. 1 GPS velocity fields of the Yunnan area at different periods (relative to the Huanan Block)

2 地壳相对运动及其动态变化特征

从云南地区总体地壳相对运动与变形特征来看 (图 1), 青藏高原东部物质向边缘流动受到边界较稳定块体的阻挡, 造成在接近垂直青藏地块边界带方向地壳缩短与沿地块边界带方向地壳伸展, 兼有扭动与剪切变形的特征。根据速度衰

减或方向改变, 大致为南东向或南向。作为本区域重要的块体边界带的小江断裂带 GPS 站速度矢量大小方向在空间上的不断变化, 显示有较强的相对运动与变形。这表明由于其特殊的构造环境及其东侧被稳定的地块阻挡, 其对青藏地块向东运动及物质东移的吸收十分显著。云南地区以近南北向地壳缩短变形、近东西向地壳伸展为主。在最南部南北向 800 km 以内最大缩短量约

8 mm/a, 而在最南端近东西向地壳伸张量为近 10 mm/a。该区地壳相对运动与变形以川滇地块向南挤出滑移最为显著, 且川滇地块中部运动速度最大。南部整体上呈现顺时针扭转运动。GPS 站速度从西到东及从北到南不断向南、南部偏转, 使站速度从近东西向运动偏转到川滇地块南侧地区为向南或南西运动。在南北地震带南部东边缘, 即川滇地块与华南地块边界带的 GPS 站速度在平行地块边界带的分量自西向东衰减显著, 表现为明显的左旋变形特征, 总体左旋扭动量约为 10 ~ 12 mm/a。

由图 1a 可见, 1999—2007 年 GPS 速度场特征主要体现在: (1) GPS 速度场方向从川滇块体南部南向逐渐转为在滇南块体的南西向, 反映出了绕喜马拉雅东构造结做顺时针旋转的变形特征; (2) 在川滇块体东边界的南段存在显著的左旋剪切运动, 滇西北地区存在显著的拉张变形; (3) 青藏高原物质东流, 受稳定的华南块体的阻挡, 使得云南地区形成现有的变形特征, 虽然区域的构造十分复杂, 但主要的块体边界断裂带的相对运动特征仍能在速度场中清晰的显示出来。由图 1b 可见, 2011—2013 年 GPS 点位的密度显著增加, 但是由于观测时间较短, 误差大于 1999—2007 年的结果; 速度场结果不仅反映了块体边界带的相对运动特征, 也可以反映断裂带分段变形

特征 (例如小江断裂带的北段和中段的左旋滑动速率显著的大于南段的滑动速率); 并且, 相比于 1999—2007 年速度场结果, 在滇南块体及周边地区, 2011—2013 年南东向的运动有显著的增加。

3 应变率场动态变化特征

虽然采用相对运动速度场可以较直观地反映地壳变形特征, 但就对地壳变形的定量描述方面来看, 应变场的分析更有优势。应变场各种参数能够全面表达变形的不同性质与强度, 从一般概念讲, 由于应变率是由观测点之间的相对运动来决定的, 它不依赖于参考基准。但目前应变计算有多种方法, 不同研究者采用不同的方法用相同来源的 GPS 资料所给出的应变场图像也有较明显差异 (石耀霖, 朱守彪, 2006)。Wu 等 (2011) 借助模拟实验数据对最小二乘配置应变场解算方法结果与三角单元法、多面函数拟合和球谐函数展开这几种应变场方法解算结果进行了比较分析, 根据其与理论值的逼近程度, 客观估计不同方法模型的优缺点及其抗差性与实用性。结果表明, 最小二乘方法最优。因此本文利用最小二乘配置球面应变率计算方法对研究区域的应变率场特征进行分析 (江在森, 刘经南, 2010)。

图 2 给出了 2 个时段的面应变率及最大主应变

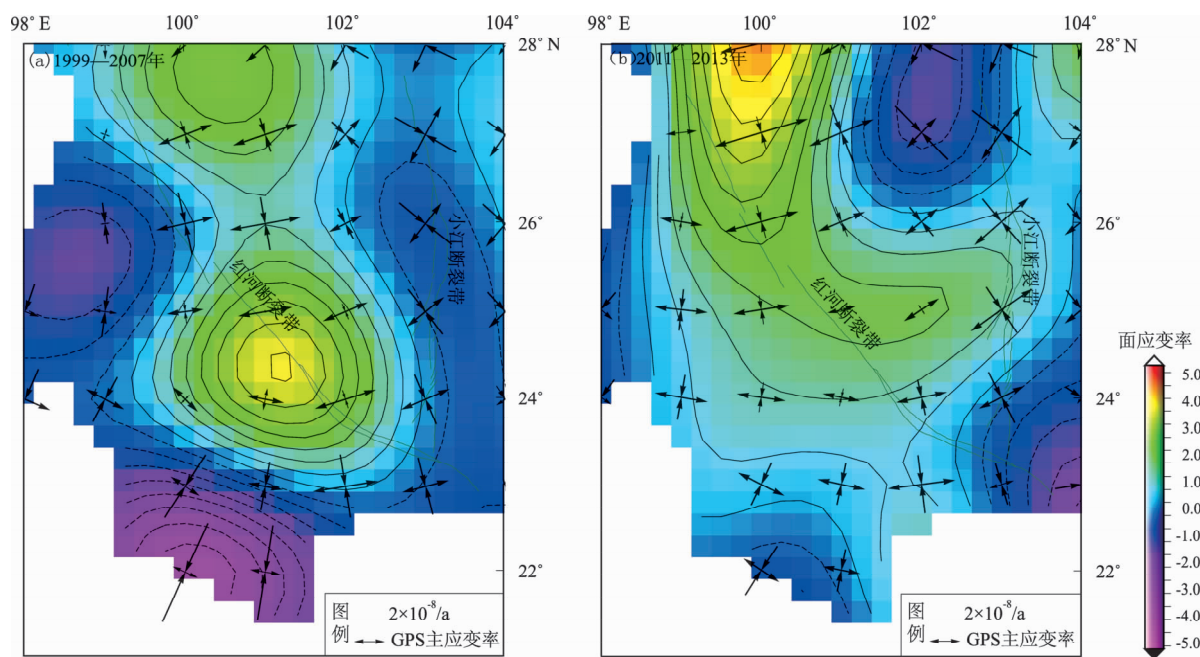


图 2 云南地区不同时段面应变率和主应变率结果

Fig. 2 Results of surface strain and main strain rates of the Yunnan area in different periods

率的分布图, 1999—2007 年的结果显示: (1) 拉张变形主要集中在红河断裂带、程海断裂带、丽江小金河断裂带南段等区域, 挤压变形主要集中在滇西及川滇块体东边界南段的区域, 并且整体上呈现“中部拉张、两端挤压”的变形特征; (2) 拉张变形的区域与地质结果给出的断裂带变形特征具有一致性 (刘光勋等, 1986; 黄小巾等, 2014), 挤压变形特征可能与此区域的动力源有关, 即青藏高原物质东流受到稳定的华南块体阻挡, 在川滇块体东边界南段 (小江断裂带) 形成

挤压区; (3) 在滇南的边界区域形成了挤压变形的高值区, 由于最小二乘配置方法在计算的过程中存在边界效应, 因此, 高挤压变形区可信度不高。2011—2013 年的结果一方面继承了上一期整体变形特征, 另一方面还存在着显著的差异性, 主要表现为: 拉张变形区有所扩大, 并且有向东和向南扩展的趋势; 在靠近则木河断裂带附近存在显著的挤压变形的高值区, 川滇块体东边界 (小江断裂带) 整体的挤压变形已经不再显著, 主要集中在小江断裂带北段靠北的区域。

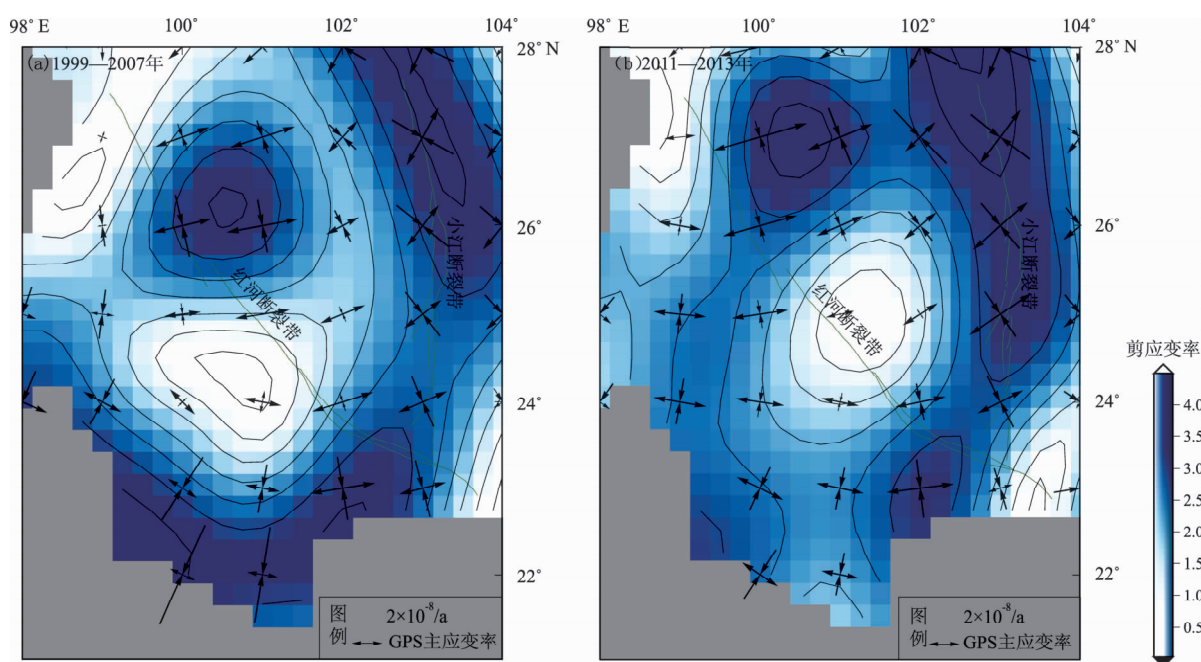


图3 云南地区不同时段最大剪应变率和主应变率结果

Fig. 3 Results of maximum shear strain and main strain rates of the Yunnan area in different periods

图3给出了最大剪应变率的结果, 1999—2007年的空间分布最显著的特征是应变率高值主要沿川滇地块东边界带南段 (小江断裂带) 分布。并且以程海断裂带为界, 形成了最大剪应变率的高值与低值的过渡区域, 可能预示着该区域剪切应力积累水平较高, 需关注该区域的强震危险性。另外, 区域剪切变形的分布特征与区域主要断裂带的背景运动及变形特征密切相关 (例如左旋走滑运动为主的小江断裂带处于最大剪应变率的高值区, 右旋走滑运动为主的红河断裂带处于最大剪应变率的低值区)。从2011—2013年的空间分布特征来看, 与上一时段的一致性较好, 这也表明了地壳变形随着时间的推移, 具有较好的继承性特征; 另外, 相比于上一时段, 程海断裂带附近

的最大剪应变的高值区有向北扩展的趋势; 与其同步的还有红河断裂带的最大剪应变的高值区也有向北扩展的趋势。

4 主要断裂带运动特性研究

由于最小二乘配置应变率计算方法基于连续变形假设, 因此其结果在识别具体断裂带的具体变形模式方面不具优势。GPS速度剖面图像可直观展现位移分布与断层的关系, 经常被应用于断层变形特征的分析中 (张培震等, 2005, 2008; Maurin *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2015)。因此, 本文以小江断裂带和红河断裂带为例分析断裂带运动变形的动态演化特征。

4.1 小江断裂带

小江断裂带北起巧家以北,南至建水东南,全长约 400 km,总体呈南北走向。根据其内部结构分成 3 段,分别为北段、中段和南段。在长期的活动过程中,曾经历压、张、扭不同力学性质的转化,晚第四纪以来,断裂以强烈左旋走滑为特征(宋方敏,汪一鹏,1998)。按照上述的

分段原则,以断裂带为中心,左右两侧分别圈定一定范围,利用该范围内的 GPS 实测速度场数据进行高斯投影,求得各 GPS 点的沿断裂带走向方向及垂直断裂带走向方向的速率;并按照走滑断层的震间变形模式对剖面进行拟合,最后给出了 2 个时间段平行断裂带 GPS 速度剖面和拟合结果,如图 4 所示。

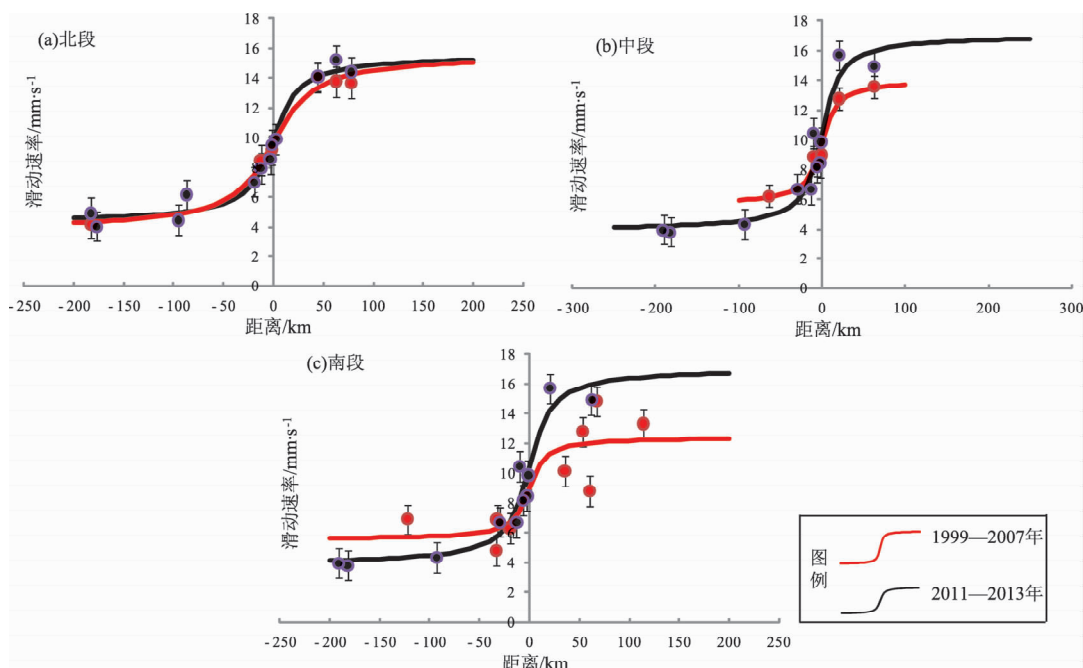


图 4 1999—2007 年和 2011—2013 年小江断裂带分段 GPS 速度剖面结果

Fig. 4 GPS velocity profiles in different section of the Xiaojiang Fault Zone from 1999 to 2007 and from 2011 to 2013

由图 4 可见:(1)小江断裂带北段 2 个时段的滑动速率变化不大,均为 10 mm/a,且表现为一定的应变积累的变形特征,变形宽度较宽;(2)小江断裂带中段:相比于 1999—2007 年,2011—2013 年的远场滑动速率有所增加(从 7 mm/a 增加到 10 mm/a),小江断裂带从中段开始分为 2 支,现有的 GPS 点位密度还不能识别出东西 2 支的变形特征,所得到的滑动速率结果应为 2 支滑动速率之和。虽然滑动速率有所增加,并且从剖面的形态来看仍然表现为一定的应变积累特征,但 2 个时段的变形宽度变化不大;相比于北段,中段的变形宽度较窄;(3)小江断裂带南段:相比于北段,该段的滑动速率有了明显的减少,约为 5 mm/a,这可能与曲江石屏断裂带吸收了部分变形有关,从 2 个时段的动态演化特征来看,变形宽度没有显著的变化,且变形宽度比小江断裂带北段窄。综合上述分析可以看出,小江断裂带以左旋走滑运

动为主,不同段落变形有着明显的差异,滑动速率也有所不同;根据走滑断层的震间期的变形模型推测小江断裂带的应变积累水平较高;另外,从各段落的动态演化特征来看,小江断裂带不同段落在不同时段变化并不明显,汶川地震同震及震后调整对此断裂带影响较小。

4.2 红河断裂带中段

根据红河断裂带几何结构特征,可以分为 3 个变形区,并且北西段和南东段存在多个次级断裂(向宏发等,2004),顾及到实际 GPS 点位分布特征,本文仅对红河断裂的中段进行 GPS 剖面分析。由于红河断裂带是以右旋走滑为主,因此,图 5 给出了平行断裂带的 GPS 速度剖面 and 拟合结果。

从 GPS 速度剖面及拟合结果可以看出,红河断裂带中段主要以右旋走滑运动为主,滑动速率约为 4 mm/a,2 个时段的滑动速率变化不大;从断裂带的变形形态来看,存在着一定的应变积累

特征,以现有的 GPS 点位做剖面拟合可以看出,2个时段的变形宽度变化不大,但变形宽度较宽,可能预示着该段落可能处于孕震晚期;从以上分析也可看出,汶川地震的发生对此断裂的变形影响较小。

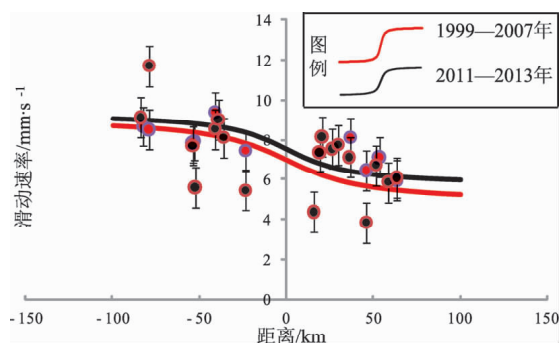


图5 1999—2007年和2011—2013年
红河断裂带中段GPS速度剖面

Fig. 5 GPS velocity profiles in middle section
of the Xiaojiang Fault Zone from 1999
to 2007 and from 2011 to 2013

5 讨论与结论

基于1999—2007年和2011—2013年的2期GPS速度场资料,并结合最小二乘配置方法给出的2个时段应变参数结果,综合分析了汶川地震前后云南地区地壳变形动态演化特征。获得了以下主要认识:

(1) 2个时段GPS速度场的动态结果表明:整体上GPS速度场方向从川滇块体南部南向逐渐转为在滇南块体的南西向,反映出了绕喜马拉雅东构造结做顺时针旋转的变形特征。块体边界断裂带附近存在明显的相对运动特征。2011—2013年点位的密度显著增加,速度场结果不仅反映了块体边界带的相对运动特征,也可以反映断裂带分段变形特征;相比于1999—2007年的GPS速度场结果,在滇南块体及周边地区,南东向的运动有显著的增加。

(2) 2个时段的应变率场动态结果表明,整体上“中部拉张、两端挤压”;区域变形(剪切、拉张或挤压)的分布特征与区域主要断裂带的背景运动及变形特征密切相关;相比于1999—2007年,2011—2013年给出的拉张变形区有所扩大,并且有向东和向南扩展的趋势;川滇块体东边界(小

江断裂带)整体的挤压变形已经不再显著,主要集中在小江断裂带北段靠北的区域;程海断裂带附近的最大剪应变的高值区有向北扩展的趋势;与其同步的还有红河断裂带的最大剪应变的低值区也有向北扩展的趋势。

(3) 跨断裂带GPS速度剖面结果显示:小江断裂带左旋滑动速率从北向南逐渐减小(由10 mm/a减至5 mm/a),北段变形宽度较宽;红河断裂带右旋滑动速率约为4 mm/a,变形宽度较宽;动态结果表明,汶川地震对2条断裂带变形模式影响较小。

GPS数据处理得到中国地震局第一监测中心武艳强研究员数据解算团队的技术支持,GPS的变形分析得到了中国地震局地震预测研究所魏文薪博士的有益讨论,在此一并表示感谢。

参考文献:

- 丁开华,许才军,邹蓉,等. 2013. 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),38(7):822-827.
- 方颖,江在森,顾国华. 2008. 昆仑山 $M_s 8.1$ 地震对川滇地区地壳运动影响分析[J]. 大地测量与地球动力学,28(4):25-30.
- 洪敏,张勇,邵德盛,等. 2014. 云南地区近期地壳活动特征[J]. 地震研究,37(3):367-372.
- 黄小巾,吴中海,李家存,等. 2014. 滇西北裂陷带的构造地貌特征与第四纪构造活动性[J]. 地质通报,33(4):578-593.
- 季灵运,刘立炜,郝明. 2015. 利用InSAR技术研究滇西南镇康—永德地区现今地壳形变特征[J]. 地震研究,38(1):84-89.
- 江在森,刘经南. 2010. 应用最小二乘配置建立地壳运动速度场与应变场的方法[J]. 地球物理学报,53(5):1109-1117.
- 江在森,张希,崔笃信,等. 2001. 青藏块体东北缘近期水平运动与变形[J]. 地球物理学报,44(5):636-644.
- 李西. 2015. 川滇地块云南地区不同发育阶段边界断裂破裂特征研究[D]. 北京:中国地震局地质研究所.
- 刘光勋,李方全,李桂荣. 1986. 我国滇西北地震活动区的活动构造与应力状态[J]. 地震地质,8(1):1-14.
- 石耀霖,朱守彪. 2006. 用GPS位移资料计算应变方法的讨论[J]. 大地测量与地球动力学,26(1):1-8.
- 宋方敏,汪一鹏. 1998. 中国活断层研究专辑——小江活动断裂带[M]. 北京:地震出版社,257.
- 王伶俐,邵德盛,施发奇. 2015. 基于GPS的云南地区活动地块现今运动及应变特征分析[J]. 地震地磁观测与研究,36(1):28-36.
- 王义昭,熊家铺,林尧明. 1988. 云南地质构造的若干特点[J]. 云南地质,7(2):3-9.
- 魏文薪,江在森,武艳强,等. 2012. 利用GPS数据研究川滇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),37(9):1041-1044.

- 武艳强,江在森,杨国华,等. 2012. 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),37(9):1045–1048.
- 向宏发,韩竹军,骠顺民,等. 2004. 红河断裂带大型右旋走滑运动与伴生构造地貌变形[J]. 地震地质,26(4):597–610.
- 杨国华,韩月萍,杨博. 2009. 川滇地区地壳水平运动与变形场的演化特征及其机制讨论[J]. 地震研究,32(3):275–282.
- 杨国华,王琪,王敏,等. 2003. 云南地区现今地壳水平运动与变形特征[J]. 大地测量与地球动力学,23(2):7–14.
- 张俊昌,姚孝执,吴伯黔. 1980. 云南主要构造体系与强震分布规律的初步分析[J]. 地震研究,3(1):47–57.
- 张培震,甘卫军,沈正康,等. 2005. 中国大陆现今构造作用的地块运动和连续变形耦合模型[J]. 地质学报,79(6):748–756.
- 张培震,徐锡伟,闻学泽,等. 2008. 2008 年汶川 8.0 级地震发震断裂的滑动速率、复发周期和构造成因[J]. 地球物理学报,51(4):1066–1073.
- 张希,江在森,王琪,等. 2003. 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,23(3):35–41.
- 邹镇宇,江在森,武艳强,等. 2015. 基于 GPS 速度场变化结果研究汶川地震前后南北地震带地壳运动动态特征[J]. 地球物理学报,58(5):1597–1609.
- 周海涛,陈兆辉,朱爽,等. 2017. 川滇地区部分连续 GPS 测点形变异常分析[J]. 地震研究,40(1):94–100.
- Dong D, Hering T A, King R W. 1998. Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data[J]. J Geophys Res,72(4):200–214.
- Maurin T, Masson F, Rangin C, et al. 2010. First global positioning system results in northern Myanmar: Constant and localized slip rate along the Sagaing fault[J]. Geology,38(7):591–594.
- Wu Y Q, Jiang Z S, Yang G H, et al. 2011. Comparison of GPS strain rate computing methods and their reliability[J]. Geophys J Int,185(2):703–717, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.04976.x.
- Wu Y Q, Jiang Z S, Zhao J, et al. 2015. Crustal Deformation before the 2008 Wenchuan M_s 8.0 Earthquake studied using GPS Data[J]. J Geodyn,(85):11–23, doi:10.1016/j.jog.2014.12.002.

Study on Dynamic Characteristics of Crustal Deformation in Yunnan Area using GPS

WANG Yan, HONG Min, SHAO Desheng, WANG Zhimin
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Based on the GPS velocity field data of 1999–2007 and 2011–2013, we used the least squares configuration method and GPS velocity profile results to synthetically analyze the dynamic evolution characteristics of crustal deformation in Yunnan area before and after the Wenchuan earthquake. The dynamic evolution of GPS velocity field shows that the direction is gradually changed from the south of the southern part of the Sichuan–Yunnan block to the south–west of the southern Yunnan block and there is a clear relative motion characteristic near the block boundary fault zone. Compared with the GPS velocity of 1999–2007, the results of 2011–2013 also reflect segmental deformation characteristics of the block boundary fault zone. South–east movement has a significant increase. This may be related to crustal deformation adjustment after the Wenchuan earthquake. The dynamic evolution of strain parameters shows that ‘middle tension, squeeze at both ends’ is in the whole area and the distribution of deformation (shear, tension or extrusion) is closely related to the background motion and deformation characteristics of the main fault zone. Compared with results during the period of 1999–2007, the tensile zone in 2011–2013 has been expanded in the eastward and southward direction. The extrusion deformation of the eastern boundary (Xiaojiang fault zone) of the Sichuan–Yunnan block is no longer significant, mainly concentrated in the northern section of the Xiaojiang fault zone, which may be related to the post–seismic deformation adjustment of the Wenchuan earthquake. The GPS velocity profile results show that the left–lateral slip velocity of the Xiaojiang fault zone reduced gradually from north to south (from 10 mm/a to 5 mm/a), and the width of the northern section is wider. The right–hand slip rate of the Honghe fault zone is about 4 mm/a, and the deformation width is wider. The dynamic results show that the Wenchuan earthquake has little effect on the deformation modes of the two fault zones.

Keywords: least squares configuration; GPS velocity field; strain parameter; GPS velocity profile