

川滇地区部分连续 GPS 测点形变异常分析*

周海涛, 陈兆辉, 朱爽, 周伟, 沈小七

(中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

摘要: 通过对川滇地区连续 GPS 测点进行分析, 发现在宁南地区存在一定的形变异常, 而跨断层水准资料也显示有同样的异常。安宁河断裂、则木河断裂周边连续 GPS 测点运动速率相对于小江断裂北段有一定的差异。综合分析宁南地区及其周边地区的跨断层水准测线、连续 GPS 测点运动差异、历史地震活动性、 b 值、重力场变化特征等资料, 认为在宁南及其周边地区可能存在一定的应力积累, 在则木河断裂与小江断裂交汇部位及其南部可能存在一定的应力积累。

关键词: 连续 GPS 测点; 跨断层水准; 地震活动性; 川滇地区

中图分类号: P315.727

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)01-0094-06

0 前言

川滇地块位于青藏高原的东南缘, 东邻稳定的华南块体, 西部受到印度板块与欧亚板块对接碰撞且持续向北推挤引起的青藏高原物质向东侧逃逸作用的影响, 构造背景十分复杂。该地块是由甘孜—玉树断裂带、鲜水河断裂带、安宁河断裂带、则木河断裂带、小江断裂带、红河断裂带、龙蟠—乔后断裂带和金沙江断裂带等围限的不封闭菱形地块; 川滇地区 GPS 观测台站和跨断层测线分布比较密集, 历史大震资料丰富, 活动断裂定量研究程度较高, 有利于分析对比研究。以往的研究利用不同资料, 从不同的角度和尺度对川滇块体及其周边区域震源特征、构造应力特征、地壳运动特征、地震活动性等问题开展了一系列研究和讨论(唐红涛等, 2013; 罗钧等, 2014; 贾鹏等, 2012; 王虎等, 2014; 张效亮等, 2010; 付虹等, 2015; 宋成科等, 2015; 余大新等, 2014)。

GPS 连续站资料能提供连续的测点位移情况, 可以直观地展现区域内地壳运动状态, 进而为区域地震地质研究工作提供支撑和依据。本文在分析川滇地块 GPS 连续站资料的基础上, 找出相对异常测点进行分析, 并结合其他资料分析其应力积累情况。

1 GPS 连续站 SCNN 测点异常情况

GPS 连续站 SCNN 测点位于四川省宁南县内, 将其与位于攀枝花市的 GPS 连续站 SCPZ 测点组成一条基线, 该基线跨过安宁河断裂(图1)。

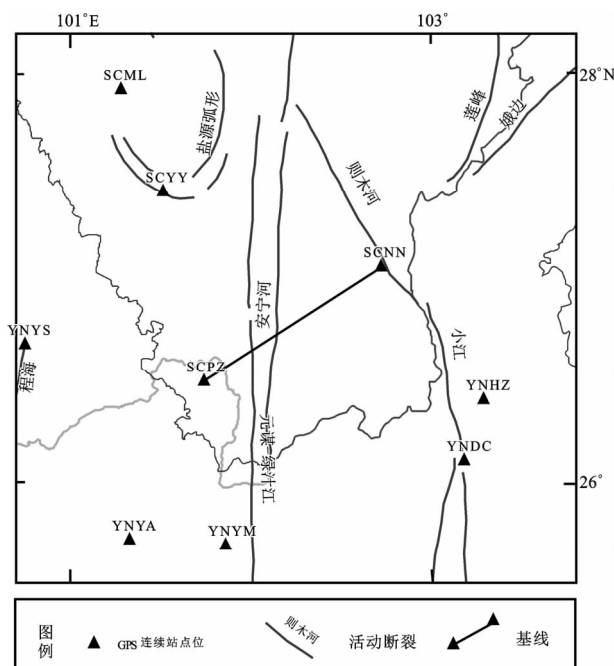


图1 川滇地区部分连续 GPS 测点分布图
Fig. 1 Distribution map of some continuous GPS sites in Sichuan - Yunnan region

* 收稿日期: 2015-12-31.

基金项目: 科技基础性工作专项(2015FY210400)和中国地震局地震研究所所长基金(1S201366007)联合资助.

连接该基线的 2 个 GPS 连续站位于基岩场地之上, 稳定性相对更好 (夏峰等, 2014)。从图 2 可以看出, 2015 年 2~3 月该基线出现了相对较大的形变异常, 先是大幅伸长, 然后转为大幅缩短, 经分析认为, 其原因是 SCNN 测点的异常运动引起了基线的异常 (图 3)。从图 3 中可以看出, SCNN 测点在 2015 年 6 月之后南向运动显著加速, 而东向运动明显减速, 出现了明显的转折异常。

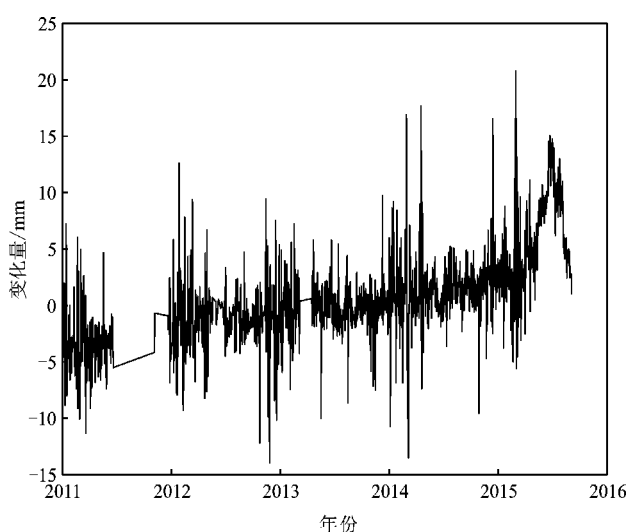


图 2 SCPZ-SCNN 基线时间序列

Fig. 2 The time series of SCPZ-SCNN baseline

四川省地震局相关技术人员对 SCNN 测点进行实地考察, 在测点及其周边未发现环境影响或其它干扰因素, 可能是构造运动造成了 SCNN 测点的异常变化。

为了更加清晰地了解 SCPZ-SCNN 基线的异常变化, 将 SCPZ 和 SCNN 测点的时间序列进行对比 (图 4), 图 4 显示 2015 年初至 2015 年 6 月

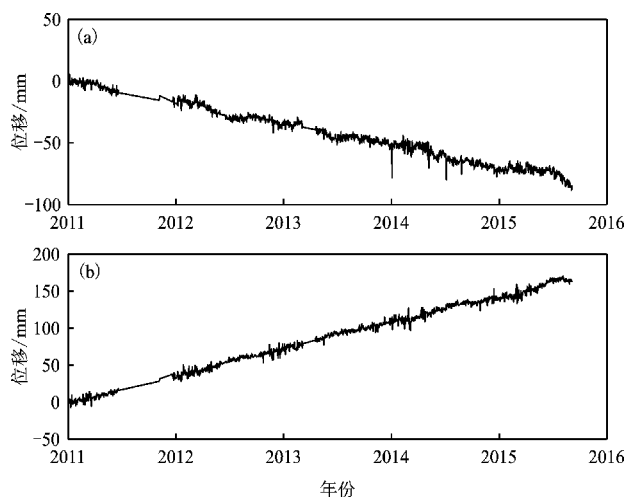


图 3 SCNN 测点北向 (a)、东向 (b) 运动时间序列

Fig. 3 The displacement time series of SCNN site for the north component (a) and the east component (b)

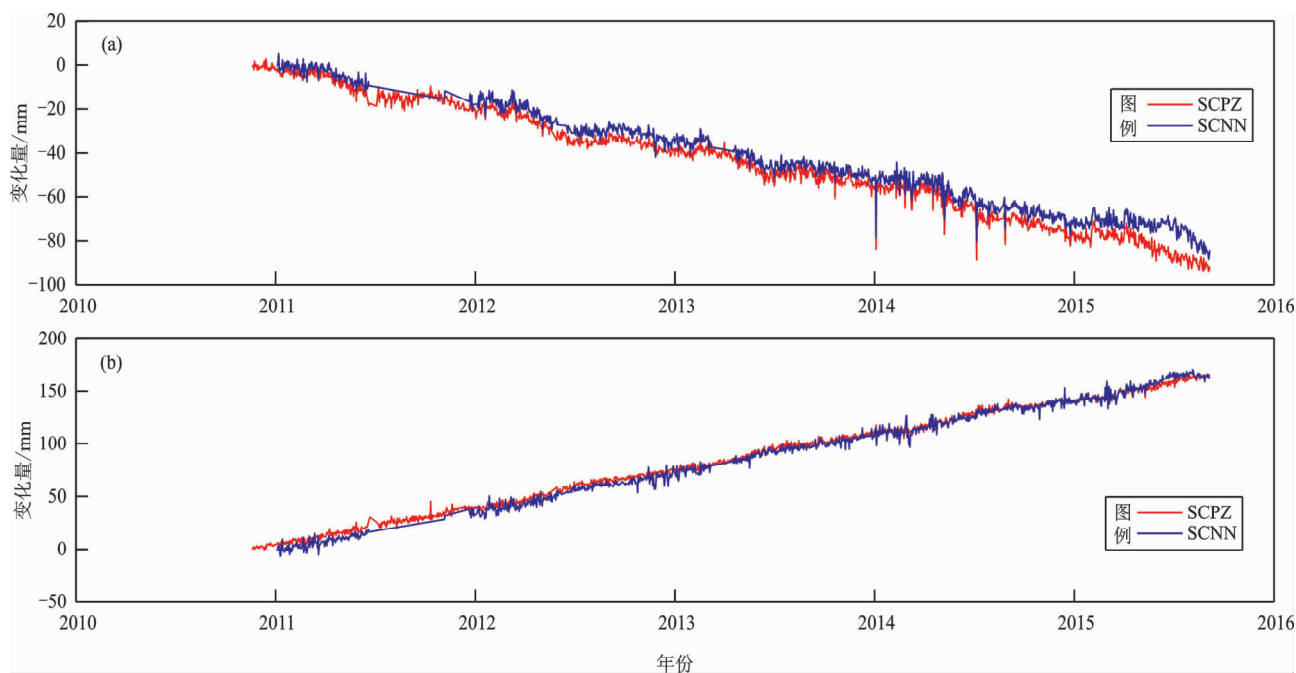


图 4 SCPZ 与 SCNN 测点北向 (a)、东向 (b) 运动时间序列对比图

Fig. 4 The displacement time series comparison chart of SCPZ and SCNN sites for the north component (a) and the east component (b)

SCNN 测点的南向运动几乎停止, 导致基线的快速伸长, 而 2015 年 6 月之后, 该测点的快速南向运动又导致基线的快速缩短。分析认为其原因可能是川滇块体在顺时针旋转过程中, 在宁南地区受到阻碍, 但在宁南地区所在的则木河断裂南段又不容易积累能量, 突破阻碍后, 宁南地区 SCNN 测点快速向南运动。

2 新汤家坪跨断层测线异常情况

在 SCNN 测点东部约 4 km 处有一条新汤家坪跨断层测线, 采用光学水准仪进行观测 (郭宝震

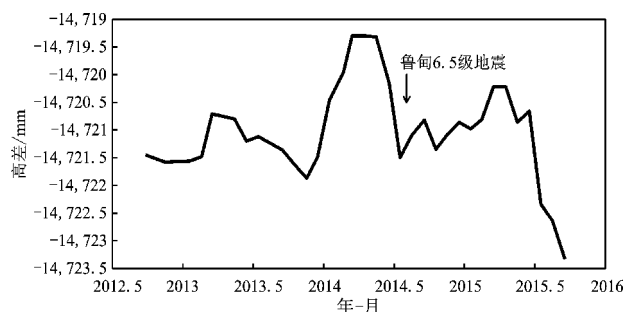


图 5 新汤家坪跨断层水准测线 B - C 变化曲线
Fig. 5 The curve of New Tangjiaping Cross - fault B - C section leveling line

等, 2015), 该跨断层水准测线从 2012 年 5 月开始出现异常, KA - C 累计形变量达到 5 mm (图 5)。在如此近邻的区域, 既有 GPS 异常, 又有跨断层水准异常, 可以认为该地区的形变异常是真实的, 分析认为该区域可能存在应力积累。对于汤家坪跨断层测线, 作过深入的研究, 认为该测线所跨越断层有新活动迹象。杜方等 (2011) 进一步分析发现: 由于宁南测点加速向南运动, 没有形成闭锁现象, 初步认为可能的应力积累重点部位在宁南南部。

3 GPS 连续站运动差异

川滇地区的部分测点位于断裂带附近, GPS 运动特征可以大致反映断裂带的运动状况。为了分析安宁河、则木河、小江断裂的差异运动, 选取了安宁河断裂上的 SCMN 测点, 则木河断裂上的 SCNN 测点, 小江断裂上的 YNHZ、YNDC、YNML 测点进行对比分析 (图 6), 图 6 显示: 安宁河断裂、则木河断裂上的测点东向运动速度稍大于小江断裂上测点的东向运动速度, 而南向的运动速度明显大于小江断裂上测点的南向运动速度。造成该现象的原因可能是安宁河断裂和则木河断裂

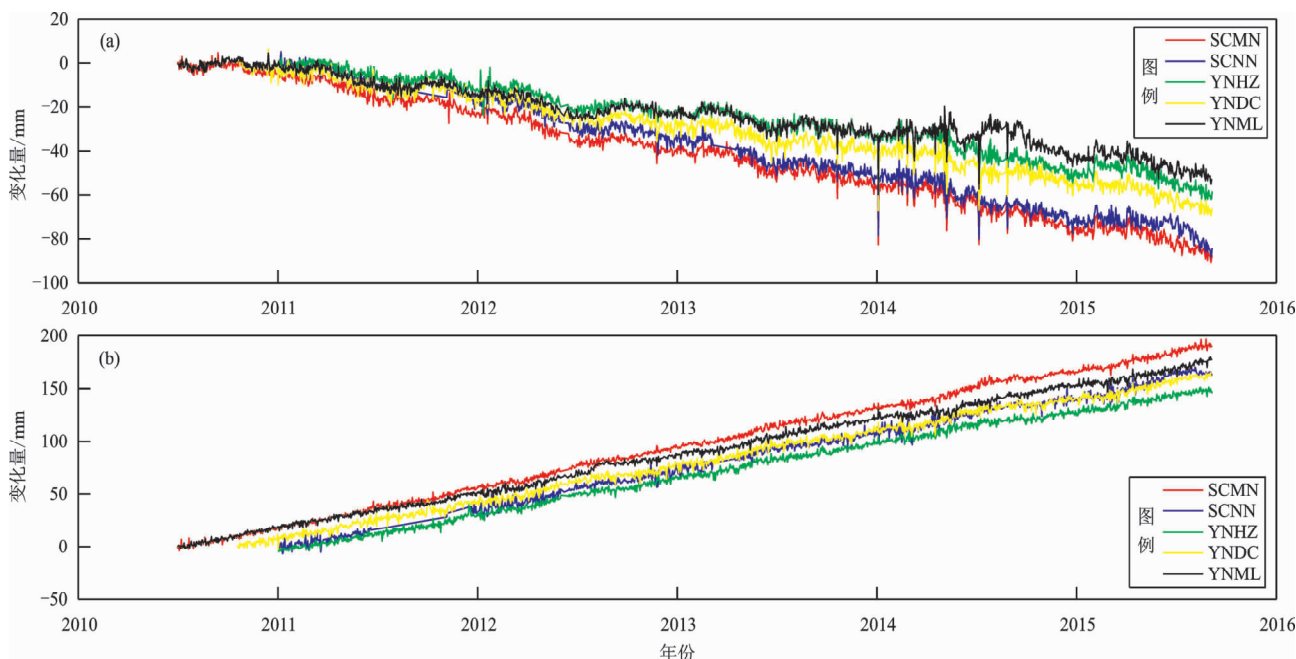


图 6 川滇地区部分测点的北向 (a)、东向 (b) 运动时间序列对比图

Fig. 6 The displacement time series comparison chart of some sites for the north component (a) and the east component (b) in Sichuan - Yunnan area

所在地块向南东方向的运动速度快于小江断裂所在地块南东方向的运动速度,则木河与小江断裂交汇处受到比较大的挤压,该处易于应力积累,应力场变化与中强地震的孕育可能存在一定的关系(王磊等,2009),因此在关注本地区应力场的变化特征。

4 历史地震活动性分析

图7为SCNN测点周边的破坏性地震分布图,从图中可以看出,SCNN测点所在的则木河断裂只在西昌的西部和南部有破坏性地震发生(位于则木河断裂的北端),而在则木河断裂的其他地区没有破坏性地震的发生,则木河断裂的中北—南段的历史地震极不活跃,SCNN测点南部——则木河与小江断裂交汇部位及其南部有一定数量的破坏性地震发生,曾发生1918年云南巧家南5½级地震、1930年云南巧家南6级地震。该部位是历史

地震相对活跃地段,而从该交汇处以小江断裂北段向南60 km范围内也有一定数量的破坏性地震发生,曾发生1733年云南东川紫牛坡7¾级地震,震中烈度达到X度。从历史地震活动情况的分析中可以得出结论:SCNN测点南部则木河断裂与小江断裂交汇部位及其南部地震活动较活跃,是中强以上地震高发区域。

5 地震活动性 b 值分析

为了分析SCNN测点及其周边的地震活动性,有必要在更大的范围中统计分析川滇地区地震活动性。笔者采用时间和空间扫描的方法统计川滇地区的 b 值,进而分析SCNN测点及其周边的地震活动背景。

所使用的地震目录主要选自中国地震台网中心,川滇地区空间范围为($23^{\circ} \sim 33^{\circ}N$, $98^{\circ} \sim 105^{\circ}E$),时间上选取了2000年以来的 $M_L \geq 3.0$ 地震。为了使 M_L 震级地震和 M_S 震级地震能统一使用,笔者参照第五代地震动参数区划图中最新的研究成果,规定 $M_S = M_L$,统一为 M 震级,并将出现的同一地震现象进行剔除,然后再进行分析研究(图8)。从图8可以看出,所选取的地震主要沿断裂带展布,因此可以认为川滇块体内的断裂带是大震的易发区域。

对2014年10月15日以来的 $M \geq 3.0$ 地震进行空间扫描,分析求解 b 值,得出结果见图9。从图中可以看出,则木河与小江断裂交汇部位小震活动相对较多,主要表现为 b 值相对较低。

对2000年以来的 $M \geq 3.0$ 地震进行时间扫描,分析求解 b 值,得出结果见图10。从图中可以看出,2008、2013年川滇地区处于低 b 值时期,2014年以来, b 值一直处于相对高值状态。

6 近期重力场变化特征分析

利用重力测量获取构造活动区重力场随时间的非潮汐变化,是研究地震孕育、发生和调整过程中重力场的时、空、强变化,提取地震前兆信息,进行地震预测研究的重要途径之一。对2014、2015年川滇黔桂地区的流动重力资料进行处理计算,其中2014年9月至2015年4月川滇黔桂地区

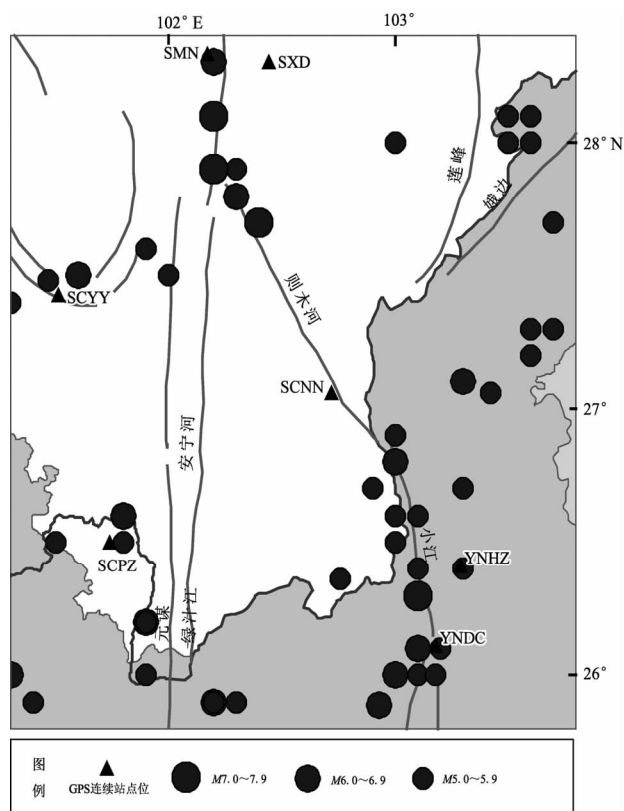


图7 SCNN测点周边破坏性地震分布图
(624-01-01~2015-10-08)

Fig. 7 Distribution of the destructive earthquakes occurred in the surrounding area of SCNN site

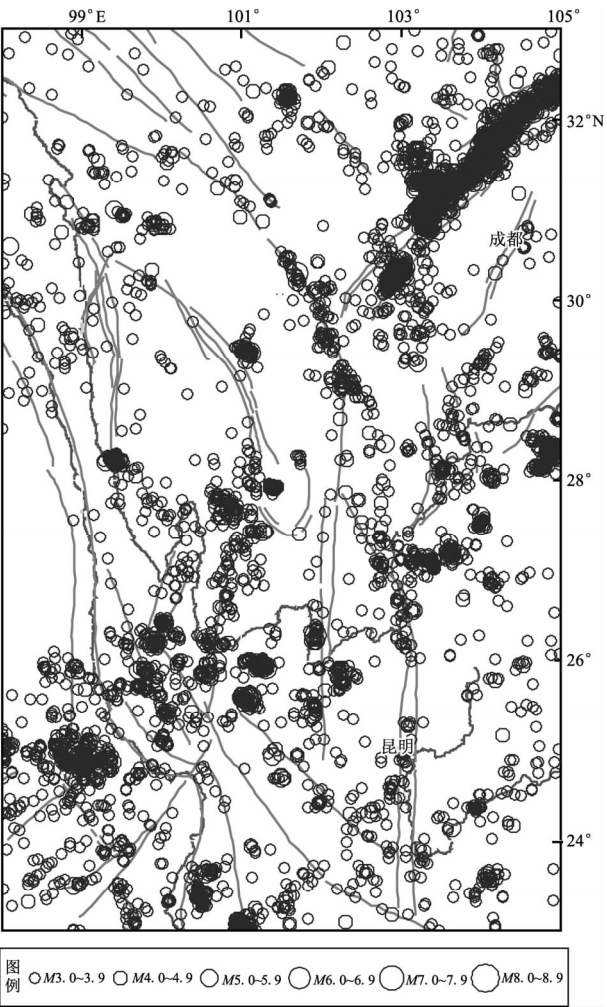


图 8 川滇地区地震震中分布图
(2000-01-01 ~ 2015-10-15)
Fig. 8 The epicenter distribution
in Sichuan - Yunnan region

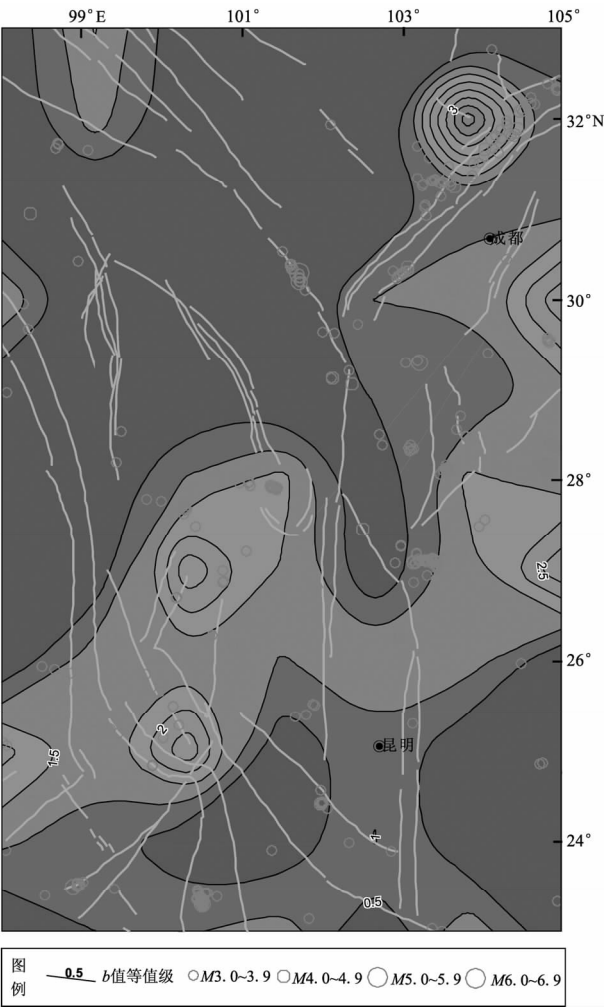


图 9 川滇地区地震 b 值空间扫描图
(2014-10-15 ~ 2015-10-14)
Fig. 9 The b value spatial scanning map
in Sichuan - Yunnan region

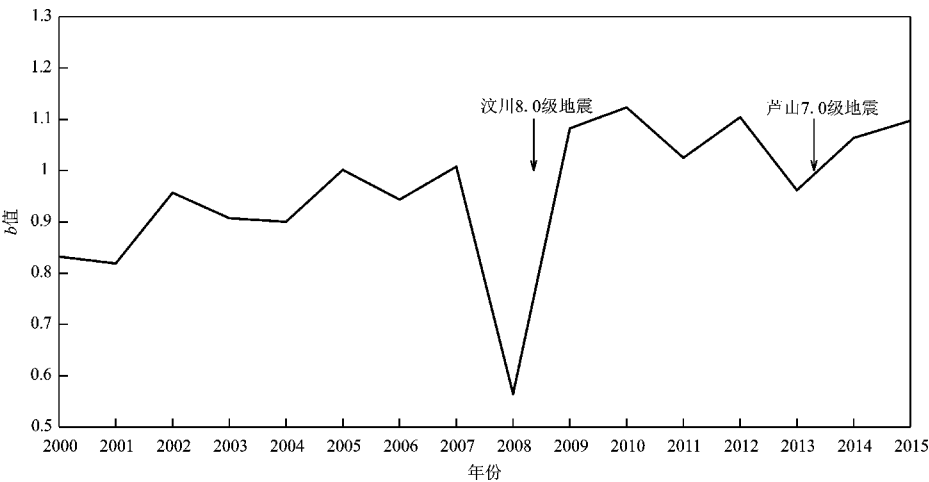


图 10 川滇地区地震 b 值时间扫描结果 (2000-01-01 ~ 2015-10-08)
Fig. 10 The b value temporal scanning result in Sichuan - Yunnan region

半年尺度的重力场变化与 2014 年 9 月至 2015 年 9 月一年尺度的重力场变化 (图 11) 显示: 在川滇块体东边界, 小江断裂北段的昭通—鲁甸—巧家

附近呈现重力变化高梯度带特征, 最大重力异常达 $60 \mu\text{Gal}$, 该异常可能与地下物质运移以及应力积累有所关联。

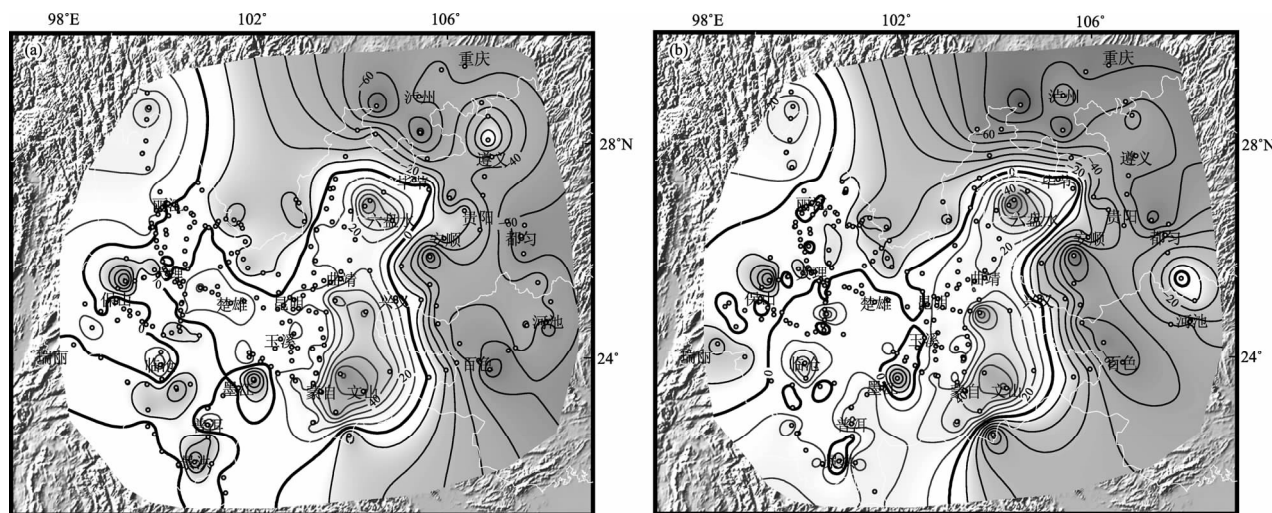


图 11 川滇黔桂测区 2014 年 9 月至 2015 年 4 月 (a)、2014 年 9 月至 2015 年 9 月 (b) 重力场差分变化特征 (单位: μGal)

Fig. 11 Variation Characteristic of differential gravity field in Sichuan – Yunnan – Guizhou – Guangxi area from Sep. , 2014 to Apr. , 2015 (a) and from Sep. , 2014 to Sep. , 2015 (unit: μGal)

7 结论

通过对川滇地块连续 GPS 测点进行分析, 发现 GPS 连续站 SCNN 测点在 2015 年上半年出现一定的形变异常变化, 对该测点附近的跨断层水准资料进行分析, 在同期也发现一定形变异常。分析还发现安宁河与则木河断裂周边连续 GPS 测点运动速率相对于小江断裂北段有一定的差异。通过分析宁南地区及其周边的地震活动性, 认为该地区为相对易发震区。进而又对本地区近期的地球重力场资料进行分析, 认为该地区存在一定的异常变化。经过综合分析, 认为在则木河与小江断裂交汇部位及其南部可能存在一定的应力积累, 应给予重视。

本文研究中使用了云南省地震局提供的流动重力资料, 在此表示感谢!

参考文献:

杜方, 龙德雄, 江在森, 等. 2011. 川滇交界东部地区汤家坪跨断层形变异常调查[J]. 四川地震, (4): 8–12.

- 付虹, 钱晓东, 毛玉平, 等. 2015. 2014 年云南鲁甸 $M_s 6.5$ 地震异常及预测[J]. 地震研究, 38(2): 181–188.
- 郭宝震, 董亮, 刘伟, 等. 2015. 数字水准仪与光学水准仪对比观测研究[J]. 震灾防御技术, 10(增刊 1): 805–810.
- 贾鹏, 张希, 张晓亮, 等. 2012. 汶川地震前后川滇及其邻区 GPS 水平运动演化特征[J]. 西北地震学报, 34(3): 264–267.
- 罗钧, 赵翠萍, 周连庆. 2014. 川滇块体及周边区域现今震源机制和应力场特征[J]. 地震地质, 36(2): 405–421.
- 宋成科, 李腊月, 孟庆筱, 等. 2015. 利用水准测量数据分析芦山 $M_s 7.0$ 级地震前龙门山断裂带南段应变积累[J]. 地震研究, 38(2): 237–241.
- 唐红涛, 张希, 贾鹏, 等. 2013. “形变速率累加”法在川滇跨断层水准资料中的应用[J]. 地震研究, 36(4): 467–471.
- 王虎, 冉勇康, 李彦宝, 等. 2014. 川西地区安宁河断层古地震行为及其与则木河断层的比较[J]. 地震地质, 36(3): 706–717.
- 王磊, 谢健健, 王唯俊, 等. 2009. 豫鲁冀交界区应力场动态演化与中强震孕育关系研究[J]. 华南地震, 29(3): 64–69.
- 夏峰, 张锐, 冯胜涛, 等. 2014. GNSS 不同类型试验观测墩对不同类型噪声幅值影响分析[J]. 华北地震科学, 33(2): 39–44.
- 余大新, 李永华, 吴庆举, 等. 2014. 利用 Rayleigh 波相速度和群速度联合反演青藏高原东北缘 S 波速度结构[J]. 地球物理学报, 53(3): 800–811.
- 张效亮, 谢富仁, 史保平. 2010. 利用 GPS 数据估算川滇南部地震 ($M_s \geq 6.5$) 平均复发间隔[J]. 地震学报, 32(1): 23–32.

Deformation Anomaly of Some Continuous GPS Sites and its Seismic Hazard Analysis in Sichuan – Yunnan Region

ZHOU Haitao, CHEN Zhaohui, ZHU Shuang, ZHOU Wei, SHEN Xiaoqi

(*First Crust Deformation Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China*)

Abstract

Analyzing the continuous GPS stations in Sichuan – Yunnan region, we found that there exists some abnormal deformation in the southern area of Ningnan, and the cross – fault leveling data also showed abnormal deformation. We compared and found that the continuous GPS stations motion rate in the surrounding area of Anninghe Fault, Zemuhe Fault has some difference than that in the north segment of Xiaojiang Fault. Comprehensive analysis on cross fault leveling measuring line, GPS continuous station, seismic activity, and gravity field variation, etc. in Ningnan and its surrounding area was made. We obtained that there may exist some stress accumulation in the study area, and the seismic hazard at the intersection area of Zemuhe Fault and Xiaojiang Fault and its southern area should be noticed.

Keywords: continuous GPS sites; cross – fault leveling; seismic activity; Sichuan – Yunnan region