

云南 GNSS 基准站连续观测资料应用研究*

洪敏, 邵德盛, 李春光, 王伶俐

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 对云南 28 个 GNSS 基准站所记录的数据进行跟踪处理, 得到了 GNSS 基准站点之间基线和点位移变化的时间序列, 通过对时间序列的分析, 获得了云南省内部分活动断层的现今活动特征以及在大震前块体的活动情况, 为利用 GNSS 数据探索地震预测预报进行了初步尝试。

关键词: GNSS 基准站; 基线; 点位移; 时间序列; 活动断层; 缅甸地震

中图分类号: P315.730.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)04-0535-05

0 引言

“十五”期间, 全国范围内建成了 25 个连续跟踪站点, 这些站点的建成为我国探索 GPS 技术在地震预测预报方面的应用起到了积极作用, 但由于站点数量少, 点位分散, 且地壳形变随时间及空间的变化比较复杂, 站点的分布满足不了地震预测预报的实际需求。因此, 在“十一五”期间, 由中国地震局牵头的国家重大科学工程项目“中国大陆构造环境监测网络工程”启动, 在全国范围内进行高密度、大范围的 GNSS 连续跟踪站的建设(该观测网络可以接收多卫星星座信号, 因此称其观测站点为 GNSS 连续跟踪站), 云南范围内建成连续跟踪站 27 个, 行业专项站点 1 个, 共 28 个站, 于 2010 年开始运行至今, 积累了近两年的 GNSS 观测数据, 数据如何应用于地震预测分析是我们一直以来关注和探索的重点。

GNSS 观测资料应用的基本思路是通过 GAMIT/GLOBK 软件进行数据处理, 处理的结果有无约束平差产出的基线和约束平差产出的点位移两种, 数据解算过程中虽然进行了各种模型的改正, 但解算结果中仍然存在误差, 因此对基线进行滑动均值等方法处理, 处理后的结果可用于断层的活动性分析, 点位移则用于分析云南省内主要块体的相对运动状态。

笔者主要利用基线解算成果分析了云南省内主要的活动断层的运动现状以及不同区域形变特

征, 并以缅甸地震为例分析了点位变化与地震之间可能存在的联系。

1 数据处理

1.1 处理软件

目前, 国际上广泛使用三大高精度 GPS 数据处理软件: 美国麻省理工学院(MIT)和加州大学圣地亚哥分校 Scripps 海洋研究所(SIO)研制的 GAMIT/GLOBK 软件, 美国喷气推进实验室(JPL)研制的 GIPSY/OASIS 软件和瑞士 BERNE 大学研制的 Bernese 软件。由于 GAMIT/GLOBK 软件采用的是开源代码形式, 因此得到了更为广泛的运用, 笔者也使用此软件进行数据处理。

1.2 GAMIT 数据处理模型

在 GAMIT 数据解算过程中, 可以通过选择各种不同的模型对处理过程进行干预, 模型的选择对解算结果的精度有一定的影响, 为了满足分析数据处理需求, 笔者采用了卫星轨道的松弛模式进行数据处理, 有利于最大限度地利用区域观测数据精化卫星轨道, 同时也保证了数据处理结果的一致性; 并引入了固体潮模型和 FES2004 海潮模型对观测值进行改正; 此外, 由于数据的观测误差主要来源于信号的多路径效应和大气对流层的折射, 这些误差与卫星的截止高度角密切相关, 因此笔者采用了依据卫星截止高度角 ELEV 定权的方法, 以减少误差; 数据处理时还引入了极移、岁差、章动等物理效应数据, 用模型进行改正。

* 收稿日期: 2012-05-07.

基金项目: 云南省地震局青年基金课题“GNSS 基准站观测数据处理及应用初探(201101)”资助.

1.3 GLOBK 中框架的确定

地球参考框架是天文学和地学界研究的基本问题之一，随着科学技术的发展，人们对地球参考框架的建立与维持提出了越来越高的要求。国际地球自转服务（IERS）发布的国际地球参考框架（ITRF）序列是国际上公认的精度最高，稳定性最好的参考框架。

因此，在进行约束平差的过程中，我们采用了 ITRF2000 框架，并利用所求解的局部网解，引入全球 IGS 点的解算成果进行联合平差，联合 4 天的数据求出一个基于 ITR2000 框架的点位移成果。

2 基线资料分析

利用 GLOBK 软件进行无约束平差后的基线成果可以绘制基线的时间序列图，但由于单日解存在

误差，不利于分析，通过对单日解的滑动均值处理（窗长为 15 天，步长为 1 天），得到了平滑的基线时间序列。以这些基线时间序列为基础，结合基线与断层的相对位置，分析断层的运动特征。

2.1 川滇菱形块体基线分析

研究表明，川滇菱形块体（本文仅分析川滇菱形块体云南部分）运动方向稳定，持续保持 SSE 方向的运动，并有顺时针的旋转；川滇菱形块体东边界的主要断裂带均为左行错动，西边界的主要断裂带均为右行错动（皇甫岗等，2010），围限川滇菱形块体的主要断裂在云南境内为红河断裂和小江断裂，以下笔者通过基线数据来分析这些断裂的运动特征。

（1）川滇菱形块体的东边界：我们通过斜跨小江断裂的两条基线分析小江断裂的走滑特征（图 1）。

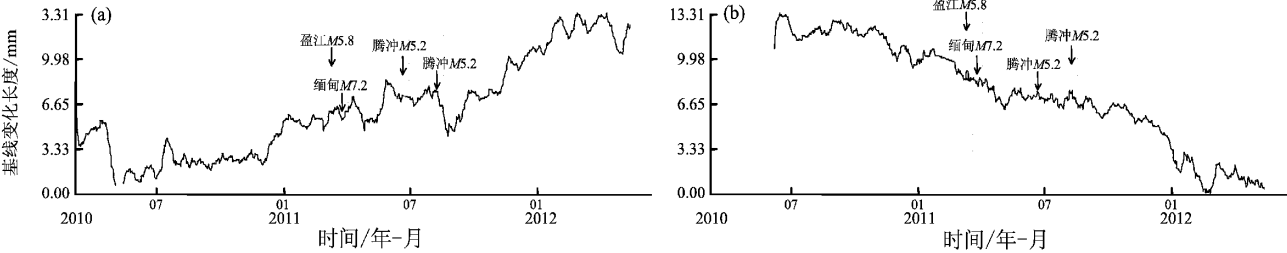


图 1 斜跨小江断裂的两条基线时间序列

(a) 昆明—昭通鱼洞；(b) 蒙自—通海

Fig. 1 The time series of the two baselines which cross aslant the Xiaojiang Fault

(a) Kunming - Zhaotong, Yudong; (b) Mengzi - Tonghai

从图 1 可以看出，昆明—昭通鱼洞和蒙自—通海基线都显示出小江断裂带具有左旋走滑特征，且左旋扭动量约为 7.4 mm/a（该速率没有经过方向改化，下同）。

从细部特征来看，两条基线的变化在时间上存在分段性，2011 年 8 月以前，小江断裂的左旋扭动量约为 6.8 mm/a，2011 年 8 月，在经历了小幅的反向压缩后，左旋拉张运动速度有所加快，达到了 16 mm/a（蒙自—通海基线的加速时间比昆明—昭通鱼洞有所滞后），与江在森等（2011）判定的川滇菱形块体东边界整体左旋扭动量达 11 ~ 14 mm/a 基本相符，只是由于数据时间跨度的不同有一定的差异，江在森等（2011）求出的是多年平均值，而我们更关注准实时的运动特征。从 2012 年 2 月初开始，小江断裂走滑速度减缓，处于相对闭锁的状态。

（2）川滇菱形块体的西边界：该边界在云南境内主要是红河断裂，红河断裂北段右旋走滑特征明显，但走滑速率没有东边界快。

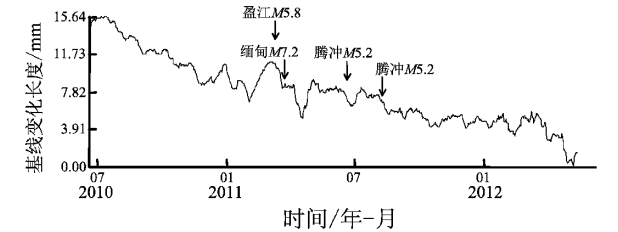


图 2 中甸—云龙基线时间序列

Fig. 2 The time series of Zhongdian - Yunlong baseline

从图 2 可以看出，西边界的平均右旋扭动量约为 5 mm/a。值得注意的是，该边界的扭动量随时间变化也具有分段性，在 2011 年 10 月以

前，该段的扭动量约为 7.6 mm/a，在此之后，与东边界走滑速率加快的过程相反，压缩速度减慢至 3 mm/a。

笔者分别挑选了红河断裂中段的丽江—墨江，南段的新平—金平基线来分析其中段和南段运动特征，见图 3。

从红河断裂的中段的新平—云龙基线来看，该段的走滑速率较小，在 2011 年 10 月以前，该基线主要显示出了红河断裂右旋走滑的特征，右旋扭动量约为 3.7 mm/a，在 10 月以后出现了一个反向速率，扭动量约为 -6 mm/a。

跨红河断裂南段的新平—金平基线，除去受地震影响所造成的波动，可以看出走滑速率较小，右旋扭动量只达到了约 1 mm/a。

(3) 川滇菱形块内部：川滇菱形块体内部基线变化量小，比较平稳，因此，可以认为应力在菱形块体内部得以顺利传递，图 4 为菱形块体内部的 4 条基线的变化特征。

综合以上分析，我们得出以下结论：川滇菱形块体（云南部分）南南东向运动趋势明显，菱形块体内部应力传递平顺，其东边界走滑速率比西边界大，断层走滑速率随时间变化呈现分段特征。红河断裂作为块体西边界，其北段走滑特征明显，走滑速率沿红河断裂向南逐渐衰减，红河断裂中、南段走滑不明显，表现为弱边界特征，从点位移成果可以推测这种现象可能是由于菱形块体南端南南东向运动受阻转向，造成红河断裂中南段以垂直于断层方向的运动为主。

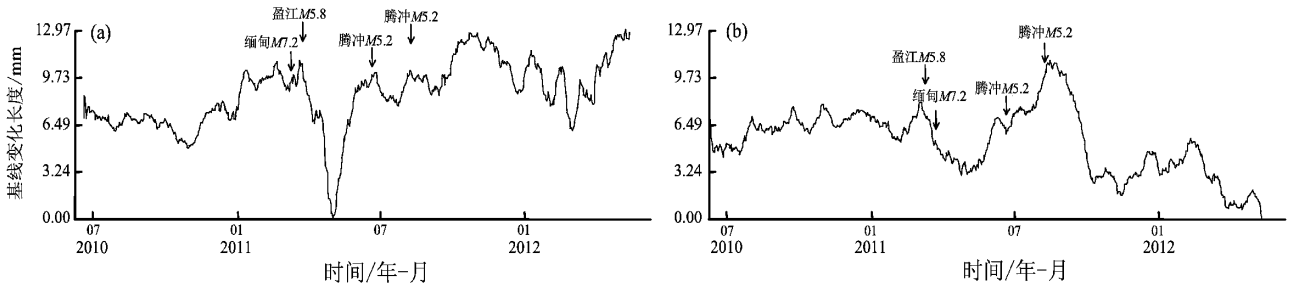


图 3 跨红河断裂中、南段的基线时间序列
(a) 新平—云龙；(b) 新平—金平

Fig. 3 The time series of baselines which cross the middle and south segment of the Red River Fault
(a) Xinping - Yunlong; (b) Xinping - Jinping

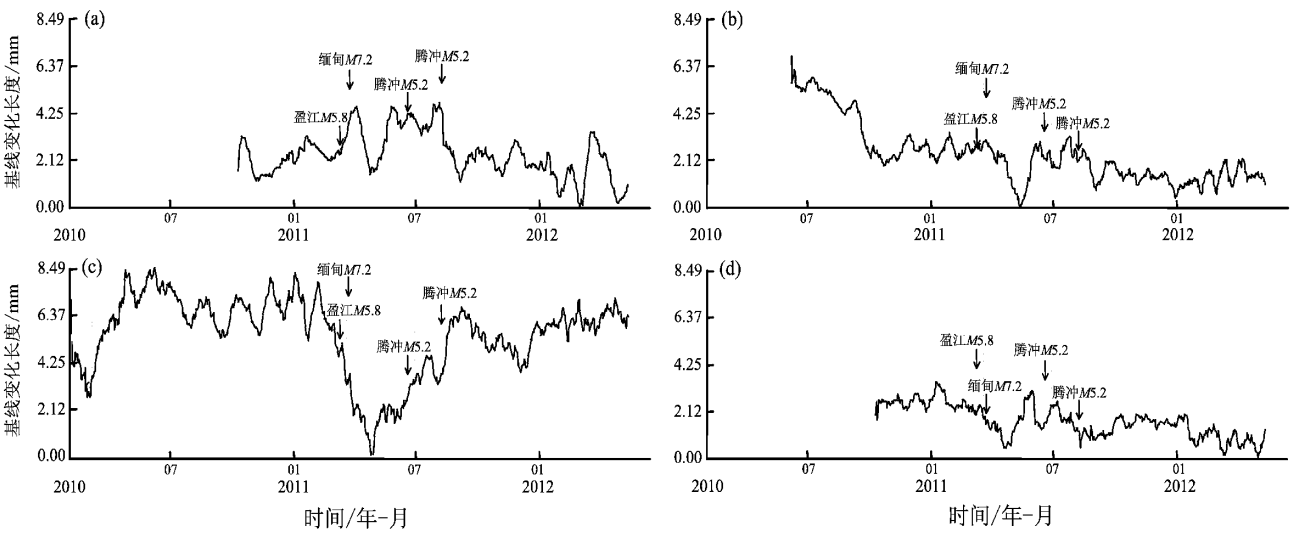
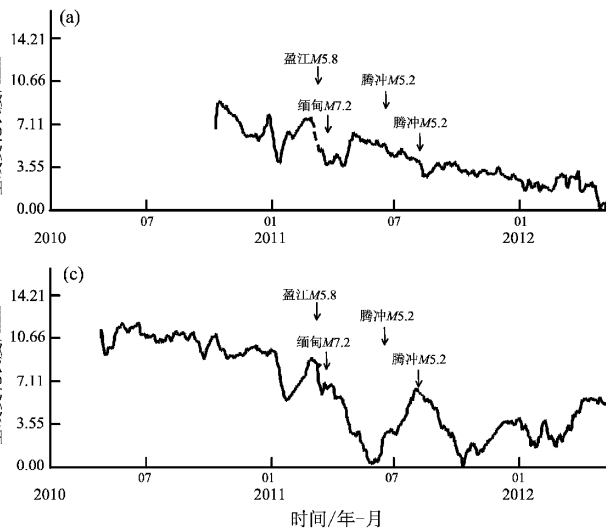


图 4 川滇菱形块体内部的基线时间序列
(a) 楚雄—丽江；(b) 楚雄—通海；(c) 昆明—新平；(d) 楚雄—元谋

Fig. 4 The time series of baselines in the interior of Sichuan Yunnan Rhombus Block
(a) Chuxiong - Lijiang; (b) Chuxiong - Tonghai; (c) Kunming - Xinping; (d) Chuxiong - Yuanmou

2.2 滇西北东条带基线分析

滇西北东条带是云南地震多发地区，地壳运动比较复杂，该区域跨过了澜沧江断裂以及红河断裂北部，分析这一地区的基线变化，可以发现川滇菱形块体运动以及印度板块侧向挤压共同作用所产生的地壳运动特征，对于研究地震孕育过程有指导意义。



从图 5 可以看到，滇西北东条带存在持续的挤压应力，主压应力方向为北东—南西向至北北东—南南西向（毛玉平等，2003），该区域存在持续挤压所引起的应变积累，而北西方向的基线变化不明显，比较平稳。由于篇幅限制，笔者只列举了北东方向的几条基线。

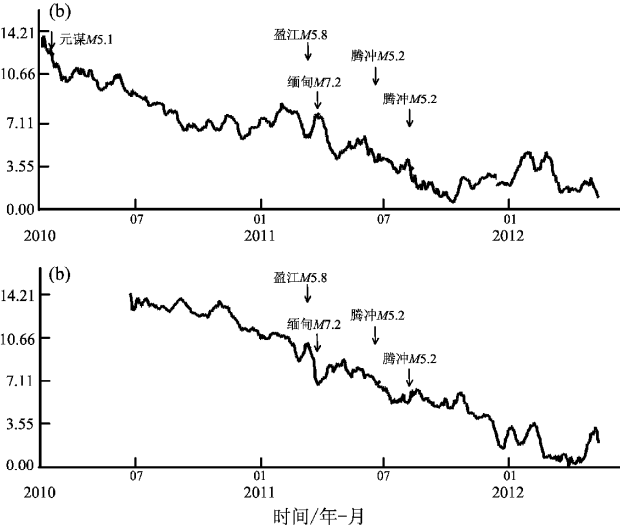


图 5 滇西北东条带基线时间序列图

(a) 云龙—丽江；(b) 施甸—永胜；(c) 思茅—墨江；(d) 施甸—瑞丽

Fig. 5 The time series of baselines in the northeast bands of Western Yunnan

(a) Yunlong - Lijiang; (b) Shidian - Yongsheng; (c) Simao - Mojiang; (d) Shidian - Ruili

3 点位移的应用

3.1 应用方法

点位移在直观性和可靠性方面更具优越性，因为点位移的变化反映的是单点的信息，而基线反映两个点间的相对位置，与两个点相对运动相关，且点位移是通过多条观测基线平差得到，存在多余观测值，可靠性好。但它也有局限性，因为点位移的求解存在框架的选择问题，点位的速度场会因所选取的参考基准的不同而呈现不同的图像，但其所包含的相对运动信息不变（江在森，刘经南，2010）。

为了选择一个好的参考框架，能够真实反映云南省内部各个块体间的相对变化情况，在试算分析之后，我们选择了处于华南块体的文山点作为参考，因为该点相对稳定，求出其他点位以文山点为参考的相对位移。在点位移的求取过程中采用了 4 天数据进行联合平差，点位坐标的精度得

到了大幅提高，确保了点间相对运动的可靠性。

3.2 点位总体运动情况

图 6 为从 2010 年初至 2012 年 3 月的点位移图

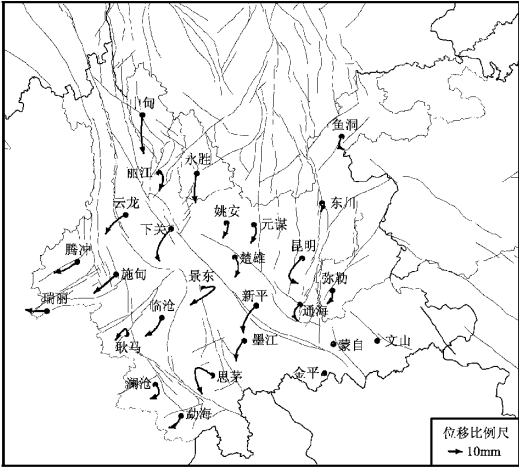


图 6 2010 年至 2012 年 3 月点位移图像

Fig. 6 Point displacement images from 2010 to Mar. , 2012

像，图中比例尺反映的是点位运动量的大小（下同）。各个点位由于数据时间长短不同，运动量的差异也比较大，但是可以看出，点位运动方向从川滇菱形块体最初的南南东向，到川滇菱形块体南端转为南向，到滇南至滇西南地区转为了南西向运动，相对于文山点的各个点位运动趋势呈现绕阿萨姆构造结顺时针旋转的特征。

3.3 地震与点位运动

在此基础上，笔者把时间尺度缩小，尝试分析研究 2011 年缅甸 7.2 级地震前 2 个月 1 月~3 月的图像（图 7）。

2011 年 3 月 8 日发生盈江 5.8 级地震，随后 3

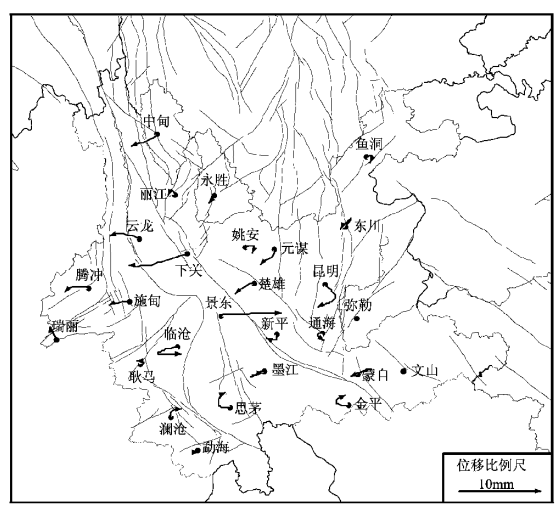


图 7 缅甸 7.2 级地震前点位移图像
Fig. 7 Point displacement image before the Myanmar M7.2 earthquake

月 24 日发生了缅甸 7.2 级地震，从图 7 可以看出，滇南地区的澜沧、思茅、勐海等站点出现了北向运动的现象，川滇菱形块体（云南部分）的内部点位的南向运动转向了西向运动，这些现象都表明菱形块体的南向运动受到了阻挡，地震之前块体间相对运动出现了背离长期运动背景的现象。

4 总结

GNSS 基准站站点的建成，地震预测预报工作增加了一个高精度、高可靠性、全天候服务的监测手段，从基线数据、点位移数据的分析中可以看出，在地震发生前，GNSS 站点所反映的地壳运动信息中包含的一些现象值得我们关注，如何对这些信息进行深加工、处理是今后我们面对的主要问题，在今后的工作中还有许多方法值得探索，让 GNSS 观测资料在地震预测和预报中的作用得到更为充分的体现。

参考文献：

皇甫岗,陈颢,秦嘉政,等. 2010. 云南地震活动性[M]. 昆明: 云南科技出版社.
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):1 111 ~1 117.
江在森,武艳强,方颖,等. 2011. 近年来大区域构造动力动态过程与西南地区地震形势[C]//云南地区强震危险性研究文集,26 ~ 35. 昆明: 云南科技出版社.
毛玉平,韩新民,谷一山等. 2003. 云南地区强震($M \geq 6$)研究[M]. 昆明: 云南科技出版社.

Research on the Application of Continuous Observations Data Recorded by GNSS Reference Station in Yunnan

HONG Min, SHAO De-sheng, LI Chun-guang, WANG Ling-li
(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Through track processing of data recorded by 28 GNSS Reference Stations, we obtained time series variation of baseline length and point displacement. Then analyzing these time-series results, we obtained the recent activity characteristics of some active faults and the block movements before the major earthquakes in Yunnan. The GNSS data is applied for earthquake prediction preliminarily.

Key words: GNSS Reference Station; baseline; point displacement; time series; active faults; Myanmar M7.2 earthquake