

# 云南省 GNSS 基准站数据处理不同参考基准研究<sup>\*</sup>

王伶俐, 邵德盛, 洪敏, 李春光, 施发奇

(云南省地震局, 云南 昆明 650041)

**摘要:** 介绍了目前处理框架问题的3种参考基准方法: 单点基准法、重心基准法、相对稳定点组基准法, 并分别用这3种方法对云南境内28个GNSS基准站, 近2年观测数据进行试算、验证, 并对不同参考基准解算得到的位移场作了比较分析。结果表明, 选择位于华南块体的文山GNSS基准站作为云南GPS位移数据处理的参考基准是可行的。

**关键词:** GPS 位移场; GNSS 基准站; 参考基准; 云南

**中图分类号:** P315.730.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2012)04-0449-06

## 0 引言

中国地壳运动观测网络在“九五”期间开始建设, 至今在云南已建成了28个GNSS连续观测站, 目前已经积累了近两年的连续观测数据, 通过对GPS观测数据处理与分析得到云南省地壳活动特征, 有助于捕捉与认识孕震信息, 为地震活动趋势分析提供新的依据。

我们一直采用美国麻省理工学院(MIT)和加州大学圣地亚哥分校Scripps海洋研究所(SIO)研制的GAMIT/GLOBK软件对GPS连续观测资料进行数据处理, 产出的无约束平差基线时间序列已应用于云南省中强地震的预测。相对于基线成果, 采用位移成果可观察点周围环境场的变化, 用来研究断层或地壳块体的运动特征, 且具直观性, 但是位移依赖于基准, 使用不同的基准将会得到不同的位移场。基于全球框架解算得到的位移包含了板块自身的运动, 而且这种运动幅度甚至超过了区域内块体间的相对运动, 以致于区域内的微动态变化较难识别。因此需要找到合适的位移参考基准, 能真实反映云南省区域性位移特征, 从而应用于区域地壳运动和地震预测研究。

笔者采用GAMIT/GLOBK软件对云南境内GNSS基准站近两年的观测数据进行处理, 并把得到的结果作了进一步处理和分析。按照区域性地

壳运动研究常用的单点基准、重心基准、相对稳定点基准3种基准选取方法进行试算, 并对结果进行对比分析, 得出了反映云南省内块体间相对运动最合适的基准选择法, 为后期的位移时间序列的处理提供依据。

## 1 全球框架下位移数据处理

对于利用GPS观测数据求解地壳运动而言, 无基准解是最可取的。同常规的地面观测网中的自由网解一样, 它所确定的观测点几何形状只取决于观测数据的质量与数量, 同地面基准点的已知坐标无关。与常规的地面观测网中的2维自由网解不同的是, 这种3维的无基准解必须变换为与一定的坐标参考框架有关的自由网解, 才能利用该框架中椭球面上的投影表示地壳运动(顾国华等, 2000)。

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。应用ITRF2000框架对历年GPS观测资料进行统一处理, 不仅在理论上保持了严密性, 而且有助于明显改善成果的精度, 是消除参考框架的不一致影响最根本、最彻底的方法。通常在资料处理时先将研究区域内的GPS观测点与全球的部分IGS站进行同步处理, 然后在全球IGS站内选择一组被称为核心站的全球站坐标

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2012-04-27.

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.

和坐标速度所实现的 ITRF 框架作为确定位移的基准,用于实现参考框架转换。目前国际上 ITRF2000 参考框架,选择 54 个跟踪站作为核心站维持定向。鉴于国际上 ITRF2000 框架核心站的选择具有一定的不确定性,笔者综合考虑 IGS 站在我国周围均匀分布,结合秘金钟等(2007)的相关研究结果,最后选定 VILL、MAS1、FORT、TSKB、SHAO 等 38 个 IGS 核心站点作为云南 GNSS 观测网数据处理的 ITRF2000 框架参考基准。

本文分别对 2011 年和 2012 年年积日 001 至 004 日的两期观测数据处理得到全球框架下的坐标,由两期坐标结果求差得到位移。具体过程是在恰当的约束条件下,采用 GAMIT 软件对单时段(一般一天为一个时段)的观测数据进行处理,得到此时段内观测点坐标及其协方差矩阵;为了获得与 ITRF2000 参考框架的联系,我们利用 GLOBK 软件将 GAMIT 软件处理得到的单日松弛解和 SOPAC (Scripps Orbital and Permanent Array Center) 给出的全球 IGS 站的 6 个单日松弛解合并,得到一个包含全球 IGS 站和云南 GNSS 基准站的单日松弛解。对每 4 天的数据经综合平差求出一个基于 ITRF2000 框架的点位静态解,以两期点位静态解求得的位移作为后期的形变分析。2011 年年积日 001 至 004 日基准站 YNHZ (会泽) 缺少观测数据,因此我们只能得到 27 个站的位移。

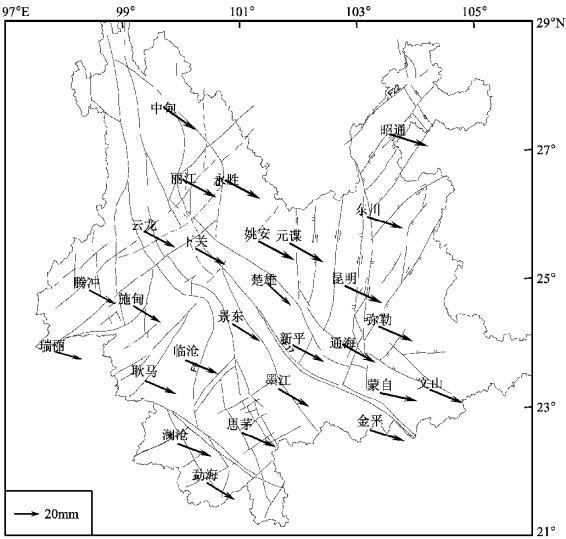


图 1 ITRF2000 参考框架下各基准站的水平位移  
Fig. 1 Horizontal displacements of reference stations in Yunnan based on ITRF2000 reference frame

图 1 是在 ITRF2000 参考框架下计算得到的 2011 ~ 2012 年云南省 GNSS 基准站的水平位移结果。IGS 公布的站坐标和站速率是基于全球运动模型(如 NNR-NUVEL-1A)的,因而得到的变形监测网点的位移反应的是站点在全球框架下的整体运动状况。由图 1 可以看出,在全球框架下,云南省所有的 GNSS 站在东—东南方向都有近 20 ~ 40 mm 的“漂移”,不易分辨云南区域相对中国大陆的“真实”运动状况。可见,这种全球运动模型基准得到的位移结果并不适用于描述局部地区地壳的相对运动。

2 区域性地壳运动基准的确定方法

位移(或位移速率)解中描述相对运动的参照点即位移解基准有各种不同的选择,因此位移解具有多解性。赖锡安等(2004)提出在区域地壳形变运动研究中应多采用适应该区域地壳运动的基准方法。常用方法有:单点基准、重心基准、相对稳定点基准。这些不同的基准都在特定的研究对象中为了突出某一方面的信息而得到了很好的应用。

2.1 单点基准

单点基准就是选择观测点中的某一点  $k$ , 令它的位移值为零,在某个参考框架下求得位移值记为  $V_{xi}, V_{yi}, V_{zi}$ , 则在此基准下任何一点  $i$  的位移记为

$$\begin{cases} V_{xi}^k = V_{xi} - V_{xk}, \\ V_{yi}^k = V_{yi} - V_{yk}, \\ V_{zi}^k = V_{zi} - V_{zk}. \end{cases} \tag{1}$$

单点基准法中参考点必须选在一个被认为是相对稳定的区域内,根据这个标准,我们选择了处于华南块体的文山点为参照点。

2.2 重心基准

假设某一参考框架下求得某区域内  $n$  个点,位移值记为  $V_{xi}, V_{yi}, V_{zi}$ , 若附加条件  $\sum_1^n V_{xi} = 0, \sum_1^n V_{yi} = 0, \sum_1^n V_{zi} = 0$ , 在此条件下求得的位移  $V_{xi}^G, V_{yi}^G, V_{zi}^G$  即为重心基准下的位移,若重心标记为

$$\begin{cases} V_{x0}^G = \frac{\sum_{i=1}^n V_{xi}}{n}, \\ V_{y0}^G = \frac{\sum_{i=1}^n V_{yi}}{n}, \\ V_{z0}^G = \frac{\sum_{i=1}^n V_{zi}}{n}. \end{cases} \quad (2)$$

则以重心为基准的位移是

$$\begin{cases} V_{xi}^G = V_{xi} - V_{x0}^G, \\ V_{yi}^G = V_{yi} - V_{y0}^G, \\ V_{zi}^G = V_{zi} - V_{z0}^G. \end{cases} \quad (3)$$

算例以云南省为研究对象，但是 2011 年年积日 001 至 004 日基准站 YNHZ（会泽）缺少观测数据，因此参与重心基准计算的点位数  $n$  为 27。

2.3 相对稳定点组基准

在实际的变形分析中，选一组相互位置变化小的点，假定此组点所在块体不动，求得所有点位移的时间变化序列。假设某一参考框架下已经找到了一组包含  $m$  个点的相对稳定点组，位移值记为  $V_{xi}$ 、 $V_{yi}$ 、 $V_{zi}$ ，若附加条件为  $\sum_{i=1}^m V_{xi} = 0$ ， $\sum_{i=1}^m V_{yi} = 0$ ， $\sum_{i=1}^m V_{zi} = 0$ ，在此条件下求得的  $m$  个点的位移， $V_{xi}^R$ 、 $V_{yi}^R$ 、 $V_{zi}^R$  即为相对稳定点组基准下的位移，设

$$\begin{cases} V_{x0}^R = \frac{\sum_{i=1}^m V_{xi}}{n}, \\ V_{y0}^R = \frac{\sum_{i=1}^m V_{yi}}{n}, \\ V_{z0}^R = \frac{\sum_{i=1}^m V_{zi}}{n}. \end{cases} \quad (4)$$

则以相对稳定点组重心为基准的位移为

$$\begin{cases} V_{xi}^R = V_{xi} - V_{x0}^R, \\ V_{yi}^R = V_{yi} - V_{y0}^R, \\ V_{zi}^R = V_{zi} - V_{z0}^R. \end{cases} \quad (5)$$

由于运动的相对性位移基准选择是多样的，位移及其时间序列都具有多解性，位移基准有观测网的内部基准与外部基准，各有相应的运动学或动力学意义（顾国华，张晶，2002）。对于云南省区域运动性研究来说，外部相对稳定点组可以选取华南块体 SHAO（上海），WUHN（武汉），BJFS（北京房山）3 个 IGS 站作为参考基准；在内部基准中可能有稳定点组基准，甚至有多组这种基准，通过分析云南省 GNSS 连续站近两年的时序资料，找到一组位于川滇菱块内部的稳定点组 YNYS（永胜）、YNYA（姚安）、YNYM（元谋）为参考基准做位移转换。

3 算例及结果分析

采用上节算例中计算得到的 ITRF2000 框架下的位移值分别采用上述 3 种基准做位移转换。由 GPS 观测得到的是 3 维空间中的位移，而在地壳运动的描述中通常将位移投影到旋转椭球面上，采用旋转椭球面上的水平位移及相对于旋转椭球面的垂直位移来表示，本文主要讨论的是水平位移，计算结果如表 1。

图 2~5 是云南省基准站点的两期观测在单一基准、重心基准、相对稳定点组基准下的位移场，通过比较可以看出：

（1）图 2~4 中的位移场比较一致，都可以看出该区域的运动在空间上的规律：该区南部位移场为西南向运动，然后逐渐变化，至该区西部为西北向运动，运动强度为“西强东弱”，水平运动方向自西向东逐渐往东南偏转，即在印度板块东触角附近区域，形成了一种顺时针旋转的运动态势。整个处理结果与杨国华等（2003）使用中国地壳运动观测网络得到的中国川滇地区的水平运动与地形变运动趋势一致。

（2）采用文山基准（图 2）与华南块体上的相对稳定点组基准得到的区域性位移场（图 4）基本一致，只是后者的幅值略大于前者，相差 1~2 mm，后者的位移方向相对于前者呈现顺时针 0°~10°左右的偏转角度，其原因是作为单点基准的文山从属于华南块体，将观测结果减去文山站基准的位移场其实也就是减去整个云南区域随华南区域背景场运动的部分，而这两种基准计算的结

果之间存在的偏差可以认为是文山点处于华南块体边缘自身微动态信息的体现。

(3) 采用重心基准得到的位移场(图3)与另外两种方法的研究结果差别较大,尤其在滇西南差别最大,主要因为云南省各观测点对重心的位移“贡献”不同,如川滇块体以外的东南地区的地壳介质比较坚硬,使得物质向南运动受到阻隔,而川滇块体以外的西南地区是一个较易变形的地区,所以位移量大,而且会出现运动方向的转变。而重心基准方法对所有的点位都一样,会导致所采用的重心基准无法体现区域的整体平移运动的特征的结果,这样处理的位移场点位的

“真实”动态信息被掩盖。最好的处理办法是根据观测点对重心位移贡献不同而加以适当的权值,这种办法实施起来比较复杂,而且需要长期的点位资料的积累。

(4) 从图5的采用区域内部稳定点组基准位移场特征可以看到,随着川滇菱形块体北部在基准西边缘外力控制下向南切入,导致云南省川滇菱形块体以外的地块沿着块体边缘“转移挤出”。可见采用区域内的相对稳定点组基准的好处是能反映区域内部的不均匀变形,这种基准实际上也可看做是加权重心基准的一种,只是不属于相对稳定点组的一般点位移观测值权重为零。

表 1 不同参考基准下云南省各基准站相对位移结果

Tab. 1 Relative displacement results of reference stations in Yunnan based on different reference datum

基准站	相对位移/mm							
	单点基准(文山)		重心基准		外部相对稳定点组		内部相对稳定点组	
	N 方向	E 方向	N 方向	E 方向	N 方向	E 方向	N 方向	E 方向
下关	-2.98	-3.81	-0.65	-4.13	-6.26	-2.60	3.05	-6.69
楚雄	-7.02	-11.46	-4.69	-8.17	-13.91	-10.25	-0.99	-14.34
东川	1.01	2.21	3.34	-0.14	-0.24	3.42	7.04	-0.67
耿马	-0.08	-2.47	2.25	-1.23	-4.92	-1.26	5.95	-5.35
临沧	-0.67	-0.51	1.66	-1.82	-2.96	0.70	5.36	-3.39
澜沧	1.08	0.37	3.41	-0.07	-2.08	1.58	7.11	-2.51
丽江	-4.89	0.11	-2.56	-6.04	-2.34	1.32	1.14	-2.77
云龙	-3.61	-1.95	-1.28	-4.76	-4.40	-0.74	2.42	-4.83
永胜	-6.21	2.26	-3.88	-7.36	-0.19	3.47	-0.18	-0.62
姚安	-5.75	2.69	-3.42	-6.90	0.24	3.90	0.28	-0.19
元谋	-6.12	0.96	-3.79	-7.27	-1.49	2.17	-0.09	-1.92
新平	-3.25	-1.59	-0.92	-4.40	-4.04	-0.38	2.78	-4.47
思茅	-1.15	0.23	1.18	-2.30	-2.22	1.44	4.88	-2.65
施甸	-3.12	-6.55	-0.79	-4.27	-9.00	-5.34	2.91	-9.43
景东	-3.70	-5.77	-1.37	-4.85	-8.22	-4.56	2.33	-8.65
金平	1.63	1.68	3.96	0.48	-0.77	2.89	7.66	-1.20
墨江	-4.67	-2.66	-2.34	-5.82	-5.11	-1.45	1.36	-5.54
弥勒	-1.48	1.02	0.85	-2.63	-1.43	2.23	4.55	-1.86
蒙自	4.98	4.76	7.31	3.83	2.31	5.97	11.01	1.88
勐海	-4.00	-5.37	-1.67	-5.15	-7.82	-4.16	2.03	-8.25
瑞丽	6.10	-7.54	8.43	4.95	-9.99	-6.33	12.13	-10.42
通海	-5.44	0.76	-3.11	-6.59	-1.69	1.97	0.59	-2.12
腾冲	-0.02	-7.89	2.31	-1.17	-10.34	-6.68	6.01	-10.77
中甸	-9.90	-1.49	-7.57	-11.05	-3.94	-0.28	-3.87	-4.37
昭通	0.90	4.44	3.23	-0.25	1.99	5.65	6.93	1.56
昆明	-4.59	4.77	-2.26	-5.74	2.32	5.98	1.44	1.89
文山	0.00	0.00	2.33	-1.15	-2.45	1.21	6.03	-2.88

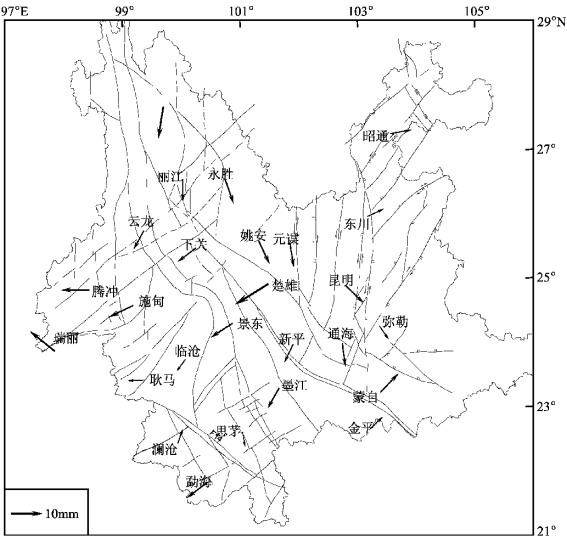


图 2 相对文山单一基准的位移场  
Fig. 2 Displacement field based on datum of single Wenshan Station

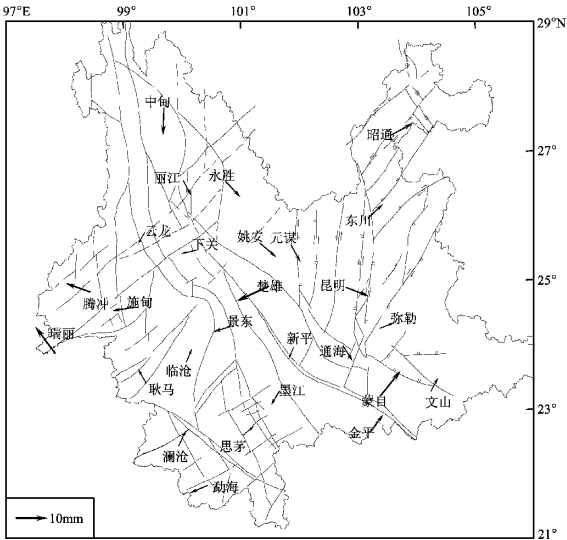


图 3 相对重心基准的位移场  
Fig. 3 Displacement field based on the datum in the center of gravity

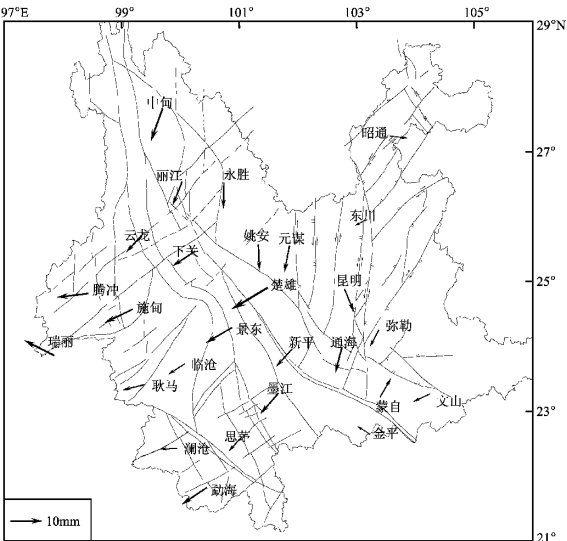


图 4 相对外部稳定点组(华南块体)基准的位移场  
Fig. 4 Displacement field based on the datum relative to external stable point sets (Southern China block)

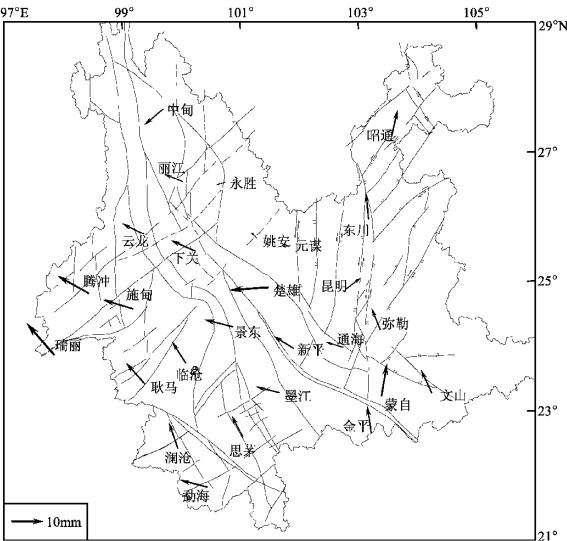


图 5 相对内部稳定点组基准的位移场  
Fig. 5 Displacement field based on the datum relative to internal stable point sets

4 结论

如果要研究云南省区域内部的不均匀变形，需要利用一组相对位置基本保持不变点的整体运动来确定整个区域的运动，其余点在扣除这种整体运动后，剩余部分就可以反映块体的局部变形。尽管云南省基准网积累了近 2 年的观测资料，但对于地震预测研究积累震例，投入观测时间短暂，

如何在云南省内找到长期可靠的稳定点组作为基准是关键问题。在研究整个云南省相对于中国大陆的唯一时间序列的处理，可以采用华南块体基准和文山基准，但是作为华南稳定点组的 IGS 点资料的连续性无法保证，云南省的 GNSS 基准站时序资料的处理暂时可以文山为基准，随着数据资料的积累，以后采取哪种基准最为合适尚需做更多实验研究。

参考文献:

顾国华,牛红叶,孟国杰,等. 2000. 中国地壳运动观测网络数据处理与分析[J]. 地震. 20(S1):203-210.

顾国华,张晶. 2002. 中国地壳运动观测网络基准站 GPS 观测的位移时间序列结果[J]. 大地测量与地球动力学,22(2):61-67.

赖锡安,黄立人,徐菊生. 2004. 中国大陆地壳运动[M]. 北京:地震出版社.

秘金钟,蒋志浩,张鹏,等. 2007. IGS 跟踪站与国内跟踪站联合处理的框架点选择研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),32(8):704-710.

杨国华,韩月萍,王敏,等. 2003. 中国大陆几个主要地震活动区的水平形变[J]. 大地测量与地球动力学,23(3):42-49.

Research on the Processing of Date Recorded by GNSS Reference Station  
Based on Different Reference Datum in Yunnan

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

Abstract

We introduced three methods for resolving reference frame problem, such as datum with single point, datum in the centre of gravity, datum relative to stable point. Then, we calculated and compared the displacement field based on the observation data recorded by 28 GNSS Reference Station in Yunnan for two years using these three reference frame methods. The result shows that it is feasible to choose GNSS Reference Station in Wenshan which located in the Southern China block as the reference datum of GPS displacement data processing in Yunnan.

**Key words:** GPS displacement field; GNSS Reference Station; reference datum; Yunnan