

文章编号: 1671-8860(2003)04-0413-04

文献标识码: A

# 中国大陆 GPS 基准站的时间序列特征

乔学军<sup>1</sup> 王琪<sup>1</sup> 吴云<sup>1</sup> 杜瑞林<sup>1</sup>

(1 中国地震局地壳运动研究所(武汉), 武汉市小洪山中区 70 号, 430071)

**摘要:** 利用 1999 年 3 月至 2002 年 3 月期间“中国地壳运动观测网络”25 个 GPS 基准站与周边国家 IGS 站的观测资料, 进行了时间序列分析研究, 并对提高 GPS 基准站的观测精度进行了探讨。结果表明, GPS 基准站的时间序列具有一定的周期性, 高程分量的周期性最为明显, GPS 点位高程时间序列拟合曲线的波峰和波谷出现的时间表现为区域性的不同。

**关键词:** GPS 基准站; 时间序列; 拟合

中图法分类号: P228.41

近 10 多年来, 国际上已建立了很多研究地球动力学的 GPS 台站和网络, 如由 300 多个 GPS 测站组成的国际 GPS 服务机构(IGS); 美国建成的由 200 多个 GPS 固定站组成的南加州综合 GPS 网络(SCIGN)及圣费南西斯湾地区区域形变网络(BARD)等大型的 GPS 连续观测网络等。我国的国家大型科学工程重大项目“中国地壳运动观测网络”包括 25 个分布在中国大陆 6 大构造块体上的 GPS 连续观测基准台站(图 1、表 1), 25 个基准站全部建在基岩上, 具有很好的稳定性。从 1999 年 3 月下旬正式运行以来, 取得了大量的观测数据, 成为中国形变监测的基准框架<sup>[1]</sup>。

## 1 GPS 观测与数据处理

笔者使用 1999 年 3 月至 2002 年 3 月间的中国地壳运动观测网络 GPS 基准站及周边 IGS 站的数据进行了分析, 采用美国喷气推进实验室(JPL)研制的 GIPSY OASIS-II 软件对中国大陆的原始观测数据进行统一处理。数据处理中采用目前比较通用的处理算法, 采用动态卡尔曼滤波同时处理非差分相位和伪距观测值。数据处理以单日时段(小于 24h)观测为基本单位, 采用无基准算法, 一次性同步解算出各个测站的三维坐标并给出其方差-协方差, 形成单日时段解。天顶方向对流层采

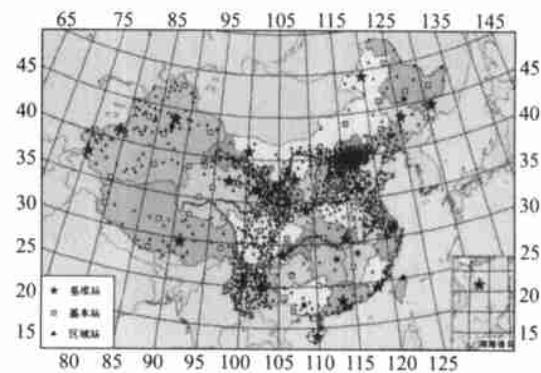


图 1 中国地壳运动观测网络 GPS 点位分布

Fig. 1 Distribution of Crustal Movement Observation Network of China

用随机游走、 $10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$  进行折射校正, 电离层采用 Lanyi-C 模型进行电离层延迟校正, 有关观测、数据处理及构造解释的具体情况可参见文献[2, 3]。

## 2 时间序列分析

时间序列使用了各个 GPS 站的单日时段解进行分析, 单日时段解的坐标框架为 ITRF97, 未经平差处理, 这样一方面可直接反映点位的形变信息, 另一方面可间接反映 GPS 仪器的稳定性。由于各站的 GPS 仪器运行稳定性存在差异, 所以

收稿日期: 2003-03-13。

项目来源: 国家“十五”科技攻关资助项目(2001BA601B02); 国家自然科学基金资助项目(40074024); 国家重点基础研究发展规划资助项目(G1998040703)。

表 1 GPS 点位高程拟合曲线波峰和波谷时间统计

Tab. 1 Statistic of Crest and Trough of Fitted Curve in Vertical Component

点名	波峰/月	波谷/月	备注
北京 *	6, 7	12, 1	周期变化明显
十三陵			周期变化不明显, 1999 年下半年至 2000 年 2 月, 高程有一缓慢下降过程
德令哈	12, 1	6, 7	周期变化不明显, 2000 年 1 月 15 日至 16 日, 高程有一突降过程 (1~2cm)
鼎新			周期变化不明显, 2000 年 9 月 4 日至 5 日, 高程有一突降过程 (1.5~2cm)
海拉尔	6, 7	12, 1	周期变化明显
蔚县	7, 8	1, 2	周期变化明显
昆明 *	3, 4	9, 10	周期变化不明显
拉萨 *	7, 8	1, 2	周期变化明显
泸州	6	1	周期变化明显
琼中	6	1	周期变化明显
上海 *	6, 7	12, 1	周期变化明显
泰安	6, 7	12, 1	周期变化不明显, 2000 年 7 月 13 日至 2000 年 8 月 18 日, 高程有一缓慢下降过程
塔什库尔干	12, 1	6, 7	周期变化明显
乌鲁木齐 *			周期变化不明显
武汉 *			周期变化不明显
乌什			周期变化不明显
西安 *			周期变化不明显, 1999 年 8 月至 2000 年 2 月, 高程有一缓慢下降过程
下关	3	9	周期变化明显
西宁			周期变化不明显
厦门			周期变化不明显
盐池			周期变化不明显

注: 标 \* 为国际 IGS 站。

用于时序分析的时段数各不一样, 如永兴岛、广州、绥阳的 GPS 数据连续性较差, 长春 GPS 点位发生了变动, 本研究未对这 4 站进行时序分析。

大部分 GPS 基准站的时段数都在 850 个以上, 为了能精细地反映 GPS 时间序列的周期变化及振幅变化特征, 根据时间序列的观测总时段数, 通过多项式拟合结果对比, 笔者采用十阶多项式对 GPS 基准站的三分量进行拟合。

### 3 结果分析与讨论

1) 多项式拟合结果表明, 大部分 GPS 点位垂直分量的时间序列近似于正弦函数, 周期近似为 1a, 振幅为 2~4cm, 而水平分量的时间序列的周期性不明显(如图 2, 图中曲线为十阶多项式拟合值, 其中南北向和东西向的直线为线性拟合值), 这说明季节性的大气变化仍然是影响 GPS 高程精度的主要因素之一。因此, 在进行高精度的地壳形变监测时, 选择相同的季节进行 GPS 重复观测是很重要的; 同时, 只有通过长期的观测, 才能消除周期性的误差, 从而正确地反映地壳的运动特征。

2) 由于武汉站在 2002 年 1 月进行了天线墩的改造, 点位坐标发生了变化, 时间序列出现了突变。图 2(a)表明, 武汉 GPS 站坐标在垂直向升高了 8cm 左右, 往南移动了 1cm 左右, 而在东西向的移动较小。

3) 由表 1 可见, GPS 点位高程时间序列拟合曲线的波峰和波谷出现的时间表现为区域性的不

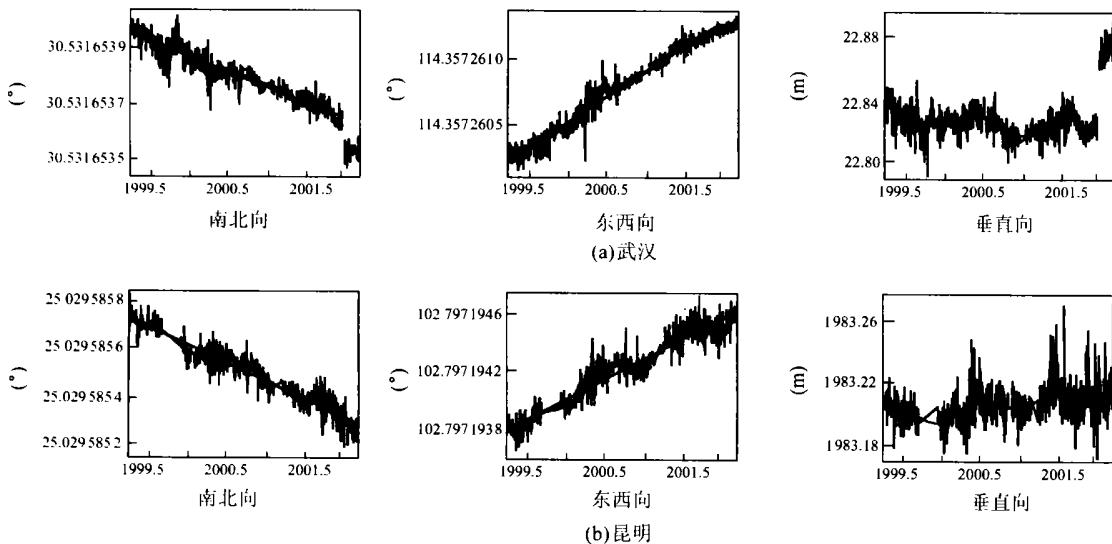


图 2 部分 GPS 基准站时间序列

Fig. 2 Time Series of Several GPS Fiducial Stations

同,这进一步表明了GPS的定位精度受大气层状况的影响是十分明显的。

4) 部分基准站的高程出现了异常的下降过程,见图3(图中曲线为十阶多项式拟合值),这一方面是因为观测墩在建成后有一个稳定过程,该过程与当地的地质条件有关;另一方面可能与区域的地壳运动活动有关。

5) 德令哈GPS基准站的时间序列显示,地震发生后, GPS点位在3个方向有明显的变化,点位高程迅速下降,在纬度方向,先往北后往南运

动;在经度方向,运动趋势也发生了明显的偏移(如图4,图中虚线为发震时刻),这为利用GPS进行地震的预测研究提供了丰富的资料。

6) GPS高程精度受大气层和电离层的影响具有季节性和地域性的特点,不确定性较大,在GPS数据处理过程中,对于地表温度、气压、湿度等与大气层和电离层改正有关的参数,一般使用统一的标准参数,这是影响GPS高程精度的因素之一,所以加强GPS大气层和电离层模型的研究及GPS高程拟合研究<sup>[3]</sup>,对提高GPS的高程精度是必要的。

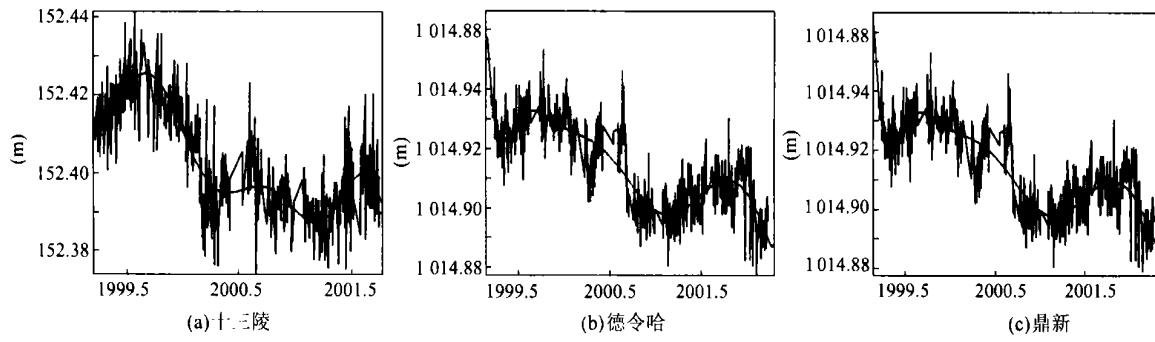


图3 部分GPS基准站垂直向时间序列

Fig. 3 Time Series of Several GPS Fiducial Station in Vertical Direction

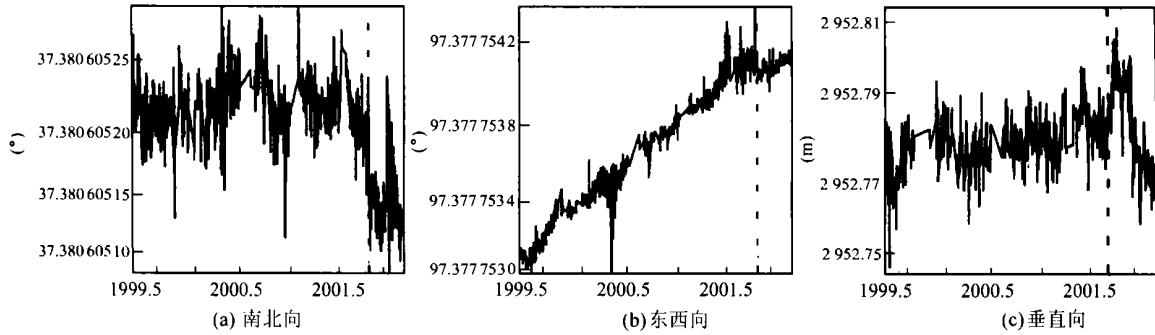


图4 德令哈GPS基准站的跨震时间序列

Fig. 4 Time Series of DLHA GPS Fiducial Station Spanned the Earthquake Event

## 参 考 文 献

- 1 牛之俊,马宗晋,陈鑫连,等.中国地壳运动观测网络.中国地震学会地壳形变测量专业委员会2001年学术年会,2001
- 2 王琪,张培震,牛之俊,等.中国大陆现今地壳运动和构造变形.中国科学(D辑),2001,31(7):529~536
- 3 Wang Q., Zhang P.Z. Present-day Crustal Deformation in China Constrained by Global Positioning System Measurements. Science, 2001, 294: 574~577

4 顾国华,张晶.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.大地测量与地球动力学,2002,22(2):61~67

5 姚宜斌,陶本藻,施闯.稳健回归分析及其应用研究.大地测量与地球动力学,2002,22(2):16~19

第一作者简介:乔学军,副研究员。现主要从事GPS与InSAR的数据分析及地壳形变研究。

E-mail: xuejunq@sohu.com

## Time Series Characteristic of GPS Fiducial Stations in China

QIAO Xuejun<sup>1</sup> WANG Qi<sup>1</sup> WU Yun<sup>1</sup> DU Ruilin<sup>1</sup>

(1 Institute of Crustal Dynamic (Wuhan), China Seismological Bureau, 70 Xiaohongshan, Wuhan, China, 430071)

**Abstract:** The crustal movement observation network of China was set up in 1999. It has collected a long term GPS data set over three years which has made great contributions to crustal deformation study. We compute the GPS time series of all 25 permanent stations of CMONOC from March 1999 to March 2002 using GIPSY software of JPL. The average daily solutions of most GPS sites are over 850. The unfiltered GPS results are transferred to ITRF97 and then 10th-degree polynomialized for analysis. We can distinguish an annual period from the fitted curve of vertical time series. The crest and trough appearing at different season in different region indicates that the vertical accuracy of GPS measurements are mainly caused by atmosphere modeling error existing in the GPS computation. In order to study the crustal deformation, the GPS site must be established on stable bedrock. The repeated survey should be occupied at the same season and a long time series of GPS observations are necessary as well.

**Key words:** GPS fiducial station; time series; fitting

**About the first author:** QIAO Xuejun, associate researcher. His research fields are GPS/InSAR data analysis and crustal deformation.  
E-mail: xuejunq@sohu.com

(责任编辑: 洪晨)

(上接第 399 页)

## Difference Between the Integrated Water Vapor Calculated from Saastamoinen and Hopfield Models in High Elevation Area

QU Jianguang<sup>1</sup> WEI Xudong<sup>1</sup> WANG Zemin<sup>2</sup> ZHAO Quansheng<sup>3</sup>

(1 Heilongjiang Institute of Technology, 153 Zhongshan Road, Harbin, China, 150008)

(2 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

(3 Surveying and Mapping Institute of Beijing, 15 Yangfangdian Road, Beijing, China, 100038)

**Abstract:** The difference between the integrated water vapor (IWV) calculated from the Saastamoinen and Hopfield models in high elevation area is analysed. The analyses show that the IWV calculated from Saastamoinen model is good for the radiosonde data, and that Hopfield model tends to overpredict IWV in high elevation area. By analyzing and researching the real measurements in different elevation stations, the modified item of Hopfield model is given. The calculating result of Saastamoinen and Hopfield models are completely consistent.

**Key words:** Saastamoinen model; Hopfield model; zenith hydrostatic delay (ZHD); zenith wet delay (ZWD); integrated water vapor (IWV)

**About the first author:** QU Jianguang, associate professor, Ph. D candidate. His main research orientation is GPS meteorology.

(责任编辑: 洪伟)