

文章编号:1671-8860(2007)02-0152-04

文献标志码:A

# 利用 GPS 技术反演中国大陆水汽变化

王 勇<sup>1,2,3</sup> 柳林涛<sup>1</sup> 许厚泽<sup>1</sup> 黄应生<sup>1,3</sup>

(1 中国科学院测量与地球物理研究所,武汉市徐东路 340 号,430077)

(2 河北理工大学交通与测绘学院,唐山市新华西道 46 号,063000)

(3 中国科学院研究生院,北京市玉泉路 19 号,100049)

**摘要:**利用中国地壳运动监测网络 2004 年的 GPS 数据,结合测站对应气象要素,计算出大气中的水汽。采用张性样条网格化法绘制中国大陆地区 2004 年各月份的水汽变化图,得到了水汽含量整体变化趋势与中国年降水量分布趋势相一致的结论。

**关键词:**GPS 气象学;水汽;湿延迟;对流层延迟

**中图法分类号:**P228.42

水汽在大气中所占的比重很小,仅为 0.11%~3%<sup>[1]</sup>,但其直接影响大气的稳定性,大气中水汽随时空的变化对气象预报特别是水平尺度 100km 左右、生命史只有几 h 的中小尺度灾害性天气的监视和预报有着重要的意义<sup>[2,3]</sup>。时间、空间分辨率高的水汽资料将提高中小尺度的数值天气预报精度<sup>[4]</sup>。

地面 GPS 探测大气基本原理和 GPS 反演可降水量的过程已有很多研究<sup>[5]</sup>。笔者利用加拿大卡尔加里大学的水汽辐射计与 GPS 湿延迟(精密星历、快速预报星历)进行比较,结果表明,由快速预报星历和精密星历分别得到的 GPS 湿延迟与水汽辐射计的结果很相近,它们与水汽辐射计的差值的均方根分别为 1.52 cm 和 1.51 cm<sup>[10]</sup>。利用快速预报星历推算湿延迟和可降水量,可以达到与精密星历相同的精度,满足气象应用的要求,实现水汽的准实时预报。

本文利用中国地壳运动监测网络 2004 年 GPS 数据反演测站上空的对流层延迟,结合测站的温度、大气压气象要素,计算出测站上空的水汽含量。根据分布全国的 GPS 测站的水汽含量值,采用张性样条网格化法进行线性内插,绘制了 2004 年中国大陆 1~12 月的水汽变化图。

## 1 中国地壳运动观测网络 GPS 测站

利用 GPS 技术反演 2004 年中国大陆的水汽变化,采用的数据为中国地壳运动观测网络的 GPS 数据。中国地壳运动观测网络测站分布见图 1。

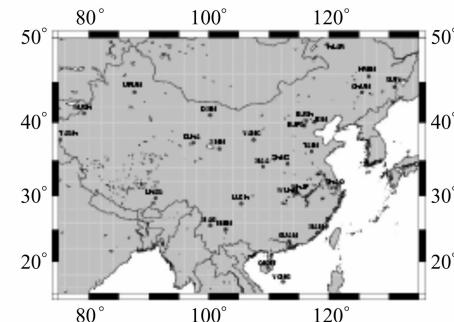


图 1 中国地壳运动监测网络 GPS 测站分布图

Fig. 1 GPS Station Distribution of China Crust Motion Network

利用中国地壳运动观测网络 2004 年的 GPS 数据,采用高精度定位定轨软件 GAMIT10.2 和 IGS 精密星历逐天解算出测站天顶对流层延迟。GPS 数据的采样间隔为 30 s,每天的观测时间为 UTC 时间 00:00~24:00。在用 GAMIT 处理

GPS 数据时,基线长度应长于 500 km,这样得到的各测站的湿延迟是独立的估计值;否则,结果会有偏差,这个偏差对于整个 GPS 网来说是一个常数(时间函数,与空间无关),从而得到的湿延迟为测站间的相对估计值<sup>[2,11,12]</sup>。由中国地壳运动观测网络 GPS 测站组成的基线大部分满足此要求,因而求解出来的对流层延迟为独立的估计值。

## 2 GPS 数据反演水汽

### 2.1 GPS 反演水汽与无线电探空资料的比较

利用中国地壳运动监测网络的 GPS 数据,采用高精度 GPS 定位定轨软件 GAMIT 解算出中国大陆上空的水汽变化。在进行此项工作以前,需要检验利用该网络 GPS 数据解算的可降水量的精度。为此,笔者收集了上海宝山站 2002 年第 190~199 日的无线电探空资料和该站的 GPS 观测资料及大气压数据。将上海宝山站 GPS 数据融入到中国地壳运动监测网络数据中,统一解算出测站上空的对流层延迟。利用气象基本观测资料解算出对流层干延迟,进而推导出上海宝山站第 190~199 日的可降水量。将宝山站的 GPS 可降水量与无线电探空的可降水量进行比较,见图 2。

对图 2 进行分析和计算,无线电探空数据与 GPS 可降水量两者之间的相关性达到 0.94,对无线电探空数据和 GPS 可降水量取差值,得到差值的均值为 -0.24 mm,均方根为 4.0 mm。

通过无线电探空资料与 GPS 可降水量的比较可以看出,利用 GPS 数据反演可降水量在精度

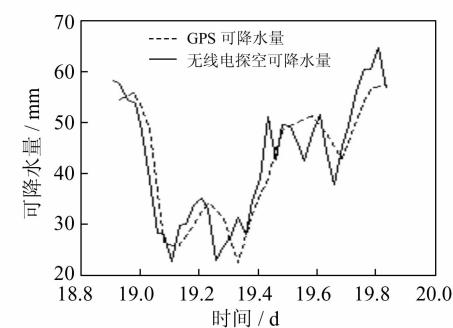


图 2 无线电探空资料与 GPS 反演的可降水量比较

Fig. 2 Comparison of Radiosonde and GPS/PWV

上是可行的。利用中国地壳运动监测网络的 GPS 数据反演中国大陆上空的可降水量是可信的。

### 2.2 中国地壳运动监测网络测站水汽计算

利用 GAMIT10.2 处理 2004 年中国地壳运动监测网络 GPS 数据,由计算结果中提取出对流层延迟,根据测站大气压和测站坐标采用干延迟模型(Black 模型)计算出干延迟,对流层湿延迟由对流层延迟和干延迟作差得到,湿延迟与可降水量间的转换系数取 0.15,这样就可以得到中国地壳运动监测网络各测站的可降水量。为了得到 2004 年中国大陆的水汽变化,对计算出来的可降水量进行月值计算,求出各测站的月均值。

## 3 2004 年中国大陆的水汽变化

根据计算出的测站一年的水汽值的月均值,采用张性样条网格化法,可以绘制出 1~12 月中国大陆的水汽变化图,见图 3~图 5。

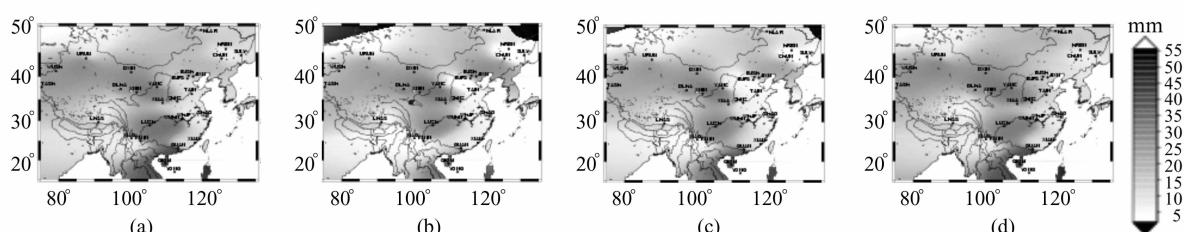


图 3 1 月~4 月中国大陆水汽变化图

Fig. 3 PWV Changes of Chinese Mainland from January to April

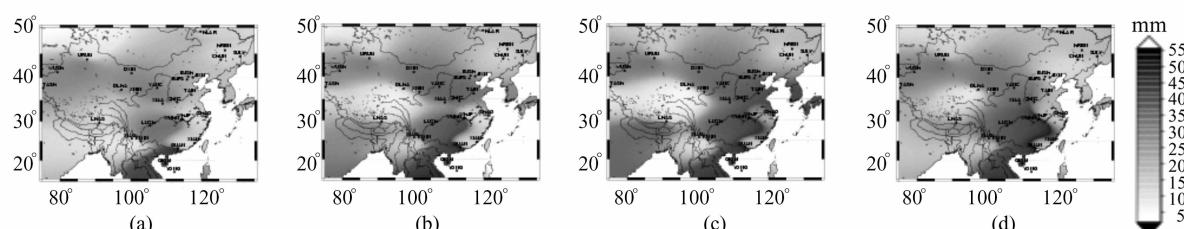


图 4 5 月~8 月中国大陆水汽变化图

Fig. 4 PWV Changes of Chinese Mainland from May to August

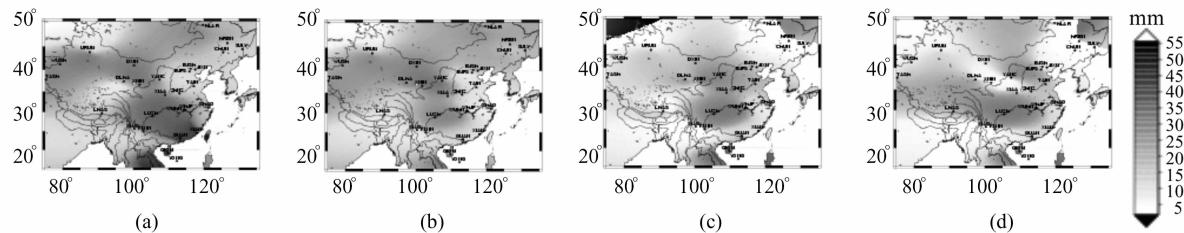


图 5 9月~12月中国大陆水汽变化图

Fig. 5 PWV Changes of Chinese Mainland from September to December

对1月~12月中国大陆地区的水汽变化图进行分析。水汽含量整体变化趋势是东南沿海向西北内陆逐渐递减,这与中国的年降水量分布趋势是一致的。

水汽含量的逐月变化趋势与我国上空的大气环流变化趋势是一致的。春秋季节和冬季阿留申低压势力较强,特别在冬季,强大的蒙古高压控制着我国广大的北方地区,阿留申低压与蒙古高压间存在着较大的气压梯度差,因此,近地面层盛行北偏西气流,大气由大陆流向北太平洋。因来自于大陆的空气水汽含量较低,因此,10月至4月,西北、华北和东北地区水汽含量始终较低,并且在1、2月份时处于最低值。春分(3月21日)以后,大气环流形势逐渐发生重大转变。东南季风和西南季风势力开始加强,控制中国广阔北方地区的干冷的偏北气流逐渐为暖湿的偏南气流所取代,东南季风向东北和华中、华北、东北地区输送了大量水汽,大气中的水汽含量随之上升。因此,4月到9月,我国的中部和北部大部分地区大气中的水汽值较高,并且在7、8月份时达到最高值。9月,西太平洋副高势力减弱,东南季风由东北向华南迅速回撤,所以,东北的水汽含量开始下降,随之,华北、华中和华南的水汽含量也开始下降,这一过程一直持续到1、2月份。由于华南及东南地区受东南暖湿气流的影响更大,所以,华南、东南地区的水汽含量在全国各地区中一直是最高的。并且,在7、8月,由于台风对华南沿海和东南沿海的影响,华南、东南沿海地区的水汽含量值在全年中最高。

## 4 结语

利用GPS技术反演中国大陆的水汽,水汽含量整体变化趋势是东南沿海向西北内陆逐渐递减,这与中国的年降水量分布趋势是一致的。中国大陆地区大气中的水汽值在7、8月份达到最高值,在1、2月份处于最低值。东南沿海一带的水

汽值最高,内陆地区次之,高原地区的水汽值最低。

GPS是一种监测可降水量变化的有效手段,连续的GPS测量能较好地确定可降水量的时空分布。GPS用于探测大气中的水汽,可以作为现有观测手段的一种有益的补充。

致谢:上海天文台朱文耀研究员、同济大学王解先教授提供无线电探空资料和水汽辐射计数据,在此深表感谢。

## 参考文献

- [1] 毕研盟,毛节泰,杨光林,等.地基GPS遥感观测安徽地区水汽特征[J].气象科技,2004(4):225-228
- [2] 宋淑丽.地基GPS网对水汽三维分布的监测及其在气象学中的应用[D].上海:中国科学院上海天文台,2004
- [3] 谷晓平.GPS水汽反演及降雨预报方法研究[D].北京:中国农业大学,2004
- [4] Baker H C, Dodson A H, Penna N T, et al. Ground-Based GPS Water Vapor Estimation: Potential for Meteorological Forecasting[J]. Journal of Atmospheric and Solar of Terrestrial Physics, 2001, 63:1 305-1 314
- [5] Businger S, Chiswell S R, Bevis M. The Promise of GPS in Atmospheric Monitoring[J]. Bullet of the American Meteorological Society, 1996, 77:5-18
- [6] 周忠漠,易杰军,周琪.GPS卫星测量原理与应用[M].北京:测绘出版社,1999
- [7] Haase J. ZTD Water Vapor in the Western Mediterranean[J]. Bullet of the American Meterological Society, 2002, 83: 9-10
- [8] 曲建光.GPS遥感气象要素的理论与应用研究[D].武汉:武汉大学,2005
- [9] Liou Yueian, Huang Chengyung, Teng Yutun. Precipitable Water Observed by Grounded-based GPS Receivers and Microwave Radiometry [J]. Earth Planets Space, 2000, 52:445-450
- [10] 王勇,柳林涛,刘根友.基于水汽辐射计与GPS湿延迟的对比研究[J].大地测量与地球动力学,2005(3):110-113

- [11] Duan J, Bevis M, Fang P, et al. GPS Meteorology: Direct Estimation of the Absolute Value of Precipitable Water[J]. *J Appl Meteorol*, 1996, 35: 830-838
- [12] 李征航,徐晓华,罗佳,等. 利用 GPS 观测反演三峡

地区对流层湿延迟的分布及变化[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2003,28(4):393-396

第一作者简介:王勇,博士生,研究方向为 GPS 气象学。  
E-mail: wangyongjz@126.com

## Retrieving Change of Precipitable Water Vapor in Chinese Mainland by GPS Technique

WANG Yong<sup>1, 2, 3</sup> LIU Lintao<sup>1</sup> XU Houze<sup>1</sup> HUANG Yingsheng<sup>1, 3</sup>

(1) Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 340 Xudong Road, Wuhan 430077, China)

(2) School of Traffic and Surveying, Hebei Polytechnic University, 46 West Xinhua Road, Tangshan 063000, China)

(3) Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 19 Yuquan Road, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The feasibility of GPS precipitable water vapor is discussed according to the comparison of Radiosonde and GPS precipitable water vapor which the correlation coefficient was 0.94 and the RMS was 4.0 mm. Precipitable water vapor change in Chinese mainland in 2004 is figured with the gridding method of splines in tension, according to the GPS data of the crust monitor observation network of China, combined with the relevant meteorology information. According to the distribution of Chinese annual amount of rainfall, it can be concluded that the total trend of the precipitable water vapor is diminishing from the south-east coastland to the north-west inland. In China, the precipitable water vapor reaches the apex during July and August, and it countermarches the trough during January and February. According to the precipitable water vapor, from high to low, all districts can be ranked as south-east coastland, the inland and the tableland.

**Key words:** GPS-meteorology; precipitable water vapor; zenith wet delay; zenith troposphere delay

**About the first author:** WANG Yong, Ph.D candidate, majors in GPS-meteorology.

E-mail: wangyongjz@126.com

### 下期主要内容预告

- |                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| ► 信息化测绘体系的定位与框架                     | 李德仁,等 |
| ► 基于 Bayesian 线性规划的影像纹理的识别方法        | 郑肇葆   |
| ► 一种复杂轮廓线的真三维 TIN 算法                | 朱 庆,等 |
| ► 铅垂线辅助城区航空影像的绝对定向                  | 张剑清,等 |
| ► 重力均衡与地形波长——兼论均衡理论不适宜于珠峰重力值的推估     | 张赤军,等 |
| ► 基于 Internet 的 VRS/RTK 定位算法模型及实验研究 | 黄丁发,等 |
| ► 海洋测深波束角效应改正的海底倾斜角求解差分算法           | 肖付民,等 |
| ► 基于方差分量估计的 CHAMP 重力场恢复方法           | 徐天河,等 |