

基于经验模态分解的 GPS 可降水量变化研究^{* 1}

刘严萍¹⁾ 王 勇²⁾ 闻德保³⁾

(1)中南大学土木工程学院,长沙 410075
(2)天津城建大学地质与测绘学院,天津 300384
(3)长沙理工大学交通运输工程学院,长沙 410004)

摘 要 选取中国地壳运动监测网 2000 ~ 2004 年数据,使用高精度定位定轨软件 GAMIT 处理,得到各测站可降水量时间序列,继而采用经验模态分解并提取各站可降水量变化趋势。对处于不同气候类型区域的 GPS 站可降水量进行分析,结果显示,处于热带季风气候、亚热带季风气候、温带大陆性气候和青藏高原高寒气候等区域的 GPS 站的可降水量变化趋势为先升后降;处于温带季风气候区域的 GPS 站点的可降水量变化为先降后升。

关键词 GPS;经验模态分解;可降水量;中国地壳运动监测网络

中图分类号:P228.42

文献标识码:A

STUDY ON CHANGE OF PRECIPITABLE WATER VAPOR WITH GPS BASED ON EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION

Liu Yanping¹⁾, Wang Yong²⁾, Wen Debao³⁾

(1) School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075
(2) School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian Univesity, Tianjin 300384
(3) School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of
Science & Technology, Changsha 410004

Abstract A method of empirical mode decomposition was used to processe precipitable water vapor time series during 2000 – 2004 from GPS data of Crustal Movement Observation Network of China(CMONOC) and change trend of precipitable water vapor at every GPS station was obtained. The result of classification and comparison for the change trend indicates that the change trend in tropical monsoon climate zone, monsoon climate of subtropical zone, temperate continental climate zone and alpine climate zone is first up and then down; the change trend in temperate monsoon climate zone is first down and then up.

Key words: GPS; empirical mode decomposition; precipitable water vapor; CMONOC

大气中水汽含量的变化,对水平尺度 100 km 左右、生命史仅有几小时的中小尺度灾害性天气的监测具有重要意义^[1]。1992 年 Bevis 等^[2]提出地基

GPS 的大气水汽含量估算原理。国内外在该领域出现一些代表性成果^[3-9],为 GPS 技术在气象学领域的应用奠定了基础。中国大陆构造环境监测网络于

* 收稿日期:2013-05-17

基金项目:湖南省研究生科研创新项目(CX2012B061);大地测量与地球动力学国家重点实验室开放基金项目(SKLGED2013-5-5-E);河北省教育厅重点项目(ZH2012060);国家自然科学基金项目(41174001)。

作者简介:刘严萍,女,1979 年生,讲师,博士生,主要从事 GPS 应用研究。E-mail:liuxiawy@126.com。

通讯作者:王勇,男,1978 年生,博士,教授,主要从事 GPS 气象学、InSAR 大气校正研究。E-mail:wangyongjz@126.com。

2012-03 正式运行,涵盖 260 个连续观测站,气象学应用是其重要应用领域。随着多个省级、市级 GPS 连续观测网的建成运行,历史观测数据逐步积累,从而使得长时序的 GPS 数据在气候领域的研究呈现广阔研究空间。本文将针对 2000 ~ 2004 年的中国地壳运动监测网络数据,开展短时气候变化研究,以期为国内 GPS 气象学的气候变化研究提供参考。

1 GPS 对流层延迟解算与可靠性验证

1.1 对流层延迟解算处理

选取中国地壳运动监测网络 2000 ~ 2004 年的数据,使用 GAMIT 软件处理。星历采用 IGS 精密星历,采样间隔 30 s,UTC 时间 00:00 ~ 24:00,截止高度角 10°,模式为 Relax,每小时估算一个对流层延

迟值。对于中国地壳运动监测网络而言,测站间距大于 500 km,对流层延迟为绝对值。GAMIT 处理 GPS 数据后,提取 5 a 各测站的对流层延迟序列。

1.2 GPS 结果可靠性验证

IGS 提供的 GPS 站对流层延迟值具有较高精度。中国地壳运动监测网络有若干 GPS 站,本文以 LHAS、WUHN 两站为验证样本,与对应的 IGS 提供的对流层延迟值比较,见图 1。图中实线为 IGS 对流层延迟,三角形点线为作者利用中国地壳运动监测网络解算的对流层延迟。

由图 1 可见,WUHN 站对流层延迟与 IGS 对流层延迟非常吻合,LHAS 站对流层延迟与 IGS 结果基本一致,证明本文解算的对流层延迟结果准确可靠。

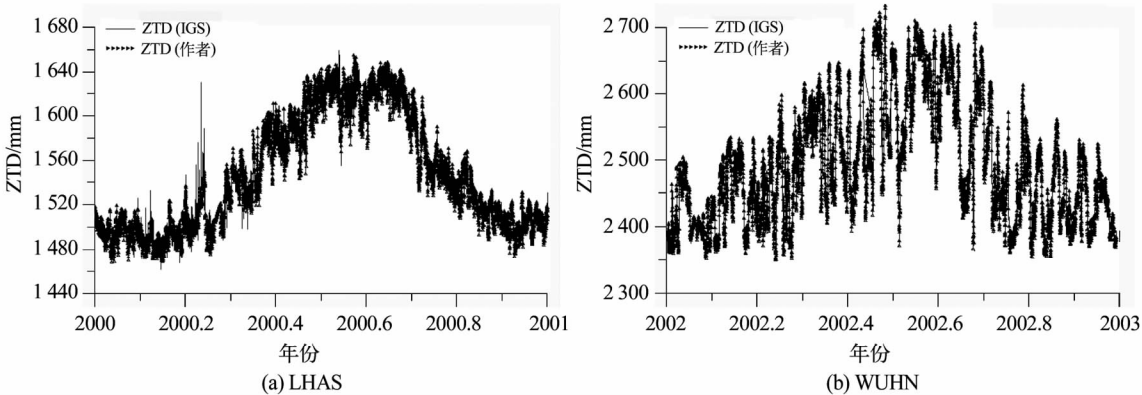


图 1 作者解算对流层延迟与 IGS 对流层延迟比较

Fig. 1 Comparison of tropospheric delay solved by authors with that by IGS

2 基于经验模态分解的 GPS 可降水量趋势项提取

经验模态分解 (empirical mode decomposition, 简称 EMD) 是 Huang 等^[10]于 1998 年提出的,可对非平稳数据进行平稳化处理,将复杂信号分解为有限本征模函数 (IMF) 和趋势项,各 IMF 分量含原信号不同时间尺度的局部特征。经验模态分解的理论及实现过程见文献^[11-12]。

在提取中国地壳运动监测网络各 GPS 站 2000 ~ 2004 年对流层延迟序列的基础上,结合同期气压、温度观测值,经 Black 模型处理,得到相应站的可降水量序列^[9]。部分 GPS 站点因无相应的气象观测数据,未得可降水量序列。对能获可降水量序列的 14 个站,使用经验模态分解并提取趋势项,用于分析不同气候类型的 GPS 可降水量变化情况。

3 不同气候类型的 GPS 可降水量变化

QION 处于热带季风气候区域。由图 2 可见,该站的 GPS 可降水量变化趋势为 2000 ~ 2002 年缓升,2002 ~ 2004 年降 (从 42 mm 降至 39 mm)。

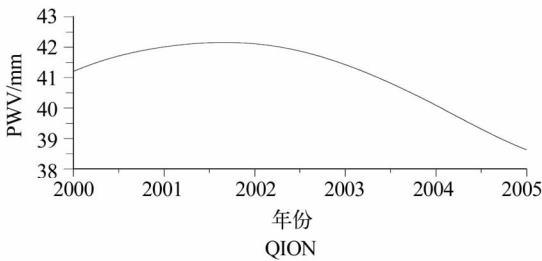


图 2 GPS 可降水量变化趋势 (热带季风气候类型)

Fig. 2 The trend of GPS precipitable water vapor (tropical monsoon climate)

中国地壳运动监测网络的 WUHN, SHAO、KMIN、GUAN、XIAM 位于亚热带季风气候类型区域^[13]。由图 3 可见,处于该气候区域的大部分 GPS 站,除 KMIN 站外,可降水量总体变化趋势为降。

GUAN 和 XIAM 两站可降水量变化为平缓上升,后再持续下降。SHAO 在 2002-06 之前升,此后降。WUHN 站可降水量变化为降-缓升-降。KMIN 站点海拔明显高于其他站,因而该站可降水量变化趋势为先降后升。

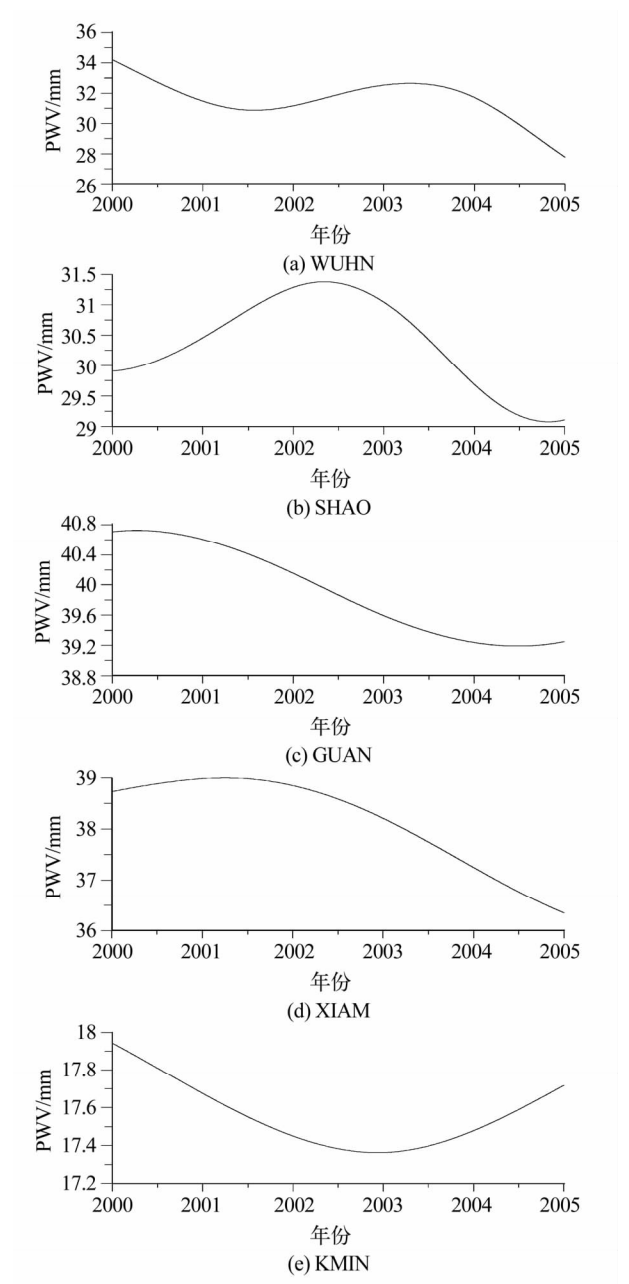


图3 GPS 可降水量变化趋势(亚热带季风气候类型)
Fig.3 The trend of GPS precipitable water vapor(sub-tropical monsoon climate)

温带季风气候范围为北纬 35° ~ 55°。从图 4 可见,该气候类型的 4 个站的可降水量变化趋势基本一致,变化趋势为先降后升。

URUM 站点属于温带大陆性气候。从图 5 可以看出,URUM 站可降水量变化趋势为先升后降。

处于青藏高原高寒气候区域的 GPS 站的可降水量明显低于其他区域,原因可能是其温度低、海拔高。

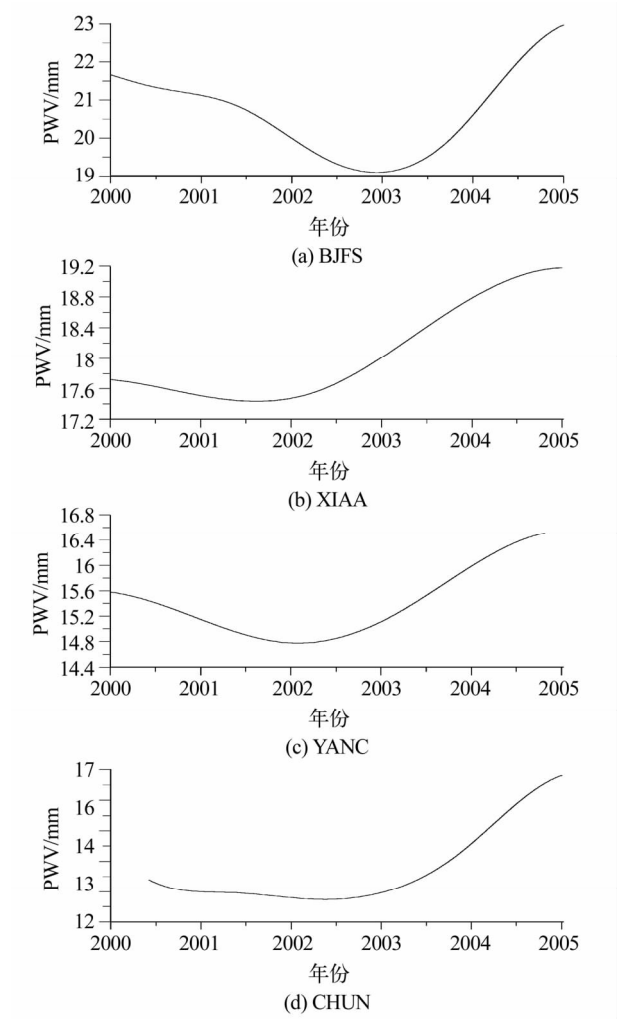


图4 GPS 可降水量变化趋势(温带季风气候类型)
Fig.4 The trend of GPS precipitable water vapor(temperate monsoon climate)

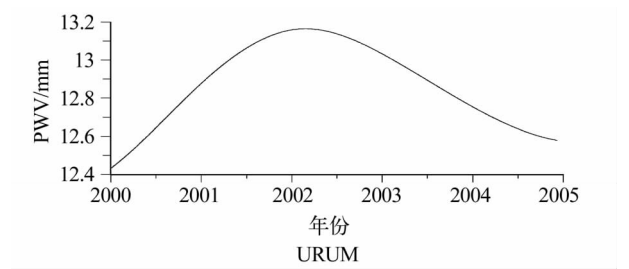


图5 GPS 可降水量变化趋势(温带大陆性气候类型)
Fig.5 The trend of GPS precipitable water vapor(temperate continental climate)

由图 6 可知,XNIN 与 LHAS 两站的可降水量变化趋势为上升,而 DLHA 站的变化趋势为缓升-下降。

4 结 论

选取中国地壳运动监测网络的 GPS 数据,结合气象数据,处理并获得各站 GPS 可降水量序列,继而用经验模态分解得到各站点的可降水量变化趋势,按照中国气候类型对各站点进行划分并比较。除温带

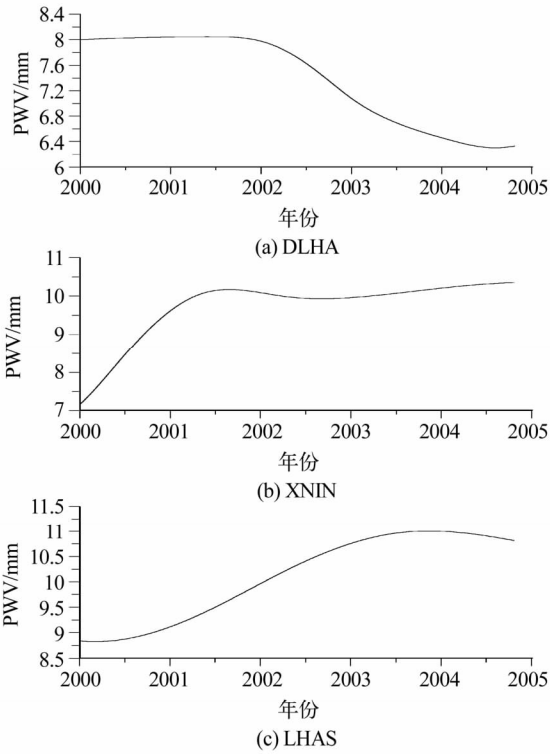


图6 GPS 可降水量变化趋势(青藏高原高寒气候类型)
Fig.6 The trend of GPS precipitable water vapor(Alpine climate)

季风气候类型的 GPS 站可降水量变化为先降后升外,其他气候类型区域的大部分 GPS 站的可降水量变化均呈现先升后降的趋势特点。本文仅基于 2000~2004 年数据进行研究,下一步可望针对更多的中国陆态环境监测网络 GPS 站、更长期的观测数据,进行该方法的研究和验证。

参 考 文 献

1 王勇,柳林涛,许厚泽,等. 利用 GPS 技术反演中国大陆水汽变化[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2007,32(2):152-155. (Wang Yong, Liu Lintao, Xu Houze, et al. Retrieving change of precipitable water vapor in chinese mainland by GPS technique[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32(2): 152-155)

2 Bevis M, Businger S, Herring T A, et al. GPS meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system[J]. J Geophys Res, 1992, 97: 15 787-15 801.

3 袁招洪,顾松山,丁金才. 数值模式预报延迟量与 GPS 测量的比较研究[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 581-290. (Yuan Zhaohong, Gu Songshan, Ding Jincai. Comparison of MM5 model-simulated and GPS-observed zenith delay[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006, 29(5): 581-290)

4 李国翠,李国平,陈小雷. 强降雪天气中 GPS 可降水量与地面空气湿度的综合分析[J]. 高原气象, 2011, 30(6): 1 626-1 632. (Li Guocui, Li Guoping, Chen Xiaolei. Comprehensive analyses on GPS precipitable water vapor and surface humidity parameters during severe snowfall weather[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(6): 1 626-1 632)

5 李国平,陈娇娜,郝丽萍. 基于 GPS-PWV 的不同云系降水个例的综合分析[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2011, 36(4): 384-388. (Li Guoping, Chen Jiaona, Hao Liping. Case study of the rainfall processes in different cloud systems based on GPS-PWV data in chengdu plain[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(4): 384-388)

6 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:中科院上海天文台, 2004. (Song Shuli. Sensing three dimensional water vapor structure with ground-based GPS network and the application in meteorology [D]. Shnghai: Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, 2004)

7 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.

8 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. (Li Zhenghang, Xu Xiaohua, Luo Jia, et al. Inversion of the distribution and variation of ZWD over the Three Gorge area with GPS observation[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University 2003, 28(4): 393-396)

9 王勇,刘严萍. 地基 GPS 气象学原理与应用研究[M]. 北京:测绘出版社, 2012. (Wang Yong, Liu Yanping. Theory and application of ground-based GPS meteorology [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2012)

10 Norden E H, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[D]. Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998.

11 王勇,杨晶,张立辉,等. 基于经验模态分解与神经网络的信号预测[J]. 大地测量与地球动力学, 2011(6): 121-124. (Wang Yong, Yang Jing, Zhang Lihui, et al. Analysis of signal prediciton based on EMD and ANN[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011(6): 121-124)

12 朱金龙,邱晓辉. 正交多项式拟合在 EMD 算法端点问题中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2006, 23(2): 72-74. (Zhu Jinlong, Qiu Xiaohui. Application with orthogonal polynomial algorithm in the empirical mode decomposition endpoint problem [J]. Computer Engineering and Application, 2006, 23(2): 72-74)

13 邹友峰,王勇,闻德保,等. 利用不同气候类型的 GPS 可降水量比较研究[J]. 武汉大学学报:信息科学报, 2012, 37(5): 573-576. (Zou Youfeng, Wang Yong, Wen Debao, et al. GPS precipitable water vapor of different climate types [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(5): 573-576)