

文章编号: 1006-4354 (2013) 03-0028-03

# 基于精密单点定位的 GPS 水汽解算及应用

杨晓春<sup>1</sup>, 张鹏飞<sup>2</sup>, 王建鹏<sup>1</sup>, 杜萌萌<sup>1</sup>

(1. 西安市气象局, 西安 710016; 2. 长安大学地质工程与测绘学院, 西安 710054)

**摘要:** 为了检验精密单点定位技术 (Precise Point Positioning, 简称 PPP) 能否满足气象部门对 GPS 水汽解算精度的需求, 采用 PPP 模式获取 GPS 水汽解算中的参数, 并与双差网解法得到的结果对比, 证明了两种方法的等价性。同时将 PPP 模式的解算结果应用于西安地区一次降水过程的分析中, 结果表明, 基于 PPP 模式的地基 GPS 水汽探测方式可有效弥补常规探测手段的不足。

**关键词:** GPS; PPP 法; 水汽解算; 降水

**中图分类号:** P409

**文献标识码:** A

全球导航卫星系统 GNSS (Global Navigation Satellite System) 的不断发展为 GPS 气象学的发展带来了新的契机。近年来, 国内区域 GNSS 连续跟踪站不断加密, 利用丰富的地基 GNSS 信号资源实时探测水汽空间分布可广泛应用于天气分析与预报中。国内外诸多学者利用 GPS/PWV (Precipitable Water Vapor, 大气可降水量) 资料研究天气变化, 特别是对降水预报做了大量的研究。Suelynn Choy 利用 GPS 资料分析了澳大利亚一次暴雨过程, 结果表明 GPS/PWV 的时空变化与暴雨过境强相关<sup>[1]</sup>。国内方面, 姚建群对一次大到暴雨过程进行了分析, 得出可降水量出现 50 mm 的时间与实际降水的开始、结束时间有着较好的对应关系<sup>[2]</sup>; 曹云昌等、梁丰等分别利用局地实验资料分析了可降水量与局地降水之间的定量关系<sup>[3-4]</sup>; 宋淑丽利用 GPS/PWV 对长江中下游地区的雷暴雨短期预报做了统计分析<sup>[5]</sup>; 李国平等对地基 GPS 资料反映天气变化进行了系统分析<sup>[6]</sup>。众多学者的研究成果推动了地基 GPS 资料在降水预报方面的研究, 使高时空分辨率地基 GPS 遥感水汽技术成为反演水汽空间分布的一种极其有效的探测手段, 为传统大气探测手段提供了有力补

充。

目前, 常用的利用地基 GPS 观测值估计天顶方向的大气延迟方法包括双差网解法和精密单点定位法。双差网解法, 习惯上称为网解, 通常将若干个观测站组成 GPS 网, 根据 GPS 站间、卫星轨道间和站星间的相对空间位置关系, 在最小二乘或其他准则下联合解算出卫星的轨道参数、测站位置参数、大气折射参数、地球动力学参数、钟差参数和模糊度参数等。网解模式是目前 GPS 数据处理中的主流方式, 其精度高, 但解算过程较为复杂。根据其解算原理, 对于  $N$  个 GPS 站点, 其解算复杂度至少是  $O(N^3)$ 。1997 年, 美国喷气推进实验室 (JPL) 的 Zumbege 提出新的数据处理方式——精密单点定位技术 (Precise Point Positioning, 简称 PPP), 有效解决了计算时间的问题<sup>[7]</sup>, 对于  $N$  个 GPS 站点, 其解算复杂度至少是  $O(N)$ , 可见相比双差网解法, 解算效率大为提升。文献 [8] 中, 对超过 220 个 GPS 站的数据运用精密单点定位技术, 15 min 内即解算完毕。精密单点定位技术解决了实时数据处理问题, 但这种方法的解算结果能否满足气象部门对 GPS 水汽解算精度的需要值得关注。尝试用模型

**收稿日期:** 2012-12-05

**基金项目:** 陕西省气象局科技创新基金计划项目 (2011M-9) 和陕西省气象局“火车头计划”数值模式应用研究团队共同资助。

**作者简介:** 杨晓春 (1984—), 女, 汉族, 陕西安塞人, 硕士, 工程师, 主要从事天气气候研究。

简单、解算效率高的 PPP 模式获得 GPS 水汽解算中的参数, 比较验证其与网解模式的等价性。

## 1 基本原理

PPP 法具有估计模型简单、站与站之间不相关、无需引入远距离测站联网解算、可直接求解

$$\lambda\varphi_{i,L}^j(t_i) - \sum_{\varphi_{i,L}^j}(t_i) = \rho_i^j(t_i - \tau_i^j, t_i) + c\delta t_{i,L}(t_i) - c\delta t^{j,L}(t_i - \tau_i^j) + T_i(t_i) + \lambda N_{i,L}^j + M_{i,L}^j + \varepsilon_{\varphi_{i,L}^j}(t_i), \quad (1)$$

$$P_{i,p}^j(t_i) - \sum_{P_{i,p}^j}(t_i) = \rho_i^j(t_i - \tau_i^j, t_i) + c\delta t_{i,p}(t_i) - c\delta t^{j,p}(t_i - \tau_i^j) + T_i(t_i) + M_{i,p}^j + \varepsilon_{P_{i,p}^j}(t_i), \quad (2)$$

公式(1)、(2)中  $\lambda$  为相位组合观测值的波长,  $i$  为接收机编号,  $j$  为卫星编号,  $L$  为无电离层组合后的虚拟载波,  $P$  为伪距观测值;  $\varphi_{i,L}^j$  为无电离层延迟的相位观测值,  $P_{i,p}^j$  为无电离层延迟的伪距观测值,  $\rho_i^j(t_i - \tau_i^j, t_i)$  为接收机  $i$  在时刻  $t_i$  与卫星  $j$  在时刻  $t_i - \tau_i^j$  的空间几何距离,  $c$  为真空中的光速,  $\delta t$  为接收机钟差,  $T$  为对流层延迟,  $M$  为载波相位和伪距的多路径效应或信号散射。

## 2 PPP 解与双差解的等价性

分别采用双差法与 PPP 法解算西安地区户县站(HUXD)2011年7月4—8日(GPS年积日185—189日)的GPS原始数据, 并对两种方法获取的ZTD进行对比分析(见图1)。图1表明, 在水汽剧烈变化的时段, 两种模式获得的ZTD均能较好地表现水汽的变幅, 相对于双差法解算的ZTD结果, PPP法不论在高值区还是低值区均与其有较好的一致性, 在水汽监测中可以满足应用需求。但同时也可以看到, PPP法的解算结果变幅较大, 数据稳定性略差, 在精密数据研究中需辅助以其他方法, 以提高数据的稳定性。

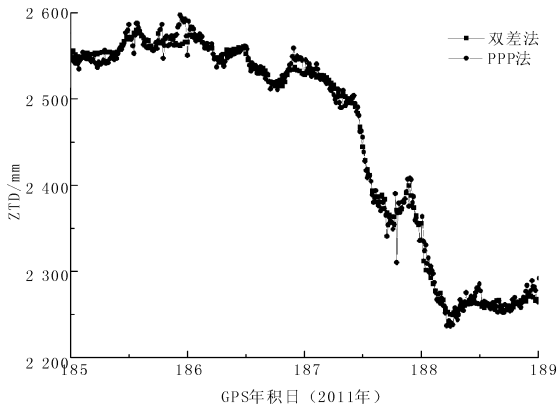


图1 双差法与PPP法获得ZTD比较图

## 3 PPP法对一次降水过程的分析

考虑到PPP法在解算效率上的优势, 采用

大气延迟各向异性参数、大气斜路径水汽量, 同时具有处理大规模数据速度快等优点, 适合实时或准实时处理GPS水汽观测数据。利用PPP获取对流层天顶总延迟(ZTD)通常由双频非差观测方程得到消除电离层影响的组合观测方程

PPP法获得天顶总延迟, 并利用UNB3M(University of New Brunswick 3 modify)模型求解天顶干延迟, 最终得到西安地区GPS基网的水汽分布, 以此研究降水过程中总水汽的时间变化特征。

2011年7月4—6日西安出现当年入汛以来最大的一次降水过程, 各区县普降中到大雨, 南部山区大到暴雨, 整个降水过程的降水量为30.4—52.6 mm。图2为利用PPP法获取的单站GPS/PWV在本次降水过程中的时间序列图。

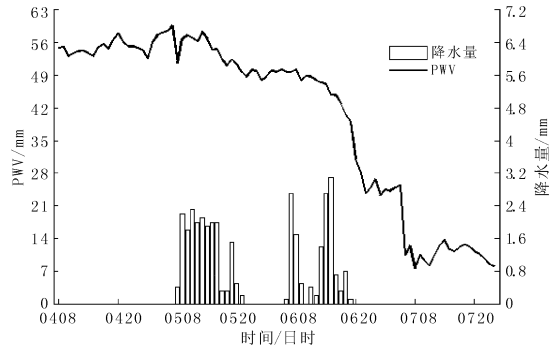


图2 2011年7月4—6日GPS/PWV与小时降水量时间序列图

图2表明大气中充足的可降水量(水汽)是降水产生的先决条件。降水开始前, 可降水量长时间处于高值区域是降水产生的先兆; 降水期间, 可降水量持续维持高值水平意味着降水的持续。降水强度极大值与可降水量的极大值出现时间不一定吻合, 但强降水通常出现在可降水量的高值阶段, 可降水量的迅速下降预示着降水即将结束。利用地基GPS获取高时间和空间分辨率的水汽分布, 有效弥补常规探测手段的不足, 可以使预报员更加细致地了解降水发生前后空中水汽含量的变化, 也可以作为降水预报的有利参考。

文章编号: 1006-4354 (2013) 03-0030-03

# 时间和空间一致性在地温数据质量控制中的应用

妙娟利

(陕西省气象信息中心, 西安 710014)

中图分类号: P413

文献标识码: B

随着地面自动气象站的使用, 多年的人工观测系统逐渐被自动观测系统所取代。自动站资料在报送中国气象局之前, 台站和省级都要进行质量控制。近年来, 我国许多科研人员对质量控制系统进行了研制<sup>[1-3]</sup>, 也有学者对部分或单个气象要素的质量控制方法进行了较为详细的分析研究<sup>[4]</sup>, 但对地温要素的研究较少。

我国气象部门地面观测网自动气象站统一使用铂电阻地温传感器测量不同层次的土壤温度, 各省大气探测中心每两年对全省气象站的地温传感器进行一轮现场检定, 将误差调整在允许范围之内。由于传感器的性能参数漂移、检定设备质量和操作人员技术水平等因素, 造成检定后数据异常<sup>[5]</sup>, 表现为某层地温数据突然升高或降低。由

收稿日期: 2013-01-31

基金项目: 陕西省气象局科技创新基金计划项目 (2010M-59)

作者简介: 妙娟利 (1977—), 女, 陕西岐山人, 学士, 工程师, 从事地面气象数据质量控制与资料应用。

## 4 结论

PPP 法与双差法获得的 ZTD 是等价的, 在气象业务应用中完全可以用 PPP 法取代双差法反演水汽。地基 GPS 可降水量的变化与降水开始、结束有密切的关系, 准确、高效率地 GPS/PWV 解算可以为降水预报提供有力支撑。

### 参考文献:

- [1] Choy Suelynn, Zhang Kefei, Wang Chuan-sheng, et al. Remote sensing of the earth's lower atmosphere during severe weather events using GPS technology: a study in victoria Australia [C] //Proceedings of the 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation. Portland, 2011: 559-571.
- [2] 姚建群, 丁金才, 王坚捍, 等. 用 GPS 可降水量资料对一次大暴雨过程的分析 [J]. 气象, 2005, 31 (4): 48-52.
- [3] 曹云昌, 方宗义, 夏青. GPS 遥感的大气可降水量

与局地降水关系的初步分析 [J]. 应用气象学报, 2005, 16 (1): 54-59.

- [4] 梁丰, 李成才, 王迎春, 等. 应用区域地基全球定位系统观测分析北京地区大气总水汽量 [J]. 大气科学, 2003, 27 (2): 236-244.
- [5] 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.
- [6] 李国平. 地基 GPS 遥感大气可降水量及其在气象中的应用研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [7] Zumberge J F, Heflin M B, Jefferson D C, et al. Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 1997, 102 (B3): 5005-5018.
- [8] 刘焱雄, 彭琳, 周兴华, 等. 网解和 PPP 解的等价性 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30 (8): 732-738.