

# 地基 GPS 遥测大气可降水量应用精度和范围

陈小雷<sup>1,2</sup> 景华<sup>1</sup> 仝美然<sup>1</sup> 张南<sup>1,2</sup>

(1 河北省气象台, 2 河北省气象与生态环境重点实验室, 石家庄 050021)

**摘要** 利用 2005 年 6~8 河北省石家庄、张家口两个地基 GPS 站反演得到的大气可降水量资料,对探空资料计算的大气可降水量和 GPS 反演的大气可降水量进行比较,并通过 2007 年 7 月 17~19 日河北中南部一次强降水过程的个例分析,发现 GPS 资料反演的大气可降水量略高于探空站资料的计算结果,但两种资料的可降水量计算结果变化趋势一致,GPS 反演的大气可降水量具有较高的使用价值,但单站 GPS 反演的大气可降水量有效半径距离具有一定限度。

**关键词** 地基 GPS 大气可降水量 精度 有效半径距离

## 引言

目前 GPS 气象学(GPS Meteorology)迅速发展成为一个前沿性、多学科交叉的研究领域,利用 GPS 技术遥测大气降水量的研究取得很大进展。GPS 气象学是指利用全球卫星导航技术(GPS)主动遥感地球大气层,通过测量穿过大气层的 GPS 信号的延迟来获得大气折射率进而从中得到温、压、湿等信息,反演出的大气可降水量在气象领域得到了广泛的应用<sup>[1~3]</sup>。但是,利用 GPS 反演出的大气可降水量与常规资料计算的大气可降水量二者精度如何,单站 GPS 反演出的大气可降水量可用范围多大也是人们普遍关注的课题。为此,本文通过单站 GPS 反演的大气可降水量值与探空资料计算的大气可降水量进行比较,并通过降水个例分析,对单站 GPS 资料反演的大气可降水量应用范围进行了探讨。

## 1 地基 GPS 遥测大气可降水量基本原理

GPS 卫星发射的 L 波段无线电波信号在穿过大气层时,受到电离层电子和平流层、对流层大气的折射,由于速度的减弱和路径的弯曲造成信号的延迟。大气延迟量可分为电离层延迟、静力延迟和湿

延迟,电离层延迟、静力延迟分别通过双频技术、地面气象要素订正得出,最终通过得到的湿延迟可以解算出精确的大气可降水量<sup>[4,5]</sup>。

## 2 河北 GPS 观测和探空观测的大气可降水量比较

地基 GPS 估计大气降水量的精度一直是气象工作者比较关注的问题,为了证实地基 GPS 技术遥感降水量的可行性和准确性,经常以探空资料作为标准评价<sup>[6~8]</sup>。为了验证 GPS 资料反演大气降水量的有效性,我们对石家庄、张家口两站 GPS 反演的大气可降水量与利用常规探空资料计算的大气可降水量进行了比较。利用 2005 年 6~8 月张家口、邢台每天两次探空和张家口、石家庄 GPS 同时刻的值进行比较分析,发现 GPS 与探空两种探测资料计算结果的数值差:张家口站为 2.84 mm。平均来说 GPS 反演的可降水量要略高于探空站资料的计算结果。但两种资料的大气可降水量计算结果的变化趋势是一致的(图 1)。1998 年 5~6 月的“海峡两岸及邻近地区暴雨试验”,试验中应用探空和地面降水资料与 GPS 反演结果进行了比较分析,地基 GPS 反演的大气可降水量与探空得到的大气可降水量,二者随时间演变的趋势一致<sup>[9]</sup>,与河北试验的结果基本也是一致的。

中国气象局“地基 GPS 水汽遥感监测和应用”、“京津冀地区地基 GPS 大气水汽观测资料应用研究”和河北省气象局“GPS 水汽探测网业务应用系统开发”课题共同资助

作者简介:陈小雷,男,1965 年生,高级工程师,从事地基 GPS 水汽应用研究,Email:sjz\_cxl@yahoo.com.cn

收稿日期:2007 年 10 月 19 日;定稿日期:2008 年 3 月 14 日

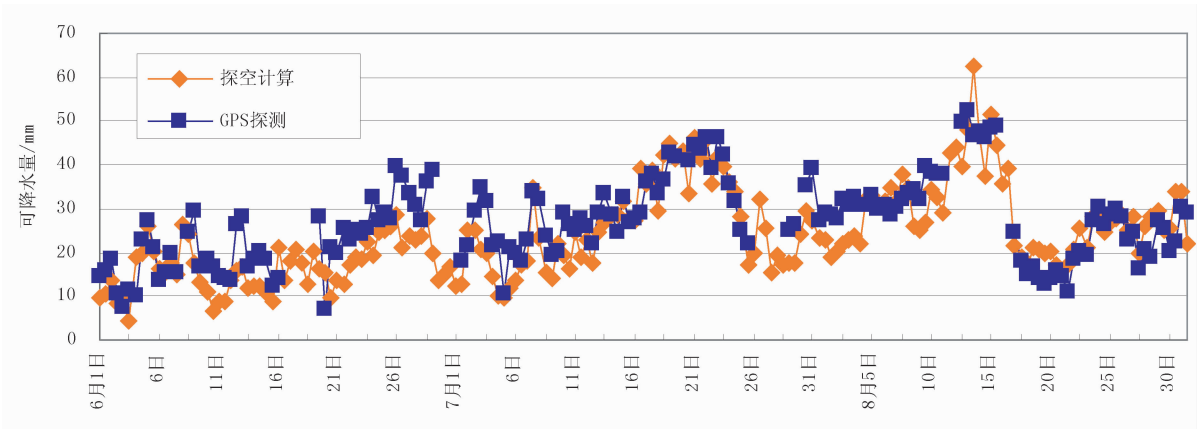


图 1 2005 年 6~8 月张家口站 GPS 与探空两种计算可降水量对比

对比分析张家口站两种资料的反演结果,6~8 月资料数据完整的共 161 次。其中数值差  $A < 0$  有 53 次,  $A > 0$  为 108 次;从 GPS 与探空两种探测资料计算结果差值绝对值  $|A|$  的分布(表 1)可见,  $|A| < 5$  mm 的次数占总次数 65.2%, 而  $|A| < 10$  mm 的次数占总次数可达 90.1%。GPS 与探空可降水量的散点图(图 2), 在所有相同时刻(共 161 个数据点), 探空与 GPS 相关系数为 0.82, 均方差为 0.67 cm, 表明 GPS 资料反演的大气可降水值是具有使用价值的<sup>[10]</sup>。

表 1 张家口站 GPS 与探空两种资料计算可降水量差值绝对值  $|A|$  的分布

$ A /mm$	出现次数	占总次数的百分率/%
$>15$	2	1.2
10~15	14	8.7
5~10	40	24.9
$<5$	105	65.2

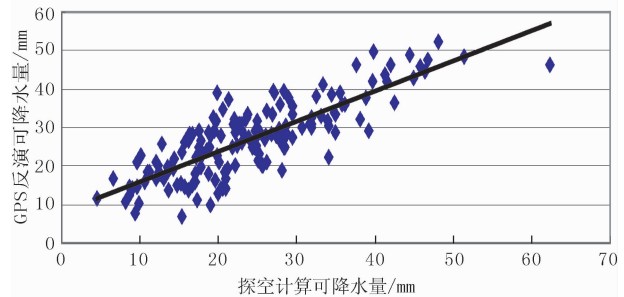


图 2 张家口站 GPS 与探空计算可降水量散点图

把石家庄 GPS 站反演出的大气可降水量资料与相距约 120 km 的邢台探空站(距石家庄最近探空站)资料计算的大气可降水量资料相比较,二者变化趋势是一致的(图 3), 但二者之间平均差值为 5.54 mm。其差值大大超过了国外试验的 2 mm 左右<sup>[10]</sup>, 说明单站 GPS 反演的大气可降水量资料应用是有一定限度的。

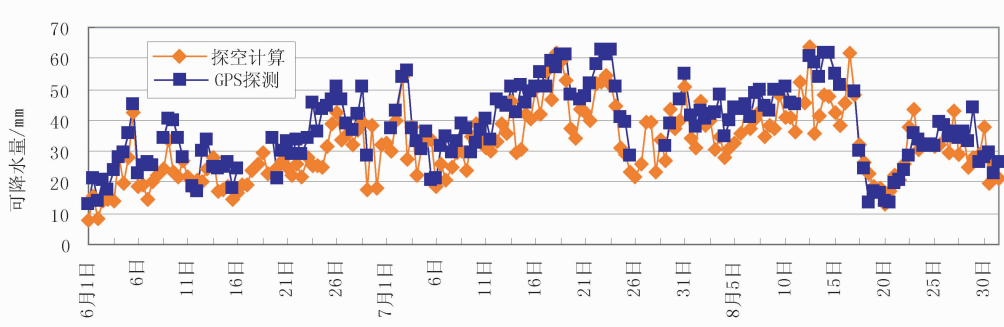


图 3 2005 年 6~8 月石家庄 GPS 与邢台探空两种计算可降水量对比

### 3 GPS 单站资料应用个例检验

为进一步检验单站 GPS 资料反演的大气可降水量应用范围,对 2007 年 7 月 17 日 20:00 至 19 日 08:00 河北中南部一次强降水过程进行了分析,利用石家庄 GPS 站反演的大气可降水量值与石家庄、正定、邢台 3 站逐时降水量进行对应分析,发现石家庄、正定 2 站逐时最大降水量基本对应石家庄站大气可降水量峰值(图 4),而邢台站逐时最大降水量与石家庄站大气可降水量峰值并没有很好的对应关系(图 5)。说明石家庄 GPS 站反演的大气可降水量在对预报降水方面应用范围是有一定限度的,距离石家庄站 20 km 的正定站是可用的,而距离石家庄 120 km 的邢台站可用性较差,这与丁金才<sup>[12]</sup>、刘旭春<sup>[13]</sup>等指出单站 GPS 反演的大气可降水量代表性最有效的半径距离为 30 km 是一致的。

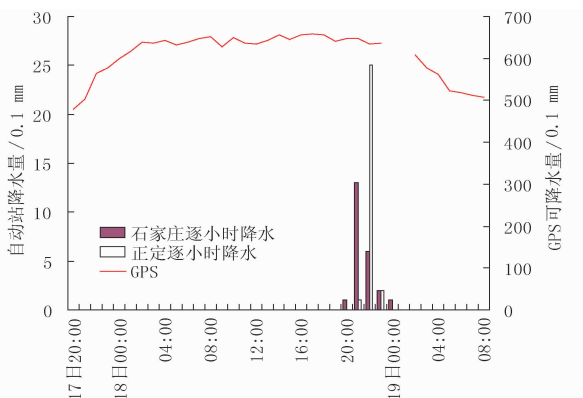


图 4 2007 年 7 月 17 日 20:00 至 19 日 08:00 石家庄 GPS 反演大气可降水量与石家庄、正定 2 站降水量

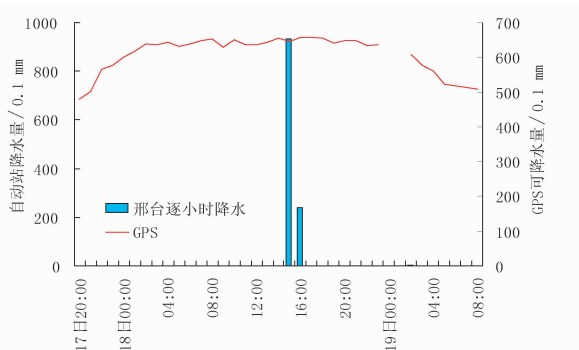


图 5 2007 年 7 月 17 日 20:00 至 19 日 08:00 石家庄 GPS 反演大气可降水量与邢台站降水量

### 4 误差原因分析

根据 Bevis 1992 年的理论分析, GPS 的估计精度在 1.7 mm 左右, 随后进行的试验将 GPS 同水汽辐射计、探空进行比较, 验证了这一估计, 国外的精度一般在 2 mm 左右。从以上结果看, 河北试验的误差稍微要大一些, 但张家口站的精度在可用范围, 石家庄 GPS 站反演的大气可降水量在邢台站应用误差太大。造成误差大的原因考虑有以下 3 方面: ① 2005 年 6~8 月 GPS 试验资料为河北夏季, 在夏季大气可降水量值本身变化就较大。② 计算探空站大气可降水量使用的是标准层资料, 这势必增大二者的误差。对于邢台和石家庄而言二者不是在同一站点, 因此, 相距 120 km 的邢台和石家庄是不可比的。③ 处理软件及处理方法的不同也会造成一定的差异。

### 5 小结

利用 2005 年 6~8 月张家口、邢台每天两次探空和张家口、石家庄 GPS 同时刻的大气可降水量值进行比较, 发现 GPS 反演的大气可降水量要略高于探空资料的计算结果, 但两种资料的可降水量计算结果的变化趋势一致, 说明 GPS 资料反演的大气可降水量具有较高的使用价值。通过石家庄、邢台两站误差分析和实际降水个例检验, 证明单站 GPS 反演的大气可降水量有效半径距离是有一定限度的。

### 参考文献

- [1] 曹云昌, 方宗义, 夏青. 中国地基 GPS 气象应用站网建设[J]. 气象, 2006, 32(11): 42-47.
- [2] 丁金才, 叶其欣, 马晓星, 等. 区域 GPS 气象网站点合理布置的几点依据[J]. 气象, 2006, 32(2): 34-39.
- [3] 曹云昌, 方宗义, 夏青. 轨道误差对近实时 GPS 遥感水汽的影响研究[J]. 气象科技, 2004, 32(4): 229-232.
- [4] 李成才, 毛节泰. GPS 地基遥感大气水汽总量分析[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 470-477.
- [5] 陈小雷, 马翠平. GPS 遥测大气可降水量原理与方法[J]. 河北气象, 2005, 24(4): 37-38.
- [6] 刘焱雄. 地基 GPS 技术遥感香港地区大气水汽含量[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 28(3): 245-248.
- [7] 李国平, 黄丁发. GPS 气象学研究及应用的进展与前景[J]. 气象科学, 2005, 25(6): 651-660.
- [8] 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, 32(4): 225-228.

- [9] 何平,徐宝祥,周秀骥,等.地基 GPS 反演大气水汽总量的初步试验[J].应用气象学报,2002,13(2):179-183.
- [10] 杨红梅,徐宝祥,周秀骥,等. GPS 资料在天气分析中应用[J].气象科技,2000,28(4):32-37.
- [11] 张文建,许键民,方宗义,等.暴雨系统的卫星遥感理论和方法[M].北京:气象出版社,2004:368-369.
- [12] 丁金才,叶其欣,马晓星,等.区域 GPS 气象网站点合理布置的几点依据[J].气象,2006,32(2):34-39.
- [13] 刘旭春,张正禄.单站 GPS 遥感水汽含量范围的确定及结果分析[J].北京测绘,2006,3:10-13.

## Application Precision and Range of Precipitable Water Vapor Measured by Ground-Based GPS

Chen Xiaolei<sup>1,2</sup> Jing Hua<sup>1</sup> Tong Meiran<sup>1</sup> Zhang Nan<sup>1, 2</sup>

(1 Hebei Meteorological Office, 2 Hebei Key Laboratory for Meteorology & Eco-Environment, Shijiazhuang 050021)

**Abstract:** By means of the atmospheric precipitable water vapor data measured by ground-based GPS at Shijiazhuang and Zhangjiakou, a comparison is made between the radiosonde-calculated and the GPS-retrieved precipitable water. A severe precipitation case occurred in the southern Hebei Province in July 2007 is analyzed. It is found out that the GPS retrieval of precipitable water, which is slightly greater than the radiosonde-derived, is more reliable and useful; the results of the two methods have accordant variation trends. For the single station, there exist certain limitations in the effective radius of the GPS-retrieved perceptible water.

**Key words:** ground-based GPS, precipitable water vapor, precision, effective radius

### 欢迎订阅 2008 年《气象科技》、《气象科技合作动态》、 《中国气象科学研究院年报》

《气象科技》由中国气象科学研究院、北京市气象局、中国气象局气象探测中心、国家卫星气象中心及国家气象信息中心联合主办。报道大气科学和相关科学各领域新理论、新方法和新技术,也刊载反映大气科学各领域发展水平的综合评述。报道内容:预报理论与方法、天气与气候分析、气候与全球变化、大气物理与大气化学、应用气象(城市与环境气象、人工影响天气、农业与生态气象等)、探测技术、计算机信息与网络技术、防灾减灾等。欢迎气象部门和相关学科的业务、科研、技术开发人员以及相关院校师生投稿和订阅。《气象科技》为大 16 开本双月刊,全年定价:120 元。

《气象科技合作动态》介绍各国气象局的综合概况及我国与其他国家在气象科技领域的合作、交流情况,双月刊,全年定价:30 元。

《中国气象科学研究院年报》(中英文对照),反映该院研究和技术领域内的新成果和新进展以及该年度内的重大学术活动,每年 1 期,定价:30 元。

全年随时订阅。

联系地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号中国气象科学研究院,《气象科技》编辑部

邮政编码:100081,电话:(010)68407256,Email: qxkj@cams.cma.gov.cn

户名:中国气象科学研究院,账号:11001028600056086013,开户行:建行北京白石桥支行