

GPS 遥感的大气可降水量与局地降水关系的初步分析*

曹云昌 方宗义 夏青

(国家卫星气象中心,北京100081)

摘 要

该文利用2002年“973”项目安徽GPS外场试验和2000年北京GPS/VAPOR试验积累的资料对GPS遥感的大气可降水量与局地降水之间关系进行了定量分析。结果表明:在降水前后,GPS遥感的大气可降水量有很大的变化;在2002年入梅前后,其变化甚至大于30mm;在海拔高的山区台站,2hGPS遥感的大气可降水量增量和本站是否发生降水关系密切;多数情况下,降水出现在GPS遥感的大气可降水量迅速增加的3~4h内;每小时降水量峰值和GPS遥感的大气可降水量增量的大小有关。

关键词:GPS 大气可降水量 局地降水

引 言

GPS气象学是20世纪80年代发展起来的利用全球卫星导航技术(GPS)主动遥感地球大气的科学技术,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。利用地基GPS接收机进行气象探测,可以获得站点上空准确、连续的大气可降水量,精度可达2mm,时间分辨率小于1h^[1]。李成才等^[2]、何平等^[3]在以往进行的观测试验中也得到了精度较高的可降水量资料,连续高时空分辨率的大气可降水量资料对于分析水汽和降水,气象预报及气候研究具有极其重要的意义^[4]。

以往的GPS观测试验表明,GPS遥感的大气可降水量与局地降水存在密切的关系,每次降水过程都对应着大气降水量的迅速增加。Manabu Kanda分析了日本GEONET关东地区的大气可降水量资料发现^[5]:降水和1h的大气可降水量增量关系密切,降水峰值位于大气可降水量变化的峰值之后的1~2h,用大气可降水量作为指标预报降水,准确率达到60%。

2002年“973”项目“我国重大天气灾害的形成机理和预测理论研究”在长江中下游六省一市进行了野外暴雨观测科学试验,国家卫星气象中心和北京大学则在项目组的组织下,联合在安徽进行了GPS的外场试验。2000年,国家卫星气象中心、北京大学和北京市气象局在北京地区联合组网进行了大气降水量的GPS观测,利用这两次试验的GPS资料和降水观测资料,我们对GPS遥感的大气可降水量与局地降水关系进行了分析。

* “973”项目“我国重大天气灾害的形成机理和预测理论研究”和“863”项目“GPS应用于大气三维结构监测技术研究”项目(2002AA135360)共同资助。

2003-06-30收到,2004-04-12收到再改稿。

1 试验及资料处理

“973”项目安徽 GPS 外场试验中,在肥西、桐城、芜湖、无为、滁州和寿县设置了 6 台 GPS 接收机,间距 100 km 左右,包括了 3 台徕卡 CRS 1000、2 台 Trimble 5700 和 1 台 Ashtech 接收机进行观测;并加入了上海 GPS 综合网在马鞍山、杭州、黄山、宣城 4 个站,时间从 2002 年 6 月 17 日~7 月 25 日。2000 年 6 月 1 日~8 月 12 日,在北京布设了 7 个临时 GPS 接收站,包括北京大学、延庆、南郊观测场、斋堂、平谷、密云和顺义,与中国地壳运动观测网络一期工程的 3 个站(昌平、房山和蓟县),总计 10 个观测点,站点平均间距为 30 km 左右。其中山区台站为黄山、房山和斋堂,其余为平原台站。

利用 GAMIT 软件,对 GPS 观测资料进行处理。处理方案为:数据采样率为 120 s,卫星截止高度角为 15° ,采用 IGS 最终星历,估计每小时的天顶延迟。每小时的天顶对流层延迟可写为:

$$\Delta D_z = \int_L (n(s) - 1) ds = 10^{-6} \int_Z 77.6 \frac{P_d}{T} dz + 10^{-6} \int_Z \left(27 \frac{e}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \right) dz = Z_h + Z_w \quad (1)$$

即为天顶静力学延迟 Z_h 和湿项延迟 Z_w 的和。

天顶静力学延迟 Z_h 可按如下公式确定:

$$Z_h = (2.279 \pm 0.0024) \frac{p_0}{f(\lambda, H)} \quad (2)$$

其中, p_0 为地面气压(hPa); $f(\lambda, H) = (1 - 0.00266 \cos(2\lambda) - 0.00028 H)$, λ 为地理纬度, H 为海拔高度(km)。

湿项延迟 Z_w 可写为:

$$Z_w = 10^{-6} \int_Z \left(77.6 \frac{e}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \right) dz = 10^{-6} \cdot P_W \left| R_v \left| k'_2 + k_3 \frac{\int_Z \frac{e}{T^2} dz}{\int_Z \frac{e}{T} dz} \right| \right| \quad (3)$$

P_W 为大气可降水量, $R_v = 461.495 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, 为水汽的气体常数。

$$T_m = \frac{\int (e/T) dz}{\int (e/T^2) dz} \quad (4)$$

T_m 为加权平均温度,可由经验公式确定:

$$T_m = a + b \cdot T_s \quad (5)$$

Bevis 等给出经验系数 $a = 70.2$, $b = 0.72^{[6]}$ 。因此,大气可降水量可通过如下公式计算得出:

$$P_W = \prod Z_w \quad (6)$$

$$\Pi = 10^6 \left| R_v \left| \frac{k_3}{T_m} + k_2 \right| \right|^{-1} \quad (7)$$

在2000年北京地区的试验中,对中国气象局探测基地获得的GPS遥感的大气可降水量和探空资料结果进行了分析,发现两者均方根误差为3 mm,平均值偏差为0.4 mm。图1为同时次GPS遥感的大气可降水量和探空资料计算大气降水量的对比。

在安徽试验时,我们对2002年杭州GPS遥感与探空资料计算的大气可降水量结果进行了比较,时间从2002年6月27日~7月25日。图2为其点聚图,计算其均方根为2.99 mm,偏差为0.1 mm。

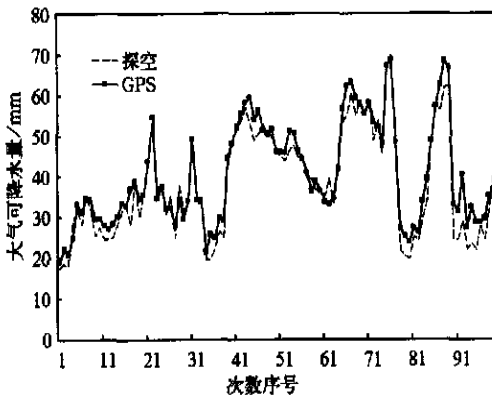


图1 北京GPS遥感与探空资料计算大气可降水量的比较

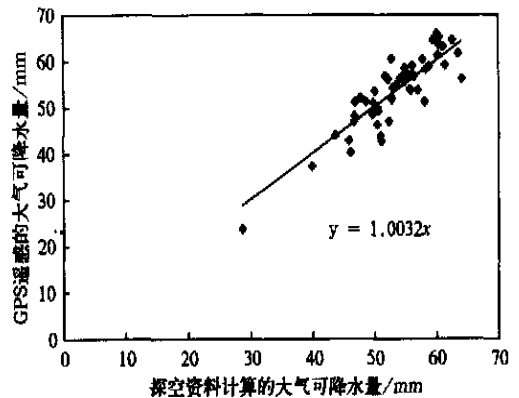


图2 杭州GPS遥感与探空资料计算大气可降水量点聚图

2 资料分析

2.1 GPS遥感大气可降水量与梅雨期降水

梅雨是长江中下游夏季的连阴雨天气。2002年6月18日,受中低层切变线和西南暖湿气流的影响,6月19~21日安徽全省普遍降雨,进入梅雨期。从安徽各站GPS遥感的大气可降水量,清楚地反映了这一入梅降水过程。黄山、宣城、马鞍山从6月18~19日,大气可降水量急剧变化了30 mm,长江以北的肥西、桐城变化也分别达到10 mm和20 mm。在此情况下,桐城、马鞍山和肥西6月19~21日的降水分别达到124.9 mm, 132.6 mm和47 mm。

图3表明各站的降水量与本站大气可降水量的激增存在较好的联系,特别是对于海拔较高的台站。图4是黄山站入梅前后GPS遥感的大气可降水量变化和该站的每小时降水量,显示了降水和水汽汇聚的极好配合,在6月18日08:00(北京时,下同)水汽激增后,出现了几次降水过程,每次水汽的增加,都对应着一次降水过程和降水峰值的出现。

由安徽外场试验获得的GPS遥感大气可降水量的变化(图5),可清楚地看到水汽从西南向北的推进过程。6月18日14:00,48 mm的等值线还在安徽的西南部,20:00已推进到安徽的东北部和苏南、上海一线,同时降水也随之北进。

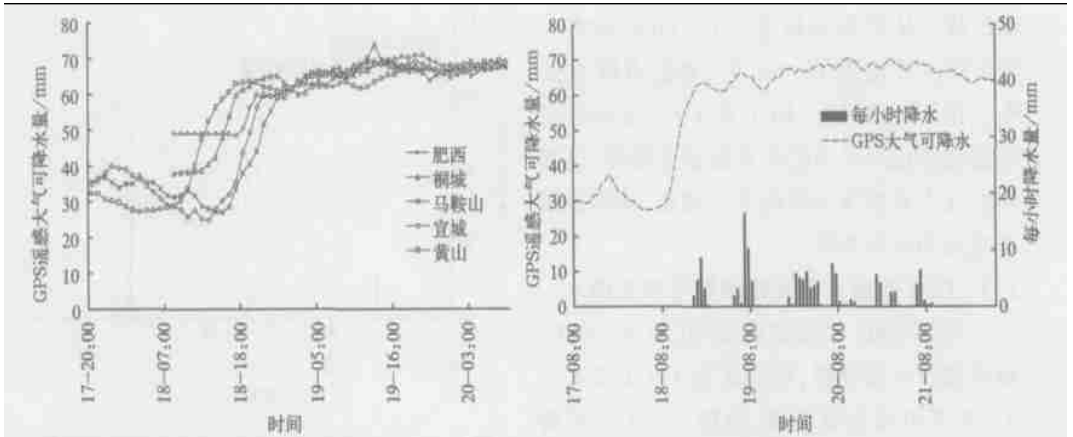


图3 2002年6月17-20日安徽5个GPS站遥感入梅前后的大气可降水量变化

图4 2002年6月黄山站入梅前后每小时降水和GPS遥感大气可降水量变化

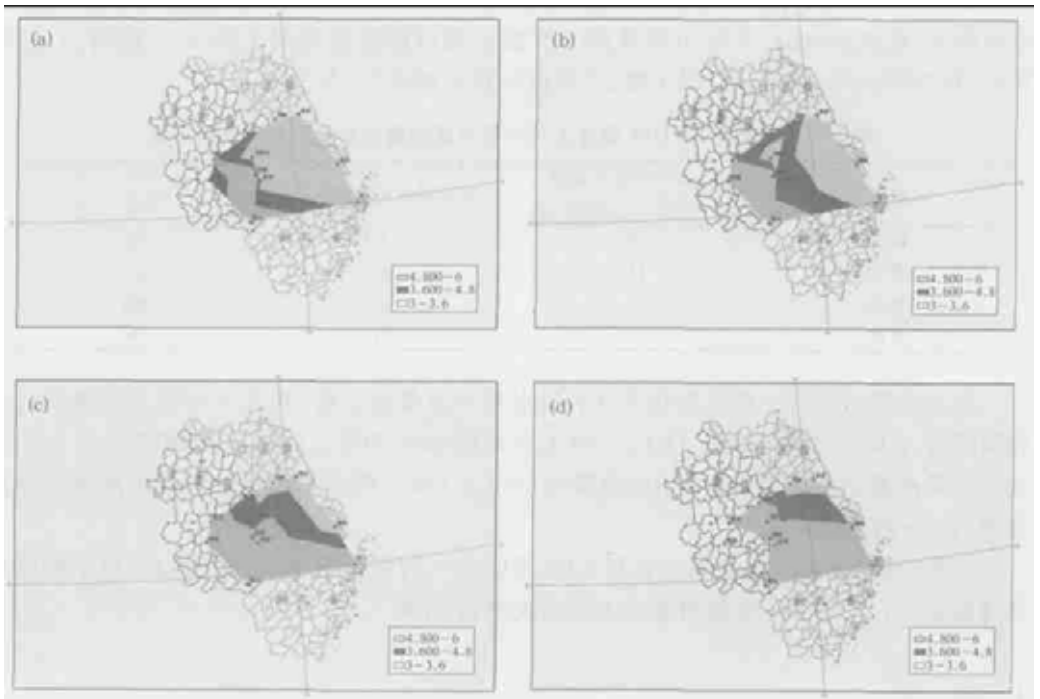


图5 安徽外场试验中2002年6月18日GPS遥感大气可降水量演变(单位:c.m)

(a)14:00,(b)17:00,(c)20:00,(d)23:00

2.2 北京地区GPS遥感大气可降水量与局地降水

2000年夏季,国家卫星气象中心、北京大学和北京市气象局进行的试验表明:在北京地区的夏季降水,虽然降水前后GPS遥感的大气可降水量变化较大,但没有长江中下游的梅雨降水变化那么显著。图6是房山站的GPS遥感大气可降水量变化与实际降水情

况比较。从资料分析看,24 h GPS 遥感大气可降水量超过 10 mm 时,都会有降水发生。在某些情况下,如 7 月 4 日,每小时降水量甚至比大气中的水汽含量还要高,这表明大气中有源源不断的水汽辐合,从而提供了充足的水汽来源。

2.3 GPS 遥感大气可降水量与本站降水

利用 2002 年安徽和 2000 年北京 GPS 资料和降水量资料,我们比较了 1 h、2 h 和 3 h 大气可降水量增量,发现 2 h 大气可降水量资料与本站是否发生降水关系最为密切。根据 2000 年北京各站的资料,我们采

用 2 h GPS 遥感的大气可降水量增量为 5 mm 作为阈值,对超过阈值的观测(a),如前 4 h 或后 6 h 出现了降水,就认为它对应着一次降水(b)。对于海拔较高(超过 100 m)的山区台站延庆、斋堂和黄山,实际出现降水的次数占超过阈值的观测比例 b/a 较高,分别为 70%、78% 和 68%(见表 1);相比较,平原台站其比例较低,为 38%。

表 1 山区台站 2 h GPS 遥感大气可降水量增量与本站发生降水的比较

站名	2 h 大气可降水量增量大于 5 mm 的次数(a)	发生降水的次数(b)	b/a (%)
延庆	10	7	70
斋堂	11	8	78
黄山	13	8	68
合计	33	23	70

降水出现的时间一般发生在大气可降水量迅速增加之后,在大气可降水迅速增加达到阈值后,2 h 内出现降水占 35%,3~4 h 出现降水占 50%。5~6 h 出现降水占 9%;而大气可降水量迅速增加前 3 h 内出现降水的仅占 6%。即大多数站在大气可降水量迅速增加后 4 h 内出现降水。

另外,这 3 个山区台站降水量和 GPS 遥感大气可降水量也有一定关系,每小时降水量峰值和 2 h 大气可降水量增量的大小相关密切(图略)。

3 结 论

(1) 高时间分辨率 GPS 遥感的大气可降水量资料可监测入梅前后降水时水汽迅速变化的整个过程。

(2) 在山区台站是否发生降水和 2 h GPS 遥感的大气可降水量增量关系密切,所占比例为 70%左右。大多数降水出现在 GPS 遥感大气可降水量迅速增加之后的 4 小时内。因此,在山区台站,GPS 遥感的大气可降水量可作为降水短期预报的指标之一。

(3) 夏季,山区台站由于地形的作用,在一定的水汽条件下,比平原地区更容易形成

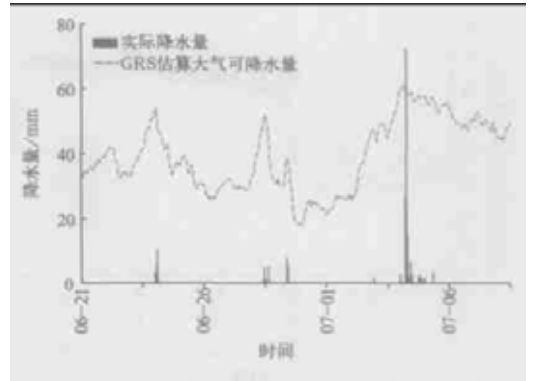


图 6 2002 年夏季房山 GPS 遥感大气可降水量与每小时降水的变化图

对流性降水,这可能是在山区台站本地是否发生降水和 2 h GPS 遥感的大气可降水量增量关系密切的原因。

参 考 文 献

- 1 Rocken C, Van Hove T, Johnson J, et al. GPS storm- GPS sensing of atmospheric water vapor for meteorology. *J Atmos Ocean Tech*, 1995, **12** (3): 468 ~ 478.
- 2 李成才,毛节泰. GPS 地基遥感大气水汽总量的分析. *应用气象学报*, 1998, **9**(4): 470 ~ 477.
- 3 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. *应用气象学报*, 2002, **13**(2): 179 ~ 183.
- 4 Ware R, Fulker D, Stein S, et al. SuomiNet: a real-time national GPS network for atmospheric research and education. *Bull Amer Meteor Soc*, 2000, **81** (4): 677 ~ 694.
- 5 Manabu Kanda. GPS Meteorology: Ground-Based and Space-Borne Applications, Proceedings of GPS meteorology. Tsukuba, Japan, 2001. 3 ~ 12.
- 6 Bevis M, Businger S, Herring T A, et al. GPS meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. *J Geophys Res*, 1992, **97** (D14): 15787 ~ 15801.

RELATIONSHIP BETWEEN GPS PRECIPITABLE WATER VAPOR AND PRECIPITATION

Cao Yunchang Fang Zongyi Xia Qing
(National Satellite Meteorological Center, Beijing, 100081)

Abstract

Previous study shows that GPS precipitable water vapor (P WV) and local precipitation have close relationship. Observation of 2002 Anhui province and 2000 Beijing experiment shows that 2-hour increment of GPS P WV and local precipitation have good relationship. The correlation coefficient in mountain area is about 70 %, larger than that in plain area. Rainfall occurs in 4 hours after the rapid increase of P WV. The maximum hourly rainfall is proportion to the P WV increment.

Key words: GPS Precipitable water vapor Local precipitation