

用 GPS 可降水量资料对一次 大一暴雨过程的分析^①

姚建群 丁金才 王坚捍 朱文耀 宋淑丽

(上海中心气象台,上海 200030)

(上海天文台)

提 要

利用 2002 年 9 月 10~20 日 GPS 的可降水量资料与实况降水场做了分析比较,结果表明,每 30 分钟的可降水量连续观测资料对实际降水预报有着一定的指导意义。首先,可降水量第一次达到及最后一次出现 50mm 的时间与实际降水的开始、结束时间有着较好的对应关系,而可降水量 $\geq 50\text{mm}$ 的持续时间越长,实际降水量也就越大,反之则相反;其次,可降水量的 3 小时及 24 小时变化对预报未来降水区域和雨量分布有着一定的指示作用;最后,可降水量在降水过程中不同阶段的趋势变化反映了 500hPa 流场、700hPa 水汽通量场的变化,这为实际降水预报中水汽的来源及输送提供了更有利的依据。

关键词: GPS 可降水量 水汽通量

引 言

众所周知,水汽是降水的基本条件。水汽含量的多少既决定饱和状态能否达到,也同降水量大小直接有关。水汽含量随时间的变化,往往有不连续的现象,多出现在降水前很短时间内,一般在降水前一、两个小时水汽突然很快增加。这种现象无论在单站资料还是在水平分布图上,都可以观察到,而目前常规探空观测获得的大气水汽资料每天仅有两次,难以反映出大气中水汽的连续变化,同时由于水汽观测的精度和时空覆盖率的局限性,常常导致短期预报的失败,特别是云和降水方面的预报,因而在业务数值天气预报和气候模拟所模拟的水汽的检验工作也受到限制。

正是由于水汽在全球气候系统中的关键作用,科学家们已研究出各种方法来测量水汽的垂直和水平分布。近年来,地基 GPS 已经开辟了改进大气中水汽监测的可能性。GPS 资料分析使用了一个组合网来测量大

地参数。研究结果表明,GPS 导出的可降水量具有至少可以与其他各种测量水汽的技术,如微波辐射仪、探空等获得的结果可比较的精度。地基 GPS 作为一种大气探测器有其一定的优点。与费钱有间断地施放探空气球相比,它更经济,而且时间密度高,能够提供 30 分钟间隔连续的测量结果,同时它的空间密度高,可密布布点。与其他仪器如水汽微波辐射仪不同,GPS 测量是全天候的,它不受下雨和厚云的影响。尤其是 GPS 有提供时空上连续的资料系列的潜力,这对监视气候变化是非常理想的。

1 GPS 可降水量的估算

1.1 可降水量的估算

GPS 卫星发射的信号穿过电离层和对流层大气时,都会发生延迟。

总延迟 = 电离层延迟 + 对流层延迟

其中电离层延迟是频散的,它可以通过 GPS 卫星发射频率和电离层频散关系来确定。而大气中的延迟可分解成两部分:一是

① 本文得到中国科学院知识创新工程(KJ9X2-SW-T1-3)和“上海地区 GPS 综合应用网”资助

“静力延迟”,二是“湿延迟”,静力延迟可以根据地面气压计算得到,从总延迟减去静力延迟之后,剩下的湿延迟(ZWD)近似地和可降水量(PWV)成正比例。

$$PWV = \Pi \times ZWD$$

式中, $\Pi = 10^8 / \rho R_v [(K_3/T_m) + K_2']$

ρ 是水的密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), R_v 是水汽的专用气体常数 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), K_2' 是 $22.1 \pm 2.2 (\text{K} \cdot \text{hPa}^{-1})$, K_3 是 $(3.739 \pm 0.012) \times 10^5 (\text{K}^2 \cdot \text{hPa}^{-1})$, T_m 是大气的权重平均温度 (K),

$$T_m = \frac{\int (P_v/T) dZ}{\int (P_v/T^2) dZ}$$

式中 P_v 是水汽压 (hPa), T 是大气的温度 (K)。

T_m 一般可由地面温度 T_s 来近似,通过最小二乘法误差统计确定 T_m 和 T_s 之间的关系为:

$$T_m = 70.2 + 0.72 T_s$$

1.2 长江三角洲 GPS 基准站网

2002 年 6 月建立了由 14 个地面 GPS 接收站组成的长江三角洲地区的地面 GPS 气象网,其中上海 5 个,江苏省 4 个,安徽省 3 个,浙江省 2 个。本文利用 2002 年 9 月 10~20 日期间上述 14 个 GPS 站测得的每半个小时的可降水量连续资料与长江三角洲加密观测站测得的每 1 个小时的实况雨量,对 14~16 日的一次明显降雨过程做了分析比较,以期今后 GPS 资料在实际降水预报中的合理使用提供一些可靠的依据。当然,这仅仅是一个个例分析,随着 GPS 网站的不断增加和越来越多的资料的积累,我们将对 GPS 观测资料在灾害性天气监测和预报能力及在气候变化研究等方面的应用有更深入的认识。

2 可降水量(PWV)在降水过程中的演变分析

2002 年 9 月 14~16 日这次降水过程是由于高空 500hPa 低槽东移,配合冷空气南下,导致副高东撤而引起的。主要降水量出

现在 15 日 08~16 日 08 时,宝山 24 小时降水量达到了 69.4mm,徐家汇也达到了 47.2mm,郊区都达到了大雨程度。分析当时环流场及其能量场(图略)可以看出,高空有低槽东移,在 700hPa 存在一个东北—西南向的水汽输送通道,位置偏北,能量锋区亦处在江淮流域。那么未来的水汽输送将会发生怎样的变化呢?显然一天仅两个时次的图是不能满足预报员的需求的,而可降水量每隔 30min 的水汽观测资料则弥补了这一缺陷。正是基于这个思考,我们这里利用可降水量的分布变化情况对上述降水过程作一分析。

2.1 可降水量(PWV)与降水开始、结束时间的关系

首先我们绘制了各个 GPS 站测得的 2002 年 9 月 10~20 日的可降水量(PWV)时间序列图(图略),通过分析可以看到,当 PWV 由谷底缓慢上升或由峰顶缓慢下降时,对实际降水的开始、结束时间并没有一定的预示作用,进一步的分析得到, PWV 第一次达到及最后一次出现 50mm 的时间与实际降水有着较好的对应关系,从 PWV 第一次出现 50mm 及最后一次出现 50mm 的时间与实际降水开始、结束时间的差值图(图略)可以清楚地看到,当 PWV 第一次出现 50mm 时,在之后的 1.5~3 小时内降水开始,这个比例占到了总数的 55%,而当 PWV 最后出现 50mm 时,在其前后 2 小时内降水结束,这个比例占到了总数的 73%,应该说这对实际中降水开始、结束时间的预报有一定的指示意义。另外,在这次降水中,以浙江舟山过程降雨量最大,达到了 115.7mm,而安徽黄山最小,仅 3.7mm,分析 PWV 的演变情况,舟山 $\geq 50\text{mm}$ 的时间长达 153 时次,而黄山 $\geq 50\text{mm}$ 的时间仅有 14 时次,这从另一方面说明了可降水量 $\geq 50\text{mm}$ 的时间越长,实际降水量越大,当然这里只是个例分析,是否对不同季节的不同降水过程都能得到同样的结果,还有待进一步考证。

2.2 可降水量(PWV)3 小时及 24 小时变化与降水的关系

我们首先绘制了 2002 年 9 月 14~16 日每小时的实况降水量分布图,并与相对应的

可降水量分布图进行了比较(图略),结果表明,实际降水的区域分布及降水量的大小与可降水量的大小并不存在明显的对应关系,那么在降水过程中起着重要作用的由 GPS 观测到的水汽到底在实际降水中如何发挥作用的呢?

为了更清楚地看出可降水量的变化与实际降水的关系,我们分析了 PWV 24 小时的变化图并与实况降水进行了比较。图 1a、b 分别是 9 月 15 日 02 时和 05 时的实况降水量分布图,从图中可以看出,15 日 02 时在长江三角洲的东南部降水偏少,西北部的降水偏多,而 15 日 02 时可降水量 24 小时的变化图(见图 1c)显示,长江三角洲地区北部的降水趋于增多,南部趋于减少,比较 15 日 02 时和 05 时的降水量实况场可以清楚地看到降水量的这种趋势变化。同样,比较 PWV 3 小时的变化图(图略)和降水量实况场也可得到类似的结论。这说明了 we 完全可以通过 PWV 24 小时或 3 小时的变化结合目前降水的情况来预测未来的降水区域及雨量分布。

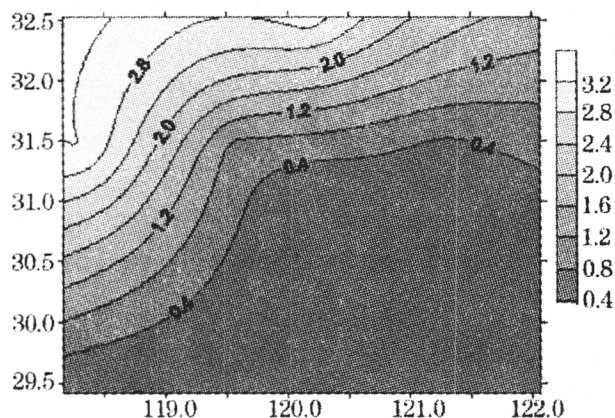


图 1a 9 月 15 日 02 时实况降水量(mm)分布图

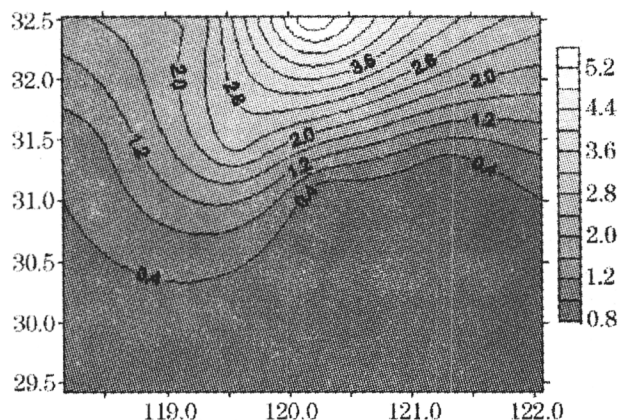


图 1b 9 月 15 日 05 时实况降水量(mm)分布图

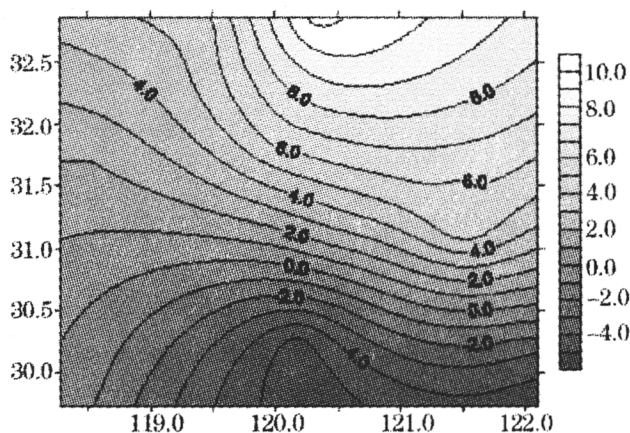


图 1c 9 月 15 日 02 时可降水量(mm) 24 小时变化图

由于可降水量的测量具有时间密度高(30min 间隔)的特性,因此在实际预报中可以根据其变化随时进行跟踪预报服务。

2.3 可降水量(PWV)与流场、水汽通量场的比较

既然可降水量是通过 GPS 的无线电信号来估算的垂直积分的大气水汽,那么在实际降水过程中,它对大气中水汽的来源及输送起着什么作用呢?这里我们进一步分析比较了 2002 年 9 月 14~16 日这次降水过程中 500hPa 流场及 700hPa 水汽通量与可降水量的关系。

首先分析流场。图 2a~c 分别是这次降水过程开始初期、期间和结束时的 500hPa 流场图,从图中可以看出来,在降水开始初期(图 2a), 30°N 以南的水汽主要通过东南气流从海上向北输送,随着降水的加强(图 2b),对长江三角洲的水汽贡献除了东南气流带来的海上水汽之外,还有西南暖湿气流带来的水汽,而降水结束以后(图 2c),长江三角洲地区已被一致的偏西气流所控制。分析可降水量在降水初期、期间及结束时的分布图可以看到(图 2d~f),可降水量在不同时期的分布也不同。降水初期,可降水量大值呈现出东南—西北的带状分布,从其前期的演变图(图略)可以清楚地看到,可降水量大值是从东南地区逐渐向西北方向发展的,这与 500hPa 流场上水汽通过东南气流由南向北输送是非常一致的。之后,可降水量的分布逐渐发生了变化,其等值线走向由原来的东南—西北向转为近乎南北向,而此时的可降

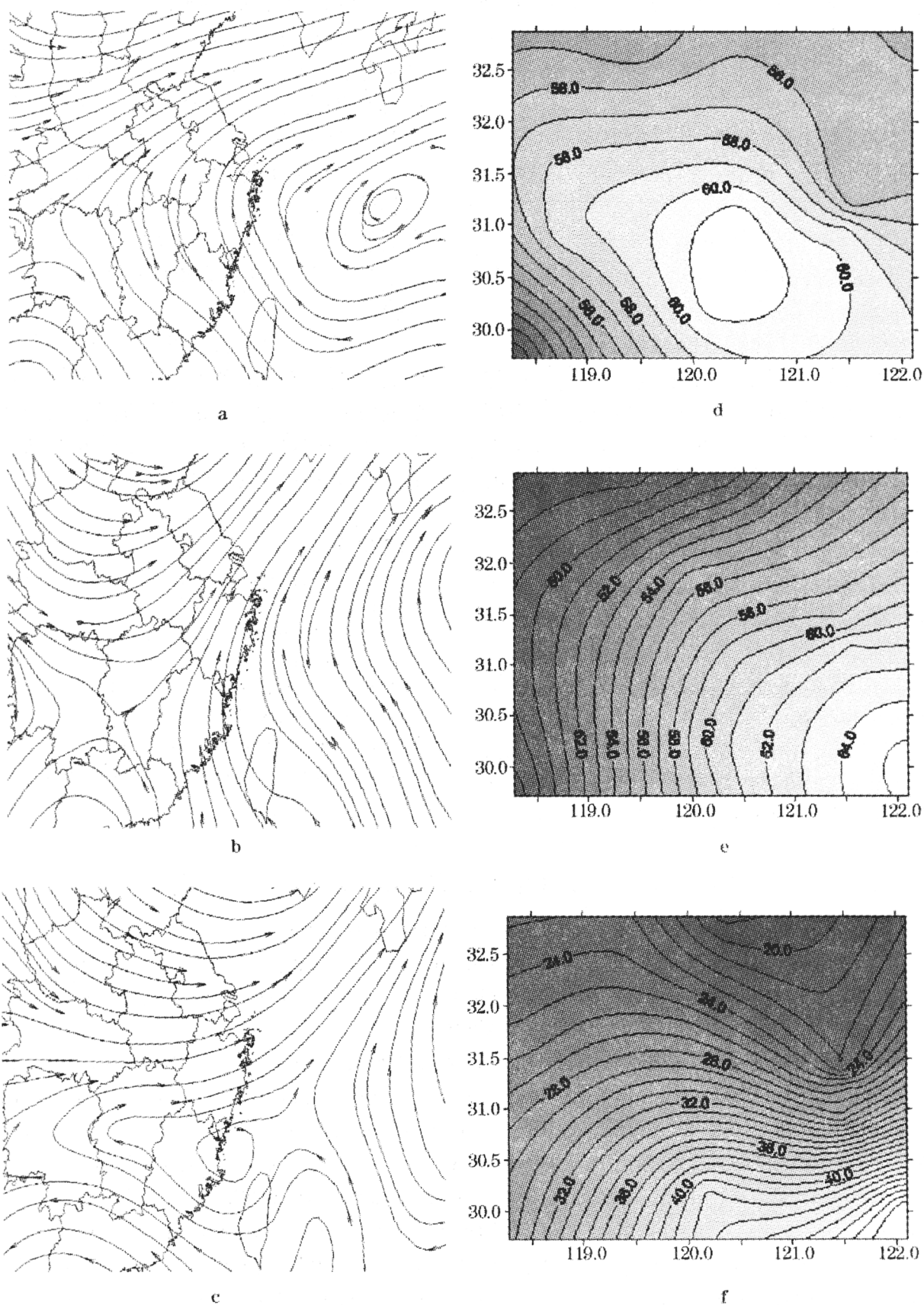


图2 2002年9月14~16日20时500hPa流场(a~c)及可降水量分布(d~f)

水量最大值区恰好对应着实况降水最大值区(图略)。降水结束后,可降水量的分布再一

次发生了变化,其等值线走向已转为近乎东西向。综合分析这次降水过程中可降水量的

变化特征,我们发现在降水的不同时期可降水量等值线走向的顺时针变化与实况中500hPa流场水汽输送的顺时针变化有着惊人的一致。

另外,分析这次降水过程中不同阶段700hPa的水汽通量场(图略)也可以得到类似的结果。

以上的分析结果还是有实际应用价值的,由于在实际预报工作中,500hPa流场和700hPa水汽通量每天只有两个时次的图,而可降水量每30分钟就有测量资料,这样我们可以参考可降水量的变化来判断水汽的输送情况并对未来的降水量大小及区域分布做出预报,当然,实际降水预报中水汽只是需要考虑的一个方面,只有全面地考虑影响降水的各种因素,才能做出更准确的预报。

3 结 论

通过以上对2002年9月的一次降水过程与可降水量的对比分析,我们得到了一些对实际降水预报有参考价值的结果:

(1)可降水量第一次达到及最后一次出现50mm的时间与实际降水的开始、结束时间有着较好的对应关系;另外,统计还表明,当可降水量 $\geq 50\text{mm}$ 持续时间越长,实况降水量越大,反之则降水量越小。

(2)统计分析可降水量的3小时及24小时变量分布并与实际降水分布对比显示,可降水量的3(24)小时的变化反映了实况降水量的趋势变化,并对预测未来的降水区域及雨量分布有一定的指示作用。

(3)在降水过程中的不同阶段,可降水量的趋势变化与实况500hPa流场、700hPa水汽通量场的趋势变化非常一致,这为实际降水预报中水汽的来源和输送提供了更有利的依据。

需要说明的是,这里只是对一次降水过程的个例分析,虽然在一定程度上反映了秋季的降水特性,但其是否具有共性,还需在今后对更多的降水过程进行分析并在实际预报工作中得到进一步的验证。

参考文献

- 1 丁金才,黄炎,叶其欣. 0205号台风影响期间可降水量的GPS观测和分析. 大气科学(待发表).
- 2 丁金才. GPS气象学及其进展. 大气科学研究与应用, 1999, 17: 116~125.
- 3 王小亚,朱文耀,严豪健等. 地面GPS探测大气可降水量的初步结果. 大气科学, 1999, 23(5): 605~612.
- 4 Liou, Y. A., C. Y. Huang. GPS observation of PW during the passing of a thphoon. Earth Planet Space, 2000, 52: 09—712.

Analysis of a Heavy Rainfall Event with GPS Data of Precipitation

Yao Jianqun Ding Jincai Wang Jianhan
(Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030)

Zhu Wenyao Song Shuli
(Shanghai Astronomy Observatory)

Abstract

The results between the GPS/PWV data during 10—20 September 2002 and the actual surface rainfall are analyzed. It shows that the consecutive observation data of precipitable water vapor per 30 minutes would be instructive for the forecasting of actual rainfall. First, the first arrival of PWV and last appearance of 50mm PWV would correspond well to the beginning and end of actual precipitation. When the precipitable water vapor larger than 50mm lasts longer, the actual rainfall will be more. Whereas the result will be contrary. Next, the change of rainfall within 3 and 24 hours would be instructive to forecast the future rainfall region and rainfall distribution. Finally, the trend of precipitable water vapor in the various stages can reflect the change of 500hPa field and 700hPa vapor field. It has shown us more useful basis to clarify the vapor source and transmission in actual rainfall forecast.

Key Words: GPS precipitable water vapor vapor flux