

2002 年台风 Ramasun 影响华东沿海期间 可降水量的 GPS 观测和分析 *

丁金才¹⁾ 黄炎¹⁾ 叶其欣¹⁾ 朱文耀²⁾ 宋淑丽²⁾ 梁旭东³⁾

1) (上海中心气象台, 上海 200030)

2) (上海天文台, 上海 200030)

3) (上海台风研究所, 上海 200030)

摘 要 介绍了 2002 年建成的长江三角洲地区 GPS (全球定位系统) 网对台风 Ramasun 影响华东沿海地区时可降水量的探测, 指出 GPS 探测的可降水量 (P_{wv}) 与加密探空资料所计算的可降水量具有高度的一致性。通过对多站 GPS 资料时间序列的分析, 揭示了在台风影响过程中 P_{wv} 的三个阶段的变化特征: 在台风降水产生前 P_{wv} 都有一个急升的过程, P_{wv} 的急升时间长短、升幅、量值大小反映了水汽累积情况, 它与台风过程降水总量、每小时降水量大小有较好的对应关系; P_{wv} 急升达到峰值后进入高值波动阶段, 一般在达到峰值后 7~10 小时开始出现明显的降水, 在这一阶段中 P_{wv} 时间序列的波动和空间分布特征与台风降水的短时变化和螺旋雨带演变有较好的对应关系; P_{wv} 的急降则反映台风降水即将结束。

关键词: 全球定位系统; 台风; 可降水量

文章编号 1006-9895 (2004) 04-0613-12 **中图分类号** P407 **文献标识码** A

1 引言

大气中的水汽是热带气旋产生降水的源泉和维持系统发展所需能量源的主要成分, 目前的常规探测站网由于站点和观测时次的稀少, 使得对于时空分布高度可变的水汽了解很不充分, 因此改进对大气中水汽变化的监测, 对热带气旋的研究以及改进降水预报是很必要的。

近年来发展的 GPS (全球定位系统) 技术为遥测大气水汽提供了一个有效的新途径。GPS 由一组人造卫星星座组成, 它们所发射的无线电微波信号在向地面 GPS 接收机的传播过程中对大气折射指数是敏感的, 所以, GPS 能用于探测大气的特性, 而大气中的水汽能明显影响 GPS 信号的传播速度, 使得 GPS 特别适合于探测大气的水汽。1992 年 Bevis 等^[1]提出了地基 GPS 接收机探测大气可降水量的原理。Rocken 等^[2]通过 1993 年美国的 GPS/STORM 计划显示了 GPS 测量大气水汽的精确性及其在气象上的应用前景。Lion 和 Huang^[3]研究了 1998 年 10 月台风 Zeb 影响台湾期间 3 个 GPS 站的序列资料表明, 在台风前可降水量开始增加, 在影响期间达到最大值, 与台风所产生的降水量相一致, 而在台风经过后可降水量就迅速减小。本文使用布设在长江三角洲

2003-04-18 收到, 2003-11-12 收到修改稿

* 中国科学院知识创新工程项目 KJCX2-SW-T1-3 和上海市政府项目“上海地区 GPS 综合应用网”共同资助

地区的 14 个 GPS 站每半小时一次的连续资料，对 2002 年台风 Ramasun（威马逊）影响华东沿海期间的可降水量变化与台风降水之间的关系进行分析，以期对在今后的降水预报中使用 GPS 资料做一些有益的探讨。

2 长江三角洲地区 GPS 站网的组成和可降水量的计算

2.1 GPS 站网

长江三角洲地区 GPS 站网由 14 个 GPS 站组成，分布如图 1 所示，平均站距上海地区为 23 km，三角洲地区约 120 km，每个站上配置 μ Z-CGRS 型双频 GPS 接收机，资料每隔 30 min 自动向设在上海的中心站传送，在中心站上的 GPS 资料计算采用 GAMIT 软件和双差技术，利用国际 GPS 服务局（IGS）的预报轨道，并引入泰安、厦门、武汉、筑波和乌苏等 5 个长基线站，可计算出长江三角洲每个 GPS 站的绝对天顶延迟量及可降水量 (P_{wv}) 的时间序列，进而衍生出一系列的可降水量数字和图像产品。

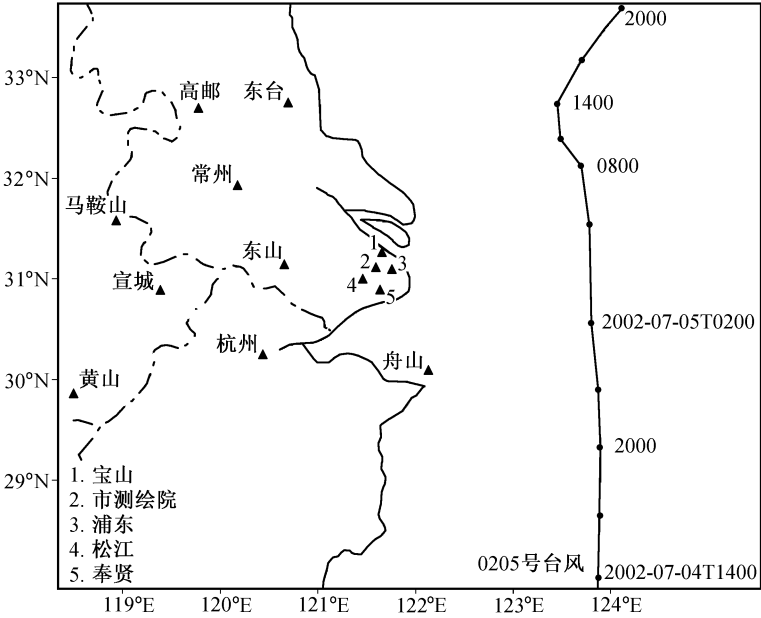


图 1 长江三角洲地区 GPS 站网分布和台风 Ramasun 路径图

2.2 可降水量的计算

GPS 的微波信号被地球大气的电离层和中性大气所延迟，其中电离层延迟近似地和信号频率的负二次方成比例，所以采用双频发射技术而得以消除，其校正精度可达到毫米量级。余下的中性大气天顶延迟可分为由水汽产生的湿延迟 (Z_{wD}) 和其他大气成分产生的干延迟或静力延迟 (Z_{hD})，天顶静力延迟可使用精确的地面气压测量来进行计算。因此，从 GPS 测得的总天顶延迟中减去天顶静力延迟，就可以得到湿延迟，再通过以下公式转换成可降水量 P_{wv} 的测量^[4]：

$$P_{wv} = \Pi Z_{wD}, \tag{1}$$

P_{wv} 的定义是大气气柱的总水汽含量转换成等效液态水柱的高度， Π 为转换因子。

$$\Pi = 10^6 [R_v(k_3/T_m + k'_2)]^{-1}, \tag{2}$$

其中， $R_v=461.495\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$ 是水汽的比气体常数， k_3 和 k'_2 是物理常数，其中 $k'_2=22\text{ K hPa}^{-1}$ ， $k_3=3.739\times10^5\text{ K}^2\text{ hPa}^{-1}$ ， T_m 是大气的权重平均温度，可定义为

$$T_m = \int (e/T) dZ \bigg/ \int (e/T^2) dZ, \tag{3}$$

其中， e 为水汽压， T 为温度（K），积分沿整个气柱。 T_m 在实际工作中一般可通过地面温度 T_s 近似计算，在1997年8月上海的GPS/STORM试验中，使用Bevis等提出的 $T_m=70.2+0.72T_s$ ，用地面气象记录求得的可降水量 P_{wv} 与同时间探空所得的 P_{wv} 比较，其误差可达到毫米量级^[5]。表1列出了台风Ramasun沿海北上期间宝山站探空资料和GPS资料计算的 P_{wv} 的比较，其平均偏差为+0.43 mm，均方差1.98 mm，只有个别时次偏差超过2.00 mm，表明GPS反演的 P_{wv} 精度可与探空资料计算结果相比，也符合于本文所列文献中有关 P_{wv} 精度的要求。

表 1 宝山站探空资料和 GPS 资料所计算的 P_{wv} 值比较（单位：mm）

日 期	探空	GPS	差值
7 月 2 日 18 时	49.29	49.14	+0.15
20 时	52.27	51.15	+1.12
7 月 3 日 08 时	50.11	51.62	-1.51
20 时	52.18	54.49	-2.31
7 月 4 日 02 时	62.44	62.20	+0.24
08 时	58.64	59.53	-0.89
14 时	58.94	57.25	+1.69
20 时	63.06	61.41	+1.65
7 月 5 日 02 时	71.18	65.41	+5.77
08 时	61.42	63.56	-2.14
14 时	57.25	54.89	+2.36
20 时	49.68	49.04	+0.64
7 月 6 日 02 时	45.68	45.54	+0.14
08 时	44.13	43.70	+0.43
14 时	43.19	44.73	-0.82
平均偏差			+0.43
均方差			1.98

3 台风 Ramasun 影响期间 P_{wv} 演变过程的分析

3.1 随台风北上 P_{wv} 有规则地自南向北出现急增

台风 Ramasun 2002 年 6 月 29 日在菲律宾以东洋面上生成后，向西北方向移动，7 月 3 日上午移到我国台湾省东面约 500 km 处，以后较有规则地转向偏北移动，从南向北先后影响浙、沪、苏沿海，7 月 5 日下午在苏北中部沿海折向东北远去。台风靠近 GPS 站网时的一段路径在图 1 中标出。

在台风北上期间， P_{wv} 出现自南而北的急升，我们选取南北方向上的舟山、奉贤、宝山 3 个站做了台风影响前后的 P_{wv} 时间序列图（图 2）。在图 2 中可以看出，当台风临近时，最南面舟山站的 P_{wv} 在 3 日 09 时 30 分（北京时，下同）最早开始急升，然后奉贤、宝山站相继在 3 日 15 时和 16 时后分别出现急升， P_{wv} 的急剧上升发生在台风的

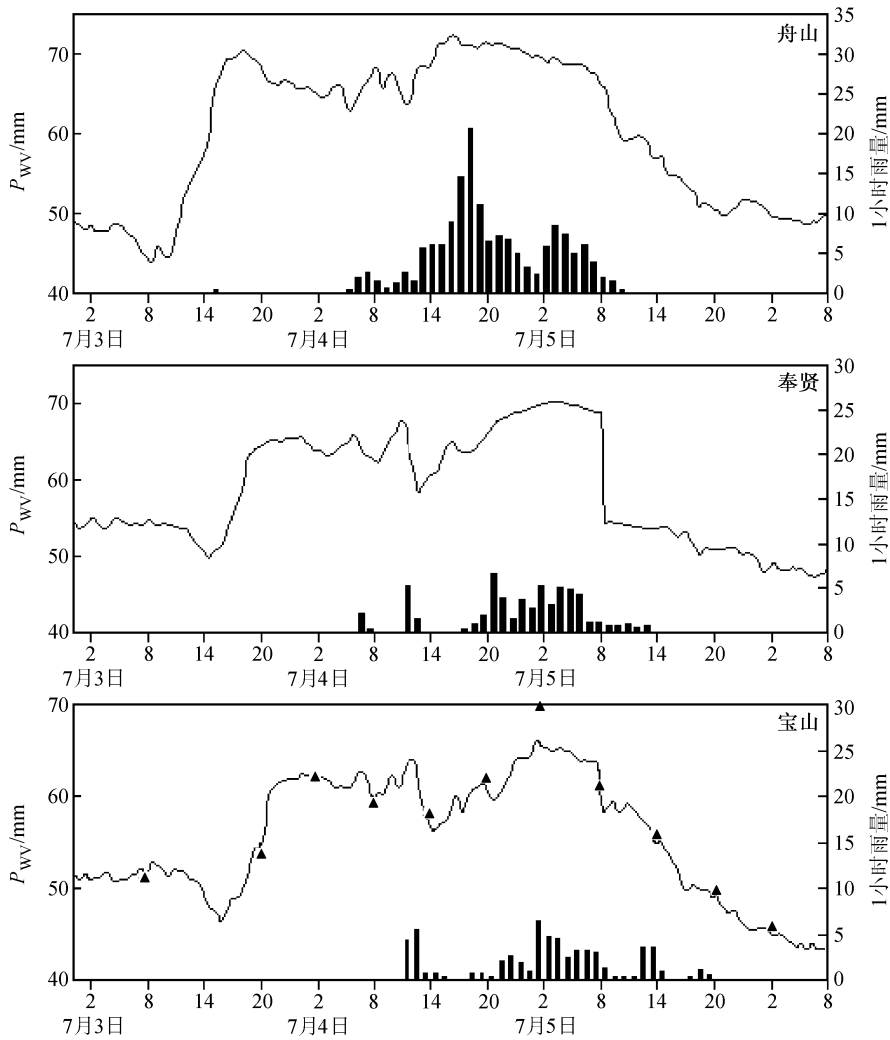


图 2 舟山、奉贤、宝山的 P_{wv} 时间序列

曲线为 GPS 探测的 P_{wv} 值, ▲ 为宝山探空计算的 P_{wv} 值, 黑直方为 1 小时雨量。 P_{wv} 和雨量单位: mm

西北象限离台风中心距离约 850~900 km 处。 P_{wv} 急升的时间次序大约以 20 km h⁻¹ 向北推迟, 和台风在这段时间的北移速度大致相当。

我们进一步讨论台风影响时用探空资料计算的 P_{wv} 的变化, 以分析比较这二种资料系列反映水汽变化过程的能力。从图 2 中宝山站探空资料所计算的可降水量可见, 二者的数值非常相符, 但在台风影响时 P_{wv} 的一些细致连续的演变过程, 因为探空时次的稀少 (12 h 间隔, 加密观测为 6 h 间隔) 而反映不出来, 相比较半小时一次的 GPS 资料中却能得到较充分的反映。以 P_{wv} 的急升过程为例, 在 GPS 探测 P_{wv} 序列中, 3 日 08 时以后 P_{wv} 先是出现缓降, 在 16 时前出现一个 P_{wv} 为 46 mm 的低谷, 然后在 16 时开始急升, 到 21 时 P_{wv} 增大为 61 mm, 平均增幅约为 3 mm h⁻¹, 反映出台风影响前 P_{wv} 明显的急升特征, 而在相应时段探空资料计算的 P_{wv} 中, 只有 3 日 08 时和 20 时二个时次资料计算的 P_{wv} , 其数值很接近, 根本反映不出 3 日白天 P_{wv} 的变化,

直到 3 日 20 时至 4 日 02 时的 6 h 一次的加密探空观测中才能反映出 P_{wv} 的急升，但时间上比 GPS 资料迟 6 h，且 P_{wv} 的时间变化率和增幅都远低于 GPS 资料。这就说明 GPS 资料由于时次的稠密，在反映水汽的变化过程比探空资料要及时和灵敏得多。

另外，我们还做了这一时段中水汽通量散度和水汽云图的比较分析。图 3 是 P_{wv} 急升前后由国家气象中心全球谱模式 (T213) 所提供的每天 1 次 850 hPa 水汽通量散度图。在图 3a 上，由于台风中心还远在台湾东南约 800 km 的洋面上，相应台风前方有一个大于 $-40 \times 10^{-9} \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ 的水汽通量辐合区位于福建以东海面上，舟山 GPS 站处于正的水汽通量散度区内，这时在 P_{wv} 的时间序列上表现为缓缓下降，和正的水汽通量散度是相一致的。以后随台风北移，舟山 GPS 站在 3 日上午 9 时 30 分开始出现 P_{wv} 的急升，上海几个 GPS 站的 P_{wv} 在下午也相继急升，但在相应的水汽通量散度图上，直到 3 日 20 时才能看出水汽辐合带也北移到浙江沿海，在舟山附近有一个大于 $-80 \times 10^{-9} \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ 的水汽辐合中心。二者比较，因为每天仅有 1 次水汽通量散度资料，所以，只能大致看出水汽辐合区的北移，而无法及时详实地反映出与台风影响前大气中水汽急增所相应的水汽辐合过程，然而这一水汽的急增过程在 GPS 站上却表现得非常清楚。

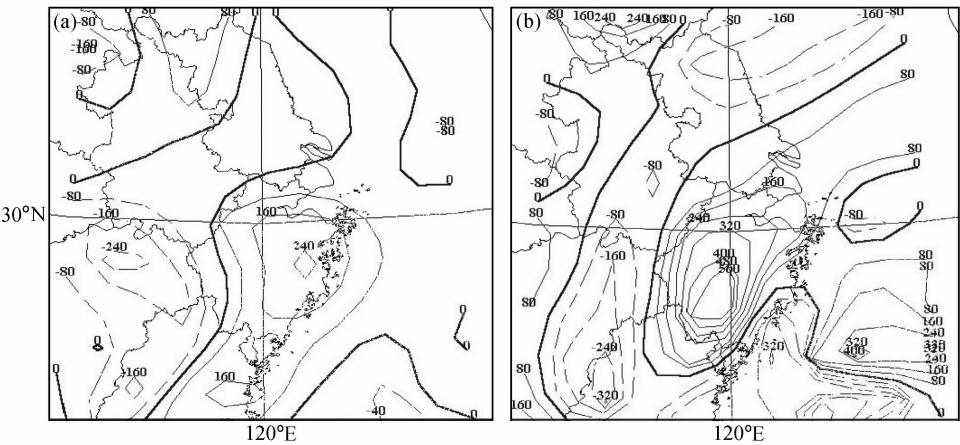


图 3 2002 年 7 月 2 日 20 时 (a) 和 7 月 3 日 20 时 (b) 的水汽通量散度图
单位为 $10^{-9} \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$

在每小时 1 次的水汽云图上 (图略)，从 3 日 10 时开始台风中心前方约 800 km 有一条水汽带随台风北上推进到舟山附近，和 GPS 监测到的 P_{wv} 急升基本一致。但由于水汽云图是反映中高层的水汽情况，以后水汽云带的演变表现为时断时有，远不如 GPS 探测的 P_{wv} 上水汽变化连续而有规律，并且较强的水汽云带基本上在 4 日白天降水开始前后才出现。值得一提的是，当舟山站的 GPS 探测 P_{wv} 在 3 日 09 时 30 分出现急升时，位于上海的多普勒雷达还探测不到任何回波。综合以上分析，可见高时空密度的 GPS 探测 P_{wv} 资料在探测台风影响期间的大气中水汽变化时，与探空和其他观测资料相比，具有明显的优点。

3.2 P_{wv} 的急速变化和降水开始、结束时间及雨量的关系

在台风降水开始之前， P_{wv} 经过一急速增大过程到达一个相对高值以后就上下振

荡,然后再过一段时间才开始出现降水。图 4 选取东西方向的舟山、浦东、东山、马鞍山 4 个站做了台风期间 P_{wv} 半小时间隔的时间序列。从图中可看到最早降水的舟山站在 7 月 3 日 9 时 30 分起就出现 P_{wv} 连续地急剧增大,急升开始阶段增幅大于 10 mm (3 h)^{-1} ,到 17 时 30 分达到一个 70 mm 的高点后基本上在 65~73 mm 范围内波动,而台风降水直到 4 日 04 时才产生,从 P_{wv} 达到 70 mm 的高点(图中箭头所指)到降水产生有 10 h 左右的导前时间,如果从 P_{wv} 出现急升时起算则约有 18 h 的提前。浦东、东山站也有相类似的情况,在 P_{wv} 急升到达高点后的 7~10 h 开始产生降水。相反,在图 4 中还可见到, P_{wv} 出现急速下降则预示台风降水即将结束,在台风北移过测站所在的纬度以后, P_{wv} 就随之开始急降,急降开始阶段都有大于 -5 mm (3 h)^{-1} 的降幅,最后经过半天左右时间恢复到台风影响前的正常值,台风降水从 P_{wv} 出现急降起就迅速减小,且在 1~3 h 内基本结束。图 2 中的奉贤、宝山也有相类似的结果,这一现象对于台风降水的开始和结束时间可能有一定的指示作用。

另一个值得关注的现象是,在台风影响时可降水量 P_{wv} 增大的幅度及所达到的最大值和台风的实际降水量也有一定的对应关系。根据自东向西离台风中心的远近把舟山、浦东、东山、马鞍山 4 个站的 P_{wv} 急升持续时间和急升幅度、 P_{wv} 所达到的最大值与台风过程总降水量、每小时最大降水量列于表 2,可得出一些有意思的结果。

表 2 P_{wv} 急升时间、增幅、最大值和台风降水情况表

	P_{wv} 急升持续 时间/h	P_{wv} 增幅/ mm	P_{wv} 最大值/ mm	台风过程 降水量/mm	1 h 最大 降水量/mm
舟 山	8.0	25.6	73.2	150.8	20.6
浦 东	7.5	16.0	68.9	68.0	7.8
东 山	4.5	11.9	67.4	9.0	1.9
马鞍山	6.0	8.4	65.8	0.0	0.0

在表 2 可见,离台风路径最近的舟山站,台风影响前可降水量 P_{wv} 急升的持续时间最长达 8 h,增幅及所达到的 P_{wv} 峰值也最大,分别为 25.6 mm 和 73.2 mm,表示对于该站水汽的输送和累积量都最多,结果舟山在台风过程中的总降水量和每小时最大降水量也最大,分别达到 150.8 mm 和 20.6 mm h^{-1} 。往西各站离台风路径越远, P_{wv} 的急升持续时间、增幅和最大值逐步减小,尤其是 P_{wv} 的增幅减小最为明显,说明离台风越远,水汽输送量就逐步递减,其结果是台风降水也自东向西地明显减少,如浦东 P_{wv} 增幅减为 16.0 mm,台风过程总降水为 68.0 mm,处于比较内陆的马鞍山站离台风中心最近时约 600 km,其 P_{wv} 的增幅仅为 8.4 mm, P_{wv} 最大值在 4 个站中最小,为 65.8 mm,台风过程降水量则为 0。

降水是大 气 中 水 汽 凝 结 过 程 的 产 物,所 以 降 水 的 产 生 必 然 会 和 水 汽 的 积 聚 有 关,在台风影响前 P_{wv} 的急升就客观地反映了水汽的大量辐合过程,经过一段时间后 P_{wv} 达到最高点,表示大气中水汽含量积累到较高的程度,在其他有利条件配合下就形成降水; P_{wv} 的急降表示台风折向东北远离时大气中水汽迅速减少,使降水很快结束。根据以上分析,从图 2 和图 4 中所标出的 P_{wv} 时间序列不难发现,各站的可降水量演变趋势基本上是雷同的,只不过在时间上随台风的位置自南向北和自东向西有所推迟,其变化的幅度则和离台风中心的距离有关。另外,从 P_{wv} 的时间序列还可看出,可降水

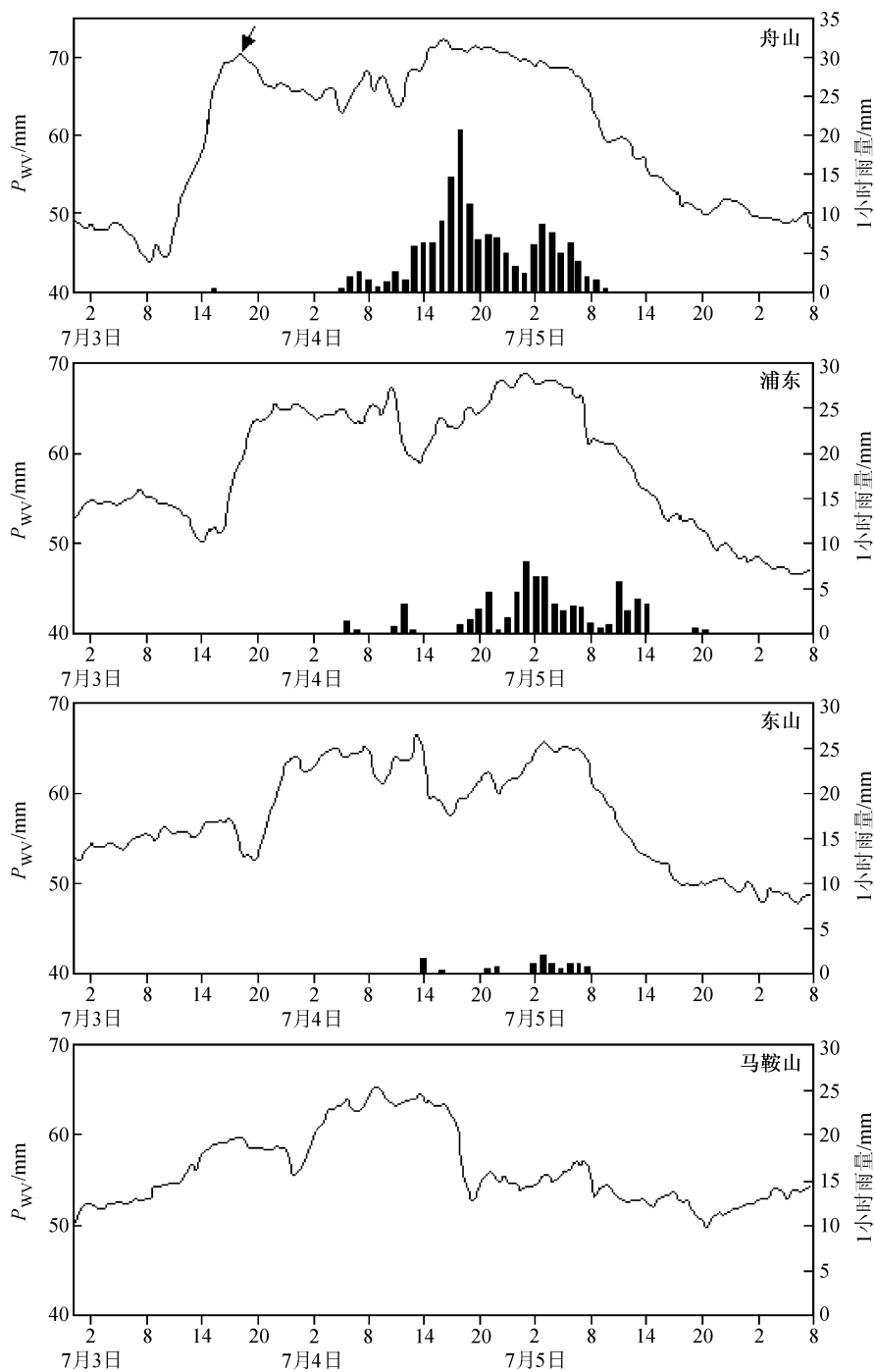


图 4 舟山、浦东、东山、马鞍山的 P_{WV} 时间序列。其他说明同图 2

量的增大和减小都以急升和急降形式发生，并在一个相对较短的时段内完成，这些特征可能和台风系统的尺度和移动有关，在每天 2 次的探空资料中往往反映不出。使用 GPS 资料监测大气水汽的优点在于时间上连续且空间密度也大大增加，高时空分辨率

可很好地监测大气水汽的演变情况,这对于改进降水预报是很有用的。

3.3 P_{wv} 的高位振荡和降水短时变化的关系

在台风影响前 P_{wv} 急升和台风后部 P_{wv} 急降之间, P_{wv} 处在一个相对高值的平台上波动,这一期间也正是台风降水发生的主要时段。在图 2、4 中可以看出,这一时段中降水的短时变化有以下一些特点:降水并不是在 P_{wv} 一到达高值平台后就出现,而是经过几小时的上下波动后才产生;台风降水呈现明显的阵性,较大的 1 h 降水量总是出现在 P_{wv} 波动过程中一个相对高点之后,即在 P_{wv} 时间序列中一个波峰后面紧跟着一个降水的峰值;在 P_{wv} 振荡下降后雨量变小或降水暂停,直到 P_{wv} 再次上升到下一个相对的高点。这一现象在奉贤、浦东、宝山和东山等站上表现得非常清楚,这几个站距台风中心有一定距离,主要是受到台风外围螺旋雨带的影响。图 5 用 7 月 4 日 10 时以后每小时的雷达回波实况叠加上 P_{wv} 的分布来进一步探讨台风降水短时变化和 P_{wv} 的关系。从图 5 中 10 时到 19 时的雷达回波演变中可看到,有二条台风雨带依次从海上向西北方向移动影响上海一带,而 P_{wv} 也相应二次高值区从台风中心附近的海上向西北方移动的过程,每个 P_{wv} 高值区都对应了一条台风螺旋雨带,且 P_{wv} 有规律的增大一般都先于雨带的出现,而在二条台风雨带之间的无雨区域则和 P_{wv} 的低值区相一致。如第 1 条雨带 10 时位于杭州湾,11 时移到上海东南沿海,以后继续向西北方移动影响上海地区,13 时移过上海到东山一带,对应图 2、4 每小时雨量图上,奉贤、浦东、宝山几个站 11 时以后的一段降水和东山站 13~14 时降水,而 P_{wv} 图上等值线的密集区 10 时已经先期移到上海东南沿海一带,11 时在雨带前方的奉贤站有一个 69 mm 的 P_{wv} 高值中心,台风雨带有规律地向高值区方向移动登陆上海,到 13 时高值中心向西北移到东山,而 13 时以后雨带也影响东山,在雨带移过上海的同时,上海几个 GPS 站的 P_{wv} 出现明显下降,其中奉贤站的 P_{wv} 降到 59 mm 的低谷,在第 1 条雨带移过后上海地区没有降水的几小时内 P_{wv} 一直保持着—个低值区。第 2 条雨带原先在杭州湾以东海面上少动,17 时以后才逐渐开始西进,先是零散的雨带,到 19 时雨带主体也到达上海沿海,随之上海地区产生第 2 段集中的降水,从 P_{wv} 的演变情况来看,早在 16 时上海东南沿海就出现 P_{wv} 等值线的密集带 (P_{wv} 锋面) 向陆上推进,随着 P_{wv} 不断升高,17 时在上海和长江口区存在了几个小时的 P_{wv} 低值区消失,这一现象清楚地表示了海上又有一次水汽向这一带再次输送和积聚。

我们再用 MM5 模式计算了同时段每小时一次的水汽通量,以表示台风雨带影响时水汽的输送情况,并和 GPS 资料计算的 P_{wv} 分布的变化及台风螺旋雨带的活动进行分析比较。图 6 是 7 月 4 日 11 时到 20 时的间隔为 3 h 一次的 850 hPa 水汽通量图,可见水汽通量的等值线基本上围绕台风中心作半环状分布,其数值从台风中心向外快速增加,在距中心约 300 km 处为一超过 $60 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ hPa}^{-1}$ 的高值带,再向外水汽通量有规则的逐渐减小,这种水汽输送结构随台风的北移同步地缓慢向北推进。和图 5 中的 P_{wv} 分布相比较,在海上由于 GPS 站网很稀,二者等值线大致上相平行,等值线的走向从中午 11 时前后的东北—西南走向,随台风北移而逆转,到 17 时转成东北偏北—西南偏南走向, P_{wv} 的高值区就位于水汽通量高值带的前方,表示在该处水汽辐合最大,导致 P_{wv} 的增加。从第 2 条台风螺旋雨带来看,它位于 P_{wv} 的高值区中,处于水汽通量高值带的前方,从 13 时以后相应的雨带活动情况可看出,台风雨带的走向也和

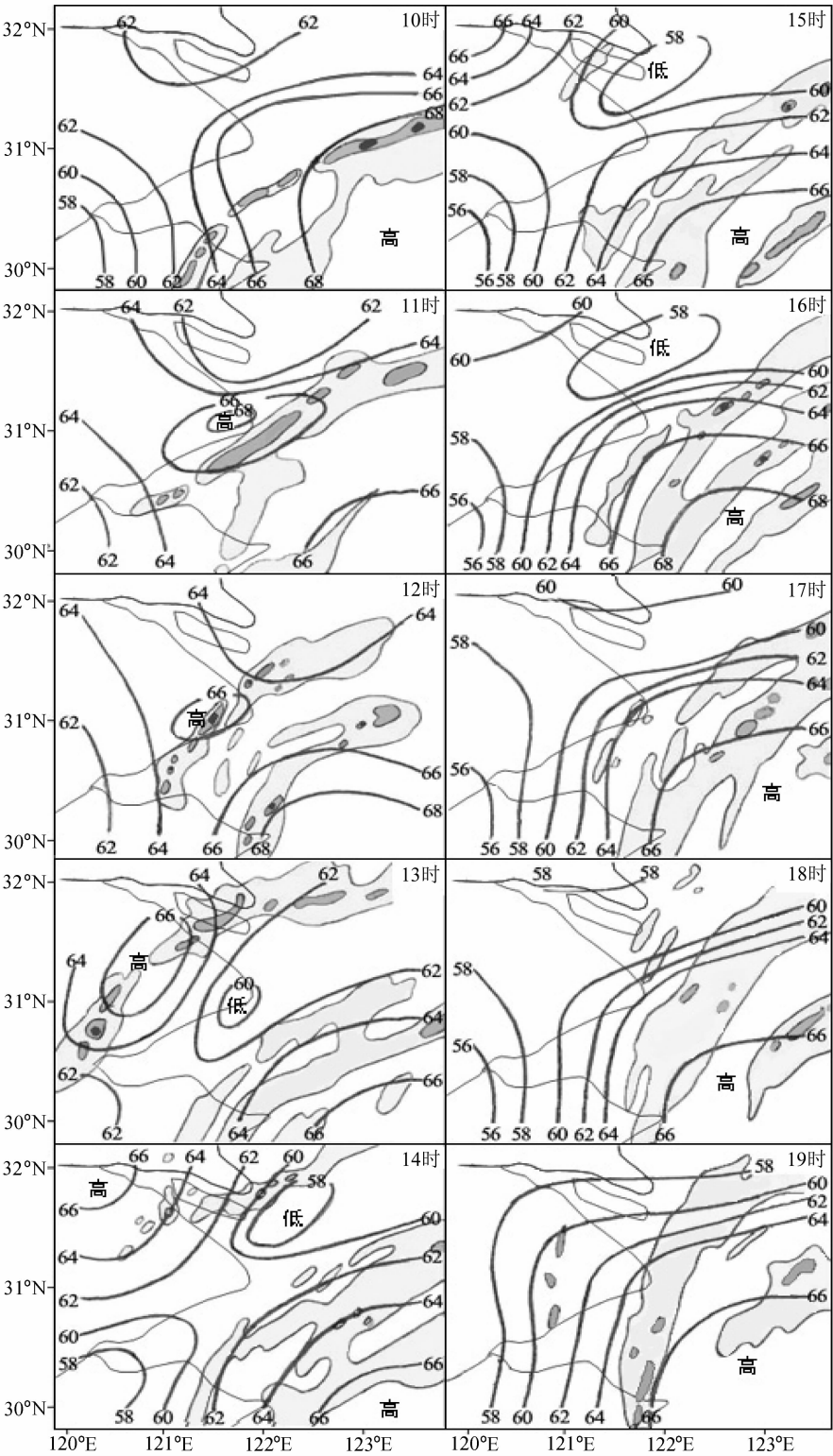


图 5 2002 年 7 月 4 日 10 时~19 时台风雨带回波和 P_{wv} 分布的演变图
雷达回波强度浅灰色区为 ≥ 30 dBZ, 灰色区为 ≥ 40 dBZ, 黑色区为 ≥ 50 dBZ

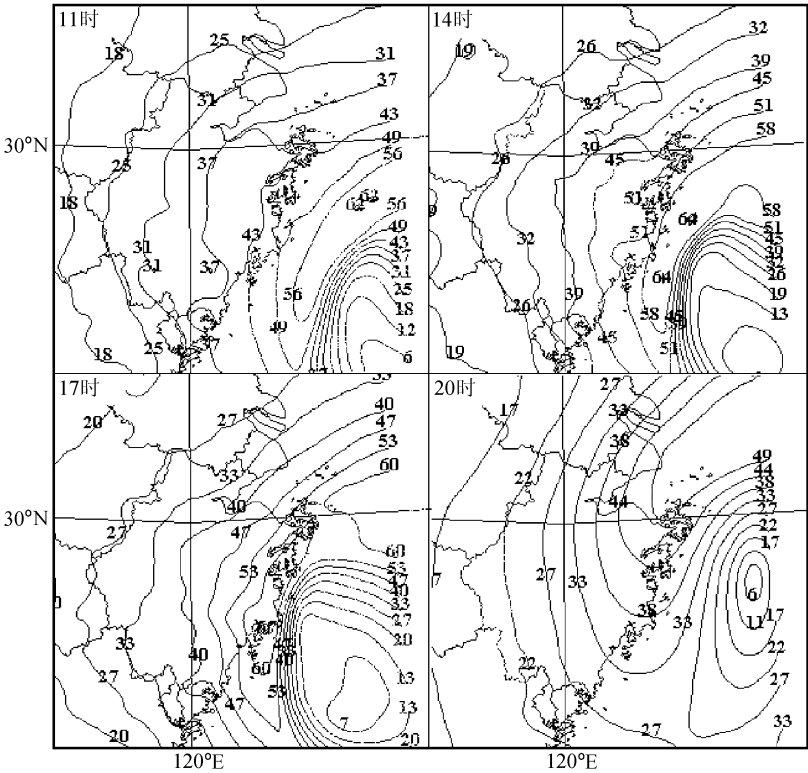


图 6 2002 年 7 月 4 日 3 小时间隔的 850 hPa 水汽通量图。单位为 $\text{g s}^{-1} \text{cm}^{-1} \text{hPa}^{-1}$

P_{wv} 及水汽通量等值线的走向基本一致，即从 13 时的东北—西南走向，在 17 时转成东北偏北—西南偏南走向，再转成近于北—南走向。在转向的同时，雨带随水汽通量高值带和 P_{wv} 高值区的移动而移动，开始逐渐西进登陆上海。再看第 1 条台风螺旋雨带，它在 11 时登陆后，直到 14 时在长江口区消散，移经上海和苏南东部，这里 GPS 站网相对稠密，上海地区站距为 23 km，所以在图 5 中可反映出 P_{wv} 的中尺度分布，在 11~14 时的几张图中可看出台风雨带紧随着 P_{wv} 的高值区移动，雨带中较强降水区和 P_{wv} 的高值区基本上保持一致，而雨带移到 P_{wv} 低值区中就很很快消散。对比图 6 中该时段水汽通量的演变，仅能看出比较均匀分布的等值线有规律地向西北方推移，如 $31 \text{ g s}^{-1} \text{cm}^{-1} \text{hPa}^{-1}$ 的等值线 11 时位于上海中部，14 时到达上海中北部，反映不出和雨带生消变化有关的水汽输送的不均匀结构，这一点也正是稠密 GPS 站网资料反映大气中水汽场细致结构的优点。根据以上分析，可认为在台风影响时水汽较为充沛的大背景下，水汽输送也具有明显的阵性变化，从而引起水汽分布的不均匀性，利用稠密的 GPS 资料可实时地反映出这种水汽变化的中尺度分布特点，这对预报台风螺旋雨带的演变和降水的短时变化可提供有用的帮助。

4 结论

(1) 近年来发展的 GPS 技术为监测大气水汽提供了一个有效的新途径。通过台风

Ramasun 影响期间 GPS 探测 P_{wv} 与同一测站探空 P_{wv} 的比较，均方差为 1.98 mm，说明长江三角洲 GPS 站网的资料精度已达到预定的要求。

(2) 在台风影响期间，一个站的 GPS 探测 P_{wv} 时间变化具有急升、高值位波动和急降三个阶段特征。随台风北上，在台风前方离台风中心约 850~900 km 处， P_{wv} 有规则地出现自南向北的急升，增幅可达 10 mm (3 h)^{-1} ，急升阶段一般在几个小时内完成。 P_{wv} 急升的时间次序和台风的北移速度大致相当，反映了台风前方大气中水汽含量的增加过程。在 GPS 探测 P_{wv} 急升达到峰值后就进入高值位波动阶段，台风降水主要出现在这一阶段内，首次明显降水出现在 P_{wv} 急升达到峰值的 7~10 h 后。而台风越过测站同纬度后， P_{wv} 就急速下降，台风降水也迅速减小，在 1~3 h 内降水基本结束。

(3) GPS 探测 P_{wv} 急升的时间长短、增幅、所达到的最大值可以反映台风环流对该地输送水汽的强度和累积量，因此，它们与该地的台风过程总降水量、一小时最大降水量有较好的对应关系。值得一提的是，高密度的 GPS 探测 P_{wv} 资料可详细反映出大气中可降水量分布的不均匀性，它与多普勒雷达探测到的螺旋雨带回波的移动和演变有较好的对应关系。

(4) GPS 探测 P_{wv} 与探空、物理量资料和水汽云图相比较，在详细地反映大气水汽的时间连续变化以及空间分布的不均匀性方面具有一定的优越性，说明使用 GPS 资料在降水预报中存在相当的潜力。

参 考 文 献

1 Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring et al., GPS meteorology; Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System, *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**, 787~801.

2 Rochen, C., T. V. Hove, J. Johson et al., GPS/STORM-GPS Sensing of Atmospheric Water Vapor for Meteorology, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1995, **12**, 468~478.

3 Liou, Y. A., and C. Y. Huang, GPS observation of PW during the passage of a typhoon, *Earth Planet Space*, 2000, **52**, 709~712.

4 Duan, J., M. Bevis, P. Fang et al., GPS Meteorology: Direct estimation of the absolute value of precipitable water. *Journal of Applied Meteorology*, 1996, **35**, 830~838.

5 王小亚、朱文耀、丁金才等，上海地区 GPS/STORM 试验与结果，全球定位系统，2000，**3**，31~37.

GPS Observation and Analysis of Precipitable Water Vapor during Typhoon Ramasun in 2002 Influencing East China Coast

Ding Jincai¹⁾, Huang Yan¹⁾, Ye Qixin¹⁾,
Zhu Wenya²⁾, Song Shuli²⁾, and Liang Xudong³⁾

1) (Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030)

2) (Shanghai Astronomical Observatory, Shanghai 200030)

3) (Shanghai Typhoon Institute, Shanghai 20030)

Delta during typhoon Ramasun influencing East China Coast is analyzed. The coincidence between the P_{wv} from GPS and the P_{wv} from radiosondings shows good quality of P_{wv} data from GPS. Through the analysis of the time series of P_{wv} data from GPS of 14 GPS stations, it is revealed the features of three stages during the typhoon's influencing East China Coast. When the typhoon approached the Yangtze River Delta, the P_{wv} in the area of 850~900 km ahead from the typhoon center begins to increase rapidly, the keeping up time, the range and the maximum of the P_{wv} increasing reflect the intensity and the accumulation of the water vapor. They relate well with the total rainfall and the maximum of the hourly rainfalls during the typhoon influence. After P_{wv} reaching the peak, the P_{wv} enters a fluctuation period with high P_{wv} magnitudes, the precipitation occurs generally 7~10 hours later. In this period, the temporal fluctuation and the spatial distribution correspond well to the variation of the typhoon precipitation in short time and the evolution of typhoon's spiral rainfall bands. Finally, the P_{wv} decreasing rapidly suggests the end of precipitation.

Key words: Global Positioning System (GPS); typhoon; precipitable water vapor



“城市气候环境与遥感监测技术”研讨班邀请通知

“城市气候环境与遥感监测技术”研讨班计划于2004年10月11~15日在北京中国科学院地理科学与资源研究所举办。研讨班由德国 Heinrich Boell 基金会资助的德国著名教授主讲，配备翻译。内容包括：城市气候与城市规划；空气质量监测与评估；人文气候生态；地表温度遥感制图与自动分类；植被参数与植被分析；遥感技术过程与方法；遥感数字图像处理；北京城市气候实地考察与讨论。

报名详情见：<http://www.igsnrr.ac.cn/index.jsp>（综合新闻栏）

联 系 人：张进平先生

联系地址：中国科学院地理科学与资源研究所
北京市朝阳区大屯路甲 11 号 邮编：100101

联系电话：010-64889843 转 2

手机电话：13810356215

传 真：010-64889630

E-mail: Zhangjp@Lreis.ac.cn

或联系人：李建新先生

联系电话：010-82841175

手机电话：13681265511

E-mail: Lijx@Lreis.ac.cn