

GPS 资料在天气分析中的应用*

杨红梅 徐宝祥 周秀骥

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要 1998年5月5日至6月26日华南暴雨试验期间, 在汕头和阳江分别安装了地面 GPS 接收机, 用 GPS 信号反演气柱水汽总量。GPS 反演结果与常规无线电探空计算结果是一致的。使用 GPS 资料可以提高了解水汽分布的时空分辨率, 对监测与雷暴发展有关的中尺度对流系统的生消是有价值的。

关键词 GPS 探测技术 水汽总量 暴雨预报

引言

水汽是降水天气过程的首要条件之一, 如何客观定量反映气柱的水汽变化, 大气科学工作者已作了许多研究, 现行测站的密度和一日两次的探空时间间隔的无线电探空资料不能很好地反映水汽时空变率。随着卫星探测技术的广泛应用, Bevis 等^[1]和 Rocken 等^[2-3], 采用地基全球定位系统 GPS 技术探测大气水汽含量, Yuan 等^[4]以及 Gorbunow 等^[5]结合掩星技术通过对大气折射率的遥感资料来反演大气的温湿特性, 近几年, 我国科研人员也开展了此项工作^[6-8]。

1998年5月5日至6月26日华南暴雨试验期间, 在广东省汕头和阳江气象观测场分别采用载波相位测量定位法, 用 GPS 双频接收机在地面固定点收集卫星信号数据, 遥感大气水汽总量, 以便同加密(每日4次)无线电探空资料计算的对流层气柱水汽总量进行对比分析, 并使用同期海口与天津的 GPS 资料, 考察这项新技术的适用性。

1 GPS 资料反演局地气柱水汽总量原理

GPS 信号对大气的折射率是敏感的, 折

射率是气压、温度和水汽的函数。Christan Rocken 等(1995)在研究中发现, 少量的大气水汽会大大影响 GPS 信号传播速度, 因此, GPS 特别适合于测定大气水汽。用观测 GPS 卫星信号传输到 GPS 接收机的时间来测量卫星到接收机的距离, 再根据信号的延迟量反演气柱中的累积水量。

用折射系数: (a) $K_1 = 77.6, K_2 = 70.4, K_3 = 3.739 \times 10^5$; (b) $K_1 = 77.6, K_2 = 64.79, K_3 = 3.776 \times 10^5$ 和经验系数; (c) $\Pi = 0.156$, 3种算法计算试验期间汕头站大气气柱的水汽总量。结果表明(a)算法比(b)算法小0.3~0.4 mm, 经验系数法明显高于(a)和(b)算法(图略)。

2 同一季节不同地区的气柱水汽总量差异

按气候平均, 每年5~6月季风雨带主要位于华南地区, 华南地区的气柱水汽总量相对高。图1是阳江、汕头、海口与天津4站 GPS 技术反演的试验期间每日08:00水汽总量曲线, 显示了试验区的阳江、汕头及海口站的水汽总量明显高于位于39°N附近的天津站。尽管在同一季节, 但水汽总量的差异如此之大, 显然这与受不同天气系统的影响是分不开

* 国家攀登项目专项(85-专-03)和国家重点基础理论研究发展项目(G19980409'09)资助

的。此时的天津正受西风带环流系统影响, 空气干燥, 水汽总量自然较试验区的3站低得多。由此可见, 水汽总量随纬度、随控制天气变化的环流背景而变化, 北干南湿的特点也能正确反映出来。

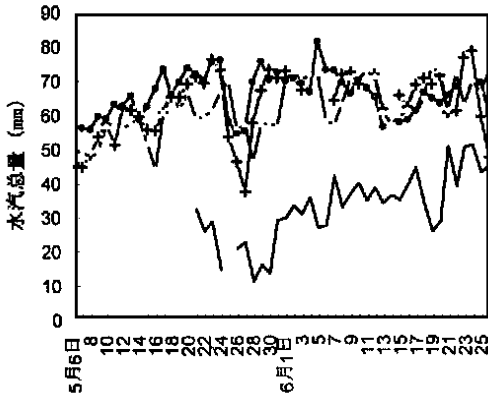


图1 GPS 资料反演5月6日至6月25日阳江等4站 08:00水汽总量分布
(-+-阳江, ... 汕头, -·-海口, ——天津)

3 同一地区不同天气系统造成的水汽总量差异

无论观测的时间、空间密度如何, 都可以发现大气中的水汽在不停地变化。图2给出了汕头5月14~15日GPS资料用经验系数法反演的水汽总量曲线。在14日24:00以前, 汕头水汽总量变化幅度不大。15日02:00, 水汽总量由58.9 mm增加到74.7 mm, 汕头市及附近地区电闪雷鸣, 暴风雨天气来临了。地处汕头东北部约50 km处的饶平02:00~08:00降水量为117.4 mm。图中14:00水汽总量已降至过程前的值, 雨渐止。汕头观测场降水量为38.5 mm, 附近的自动气象站自记降水量为51.3 mm。由此可见, 用GPS资料反演的水汽总量, 对降水天气过程的来临是敏感的。

4 在同一试验区有无降水系统的差异图

图3是5月30日阳江、汕头GPS资料反演的水汽总量直方图。由图可见, 5月30日阳江的水汽总量明显高于汕头, 水汽总量均在70 mm以上; 由无线电探空数据计算的结果(见

图4相应时段), 水汽总量也在70 mm以上。这与单站日降水量基本吻合。阳江24 h降水量为439.4 mm(其中最大雨强为99.9 mm/h), 而汕头则没有降水。由此可见, 高水汽含量对降水系统的来临有一定的指示意义。

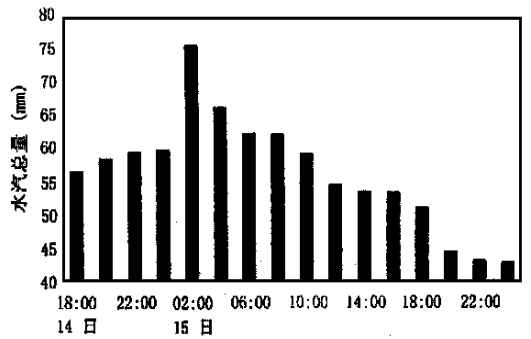


图2 汕头GPS资料反演的5月14~15日水汽总量

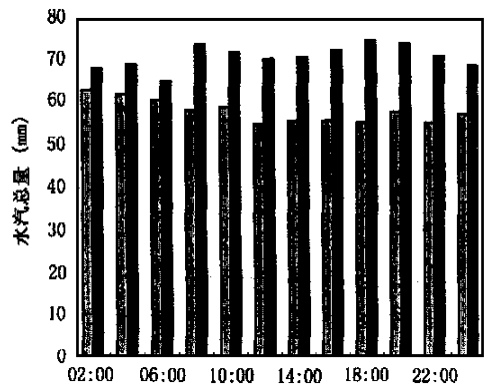


图3 5月30日GPS资料反演的汕头和阳江水汽总量直方图(灰框: 汕头, 黑框: 阳江)

5 与探空资料计算结果比较

在华南暴雨试验期间, 试验区高空探测由常规的每日08:00、20:00 2次增至4次, (增加了02:00、14:00)。在预报有大的降水系统来临或预报大范围地区出现雷暴或强对流天气时, 探空次数增至每隔3 h 1次。对流层垂直气柱($p_1 \sim p_2$)中水汽量PW的表达式为

$$PW = \int_{p_2}^{p_1} r dp \quad (1)$$

式中的 r 为水汽混合比(g/kg), PW 代表气柱中的水汽凝结后积集在气柱底面积上液态水的深度(mm)。文中用各时次的常规资料

和5~20多层的特性层资料,计算气柱中累积水汽总量。图4显示了阳江两套探测资料计算的水汽总量曲线,两条曲线的增减趋势一致,峰值和谷值也很接近。图4中相对应的值有166次,探空与GPS两套探测资料计算结果的数值差为:正值有73次(含2次绝对重合,差值为0),负值有93次。探空与GPS两套探测资料计算结果的差值绝对值 $>15\text{ mm}$ 和在 $10\sim 15\text{ mm}$ 之间的各出现2次,占总数的2.4%;在 $5\sim 10\text{ mm}$ 之间的有50次,占总数的30.1%; $<5\text{ mm}$ 的有112次,占总数的67.5%。可见,GPS资料反演的水汽总量值是有使用价值的。

试验期间,阳江24 h降水量 $>50\text{ mm}$ 的天气出现了7次,5月份居多(5次),最大雨日发生在5月30日,24 h降水量为 433.1 mm ,最大雨强出现在30日06:00-07:00,相应降水量分别为 99.9 mm 和 60.1 mm 。在这次天气过程中,GPS和探空资料计算的水汽总量都反映了局地水汽总量值高,也进一步说明那里的气柱是高湿的^[9]。

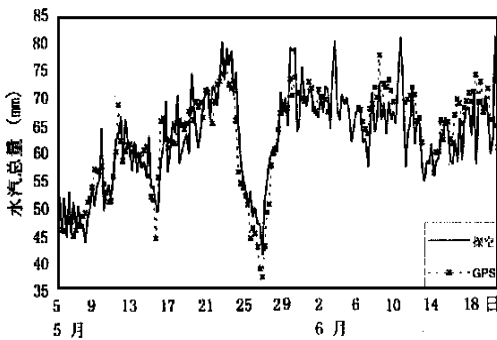


图4 汕头5月5日至6月20日08:00水汽总量曲线

6 讨论与说明

GPS资料反演的水汽总量和常规加密探空资料计算结果都表明:在整个试验期间,阳江、汕头和海口3站的水汽总量值都较高,大气常为准饱和的高湿状态,产生强对流天气的水汽条件常常具备。然而,水汽总量与降

水量的关系并不完全成正相关。判断一地降水量的大小,不仅要看水汽总量值的大小,还要注意水汽总量的增幅,更重要的是看影响系统维持多久,水汽源的距离及水汽辐合区维持时间。阳江和海口的水汽总量常常相接近,但海口的水汽增幅不大,缺乏触发机制,故降水天气过程、降水量都少得多。因此,局地的稳定度条件、触发不稳定能量释放的动力抬升条件都是不可忽视的。

研究表明,注意大气低层水汽的增减固然重要,而及时掌握大气柱的水汽总量增减趋势对监测强天气的生消更具有使用价值,有助于提高短时强天气预报的准确性。在短时段内,大气急剧增湿预示着某一强天气系统来临或强天气生成,这为临近预报和短时预报提供了必要的依据。

从理论上讲,水汽主要分布在对流层,GPS资料计算的水汽值应大于无线电探空值,这是由于GPS探测高度高,不受狂风暴雨等天气条件的影响,而无线电探空通常在 200 hPa 以上就测不到水汽了,若碰到恶劣天气条件,可能在 500 hPa 高度以上就测不到了。造成这两套探测系统量值小小差异的另一个原因在于两套系统本身就存在时间上的误差,GPS是正点资料,而无线电探空则是1 h前开始放球,还有球的漂移造成的误差。GPS的优点在于不受外界天气条件、天气现象的影响,获取资料的时间间隔可根据天气形势或特殊需要确定,随意性相对强。

参考文献

- 1 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: 15787- 15801
- 2 Rocken C, VanHove T, Johns J, et al. GPS/STORM-GPS sensing of atmospheric water vapor for meteorology. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 1995, 12 (3): 468- 478

(上接34页)

- 3 Rocken C, et al Sensing atmospheric water vapor with the Global Positioning System. Geophys. Res. Lett., 1993, 20(23): 2631- 2634
- 4 Yuan L, Anthes R A, Ware R H, et al Sensing climate change using the global positioning system. J. Geophys. Res., 1993, 98(D8): 14925- 14937
- 5 Gorbunov M E and Sokolovskiy S V. Remote sensing of refractivity from space for global observations of atmospheric parameters. Max - Planck - Institute for Meteorology Report, 1993, No. 119, 937- 1060
- 6 毛节泰. GPS 的气象应用. 气象科技, 1993, (4): 45- 49
- 7 彭红, 葛润生, 周秀骥. GPS 在大气探测中的应用. 大气遥感技术论文集. 北京: 气象出版社, 1997, 110- 118
- 8 李成才, 毛节泰. GPS 地基遥感大气水汽总量分析. 应用气象学报, 1998, 9(4): 470- 477
- 9 杨红梅, 葛润生, 徐宝祥. 用单站探空资料分析对流层气柱水汽总量. 气象, 1998, 24(9): 8- 11.