

## GPS 气象网

丁金才 叶其欣

(上海中心气象台, 上海 200030)

## 提 要

简述了 GPS 气象学的发展动态和长江三角洲地区 GPS 气象网的概况, 着重介绍了如何解决计算方法和设备、通信系统、产品实时演示系统和系统准业务化管理等问题, 实现 GPS 气象网的近实时运转。

关键词: GPS 气象学 近实时 通信系统

## 引 言

利用 GPS 卫星探测大气参数是 20 世纪 90 年代初发展起来的一种全新的空间探测大气的方法。GPS 卫星信号经过大气时会产生延迟现象, 通过地基 GPS 接收机测得的 GPS 卫星信号延迟量可反演出大气可降水量(GPS/PWV)<sup>[1]</sup>。由于它具有全天候、高精度、高时空分辨率和成本低等优点, 可有效地弥补目前常规观测手段对大气中水汽测量的不足, 对提高灾害性天气的监测和预报能力, 改进数值天气预报精度有广阔的应用前景, 因而引起了气象工作者的广泛重视。现在已发展成为气象学的一个新分支——“地基 GPS 气象学”<sup>[1,2]</sup>。

目前, 世界上许多国家和地区相继建立了国家级或地区级的 GPS 气象网, 使 GPS 气象学的研究提升到新的高度, 并朝实时化和业务化方向发展, 如美国海洋大气局的预报系统实验室(NOAA/FSL)研制了全国地基 GPS 可降水量的演示网(Ground-Based GPS-IPW Demonstration Network), 已从 1996 年投入实时业务运行, 以 30 分钟间隔显示全国 100 多个 GPS 站组成的 GPS 气象网的相关产品<sup>[3]</sup>。我国的北京和上海地区也先后开展了 GPS 气象学的前期研究和观测试验。2000 年 4 月上海市人民政府开始投资

建设“上海地区 GPS 综合应用网”, 其中一个重要项目是承建由 14 个 GPS 站组成的长江三角洲地区 GPS 气象网。该网已于 2002 年 6 月初步建成, 并投入准实时运行, 提供半小时间隔的长江三角洲地区 14 个 GPS 站的资料和有好的产品, 为 GPS 气象学的业务应用创造了条件。与非实时运行的 GPS 气象网相比, 建设一个近实时 GPS 气象网要解决计算方法和设备、通信系统、产品实时演示系统和系统准业务化管理等问题。

## 1 长江三角洲地区 GPS 气象网的概况

长江三角洲地区 GPS 气象网由 14 个 GPS 基准站组成, 分布于上海市和江、浙、皖三省, 覆盖范围为  $29 \sim 33^{\circ}\text{N}$ 、 $118 \sim 122^{\circ}\text{E}$ , 如图 1 所示。其中 5 个站分布在上海地区, 宝山(shbs)、浦东气象中心(shpd)、奉贤气象中心(shfx)、佘山天文台(shss)和市区的上海市测绘院(shch)(注: 括号内的字母表示各站的代号, 以后文中以此表示)。各站间距  $11.5 \sim 35.1\text{km}$ , 平均间距  $23.0\text{km}$ 。另外 9 个站设在邻近的江、浙、皖三省的气象台站, 江苏省的东山(jsds)、常州市(jsds)、东台市(jsdt)和高邮市(jsgy), 安徽省的马鞍山市(ahma)、宣城(ahxc)和黄山市(ahhs), 浙江省的杭州市(zjhz)和舟山市(zjzs)。各站间距  $73.4 \sim 141.9\text{km}$ , 平均间距  $105.7\text{km}$ 。整个

网边界的10个站的间距53.4~195.4km,平均间距133.4km。

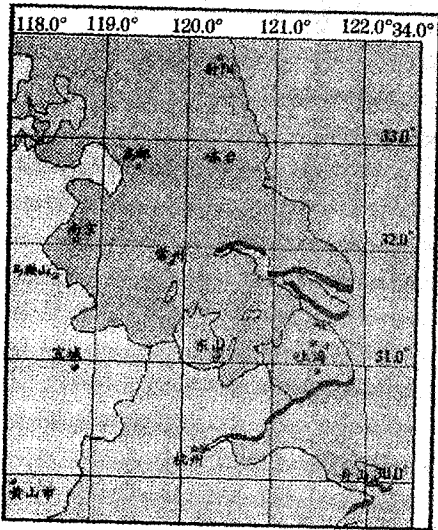


图1 长江三角洲地区GPS气象网的站点分布

GPS设备采用美国Ashtech公司的Uz-CGRS型12频道双频接收机,工作软件是该公司开发的GBSSR软件。接收天线选用扼流圈天线,以改善多路径效应。天线安装在按永久性GPS基准站标准建造的水泥基座上。除上海的宝山站、测绘院站和浙江省的舟山站因环境条件限制,天线安放在大楼顶

上,离地面约30m外,其余11个站的天线都建在视野宽广的观测场内,离地面3m左右。GPS接收机放置在室内。

长江三角洲GPS气象网的数据处理利用的是美国的GAMIT软件,该软件采用的是双差技术。在处理数据时,为了得到每个站上空绝对的大气延迟,另外加入了5个长基线点,泰安、厦门、武汉和日本的筑波(TSKB)、乌苏(USUD)一并计算。计算时加载了海潮模型,以提高计算精度。实时处理利用预报轨道,轨道误差小于25cm,计算的平滑窗为12个小时,每30分钟计算一次。

长江三角洲GPS气象网的运行流程大致是:各GPS接收机常规采样间隔30秒,Met-3气象仪采样间隔1分。每30分钟的GPS和Met-3的采样资料自动形成一个约100K的压缩文件,在10分钟内传输到设在上海天文台内的中心处理站。数据处理和计算时间约20~25分钟,然后把计算的14个GPS站的天顶延迟量和可降水量等资料传输到设在上海中心气象台内的GPS气象工作站。GPS气象工作站对这些资料再处理,在5分钟内生成各种GPS气象产品,供实时天气预报或研究应用。图2描述的是长江三角洲近实时GPS气象网的运行流程的概况。

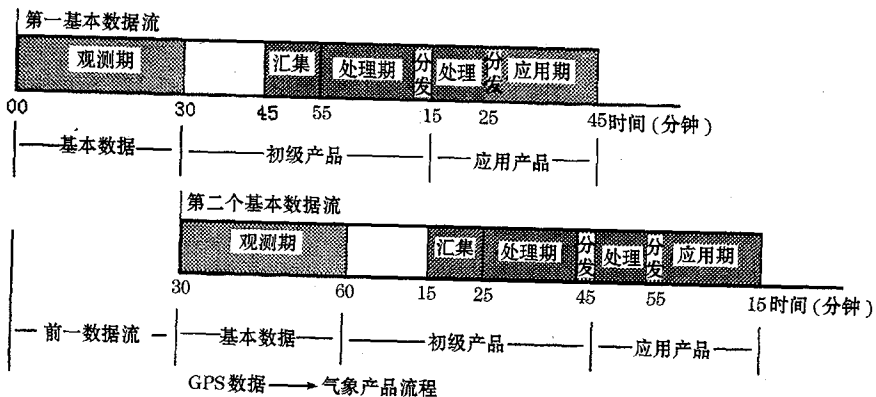


图2 长江三角洲GPS气象网的近实时运行流程图

## 2 实现长江三角洲GPS气象网近实时运行所解决的若干问题

### 2.1 计算方法和设备

在利用GPS接收的GPS卫星资料计算

可降水量时,必须要GPS卫星星历。目前非实时研究用的区域GPS气象网都使用精密星历。但是精密星历要到11天后才能得到,即使是快速轨道也要延迟24小时。显然,

GPS气象网就无法实现实时应用计算。值得庆幸的是国际GPS用户协会(IGS)从1997年3月开始发布24小时和48小时的GPS卫星预报轨道。王小亚等利用预报轨道和精密轨道对1997年8月内10天的可降水量进行了比对计算,结果二者的平均差为0.2mm,表明利用预报轨道可以实现降水量的实时计算<sup>[4]</sup>。目前IGS的超快速预报轨道IGU(IGS Ultra rapid products)包括48小时的轨道,前24小时是利用实际观测值确定的轨道,后24小时是预报的轨道,IGU在每天的3:00和15:00(UTC)各发布一次,轨道精度在20cm左右,比原来的IGS预报轨道精度提高了一倍。用预报轨道计算降水量的精度能否达到气象应用的需要呢?最近根据长江三角洲GPS气象网2002年7月7~13日的上海宝山和浙江的杭州站的GPS资料,分别利用精密轨道和预报轨道(IGU)计算了可降水量。上海宝山站的二种轨道计算的均方差为0.73mm,偏差为0.52mm。浙江杭州站的二种轨道计算的均方差为0.85mm,偏差为0.65mm。再次证明长江三角洲GPS气象网用预报轨道实现降水量的实时计算完全能满足气象应用的精度要求。

由于计算GPS/PWV必需使用同步的地面气压(P)和温度(T)的资料。要实现GPS/PWV的实时计算,必须要解决实时获得同步的P和T的资料。为此我们在每台GPS基准站的天线同高度处安装了一台并置的气压、温度和相对湿度三要素自动气象仪。型号为美国Paroscientific Inc产的met-3。Met-3气象仪采样间隔1分。每30分钟的采样资料自动和GPS采样资料形成一个文件,传输到中心工作站,实现实时计算的任务。

## 2.2 通信系统

要保证在10分钟内把长江三角洲GPS气象网14个GPS站的资料全部传到中心工作站,并按上述的工作流程半小时间隔完成资料和产品的更新,建立一个完善的区域GPS网,通信系统是关键。该通信网的运行必须达到以下要求:(1)及时性:14站的资料必须在规定时刻前10分钟内全部传输

到中心工作站,每个站一次的传输量约为100K字节。(2)可靠性:由于30分钟的GPS和气象资料量很大,必须形成压缩文件才能实时传输。传输时即使发生一个误码,就会使接收方打不开文件。同时,实时运转的GPS网的资料传输频率高,一天传输48次,出现误码的几率明显高于非实时传输。因此,选择性能优良的通信方式和软件,保证数据传输的可靠性是实现区域GPS网实时运转基本条件。(3)自动化程度高。(4)便于维护和管理。(5)费用低。对于实时运转的GPS气象网来说,一年的通信次数累积量很大,必须要选择通信费用低的方式。负责承建该通信网的上海中心气象台比较了目前几种通信方式的优缺点,最后决定在上海以外9个站(全部在气象站)采用分组交换网。因为分组交换网作为9210工程的备份线路,各观测站现已租用,并用于业务传输。GPS气象网借用x.25分组交换网,充分利用现有资源,十分有利于远程管理,费用也省。鉴于9210通信涉及到有些站无上传设施,而且需要国家气象局修改通信节目表等原因没有采用。目前Modem的可靠性相对较差,接收14个站的资料时间较长。intel网有时会发生上网慢和堵塞等现象,这二种通信方式也没有采用。但由于上海5个站设在三个不同的部门,都没有分组交换网,因而还是采用了简单的modem点对点的通信方式。

长江三角洲GPS气象网近5个月近实时运转的结果证明,利用分组交换网通信的9个站的数据传输的错码率和中断率远低于利用modem通信方式的上海5个站,而且,这5个站的通信质量又因线路质量而有区别。

在该网的通信软件上着重解决两个问题。(1)减少通信中断次数。在该通信网的实际运行中,modem拨号通信方式发生中断的几率较多,主要由于在通信频繁的情况下,线路通信的脉动或瞬间造成短时通信中止,使后一时次信号堆积堵塞,阻止了下一次信号的继续传输。现已通过修改软件基本排除通信流的中断现象。(2)数据传输质量监控。当GPS接收机或met-3接收机发生故障,或

数据传输发生故障时,在中心处理站上都表现为无信号接收。为此我们在通信软件上增加了信号监测功能,它能在中心处理站上鉴别出是通信故障还是接收机故障,还能鉴别出是 GPS 接收故障还是 met-3 接收机故障,以便及时排除故障,恢复数据正常传输。

### 2.3 产品实时演示系统

为了将该网的 14 个站的可降水量资料(PWV)用于实时天气预报,必须在 GPS 气象工作站上建立一个 PWV 有关产品实时演示系统。GPS 气象工作站由 Dell 620 工作站配置双屏显示器组成,采用 Windows NT4.0 操作系统。

GPS 气象工作站上装有 GPS 气象数据库和 GPS/PWV 产品实时演示系统。

GPS 气象数据库由实时数据库(3 天资料)和历史数据库组成。该数据库具有检索、统计、输出等功能,供实时查阅和检索。

PWV 产品实时显示系统包括如下功能:

(1)PWV 资料转换成 MICAPS 格式,使预报员能直接利用 MICAPS 平台调用、生成和显示 PWV 资料及相应产品,并实现与天气图的叠加显示。

(2)在 GPS 气象工作站可实现如下的显示功能:首先是在工作站另一屏上显示以高分辨率地图为背景的、有彩色标度的 PWV 等值分析图,并进行动画显示,半小时自动更新一次;值班预报员依此可实时跟踪长江三角洲地区的水汽变化;另外通过人工干预在主屏上调阅 3 小时变化图、水汽通量等产品;与天气图、卫星云图和雷达图的叠加显示,与物理量图叠加等显示功能。图 3 是 GPS 气象工作站的界面图,图 4 是 GPS 气象工作站部分演示产品之一。

有关 PWV 用于灾害性天气诊断和预报方法也将在 GPS 气象工作站实时运行和显示。

### 3 准业务化管理

为了保证整个系统的正常实时业务运行,需要对系统的各个环节进行日常的业务管理,包括仪器设备的监管和维护,软件运行保障和故障及时排除等。为此我们已制定了

“长江三角洲 GPS 气象网业务运行技术手册”,各 GPS 基准站都不同程度地执行着这一技术手册,做到每天巡视和登记运行状况。如果要完全实现业务化,尚需进一步与各省协调,正式纳入各站业务工作内容。

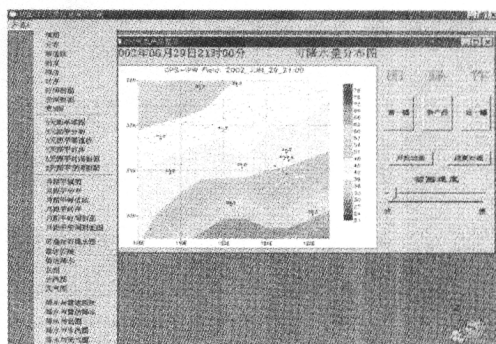


图 3 GPS 气象工作站的界面图

左框是演示产品表,右边为操作框。中间框显示的产品是长江三角洲 PWV 的等值分析图

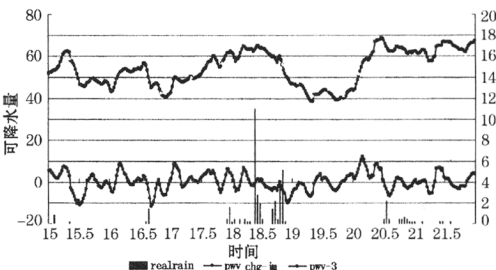


图 4 上海浦东 GPS 站的 PWV 时间序列资料

上一条曲线是可降水量,下一条曲线是可降水量 3 小时变化,纵直线表示每小时雨量

### 参考文献

- Jingping Duan and Michael Bevis et al. GPS Meteorology: Direct Estimation of the Absolute Value of Precipitable Water. *Journal of Applied Meteorology* 35, 830—838.
- 丁金才. GPS 气象学及其进展. *大气科学研究与应用(十七)*, 北京:气象出版社, 1999.
- Randolph H. Ware, David W. Fulker, Seth A. Stein et al. SuomiNet: A real-time National GPS Network for Atmospheric Research and Education. *Bulletin of the American Meteorological Society*, April 2000.
- 王小亚, 朱文耀, 丁金才, 严豪健. 上海地区 GPS/STORM 试验与结果. *全球定位系统*, 2000.

# Near-real Time GPS Meteorological Network in Yangtze River Delta Area

Ding Jincai Ye Qixin

(Shanghai Central Meteorological Observatory, 200030)

## Abstract

The developing situation of GPS Meteorology and a brief account of the GPS Meteorological Network in Yangtze River Delta Area is introduced. It is emphasized that how to achieve the near-real time running of the GPS meteorological network through overcoming the problems including the calculation method and necessary additional equipment, the communication system, the product real-time demonstration system and the quasi-operational management.

**Key Words:** GPS meteorology near real-time communication system