文章编号:1674-7070(2013)02-0106-07

云南地基 GPS 水汽解算方案及精度检验

孙绩华[1,2]　吴萍[3,4]　刘建宇[1]

摘要

在分析 GAMIT 水汽解算方案特点的基础上,利用云南 6 站地基 GPS 水汽探测资料,进行了不同解算方案计算结果的分析,并与 GPS 探空资料的 PWV 值进行比较,结果显示:不同解算方案对云南地基 GPS 水汽反演结果有显著的影响;在进行本地化后,GAMIT 软件包对云南 GPS 水汽反演的精度有显著提高;不同季节的云南地基 GPS 反演水汽值与高精度探空水汽值的数值和变化趋势极为一致,二者的均方根差小于 2 mm,说明该解算方案的地基 GPS 水汽反演结果可用.

关键词

GPS 观测;GAMIT 软件;水汽总量;精度检验

中图分类号 TH71;TG803

文献标志码 A

收稿日期 2012-07-30

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006054,GYHY201006009);国家自然科学基金(41275095);云南省省院省校科技合作计划(2006YX39)

作者简介

孙绩华,博士,主要从事大气综合观测数据分析与研究. sunjh9595@vip.sina.com

1 云南省气象科学研究所,昆明,650034

2 大理国家气候观象台,大理,671003

3 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京,210044

4 高淳县气象局,南京,211300

0 引言

众多研究表明,强烈的上升运动、充沛的水汽、不稳定能量是大部分中尺度灾害性天气发生的必备条件. 其中水汽在天气分析和预报、微气象学以及全球气候变化等各个领域中都扮演了一个极为重要的角色,因此,各种探测水汽的水平和垂直分布的方法被逐渐提出和发展. 目前主要有 4 种:1)常规无线电探空(Radiosonde)技术[1-5]. 2)水汽微波辐射计(Water Vapor Radiometer,WVR)计算水汽[6]. 星载微波辐射计测量地球提供的热背景下相应的吸收线,由于地表温度的多变性,反演工作会呈现出复杂性,应用于洋面的遥感比应用于陆地更为适用[7]. 3)直接利用再分析格点数据由理论公式进行分析[8-10],其优点是网格数据可描述水汽的空间分布状况,但是资料的适用性需要用实测数据进行验证. 4)随着全球定位系统(GPS)技术的迅速发展,GPS 接收机逐渐被许多领域所应用. Bevis 等[11]提出了采用地基 GPS 技术探测大气水汽含量的原理. 结合掩星技术通过对大气折射率的遥感来反演大气的温湿特性也被论证可行[12-13],从此开辟了 GPS 技术的新领域——GPS 气象学.

GPS 气象学是一门多学科交叉的新兴学科. 随着 GPS 水汽探测技术的发展,GPS 气象学在理论研究和应用研究方面都取得了长足的进步. 由于 GPS 卫星信号传输经过大气层时,要受到大气的折射而延迟,将该延迟量作为待定参数引入到观测方案和解算模型中,并逐项考虑误差的来源和消除的办法,精密的大气延迟量可以与定位参数一同被求解. 大气延迟量可划分为电离层延迟、静力延迟和湿项延迟. 采用双频技术,可以将电离层延迟订正到 mm 级,静力延迟与地面观测量(气压)具有很好的相关性,也可以订正到 mm 级,这样就得到了 mm 量级的湿项延迟. 湿项延迟与水汽总量(Precipitable Water Vapor,PWV)可建立严格的正比关系[11],精确的水汽总量就被求解出来. Businger 等[14]讨论了 GPS 的 PWV 资料在 GPS/STORM 试验区参与客观分析对水汽分布形势的影响,表明加入 GPS 的 PWV 资料将有利于分析中小尺度干湿结构分布,进而分析雷暴的活动. Kuo[15]、Charba[16]很早就提出 PWV 的增加和水汽通量的辐合对对流发展具有重要意义,而现在的降水预报从定性预报向定量预报发展非常需要给会商分析和数值预报提供更多在时间和空间上更细致地描绘中小尺度系统活动的信息. 水汽将起到重要的作用. Charba[16]发现作为

局地强对流天气的 MOS(Model Output Statistics)预报因子,PWV 的作用仅次于修正的总 T 指数(Modified Total-Totals index). 个例研究[17-18]表明暴雨常常形成在水汽通量辐合随时间急剧增加且水汽通量辐合梯度较大的区域. 从 GPS 的 PWV 的时间序列并不能区分水汽的平流和单站水汽的时间变化率导致的增长,但配合其他的资料如多普勒雷达和卫星资料,GPS 的时间序列资料在短时预报中具有潜在的应用价值. Chiswell 等[19]提出通过对与水汽通量辐合及对流层扰动相关的 PWV 短时变化的跟踪,连续变化的 PWV 数据对雷暴过程的短时预报来说是一个有力的工具,并进一步讨论了 GPS 水汽观测在天气分析预报中的应用. 国内学者在近些年来也开展了 GPS 水汽探测资料的应用研究. 郭虎等[20]利用地基 GPS 水汽探测资料,结合雷达等其他探测资料,对北京异常暴雨过程的影响系统和机理进行了分析. 袁招洪等[21]进行了 GPS 水汽资料在中尺度数值模式中的试验研究. 梁宏等[22]利用地基 GPS 水汽探测资料对青藏高原地区的大气水汽的分布和季节变化进行了分析研究. 众多研究表明,GPS 水汽观测在提供大气水汽变化特征方面是一个有效的工具,但由于其技术在国内的发展较晚,较多的地区尚未开展此项观测,或虽有观测但对观测资料的分析和应用仍有很大不足.

以提高青藏高原及周边地区气象综合观测资料的数量和质量为目的,依托 JICA"中日气象灾害合作研究中心"项目的实施,自 2006 年开始,云南已先后在昆明、丽江、大理、蒙自、德钦、腾冲、临沧、勐腊 8 站建立了省内第一个双频高精度地基 GPS 水汽探测网. 利用 MIT(美国麻省理工学院)的 GAMIT/GLOBK 软件,对 GPS 资料进行了水汽解算试验,为以后 GPS 水汽资料的应用奠定了基础. 本文针对云南 GPS 站点观测质量与水汽反演方案及反演精度进行了综合分析和对比检验,给出了云南解算方案的精度.

1 GPS 水汽资料解算

1.1 GAMIT/GLOBK 简介

GAMIT/GLOBK 软件是美国麻省理工学院(MIT)和加州大学圣地亚哥分校 Scripps 海洋研究所(SIO)研制的 GPS 综合分析软件包,是目前世界上处理高精度空间观测数据的主要软件之一(其他的精密软件还有 BERNESE、GIPSY 和 GFZ 等). 由于该软件免费使用,而且功能强大,它也是目前国内高精度 GPS 应用的首选软件.

GAMIT 软件处理双差观测量,采用最小二乘算法进行参数估计. 使用双差观测量的优点是可以完全消除卫星钟差和接收机钟差的影响,同时也可以明显减弱诸如轨道误差、大气折射误差等系统性误差的影响. GAMIT 软件主要功能和特点如下:

1) 卫星轨道和地球自转参数估计;

2) 地面测站的相对定位计算;

3) 用模型改正各种地球物理效应(极移、岁差、章动和潮汐等);

4) 对流层天顶延迟参数和大气水平梯度参数估计;

5) 支持接收机天线相位中心的 ELEV(随卫星高度角变化)模型改正;

6) 可选观测值等权、反比于基线长度或随高度角定权;

7) 同时提供载波相位整周模糊度分别为实数和整数的约束解及松弛解;

8) 数据编辑可人工干预,也可自动处理.

1.2 PWV 解算

当 GPS 发出的信号穿过大气层中对流层时,受到对流层的折射影响,GPS 信号要发生弯曲和延迟,其中信号的弯曲量很小,而信号的延迟量很大,通常在 2.3 m 左右. 在 GPS 精密定位测量中,大气折射的影响是被当作误差源而要尽可能将它的影响消除干净,而在 GPS/MET 中,与之相反,所要求得的量就是大气折射量. 通过计算可以得到大气折射量,再通过大气折射率与大气折射量之间的函数关系可以求得大气折射率. 大气折射率是气温 T,气压 p 和水汽压 e 的函数,通过下面的关系,则可以求得所需要的量[22]:

$$W_{\mathrm{PWV}} = \Pi \cdot Z_{\mathrm{w}}$$

其中,W_{PWV} 为气柱内所有水汽折算为液态水时的水柱高,代表水汽的积分总量,Z_{w} 为湿项天顶延迟,Π 为常数(大约为 0.15),可通过地面气温的观测和历史资料的统计而得到:

$$\Pi = \frac{10^6}{R_v[(k_3/T_{\mathrm{m}}) + k'_2]},$$

其中,$R_v = 461.495\ \mathrm{J/(kg \cdot K)}$,$k'_2 = k_2 - mk_1$,$k_1$、$k_2$ 和 k_3 为大气的折射指数,m 为水汽和干空气的分子量比. 取 $k_3 = 3.739 \times 10^5\ \mathrm{K^2 \cdot hPa^{-1}}$,$k'_2 = 22\ \mathrm{K \cdot hPa^{-1}}$. T_{m} 为加权平均温度,通过地面温度(T_{s})的观

测来估算:$T_m = a + b \cdot T_s$,取 $a = 70.2$,$b = 0.72$[23].

1.3 解算方案

GAMIT 解算时,需要有一定长度的时间窗,以便获得更多的卫星数据. 时间窗的长度一般与网的大小、解算精度及解算时限有关,近实时解算时一般取 8 或 12 h,事后处理取 24 h. 为了消除本地系统误差,还需要引入 3 ~ 5 个远端站. GPS 网的形状对解算精度也有一定影响,由于解算时需要引入远程参考站来消除系统误差,而进行近实时(小时)解算时拿不到合适的远程小时站数据,其网形与进行事后解的网形不一样,在解算精度上也有不同.

在进行 GPS 数据解算时需要用到卫星轨道数据,轨道数据分为广播轨道、预报轨道和事后精密轨道. 广播轨道的误差约为 160 cm,预报轨道的误差为 5 ~ 10 cm,事后精密轨道误差小于 5 cm. 轨道数据的误差是影响解算精度的重要因素,因此,近实时(小时)GPS 水汽数据采用预报轨道解算,其精度稍差,只能用于短临预报应用,而精确度较高的最终精密轨道的事后处理 GPS 水汽数据则可用于科研应用. 按照目前的研究结果,近实时(小时)解的标准误差在4 mm 以下,事后解的标准误差在 3 mm 以下就可以满足业务要求.

图 1 为云南 GPS 探测数据的采集传输处理流程. 各站 GPS 原始观测资料经转换格式并和本站气象观测资料进行打包处理后实时上传到云南省气象信息中心,并上传国家气象信息中心. 实时资料在云南省气象科学研究所进行实时解算后进入业务应用系统. 该 GPS 探测数据的采集传输方案自 2007 年以来,经过不断修改和完善,在云南本地投入业务运行的同时,也在青藏高原周边的四川、贵州、西藏等地得到了业务应用.

近实时(小时)GPS 水汽数据解算通过引进较稳定和成熟的美国 SIO 的 GPS 实时业务解算模块并进行本地化来实现. 每小时的 GPS 数据与自动站数据打包后通过 FTP 上传到信息中心的通讯服务器上. 解算服务器从通讯服务器通过 FTP 下载近实时数据,同时通过 Internet 到 IGS 服务器下载轨道文件、地球参数文件以及近实时远端站数据,然后采用 8 h 的滑动时间窗解算. 解算完成后,形成 PWV 时间序列图下发,提供短临预报应用. 事后精密轨道的事后处理 GPS 水汽数据,通过把目前手工处理的步骤串起来,实现自动化处理,每月解算一次,提供给科研应用.

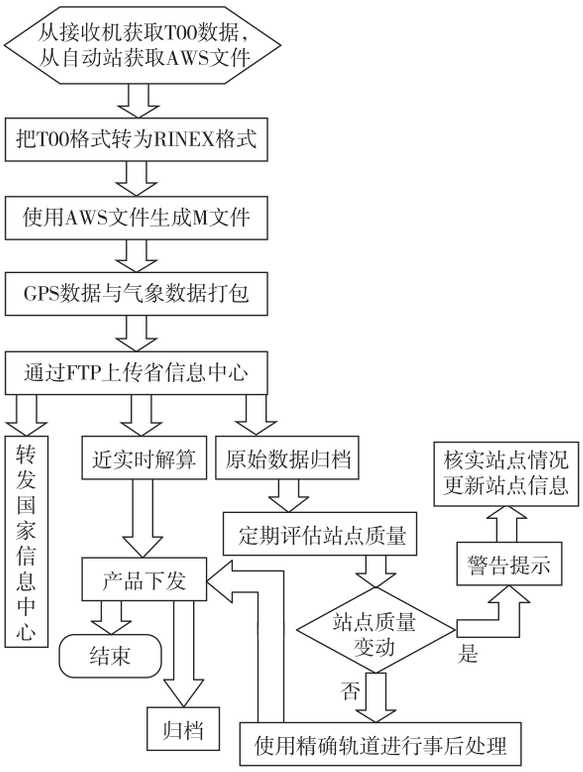


图 1 云南地基 GPS 数据处理流程

Fig. 1 Data processing procedure from ground-based GPS in Yunnan

2 GPS 水汽数据的解算精度的评估

GPS 水汽数据的解算评估采用与高精度的 GPS 探空数据进行比较,目前国际上认可的误差为 2 mm. 探空可降水量根据单位气柱中的水汽含量计算得到,即:

$$W = g^{-1}\int_{p_z}^{p_s} q dp, \tag{1}$$

其中,W 为单位气柱中的水汽含量,g 为重力加速度,P_s 为地面气压,P_z 为大气上界气压,比湿 q 可由式(2) 和(3) 计算得到

$$e = 6.11 \times 10^{\frac{7.5T_d}{237.3+T_d}}, \tag{2}$$

$$q = 0.622\frac{e}{p}, \tag{3}$$

其中,e 为水汽压,p 为规定层气压,T_d 为规定层露点温度.

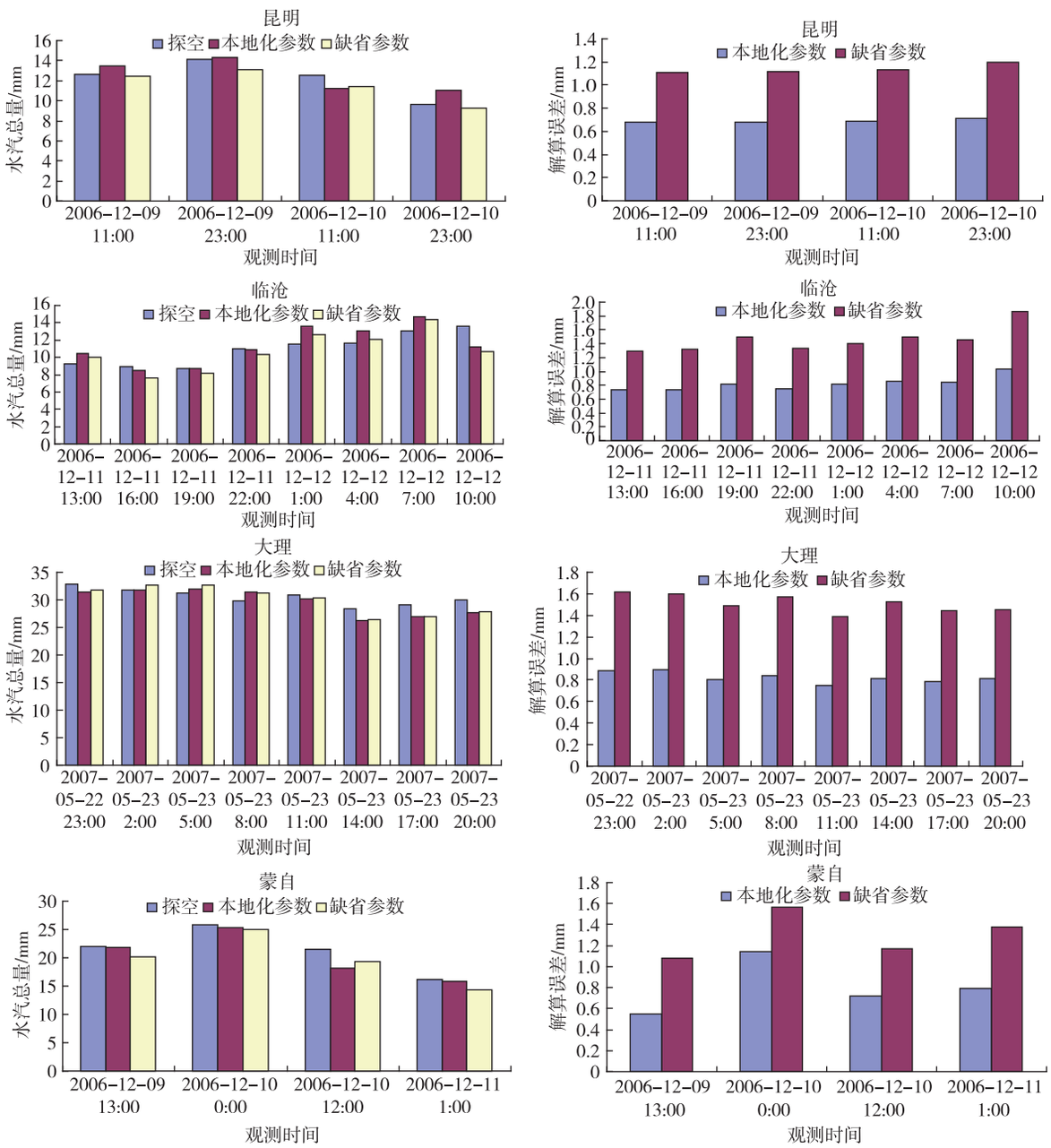
利用探空站资料,可计算大气中各层气柱水汽含量:

$$W_{i\to i+1} = \frac{1}{g} \times \left(\frac{q_i + q_{i+1}}{2}\right) \times (p_i - p_{i+1}), \tag{4}$$

式(4)中,$W_{i\to i+1}$ 为第 i 层与第 $i+1$ 层间单位气柱中的水汽含量,q_i 和 q_{i+1} 分别为第 i 层和第 $i+1$ 层的比

湿,p_i 和 p_{i+1} 分别为第 i 层和第 $i+1$ 的气压. 然后用各层汽水含量求和计算出整层大气垂直气柱内的水汽含量.

图 2 是云南部分 GPS 水汽观测站点与建站初期进行的探空观测比对结果. GPS 水汽数据的解算评估采用了与在昆明、临沧、蒙自、腾冲、大理、丽江 6 站做的高精度 GPS 探空观测数据进行比对. 6 站中,除丽江、大理站为 2007 年 5 月建设并进行建站比对外,其余 4 站均为 2006 年 12 月完成建站和比对观测. 从图 2 可以看出,相近时段内(12 月),蒙自站 PWV 值最高,最大超过 25 mm(12 月 6 日 00 时),昆明、临沧、腾冲站在该时段水汽总量接近. 在 2007 年 5 月建站的 2 站资料对比中,大理的 PWV 值较丽江大. 在所有对比观测时段内,各站采用的本地化参数和缺省参数 2 种计算方案 PWV 结果与探空观测结果相比均有一定程度的差异(左列),而采用本地化方案的计算结果比缺省方案对差异有显著改善(右列). 本地化方案结果在昆明站其差异从最大 1.2 mm 降到 0.7 mm 左右,临沧站从最大 1.9 mm 降到平均 0.8 mm 左右,其他各站的解算差异也都有明显的降低. 结果表明,采用本地化参数的解算方案其结果的精度有大幅度提高,GPS 水汽解算数据的误差均小于 2 mm,达到了业务和科研的要求.



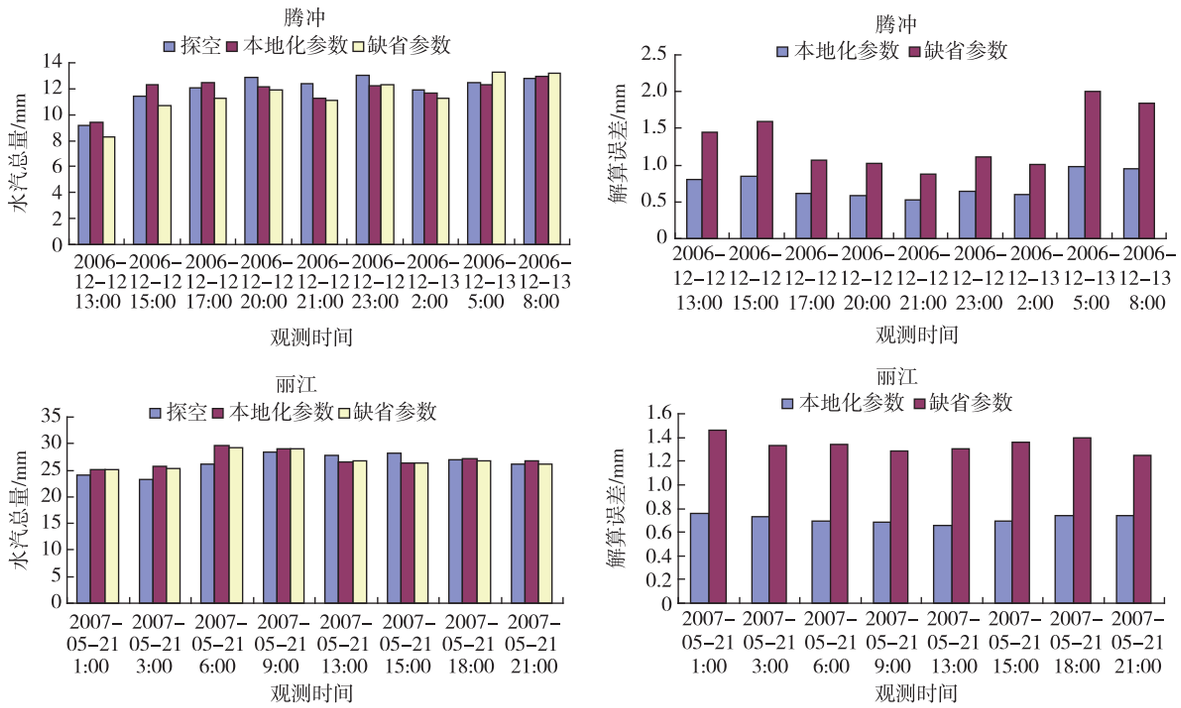


图 2　云南部分 GPS 水汽观测站点水汽反演精度比较结果(探空资料、本地化方案、缺省参数方案比较)

Fig. 2　Precision comparison of water vapor values between radiosonde data, retrieved result of local scheme, and retrieved result of default parameter scheme in 6 GPS stations of Yunnan

为比较相对较长时间和不同季节的 GPS 水汽解算精度,图 3 给出了 2008 年加密观测期间(3、5、7 月,每次 10 d,每天 4 时次)的大理探空(探空仪为芬兰 Vaisala 公司的 GPS 探空仪)资料计算的 PWV 和大理站 GPS 水汽反演资料的比较结果. 由图 3 可见,不论在干季的 3 月还是在雨季开始期的 5 月以及主汛期的 7 月,地基 GPS 反演水汽值与探空 PWV 值均接近,并且二者的变化趋势也极为一致. 较长时间不同季节的比对观测结果也说明,云南地基 GPS 水汽观测资料的解算精度满足科研业务的需要.

表 1 为大理站 3 次加密探空期间探空 PWV 值和地基 GPS 反演 PWV 值的平均值和均方根差,结果显示,二者平均值差小于 1 mm,而其均方根差则在 2.0 mm 内.

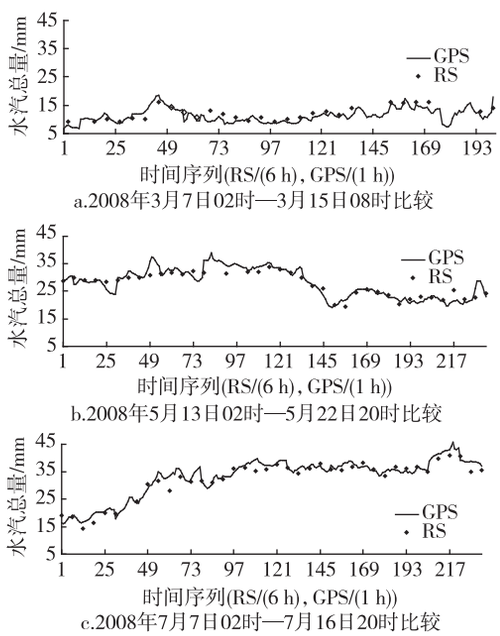


图 3　2008 年 3 次加密观测期间大理站探空资料 PWV(点)与 GPS 水汽反演值(线)比较

Fig. 3　Comparison of water vapor derived from GPS (line) and radiosonde observations (dot) in three intensive observation periods in Dali meteorological station

3　小结与讨论

在分析 GAMIT 水汽解算方案特点的基础上,本文利用云南 6 站地基 GPS 水汽探测资料,进行了不同解算方案计算结果的分析比较,并与 GPS 探空资料的 PWV 值进行比较分析. 同时利用在大理站开展的加密观测综合试验积累的较长时间序列的对比观测资料,对地基 GPS 水汽探测资料和探空观测水汽资料进行了精度对比分析. 大理站地处季风水汽通

表 1 大理加密观测期间不同时期的探空 PWV 值与地基 GPS 反演值比较

Table 1 Comparison of averaged water vapor values derived from GPS and radiosonde observations in three intensive observation periods in Dali meteorological station mm

观测时段	探空水汽平均值	GPS 水汽平均值	GPS-RS 平均值差	GPS-RS 均方根
3 月 7 日—3 月 15 日	12.11	11.51	-0.6	1.87
5 月 13 日—5 月 22 日	27.43	27.69	0.26	1.96
7 月 7 日—7 月 16 日	32.35	33.14	0.79	1.97
平均	25.17	25.40	0.23	1.94

道关键区,其所处的特殊地理位置对本文研究区域的水汽变化具有较好的代表性,因此,本文以其为代表,较详细地分析了不同季节(2008 年 3、5、7 月)大理站水汽总量的对比观测结果,对研究区域的地基 GPS 水汽观测的不同解算方案对精度的影响进行了分析. 分析结果表明:不同解算方案对云南地基 GPS 水汽反演结果有显著的影响,与探空观测结果比较,2 种方案的计算结果均具有不同程度的差异,而在进行参数本地化后,通过对各类参数的适当调整,GAMIT 软件包对云南 GPS 水汽反演的精度有显著提高. 代表站大理站观测结果表明,不同季节的云南地基 GPS 反演水汽值与高精度探空水汽值的数值和变化趋势极为一致,二者的均方根差小于 2mm,说明该解算方案的地基 GPS 水汽反演结果可为业务科研使用.

通过上述分析与研究,本文对云南首个地基 GPS 水汽探测资料的解算方案和结果进行了分析比对,其结果说明该方案的地基 GPS 反演水汽结果到达业务科研要求,为以后的进一步应用提供了科学依据.

参考文献
References

[1] 郑斯中,杨德卿. 中国大陆上空的水汽含量[J]. 地理学报,1962,28(2):124-136
ZHENG Sizhong, YANG Deqing. Distribution of precipitable water over China[J]. Acta Geographica Sinica, 1962,28(2):124-136

[2] 邹进上,刘惠兰. 我国平均水汽含量分布的基本特点及其控制因子[J]. 地理学报,1981,36(4):377-391
ZOU Jinshang, LIU Huilan. The basic features of distributions of water vapor content and their controlling factors in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1981, 36(4):377-391

[3] 陆渝蓉,高国栋. 中国大气中的水汽平均输送[J]. 高原气象,1983,2(4):34-46
LU Yurong, GAO Guodong. The mean transfer of water-vapor in the atmosphere over China[J]. Plateau Meteorology,1983,2(4):34-46

[4] Zhai P M, Eskridge R E. Atmospheric water vapor over China[J]. Journal of Climate,1997,10(10):2643-2652

[5] 袁野,王成章,蒋年冲,等. 不同云天条件下水汽含量特征及其变化分析[J]. 气象科学,2005,25(4):394-398
YUAN Ye, WANG Chenzhang, JIANG Nianchong, et al. Analyzing the character and the change of water vapor under the different cloud weather[J]. Journal of the Meteorological Sciences,2005,25(4):394-398

[6] 德力格尔,黄彦彬,李仑格. 青海省东北部地区春季空中水资源潜力分析[J]. 高原气象,2002,21(6):622-627
DE Ligeer, HUANG Yanbin, LI Lunge. Analyses on potential air water resources over Northeast Qinghai in spring[J]. Plateau Meteorology,2002,21(6):622-627

[7] 周秀骥. 大气微波辐射及遥感原理[M]. 北京:科学出版社,1982
ZHOU Xiuji. Atmospheric microwave radiation and remote sensing principle[M]. Beijing:Science Press,1982

[8] 周长艳,李跃清,李薇,等. 青藏高原东部及邻近地区水汽输送的气候特征[J]. 高原气象,2005,24(6):880-888
ZHOU Changyan, LI Yueqing, LI Wei, et al. Climatological characteristics of water vapor transport over eastern part of Qinghai-Xizang Plateau and its surroundings[J]. Plateau Meteorology,2005,24(6):880-888

[9] 戴莹,杨修群. 我国大陆上空可降水量的时空变化特征[J]. 气象科学,2009,29(2):143-149
DAI Ying, YANG Xiuqun. Spatial-temporal variations of precipitable water over China[J]. Journal of the Meteorological Sciences,2009,29(2):143-149

[10] 张凯静,戴新刚. 再分析资料中可降水量与地面水汽压关系检验[J]. 安徽农业科学,2010,38(18):9665-9671
ZHANG Kaijing, DAI Xingang. Validation of the relationship between precipitable water and surface vapor pressure by means of reanalysis data[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2010,38(18):9665-9671

[11] Bevis M, Businger S, Herring T A, et al. GPS meteorology:Remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system[J]. Journal of Geophysical Research,1992,97(D14):15787-15801

[12] Yuan L, Anthes R A, Ware R H, et al. Sensing climate change using the global positioning system[J]. Journal of Geophysical Research,1993,98(D8):14925-14937

[13] Gorbunov M E, Sokolovskiy S V. Remote sensing of refractivity from space for global observations of atmospheric parameters[R]. Hamburg: Max-Planck-Institute fur Meteorologie Report,1993,119:937-1060

[14] Businger S, Chiswell S R, Bevis M, et al. The promise of GPS in atmospheric monitoring[J]. Bulletin of American Meteorological Society,1996,77(1):5-18

[15] Kuo H L. On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection

[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1965, 22(1): 40-63

[16] Charba J P. Two to six hour severe local storm probabilities: An operational forecasting system [J]. Monthly Weather Review, 1979, 107(3): 268-282

[17] Waldstreicher J S. A guide to utilizing moisture flux convergence as a predictor of convection[J]. Natl Wea Dig, 1989, 14: 20-35

[18] Businger S, Bauman W H, Watson G F. The development of the Piedmont front and associated outbreak of severe weather on 13 March 1986 [J]. Monthly Weather Review, 1991, 119(9): 2224-2251

[19] Chiswell S R, Businger S, Bevis M, et al. Application of GPS water vapor data in severe weather analysis [J]. Monthly Weather Review, 1996, 77(1): 5-18

[20] 郭虎,段丽,杨波,等. 0679 香山局地大暴雨的中小尺度天气分析[J]. 应用气象学报, 2008, 19(3): 265-275
GUO Hu, DUAN Li, YANG Bo, et al. Mesoscale and microscale analysis on a local torrential rain event in Fragrant Hills area of Beijing on July 9, 2006[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(3): 265-275

[21] 袁招洪,丁金才,陈敏. GPS 观测资料应用于中尺度数值预报模式的初步研究[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 200-211
YUAN Zhaohong, DING Jincai, CHEN Min. Preliminary study on applying GPS observations to mesoscale numerical weather predication model [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 200-211

[22] 梁宏,刘晶淼,李世奎. 青藏高原及周边地区大气水汽资源分布和季节变化特征分析[J]. 自然资源学报, 2006, 21(4): 526-534
LIANG Hong, LIU Jingmiao, LI Shikui. Analysis of precipitable water vapor source distribution and its seasonal variation characteristics over Tibetan Plateau and its surroundings [J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(4): 526-534

[23] 李成才,毛节泰,李建国,等. 全球定位系统遥感水汽总量[J]. 科学通报, 1999, 44(3): 333-336
LI Chengcai, MAO Jietai, LI Jianguo, et al. Global positioning system remote sensing total water vapor[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(3): 333-336

Calculation scheme and accuracy test of ground-based GPS atmospheric water vapor in Yunnan

SUN Jihua[1,2] WU Ping[3,4] LIU Jianyu[1]

1 Yunnan Provincial Institute of Meteorological Sciences, Kunming 650034

2 Dali National Climatic Observatory of Yunnan Province, Dali 671003

3 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

4 Gaochun Meteorological Administration of Jiangsu Province, Nanjing 211300

Abstract Based on the analysis of the characteristics of atmospheric water vapor calculation scheme processed by GAMIT software, the results generated by two kinds of different calculation schemes are comparatively analyzed by using the ground-based GPS data of 6 meteorological stations in Yunnan province. The analysis and accuracy test are conducted by comparison with the radiosonde data. The results show that the two calculation schemes are quite different in the retrieved water vapor results. The precision of GPS water vapor is obviously improved after adopting the local model. The water vapor values derived from GPS are roughly in agreement with the radiosonde observations with a mean-root-square error less than 2mm, and the changing trends of them are basically the same. The study revealed that the retrieved water vapor generated by the ground-based GPS calculation scheme in the local model can be used in research business.

Key words GPS observation; GAMIT software; precipitable water vapor; precision test