

徐桂荣,孙振添,李武阶,等.地基微波辐射计与 GPS 无线电探空和 GPS/MET 的观测对比分析[J].暴雨灾害,2010,29(4):315-321

地基微波辐射计与 GPS 无线电探空和 GPS/MET 的观测对比分析

徐桂荣¹,孙振添²,李武阶¹,齐麟³,冯光柳¹

(1.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074;2.中国地质大学地球物理与空间信息学院,武汉 430074;
3.湖北省咸宁市气象局,咸宁 437100)

摘要:利用同址 GPS 无线电探空和 GPS 气象学(GPS/MET)的观测数据,对微波辐射计反演的气象要素进行了对比分析。与 GPS 无线电探空结果对比,微波辐射计的温度和水汽密度廓线具有很好的正相关,而微波辐射计相对湿度廓线的正相关系数受到天气的明显影响。微波辐射计和 GPS 无线电探空的观测结果之间具有系统偏差,该偏差在无降水时较小,而在有降水时较大。这个系统偏差可能与两种探测设备采样方法的差异、微波辐射计反演算法以及降水影响等有关。尤其是降水时,天线罩上形成的液态水将会导致亮温测值的偏高,进而会给反演结果带来较大的系统偏差。降水的影响同样会体现在微波辐射计反演大气整层可降水量上。与 GPS 无线电探空结果相比,在无降水时,微波辐射计的可降水量偏小,两者的系统偏差在 4 mm 以内,而在有降水时,微波辐射计的可降水量明显偏大,两者的系统偏差也较大。与 GPS/MET 的结果相比,微波辐射计的可降水量总体上偏大,在无降水时,微波辐射计的可降水量与 GPS/MET 的结果具有很好的正相关,两者的系统偏差小于 2 mm,而在有降水时,随着雨强的增加,微波辐射计与 GPS/MET 可降水量之间的相关系数会减小,同时两者的系统偏差会增大。

关键词:微波辐射计;GPS 无线电探空;GPS 气象学;可降水量;相关性

中图分类号:P414.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2010)04-0315-07

1 引言

地基微波辐射计是利用大气在 22~200 GHz 的频率带中的微波辐射进行测量的,它通过测量氧气在 60 GHz 附近的辐射强度或亮温温度得出温度分布,通过观测来自于 22 GHz(适合潮湿地区反演)和 183 GHz(适合干环境反演)处水汽谐振带水汽线压力增宽的辐射的强度和形状的信息得到水汽廓线,通过测量云液态水对各类不透明的大气光谱的贡献可以得出有限的云液态水廓线的分辨率;此外,可选的纵向红外温度计可以证明云的存在与否(仅 MP-3000A 能做到),同时测量有云时的云底温度,在知道云底温度的情况下可以得出云底的水汽密度(饱和情况),再结合温度廓线,求出云底高度^[1]。地基微波辐射计可反演得到从地面至 10 km 高度的温度、湿度和水汽廓线等大气信息,其观测是准连续的,观测时间步长小于 3 min,可以弥补常规探空因观测间隔较长而获取大气信息的不足,有利于分析降水过程对流层快速变化的热力学信息^[2]和微尺度及中尺度现象的温度、湿度变化^[3]。

地基微波辐射计主要在非降水天气下使用,因为降水会在微波辐射计天线罩上形成水膜,而水膜的形成会降低微波辐射计的测量准确度,且微波辐射计的反演通常没有考虑雨水的散射、发射及吸收效应。最近,在减小雨水效应对微波辐射计反演的方法研究上取得一些进展,如使用纳米材料制作天线罩,并配置鼓风机向天线罩表面吹气流等,采用这些方法可使微波辐射计在降水天气下反演得到的热力学廓线的准确度达到合理的程度^[2]。

本文利用并址观测的 GPS 无线电探空和 GPS 气象学(GPS/MET)的观测资料,对同址的 MP-3000A 型地基微波辐射计反演的热力学廓线和大气整层水汽含量进行对比分析,定量评估微波辐射计反演的气象要素的准确性。

2 设备、数据和方法

中国气象局武汉暴雨研究所在湖北省咸宁市气象局黑山观测站同址布设了地基微波辐射计、GPS 无线电探空和 GPS/MET 接收站等观测设备。地基微波辐

收稿日期:2010-06-15;定稿日期:2010-08-25

资助项目:中国气象局武汉暴雨研究所科研业务项目(0903),湖北省气象局科技发展基金(2009Y06),中国气象局武汉暴雨研究所科研业务项目(1007)

作者简介:徐桂荣,男,1973 年生,副研究员,博士,主要从事暴雨监测技术与应用研究。E-mail: grxu2007@gmail.com

射计为美国 Radiometrics 公司生产的 MP-3000A, 它配置了红外温度计, 可在降水天气下进行观测。微波辐射计每 3 分钟完成一次全天空扫描观测, 利用观测到的亮温数据, 通过神经网络反演, 最后输出天顶方向地面至 10 km 高度共 58 层的温度、湿度、水汽和液态水的廓线数据, 其廓线空间垂直分辨率在 500 m 以下为 50 m, 在 500 m 至 2 km 为 100 m, 在 2 km 之上为 250 m^[1]。GPS 无线电探空设备为芬兰 Vaisala 公司最近几年推出的 RS92 型 GPS 无线电探空系统, 它结合了 RS90 的压力、温度和湿度传感器, 并提供以码相关 GPS 技术测量的高性能有效测风数据, 每次探测结果经校正处理后输出时间分辨率为 2 秒的高精度 PTU 数据(压强、温度、相对湿度、露点温度和风向、风速)^[4]。GPS/MET 设备为瑞士 Leica 公司生产的 GRX1200PRO 型 GPS 接收机, 利用美国麻省理工学院开发的 GAMIT 软件并采用一定的反演方法可以得到大气整层可降水量^[5]。

2009 年 6 月 8 日 20 时至 9 日 14 时和 6 月 29 日 14 时至 7 月 1 日 08 时, 中国气象局武汉暴雨研究所开展了 GPS 无线电探空、微波辐射计和 GPS/MET 的同址同步观测试验, 试验期间每 6 小时进行一次 GPS 无线电探空观测, 总共获得 12 次 GPS 无线电探空廓线数据, 其中 6 月 30 日 08 时由于气球过早爆炸, 因此 10 时重新放球探测。利用试验所得 GPS 无线电探空数据, 对微波辐射计反演得到的温度、水汽密度和湿度廓线进行对比分析, 同时也对微波辐射计反演得到的可降水量进行对比分析。黑山观测站试验期间过去 1 h 累计降水量见图 4a。此外, 还利用 2008 年 6 月至 2009 年 12 月微波辐射计和 GPS/MET 的观测数据, 对不同天气条件下两种设备反演得到的大气可降水量进行了对比分析。

利用 GPS 无线电探空资料计算水汽密度时, 采用如下公式计算^[6]:

$$\rho_v = 2.167 \times 10^{-3} \frac{e}{T} \quad (1)$$

式(1)中, e 为水汽压; T 为绝对温度; ρ_v 为水汽密度, 其单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 或 $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

利用 GPS 无线电探空资料和微波辐射计资料计算可降水量 (PW , precipitation water) 时, 对如下公式进行数值积分可以求得^[6]:

$$PW = \frac{1}{\rho_w g} \int_0^{p_s} q dp \quad (2)$$

式(2)中, q 为比湿, 它随气压 p 而变化; g 为重力加速度, p_s 为地面气压。利用 GPS/MET 观测资料计算可降水量时, 天顶静力延迟 (ZHD , zenith hydrostatic delay)

采用 Hopfield 模型^[7]进行计算:

$$\begin{cases} ZHD = 1.552(h-H) \frac{P_s}{T_s} \\ h = 40.082 + 0.14898(T_s - 273.16) \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中, P_s 为地面气压(单位为 hPa); T_s 为地面绝对温度; H 为测站海拔高度(单位为 km)。而由天顶湿延迟 (ZWD , zenith wet delay)反演可降水量时, 采用 Bevis 等^[8]给出的公式进行计算:

$$\begin{cases} PW = \Pi \times ZWD \\ \Pi = \frac{10^6}{\rho_w R_v \left(\frac{k_3}{T_m} + k_2 \right)} \\ k_2 = k_2 - k_1 \frac{M_w}{M_d} \end{cases} \quad (4)$$

上式中 ρ_w 为液态水密度, R_v 是水汽气体常数, M_w 、 M_d 分别为水汽和干空气分子摩尔质量, k_1 、 k_2 、 k_3 为大气折射系数, T_m 为大气加权平均温度。 T_m 与地面绝对温度 T_s 具有很好的线性相关, 可通过如下 T_m 本地化模型进行计算^[5]:

$$T_m = 53.7754 + 0.7765 T_s \quad (5)$$

由于 GPS 无线电探空资料都是整点资料, 其采样时间多超过 30 min, 而微波辐射计不到 3 min 可获得一次观测数据, 本文在进行微波辐射计与 GPS 无线电探空廓线对比时, 将 GPS 无线电探空采样时间内微波辐射计的观测值做平均处理, 然后用得到的平均值与对应整点的 GPS 无线电探空廓线作对比分析。在对上述两种探测设备得到的大气整层可降水量进行对比时, 也采用同样处理方法。GPS/MET 每半小时可获得一次大气整层可降水量资料, 由于 GPS 无线电探空资料只有整点值, 因此, 本文只选取 GPS/MET 整点可降水量进行分析。另外, 在对上述三种探测设备的可降水量进行对比分析时, 也仅针对大气整层可降水量来进行。

3 结果对比和讨论

3.1 微波辐射计与 GPS 无线电探空廓线的对比

图 1 给出微波辐射计与 GPS 无线电探空温度廓线。从中可以看到, 微波辐射计的温度廓线和 GPS 无线电探空结果具有很好的相关性, 两者的相关系数都在 0.99 以上, 这说明两种设备观测的温度廓线结构吻合得很好。另外, 微波辐射计与 GPS 无线电探空温度之间存在明显的系统偏差, 两者的平均偏差在 $-2.6 \sim 3.5$ °C 之间, 均方差在 $0.6 \sim 2.0$ °C 之间。结合图 4a 给出的 1 h 累计降水情况发现, 在有明显降水的天气下(6 月 8 日 20 时至 9 日 08 时, 6 月 29 日 14 时以及 6 月 30 日 10 时至 14 时), 微波辐射计的温度明显高于 GPS 无线电探空, 两者的平均偏差在 $1.0 \sim 3.5$ °C 之间, 这种

偏差在 500~3 000 m 高度表现更明显;在无降水的天气下(6月9日14时,6月30日02时以及6月30日20时至7月1日08时),微波辐射计的温度明显低于GPS无线电探空,两者的平均偏差在-2.6~-1.0℃之间,这种偏差在1 000 m 以下高度要小些。而在微弱

降水的天气下(6月29日20时),微波辐射计和GPS无线电探空温度之间的平均偏差和均方差都较小,分别为-0.6℃和0.6℃。由此可见,微波辐射计的温度廓线与GPS无线电探空结果具有很好的正相关,但两者存在系统偏差,该偏差在不同天气条件下表现不同。

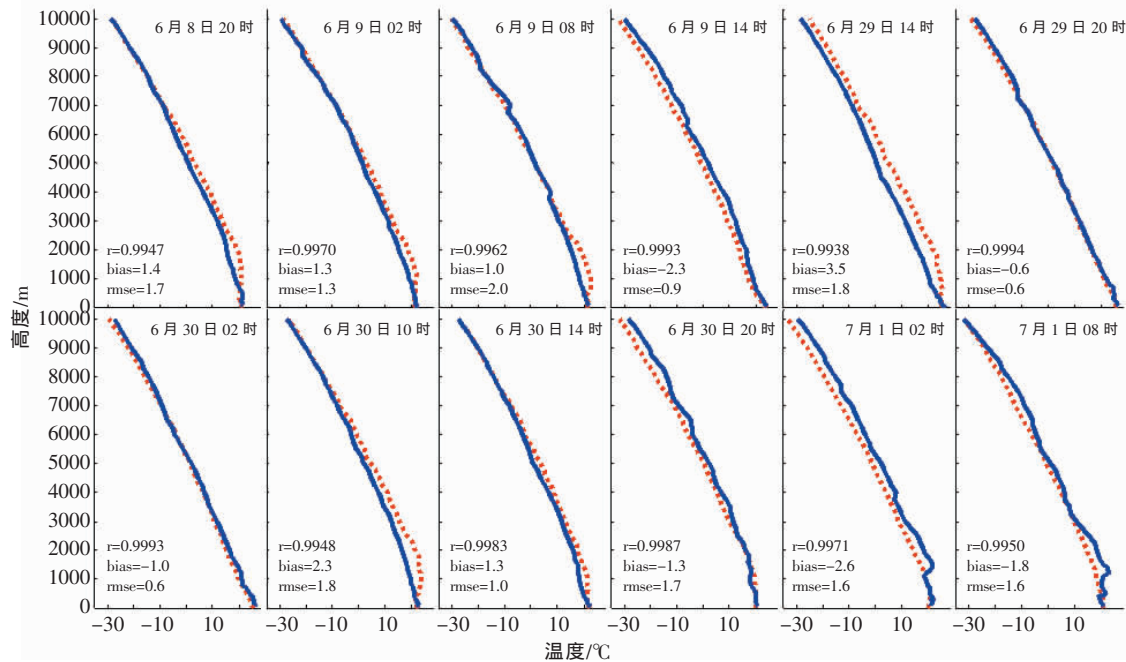


图 1 2009 年 6 月 8 日至 7 月 1 日不同时段微波辐射计(×××)与 GPS 无线电探空(——)温度廓线图
r 为相关系数;bias 为平均偏差;rmse 为均方差,下图同

图 2 是微波辐射计和 GPS 无线电探空水汽密度廓线的对比结果。同样可见,微波辐射计的水汽密度廓线和 GPS 无线电探空结果也具有很好的相关性,两者的相关系数都在 0.97 以上,这说明两种设备观测的水汽密度廓线结构也吻合得很好。此外,微波辐射计与 GPS 无线电探空水汽密度廓线之间也存在明显的系统偏差,两者的平均偏差在-0.7~2.0 g·m⁻³ 之间,均方差在 0.7~1.6 g·m⁻³ 之间。在有明显降水的天气下(6月8日20时至9日08时,6月29日14时以及6月30日10时至14时),微波辐射计的水汽密度明显高于GPS无线电探空结果,两者的平均偏差在0.5~2.0 g·m⁻³ 之间,这种偏差在2 000~6 000 m 高度表现更明显;在微弱降水天气下(6月29日20时),微波辐射计和GPS无线电探空水汽密度廓线之间的平均偏差和均方差都较小,分别为-0.2 g·m⁻³ 和0.7 g·m⁻³;而在无降水的天气下,微波辐射计的水汽密度多数小于GPS无线电探空结果,两者的平均偏差在-0.7~0.4 g·m⁻³ 之间。可见,微波辐射计的水汽密度廓线与GPS无线电探空结果也具有很好的正相关,但两者之间也有系统偏差,该偏差因天气条件不同也表现不同。

图 3 为微波辐射计与 GPS 无线电探空相对湿度

廓线对比图。可以看到,微波辐射计和GPS无线电探空相对湿度廓线之间具有正相关,其相关系数在0.44~0.96 之间变化。在有明显降水天气下(6月8日20时至9日08时,6月29日14时以及6月30日10时至14时),微波辐射计和GPS无线电探空相对湿度廓线的相关系数较大,其值在0.68~0.87 之间,两者的平均偏差和均方差的变动范围分别为-4.0%~13.3%和5.0%~20.2%,总体上微波辐射计的相对湿度大于GPS无线电探空结果,两者的偏差在3 000 m 以上高度增大;在微弱降水的天气下(6月29日20时),微波辐射计和GPS无线电探空相对湿度廓线之间的相关系数较小,其值为0.4859,微波辐射计的相对湿度平均比GPS无线电探空结果小5.4%;而在无降水的天气下,微波辐射计和GPS无线电探空相对湿度廓线之间的正相关系数变化范围较大,相关系数最大的为6月9日14时的0.9569,最小的为6月30日02时的0.4435,总体上微波辐射计的相对湿度大于GPS无线电探空结果,两者的平均偏差在-4.8%~7.5%之间,随着高度的增加,微波辐射计和GPS无线电探空相对湿度之间的偏差会增大。由此可见,微波辐射计的相对湿度与GPS无线电探空结果具有正相关,相关系数的

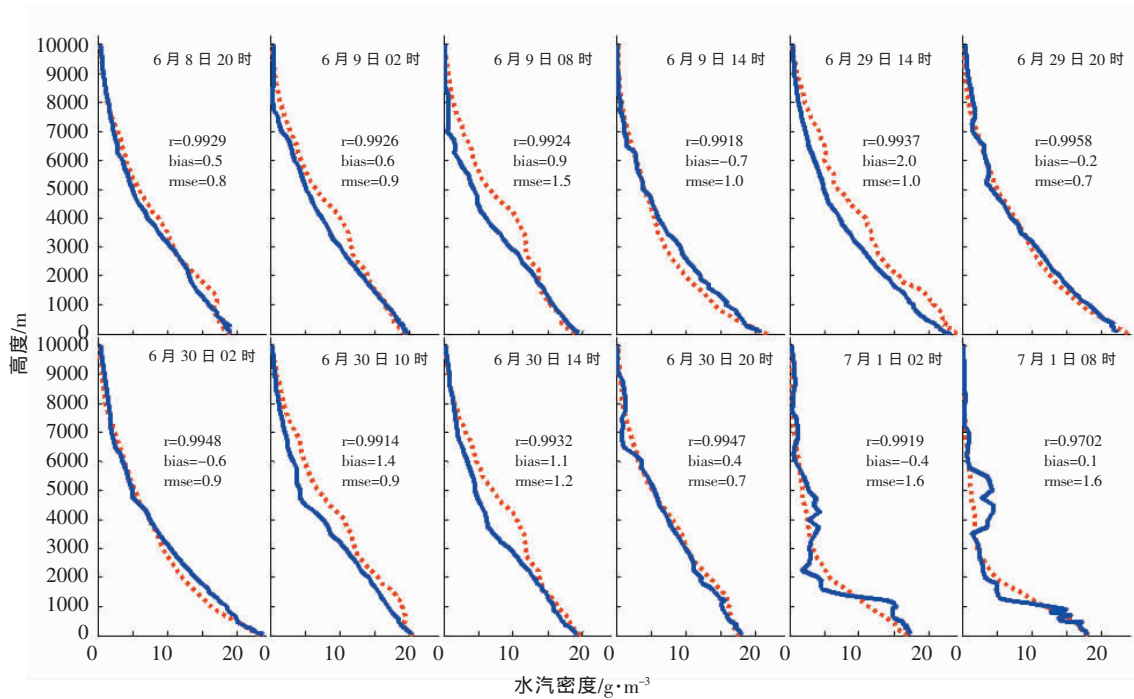


图 2 2009 年 6 月 8 日至 7 月 1 日不同时刻微波辐射计(×××)与 GPS 无线电探空(——)水汽密度廓线图

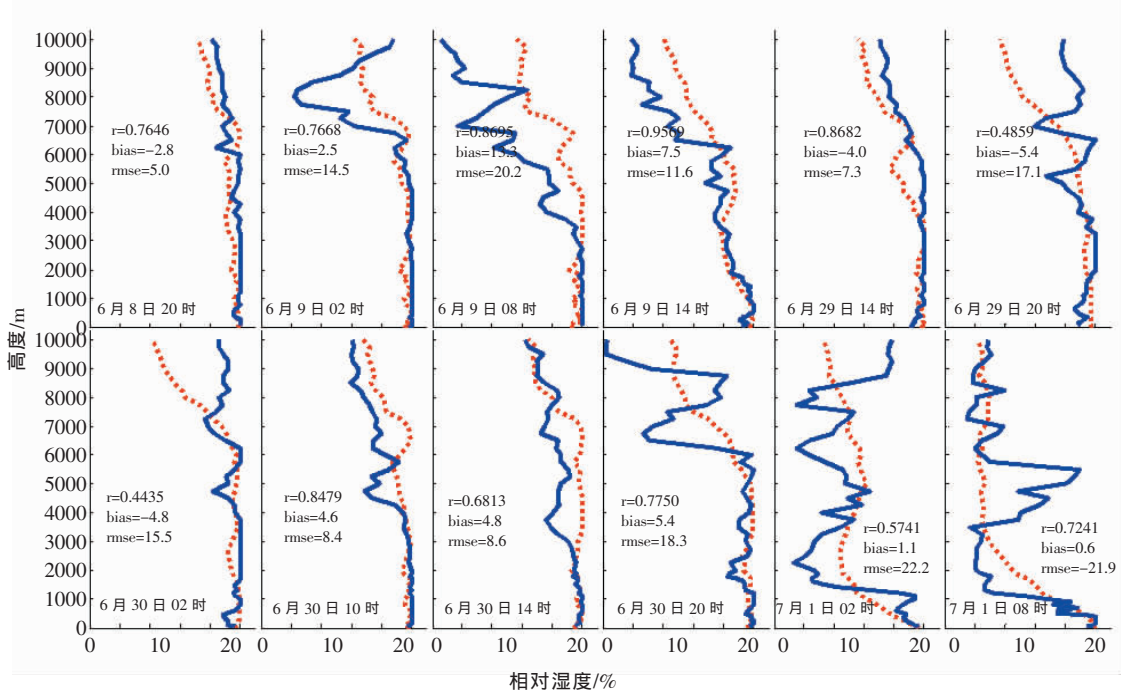


图 3 2009 年 6 月 8 日至 7 月 1 日不同时刻微波辐射计(×××)与 GPS 无线电探空(——)相对湿度廓线图

大小受天气的明显影响,总体上微波辐射计的相对湿度大于 GPS 无线电探空结果,两者的偏差基本上随高度的增加而增大。

以上分析表明,微波辐射计的温度、水汽密度廓线与 GPS 无线电探空结果具有很好的正相关,而微波辐射计的相对湿度廓线与 GPS 无线电探空结果的正相关系数受天气的明显影响;从整体上看,微波辐射计反演的温度、水汽密度和相对湿度与 GPS 无线电探空结果之间的系统偏差在无降水天气下小,而在有降水天气下大。微波辐射计的反演廓线与 GPS 无线电探

空结果之间存在系统偏差,其可能原因如下:

(1)采样方法的差异。由于 GPS 无线电探空的采样时间多超过 30 min,而微波辐射计的采样时间小于 3 min,在进行对比时,是将 GPS 无线电探空采样时间内的微波辐射计反演结果求平均来与 GPS 无线电探空廓线做比较,这样的处理方法会带来一些系统偏差。尤其是晴雨转折天气,相对湿度的时空变化快于温度和水汽密度,这种采样方法的差异可能会导致微波辐射计的相对湿度与 GPS 无线电探空结果的系统偏差较大。

(2)微波辐射计反演算法的系统误差。微波辐射计是利用观测的亮温通过神经网络模型来反演大气温度、水汽及湿度等信息的,其中神经网络建模需要用到多年历史探空资料。由于咸宁不是常规探空站,没有多年历史探空资料,其神经网络模型是采样临近的武汉探空站的历史探空数据进行构建的,因此,咸宁与武汉之间气候的差异以及用于神经网络建模的武汉历史探空资料的长短也会带来一些系统偏差。另外,由于相对湿度不是由微波辐射计直接反演,而是通过温度和水汽密度间接计算出来的,这样的处理会把温度和水汽密度的系统偏差带入到相对湿度中去,可能会导致相对湿度的系统偏差较大。

(3)降水对微波辐射计反演效果的影响。在文中第一节已经提到,地基微波辐射计主要在非降水天气下使用,虽然 MP-3000A 地基微波辐射计采用了纳米天线罩和鼓风机装置,使得在降水天气下反演的热力学廓线的准确度达到合理的程度,但这并没有消除降水的影响,降水时天线罩上形成的液态水将导致亮温测值的偏高,这个偏差会通过反演模型进行传递,进而会给反演结果带来较大的系统偏差。

3.2 微波辐射计与 GPS 无线电探空、GPS/MET 整层可降水量的对比

图 4 给出观测试验期间咸宁 1 h 累计降水以及微波辐射计与 GPS 无线电探空、GPS/MET 整点时刻大气整层可降水量对比图。从中看到,与 GPS 无线电探空结果相比,微波辐射计的可降水量在有降水的天气

下都明显偏大,两者的平均偏差为 15.2 mm,均方差为 10.4 mm;在无降水天气下,微波辐射计的可降水量稍小于 GPS 无线电探空结果,两者的平均偏差为-3.8 mm,均方差为 1.7 mm。而与 GPS/MET 的可降水量相比,微波辐射计的可降水量均偏大,在有降水的天气下,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间的系统偏差较大,两者的平均偏差为 16.6 mm,均方差为 11.3 mm;在无降水的天气下,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间的系统偏差明显减小,两者的平均偏差为 3.5 mm,均方差为 3.3 mm。从上面的分析可见,在无降水的天气下,微波辐射计与 GPS 无线电探空以及 GPS/MET 可降水量之间的系统偏差较小,偏差大小在 4 mm 以内,而在有降水的天气下,该系统偏差明显增大。结合 3.1 节的分析结果,可以发现,即使微波辐射计采用纳米材料的天线罩、配置鼓风机等方法,在降水天气下,天线罩水膜的形成和雨水散射、发射及吸收效应等仍会对微波辐射计的反演准确度产生影响,造成微波辐射计反演得到的水汽密度明显大于 GPS 无线电探空的水汽密度,反演得到的可降水量也明显大于 GPS 无线电探空和 GPS/MET 的可降水量。

为更好地考查微波辐射计在不同天气下反演可降水量的准确度,图 5 给出咸宁 2008 年 6 月至 2009 年 12 月所有观测日、无降水日和有降水日下微波辐射计和 GPS/MET 整点时刻大气整层可降水量的对比情况。由图可见,在所有观测日,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间的相关系数为 0.9473,两者具有很

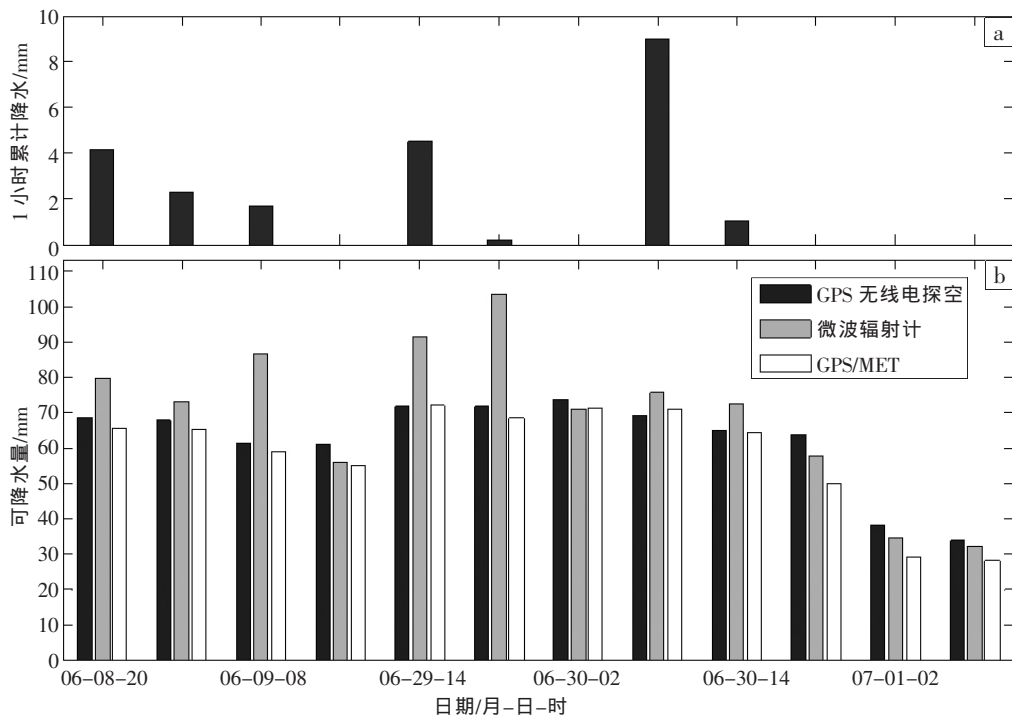


图 4 观测期间咸宁 1 h 累计降水(a)以及微波辐射计与 GPS 无线电探空、GPS/MET 整层可降水量的对比(b)图

好的正相关,总体上微波辐射计的可降水量大于 GPS/MET 的可降水量,两者的平均偏差为 3.3 mm,均方差为 6.3 mm。

在可降水量小于 20 mm 时,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间的偏差较小,而在可降水量大于 20 mm 时,微波辐射计的可降水量明显大于 GPS/MET 的可降水量。从图 5b 和图 5c 可以看到,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间偏差的增大主要受降水的影响。

在无降水日,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间的相关系数为 0.9948,两者的正相关非常好,总体上微波辐射计的可降水量稍大于 GPS/MET 的可降水量,两者的系统偏差较小,其平均偏差为 1.9 mm,均方差为 3.0 mm,而且两者的偏差随可降水量的增加变化很小。而在降水日,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量

之间的相关系数为 0.8994,相关系数明显小于无降水日,而两者的系统偏差明显大于无降水日,其平均偏差为 5.3 mm,均方差为 8.5 mm。

微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间的偏差在可降水量小于 20 mm 时较小,但在可降水量大于 20 mm 时,微波辐射计的可降水量明显大于 GPS/MET 的可降水量,其偏差的表现特征与所有观测日情况下一致。刘红燕等^[9]利用北京南郊观象台 2006 年 9—11 月微波辐射计和 GPS/MET 整点大气整层可降水量进行了对比分析,得到两者的平均误差为 3.22 mm,均方差为 4.22 mm。本文在所有观测日得到的微波辐射计和 GPS/MET 的可降水量的对比结果与刘红燕等的结果相当,在无降水日得到的结果稍好,而在降水日得到的结果稍差。

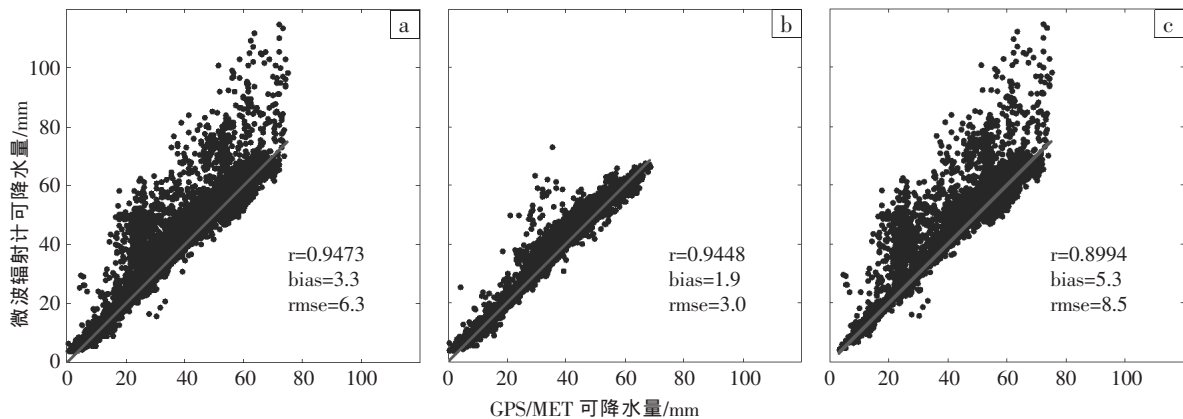


图 5 咸宁 2008 年 6 月至 2009 年 12 月微波辐射计和 GPS/MET 整层可降水量的对比情况

(a)所有观测日;(b)无降水日;(c)有降水日

表 1 给出不同雨强下微波辐射计和 GPS/MET 可降水量的对比结果,可以看到,在小雨时,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间的相关系数为 0.9120,其平均偏差为 4.1 mm,而在暴雨以上时,两者的相关系数减小到 0.7907,平均偏差增大到 10.8 mm。可见,降水对微波辐射计反演可降水量的影响随着雨强的增加而增大,这可能是因为雨强越大,天线罩上的水膜可能越易形成且可能更厚,同时雨水散射、发射及吸收效应等影响会更大,使得观测的亮温偏差较大,进而加大了对微波辐射计反演结果的影响。

表 1 不同雨强下微波辐射计和 GPS/MET 整层可降水量的对比结果

降水量级	相关系数	平均偏差/mm	均方差/mm
小雨	0.9120	4.1	7.5
中雨	0.8485	7.9	10.6
大雨	0.8489	7.7	9.7
暴雨以上	0.7907	10.8	10.0

由上述分析可知,微波辐射计反演的可降水量总体上大于 GPS/MET 的可降水量,在无降水的天气下,微波辐射计的可降水量与 GPS/MET 的可降水量具有很好的正相关,两者的系统偏差小于 2 mm,而降水引起亮温观测偏差的增大同样会影响微波辐射计可降水量的反演效果,随着雨强的增加,微波辐射计和 GPS/MET 可降水量之间的正相关系数会减小,而两者之间的系统偏差会增大。

4 结论与讨论

(1)微波辐射计反演的温度、水汽密度廓线与 GPS 无线电探空结果具有很好的正相关,而微波辐射计反演的相对湿度廓线与 GPS 无线电探空结果的正相关系数受到天气的明显影响。从整体上看,微波辐射计反演的温度、水汽密度和相对湿度与 GPS 无线电探空结果之间的系统偏差在无降水时较小,而在有降水时较大。

(2)微波辐射计的反演廓线与 GPS 无线电探空结

果之间存在的系统偏差可能与两种探测设备采样方法的差异、微波辐射计反演算法以及降水影响等有关,尤其是降水天气下,天线罩上形成的液态水将会导致亮温测值的偏高,这个偏差会通过反演模型进行传递,进而会给反演结果带来较大的系统偏差。

(3)降水的影响同样也会体现在微波辐射计反演大气整层可降水量上。与GPS无线电探空结果相比,在无降水天气下,微波辐射计的可降水量偏小,两者的系统偏差在4 mm以内,而在有降水天气下,微波辐射计的可降水量明显偏大,两者的系统偏差也较大。与GPS/MET的结果相比,微波辐射计的可降水量总体上偏大,在无降水天气下,微波辐射计的可降水量与GPS/MET的结果具有很好的正相关,两者的系统偏差小于2 mm,而在降水天气下,随着雨强的增加,微波辐射计与GPS/MET可降水量之间的相关系数会减小,同时两者的系统偏差会增大。

本文分析结果显示,虽然MP-3000A地基微波辐射计采用了纳米天线罩和鼓风机装置,使得在降水天气下反演的热力学廓线的准确度达到合理的程度,但这并没有消除降水的影响,降水时天线罩上形成的液态水将导致亮温测值偏高,这一偏差会通过反演模型

进行传递,进而会给微波辐射计的反演结果带来影响,且雨强越大,其影响也越大。

参考文献:

- [1] Radiometrics. Profiler operator's manual [M]. Boulder (USA): Radiometrics Corporation, 2007.
- [2] Chan P W. Performance and application of a multi-wavelength, ground-based microwave radiometer in intense convective weather [J]. Meteor Zeits, 2009, 18(3): 253-265.
- [3] Knupp K R, Ware R, Cimini D, et al. Ground-based passive microwave profiling during dynamic weather conditions [J]. J Atmos Oceanic Technol, 2009, 26: 1057-1073.
- [4] Vaisala. Installation manual [M]. Finland: Vaisala Oyj, 2006.
- [5] 徐桂荣,万蓉,李武阶,等.地基GPS反演大气可降水量方法的改进[J].暴雨灾害,2009,28(3):203-209.
- [6] 刘健文,郭虎,李耀东,等.天气分析预报物理量计算基础[M].北京:气象出版社,2005.
- [7] Hopfield H S. Tropospheric effect on electromagnetically measured range: Prediction from surface weather data [J]. Radio Sci, 1971, 6(3):357-367.
- [8] Bevis M, Businger S, Chiswell S R, et al. GPS meteorology: Mapping zenith wet delays onto precipitable water [J]. J Appl Meteor, 1994, 33:379-386.
- [9] 刘红燕,王迎春,王京丽,等.由地基微波辐射计测量得到的北京地区水汽特性的初步分析[J].大气科学,2009,33(2):388-396.

Observational Comparison Among Microwave Water Radiometer, GPS Radiosonde and GPS/MET

XU Gui-rong¹, SUN Zhen-tian², LI Wu-jie¹, QI Lin³, FENG Guang-liu¹

(1. Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074;

2. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

3. Xianning Meteorological Bureau of Hubei Province, Xianning 437000)

Abstract: Comparative analyses is made to the meteorological elements retrieved from microwave radiometer (MWR) using the observation data from GPS radiosonde and GPS/METeology (GPS/MET) which have the same location as the microwave radiometer. The results show that the temperature and vapor density profiles of MWR have a satisfactory positive correlation with those of GPS radiosonde; and the positive correlation coefficient of humidity profile between MWR and GPS radiosonde is affected by weather. The system bias of profiles between MWR and GPS radiosonde are smaller in non-precipitating conditions but larger in precipitating cases. The bias may be related with sampling methods, MWR retrieval methods, precipitation and so on. Especially in precipitation conditions, liquid water on the MWR radome can result in higher brightness temperature measurements to bring a system bias into the MWR retrieval parameters. The precipitation effect also works on retrieving precipitable water (PW) from MWR observations. Compared with GPS radiosonde PW, MWR PW is smaller in non-precipitating conditions with a bias within 4 mm, but MWR PW is larger in precipitating cases with a larger bias. Compared with GPS/MET PW, most MWR PW is larger. In non-precipitating conditions, MWR PW has a satisfactory positive correlation with those of GPS/MET and their bias is less than 2 mm, but in precipitating cases the positive correlation coefficient decreases with rain intensity increase and the bias also becomes larger.

Key words: Microwave water radiometer; GPS radiosonde; GPS/METeology; Precipitable water; Correlation