

赵美艳,余君,蒋镇.重庆微波辐射计资料的评估和探测特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(5):118-126.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.05.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



重庆微波辐射计资料的评估和探测特征分析

赵美艳¹,余君^{2*},蒋镇³

(1.重庆市气象信息与技术保障中心,重庆 401147;2.丰都县气象局,重庆 408200;3.云阳县气象局,重庆 404500)

摘要:利用 Metop-A 掩星和 L 波段探空资料,对 2017—2019 年重庆沙坪坝 MP-3000A 型地基微波辐射计探测的气温、湿度廓线资料进行评估,并对两次天气过程中微波辐射计的探测特征进行分析,结果表明:(1)微波辐射计与掩星气温在整个探测高度上均为显著正相关,且低层高于高层;夏半年偏差小于冬半年,4 km 以下微波辐射计探测气温高于掩星气温,降雨时偏差更大;相对湿度相关性稍高于气温,夏半年相关性高于冬半年,偏差小于冬半年;降水天气时,1 km 以下及 4~6 km 微波辐射计相对湿度的负偏差值明显比无降水时大。(2)微波辐射计与探空气温为显著正相关,近地层偏差最小,08 时平均偏差小于 20 时;在中低层,微波辐射计相对湿度较探空偏大,20 时的探测精度优于 08 时。(3)辐射雾出现时,微波辐射计探测到近地面层相对湿度增大和气温降低;降水时段,微波辐射计探测 5 km 以下为高湿区,暖湿气团上升过程中高层的凝结潜热和低层的绝热冷却作用使中低层出现逆温层。

关键词:微波辐射计;掩星;探空;气温;相对湿度

中图分类号:P468

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)05-0118-09

随着气象探测技术的不断进步,探空资料的来源日益增多,由气球携带随风漂移的无线电探空、测风逐渐发展到由飞机、风廓线雷达、地基水汽遥感探测、卫星等构成的综合探空系统。20 世纪 80 年代以来,在探测大气垂直结构的技术领域方面,结构简单、无人值守的被动微波遥感技术发展迅猛^[1-3],尤其是地基微波辐射计,它利用大气在一定频率带中的微波辐射进行测量,能够探测得到分钟量级的气温、水汽等气象要素的廓线信息,已逐渐成为常规探空的重要补充。国内外已有众多专家学者对其探测原理、数据产品的反演、偏差分析等开展了研究和探讨^[4-11]。将微波辐射计反演结果与 GPS 无线电探空和 GPS/MET 观测对比分析发现,微波辐射计探测的

温、湿度廓线与 GPS 无线电探空结果具有很好的正相关,但其可降水量较 GPS/MET 偏大^[12]。韩珏靖等^[13]研究表明,在降水和强对流天气过程中,微波辐射计相对湿度有提前增大的现象,提前时间在强对流天气时要短于降水过程,对天气预报有重要指示意义。

伴随着微波辐射计各种反演技术的发展^[14-15],其观测资料的种类和数量逐渐增多,但其反演产品质量会受到地点、天气等各种因素的影响^[16]。以往的研究多采用探空数据对微波辐射计廓线信息的准确性进行分析^[17],但受地域的影响和需要花费较高的操作和维护费用,探空观测覆盖范围有限,观测时次一般每天 2 次(最多 4 次),远不能满足气象业务发展的需求。近年来,随着全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite Systems,GNSS)的发展,美国 GPS(Global Position System)、欧洲 Galileo 和中国的北斗等,为气象业务和研究提供了高时空分辨率的卫星遥感资料^[18-19]。GPS 无线电掩星观测(即空基 GPS 气象学)是基于 GPS 的探测技术,其无线电信号能够透过厚云层和降水区^[18],探测资料受云雨影响较

收稿日期:2021-02-05;修回日期:2021-10-15

基金项目:智慧气象技术创新团队项目(ZHCXTD-202019)

作者简介:赵美艳(1982—),女,工程师,主要从事气象资料处理、分析和应用。E-mail:zmy.0801@163.com

通信作者:余君(1979—),男,高级工程师,主要从事气象观测资料数据处理和应用。E-mail:107103214@qq.com

小,具有自校准、高精度、低成本等优点,被广泛应用于气象研究和业务应用^[21-22]。因此,本研究利用 Metop-A 掩星资料和 L 波段探空资料分别对重庆沙坪坝 MP-3000A 型地基微波辐射计探测性能和质量进行统计分析,并针对具体天气个例,对天气过程中的探测特征进行分析,进一步发挥该资料在气象预测预报中的作用。

1 资料和方法

1.1 资料

1.1.1 微波辐射计

本文所用微波辐射计资料为沙坪坝站 2017 年 1 月—2019 年 12 月 MP-3000A 型地基微波辐射计资料,可反演输出天顶方向、北斜 20°、南斜 20°及南北平均等多个方向温度、相对湿度、水汽等廓线信息(本文分析为天顶方向),垂直方向从地面至 10 km 高度共 58 层,时间分辨率为 3 min。

1.1.2 Metop-A 掩星资料

GPS 掩星是一种主动遥感大气探测技术,其利用 GPS 卫星发射的电磁波信号在穿越地球大气时出现的路径弯曲和信号延迟等信息反演大气温度、压强和水汽等廓线信息^[23]。Metop-A 掩星为欧洲气象卫星应用组织于 2006 年发射,每天可提供 600 条左右大气廓线,其折射率双权重平均值和标准差与 COSMIC 等几乎无差异,尤其是 10 km 以下,其折射率偏差较小^[24]。本研究使用的 Metop-A 掩星资料来自于 COSMIC 数据分析与存储中心(the COSMIC Data Analysis and Archival Center, CDAAC),主要使用掩星反演的 Wetprf 数据产品,垂直分辨率为 200 m,高度范围为地面~40 km,数据时间范围与微波辐射计资料一致。

1.1.3 L 波段探空资料

探空资料为重庆沙坪坝站 2017 年 1 月—2019 年 12 月每日 08 和 20 时(北京时,下同)L 波段探空秒数据。数据比对前,对气温和相对湿度数据进行异常值检查,剔除缺失和明显不合理的数据。

1.2 方法

为了实现 Metop-A 掩星资料和探空资料与微波辐射计资料的对比,将掩星及探空气温、湿度廓线用三次样条插值方法插值到与微波辐射计相同的高度层上。由于微波辐射计站点固定,掩星数据经纬度不固定,为便于分析,选择时间差<1.5 h、距离差<150 km 的数据与微波辐射计进行匹配^[25](为保证匹配数据量,两种数据在 0.6 km 以下未纳入统计

分析),计算 Metop-A、探空与微波辐射计气温与相对湿度数据之间的相关系数、偏差、偏差标准差。公式如下:

$$R_{RM} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{Mi} - \bar{X}_M)(X_{Ri} - \bar{X}_R)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{Mi} - \bar{X}_M)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{Ri} - \bar{X}_R)^2}}, \quad (1)$$

$$\Delta \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{Mi} - X_{Ri}), \quad (2)$$

$$Std_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n ((X_{Mi} - X_{Ri}) - \Delta \bar{X})^2}. \quad (3)$$

式中, R_{RM} 、 $\Delta \bar{X}$ 、 $Std_{\Delta X}$ 分别表示气温或相对湿度的相关系数、偏差平均值、偏差标准差, X_M 、 $\bar{X}_M$ 分别为 Metop-A 掩星(探空)气温、相对湿度或其平均值, X_R 、 $\bar{X}_R$ 为微波辐射计气温、相对湿度或其平均值, n 为样本数。本文所用的偏差均为“掩星反演值”或“L 波段探空值”减“微波辐射计反演值”。

2 偏差分析

2.1 微波辐射计与掩星

2.1.1 对比分析

由图 1 可知,两种仪器探测的气温和相对湿度相关系数均在 0.8 以上,尤其是相对湿度,整层的相关系数在 0.9 以上(图 1a)。而气温在 2 km 以下相关性最好,相关系数均在 0.9 之上,4~5 km 则相对较低(图 1b)。

从偏差来看,两种探测设备的气温平均偏差为 1.08 °C。4 km 以下,以负偏差为主(图 1c),即微波辐射计探测的气温高于掩星。其中,1 km 以下的差异最小,基本在 1 °C 以内,2.5 km 处差异最大,为 3 °C。4 km 以上,微波辐射计气温则相对偏小。在微波辐射计的整个探测高度,掩星与微波辐射计的偏差分布均较为稳定,整层波动较小。从图 1d 可知,微波辐射计和掩星相对湿度的差值平均值大致在 ±5% 以内。5 km 以下,以负偏差为主,微波辐射计反演的相对湿度偏大,0.5 km 处负偏差最大,为 -4.5%,这是因为微波辐射计在高湿的环境下,其水汽廓线的反演精度问题所致。5 km 以上,二者的偏差较小,基本在 ±1% 以内,且微波辐射计和掩星相对湿度的这种偏差分布,整层均表现得较稳定,只是低层波动稍高。

微波辐射计反演的湿度廓线的质量稍高于气温。在水汽相对集中的中低层,微波辐射计反演温、

湿度较掩星偏大。但其探测的温、湿度偏差却相对较小,尤其是气温,这是由于微波辐射计在低层的廓线信息来自于直接探测,而相对高层的廓线信息来自于网络模型的反演所得,从而使得低空的测量精度要高于高空。

2.1.2 冬、夏半年对比分析

图2为微波辐射计和掩星探测的气温、相对湿度在冬、夏半年的各统计量随高度的变化特征(冬半年指10月—次年3月,夏半年指4—9月)。从图2a可以看出,微波辐射计和掩星反演的气温在低层相

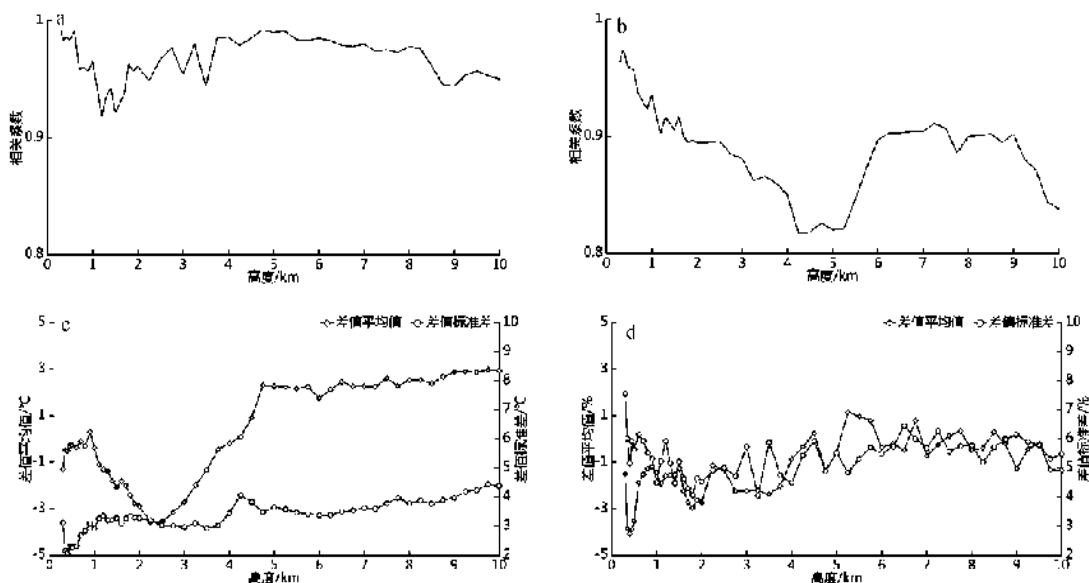


图1 掩星资料与微波辐射计相关系数、差值平均值、差值标准差
(a、d为相对湿度,b、c为气温)

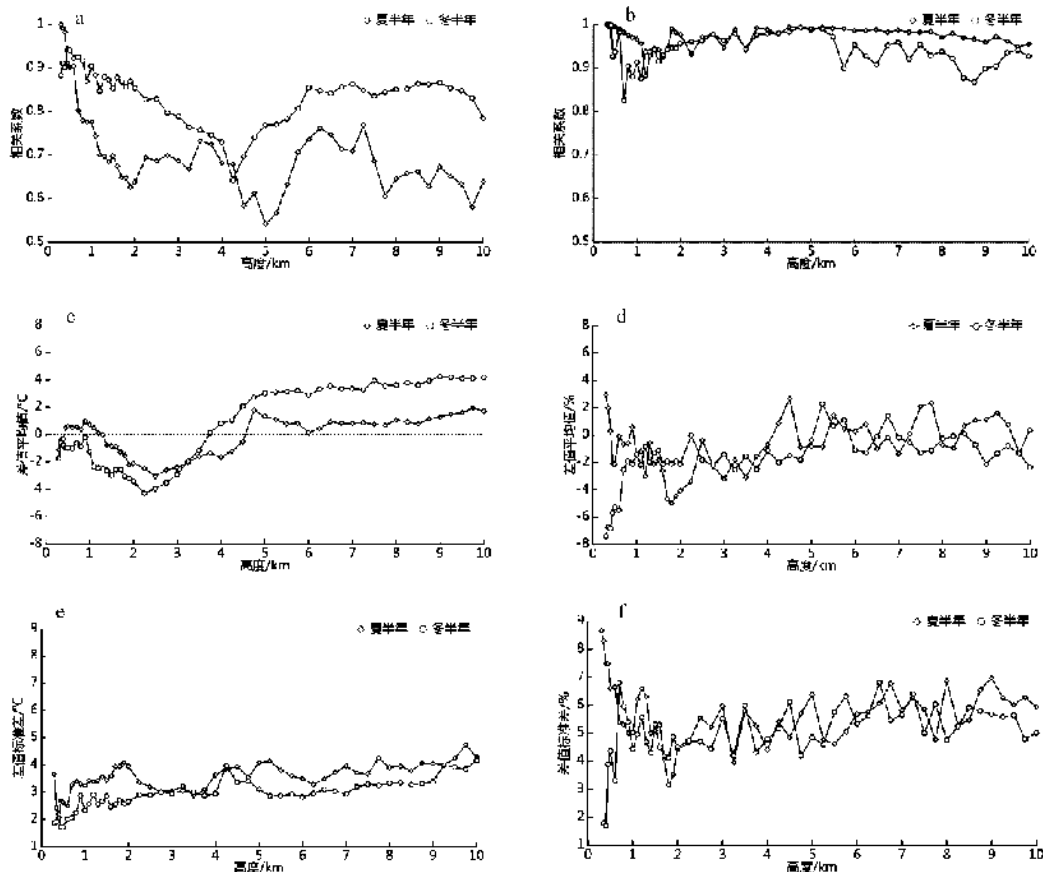


图2 掩星资料与微波辐射计在冬、夏半年相关系数、差值平均值、差值标准差
(a、c、e为气温,b、d、f为相对湿度)

关性相对较高,且冬半年的相关性要稍高于夏半年。5 km 以下,冬、夏半年的气温相关系数随高度呈递减趋势,5 km 以上则相反。在整个探测高度,冬、夏半年相对湿度的相关性随高度的变化与气温稍有不同(图 2b),1 km 以下和 5 km 以上,夏半年稍高于冬半年,1~5 km,两个半年的湿度廓线的相关系数随高度变化的趋势基本相同。

由图 2c 可知,微波辐射计气温偏差分布与图 1c 相似,即低层以负偏差为主,且 2~3 km 为负偏差的大值区,微波辐射计气温偏高 3~4 °C,而高层微波辐射计气温则相对偏低。就整层来看,夏半年偏差小于冬半年,即微波辐射计探测的温度廓线的精度,在夏半年优于冬半年。就两种设备探测的湿度廓线来看,其偏差随高度的变化趋势虽然与气温不同,但也呈现出夏半年优于冬半年的特点,尤其在低层(图 2d),冬半年的偏差最大时达到 -7%,而夏半年基本在 $\pm 3\%$ 以内,但在低层,两种观测设备测量的相对湿度差值的稳定性,冬半年比夏半年好(图 2f)。

就两种设备探测的气温来看,冬半年的相关性高于夏半年,但夏半年的差值小于冬半年,即微波辐射计对气温的反演精度在夏半年优于冬半年。就相

对湿度而言,不管是从相关性,还是偏差分布,均呈现出夏半年优于冬半年的特性。经统计,重庆主城区夏半年平均总云量约 7 成,低云量约 5 成,而冬半年总云量有 8.5 成,低云量有 7 成,冬半年的云量明显多于夏半年,而云量的多少也会影响微波辐射计的探测精度^[26]。

2.1.3 不同天气条件下对比

图 3 为无降水和有降水时微波辐射计与掩星气温、相对湿度廓线的相关系数、差值平均值及差值标准差分布。由图 3 可知,有降水时,微波辐射计和掩星的相关性与无降水时的相关性差别较大。4 km 以下(图 3a),相关系数相差不大,基本在 0.9 左右,即有、无降水的天气条件下,两种设备反演的气温值在低层相关性均较好。4 km 以上时,降水天气对微波辐射计探测的气温影响较大,相关系数降到了 0.7 左右。对相对湿度而言,降水天气时,微波辐射计与掩星的相对湿度相关性在中、低层均较差(图 3b)。6 km 以下,相关系数在 0.6~0.9,且变化波动较大,而高层的相关系数与无降水时基本相同。

从差值平均值图(图 3c)可知,有降水时,气温差值明显比无降水时大,尤其在 2.5 km 高度上,气

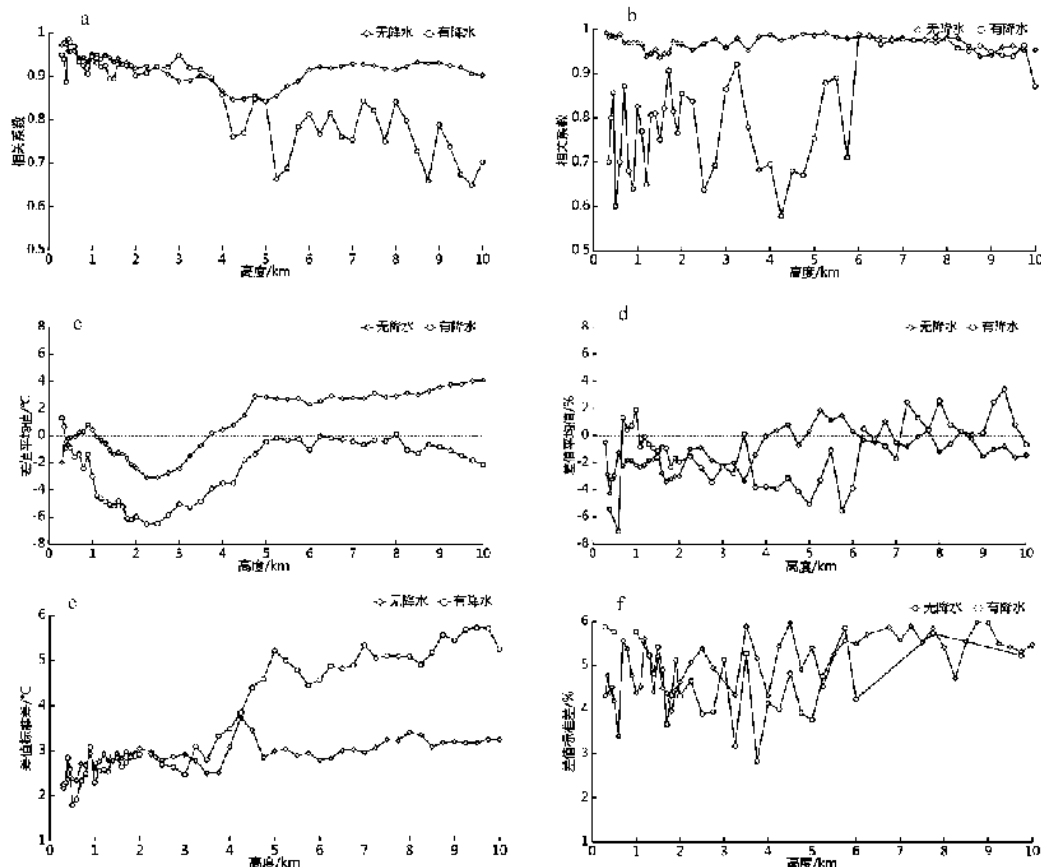


图 3 掩星资料与微波辐射计在晴、雨天气状况下相关系数、差值平均值、差值标准差(a、c、e 为气温,b、d、f 为相对湿度)

温偏差幅度达到 7°C ; 3 km 以上, 二者的差值有逐渐减少的趋势, 在整个探测高度上, 降水天气时, 微波辐射计反演气温均比掩星大。在中低层, 掩星与微波辐射计反演的气温差值在有、无降水天气下均有较稳定的表现(图 3e), 但在 4 km 以上, 降水条件下两种探测设备反演的气温差值稳定性明显要比无降水时的差。从相对湿度差值图(图 3d)可知, 降水天气对微波辐射计反演的湿度廓线有一定影响, 在 1 km 以下及 4~6 km, 降水天气时的负偏差值明显比无降水时大。

降水会对微波辐射计的探测精度产生影响, 因为降水时, 水汽会附着在微波辐射计的天线罩上, 而天线罩上的液态水会导致亮温观测值偏高^[16], 从而造成雨天的探测误差偏大。

2.2 微波辐射计与探空

2.2.1 总体对比分析

由于探空释放的时间一般为 08 和 20 时, 且一次过程大概持续在正点前后的 1 h, 因此微波辐射计资料选取探空采样时间段内探测数据的平均值, 代表 08 和 20 时的值, 与对应的探空数据进行对比分析。

从微波辐射计与 L 波段探空资料的温、湿度廓

线的统计分析可以发现, 两种设备探测的气温、相对湿度相关性和偏差分布特征与图 1 相似。在整个探测高度上两种要素均为显著正相关, 且相对湿度相关系数稍大于气温, 整层均在 0.9 以上; 而气温在低层相关性优于中高层, 尤其是 2 km 以下, 相关系数均在 0.9 以上, 之后随着高度的上升, 相关系数减少, 5 km 处最小, 为 0.8, 随后又逐渐增大; 在中低层, 微波辐射计探测气温、相对湿度均高于 L 波段探空, 高层则相反, 且低层偏差幅度小于高层, 即微波辐射计在低层探测的温、湿度廓线信息精度优于高层。这跟微波辐射计与掩星的偏差分布基本相同。

2.2.2 不同时次对比分析

图 4 为 L 波段探空和掩星探测的气温、相对湿度在 08、20 时两个时次各统计量随高度的变化特征。4.5 km 以下, 两个时次气温相关性相似(图 4a), 即随高度上升相关系数呈现递减趋势, 在低空的相关性较高, 尤其是 20 时在 1 km 处相关系数为 0.97, 4 km 处减为 0.83。4.5 km 以上, 两个时次相关系数均随高度递增, 但 20 时相对高于 08 时, 相对湿度的相关性稍高于气温(图 4b), 尤其是 2~5 km, 呈递增趋势, 5 km 处最大, 两个时次相关系数均达到 0.99。

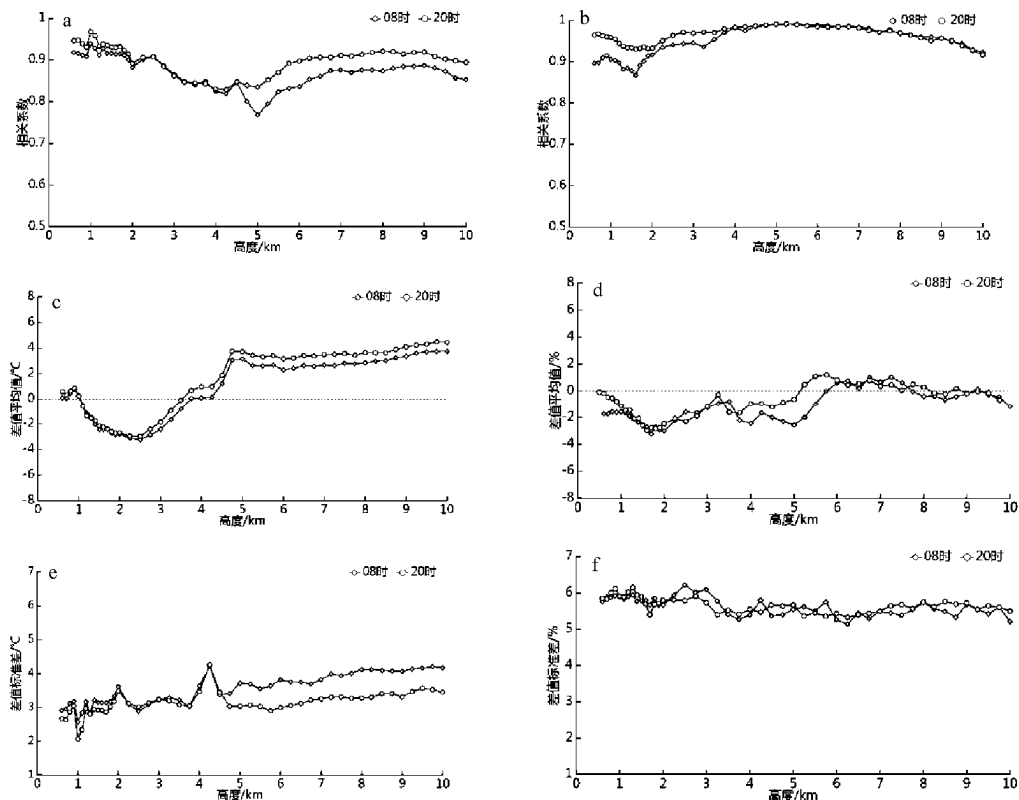


图 4 探空资料与微波辐射计在 08、20 时相关系数、差值平均值、差值标准差
(a、c、e 为气温, b、d、f 为相对湿度)

08 时微波辐射计反演气温与探空气温的偏差较 20 时小(图 4c),但两个时次的差值随高度的分布相似,即 4 km 以下,均以负偏差为主,而 4 km 以上 08 时的偏差普遍小于 20 时,但 20 时的偏差在整个高度层的稳定性要优于 08 时,尤其是在高层。就相对湿度而言,中低层以负偏差为主,即微波辐射计反演相对湿度偏大,而 5.5 km 以上,二者的偏差较小,大部分在 1% 以内。在整个探测高度上,L 波段探空与微波辐射计相对湿度的这种偏差分布,均表现得较为稳定(图 4f)。因此,无论是从相关性还是偏差分布来看,20 时微波辐射计相对湿度值要优于 08 时。

3 个例分析

3.1 大雾过程

2017 年 12 月 24 日有一次较强的大雾过程,24 日 02 时以后沙坪坝能见度逐渐降低,尤其是 07、08 时,能见度只有 58、72 m(图 5a)。24 日 01 时开始,近地面相对湿度达到 90% 以上,且高湿区向 150 m 高度扩展(图 5b),13 时左右,低层的高湿区开始逐渐消失减退。从微波辐射计的温度剖面图(图 5c)可知,24 日 02 时开始,近地层的气温逐渐降低,0.15~1 km 有“暖盖”,且温度低值区范围有向高层延伸趋势,07 时左右,“暖盖”消失,而后随着能见度的逐渐增大,低层气温开始回升。

此次大雾正是冬季常见的辐射雾,夜间由于地面辐射冷却作用,低空水汽凝结,尤其是 50 m 高度以下湿度增大,而微波辐射计相对湿度的增大与实际观测能见度下降几乎同时发生。地面辐射导致近地层气温降低,随着太阳辐射的增强,辐射雾逐渐消失,虽然微波辐射计探测低空相对湿度高值区的消失时间比能见度增大时间稍晚,但其探测到近地面气温回升的同时,能见度开始增加。

3.2 降水过程

2019 年 4 月 19—20 日,重庆出现了局地短时强降水,雨量主要集中在重庆中西部及中偏北地区。从微波辐射计观测来看,19 日 14 时开始 5 km 以下相对湿度达到 85% 以上(图 6b),15、16 时左右沙坪坝站上空 1~5 km 探测高度上相对湿度几乎达到 100%,而此时对应沙坪坝站小时最强降水(图 6a),即 16 时小时降水量达到 29.9 mm,之后高湿区抬升,而中低层相对湿度降低,降水逐渐减弱,20 时第一阶段降水结束。20 日 02 时开始,1~8 km 出现 85% 以上的高湿区,此时台站第二阶段降水开始,且在 03 时达到最大(22.7 mm)。

从温度剖面图发现(图 6c),19 日 13 时,温度高值区抬升,15 时左右,2.5~4.5 km 的高度上出现了较为明显的暖区,且暖区持续到 18 时左右减弱消失,随后 1~2 km 为温度低值区,上下形成逆温层。20 日 01 时,3 km 左右的暖区再次出现,直至降水

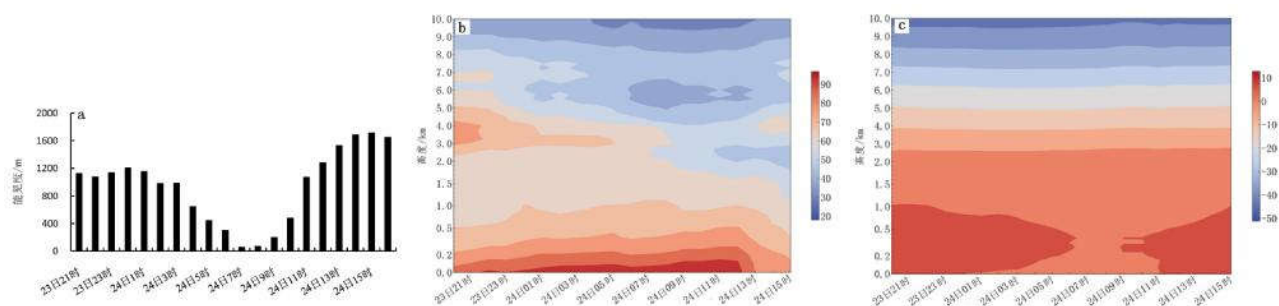


图 5 2017 年 12 月 23 日 21 时—24 日 16 时沙坪坝小时能见度(a,单位:m),微波辐射计相对湿度垂直剖面(b,单位:%),微波辐射计温度垂直剖面(c,单位:°C)

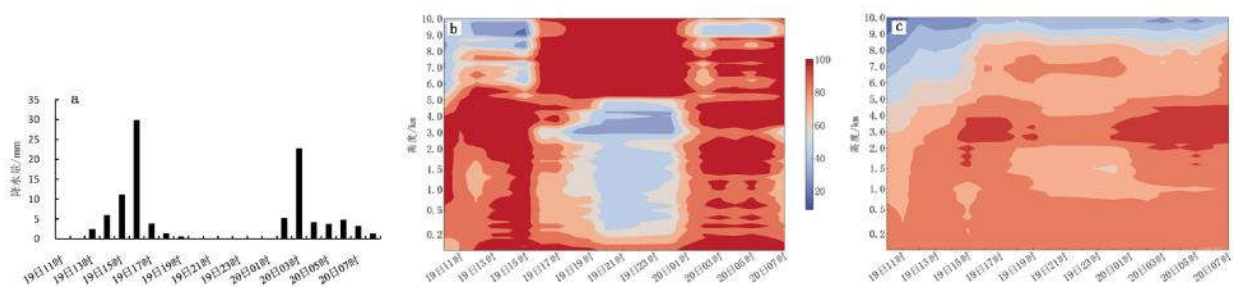


图 6 2019 年 4 月 19 日 11 时—20 日 08 时小时降水量(a,单位:mm)和微波辐射计相对湿度(b,单位:%),垂直剖面温度(c,单位:°C)

结束。3 km 高度层暖区出现的时段正好对应两次降水时段。

为进一步检验此次降水过程中的温度特征,选用与微波辐射计同址的沙坪坝站 L 波段探空数据对此次过程进行分析(沙坪坝探空站海拔高度是 541 m,因此 500 m 以下不予分析)。图 7 为 4 月 19 日 20 时和 20 日 08 时 L 波段探空温度垂直剖面图。19 日 20 时,在 1 km 左右的高度上,有一明显的逆温层存在,而 20 日 08 时这种逆温现象基本消失,这与微波辐射计探测的逆温现象出现时间相同,只是两种设备探测的逆温层高度稍有不同。

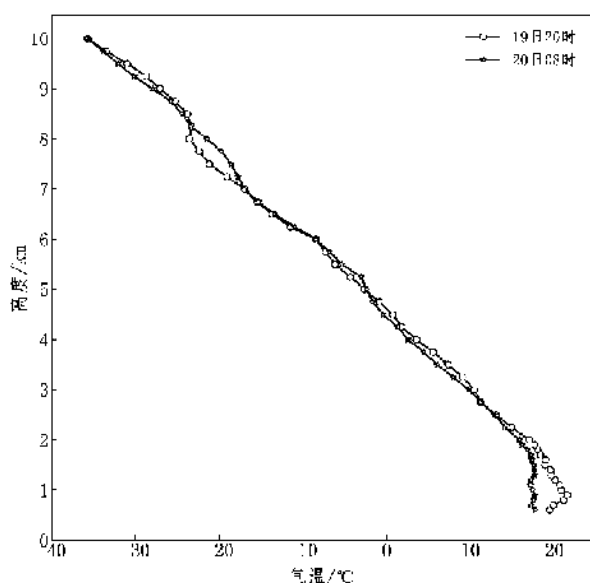


图 7 2019 年 4 月 19 日 20 时和 20 日 08 时沙坪坝 L 波段探空温度垂直廓线(单位:℃)

综上所述,此次短时强降水过程中,5 km 以下出现高湿区时,降水开始,之后随着暖湿气流的上升,低层水汽减少,降水减弱,而水汽到达高层后容易达到饱和而释放凝结潜热^[27],使得 2~3 km 高度层温度升高,随着低层气团的上升,水汽绝热冷却导致低层降温,在两次降水间歇,低层出现较为明显的逆温层。虽然降水会对微波辐射计测量结果产生影响,但此次降水过程中的温、湿度特征已较好地体现出来。

4 结论与讨论

通过对 2017 年 1 月—2019 年 12 月沙坪坝微波辐射计与 Metop-A 掩星、L 波段探空气温、相对湿度两个要素进行对比并分析微波辐射计资料在不同天气条件下的探测特征,得出如下结论:

(1) 微波辐射计与掩星反演所得气温和相对湿

度在整个探测高度上均为显著正相关,低层相关性高于高层,且相对湿度稍高于气温。在中低层,微波辐射计反演温、湿度较掩星偏大。相比于高层,微波辐射计在近地面层探测的温、湿度偏差相对较小。两种设备探测的气温,冬半年的相关性稍高于夏半年,但夏半年偏差小于冬半年。就相对湿度而言,不管是相关性,还是偏差分布,均呈现出夏半年优于冬半年的特性。

(2) 降雨天气对微波辐射计探测精度影响较大。4 km 以上,降水天气时气温相关性较低,相关系数仅有 0.7。在水汽相对集中的低空区域,微波辐射计反演气温高于掩星,尤其是降雨时,这种偏差更大。1 km 以下及 4~6 km,降水天气时微波辐射计相对湿度的负偏差值明显比无降水时大。

(3) 微波辐射计与 L 波段探空气温、相对湿度在整个探测高度上呈显著正相关,表现出低层相关性高于高层的特性,且 4 km 以下微波辐射计探测气温、相对湿度值高于 L 波段探空值;08 时气温平均偏差小于 20 时,而 20 时相对湿度探测精度优于 08 时。

(4) 不同的天气过程,微波辐射计相对湿度和气温的变化与天气现象有较好的对应关系。大雾天气时,微波辐射计探测低层相对湿度的增大与实际观测能见度下降几乎同时发生,且地面辐射导致近地层气温降低时段微波辐射计也能较准确地探测出来。通过对 2019 年 4 月 19—20 日短时强降水过程分析发现,降水时段,微波辐射计探测 5 km 以下为高湿区,随着暖湿气流的上升,降水减弱,暖湿气团上升过程中高层的凝结潜热和低层的绝热冷却作用,致使中低层出现了逆温层。

微波辐射计反演的温湿度廓线可信度较高,不同的高度、季节和天气条件下,微波辐射计气温和相对湿度廓线均有不同的表现。晴朗少云的天气,其探测精度相对较高,而降水时,水汽对微波辐射计的探测精度有一定的影响。不同的天气条件下,微波辐射计的探测特征不同,后续将考虑加入更多的对比数据源对其探测的各类天气进行系统分析,以便为气象预测预报提供参考依据。

参考文献:

- [1] WILSON W J, HOWARD R J, IBBOTT A C, et al. Millimeter-wave imaging sensor [J]. IEEE Trans MTT, 1986, 34(10): 1026-1035.
- [2] GAILIANO J A. A downward looking advanced microwave precipitation radiometer (AMPR) for high altitude

- airborne measurements [J].Proc of 1990 Southeastcon, 1990, 899-902.
- [3] 肖志辉,张祖萌,郭伟.地基、空基、星基微波辐射计定标技术概览[J].遥感技术与应用,2000,15(2):113-120.
- [4] HILL G E.Measurement of atmospheric liquid water by a ground-based single-frequency microwave radiometer[J].J Atmos Oceanic Technol,1991,8(5):685-690.
- [5] LIU G R,LIU C C,KUO T H.Rainfall intensity estimation by ground-based dual-frequency microwave radiometers [J].J Appl Meteor,2001,40(6):1035-1041.
- [6] 黄建平,何敏,阎虹如,等.利用地基微波辐射计反演兰州地区液态云水路径和可降水量的初步研究[J].大气科学,2010,34(3):548-558.
- [7] 姚作新,吕鸣,贺晓东,等.MP-3000A 型微波辐射计在乌鲁木齐探空站的辅助性探测研究 [J]. 沙漠与绿洲气象,2011,5(1):38-43.
- [8] 李军霞,李培仁,晋立军,等.地基微波辐射计在遥测大气水汽特征及降水分析中的应用 [J]. 干旱气象,2017,35(5):767-775.
- [9] 白婷,刘艳华,杨敏.微波辐射计观测同降水相关性的研究[J].气象与环境科学,2019,42(4):111-118.
- [10] 方莎莎,陆鹏程,廖可文,等.基于微波辐射计资料对武汉市冬季典型大雾个例的探测分析 [J]. 气象与环境科学,2020,43(4):81-87.
- [11] 张茜,孙少明,王清平,等.HTG-3 微波辐射计资料在乌鲁木齐国际机场雷暴天气中的应用初探[J].气象与环境科学,2020,43(4):119-128.
- [12] 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.
- [13] 韩珏靖,陈飞,张臻,等.MP-3000A 型地基微波辐射计的资料质量评估和探测特征分析[J].气象,2015,41(2):226-233.
- [14] 王振会,徐培源,邓军,等.三通道微波辐射计遥感大气中水汽、液水和电长度增量的数值试验[J].南京气象学院学报,1995,18(3):396-403.
- [15] 刘亚亚,毛节奏,刘钧,等.地基微波辐射计遥感大气廓线的 BP 神经网络反演方法研究[J].高原气象,2010,29(6):1514-1523.
- [16] 赵玲,马玉芬,张广兴,等.MP-3000A 微波辐射计的探测原理及误差分析[J].沙漠与绿洲气象,2009,3(5):54-57.
- [17] 乔贺,徐进,刘寅,等.地基微波辐射计温湿廓线对比试验初步分析研究 [J]. 环境科学与管理,2019,44(10):129-134.
- [18] FU E,ZHANG K,WU F,et al.An evaluation of GNSS radio occultation technology for Australian meteorology[J].J Global Positioning Sys,2007,6(1):74-79.
- [19] YUNCK T P,LIU C H,WARE R H.A history of GPS sounding[J].Terres Atmos Ocean Sci,2000,11(1):1-20.
- [20] 郝民,郭英华,马在忠.一次降水天气过程的 GPS 掩星资料在 GSI 同化系统中的应用 [J]. 高原气象,2010,29(1):164-174.
- [21] 胡雄,曾桢,张训械,等.大气 GPS 掩星观测反演方法[J].地球物理学报,2005,48(4):768-774.
- [22] 廖蜜,张鹏,毕研盟,等.风云三号气象卫星掩星大气产品精度的初步检验 [J]. 气象学报,2015,73(6):1131-1140.
- [23] 马再忠,郭英华,王斌.GPS 掩星观测的发展及其在气象业务中的应用现状[J].气象学报,2011,69(1):208-218.
- [24] 李海燕.GPS 掩星反演资料的质量分析[R].测绘技术装备,2019,3:82-85.
- [25] 余君,李庆祥,廖捷,等.中国区域高空三种气温、湿度资料交叉对比[J].气象,2016,42(6):743-755.
- [26] 刘建忠,张蔷.微波辐射计反演产品评价[J].气象科技,2010,38(3):325-331.
- [27] 赵美艳,徐海明.2008 年初南方冰雪天气逆温层特征及其维持机制[J].气象科学,2010,30(6):814-821.

Assessment and Detecting Characteristics of MP-3000A Microwave Radiometer in Chongqing

ZHAO Meiyan¹, YU Jun², JIANG Zhen³

(1.The Meteorological Information and Technical Center of Chongqing Meteorological Bureau,
Chongqing 401147, China;

2.Fengdu Meteorological Bureau, Chongqing 408200, China;

3.Yunyang Meteorological Bureau, Chongqing 404500, China)

Abstract Based on the Metop -A occultation and L-band sounding data, the accuracies of temperature and humidity profiles retrieved from MP-3000A microwave radiometer are assessed, and the detecting characteristics of different weather processes are also analyzed. Results shows that: (1) There is a significant positive correlation of temperatures from microwave radiometer and occultation, and the correlation coefficient of lower level is higher, and the average deviation is smaller in the summer while larger in winter. The temperature from microwave radiometer is higher than that from occultation under 4 km, especially during precipitation period. The correlation of relative humidity is a little higher than that of temperature, and it is higher in the summer than in the winter. The negative deviations are larger during precipitation period under 1 km and from 4 to 6 km. (2) There is also a significant positive correlation between air temperature retrieved from microwave radiometer and observed by L-band sounding. The deviations near the surface are the smallest and they are smaller in 08:00 than these at 20:00. The relative humidity retrieved from microwave radiometer is larger than that observed by L-band sounding, and the detection accuracy is better at 20:00 than at 08:00. (3) The humidity increases and temperature decreases near surface when the radiation fog appears. During precipitation period, high humidity region is detected by microwave radiometer under 5 km. The inversion layer will appear in the middle and lower layers when there is a rising process of warm and wet air mass due to the condensation latent heat in the high level air and then adiabatic cooling in the lower level.

Key words microwave radiometer; occultation; temperature; humidity