

高阻挡,槽在贵州有所停滞,配合 850 hPa 贵州中部切变线南压,为机场雷雨的发生提供较好的动力抬升条件。850 hPa 低空急流自中南半岛北部经我国华南至东海建立,为来自孟湾的水汽输送提供有利条件,贵州处于低空急流左侧,贵州中西部有水汽的辐合,水汽通量散度达 $-3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$

$\cdot \text{s}^{-1}$,为机场雷雨的发生储备水汽。

“0702”过程 08 时(图 3b)热带气旋位于我国华南沿海,500 hPa 副高东退至西太平洋上,贵州整层受高压底部和热带气旋外围东北气流的影响,具有不稳定潜势,但水汽偏弱,贵州中部为水汽辐散区。

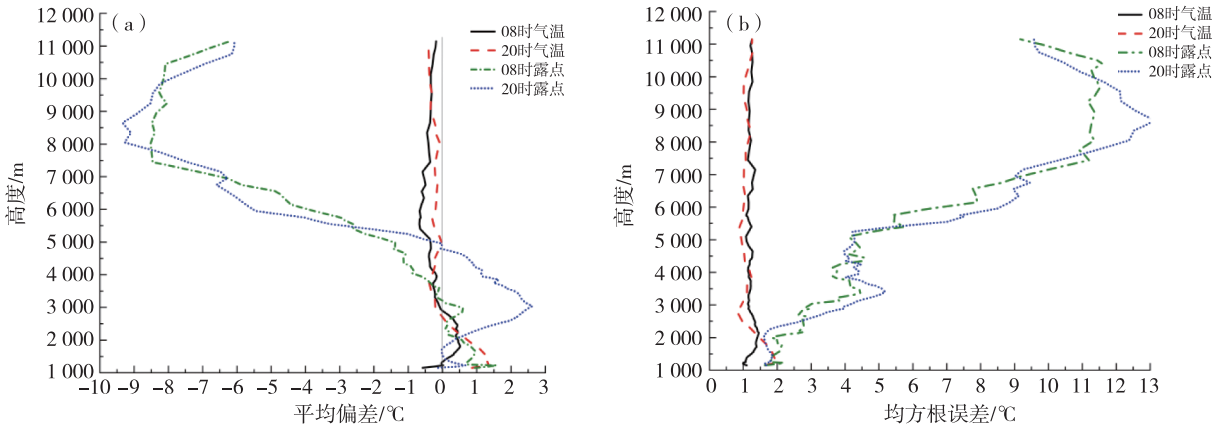


图 2 2022 年 6—8 月贵阳机场微波辐射计探测气温、露点的平均偏差(a)、均方根误差(b)随高度的变化
Fig. 2 Variation of mean deviations (a) and root mean square errors (b) of temperature and dew point measured by microwave radiometer at Guiyang Airport with height from June to August 2022

表 1 贵阳机场 2 次雷雨天气观测统计

Tab. 1 Observation and statistics of two thunderstorm processes at Guiyang Airport

日期	雷雨天气演变	对机场运行的影响
6 月 18 日	弱雷雨:18 日 19 时 58 分—19 日 00 时 19 分、00 时 43—49 分、01 时 28—36 分、02 时 09—18 分、02 时 44 分—03 时 40 分、03 时 52 分—06 时 42 分 中雷雨:19 日 00 时 19—43 分、00 时 49 分—01 时 28 分、01 时 36 分—02 时 09 分、02 时 18—44 分、03 时 40—52 分	1 个航班备降
7 月 2 日	弱雷雨:2 日 16 时 33—47 分、20 时 18 分—21 时	无影响

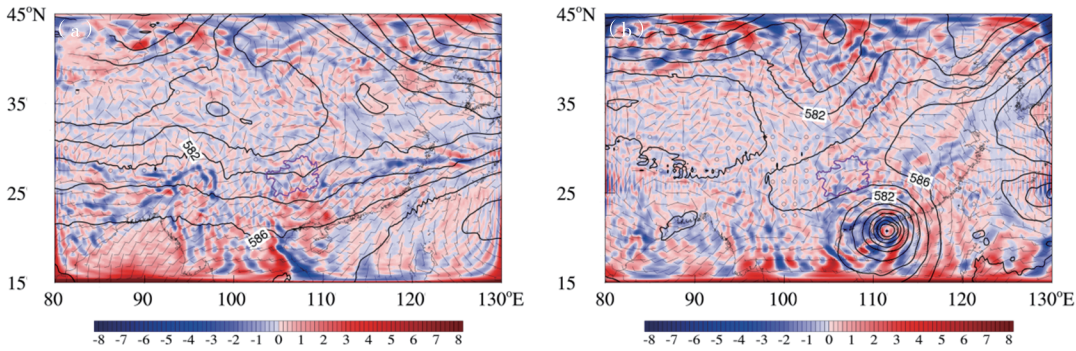


图 3 6 月 18 日 08 时(a),7 月 2 日 08 时(b)500 hPa 高度场(等值线,单位:dagpm)、850 hPa 风场(风羽,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)及水汽通量散度(阴影区,单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 3 Geopotential height (contour, unit: dagpm) at 500 hPa, and wind field (vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and water vapor flux divergence (shaded, unit: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) at 850 hPa at 08:00 on June 18th (a) and 08:00 on July 2nd (b)

3.2 微波辐射计资料监测分析

3.2.1 温湿基础数据 图 4 为“0618”过程和“0702”过程雷雨前后的气温、相对湿度的演变

情况。

由图 4a 可见,“0618”过程雷雨开始前大气温湿度有所波动,近地层气温较高,18 时 16—34 分整层

大气温度出现集体下降并达到极小值,说明此时有较明显的下沉气流,约 20 min 后弱雷雨出现,随着降水的维持近地层气温缓慢下降。从 23 时 59 分开始 3 000 m 以下气温激增,表明近地层有显著上升气流,约 10 min 后弱雷雨增强为中雷雨,此后低层气温在极大值附近摆动。当雷雨临近结束,整层气温逐渐下降,下沉气流占主导。由图 4b 可见,“0702”过程中,整层大气温度相对稳定,仅在雷雨期间高低空气温出现急剧升高,雷雨结束后各层气温快速回归至雷雨前的状态。

图 4c 显示,“0618”过程雷雨开始前,大气相对湿度垂直分布为“上下干,中间湿”,中层高湿区逐渐向低层和高层扩散,临近雷雨时中低层大气接近饱和。弱雷雨开始后中低层相对湿度维持在 80% 以上。中雷雨出现前约 15 min,中高层相对湿度大

幅降低到 70% 以下,中低层则近饱和,大气呈明显“上干下湿”分布,有利于不稳定层结的维持。随着雷雨趋于结束,相对湿度向着雷雨发生前的状态演变。图 4d 显示,“0702”过程水汽主要集中在中层,而上下层大气较干,仅在雷雨期间转换为“上干下湿”分布,突变明显。

综上,“0618”过程在雷雨前约 20 min 高低层出现显著降温,有下沉气流,湿层由大气中层向高低层扩展;雨强增大前约 10 ~ 15 min 近地层气温激增,有强上升气流,大气变为“上干下湿”结构,不稳定层结维持;雷雨临近结束时,气温与相对湿度向着雷雨发生前的状态演变。“0702”过程代表的局地性雷雨仅在天气出现期间高低空气温有急剧升高并转为“上干下湿”分布,气温与相对湿度突变明显。

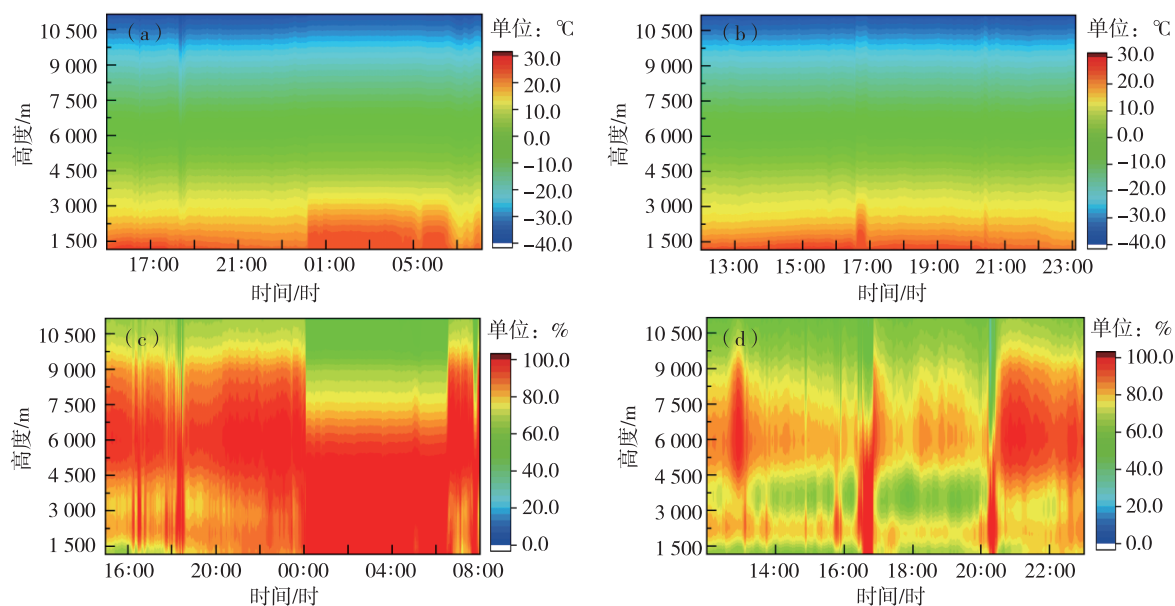


图4 6月18日15时—19日08时(a、c)、7月2日12—23时(b、d)气温(a、b)、相对湿度(c、d)随时间的变化

Fig. 4 Changes of temperature (a, b) and relative humidity (c, d) with time in 15:00 on June 18th to 08:00 on June 19th (a, c) and 12:00—23:00 on July 2nd (b, d)

3.2.2 综合水汽含量(IWV)、液态水路径(LWP)、液态水廓线(LPR) 微波辐射计反演的综合水汽含量(IWV)反映气柱中总的水汽含量。图 5a、图 5b 显示,“0618”过程 IWV 在雷雨前 4 h 出现波动上升,在雷雨前 1 h 骤降,雷雨发生后 IWV 缓慢上升并在雨强增强时迅速达到最大值 $60.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,此后一直维持在高位,呈多峰分布,雷雨结束前约 30 min IWV 迅速回落到最低值。“0702”过程雷雨前后 IWV 在 $40 \sim 45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间小幅波动,仅在雷雨期间快速激增至约 $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,呈单波峰分布特征。

液态水路径(LWP)代表气柱中液态水的含量。由图 5c、图 5d 可知,“0618”过程雷雨前 4 h LWP 急速上升,有大量液态水的集聚,弱雷雨出现后液态水快速回落到 $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下,中雷雨出现时 LWP 再次激增并达到最大值 $7745.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,此后随着雨强的波动变化而上下波动,雷雨结束时快速降至 $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。“0702”过程雷雨未发生时 LWP 近于 0,仅在雷雨前 0.5 ~ 1.5 h 有 $500 \sim 1000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的液态水积累,雷雨过程中的最大值为 $7355.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,LWP 有激增和骤降的特点。

液态水廓线(LPR)表征大气中液态水的空间分

布情况。图 5e、图 5f 表明,“0618”过程中,中雷雨出现期间大气中液态水发展高度高、数值大,其中大于 $1\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的液态水发展高度达到 $7\,500\sim 10\,000\text{ m}$,整个间歇性中雷雨时段至雷雨结束,垂直大气中液态水发展高度维持高位。“0702”过程液态水发展高度相对较低,雷雨未发生时 $>0.4\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的液态水发展高度不足 $4\,500\text{ m}$,仅在雷雨期间短时上冲到 $10\,000\text{ m}$ 。

综上,“0618”过程雷雨前 IWV、LWP、LPR 值出

现激增,大气中有大量水汽集聚,液态水含量增多,发展高度高,雨强增大时 IWV、LWP、LPR 值都到达了最大值,随后呈多峰分布并保持在高位,当 IWV、LWP、LPR 值显著回落时,雷雨天气结束。“0702”过程未出现雷雨时 IWV、LWP、LPR 值相对较小,大气中水汽偏低,液态水含量少,发展高度低,但雷雨发生时 IWV、LWP、LPR 值会快速增加到最大值,随后快速回落,呈单峰分布。

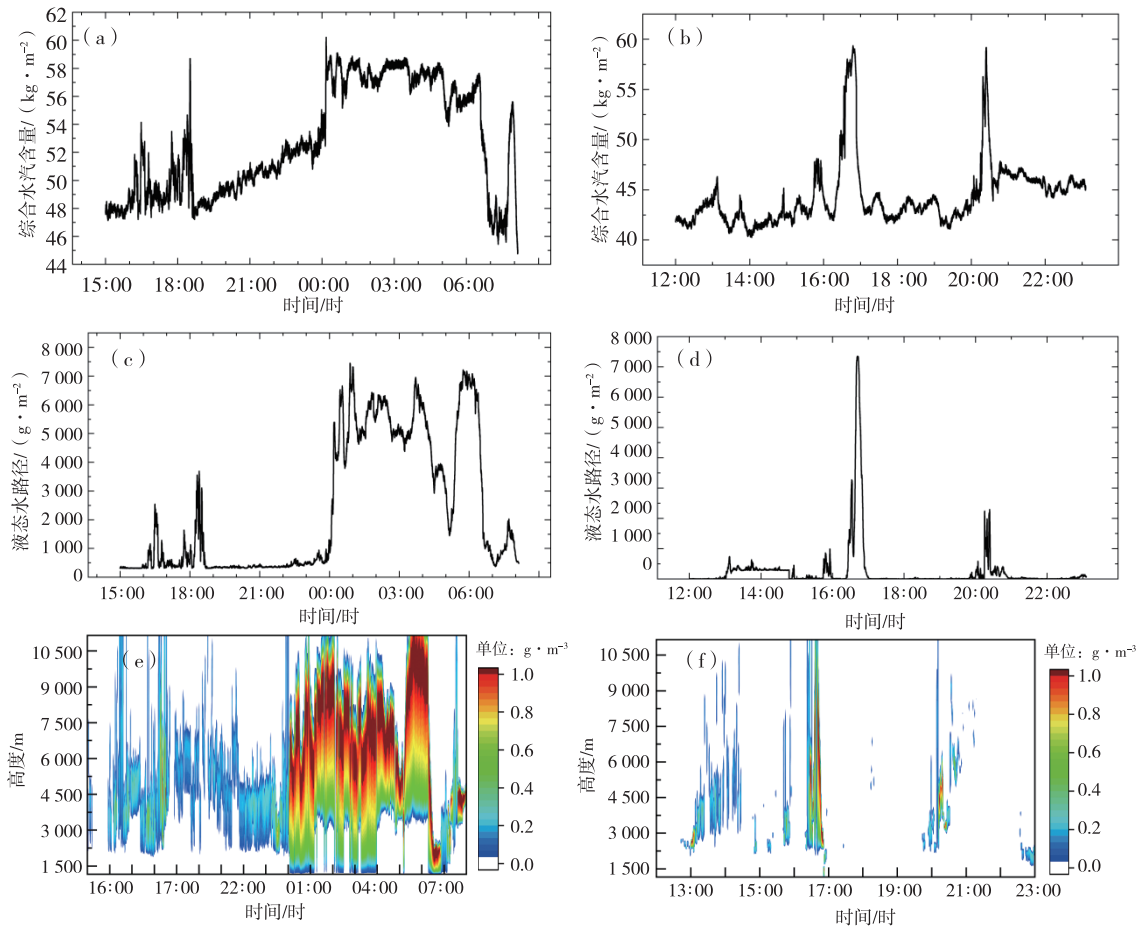


图 5 6 月 18 日 15 时—19 日 08 时(a、c、e)、7 月 2 日 12—23 时(b、d、f)IWV(a、b)、LWP(c、d)、LPR(e、f)随时间的变化

Fig. 5 Changes of IWV(a、b), LWP(c、d) and LPR(e、f) with time in 15:00

on June 18th to 08:00 on June 19th (a、c、e) and 12:00—23:00 on July 2nd (b、d、f)

3.2.3 能量指数 微波辐射计还提供了能量指数的反演资料,其中 KI、TT、LI 等指数表征了大气的稳定程度,CAPE 反映了对流上升运动可能发展的最大强度。分析雷雨前后能量指数的变化发现(图 6),“0618”过程雷雨前,KI、TT 波动上升到 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,LI 在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下并呈减小趋势,表明大气高层冷、低层暖,层结变得很不稳定,CAPE 在波动中上升到 $2\,000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,不稳定能量大。随着雷雨的持续,KI、TT 缓慢降低到 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,LI 上升到 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,

CAPE 在剧烈波动后快速回落至 0,大气稳定度增高,不稳定能量释放,雷雨结束。“0702”过程中,KI、TT 在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近摆动,LI 在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近摆动,随着雷雨的开始和结束均有显著增长和回落,CAPE 则呈现由 0 激增到 $3\,000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和瞬间掉落至 0 的剧烈变化,表明大气处于不稳定状态,当不稳定能量释放时雷雨出现,雷雨结束后不稳定能量又再次集聚,为新一轮雷雨的发生储备不稳定能量。

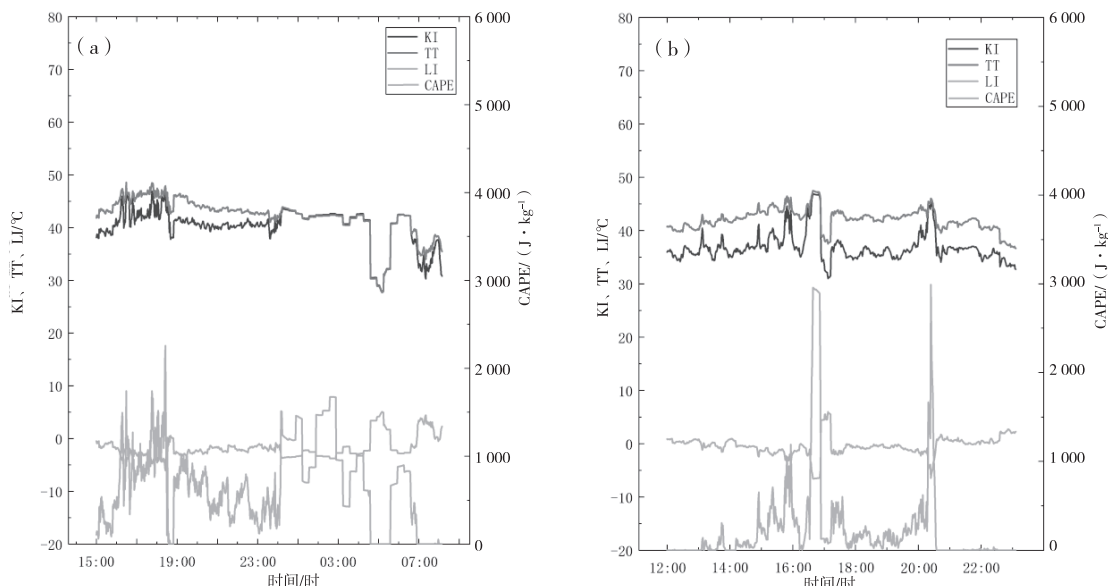


图6 6月18日15时—19日08时(a)、7月2日12—23时(b)雷雨期间KI、TT、LI、CAPE随时间的变化

Fig. 6 Changes of KI, TT, LI and CAPE with time during the thunderstorms in 15:00 on June 18th to 08:00 on June 19th (a) and 12:00—23:00 on July 2nd (b)

4 结论

(1)通过对比2022年6—8月贵阳机场微波辐射计与贵阳站探空探测气温、露点的数据并计算二者的平均偏差、均方根误差,发现:微波辐射计对气温的探测精度较高,气温平均偏差区间为 $[-1\text{ }^{\circ}\text{C}, 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}]$,均方根误差值约 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$;对露点的探测,低空的可信度高于高空,露点平均偏差区间在 $[-9.5\text{ }^{\circ}\text{C}, 3\text{ }^{\circ}\text{C}]$,均方根误差随高度升高而快速增大。即微波辐射计探测的气温值比较可靠,探测的露点值低空较为可靠。

(2)对“0618”和“0702”雷雨过程的环流形势进行对比诊断发现,“0618”过程由高空槽与低空切变线过境引起,低层有大量水汽输送,雷雨持续时间较长、强度较强,“0702”过程由热带气旋外围不稳定潜势引起,水汽输送偏弱,雷雨持续时间短、强度弱。

(3)分析机场微波辐射计资料发现,“0618”过程雷雨前大气温度下降、相对湿度上升,IWV、LWP、LPR值激增,大气层结不稳定度增大,有不稳定能量积累;雨强增强时大气变为“上干冷、下暖湿”,IWV、LWP、LPR值达到最大并呈多峰分布,不稳定能量开始释放;雷雨趋于结束时,整层温湿逐渐下降,IWV、LWP、LPR值显著回落,大气层结回归稳定。“0702”过程雷雨出现前后温湿变化不明显,仅在雷雨期间急速转为“上干下湿”分布,雷雨时IWV、LWP、LPR值呈现快速增大、快速回落的单峰分布,大气一直处于不稳定状态,当不稳定能量释放时会出现雷雨。

(4)微波辐射计对系统性雷雨的开始、结束、雨

强增强具有约20 min的预警提前量,对局地热对流的开始和结束则很难提前预警,更多起到监视作用。

参考文献

- [1] 张文刚,徐桂荣,万蓉,等. 基于地基微波辐射计的大气液态水及水汽特征分析[J]. 暴雨灾害,2015,34(4):367-374.
- [2] 陈哲. 中国探空气球水平漂移总体特征分析[J]. 气象,2010,36(2):22-27.
- [3] 周秀骥,吕达仁,黄润恒,等. 大气微波辐射及遥感原理[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [4] 廖国男,郭彩丽,周诗健. 大气辐射导论[M]. 北京:气象出版社,2004.
- [5] 黄晓莹,毛伟康,万齐林,等. 微波辐射计在强降水天气预报中的应用[J]. 广东气象,2013,35(3):50-53.
- [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] WARE R, ALBER C, ROCKEN C, et al. Sensing integrated water vapor along GPS ray paths[J]. Geophysical Research Letters, 1997, 24:417-420.
- [8] 张文刚,徐桂荣,颜国跑,等. 微波辐射计与探空仪测值对比分析[J]. 气象科技,2014,42(5):737-741.
- [9] 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.
- [10] 牟艳彬,宋静,傅文玲,等. HTG-4型微波辐射计的航空气象预报应用研究[J]. 高原山地气象研究,2018,38(1):35-41.
- [11] 黄治勇,徐桂荣,王晓芳,等. 基于地基微波辐射计资料对咸宁两次冰雹天气的观测分析[J]. 气象,2014,40(2):216-222.
- [12] 朱家亮,潘江萍,邱丽静,等. 基于多源数据的湘北地区春季一次冰雹过程的观测分析[J]. 中低纬山地气象,2022,46(2):46-54.
- [13] 李丽丽,邹书平,曾勇,等. 连续2次冰雹天气过程的多源资料分析[J]. 中低纬山地气象,2020,44(3):27-32.
- [14] 潘勇,刘志强. 雷暴对飞行的影响及个例分析[J]. 内蒙古气象, 2007(4):14-15.

杨凤婷, 罗浩, 邓小光. HTG-4 型微波辐射计资料在贵阳机场夏季 2 次雷雨天气中的应用分析[J]. 山地气象学报, 2024, 48(1): 95-101.

HTG-4 型微波辐射计资料在贵阳机场 夏季 2 次雷雨天气中的应用分析

杨凤婷, 罗 浩, 邓小光

(中国民航西南空管局贵州分局, 贵州 贵阳 550012)

摘 要:【目的】该文旨在研究微波辐射计资料在雷雨天气分析与预报中的作用。【方法】利用贵阳站探空数据、微波辐射计资料、常规观测资料、ERA5 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析资料, 采用统计、对比和诊断分析的方法, 探讨贵阳机场 HTG-4 型微波辐射计的探测效果, 并对 2022 年夏季贵阳机场 2 次雷雨天气进行对比分析。【结果】微波辐射计探测资料与探空站数据的整体相关性较高, 其对机场上空气温和低空露点的探测比较可靠。机场 2 次雷雨期间, 微波辐射计探测到上空大气转为“上干冷、下暖湿”的温湿分布, IWV、LWP、LPR 值出现激增, 能量指数有显著波动, 雷雨结束后 IWV、LWP、LPR 值快速回落, 能量指数回归稳定状态, 微波辐射计资料更为灵敏、直观地展现了雷雨期间温湿条件的变化。【结论】系统性雷雨与局地热对流的触发机制和水汽含量有所不同, 微波辐射计对系统性雷雨的起止及演变可做到约 20 min 的预警提前量, 但对局地热对流的开始和结束则很难提前预警。

关键词:微波辐射计; 贵阳机场; 雷雨; 温度; 湿度

中图分类号:P458 **文献标识码:**A

Application Analysis of HTG-4 Microwave Radiometer Data in Two Summer Thunderstorms at Guiyang Airport

YANG Fengting, LUO Hao, DENG Xiaoguang

(Guizhou Sub-bureau of Southwest Air Traffic Management Bureau,
Civil Aviation of China, Guiyang 550012, China)

Abstract: This paper aims to study the role of microwave radiometer data in the analysis and prediction of thunderstorm weather. Using the sounding data from Guiyang observation station, and the microwave radiometer data, conventional observation data as well as ERA5 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ reanalysis data, we investigate the detection effect of HTG-4 microwave radiometer at Guiyang Airport and analyze the two thunderstorm processes at Guiyang Airport in summer 2022 by means of statistics, comparison and diagnostic analysis. The results show that the overall correlation of the microwave radiometer detection data and the sounding station data is high, and the detection of the temperature and low dew point above the airport is more reliable. During the two thunderstorms at the airport, the microwave radiometer detected that the atmosphere aloft turned into a distribution of "dry and cold above, warm and wet below", the values of IWV, LWP and LPR surged, and the energy index fluctuated significantly. After the thunderstorm ended, the values of IWV, LWP and LPR dropped rapidly, and the energy index returned to a stable state. The microwave radiometer data can show the changes of temperature and humidity conditions during a thunderstorm more sensitively and intuitively. It is concluded that the triggering mechanism and water vapor content of systemic thunderstorms and local geothermal convection are different. The microwave

收稿日期: 2023-08-21

第一作者简介: 杨凤婷(1992—), 女, 工程师, 主要从事航空气象研究与应用工作, E-mail: 1243893451@qq.com.

radiometer can provide about 20 min advance warning for the start, end and evolution of systemic thunderstorms, but it is difficult to give advance warning for the start and end of local thermal convection.

Key words: microwave radiometer; Guiyang Airport; thunderstorm; temperature; relative humidity

0 引言

大气的温度和水汽是影响地球大气辐射传输和热量平衡的重要因子,其分布与变化对天气的发生、发展有重大影响^[1]。及时、准确地了解温湿的时空分布和变化特征,对于深入分析降水、雷暴、大雾等天气的发生和提高灾害性天气的预报准确率具有重要意义。

目前,利用氢气球携带探空仪定点、定时获取的垂直探空资料虽然具有较高的代表性和可信度,但在测量精度、连续观测、时空密度等方面存在局限性^[2]。为更好适应民航业的发展,航空气象服务迫切需要更高质量和高时空分辨率的气象探空资料。微波辐射计作为一种被动遥感探测设备,通过接收来自大气一定波段的微波辐射,可全天候连续探测大气温度、相对湿度、水汽密度、液态水汽含量等要素的垂直廓线^[3-4],时间分辨率达分钟级,垂直分辨率也较高,同时还具有无人值守的优势,弥补了常规探空观测的缺点,现已在各项气象科研和业务工作中广泛应用。学者研究表明,微波辐射计监测显示的降水情况与实况雨情基本相符^[5],反演值与实际观测值较为接近^[6]。Ware 等^[7]指出在数值预报中微波辐射计与探空资料具有同等的准确性。通过对比武汉站探空和微波辐射计资料,张文刚等^[8]发现微波辐射计测得的数据精度较高,大气温度、湿度廓线等天气要素的垂直分布合理。在微波辐射计的应用研究中,乔贺等^[9]对比分析了国内外不同型号的地基微波辐射计探测温湿度廓线的差异,发现微波辐射计对温度要素探测的效果整体较佳。在小阵雨、雷暴、雾、积冰条件下,HTG-4 型微波辐射计温湿数据能较好反映双流机场的气象要素分布特征及变化规律^[10]。降雹前微波辐射计探测到大气液态水总含量和大气水汽总含量及过冷水含量波动并快速增长,K 指数、TT 指数呈同趋势变化,对冰雹的预警有一定指示意义^[11-13]。

贵州属亚热带高原湿润季风气候,雨水充沛,贵阳机场(26.54°N,106.8°E)位于贵州省中部贵阳市东郊。本文对贵阳机场 HTG-4 型微波辐射计在夏季(6—8 月)的温湿探测效果进行评估,并对贵阳机场 2022 年夏季发生的 2 次雷雨天气过程展开分析,探讨微波辐射计在雷雨天气中的初步应用,以

期为雷雨天气的监测预警和精细化服务提供参考。

1 方法和资料

2021 年 7 月起,HTG-4 型地基多通道微波辐射计开始在贵阳机场投入使用,能自动完成地面到高空 10 km 的大气温湿探测,时间间隔 3 min,垂直共 93 层,输出产品包括降水率、综合水汽含量(IWV)、液态水路径(LWP)、温度廓线、液态水廓线、相对湿度/绝对湿度廓线、对流稳定指数(CAPE、KI 等)等。

选取 2022 年 6—8 月贵阳机场微波辐射计数据及每日 08、20 时(北京时,下同)贵阳站探空资料,并将探空资料作为参考标准,分析与微波辐射计数据的相关系数、平均偏差及均方根误差,评估微波辐射计的数据质量。为保证数据的时空一致性,微波辐射计温湿数据取探空时段平均值,使其能与探空资料进行比对;将探空资料在高空 10 km 内的数据进行线性插值,确保与微波辐射计每层高度的数据逐一对应。为保证数据的代表性,剔除了数据中的异常值。

为探讨微波辐射计对雷雨天气的监测预警效果,利用微波辐射计探测数据、常规观测资料、ERA5 0.25°×0.25°再分析资料,对贵阳机场 2022 年 6 月 18 日(简称“0618”过程)和 7 月 2 日(简称“0702”过程)雷雨天气进行对比诊断分析。

2 微波辐射计探测效果评估

为更好地应用微波辐射计资料,需对其探测效果进行初步评估。将 2022 年 6—8 月贵阳机场微波辐射计气温、露点探测数据与贵阳站探空气温、露点数据逐一对应绘制成散点图(图 1),若 2 种探测方式所得数据的差距越小,则数据相关性越高,数据点也越集中于线性拟合线附近。由图 1a、1b 可知,气温数据点紧密分布在拟合线两侧,08 时、20 时数据间的相关系数分别达到 0.996 81、0.997 21,具有很高的线性相关性,表明微波辐射计对气温的探测精度较高。由图 1c、1d 可知,08 时与 20 时露点数据间的相关系数分别为 0.975 8、0.968 95,同样具有较高相关性,但数据点在低空(高温区域)分布更集中,在高空(低温区域)分布较分散,即低空的微波辐射计数据与探空值更接近,表明微波辐射计

对露点的探测在低空的可信度高于高空。

分别计算 2022 年 6—8 月微波辐射计与探空数据在不同高度层的气温、露点的平均偏差(如图 2a),发现气温的平均偏差区间为 $[-1\text{ }^{\circ}\text{C},1.5\text{ }^{\circ}\text{C}]$,08 时与 20 时平均偏差值随高度的变化较为一致,约在 3 000 m 高度由正值转为负值。露点的平均偏差区间在 $[-9.5\text{ }^{\circ}\text{C},3\text{ }^{\circ}\text{C}]$,露点在高空的平均偏差显著大于低空,08 时约在 3 000 m 高度发生正负值

转换,20 时在 5 000 m 高度发生正负值转换。

进一步分析微波辐射计气温、露点的探测误差随高度的变化情况,由图 2b 可知,在 2 000 m 以下,气温的探测误差随高度增加而有略有增大,最大值为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 2 000 m 以上,均方根误差值在 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近摆动,说明微波辐射计探测的气温值比较可靠。与气温不同,露点的探测误差随高度递增而快速增大,最大可达 $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

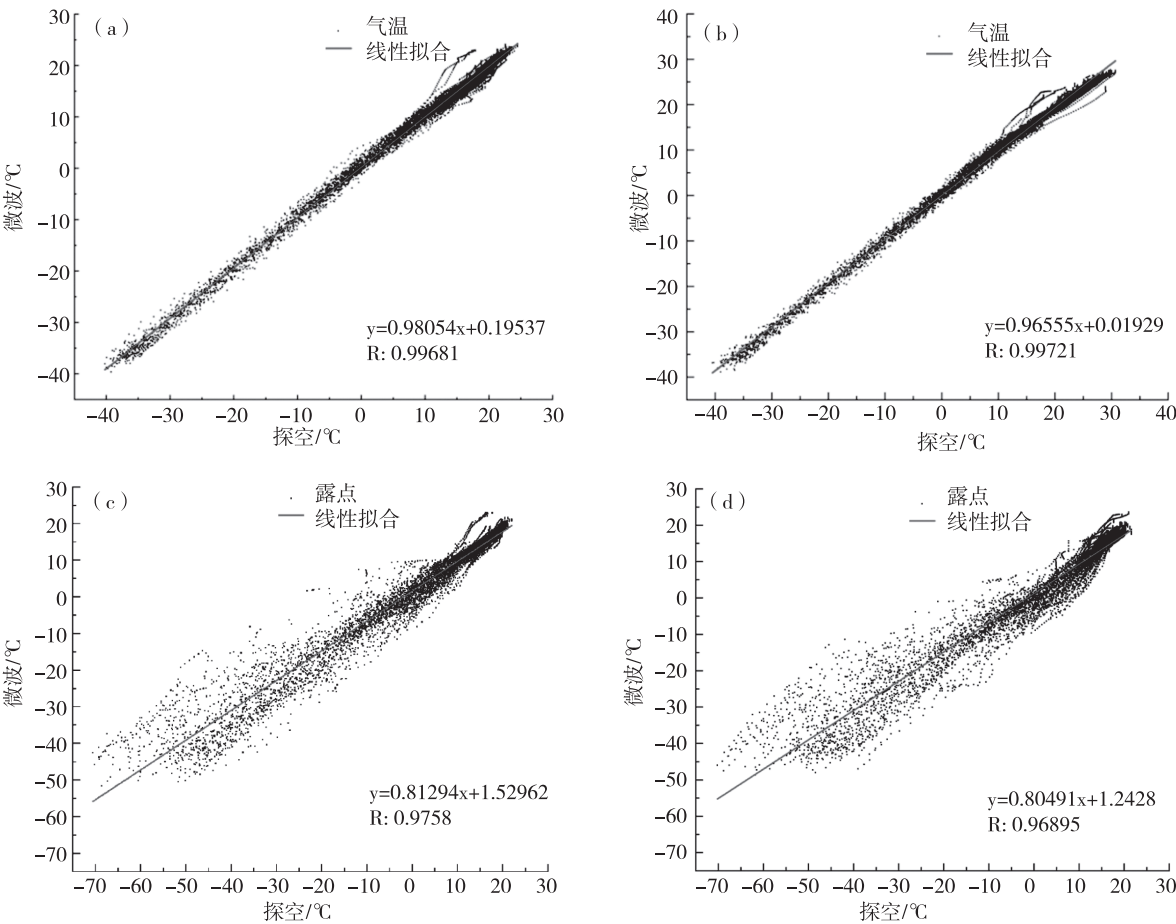


图 1 2022 年 6—8 月 08 时(a,c)、20 时(b,d)贵阳机场微波辐射计探测和贵阳站探空气温(a,b)、露点(c,d)散点图(散点:同时次微波辐射计与探空数据;直线:线性拟合线)

Fig. 1 Scatter plots of air temperature (a, b) and dew point (c, d) measured by microwave radiometer at Guiyang Airport and radiosonde at Guiyang observation station at 08:00 (a, c) and 20:00 (b, d) from June to August 2022 (scatter: simultaneous sub-microwave radiometer and radiosonde data; line: linear fitting line)

3 雷雨个例分析

雷暴伴随的雷电、冰雹、短时强降水等天气严重威胁着飞行安全^[14]。2022 年 6—8 月,贵阳机场共出现 14 次雷雨天气过程,其中 9 次由高空槽或低空切变线等系统引起的大范围雷雨,持续时间较长、强度较强;5 次由午后热力不稳定引起的局地性雷雨,持续时间短、强度弱。根据雷雨的发生机制,选取具有代表性的“0618”过程和“0702”过程,进行对比分析。

3.1 天气过程概况

统计“0618”过程和“0702”过程的机场观测资料,如表 1 所示。“0618”过程持续约 10.5 h,弱雷雨与中雷雨交替出现,累计降水量 27.9 mm,造成 1 个航班备降。“0702”过程间断出现约 1 h,雷雨云团生消较快,以短时弱雷雨天气为主,累计降水量仅 1.0 mm,未对机场运行造成影响。

大气环流对天气的发生发展具有重要影响。“0618”过程 08 时(图 3a)500 hPa 中低纬区有一深厚大槽由高原东侧延伸至华南,呈南北走向,受副