

微波辐射计在重庆江北国际机场一次辐射雾天气中的应用研究

伍见军

中国民用航空西南地区空中交通管理局重庆分局，重庆

收稿日期：2025年11月16日；录用日期：2026年1月13日；发布日期：2026年1月22日

摘 要

利用重庆江北国际机场微波辐射计探测的温湿度数据、常规气象资料和机场逐小时观测资料，对2023年12月9日发生在重庆江北国际机场的一次辐射雾天气过程进行了分析研究。主要结论如下：在辐射雾发生前和消散时，跑道视程比能见度数值更高；微波辐射计探测的温度，能够大致反映出温度在辐射雾过程中的时空变化特征，对大雾的生成时间有一定指导意义；微波辐射计探测相对湿度，能够准确地反映出辐射雾在发生发展过程中湿度的变化特征以及空间上的分布特征；微波辐射计探测的温度和相对湿度在辐射雾发生前期的特征不明显，对辐射雾的预报提前量贡献有限。

关键词

微波辐射计，机场，辐射雾，相对湿度

Research on the Application of Microwave Radiometer in Radiation Fog Weather at Chongqing Jiangbei International Airport

Jianjun Wu

Chongqing Sub-Bureau of Southwest China Regional Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation Administration of China, Chongqing

Received: November 16, 2025; accepted: January 13, 2026; published: January 22, 2026

Abstract

Using the temperature and humidity data detected by the microwave radiometer of Chongqing Jiangbei International Airport, conventional meteorological data and hourly airport observation

data, an analysis and study was conducted on a radiation fog weather process that occurred at Chongqing Jiangbei International Airport on December 9, 2023. The main conclusions are as follows: before the radiation fog occurs and when it dissipates, the RVR is higher than the visibility value; the temperature detected by the microwave radiometer can roughly reflect the spatiotemporal change characteristics of the temperature during the radiation fog process, and has certain guiding significance for the occurrence and dissipation time of heavy fog; the microwave radiometer Detecting relative humidity can accurately reflect the changing characteristics and spatial distribution characteristics of humidity during the occurrence and development of radiation fog. The characteristics of temperature and relative humidity detected by microwave radiometers are not obvious in the early stages of radiation fog, and their contribution to the advance prediction of radiation fog is limited.

Keywords

Microwave Radiometer, Airport, Radiation Fog, Relative Humidity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济社会的发展, 冬季低能见度天气频发, 特别是辐射雾天气因其影响时间长、引起的能见度低, 严重影响了交通、航运、工农业和人体健康。中国在重庆、南京、贵州等多地进行了大量雾的研究[1]-[3], 对雾的边界层特征、温湿结构、宏微观物理特征等进行了广泛深入的分析, 取得了许多有意义的成果。目前对雾的研究主要基于天气学方法、微物理学方法, 而对雾过程垂直要素的研究较少。微波辐射计探测作为常规探空观测的有效补充, 具有时间分辨率高、精度高和全天候工作能力等优点。邓长菊[4]、韩钰靖[5]、李娜[6]等均对微波辐射计在雾观测中的应用及其质量评估进行了研究, 发现相对湿度、液水含量的垂直廓线变化与降水和雾的生消过程有较好对应, 验证了其在雾的观测和预报中的可行性。马学款[7]等分析了重庆市区雾的特点、天气特征及温、湿等气象要素垂直分布特征。傅文伶[8]利用微波辐射计资料对成都双流机场冬季三次重要天气过程进行了分析, 发现微波辐射计资料能够反映大雾、霜、积冰三种天气条件下的大气垂直特征及变化趋势, 温度数据以及液态水路径 LWP 对大雾的生消具有很强的监测和预警作用。

本文利用重庆江北国际机场微波辐射计探测的温湿度数据、常规气象资料和机场逐小时观测资料, 对 2023 年 12 月 9 日发生在重庆江北国际机场的一次辐射雾天气过程进行了分析研究, 初步评估微波辐射计的湿度和相对湿度资料在大雾监测和天气复盘中的应用, 为雾的生消机制研究和临近预报预警预报提供参考。

2. 研究资料

重庆江北国际机场自 2021 年 7 月引入 Air-HTG4 地基多通道微波辐射计并投入使用, 这是一种利用在典型的微波 V 波段大气氧气窗口(51~59 GHz)和微波 K 波段大气水汽窗口(22~32 GHz)内选择合适的频率, 通过对大气微波辐射的遥感测量, 反演获得地面到高空 10 km 大气温度、湿度廓线、大气柱积分水汽量、大气柱积分云水含水量等信息的新型探测设备。该型号地基微波辐射计全天候连续工作, 探测高度为观测平面至 10 km, 垂直高度固定分层为 93 层。微波辐射计通过获取的大气亮温数据, 利用神经网络

络算法，可以反演得到大气温度、相对湿度、水汽密度、液水含量廓线等大气参数。为了保障设备的稳定运行，设备管理人员每年 2~3 月对微波辐射计进行一次液氮标定，并对天线罩、空滤、接收系统进行清洁维护，每天监测微波辐射计运行状态。

本文使用的研究资料包括 2023 年 12 月 8~9 日的微波辐射计数据、同期常规气象资料，以及重庆江北国际机场逐时观测资料，其中天气现象、能见度、云况资料为人工观测，温湿度数据为自动观测系统仪器测得。微波辐射计资料已经与同址探空资料进行了对比订正，温度偏差在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内，相对湿度在 $\pm 5\%$ 以内。

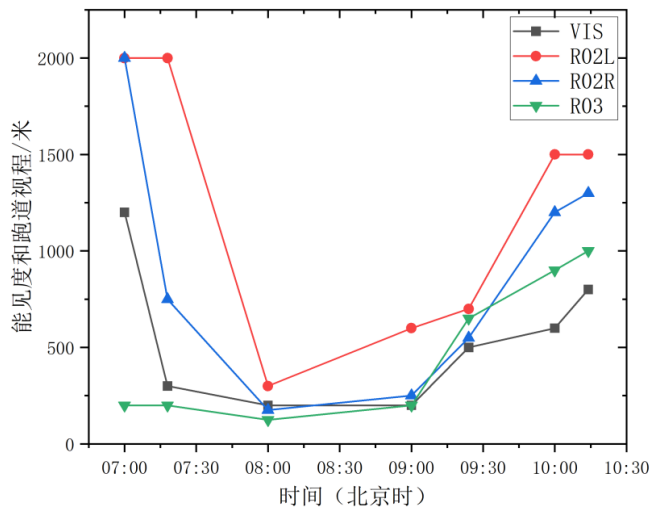
3. 天气过程分析

3.1. 天气过程概述

2023 年 12 月 9 日晨，重庆中西部地区出现大面积辐射雾天气，浓雾区主要分布在长江以北沿线。在 07:18~10:14(北京时，下同)，重庆江北国际机场出现辐射大雾天气，最低能见度低值 200 米，三条跑道的跑道视程(RVR)最低达到 125 米。由于此时正值航班的早高峰时期，所以对当日航班运行影响较大。

从图 1 来看，能见度从 07:00 开始逐渐下降，07:18 下降至 1000 米以下，08:00~09:00，维持在最低值 200 米，09:00 之后缓慢抬升。从 RVR 来看，03 号跑道的 RVR 在 07:00 之前率先低至 550 米(550 米为航班一类运行标准)以下，此时能见度还在 1000 米以上，02L 和 02R 跑道的 RVR 都在 550 米以上，对航班运行影响较小。07:00 之后，02L 和 02R 跑道的 RVR 快速下降，在 08:00 达到最低值，在 175~300 米之间，此时三条跑道的 RVR 都在一类运行标准以下，严重影响到航班运行。到 09:00，能见度没有变化，02L 跑道的 RVR 缓慢抬升，率先抬升至 550 米以上。09:00 之后，能见度和三条跑道的 RVR 都在缓慢抬升，到 09:24，三条跑道的 RVR 全部抬升至 550 米以上，能见度还在 500 米，直到 10:14，能见度才抬升至 800 米。

总体来看，在出现大雾之前，能见度率先降低，跑道视程下降有所滞后，即跑道视程通常高于同期能见度值。到了大雾期间，能见度最低值和 RVR 最低值基本相当。大雾消散期，跑道视程率先上升，能见度有所滞后，即跑道视程通常比同期能见度先转好。



VIS: 能见度; R02L、R02R、R03: 三条跑道的跑道视程。

Figure 1. Changes in visibility and runway visual range during heavy fog at Chongqing Jiangbei International Airport

图 1. 重庆江北国际机场大雾期间能见度和跑道视程变化情况

3.2. 环流形势分析

12月8日20时,500 hPa 重庆地区处在偏西气流控制中,四川盆地中部还存在一浅槽,槽后是一致的西北气流。700 hPa 重庆地区还处在东北-西南走向的切变线控制中,但切变后面是一个小尺度的干燥的反气旋环流区。850 hPa 重庆地区的风场形势较弱(图略)。此时重庆江北国际机场实况为阴天,地面温度 13.6℃,露点温度为 10.4℃,相对湿度为 81%。从地面到 300 hPa,相对湿度都大于 80%,此时整层湿度较大。随着低值系统的快速东移,上游地区的西北气流和反气旋环流系统逐渐靠近机场,机场也即将迎来多云到晴的天气。由于此时近地面层湿度较大,在满足晴夜微风的情况下,预示着第二天早间出现辐射雾的概率较大。

3.3. 微波辐射计资料应用

从图 2 来看,从 12 月 8 日 23:00 (北京时,下同)开始,此时天空开始裂开,天气转为多云天气,地面温度开始阶梯式下降,每小时大致下降 0.5℃。到 12 月 9 日 07:00,地面温度开始急剧下降,一小时下降 1.5℃,到 9 日 08:00,气温下降至最低值 8.8℃。9 日 08:00~10:00,地面温度缓慢回升,10:00 之后,气温回升速率加快。

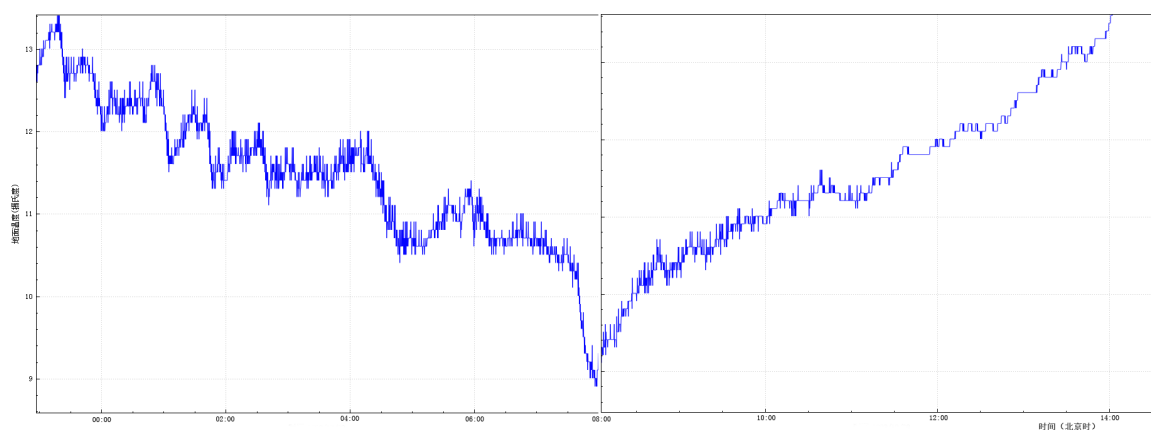


Figure 2. Ground temperature changes detected by microwave radiometer on December 9

图 2. 微波辐射计探测的 12 月 9 日地面温度变化

由于一般辐射雾厚度仅有数百米,主要是由于近地面层的温湿层结变化引起,所以此处重点分析 3000 米以下中低空的温度变化,如图 3 所示。从图 3 来看,从 12 月 8 日 22:00 开始,1000~3000 米高度的温度快速下降,近地面温度变化不明显。说明此时,700 hPa 的切变系统在快速过境,转其后部的反气旋环流,与 8 日 23:00 天空开始裂开对应。12 月 9 日 04:00 后,近地面温度缓慢下降,10:00 后,近地面温度缓慢抬升,1000~3000 米高度的温度也逐渐抬升。

微波辐射计探测的地面温度和中低空温度,能够大致反映出温度在辐射雾过程中的时空变化特征,地面温度急剧下降的开始时间与辐射雾的出现时间大致可以对应,但是对大雾的预报来说,也基本没有提前量。

从微波辐射计探测的地面相对湿度来看,如图 4 所示,从 12 月 9 日 00:00 开始,地面相对湿度逐渐上升至 90%以上。00:00 之后,相对湿度波动式上升,到 05:00,上升至 95%以上。到 07:30 之后,相对湿度逐渐上升至 98%左右。到 09:30 之后,相对湿度缓慢下降至 95%左右。07:30~09:00 期间,自动气象观测系统测得的相对湿度为 100%,结合其他相关研究[9][10],微波辐射计探测的地面相对湿度

总体还是偏低的。

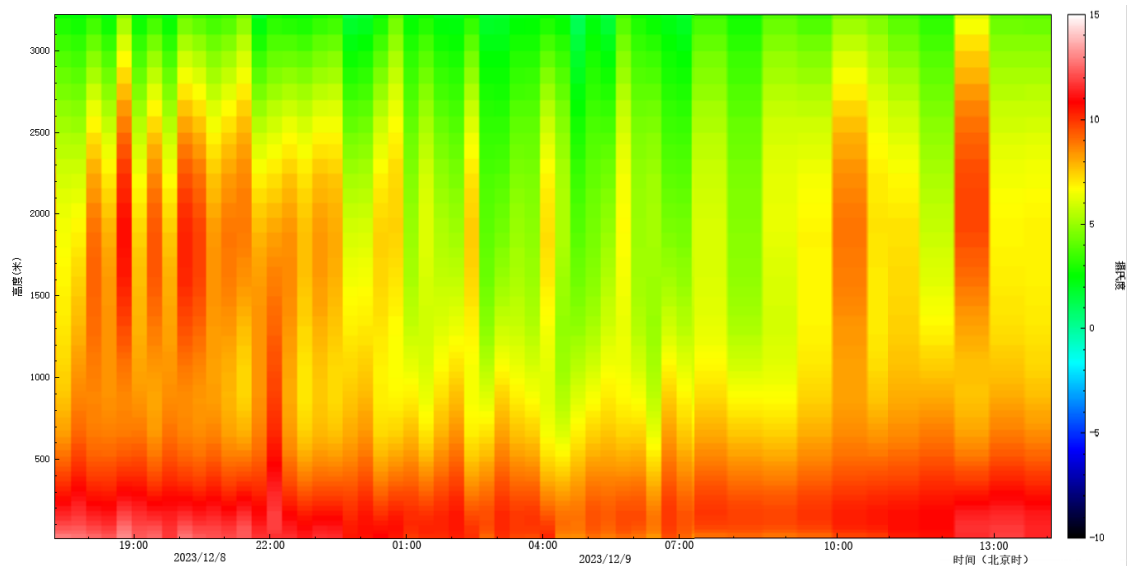


Figure 3. Mid- and low-altitude temperature changes detected by microwave radiometer on December 8~9
图 3. 微波辐射计探测的 12 月 8~9 日中低空温度变化

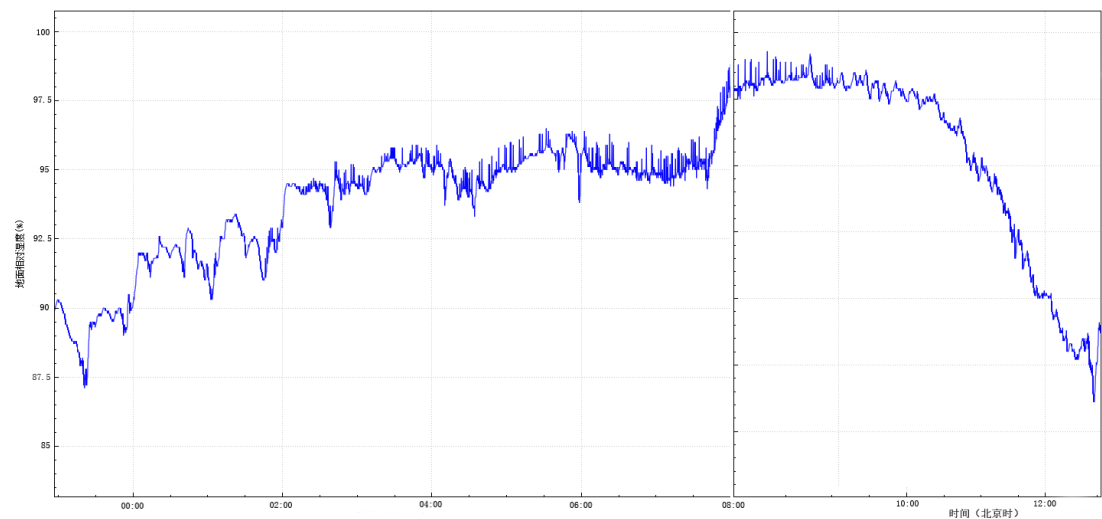


Figure 4. Changes in ground relative humidity detected by microwave radiometer on December 9
图 4. 微波辐射计探测的 12 月 9 日地面相对湿度变化

从图 5 来看，在 12 月 9 日 07:00~09:30，从近地面到 1000 米高度的相对湿度都接近 100%，与辐射雾的开始时间和结束时间都对应较好。从高度上看，辐射雾高度达到了 1000 米左右，最浓的辐射雾(即相对湿度大值区)分布在 500 米高度附近。09:30 之后，相对湿度大值区从地面向高空逐渐减小，辐射雾逐渐消散。

微波辐射计探测的地面相对湿度和中低空相对湿度，能够准确地反映出辐射雾在发生发展过程中湿度的变化特征，能够清晰地展现出辐射雾在空间上的分布特征。结合地面温度和中低空温度的变化，也能够较为准确地反映出大雾的开始和结束时间。

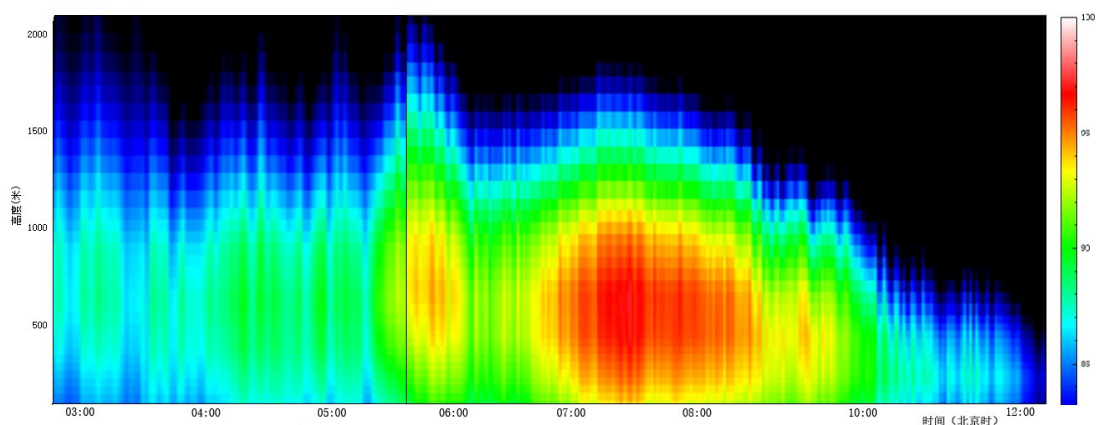


Figure 5. Changes in mid- and low-altitude relative humidity detected by microwave radiometer on December 9
图 5. 微波辐射计探测的 12 月 9 日中低空相对湿度变化

4. 结论

利用重庆江北国际机场微波辐射计探测的温湿度数据、常规气象资料和机场逐小时观测资料,对 2023 年 12 月 9 日发生在重庆江北国际机场的一次辐射雾天气过程进行了分析研究。结论如下:

- 1) 在辐射雾发生前和消散时,跑道视程比能见度数值更高。在辐射雾期间,特别是能见度较低时,二者数值相当。
- 2) 微波辐射计探测的地面温度和中低空温度,能够大致反映出温度在辐射雾过程中的时空变化特征,地面温度急剧下降的开始时间与辐射雾的出现时间大致可以对应。
- 3) 微波辐射计探测的地面相对湿度和中低空相对湿度,能够准确地反映出辐射雾在发生发展过程中湿度的变化特征,能够清晰地展现出辐射雾在空间上的分布特征。

微波辐射计探测的温度和相对湿度,在辐射雾发生前期表现出来的特征不明显,难以据此提前数小时对辐射雾做出有效预报。

参考文献

- [1] 费冬冬,牛生杰,杨军,等. 长江中上游冬季山地雾边界层特征及生消过程分析[J]. 大气科学学报, 2016, 39(2): 221-231.
- [2] 谢清霞,唐延婧,庞庆兵,等. 贵州辐射雾的时空变化特征及其气象要素分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(2): 119-125.
- [3] 陆春松,牛生杰,岳平,等. 南京冬季雾多发期边界层结构观测分析[J]. 大气科学学报, 2011, 34(1): 58-65.
- [4] 邓长菊,尹晓惠,甘璐. 北京雾与霾天气大气液态水含量和相对湿度层结特征分析[J]. 气候与环境研究, 2014, 19(2): 193-199.
- [5] 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.
- [6] 李娜,张武,陈艳,等. 基于微波辐射计的大气温湿廓线遥感探测[J]. 兰州大学学报, 2015, 51(1): 61-71.
- [7] 马学款,蔡芎宁,杨贵名,等. 重庆市区雾的天气特征分析及预报方法研究[J]. 气候与环境研究, 2007(6): 795-803.
- [8] 傅文伶. 基于 HTG-4 型微波辐射计的双流机场冬季天气过程分析[J]. 高原山地气象研究, 2022, 42(S1): 93-98.
- [9] 王棋,王周祥,于翠红,等. MWP967KV 型地基微波辐射计与探空观测数据对比分析[J]. 现代农业科技, 2017(7): 211-213.
- [10] 谢慧玲,朱克云,张杰,等. 地基微波辐射计资料质量定量分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2018, 40(1): 94-103.