

文章编号: 2096-1618(2025)03-0403-05

基于葵花卫星图像的成都天府机场 冬季两次强浓雾对比分析

赵润华, 袁振, 陈志航

(中国民用航空西南地区空中交通管理局气象中心, 四川 成都 610202)

摘要:为分析成都天府机场强浓雾过程的天气特征,利用日本葵花气象卫星 8/9 号的多通道红外亮温和实况观测数据,采用夜间微物理 RGB 合成方案,对 2022 年 1 月 9 日和 2023 年 12 月 30–31 日两次天府机场强浓雾天气过程进行对比分析。结果表明:夜间 RGB 合成图上能够清晰区分两次强浓雾过程的生成和发展机制。2022 年 1 月 9 日的强浓雾天气,图像上呈现出与地形一致的点状、网状的淡黄色分布,雾区原地生成和发展,属于辐射雾天气;2023 年 12 月 30–31 日的强浓雾在图像上呈现出均匀分布的黄色区域,该区域开始时间早、覆盖面积大,具有明显的东北向西南移动扩散的特征,这次强浓雾天气是由低云/雾的平流作用导致的。

关键词:强浓雾;天府机场;平流作用;葵花卫星;RGB 合成图像

中图分类号:P426.4

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2025.03.023

0 引言

雾是一种悬浮于近地层大气,由大量微小水滴或冰晶组成的凝结物,能使水平能见度小于 1 km 的天气现象。中国气象局^[1]依据能见度数值(VIS,下同)的大小将雾分为大雾($0.5\text{ km} \leq \text{VIS} < 1.0\text{ km}$)、浓雾($0.2\text{ km} \leq \text{VIS} < 0.5\text{ km}$)、强浓雾($0.05\text{ km} \leq \text{VIS} < 0.2\text{ km}$)和特强浓雾($\text{VIS} < 0.05\text{ km}$)。由于雾的生成、发展和消散均发生于近地面层,对公路、水运、民航等交通运输业的安全和效率产生重要影响,常导致高速公路关闭、渡轮停航、航班延误返航备降等事件。

雾的形成和发展不仅与热力、动力作用相关,也受到气溶胶浓度、辐射传输作用等复杂的微物理过程影响,具有快速生成、爆发性发展等特征,同时也存在显著的局地性特点^[2–4],雾的准确识别和连续监测是航空气象中低能见度预警预报的基础。20 世纪 70 年代,学者利用气象卫星覆盖范围广、时空分辨率高的特点,发展一系列大雾识别方法,对雾区开展识别和监测研究:Eyre 和 Lee 等^[5–6]利用 NOAA 和 GOES-8/9 气象卫星的高分辨率扫描辐射计 AVHRR 的近红外和红外通道数据,进行插值计算识别雾。Yoo 等^[7]利用 MT-SAT-1R 和 MODIS 的可见光($0.68\text{ }\mu\text{m}$)和红外($3.75\text{ }\mu\text{m}$ 、 $10.8\text{ }\mu\text{m}$)通道综合进行雾的识别,并利用地面气象站数据进行检验,取得较好效果。Gultepe 等^[8]利用 GOES 卫星红外通道的亮温差及模式气温等进行夜间雾的识别,准确率明显提高。Bendix^[9]用两

种不同算法对 AVHRR 数据反演白天和夜晚大雾区的地面能见度,并开发了雾判识流程。中国的卫星遥感监测雾始于 20 世纪 90 年代,居为民等^[10]利用卫星料监测沪宁高速公路的大雾天气。李亚春等^[11]利用 GMS-5 气象卫星探讨白天雾和低层云的遥感监测,提出了识别方法。李军等^[12]利用 MTSAT-1R 卫星资料,基于主成分分析方法改进的遥感方法对华北平原秋冬季节两次大雾天气过程中的大雾监测阈值进行分析,选取合适的监测阈值。吴晓京等^[13–14]基于 AVHRR 数据,分析黄渤海海雾的频率、分布比例等信息,得到海雾的季节变化特征;并利用风云三号微波观测资料进行海雾同化研究,得到有意义的结果。张春桂等^[15]利用 FY-2E 的可见光、红外等多通道资料,采用归一化插值指标实现对夜间海雾的识别监测,并利用地面自动站进行验证,准确度较高。邓玉娇等^[16]利用 FY-2E 数据建立了白天海雾监测算法,通过 VIS、IR1、IR4 通道构建雾判识指数,得到海雾监测产品。王宏斌等^[17]利用 $3.9\text{ }\mu\text{m}$ 与 $11.2\text{ }\mu\text{m}$ 通道亮温差法和 $3.9\text{ }\mu\text{m}$ 伪比辐射法开展中国地区夜间不同等级雾的识别,找出不同等级雾的参数最优阈值。王清平等^[18]利用 FY-4A 多通道图像及卫星云产品对新疆乌鲁木齐机场两次持续性浓雾天气进行监测,识别雾的范围、雾顶云结构等特征。

成都天府国际机场(简称天府机场)位于四川盆地西侧、成都东南约 50 km 的简阳市,为 4F 级国际机场,于 2021 年 6 月 27 日通航。该区域属于中国大雾发生频次最高的地区之一,各等级雾均在后半夜到早

上最为频发,大雾和浓雾的持续时间较短,一般为 1~3 h;成雾时间主要在夜间到日出前,消雾时间主要在日出后^[19-20]。

为研究天府机场强浓雾天气在卫星云图的显示特征,为天府机场强浓雾天气的监测和预警提供思路和方法,本研究利用日本葵花气象卫星 8/9 号多通道红外亮温数据,采取夜间微物理 RGB 图像合成方案,分析 2022 年 1 月 9 日和 2023 年 12 月 30-31 日两次强浓雾天气的卫星图像,以机场的人工观测和自动观测数据进行验证,探讨不同形成机制下的强浓雾天气在 RGB 合成图上的显示特征。

1 资料和方法

1.1 数据

使用日本静止气象卫星葵花 8/9 号(Himawari 8/9)所搭载的多光谱成像仪(advanced himawari imagers,AHI)提供的多通道红外亮温数据^[21]。AHI 共有 16 个通道,包括 3 个可见光通道、3 个近红外通道和 10 个红外通道,中心波长 0.46~13.3 μm,空间分辨率为 0.5~2.0 km,每 10min 可获得 1 次圆盘图数据。该数据可从日本气象厅官方网站([ftp://ftp.ptree.jaxa.jp/](http://ftp.ptree.jaxa.jp/))获得,各通道的具体参数如表 1 所示。

地面实况数据使用天府机场每 0.5 h 一次的人工观测实况,及天府机场自动观测数据,用于验证卫星识别的雾区范围、强度和发生时段。

1.2 RGB 合成图显示方法

本文利用红色、绿色和蓝色三原色分别赋值不同通道的卫星探测数据,得到白天可见光真彩色和夜间微物理 RGB 合成图(表 2)。

表 2 夜间微物理和白天可见光真彩色 RGB 合成方案

	颜色	AHI 通道	中心波长/μm	识别
夜间微物理 RGB	Red	B15~B13	12.4~10.4	薄云-厚云
	Green	B13~B07	10.4~3.9	薄冰晶云-厚的雾/水滴云
	Blue	B13	10.4	冷云/地面-暖云/地面
真彩色 RGB	Red	B03	0.64	薄云-厚云
	Green	B02	0.51	雪、陆地、海冰等
	Blue	B01	0.46	

2 强浓雾天气对比分析

2.1 天气概况

天府机场在冬季常出现开始时间早、持续时间长的强浓雾天气过程,对旅客出行和航班运行造成重大

表 1 葵花气象卫星通道参数

通道	通道号	中心波长/μm	空间分辨率/km	物理性质
可见光	1	0.46	1	植被、气溶胶
	2	0.51	1	植被、气溶胶
	3	0.64	0.5	低云、雾
近红外	4	0.86	1	植被、气溶胶
	5	1.6	2	云相态
	6	2.3	2	粒子大小
红外	7	3.9	2	低云、雾、林火
	8	6.2	2	中、上层湿度
	9	6.9	2	中层湿度
	10	7.3	2	中、上层湿度
	11	8.6	2	云相态
	12	9.6	2	臭氧含量
	13	10.4	2	云图像、云顶信息
	14	11.2	2	云图像、海表面温度
	15	12.4	2	云图像、海表面温度
	16	13.3	2	云顶高

可见光真彩色合成图利用葵花卫星 1、2 和 3 三个波长为 0.46、0.51、0.64 μm 的可见光通道合成,0.64 μm 通道指定为红色分量,0.51 μm 指定为绿色分量,0.46 μm 指定为蓝色分量,得到接近于肉眼观测的真彩色云图,用于白天识别云的类型和厚度等特征。

夜间微物理 RGB 合成图利用葵花卫星 7、13 和 15 三个通道的波长分别为 3.9、10.4、12.4 μm 的红外亮温和亮温差,分别赋值为三原色的颜色范围。其中,BTD_{12.4~10.4 μm}表征云的光学厚度,用来区别云的厚薄程度,指定为红色分量;BTD_{10.4~3.9 μm}能够区别云的相态,指定为绿色分量;BT_{10.4 μm}表征地面和云顶温度信息,指定为蓝色分量。综合显示得到彩色 RGB 合成图像,可以通过颜色差异来识别夜间云和雾的范围、类型、高度等特征,图像的连续变化来分析和监测雾的生成和发展。

影响。2022 年 1 月 9 日 01:40-09:15 的强浓雾天气,是天府机场投运后第一次持续时间超过 6 h 的低能见度天气过程,持续时间达 7 h 35 min,能见度最低为 150 m。该过程导致 12 架航班调时,20 架航班延误。2023 年 12 月 30-31 日的强浓雾是天府机场有记录开始最早、持续时间最长的低能见度天气,该天气从 30

日23:34开始,直到31日11:00结束,过程持续了11 h 26 min,能见度最低为150 m,先后影响航班运行的进港晚高峰和出港早高峰两个重要时段,共导致36架航班调时,26架航班备降,76架航班延误。

这两次强浓雾天气的起雾阶段,能见度均存在快速变化的特征,数值在1 h之内快速波动下降至400 m以下,降幅超过1000 m,最低值达150 m;凌晨时段,两次过程的能见度能够长时间维持在150~200 m;早晨日出后1~2 h,能见度才会快速波动上升转好(图1)。

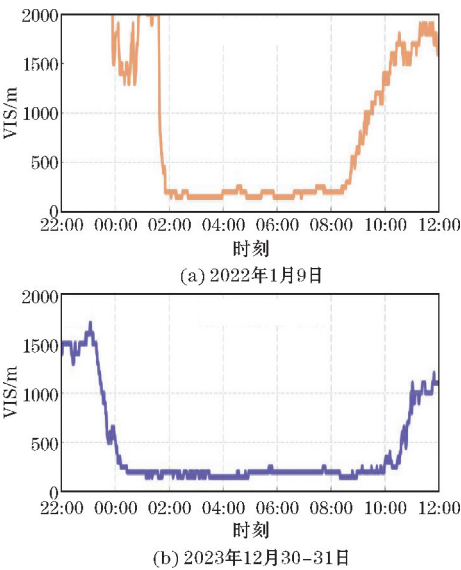


图1 天府机场两次强浓雾过程的能见度时间序列

2.2 卫星云图分析

2.2.1 2022年1月9日强浓雾天气过程

从卫星夜间微物理 RGB 合成图分析,2022 年 1 月 9 日 01:40-09:15 的强浓雾天气是在本地生成和发展。00:00起雾前,天府机场南侧有小面积不规则的快速东移云团外,其他方位20 km范围内均显示为晴空区域(图 2a);02:00图像上能够清晰地监测到四川盆地多个区域开始有明显的连续或不连续的淡黄色覆盖,具有明显的盆地丘陵地形特征,呈现点状和网状分布。天府机场周围也存在淡黄色区域,此时天府机场人工观测到有雾的生成,能见度快速下降到400 m(图 2b);随着晴空辐射冷却的加强,雾滴浓度逐渐增加,能见度进一步降低,图像上的颜色也逐渐变深,由很浅的淡黄色变为暗黄色,且面积逐渐扩大,形成不规则间隙的片状区域。此时天府机场的观测实况为团雾连接成片,完全覆盖机场区域(图 2c)。随着雾浓度的持续增加,黄色雾区分布逐渐变得均匀,07:00雾区与天府机场北部向南移动的云团融合在一起,一直延伸到西南部的中层云边缘,机场观测到雾的厚度明显增加(图 2d)。卫星 RGB 合成图像上淡黄色区域的局地性演变表明该过程是一次晴空辐射雾天气。

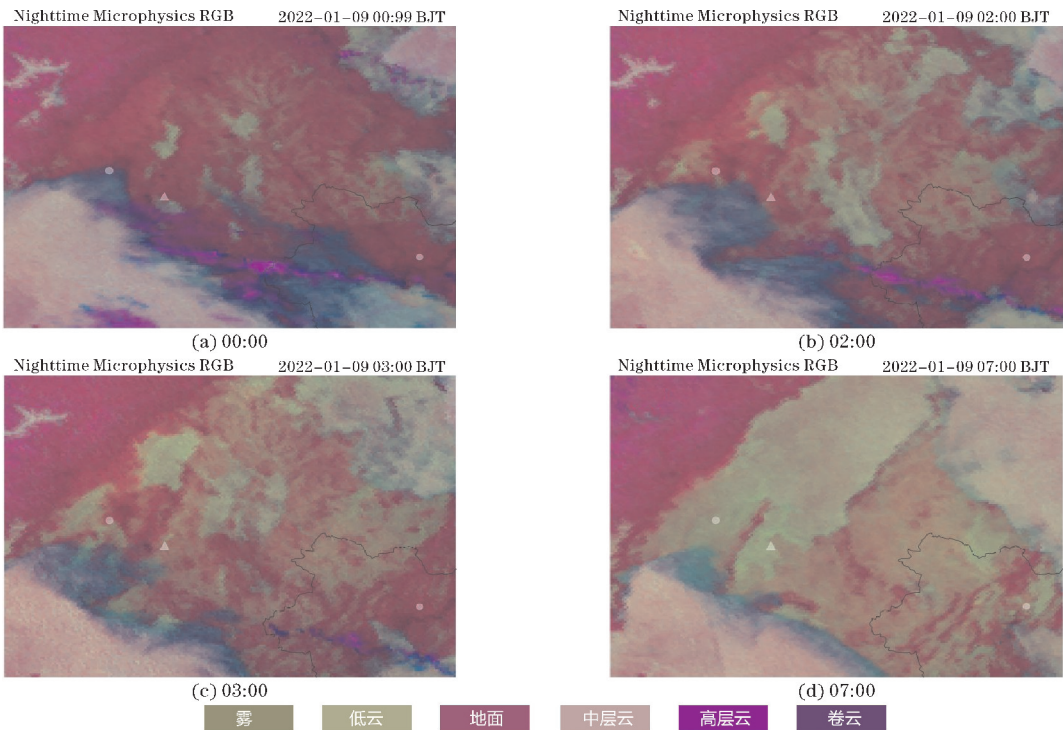


图2 2022年1月9日夜间 RGB 合成图(小三角为成都天府机场,小圆点分别为成都双流机场、重庆江北机场)

2.2.2 2023年12月30-31日强浓雾天气过程

2023年12月30日23:34至31日11:00的强浓

雾天气,开始时间早,持续时间长,对运行影响大。
12月30日白天开始,天府机场北部和东部存在

大面积的偏西北—东南向低层云团,向东南延伸到重庆西部,稳定少动,云高在 400 ~ 1000 m。该云团在真彩色可见光图上呈现为均匀亮白色,边缘清晰且边界平滑。这与盆地西部山区的云团存在明显差异(图 3a)。21:00在晴空辐射冷却作用下,天府机场东北部的低云团存在下沉接地的趋势,并且在 2 ~ 3 m/s 的近地面东北风作用下,缓慢向西南方向移动,夜间 RGB 合成图像上显示为均匀的黄色区域,这与盆地西部山区东北—西南向黄白色的中层云系有着明显区别(图 3b);22:00低云团的边缘区域开始出现淡黄色的辐射雾,并逐渐与接地的低云融合在一起,图像中表现为淡黄色区域明显的扩大,部分区域的黄色逐渐变浅。23:00前后,低云和雾混合以后继续向西南方向扩散,

开始影响天府机场跑道。31 日 01:00,随着辐射冷却的加强,淡黄色的雾区在平流作用下逐渐扩大,不仅完全覆盖天府机场,也覆盖了盆地中东部大部分地区,此时天府机场的能见度也降至最低 150 m(图 3c、d)。雾区与西部的中层云团之间可见带状的净空区,这是由于天府机场西侧东北—西南向的海拔高度 600 ~ 1000 m 的龙泉山阻挡作用,使山的两侧可以明显区分云区和雾区(图 3e)。05:00淡黄色的雾区扩散达到最大,覆盖四川盆地大部分区域。此时图像中雾区和中层云可以通过颜色和纹理进行区分(图 3f)。

这次强浓雾天气过程不同于 2022 年 1 月 9 日的强浓雾过程,具有明显由西北向东南平流扩散特征,并与局地生成的辐射雾融合,使雾区覆盖区域不断扩大。

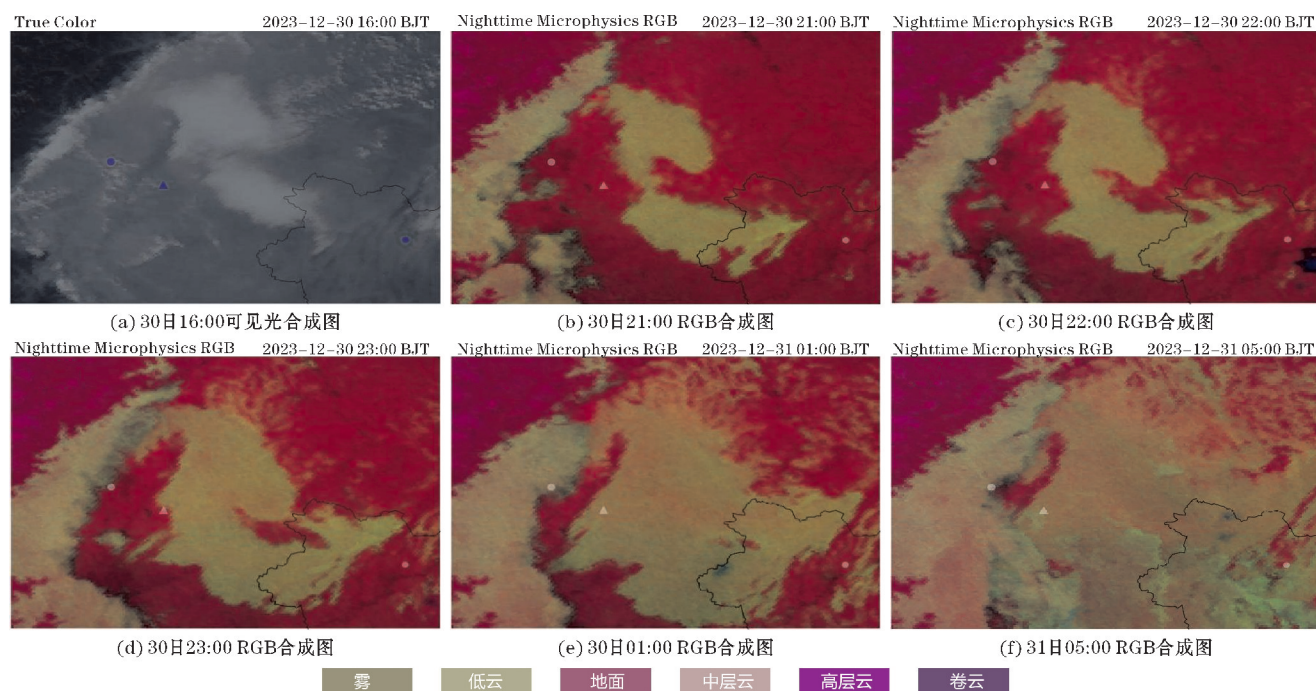


图3 2023年12月30–31日可见光和RGB合成图(小三角为成都天府机场,小圆点分别为成都双流机场、重庆江北机场)

综上所述,通过葵花卫星 RGB 合成图像能够对四川盆地不同类型的强浓雾天气进行监测和预警,特别是本地生成的辐射雾和平流作用导致的强浓雾。利用机场人工和自动观测数据可以区别雾和低云,业务中能够帮助预报员提高对天府机场强浓雾天气的识别和预警能力。

3 结论

利用葵花气象卫星可见光和红外亮温数据,采用可见光真彩色和夜间微物理 RGB 合成方案,对天府机场两次强浓雾天气的云图特征进行对比分析,结论如下:

(1)2022 年 1 月 9 日的强浓雾天气生成于天府机场区域,随着辐射冷却的加强而浓度增加,属于晴空辐

射雾;2023 年 12 月 30–31 日的强浓雾天气具有平流移动的特征,是由于天府机场东北部的低云团,在夜间下沉接地并向西南方向扩散,与局地辐射雾融合,平流影响天府机场,属于由低云/雾的平流作用导致的浓雾。

(2)夜间微物理 RGB 合成图可通过亮度和颜色的差异区别不同高度的云区和地面的雾区,雾区一般呈现为淡黄色,中层云系为偏白色。辐射雾生成阶段,RGB 合成图显示区域与盆地的丘陵地形比较一致,呈现出点状和网状分布;夜间随着辐射冷却作用的加强,淡黄色区域将逐渐加深连接成片。

(3)低云/雾的平流作用导致的浓雾,需要关注机场周边低云的分布情况和夜间移动趋势,图像上呈现出均匀分布的黄色区域成片移动;夜间会与周围的辐射雾融合扩散,雾区面积进一步增加。

参考文献:

- [1] 中国气象局. GB/T 27964-2011. 雾的预报等级[S]. 北京:中国标准出版社,2011:16-17.
- [2] 王庆,李季,樊明月,等. 济南一次平流辐射物的微物理结构及演变特征[J]. 气象,2019,45(9):1299-1309.
- [3] 方春刚,郭学良. 华北一次浓度过程爆发性增强的微物理特征[J]. 应用气象学报,2019,30(6):700-709.
- [4] 石春娥,李耀孙,张浩,等. 安徽省不同等级雾和重度霾时空分布特征及地面气象条件比较[J]. 气象学报,2021,79(5):828-840.
- [5] Eyre J R, Brownscombe J L, Allam R J. Detection of fog at night using Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) imagery[J]. Meteorological Magazine, 1984, 113(1346):266-271.
- [6] Lee T F, Turk F J, Richardson K. Stratus and fog products using GOES-8-9 3.9 μm data [J]. Weather Forecasting, 1997, 12(3):664-677.
- [7] Yoo J M, Jeong M J, Hur Y M, et al. Improved fog detection from satellite in the presence of Clouds [J]. Asia-Pacific J Atmos Sci, 2010, 46(1):29-40.
- [8] Gultepe I, Pagowski M, Reid J. A satellite-based fog detection scheme using screen air temperature [J]. Weather Forecasting, 2007, 22(3):444-456.
- [9] Bendix J. A satellite-based climatology of fog and low-level stratus in Germany and adjacent areas [J]. Atmospheric Research, 2002, 64:3-18.
- [10] 居为民,孙涵,张忠义. 卫星遥感资料在沪宁高速公里大雾监测中的初步应用[J]. 遥感信息, 1997, 4(3):25-27.
- [11] 李亚春,孙涵,李湘阁. 用 GMS-5 气象卫星资料遥感监测白天雾的研究[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(3):121-129.
- [12] 李军,韩志军,陈洪滨. 静止气象卫星遥感探测华北平原秋季大雾研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2):186-195.
- [13] 吴晓京,李三妹,廖密. 基于 20 年卫星遥感资料的黄海渤海海雾分布季节特征分析[J]. 海洋学报, 2015, 37(1):63-72.
- [14] 吴晓京,朱江,王曦. 风云三号微波观测资料的海雾同化模拟[J]. 大气科学, 2017, 41(3):421-436.
- [15] 张春桂,林炳青. 基于 FY-2E 卫星数据的福建沿海海雾遥感监测[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1):7-13.
- [16] 邓玉娇,田永杰,王捷纯. 静止气象卫星资料在白天海雾动态监测中的应用[J]. 地理科学, 2016, 36(10):1581-1587.
- [17] 王宏斌,张志薇,刘端阳,等. 基于葵花 8 号新一代静止气象卫星的夜间雾识别[J]. 高原气象, 2018, 37(6):1749-1764.
- [18] 王清平,朱雯娜,王勇,等. FY-4A 资料在乌鲁木齐机场浓雾天气监测中的初步应用[J], 气象, 2021, 47(5):627-637.
- [19] 林建,杨贵名,毛冬艳. 我国大雾的时空分布特征及其发生的环流形势[J]. 气候与环境研究. 2008, 13(2):171-181.
- [20] 李慧晶,余芳,李洪梅,等. 四川不同等级雾的时空分布及其生消时间[J]. 高原山地气象研究, 2021, 41(2):88-93.
- [21] Da C. Preliminary assessment of the advanced Himawari imager (AHI) measurement onboard Himawari-8 geostationary satellite [J]. Remote Sens Lett, 2015, 6(8):637-646.

Analysis of Two Strong Fogs in Winter at Chengdu Tianfu Airport based on Himawari Satellite Images

ZHAO Runhua, YUAN Zhen, CHEN Zhihang

(The Southwest of Air Traffic Management Bureau Meteorological Center, Chengdu 610202, China)

Abstract: To analyze the weather characteristics of the strong fog process at Chengdu Tianfu Airport, using multi-channel infrared brightness temperature from Japan's Himawari Meteorological Satellite 8/9 and real-time observation data from the airport. A nighttime microphysical RGB synthesis scheme was used to compare and discuss the two strong and dense fog processes. The results show that the fog processes had different generation and development mechanisms, and can be clearly distinguished on the nighttime RGB composite image. The strong and dense fog weather on January 9, 2022, presented in the image is consistent with the terrain, with a dotted and network light yellow distribution. The fog area is generated and developed in situ, belonging to radiation fog weather; The strong and dense fog from December 30 to 31, 2023 presents a uniformly distributed yellow area in the image and has obvious characteristics of northeast-to-southwest movement and diffusion. This strong fog weather is caused by the advection of low clouds/fog.

Keywords: strong fog; Tianfu Airport; advection; Himawari satellite; RGB composite image