

湛江吴川机场一次大雾天气过程诊断分析

许怡丽

中国民用航空湛江空中交通管理站, 广东 湛江

收稿日期: 2025年2月25日; 录用日期: 2025年4月7日; 发布日期: 2025年4月14日

摘 要

本文使用湛江吴川机场自动气象观测系统(AWOS)数据、ERA5再分析资料(水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$)对2023年1月13日湛江吴川机场一次大雾天气过程进行诊断分析, 结果表明: 大雾前期连续性小雨轻雾天气使近地面层水汽充沛, 地面湿度基本达到饱和状态。大雾前后较弱的风速条件与低云的覆盖, 使近地面层水汽得以聚集。大雾发生前低层的水汽辐合区与弱上升运动促进了湿层厚度的增加。起雾阶段冷平流的侵入使近地面层水汽凝结达到饱和, 低层偏南风到西南风风向的转变与风速的增大也有利于北部湾的水汽输送至机场上空。大雾期间的下沉运动抑制了低层水汽向上扩散, 大雾中期低层水汽辐合区的出现促进大雾的发展与维持。在层结结构上, 大雾发生前近地面层存在浅薄的弱逆温层, 大雾发生时转为等温层结构, 相比于逆温层较不利于大雾的长时间维持。此次大雾的消散主要是由于日出之后地面温度的升高使近地面层的垂直温度梯度增大, 中低层的水汽逐渐向上扩散, 地面相对湿度降低导致。

关键词

大雾, 水汽辐合, 冷平流, 等温层

Diagnosis and Analysis of a Heavy Fog Weather Process at Zhanjiang Wuchuan Airport

Yili Xu

China Civil Aviation Zhanjiang Air Traffic Management Station, Zhanjiang Guangdong

Received: Feb. 25th, 2025; accepted: Apr. 7th, 2025; published: Apr. 14th, 2025

Abstract

This article uses data from the Zhanjiang Wuchuan Airport Automatic Meteorological Observation System (AWOS) and ERA5 reanalysis data (horizontal resolution of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$) to diagnose and analyze a heavy fog weather process at Zhanjiang Wuchuan Airport on January 13, 2023. The results

show that the continuous light rain and fog weather in the early stage of the heavy fog caused abundant water vapor in the near surface layer, and the ground humidity basically reached saturation. The weak wind speed conditions and low cloud coverage before and after heavy fog allow water vapor to accumulate in the near surface layer. The low-level water vapor convergence zone and weak upward motion before the occurrence of heavy fog promote the increase of wet layer thickness. The intrusion of cold advection during the fogging stage causes the condensation of water vapor in the near surface layer to reach saturation. The change in wind direction from southerly to southwesterly in the lower layer and the increase in wind speed are also conducive to the transport of water vapor from the Beibu Gulf to the airspace above Zhanjiang Airport. The sinking motion during heavy fog suppresses the upward diffusion of low-level water vapor, and the emergence of low-level water vapor convergence zones in the middle of heavy fog promotes the development and maintenance of heavy fog. In terms of layered structure, there is a shallow weak inversion layer near the ground before the occurrence of heavy fog. When heavy fog occurs, it transforms into an isothermal layer structure, which is less conducive to the long-term maintenance of heavy fog compared to the inversion layer. The dissipation of this heavy fog is mainly due to the increase in ground temperature after sunrise, which leads to an increase in the vertical temperature gradient near the ground layer, and the gradual upward diffusion of water vapor in the middle and lower layers, resulting in a decrease in relative humidity on the ground.

Keywords

Dense Fog, Water Vapor Convergence, Cold Advection, Isothermal Layer

Copyright © 2025 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

雾是指近地面空气中水汽凝结或凝华使主导能见度降低到小于 1000 米的现象[1]。在航空交通运输中,大雾易造成航班延误与备降,影响航班正常运行。一些气象工作者[2]-[4]对大雾的层结与动力条件开展深入分析与研究,结果均表明逆温层的存在有利于大雾的形成与维持。章元直、杨超锋[5]利用中尺度数值模式模拟两次大雾天气过程,分析结果显示倒槽发展导致的东南气流辐合与高压底部的偏东气流对水汽输送具有重要作用。张礼春等[6]的研究表明,大雾过程中持续的水汽辐合使平流辐射雾维持较长时间。王桂娟等[7]分析粤东一次持续性大雾天气过程,发现持续的暖湿气流输送与弱冷空气的入侵使华南沿海的雾雨天气维持较长时间。杨杰颜、郭浩鑫[8]对湛江市春季一次持续性大雾过程进行分析发现,暖湿水汽的输入与近地层的弱辐合上升运动有利于湿层厚度的增加。

根据徐峰等[9]的统计分析,湛江春季雾的种类主要为平流雾、锋面雾和辐射雾,形成雷州半岛雾的天气形势有 5 类,分别是低压前型、高压入海型、冷锋前型、静止锋前型、均压场或鞍形场型。此前对湛江机场大雾的研究主要基于旧机场的数据和分析[10]-[12],2022 年 3 月湛江机场迁建至吴川后,由于地理位置、局地地形和下垫面条件的改变,大雾的形成原因与发展机制与旧机场相比存在明显差异。因此,本文使用湛江吴川机场自动气象观测系统(AWOS)数据、ERA5 再分析资料(水平分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$)对 2023 年 1 月 13 日湛江吴川机场(以下简称湛江机场)一次大雾天气过程进行分析,从天气形势、水汽条件、冷却机制、层结与动力条件进行分析,研究本次大雾的形成原因与维持机制,为今后机场大雾的预报预警提供依据与参考。

2. 天气实况

2023年1月8日~12日湛江机场受低层东南气流辐合与弱冷空气影响,连续5天出现小雨轻雾低云天气。1月12日16:00~23:00湛江机场小雨轻雾天气期间,主导能见度3000~6000米,累积降水量9.3 mm。1月13日01:00~03:00再次出现弱降水,累积降水量1.1 mm。13日04:00与05:00湛江机场主导能见度为3000米,06:00降至1200米,06:15~09:16下降至1000米以下,其中06:23~08:52主导能见度在600米以下,期间最低能见度为300米。

跑道视程(Runway Visual Range,以下简称RVR)指在跑道中心线上,飞行员能够看清跑道标志或跑道边灯或跑道中线灯的距离[13],湛江机场跑道两端盲降进近落地最低RVR标准为550米。由图1可知,跑道北端RVR的变化曲线在大雾前期与大雾后期有短时浮动,大雾期间较为平滑;跑道南端RVR在大雾前期中期有小幅波动,后期波动较大。跑道北端RVR<550米的时间段为06:20~08:20,最低值出现07:50;跑道南端RVR<550米的时间段为06:30~08:00,最低值出现在07:20。总体来看,跑道北端RVR值比南端RVR偏低,在550米以下的持续时间较久。

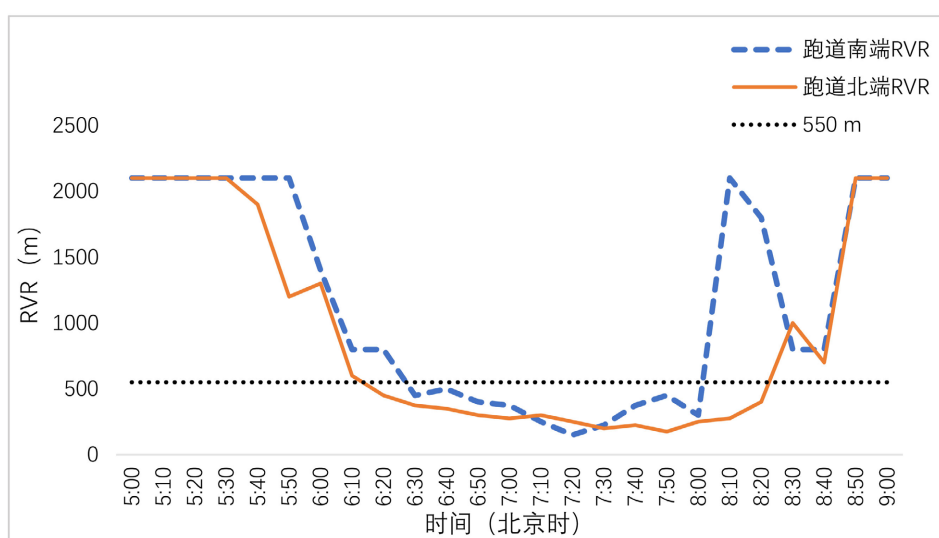


Figure 1. Variation curve of RVR at the north and south ends of Zhanjiang airport runway from 05:00 to 09:00 on January 13, 2023

图 1. 2023 年 1 月 13 日 05:00~09:00 湛江机场跑道南北端 RVR 的变化曲线图

3. 环流形势特征

分析 2023 年 1 月 12 日 20:00、1 月 13 日 08:00 天气图(图略)可知,湛江机场 500 hPa 由高空槽前西南气流转为南支槽过境。850 hPa 的西南低压向东南方向移动,机场上空的西南风场有所增强,出现 12 m/s 的西南急流区,雷州半岛上空温度线与等高线相交呈 90 度,说明暖平流输送明显。在西南风场的引导下,北部湾的暖湿气流源源不断地输送至雷州半岛地区,为大雾的形成提供了充足的水汽条件。地面图上西南低压由云南省东北部移至贵州西部,太平洋上有一高压中心位于日本岛南部,湛江地区为均压场形势。

4. 物理机制分析

4.1. 水汽条件

4.1.1. 湿度条件

图 2 显示了湛江机场地面相对湿度随时间变化特征。从图中可知 12 日 16:00 小雨轻雾天气出现后,

地面相对湿度上升至 98%，13 日 05:00 地面相对湿度上升至 99%，可见大雾前期受稳定性降水影响，地面相对湿度接近饱和状态。从 1000~700 hPa 相对湿度与风场时间剖面图(图 3(a))可以看出，95%以上的相对湿度区主要集中在 800 hPa 以下的低层，03:00 下降至 950 hPa 以下，06:00 回升至 850 hPa 后又逐渐下降。13 日 00:00~02:00、05:00~07:00 近地面层出现明显的水汽饱和区，说明大雾前期的降水使近地面水汽充沛，起雾前后近地面层相对湿度有所增加达到过饱和状态。

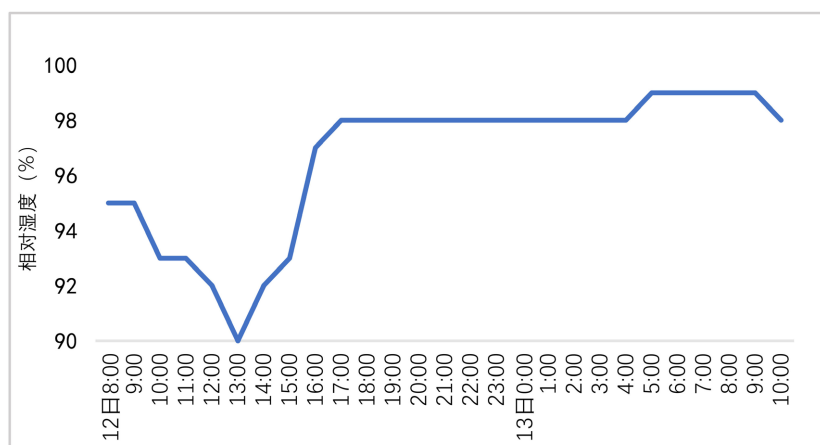


Figure 2. Characteristics of ground relative humidity changes over time at Zhanjiang airport from 08:00 on January 12, 2023 to 10:00 on January 13, 2023

图 2. 湛江机场 2023 年 1 月 12 日 08:00~13 日 10:00 地面相对湿度随时间变化特征

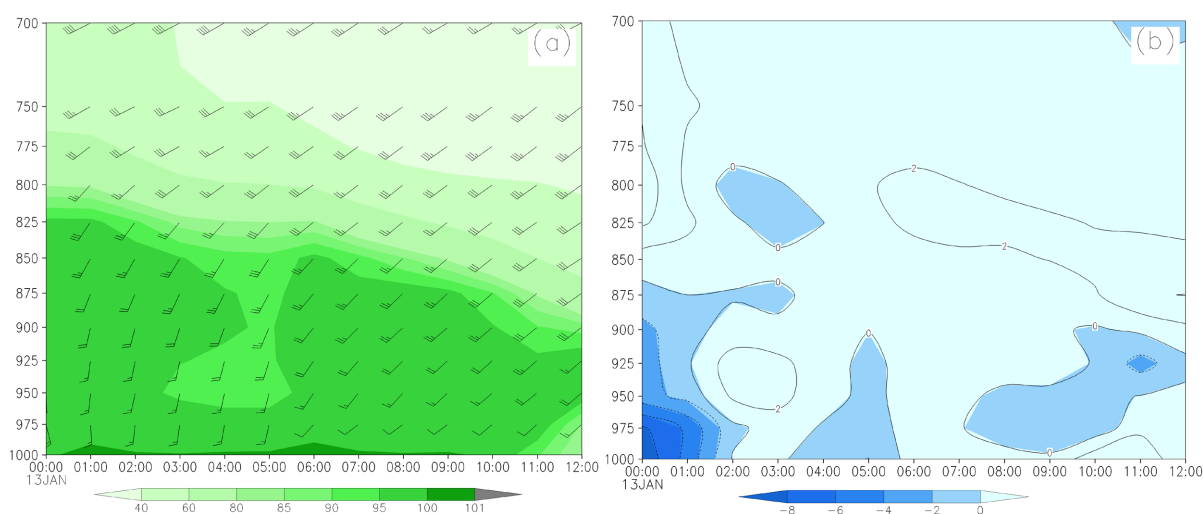


Figure 3. Vertical time profile of relative humidity (green shaded, unit: %) and wind at Zhanjiang Airport from 00:00 to 12:00 on January 13, 2023 (a), Vertical time profile of water vapor flux divergence (unit: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) (b)

图 3. 湛江机场 2023 年 1 月 13 日 00:00~12:00 1000~700 hPa 相对湿度(绿色阴影, 单位: %)与风场时间剖面图(a), 水汽通量散度时间剖面图(单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) (b)

4.1.2. 水汽输送条件

当水汽通量散度小于 0 时表明水汽水平辐合[14]。由水汽通量散度时间剖面图(图 3(b))可知，13 日 00:00 近地面层的水汽辐合中心与后半夜弱降水的出现时间相对应。结合图 3(a)可知，13 日的水汽辐合区与 95%以上的相对湿度区存在一定的正相关性。02:00~03:00 位于 925 hPa 的水汽辐散中心对应 03:00~05:00 相对湿度区的下降。03:00~05:30 在 900 hPa 以下有弱水汽辐合区，水汽得以在湛江机场低层

聚集, 对应 06:00 之后 95% 以上的相对湿度区高度的回升。07:00 后湛江机场上空 975 hPa 出现水汽辐合区, 随着时间辐合区范围有所扩大, 在 09:00 下降至 1000 hPa 附近后逐渐向上抬升。10:00~11:00 在 1000~975 hPa 存在水汽辐散区, 此时对应高度的相对湿度明显降低。以上分析表明, 大雾发生前低层的水汽辐合区使近地面层水汽达到饱和, 大雾中期 975 hPa 水汽辐合区的出现促进大雾的发展与维持。

根据 925 hPa 水汽通量图(图 4)可以看出, 水汽通量高值区位于湛江机场西部, 02:00 到 06:00, 湛江机场上游的风速由 6 m/s 增加至 8 m/s, 风向由偏南风转为西南风, 风速增大与风向的转变更有利于北部湾的水汽输送至湛江机场上空。

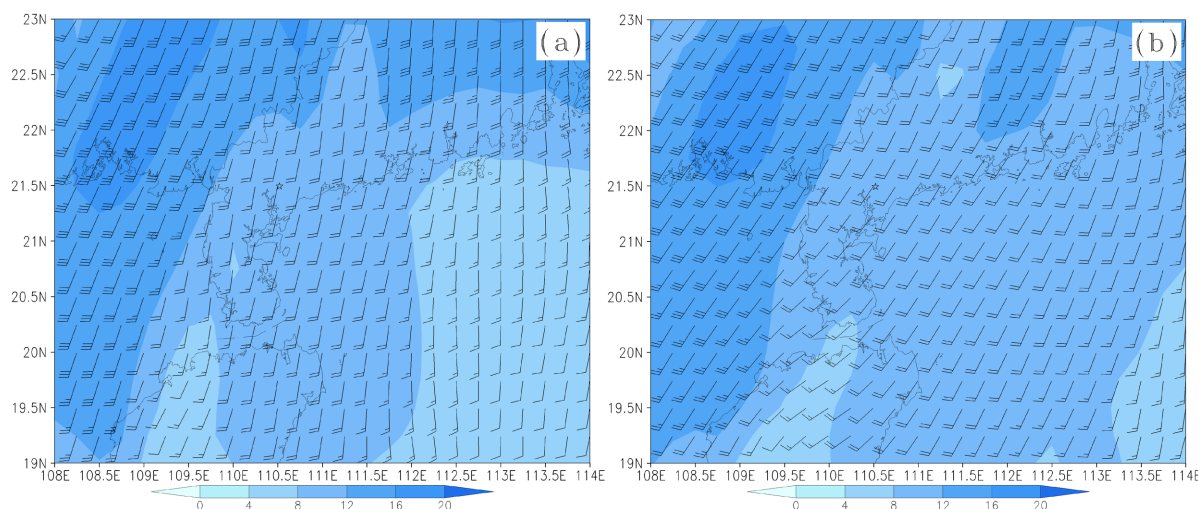


Figure 4. Water vapor flux and wind field map at 925 hPa on January 13, 2023 at 02:00 (a) and 06:00 (b) (unit: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) (☆ represents the location of Zhanjiang Airport)

图 4. 2023 年 1 月 13 日 02:00 (a)、06:00 (b) 925 hPa 水汽通量图(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)与风场图(☆代表湛江机场位置)

4.2. 冷却条件

4.2.1. 气象要素分析

根据风向、风速变化特征(图 5(a)、图 5(b))与云况的人工观测记录, 12 日 08:00~15:00 即降水前期, 风向为 $110^{\circ}\sim 140^{\circ}$, 风速为 2~6 m/s, 最低一层云底高为 180~270 米。12 日 16:00~23:00 风向由西南风转偏东风, 云底高由 120~180 米下降至 60 米。13 日 00:00~08:00 风向以西北风到偏北风为主, 风速在 0~2 m/s 之间, 云底高为 60~90 米。根据湛江机场人工观测实况, 1 月 12 日~13 日总云量基本为满天云, 较弱的风速与低云的覆盖不利于大气扩散, 促使近地面水汽聚集。13 日 01:00~08:00 由于地面相对湿度基本达到饱和(图 2), 地面温度变化较小, 整体下降了 0.3°C (图 5(c))。

4.2.2. 温度平流

根据图 6(a)可知, 13 日 02:00 在 1000 hPa 上雷州半岛中部存在西北风与西南风的辐合线, 冷平流区位于湛江机场西南部, 湛江机场上空为偏南风暖平流区。06:00 冷平流区与辐合线范围扩大至雷州半岛东部沿海一带(图 6(b)), 雷州半岛大部分区域包括湛江机场上空转为冷平流区。辐合线的形成有利于水汽的聚集[15], 此外西北风带来的冷平流促进近地面漂浮的水汽降温达到饱和。

4.3. 层结条件与动力条件分析

4.3.1. 层结条件

由 1 月 13 日 02:00、04:00 与 06:00 湛江机场 850 hPa 以下温度与露点层结曲线(图 7)可知, 02:00 大

雾发生前, 1000~975 hPa 有弱逆温层的存在, 温度线与露点线随着高度的上升逐渐分离(图 7(a)), 到了 04:00 逆温层略有增强, 1000~975 hPa 之间的温差增加了 0.25℃, 相对湿度有所减小(图 7(b))。到 06:00 即起雾阶段(图 7(c)), 1000 hPa 温度对比 02:00 时下降了 0.75℃, 结合图 6(b)可知是由于西北风带来的冷平流影响。1000~975 hPa 之间的温度线呈垂直状态, 975~950 hPa 的温度线倾斜率也较小, 因此 1000~950 hPa 可视为等温层结构。

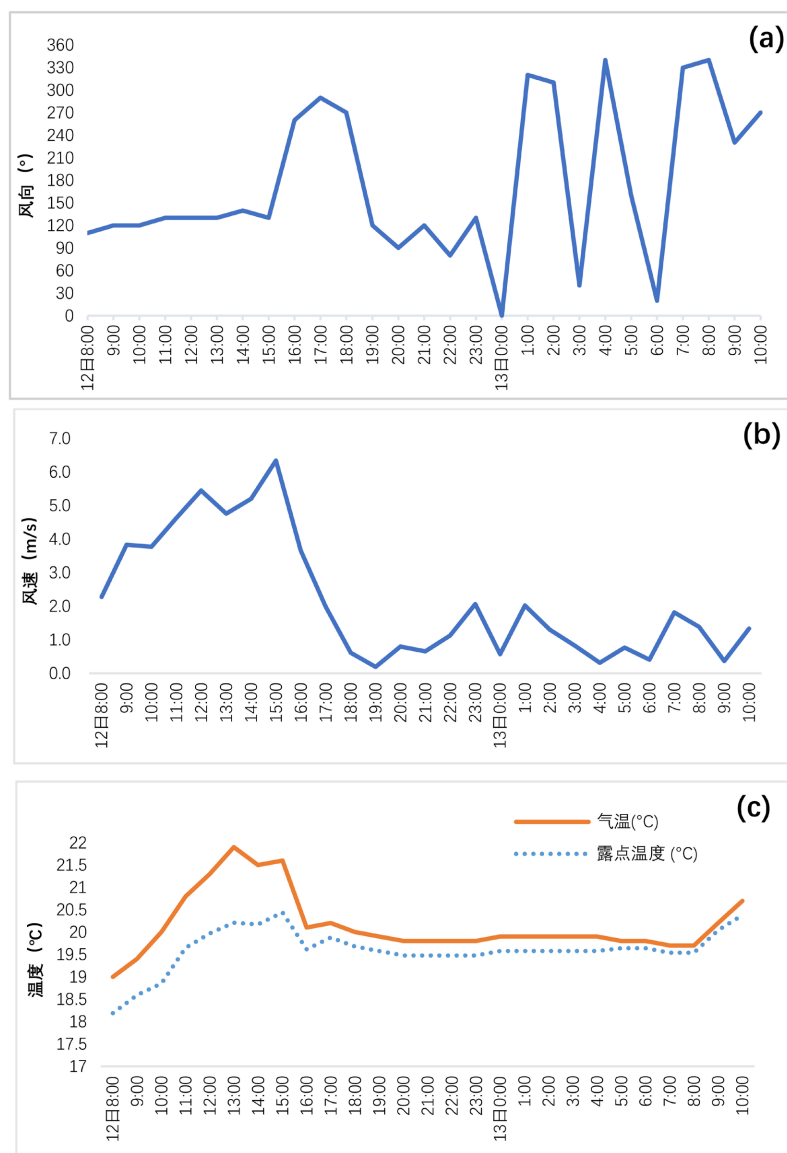


Figure 5. Characteristics of 10 minutes varying average wind direction (a), average wind speed (b), temperature, and dew point temperature (c) at Zhanjiang airport from 08:00 on January 12, 2023 to 10:00 on January 13, 2023

图 5. 湛江机场 2023 年 1 月 12 日 08:00~13 日 10:00 地面 10 分钟平均风向(a)、10 分钟平均风速(b)、气温和露点温度(c)随时间变化特征

4.3.2. 动力条件

根据散度剖面图(图 8(a))可知, 13 日 02:00~03:00 在 925 hPa 存在明显的辐散, 中心值达 $2\sim4\times10^{-5}\text{s}^{-1}$, 04:00~05:30 近地面层 900 hPa 以下为水平辐合区, 05:30 之后转为水平辐散区。结合图 8(b)可以看出, 900

hPa 以下的散度变化趋势与垂直运动相对应, 水平辐散区对应下沉运动, 水平辐合区对应上升运动。

在垂直速度剖面图(图 8(b))上, 与图 8(a)中 925 hPa 水平辐散中心相对应的下沉运动中心位于 925~800 hPa, 中心值为 $0.1\sim 0.2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, 02:00 之后 1000 hPa 附近开始有弱上升运动, 且随着时间范围逐渐向上扩展。04:00~05:00 范围延伸至 800 hPa 附近。马翠平等[16]的分析指出逆温层下的弱上升运动有利于雾层厚度的增大, 湛江机场 13 日 02:00、04:00 逆温层主要位于 975 hPa 以下(图 7(a), 图 7(b)), 06:00 之后 95% 以上的相对湿度区高度有所回升(图 3(a)), 因此 13 日 02:00~05:00 湛江机场上空的弱上升运动对湿层厚度的增加具有一定贡献。06:00 后低层至中层均转为一致的下沉运动, 下沉运动中心位于 700 hPa 附近, 随着时间逐渐加强上升至 550 hPa 高度层。下沉气流抑制低层水汽的扩散, 有利于低层水汽聚集。08:30 之后在 950~800 hPa 形成一个弱上升运动中心, 而近地面层 950 hPa 以下仍维持下沉运动, 此时间点对应能见度上升阶段, 说明日出之后地面温度的升高破坏大气层的稳定度, 中低层的水汽逐渐扩散, 使空气相对湿度降低大雾消散。

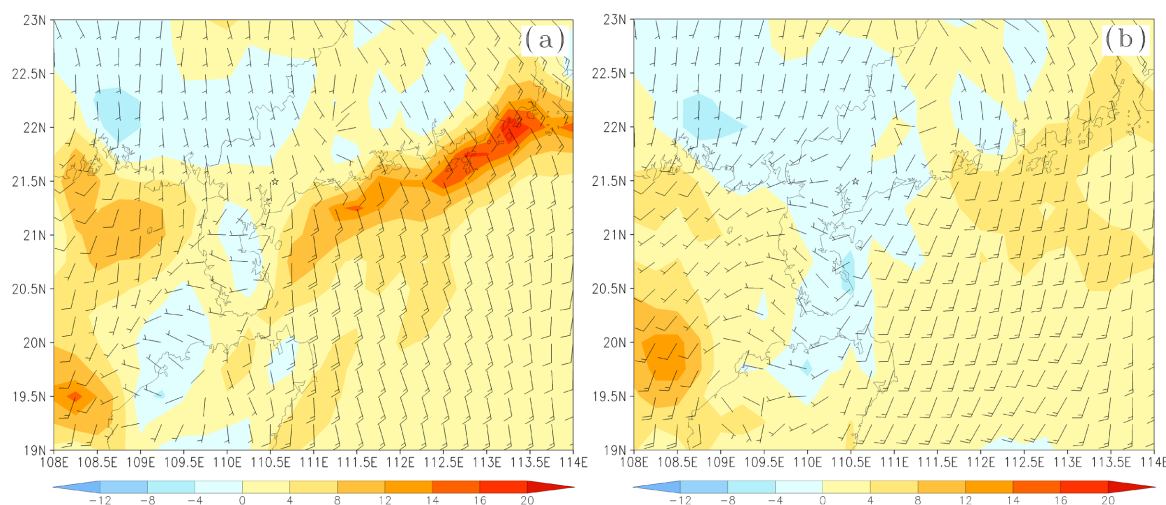
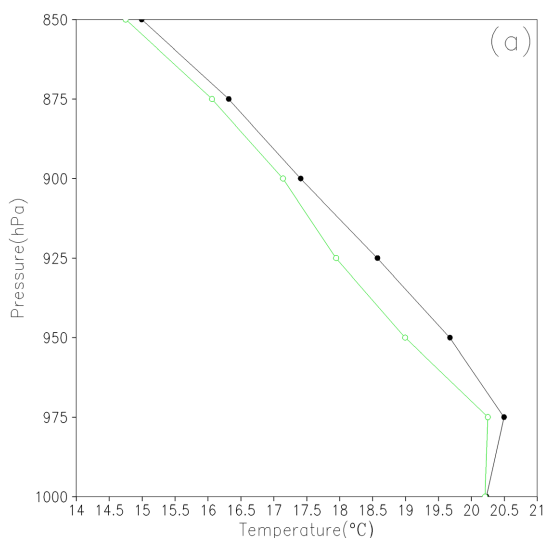


Figure 6. Zhanjiang Airport January 13, 2023 02:00 (a), January 13, 2023 06:00 (b) 1000 hPa temperature advection (unit: 10^{-5}C/S) and horizontal wind field (☆ represents the location of Zhanjiang Airport)

图 6. 湛江机场 2023 年 1 月 13 日 02:00 (a), 2023 年 1 月 13 日 06:00 (b) 1000 hPa 温度平流(单位: 10^{-5}C/S)与水平风场(☆代表湛江机场位置)



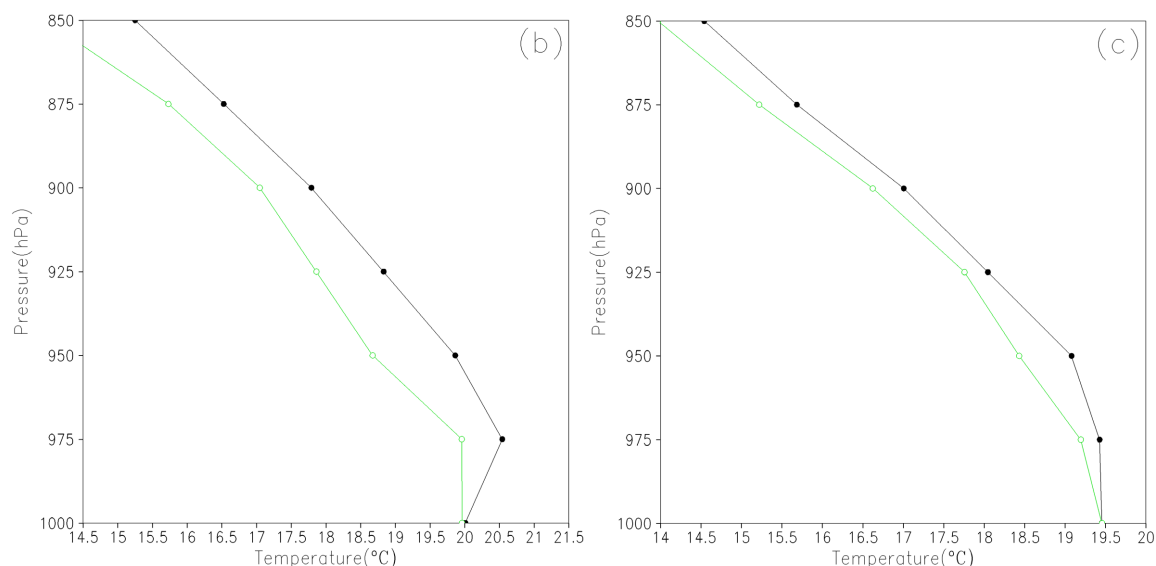


Figure 7. Stratification curves of dew point and temperature below 850 hPa at Zhanjiang Airport on January 13, 2023 at 02:00 (a), 04:00 (b), 06:00 (c) (black solid line: temperature, green solid line: dew point temperature, unit: °C)

图 7. 2023 年 1 月 13 日 02:00 (a), 04:00 (b), 06:00 (c) 湛江机场 850 hPa 以下露点与温度层结曲线(黑色实线: 气温, 绿色实线: 露点温度, 单位: °C)

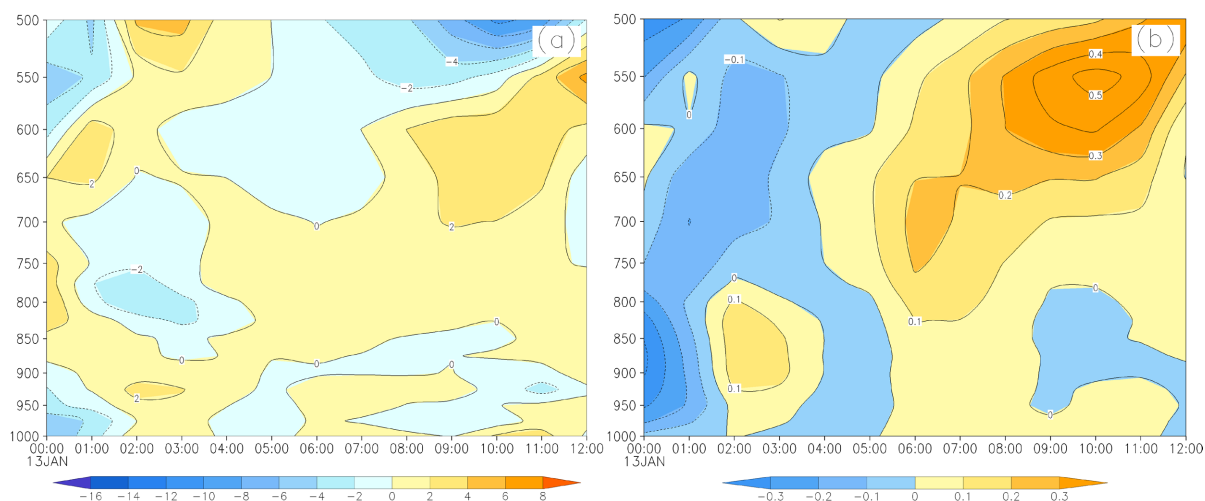


Figure 8. Divergence (Unit: 10^{-5} s^{-1}) time profile (a), vertical velocity (Unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, negative values indicate upward motion) time profile (b) at Zhanjiang airport from 00:00 to 12:00 on January 13, 2023

图 8. 湛江机场 2023 年 1 月 13 日 00:00~12:00 散度(单位: 10^{-5} s^{-1})时间剖面图(a)、垂直速度(单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, 负值表示上升运动)时间剖面图(b)

5. 结论

通过分析湛江吴川机场 2023 年 1 月 13 日一次大雾天气过程, 得出以下结论: 受中低空西南暖湿气流影响, 本次大雾前期出现连续性小雨轻雾天气, 近地面层积累充沛的水汽, 湿度条件较好。大雾前后较弱的风速条件与低云的覆盖, 使近地面层水汽得以聚集。

大雾发生前低层的水汽辐合区与弱上升运动促进了湿层厚度的增加。起雾阶段冷平流的侵入使近地面层水汽凝结达到饱和, 925 hPa 偏南风转西南风风向的转变与风速的增大更有利于北部湾的水汽输送至湛江机场上空。大雾期间低层至中层一致的下沉运动, 抑制了低层水汽向上扩散, 大雾中期 975 hPa 水汽

辐合区的出现促进大雾的发展与维持。

在层结结构上,大雾发生前 1000~975 hPa 存在浅薄的弱逆温层,大雾发生时 1000~950 hPa 为等温层结构,相比于逆温层较不利于大雾的长时间维持。此次大雾的消散主要是由于日出之后地面温度的升高使近地面层的垂直温度梯度增大,中低层的水汽逐渐向上扩散,地面相对湿度降低导致。

参考文献

- [1] 张燕光,傅宁. 航空气象学[M]. 北京:中国民航出版社,2014: 99.
- [2] 蒋玥. 黄花机场冬季一次持续性大雾天气诊断分析[J]. 广东气象, 2017, 39(1): 19-23.
- [3] 杨琦堡,吴波浪,曹文,等. 宁波机场一次春季大雾天气过程诊断分析[J]. 中国民航飞行学院学报, 2021, 32(2): 47-51.
- [4] 宛涛,肖称根,谢忠妙,等. 南宁机场一次大雾过程的诊断分析[J]. 科技与创新, 2023(1): 116-118+123.
- [5] 章元直,杨超锋. 2014 年 11 月杭州机场连续两次大雾过程的对比分析[J]. 浙江气象, 2018, 39(3): 43-48.
- [6] 张礼春,朱彬,耿慧,等. 南京一次持续性浓雾天气过程的边界层特征及水汽来源分析[J]. 气象, 2013, 39(10): 1284-1292.
- [7] 王桂娟,郑有飞,黄小丹,等. 粤东一次罕见持续性大雾天气过程的分析[J]. 广东气象, 2013, 35(2): 1-7+13.
- [8] 杨杰颜,郭浩鑫. 湛江市一次持续性大雾天气过程的特征分析[J]. 广东气象, 2016, 38(6): 55-58+66.
- [9] 徐峰,牛生杰,张羽,等. 雷州半岛雾的气候特征及生消机理[J]. 大气科学学报, 2011, 34(4): 423-432.
- [10] 赖建茂. 湛江机场一次平流雾天气过程分析及预报[J]. 空中交通, 2013(12): 57-59.
- [11] 许剑文. 湛江机场一次蒸发雾天气过程初步分析[J]. 轻工科技, 2014, 30(11): 77-78.
- [12] 吴冰菁. 湛江机场一次大雾过程分析[J]. 科学技术创新, 2021(11): 60-61.
- [13] 中国民用航空局. 民用航空气象地面观测规范[M]. 北京:中国民航出版社, 2021: 20.
- [14] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社, 2021.
- [15] 宋晨飞,王晶晶,岳林源. 新郑机场一次降水过后的大雾诊断分析[J]. 科技与创新, 2023(22): 85-87+95.
- [16] 马翠平,吴彬贵,李江波,等. 一次持续性大雾边界层结构特征及诊断分析[J]. 气象, 2014, 40(6): 715-722.