

乌鲁木齐机场一次高影响低云雾天气分析

胡建军¹, 丁 旭¹, 刘 欢²

¹中国民用航空新疆空中交通管理局, 新疆 乌鲁木齐

²中国民用航空阿克苏空中交通管理站, 新疆 阿克苏

收稿日期: 2026年8月12日; 录用日期: 2026年9月14日; 发布日期: 2026年9月21日

摘 要

为揭示乌鲁木齐机场持续性浓雾的生消机理, 为航空气象预报保障提供依据, 利用高空地面常规观测、FY-4B新一代静止气象卫星、微波辐射计、跑道自动观测及地面加密自动气象站等多源资料, 对2024年11月25~29日该机场一次持续浓雾过程的天气形势、生消机制及中低空气象要素特征开展诊断分析。结果表明: (1) 本次大雾形成于高空脊控制、低层存在明显暖平流、地面处于高压底部部的稳定环流背景下, 为大雾长时间维持提供了有利的环流条件。(2) FY-4B卫星微物理合成图可有效监测大雾范围的演变过程与雾区厚度, 弱下沉气流利于将降雪后的水汽约束在近地层, 低层弱辐合与负涡度共同为大雾形成提供了动力与水汽支撑。(3) 北疆沿天山一带日落后的辐射降温助推盆地大范围雾区形成, 机场大雾的生消与周边雾区强度、风场演变密切相关, 偏南风 and 西南风利于雾的消散, 贴地层降温幅度、逆温层强度及逆温层底高度对大雾强度与持续时间具有一定指示意义。

关键词

乌鲁木齐机场, 持续浓雾, FY-4B卫星, 生消机制, 逆温层

Analysis of a High-Impact Low Cloud and Fog Weather Event at Urumqi Airport

Jianjun Hu¹, Xu Ding¹, Huan Liu²

¹Xinjiang Air Traffic Management Bureau CAAC, Urumqi Xinjiang

²Aksu Air Traffic Management Station of CAAC, Aksu Xinjiang

Received: August 12, 2026; accepted: September 14, 2026; published: September 21, 2026

Abstract

To reveal the formation and dissipation mechanism of persistent dense fog at Urumqi Airport and provide a scientific basis for aviation weather forecast and support, this paper conducts a diagnostic analysis on the synoptic situation, formation-dissipation mechanism, and characteristics of middle-lower

文章引用: 胡建军, 丁旭, 刘欢. 乌鲁木齐机场一次高影响低云雾天气分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(5): 1042-1051. DOI: 10.12677/ccrl.2026.155111

tropospheric meteorological elements of a persistent dense fog event at the airport from November 25 to 29, 2024. The analysis is based on multi-source data including conventional upper-air and surface observations, FY-4B new-generation geostationary meteorological satellite data, microwave radiometer measurements, runway automatic observation data, and observations from a dense network of automatic surface weather stations. The results are as follows: (1) The dense fog formed under a stable circulation background controlled by an upper-level ridge, with distinct warm advection in the lower troposphere and the surface located at the rear of the high-pressure base, which provided favorable circulation conditions for the long-duration maintenance of the fog. (2) The microphysical composite products of the FY-4B satellite can effectively monitor the evolution of fog coverage and the thickness of the fog layer. Weak large-scale subsidence helps confine post-snowfall water vapor within the surface layer, while weak convergence and negative vorticity in the lower layer jointly provide dynamic and water vapor conditions for fog formation. (3) Radiative cooling after sunset in the region along the Tianshan Mountains in northern Xinjiang facilitates the formation of large-scale fog areas in the basin. The formation and dissipation of dense fog at the airport are closely correlated with the intensity of surrounding fog areas and wind field evolution; southerly and southwesterly winds are conducive to fog dissipation. The cooling amplitude in the near-surface layer, the intensity of the inversion layer, and the base height of the inversion layer have certain indicative value for the intensity and duration of dense fog at the airport.

Keywords

Urumqi Airport, Persistent Dense Fog, FY-4B Satellite, Formation and Dissipation Mechanism, Inversion Layer

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

乌鲁木齐机场 11 月至次年 3 月, 低云低能见度天气频发, 是造成航班延误、备降、取消和返航的重要因素, 严重威胁航空运行安全[1]。2024 年 11 月 25~29 日机场连续出现低云雾, 表现为能见度起伏大、云底高度低, 持续时间长等特点, 其形势与典型大雾形势有所不同, 预报难度大。同时, 低云雾持续时间涵盖了晚进港高峰和早出港高峰时段, 对飞行的安全和正常造成很大影响[2]。本文利用高空地面形势、FY4B 卫星云图、乌鲁木齐机场微波辐射计、跑道自动观测和新疆区域加密自动气象站等资料, 对此次大雾过程进行了分析, 以期对北疆沿天山一带出现的低云雾天气的预报预警有所帮助[3]。

2. 资料和方法

本文所用的资料为常规高空、地面观测、NCEP/FNL 再分析数据集、新疆区域逐小时加密自动气象站、FY4A 气象卫星、乌鲁木齐机场微波辐射计、风廓线雷达、L 波段探空雷达秒级数据。NCEP/FNL 再分析数值模式数据集时间分辨率为 6 小时, 空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。净长波辐射数据来自于欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的 ERA5 再分析资料。该数据的时间分辨率为 1 小时, 空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 。NCEP/FNL 及 ERA5 再分析资料目前广泛应用于气象业务分析与预报工作中, 并取得了较好的应用效果。

乌鲁木齐机场使用的 Airda-HTG3 型地基多通道微波辐射计资料, 来自于北京爱尔达电子设备有限公司, 其探测传感器为 HATPRO-G3 地基多通道微波辐射计, 是目前具有先进性和代表性的新一代微波辐射计, 共有 14 个通道, 时间间隔为 3 min, 主要产品包括地面温度、气压、湿度、综合水汽含量和液态水路径等实时探测数据, 反演产品包括温度、相对湿度、绝对湿度及液态水廓线等。广泛应用于多地

区的多相态降水、大风、大雾天气的探测，且效果良好[4] [5]。

3. 天气实况及对运行的影响

大雾发生前，2024 年 11 月 22~23 日北疆沿天山一带出现大范围降雪天气，降雪释放凝结潜热，气温回升，雪后雪面蒸发，温湿层结逐渐建立并稳定。11 月 25 日凌晨开始，北疆沿天山一带出现大雾天气，乌鲁木齐机场 25 日 03:36 (北京时，以下同)~12:00, 26 日 02:30~10:30, 26 日 11:42~13:30, 14:10~16:30, 26 日 19:36~27 日 00:30, 27 日 19:45~21:30, 27 日 23:10~28 日 18:30, 28 日 21:50~29 日 13:30 连续出现低云雾天气，其特点为低云雾分股侵入，能见度时好时坏，跑道视程(以下简称 RVR)起伏剧烈，差异明显，雾区分布极其不均匀，期间跑道三端 RVR 频繁波动，云底高维持在 30~60 米。此次低云雾共造成 354 架次航班延误，延误超过 2 h 的航班 73 架次，备降 77 架次，返航 4 架次，26 日始发航班离港正常率仅 40.2%。大雾影响期间机场实施低能见度运行 7 次，实施累计时间 60.2 h，启动“空铁联运”程序 2 次，转运旅客 3000 多人次。

4. 天气形势分析

4.1. 高空形势

11 月 22 日~23 日受冷空气影响，北疆出现大范围降雪天气，23 日 20 时 500 hPa 上，造成北疆地区降水的高空槽东移至东疆地区，乌拉尔山建立阻塞形势，北疆地区处于高压脊前。25 日 20 时高压脊向东北方向伸展，暖中心南掉，在上下游效应作用下，东疆至南疆东部形成东西向横槽。26 日 20 时(图 1(a))阻塞高压表现为北侧为暖高压中心，东西两侧各有一冷低压中心，使得阻塞形势稳定维持。28 日 08 时暖中心消失，巴湖地区长脊，阻塞形势基本崩溃，位于巴湖的脊区北抬东移，20 时北疆地区逐渐转为脊前西北气流控制，并持续至 29 日。此次连续 5 天的低云雾天气发生在乌拉尔山阻高建立到崩溃期间，脊区长期维持，北疆地区先后经历脊前强偏北气流、横槽后部偏东气流、暖高压底部和切断低压顶部之间的东南气流以及脊前西北气流的控制，即中高层为强下沉气流。700 hPa、850 hPa 均受脊区控制，850 hPa 基本以偏南风为主，这种配置导致 500 hPa 以下不断有暖平流侵入，形成稳定的逆温结构。配合 24 日 20 时 51463 站 T-lnp 显示，850 hPa 以下逆温开始建立并稳定维持，且在 26~27 日达到最强(图略)。

4.2. 地面形势

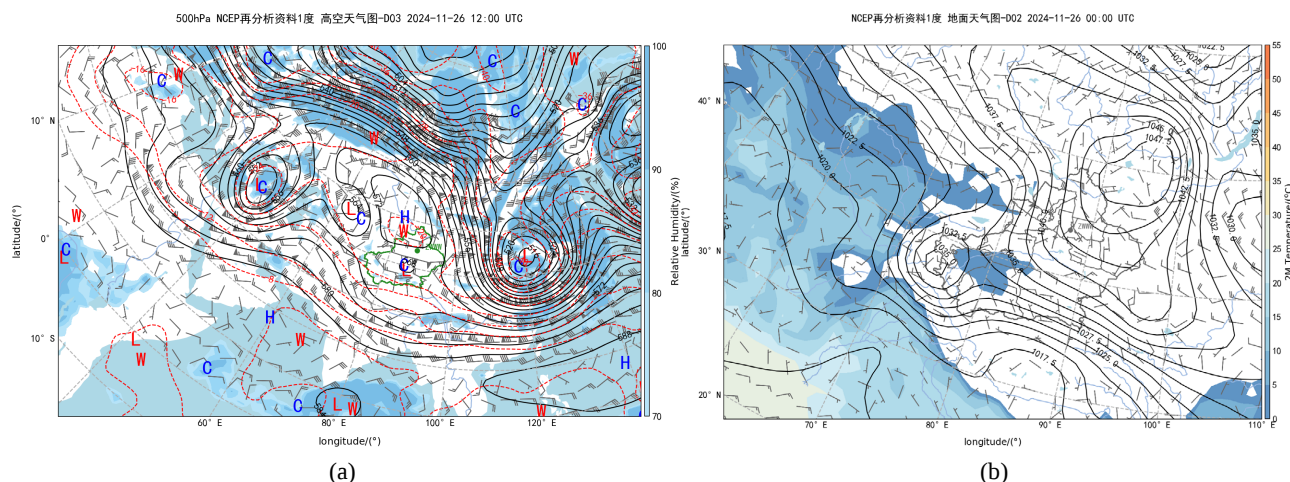


Figure 1. Synoptic charts of upper-air and surface conditions on 26 November 2024

图 1. 2024 年 11 月 26 日高空、地面形势图

24 日 20 时地面高压南下至蒙古附近, 并在此盘踞, 中亚低值系统缓慢东伸(如图 1(a)所示)。26 日 08 时(如图 1(b)所示)地面高压继续南调, 在南疆 - 甘肃一线分裂出新的高压中心, 呈现东南高西北低的气压场形势, 配合 26 日 20 时 850 hPa 东南风开始增强。大雾期间乌鲁木齐机场位于蒙古高压底部与中亚低值系统前部倒槽间的均压场中。

5. FY4B 气象卫星监测大雾

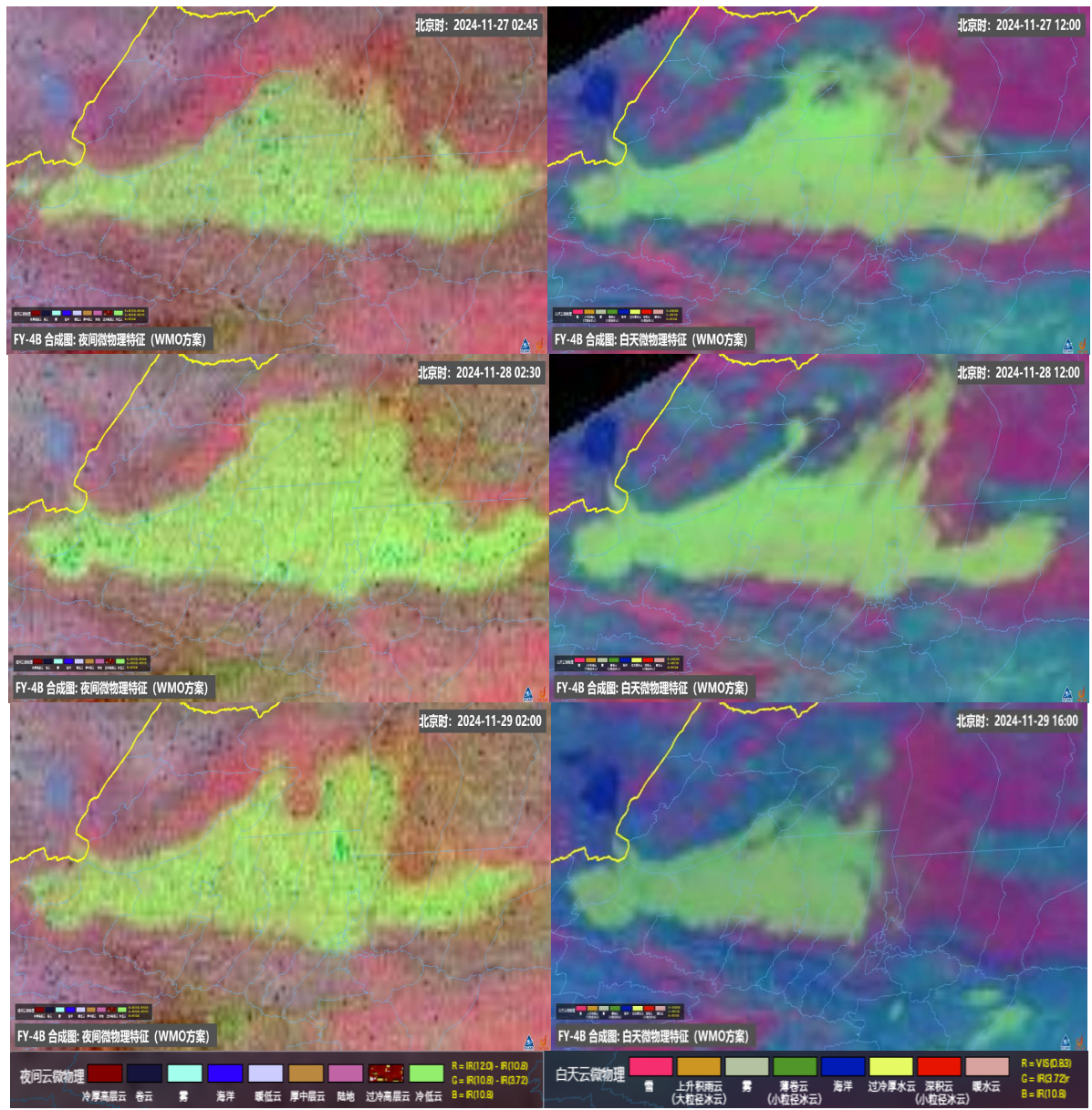


Figure 2. Evolution of FY-4B satellite cloud images from 25 to 29 November 2024

图 2. 2024 年 11 月 25~29 日 FY4B 卫星云图演变

使用气象卫星能较好地监测沿天山一带的大雾分布情况, 本文使用 FY4B 静止气象卫星对大雾的分布及演变情况进行分析。27 日 02:45 卫星微物理特征合成图中可以清晰看到北疆沿天山一带的精河县 - 奎屯 - 石河子 - 乌鲁木齐 - 阜康 - 奇台县均为低云雾笼罩, 东西跨度约 600 km, 能见度为 100~300 米。

随着夜间辐射降温,雾区范围稳定维持并有所增大,能见度维持在 500 米以下。27 日 12:00 卫星白天微物理特征合成图中可以看到,雾区范围依然较大,且雾浓度较大的区域主要集中在奎屯-石河子-乌鲁木齐-五家渠一线,低云雾云图特征密实,雾区下垫面有稳定的积雪。27 日白天在太阳短波辐射作用下,温度升高,雾区范围缩减且雾的厚度减弱,卫星云图可以看到雾层厚度分布不均匀。但乌鲁木齐地区附近的雾厚度相对较厚。27 日夜间辐射降温致使雾区范围继续增大,对比 28 日 02:30 与 27 日 02:45 夜间微物理特征图像发现雾区范围更大,说明低云雾的发展范围进一步增大。28 日白天雾区有所消散,但乌鲁木齐地区雾层厚度变化不大,且雾区有向南推进趋势。乌鲁木齐市区能见度由 12:00 的 30 km 骤降至 16:00 的 4 km,28 日 18:00 下降至 800 米。29 日乌鲁木齐范围有所减弱,主要集中在精河县-奎屯-石河子-昌吉一线,乌鲁木齐及东侧阜康-奇台一线雾快速消散(如图 2 所示)。

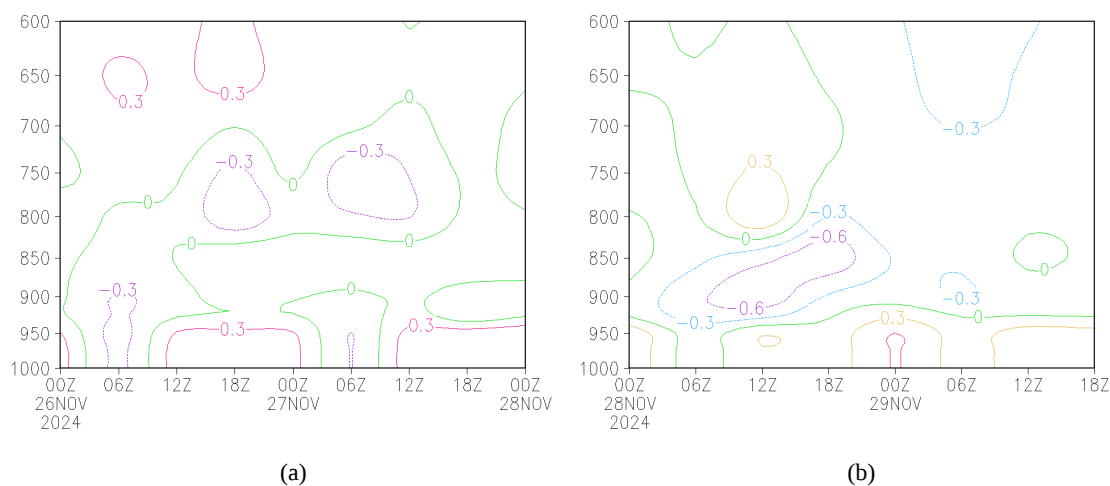
6. 物理量场特征分析

大雾的形成不仅需要静稳天气形势,还需要有利的动力、水汽和热力条件配合。目前,数值预报产品已成为气象预报业务中重要的预报工具,其不断提升的时空分辨率和参数化方案的优化,对天气分析的精细化起到不可或缺的作用。NCEP/FNL 再分析数值模式产品目前广泛应用于气象业务分析与预报工作中,并取得了较好的应用效果。本文使用的再分析数据与实况数据经过《多种数值预报产品在乌鲁木齐机场适用性的检验与评估》系统进行主客观评估,结果表明 NCEP/FNL 数据是可信的,本节利用 NCEP/FNL $1^\circ \times 1^\circ$ 分辨率资料分析此次大雾过程的动力、水汽条件。

6.1. 动力条件

6.1.1. 垂直速度

24 日 20:00 开始(如图 3(a)所示),乌鲁木齐机场上空 925 hPa 以下为弱的下沉气流为主,强度为 $0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,至 25 日 14:00 转为弱上升气流强度为 $0.0\sim 0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,25 日 20:00~26 日 10:00,950 hPa 继续维持较弱的下沉气流,10:00~17:00 机场上空 800 hPa 以下转为上升气流,26 日 20:00~27 日 11:00 左右 800 hPa 以下为下沉气流,中心强度为 $0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,27 日 14:00,机场上空短暂出现上升气流,有利于层结扩散,此时机场能见度为 2~3 km。27 日 20:00~28 日 14:00、28 日 17:00~29 日 14:00,机场上空 950 hPa 为弱下沉气流,中心强度最强达 $0.6 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,主要集中在 29 日 08:00,28 日 14:00~29 日 08:00,机场上空 800~950 hPa 为较强上升气流,有利于湍流混合(如图 3(b)所示),28 日 21:50~29 日 13:30,机场出现持续 15 小时冻雾,地面能见度也为此次过程中最强时段,能见度 200 米,RVR 最低 350 米。



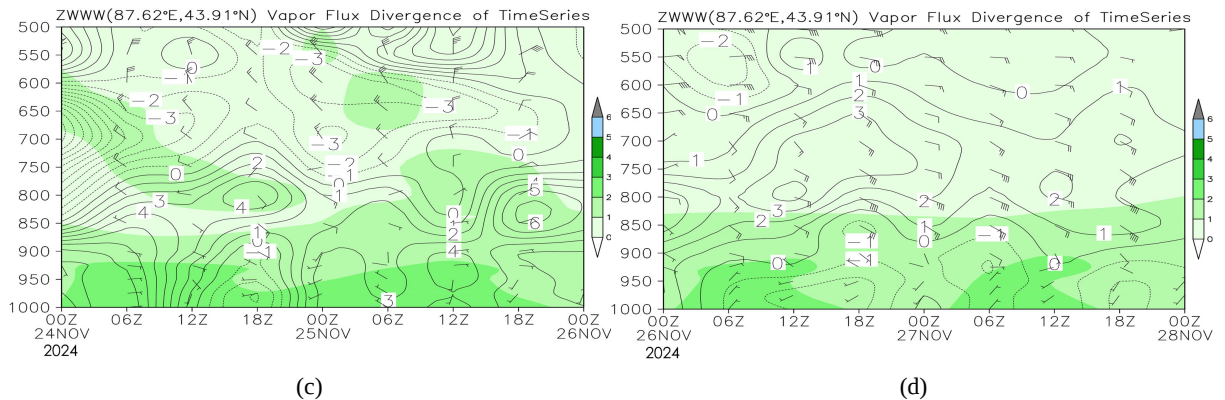


Figure 3. Horizontal divergence (Panel a; unit: $10^{-5} \text{ pa} \cdot \text{s}^{-1}$) and vertical vorticity (Panel b; unit: $10^5 \text{ pa} \cdot \text{s}^{-1}$) over Urumqi Airport (87.47°E , 43.91°N) from 25 to 29 November 2024

图 3. 2024 年 11 月 25~29 日乌鲁木齐机场(87.47°E , 43.91°N)上空垂直速度(图 a, b, 单位: $10^5 \text{ pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

6.1.2. 涡度和散度

散度场方面, 26 日~29 日, 乌鲁木齐机场上空 900 hPa 以下为弱辐合场, 有利于低层水汽及污染物汇聚, 其中 28 日 20:00~29 日 08:00 在 800~950 hPa 辐合形势加强, 中心强度达 $-3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, 负散度和上升气流有利于向上空输送热量和水汽, 使大量凝结核化增长, 使得雾层增厚增强(如图 4(a)所示)。涡度场方面, 大雾过程期间, 900 hPa 以上为相对明显正涡度, 27 日 20 时~28 日 08 时 750~800 hPa 出现涡度中心, 中心值为 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 26 日 20 时~27 日 08 时为负涡度, 值很弱。其余时段为 0 (如图 4(b)所示)。

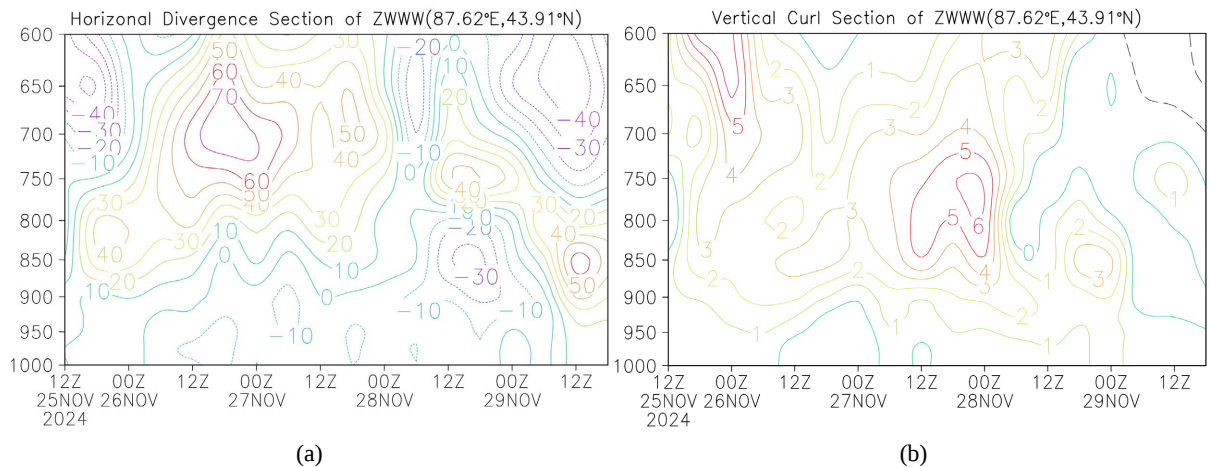


Figure 4. Horizontal divergence (Panel a; unit: 10^{-5} s^{-1}) and vertical vorticity (Panel b; unit: 10^{-5} s^{-1}) over Urumqi Airport (87.47°E , 43.91°N) from 25 to 29 November 2024

图 4. 2024 年 11 月 25~29 日乌鲁木齐机场(87.47°E , 43.91°N)上空水平散度(图 a, 单位: 10^{-5} s^{-1})和垂直涡度(图 b, 单位: 10^{-5} s^{-1})

6.2. 水汽条件

11 月 24~25 日, 机场上空 925 hPa 以下比湿维持在 $2 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (如图 3(c)、图 3(d)所示), 800 hPa 以上为水汽辐合区, 而其下部为水汽通量辐散区, 空中风速逐渐减小, 为 $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。24 日 20 时~25 日 08 时, 900 hPa 为水汽辐合, 这为 25 日大雾形成提供较好水汽。26~28 日, 机场上空 850 hPa 以下处于水汽通量辐合区, 伴随弱的偏南风, 且比湿维持在 $2 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 低层长时间为高湿条件, 为持续浓雾提供充沛的水汽。

7. 地面自动站分析

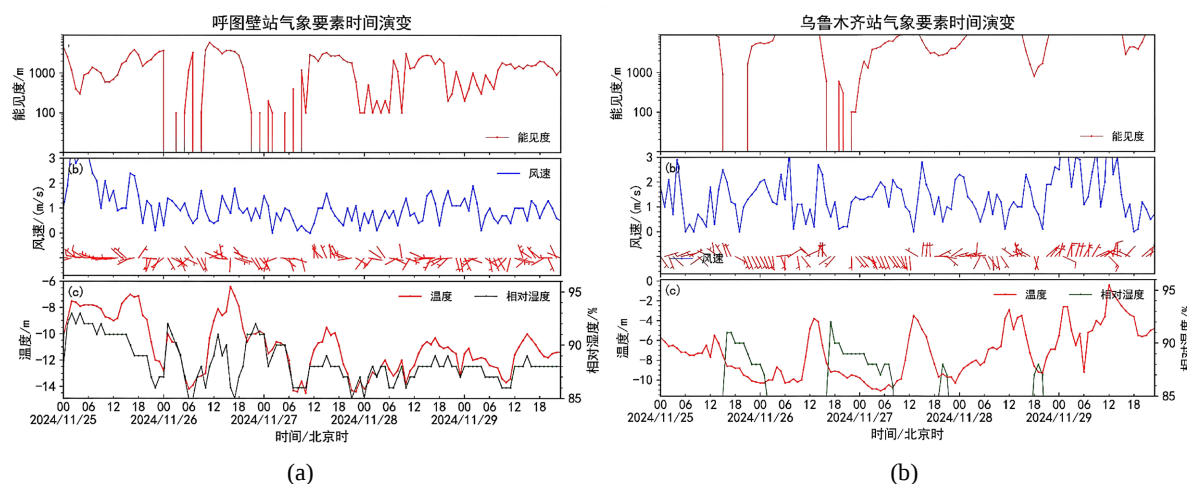
区域地面自动站资料分析

11月25日白天,沿天山一带站点能见度1~3 km,机场能见度1~3 km,温度在 $-7^{\circ}\text{C}\sim-8^{\circ}\text{C}$ 之间微弱变化。25日19:00后,乌鲁木齐机场及上游的炮台、沙湾、莫索湾、乌兰乌苏站快速降温 $2^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$,这有利于机场及上游雾的生成,上游能见度迅速下降至0~300 m(如图5(a)所示)。26日凌晨02:17开始,机场辐射降温后出现大雾,RVR快速下降,02:27降至450 m以下,此后RVR上下反复,其中04:43~07:53、09:10~09:49 RVR持续300 m以下,影响机场运行。大雾期间风向以东北风为主,风速均小于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。26日13:00后北疆沿天山一带各站均转好至1 km以上,15:00~17:00乌鲁木齐市区、米泉、阜康一带出现弱降雪,降雪增湿有利于雾生成,致使能见度又出现下降,16:00乌鲁木齐市区能见度下降至600 m,17:00骤降至0 m。19:30后随着日落,地表辐射降温,机场北侧昌吉、蔡家湖站辐射雾生成,能见度快速下降,同时机场维持 $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 偏北风,有利于机场辐射降温和北侧雾向机场推进。19:36~21:30机场出现300~500 m的雾,20:08~21:49,25号跑道RVR低于300 m,气温由17:45分的 -7.2°C 下降至21:30分的 -10.8°C ,下降率达到 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (如图5(c)、图5(d)所示)。

26日夜间至27日上午机场区域以偏南风为主,风速 $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,湿度明显下降,27日00:21~02:36,温度由 -14°C 快速上升至 -8.4°C ,温度变化率为 $2.8^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。在偏南风作用下,27日白天机场能见度和RVR均在1 km以上,而机场以北站点仍维持偏北风,能见度0~500 m。27日日出后,由于辐射升温,沿天山一带各站大雾消散。

27日夜间19:00开始,随着日落降温,石河子-昌吉-米泉一带能见度维持100~500 m。机场维持偏北风,风速 $0\sim 1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,22:45~23:00,15分钟内气温由 -12°C 快速下降至 -13.1°C (如图5(a)所示),温度变化率为 $4^{\circ}\text{C}/\text{h}$,快速降温有利于雾滴迅速增长。23:05~23:10,RVR骤降至300 m以下。此后风向在东北至偏东方向摆动,风速为 $0.5\sim 1.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,23:11~05:37期间RVR维持在300 m以下,其中23:52 RVR达到大雾过程最低值(150 m)。28日07:00呼图壁站好转,但昌吉、蔡家湖、米泉、阜康站仍维持大雾(如图5(a)所示)。28日上午,随着日出,温度上升,机场跑道RVR波动上升至550 m以上,航班运行影响明显减小。28日夜间~29日,机场区域南北风交替,温度变化不大,RVR在400~600 m之间波动。29日14:00后,沿天山一带各站能见度上升至1 km以上,此次大雾天气过程结束(如图5(c)、图5(d)所示)。

由上可见,沿天山一带日落后快速降温有利于大雾生成,机场偏北风更有利于快速辐射降温,生成大雾。机场及市区偏南风及东南风有降温降湿作用,利于大雾消散。



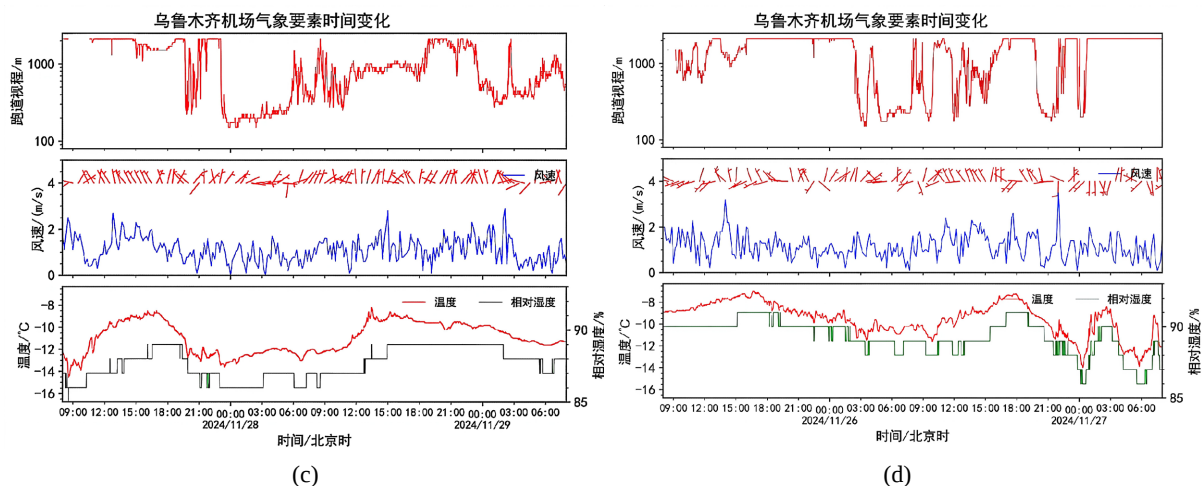


Figure 5. Time series of meteorological stations along the Tianshan Mountains during the heavy fog event from 25 to 29 November 2024. (a) Hutubi; (b) downtown Urumqi; (c~d) Urumqi Airport station

图 5. 2024 年 11 月 25~29 日大雾过程沿天山一带站点时序图。(a) 呼图壁；(b) 乌鲁木齐市区；(c~d) 乌鲁木齐机场站

8. 辐射冷却分析

分析 ERA5 净长波辐射分布图发现(如图 6 所示), 净长波辐射存在日变化特征, 白天 11:00~17:00, 太阳短波辐射加热地面, 大气逆辐射也同步增强, 净长波辐射几乎为 0, 冷却过程被完全打断, 逆温层开始被破坏, 雾层进入消散阶段。夜间 20:00 后, 随着日落, 新疆区域内都在进行长波辐射冷却, 净辐射均为负值。由图 6 可看出, 因东疆吐鲁番盆地及南疆地区因地表没有积雪, 地表为荒漠戈壁, 降温冷却更快, 净辐射值更大, 为 $-6 \sim -8 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 机场区域由于雾层存在且湿度大, 云层和水汽会增强向下的长波辐射, 抑制地面冷却, 使得净冷却相对较弱。机场北侧准噶尔盆地由于地表温度更冷, 在冷湖效应下, 夜间辐射冷却较机场周边更强, 为 $\sim -6 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

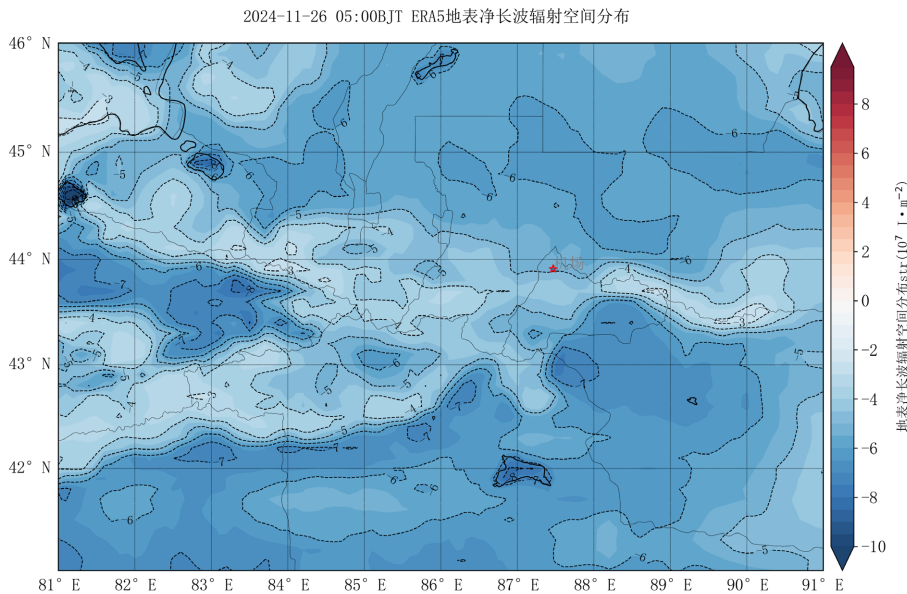


Figure 6. Spatial distribution of net long-wave radiation around Urumqi Airport on 26 November 2024

图 6. 2024 年 11 月 26 日乌鲁木齐机场周围区域净长波辐射分布图

9. 温湿层结分析

大雾形成和维持通常有稳定的大气层结。分析此次大雾期间乌鲁木齐机场微波辐射计温度和湿度层结发现(如图 7 所示), 24 日弱降雪提供较好的水汽, 25 日机场上空 1000 m 以下相对湿度达到 90%, 随着雾的形成大相对湿度层厚度逐渐减小, 但大雾期间 500 m 以下持续为相对湿度大于 90% 的高湿层。温度场上, 25 日凌晨贴地层有明显降温, 逆温层加强, 有利于雾的形成, 但逆温层相对较高。26 日凌晨贴地层再次出现明显降温, 逆温层也较 25 日降低, 高度为 300 m, 机场大雾能见度最低 200 m, RVR200 m。27 日 23 时开始, 贴地层开始快速降温, 空中 300~1500 m 升温, 逆温层增强, 且逆温层底高度为 200 m, 机场再次出现持续近 18 h 大雾。

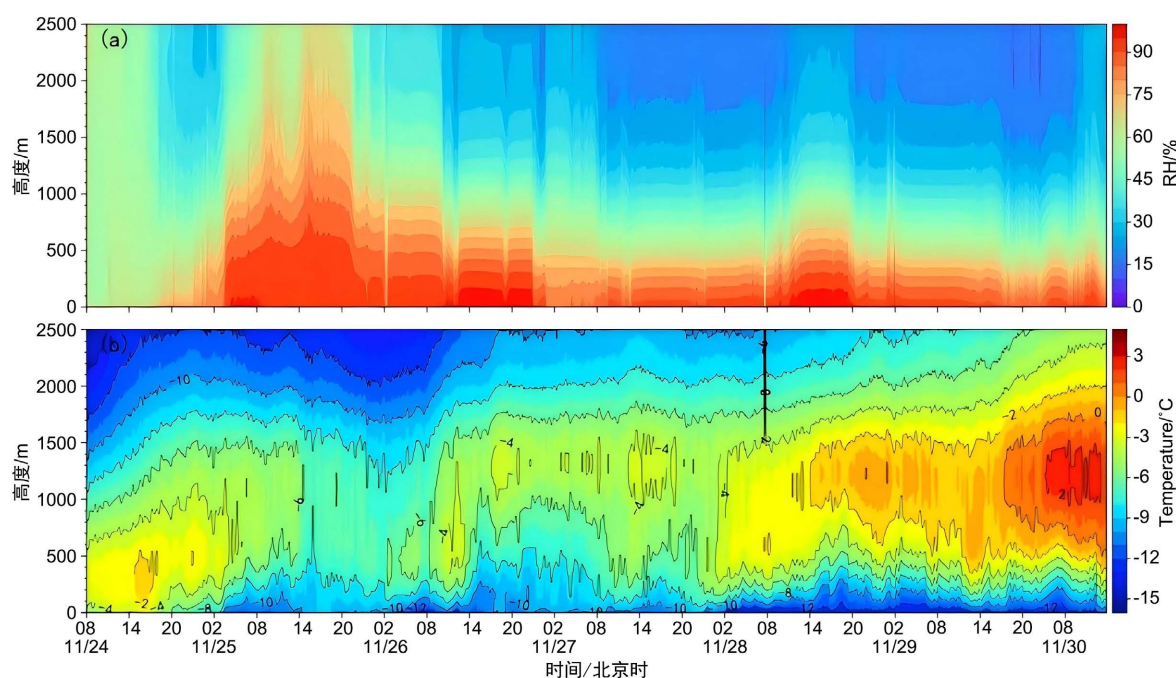


Figure 7. Temperature and humidity structure derived from microwave radiometer at Urumqi Airport from 25 to 29 November 2024

图 7. 2024 年 11 月 25~29 日乌鲁木齐机场微波辐射计温湿度结构分布

10. 结论

本文利用高空地面观测、FY4B 新一代静止气象卫星、微波辐射计、跑道自动观测和地面加密自动气象站等资料, 针对乌鲁木齐机场 2024 年 11 月 25~29 日持续浓雾天气的天气形势、生消机制、中低空气象要素等特点进行深入分析, 得出以下结论:

- 1) 此次大雾是在高空脊, 低层有明显暖平流, 地面处于高压底后部的环流背景下形成, 稳定的环流背景有利于长时间大雾维持。
- 2) FY4B 卫星微物理合成图能够密切监视大雾范围的演变过程及雾区厚度。弱下沉气流有利于将降雪后的水汽控制在近地层, 低层弱辐合和负涡度为大雾形成提供动力条件和水汽条件。
- 3) 北疆沿天山一带日落后辐射降温有利于盆地大范围雾的形成, 机场雾的形成与周边雾区强度、风场演变密切相关, 风有利于机场雾形成和维持, 偏南风 and 西南风有利于雾消散。贴地层降温及逆温层强度、逆温层底高度对机场大雾强度和持续时间有一定的指示意义。

基金项目

民航新疆空管局科技项目(20250519)。

参考文献

- [1] 韩磊, 王春红, 王勇, 等. 乌鲁木齐国际机场“持续双低浓雾”天气特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(5): 9-16.
- [2] 王春红, 谭艳梅, 王清平, 等. 多种资料在乌鲁木齐机场浓雾天气监测预报中的运用[J]. 民航学报, 2022, 6(1): 60-64+55.
- [3] 朱国栋, 朱蕾, 王照刚. 乌鲁木齐机场低能见度天气的特征分析[J]. 中国民航飞行学院学报, 2020, 31(5): 65-68+72.
- [4] 朱雯娜, 王清平, 王春红, 等. 微波辐射计在乌鲁木齐机场浓雾监测中的应用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(5): 23-31.
- [5] 王春红, 王清平, 谭艳梅, 等. 微波辐射计资料在乌鲁木齐机场持续浓雾天气中的试验应用[J]. 气象科技进展, 2020, 10(4): 22-27.