

茅台机场一次持续性大雾过程的诊断分析

刘 铮, 廖雨杰, 易晓雪, 方祥超

贵州遵义茅台机场有限责任公司, 贵州 遵义

收稿日期: 2026年6月11日; 录用日期: 2026年7月22日; 发布日期: 2026年7月29日

摘 要

本文利用ERA5再分析资料和茅台机场(ZUMT)地面观测数据, 对2020年1月7~9日发生在贵州北部的一次持续性大雾过程进行了综合分析。结果表明: 此次大雾过程是在稳定的大气层结、充足的水汽条件和弱风环境共同作用下形成的。比湿和散度分析, 大雾发展期间机场上空存在明显的水汽辐合; 锋生函数分析揭示了大雾形成与维护的动力机制; 垂直速度场和温度垂直剖面则反映了逆温层对雾层发展的抑制作用。本次大雾过程持续时间长、能见度波动大, 对机场运行造成了显著影响。

关键词

大雾, 茅台机场, 锋生函数, 逆温层

Diagnostic Analysis of a Persistent Fog Event at Maotai Airport

Zheng Liu, Yujie Liao, Xiaoxue Yi, Xiangchao Fang

Guizhou Zunyi Maotai Airport, Zunyi Guizhou

Received: June 11, 2026; accepted: July 22, 2026; published: July 29, 2026

Abstract

In this paper, based on ERA5 reanalysis data and surface observation data from Maotai Airport (ZUMT), a comprehensive analysis is conducted on a persistent fog event that occurred in northern Guizhou from January 7 to 9, 2020. The results show that this fog event formed under the combined effects of stable atmospheric stratification, sufficient water vapor conditions and a weak wind environment. Analysis of specific humidity and divergence indicates that there was obvious water vapor convergence over the airport during the fog development. Frontogenesis function analysis reveals the dynamic mechanism for the formation and maintenance of the fog, while vertical velocity field and temperature vertical profile reflect the inhibiting effect of the inversion layer on the

development of the fog layer. This fog event is characterized by long duration and large visibility fluctuation, which has caused a significant impact on airport operation.

Keywords

Fog, Maotai Airport, Frontogenesis Function, 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

大雾是严重影响航空安全的灾害性天气之一,低能见度条件会导致航班延误、取消甚至备降,给航空公司和旅客带来巨大经济损失。贵州地处云贵高原东部,地形复杂,冬季受静止锋和辐射冷却影响,大雾天气频发。茅台机场位于贵州省仁怀市,海拔约 1200 米,属于山地机场,其大雾天气具复杂多变的特点。我国大雾天气特征研究已取得丰富成果。柳艺等[1]分析了昆明长水机场一次大雾天气,发现东西两侧的南北走向山脉、南支槽前水汽的补充和低云保温保湿的共同作用则是这次大雾长时间持续的重要原因。杨静等[2]发现贵州锋面雾是出现在静止锋后的一类天气,伴有低温阴雨现象,多出现在贵州中西部(105°~108°E、25.5°~27.5°N)地区,并伴随锋面弱降水;周涛等[3]采用贵州 84 个测站累计 44a 的雾资料,分别从各站多年平均雾日、各站累年出现雾日最多的月份及日数、各站雾最长持续时间、白天雾与夜间雾的概率分布等要素入手,分析了贵州雾的时空分布气候特征;方乐等[4]则发现大雾的发生和 850 hpa 水汽输送和浅薄逆温层息息相关。然而对于茅台机场的大雾特征及形成机理研究仍较为薄弱,亟需开展针对性研究。因此,深入分析茅台机场大雾过程的形成机制和演变规律,对于提高大雾预报准确率、保障航空安全具有重要意义。

本文选取 2020 年 1 月 7~9 日发生在茅台机场的一次大雾过程,利用 ERA5 再分析资料和机场地面观测数据,从大尺度环流背景、水汽条件、动力条件、热力条件等多个角度进行综合分析,以期揭示该次大雾过程的形成机制和维持原因,为今后类似天气过程的预报提供参考依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

本研究使用的资料包括:

- (1) ERA5 再分析资料:水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间分辨率为 1 小时,要素包括位势高度、温度、风场、相对湿度、垂直速度等,用于分析大尺度环流背景和水汽、动力、热力条件。
- (2) 茅台机场地面观测资料:包括跑道视程(RVR)、风向、气温、云底高等要素,时间分辨率为 1 小时,用于分析大雾过程的演变特征。

2.2. 研究方法

- (1) 风向分析:利用分风向 RVR 箱线图分析风向和能见度之间的关系。
- (2) 比湿及散度分析:计算 400 hPa 以上的比湿和散度,分析水汽辐合辐散特征。
- (3) 锋生函数分析:采用 Pettersen 锋生函数,分析锋生锋消对大雾形成的影响。

- (4) 垂直剖面分析：沿 106.5°E 做垂直速度剖面，分析垂直运动特征。
- (5) 环流形势和低层风场分析：分析 500 hPa 形势场与 850 hPa 的风场演变，探讨不同层次环流对大雾的影响。
- (6) 逆温层分析：利用机场上空逆温层变化探究其与大雾生消的关系。

3. 大雾过程概况

3.1. 大雾演变特征

根据茅台机场地面观测资料，2020 年 1 月 7~9 日出现了一次持续性大雾天气过程，各要素变化如图 1 所示。从 RVR (跑道视程) 时间序列可以看出。

起始阶段(1 月 6 日夜间~1 月 7 日凌晨)：1 月 6 日 20 时前后，RVR 开始下降，从 2000 米以上迅速降至 200 米左右，标志着大雾开始形成。

短时抬升阶段(1 月 7 日)：1 月 7 日白天，能见度呈现剧烈波动特征。整体转好，但有短时波动。这种波动与风向的显著变化密切相关——当风向为偏南风(约 120°)时能见度较好，而当风向转为偏北风(约 300°)时能见度迅速下降。

强盛阶段(1 月 7 日夜间~1 月 8 日白天)：1 月 7 日 20 时后，RVR 再次大幅下降并维持在较低水平(200~800 米)，大雾进入强盛期。此期间能见度波动幅度减小，但低能见度持续时间延长。

消散阶段(1 月 9 日)：1 月 9 日凌晨，RVR 逐渐回升至 2000 米以上，大雾过程趋于结束。值得注意的是，1 月 9 日晚间能见度再次出现短暂下降，显示雾层消散过程的复杂性。

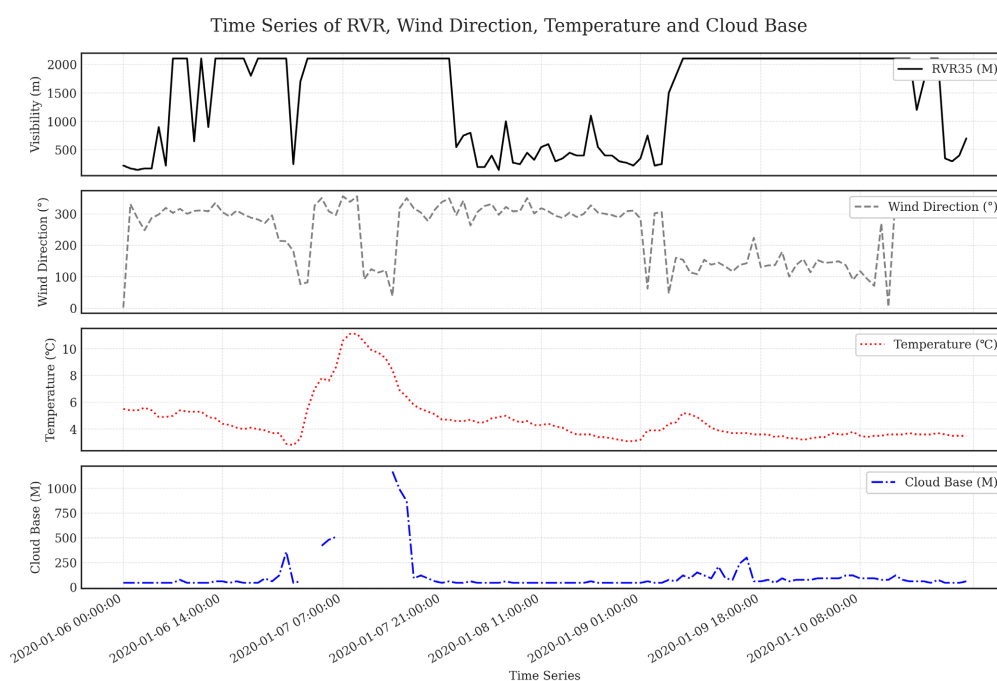


Figure 1. Sequence diagram of each element

图 1. 各要素时序图

3.2. 气象要素特征

温度变化：大雾期间气温维持在 3~11℃ 之间，整体较为平稳。1 月 7 日中午出现一次明显的升温过

程, 气温从 3℃左右升至 11℃以上, 这与当时风向转为偏南风、暖湿气流影响有关。升温期间能见度短暂好转, 但随后温度回落, 大雾再次发展。

风向特征: 风向在大雾过程中呈现规律性变化(见图 2)。西风和西北风对应较差的能见度, 南风 and 西南风对应较好的能见度条件, 其余风向对应最好的能见度。这种风向 - 能见度的相关性反映了不同气团性质对雾层的影响。

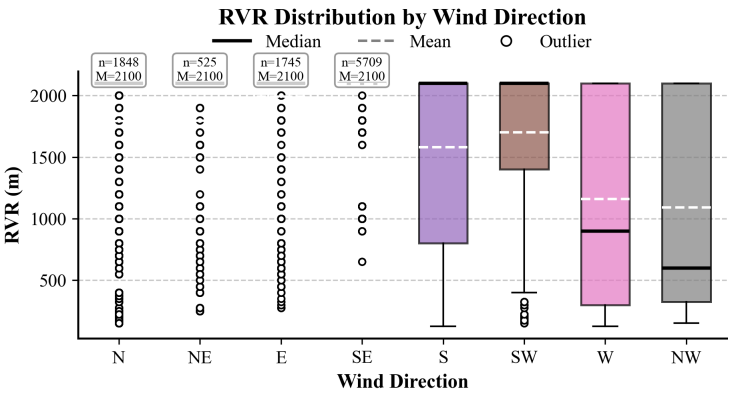


Figure 2. Box plot of RVR by wind direction
图 2. 分风向 RVR 箱线图

云底高度: 云底高度时间序列显示, 大雾期间云底高度普遍较低(多在 500 米以下), 且与 RVR 变化趋势基本一致。低云底高度表明近地面层湿度大、大气稳定, 有利于大雾的维持。

4. 大尺度环流背景和中低层风场特征

4.1. 500 hPa 形势

从 500 hPa (图 3)可以看出, 贵州整体处在较为平直西风气流中, 河套地区有一冷槽, 槽后西北冷空气南下至贵州西北侧, 华东到东海区域为暖脊, 脊后气流又引导的低层暖空气北上, 使得贵州区域低层冷暖空气活动比较明显, 为大雾急剧生消的形成提供了有利的环流背景。

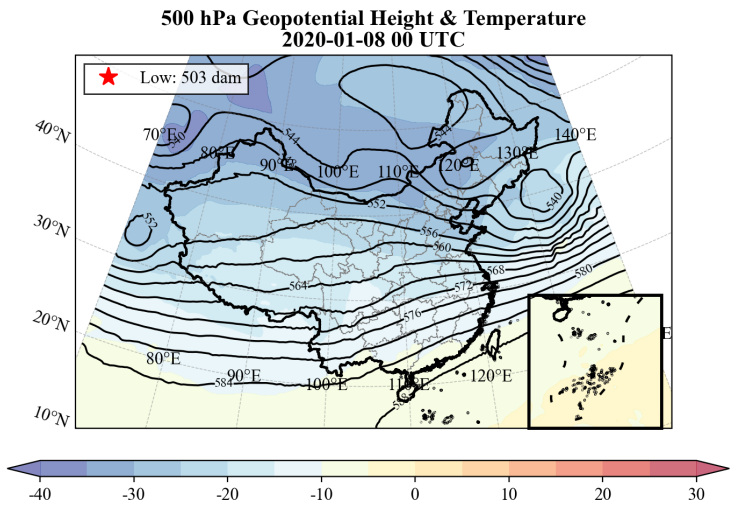


Figure 3. Circulation pattern at 500 hPa
图 3. 500 hPa 环流形势

4.2. 850 hPa 风场特征

850 hPa 风场(图 4)显示,低层环流对大雾的形成和演变具有直接影响。1 月 7 日 00 时,850 hPa 贵州地区为弱偏北风,风速较小(2~6 m/s)。1 月 7 日 12 时,850 hPa 风速增大,风向转为偏南风,暖湿气流北上。1 月 8 日 00 时至 1 月 8 日 12 时,贵州大部 850 hPa 风速再次增大,形成明显的西南急流,最大风速超过 8 m/s,与此同时,本场处于切变线西北侧的西北风控制之下,1 月 8 日夜间,切变线再次南推,至贵州中部,本场东侧为西北风及东北风的弱辐合,大雾依然持续,1 月 9 日早晨,切变推至贵州省南部,本场水汽辐合减弱,有利于大雾消散。

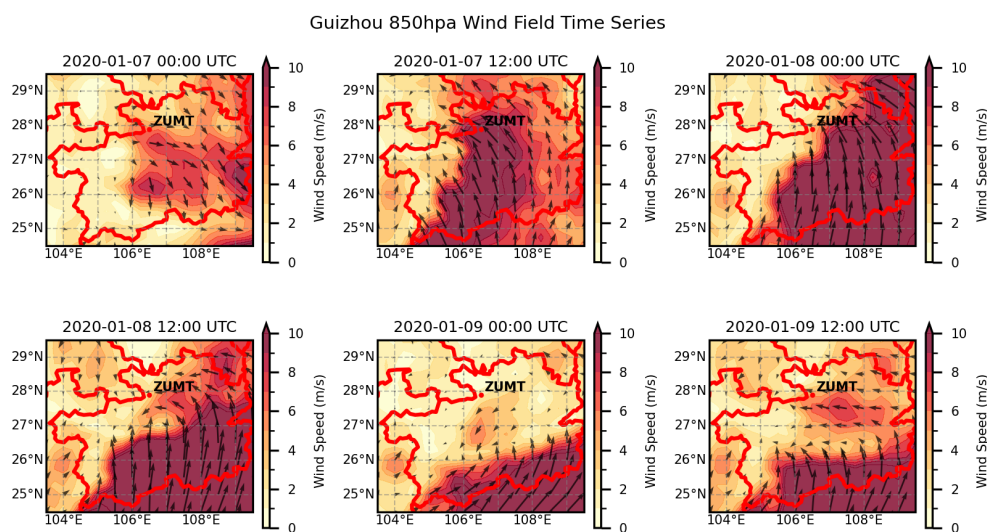


Figure 4. Wind field at 850 hPa
图 4. 850 hPa 风场

5. 水汽和散度条件分析

5.1. 比湿

比湿是表征水汽含量的重要物理量。数值越大,水汽含量越充沛。从时间时间序列可以看出:范围内经度区域,因为低层东南风的影响比湿基本经历了增加再减少的过程,在起雾时,比湿在茅台机场上空 900 hPa~700 hPa 基本维持在 6.5 g/kg 以上,而且,1 月 7 日夜间至 1 月 8 日夜间,贵州区域内比湿超过 8 g/kg 的范围逐渐增大北界也逐渐北移,高度延伸至 800 hPa~700 hPa 之间,而 8 日后,高湿区范围略有减小,北界稍有南移,水汽的变化为判断大雾生消提供了先决参考条件(图 5)。

5.2. 散度

散度是描述物质在一个区域流入流出的物理量,正值代表辐散,负值代表辐合。在 1 月 7 日早晨,茅台机场上空 850 hPa 以下为辐散区,数值约为 $10 \times 10^{-5}/s$, 850 hPa~700 hPa 为辐合区,数值约为 $-10 \times 10^{-5}/s$,至 7 日夜间,850 hPa 左右开始伴随锋生转为辐合区,且数值增大为 $-10 \sim -20 \times 10^{-5}/s$,以上反而转为辐散区。在大雾强盛的 8 日全天,辐合强度最高,强中心延展至 800 hPa 或以上,强度达到 $-30 \times 10^{-5}/s$,上部辐散区也随之上移,强度约为 $10 \times 10^{-5}/s$,9 日早晨,上空辐合强中心强度减弱为 $-20 \times 10^{-5}/s$,高度维持在 800 hPa 附近。在整个区域,伴随大雾生消进展,辐合强中心的纬度和高度也有着明显变化,大雾生成前夜,辐合强中心已在 27°N 生成,但强度只有 $-20 \times 10^{-5}/s$ 左右,1 月 8 日早晨,辐合强中心散

度加强为 $-50 \times 10^{-5}/s$ 以上,此时大雾发展为浓雾,1月8日夜间,强中心南移至 $26.8^{\circ}N$ 左右,强度未变,1月9日早晨,移动至 $26^{\circ}N$ 左右。散度中心变化,与锋面移动息息相关,也是形成大雾的水汽是否能聚集的重要条件(图5)。

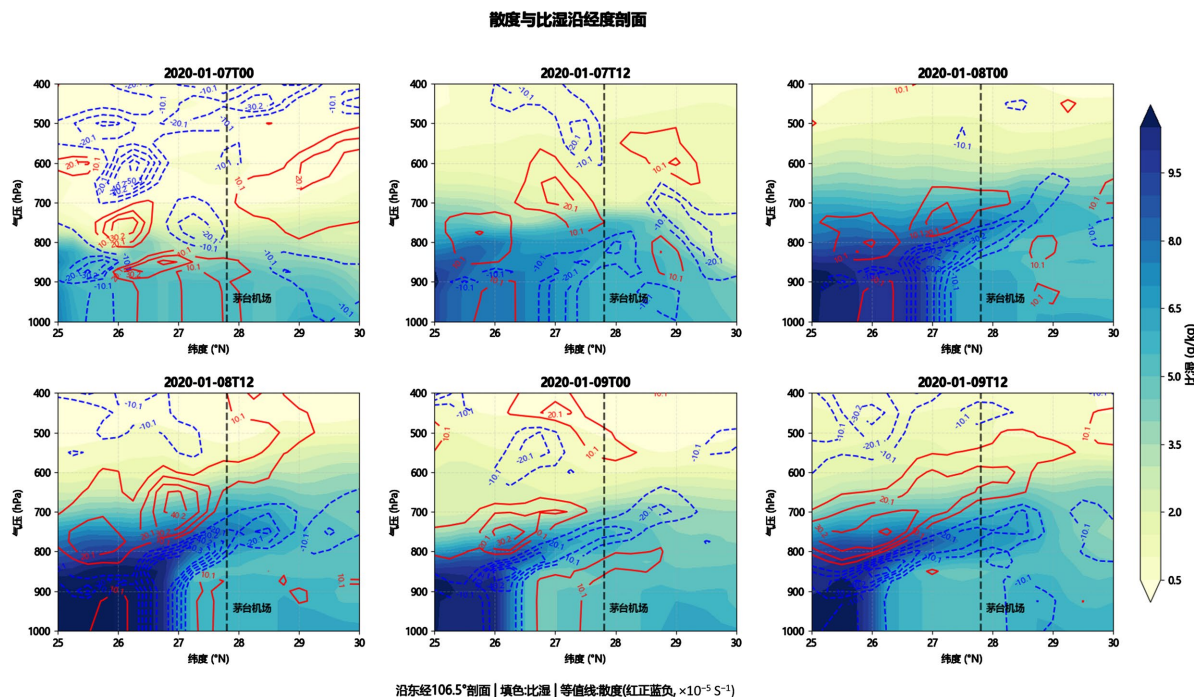


Figure 5. Cross section of divergence and specific humidity along $106.5^{\circ}E$

图 5. 沿 $106.5^{\circ}E$ 散度与比湿剖面图

6. 动力条件分析

6.1. 锋生函数分析

锋生函数反映了锋面生消的强度和位置。本文在处理锋生函数时,让最大值仅为 $2.0 K/km \times 3 h$,大于此值的,用纯白色填色,这样就能反应更多弱锋生函数的细节。1月7日00时,贵州地区锋生函数值较小,尤其贵州中北部大部分地区为锋消区(蓝色),茅台机场附近锋生作用不明显。1月7日12时,形势发生显著变化,贵州中北部出现大范围锋生区(红色),茅台机场位于强锋生中心附近,锋生函数值超过 $1.6 K/km \times 3 h$ 。这种锋生作用表明,冷暖空气在茅台机场附近交汇,形成了明显的温度梯度,有利于锋面的形成。1月8日00时,锋生区范围扩大南移,强度维持,茅台机场仍处于锋生区控制之下。1月8日12时,主要锋生区东移南压,但茅台机场处于另一附近锋生中心。1月9日,主要锋生区移至贵州南部,本场主要处于弱锋生作用,且紧邻本场东侧有锋消区,锋面活动减弱,大雾逐渐消散。锋生函数的演变与大雾的发展阶段高度吻合。1月7日12时前后的强锋生对应大雾的快速发展期,而1月9日则对应大雾的消散期。这表明锋面活动是此次大雾过程的重要动力机制(图6)。

6.2. 垂直速度场分析

垂直速度是表征大气垂直运动的重要物理量。从沿 $106.5^{\circ}E$ 的垂直速度剖面可以看出:1月7日00时, $27.8^{\circ}N$ 附近(茅台机场所在纬度)整层(400~600 hPa)为下沉运动,无明显锋面活动,这种配置有利于稳

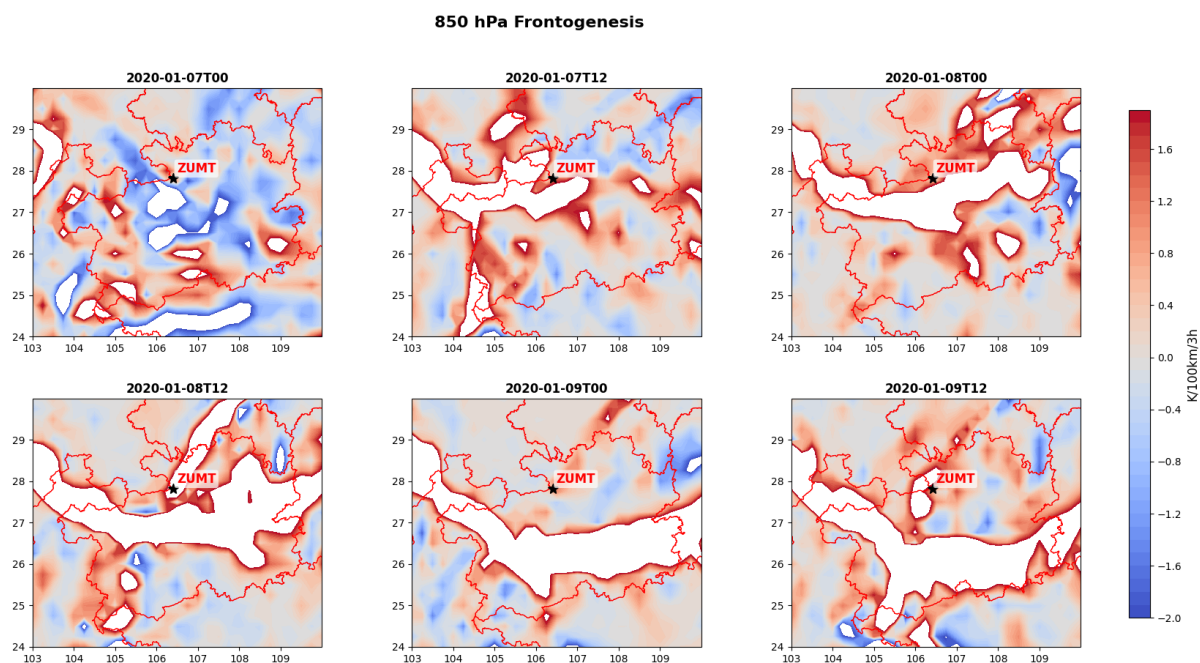


Figure 6. Frontogenesis function at 850 hPa

图 6. 850 hPa 锋生函数

定层结的建立。1月7日12时,茅台机场上空整体还是维持下沉运动,但周边纬度已出现明显弱上升运动,低层上升运动增强,至8日00时(UTC),机场上空已转为上升气流控制,最强可达 -1.2 pa/s ,对应水汽的抬升凝结和大雾的发展。至1月9日00时,低层才出现明显的下沉运动,高度约为800 hPa,对应锋面南移,有利于雾层消散(图7)。

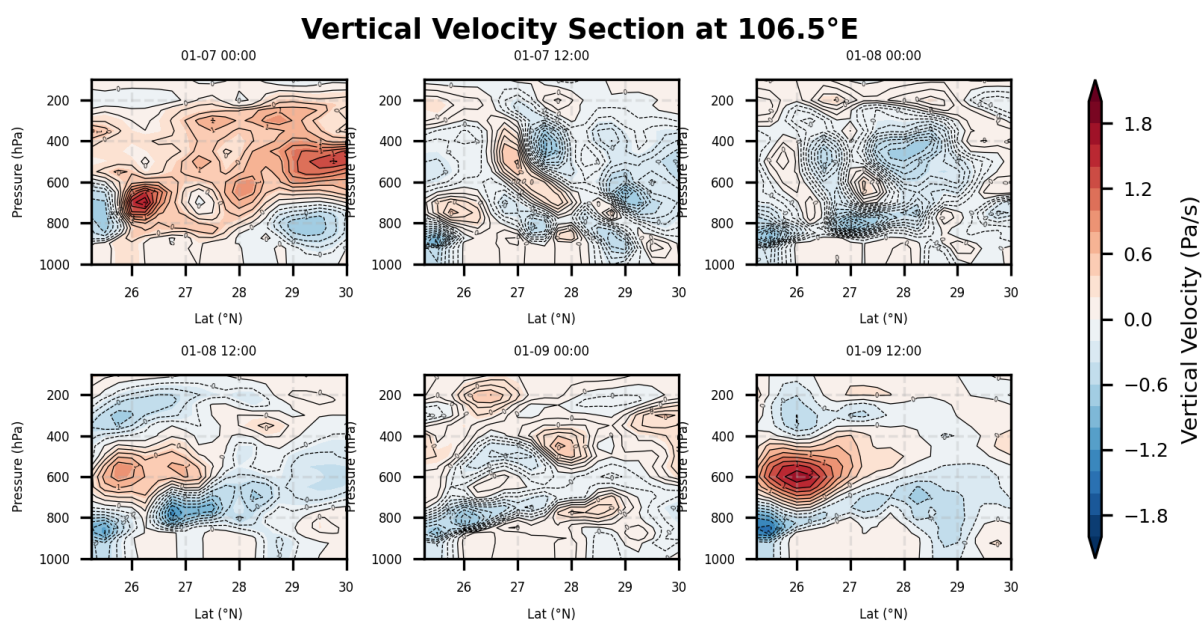


Figure 7. Vertical velocity along 106.5°E

图 7. 沿 106.5E 的垂直速度图

7. 温度剖面分析

从高空温度时序图可以看出大雾期间的大气层结特征：1月7日00时，低层(800~1000 hPa)存在明显的逆温层，温度随高度增加而升高，逆温强度约3~6℃。这种逆温层抑制了空气的垂直交换，使近地面层水汽和污染物难以扩散，有利于大雾的形成。但经过白天太阳辐射和低层暖平流的增温作用，1月7日白天，逆温层消散，温度升高导致能见度短暂好转，1月8日00时至1月8日12时，逆温层再次加强并维持，800 hPa为0~3℃，700 hPa为3~6℃，形成了稳定的“上冷下暖”层结。这种稳定的层结条件使大雾得以持续。1月8日晚，机场上空逆温层短暂消失，对应了大雾消散，此时低云维持，可能与锋面南移有关，所以判断锋面位置的移动对大雾预报也至关重要(图8)。

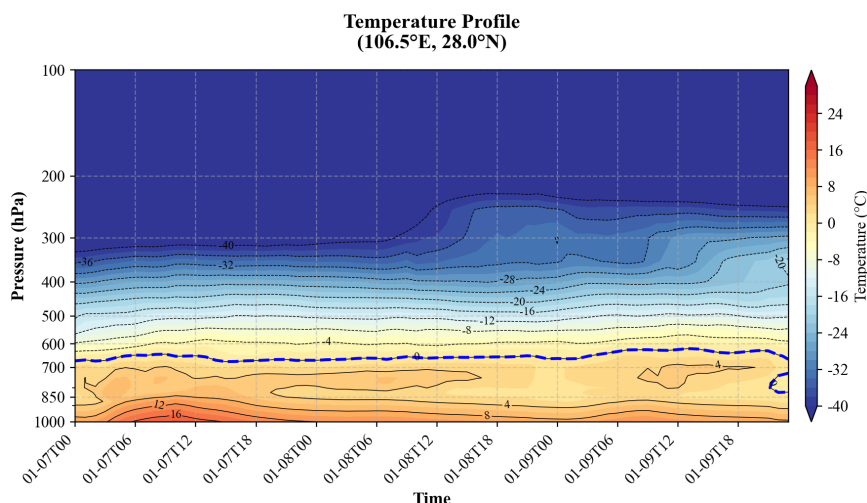


Figure 8. Time series of upper-air temperature at a single station
图8. 单站点高空温度时序图

8. 结论与讨论

8.1. 主要结论

(1) 2020年1月7~9日茅台机场大雾过程是一次持续时间长、影响范围广的持续性大雾天气，RVR最低降至200米左右，对机场运行造成严重影响。

(2) 风向变化对大雾演变具有显著影响。西风 and 西北风对应冷空气和较差的能见度，其他风向对应较好能见度。

(3) 大雾形成的大尺度环流背景是河套一带有冷槽，华东到东海有暖脊，槽后冷空气和脊后暖空气是造成本场锋面活动的重要原因，且850 hPa偏南急流为贵州地区输送了大量暖湿空气。

(4) 水汽条件是此次大雾形成的关键因素。从比湿分析显示，在大雾维持时，比湿基本达到6.5 g/kg。

(5) 锋生函数分析表明，冷暖空气交汇形成的锋生作用是雾发展的重要动力机制，且锋面位置与雾演变息息相关。

(6) 逆温层是此次大雾及低云得以持续的重要热力条件。逆温层抑制了空气垂直交换，使雾层和低云得以维持。

8.2. 讨论

本文主要基于ERA5再分析资料和地面观测数据进行分析，对于微物理过程(如雾滴谱演变、凝结增

长等)和地形影响的分析还不够深入。未来可以结合高分辨率数值模式输出和卫星遥感资料,进一步研究茅台机场大雾的微物理特征和地形效应,提高大雾预报的精细化水平。此外,此次大雾过程中出现的能见度剧烈波动现象(“时隐时现”)值得进一步研究。这种波动可能与局地环流、地形扰动或雾层结构的时空变化有关,需要更高时空分辨率的观测资料来揭示其物理机制。

参考文献

- [1] 柳艺,朱颖墨,刘翔卿,等. 昆明长水机场一次高影响大雾天气成因分析[J]. 高原山地气象研究, 2026, 46(2): 86-91.
- [2] 杨静,杜小玲,朱文达,等. 贵州锋面雾的基本特征及静止锋进退对其生消的影响分析[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(5): 496-507.
- [3] 周涛,周成霞. 贵州雾的时空分布特征[J]. 贵州气象, 2005(S1): 32-34.
- [4] 方乐,肖蔓婷. 黄山机场一次大雾天气过程分析[J]. 农业灾害研究, 2026, 16(2): 257-259.