

贵阳机场一次辐射雾天气过程分析

罗 阳, 杨凤婷, 杨新宇

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年8月20日; 录用日期: 2023年9月18日; 发布日期: 2023年9月26日

摘 要

利用贵阳机场常规地面观测资料和高空资料、贵阳站探空资料、自动观测站数据, 对2022年3月7日贵阳机场一次辐射雾天气过程的大尺度环流背景、物理量条件以及地面气象要素的变化特征进行分析。结果表明, 在大雾过程期间, 高空以脊前或高压前部西北到偏西气流为主, 地面为高压控制; 近地面处于微风状态、夜间辐射冷却降温、低层充足的水汽及逆温层的建立利于辐射雾的生成。

关键词

辐射雾, 逆温层, 能见度, 贵阳机场

Analysis of a Radiation Fog Weather Process at Guiyang Airport

Yang Luo, Fengting Yang, Xinyu Yang

Guizhou Air Traffic Control Sub-Bureau of CAAC, Guiyang Guizhou

Received: Aug. 20th, 2023; accepted: Sep. 18th, 2023; published: Sep. 26th, 2023

Abstract

Using Guiyang Airport ground observation data and high-altitude data, sounding data from Guiyang station, and data from automatic observatories, this paper analyzes the large-scale circulation background, the physical quantity conditions and the change characteristics of the surface meteorological elements of a radiation fog weather process on March 7, 2022 at Guiyang Airport. The results show that during the foggy process, the upper air is dominated by the northwest to west airflow in front of the ridge or the front of the high pressure and the ground is controlled by the high pressure; the near-surface is in a breezy condition, radiative cooling at night, sufficient water vapor in the low layers and the establishment of an inversion layer are conducive to the generation of the radiation fog.

Keywords

Radiation Fog, Inversion Layer, Visibility, Guiyang Airport

Copyright © 2023 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

雾是对航空器活动有着巨大影响的重要天气之一,在民航气象中,雾被定义为近地面空气中水汽凝结或者凝华而使得主导能见度降低到小于 1000 m 的现象。机场出现雾时,由于影响飞行员在起飞和降落过程中目视跑道,会严重地妨碍飞机的起飞和着陆,若处理不好,还会危及飞行安全。因此,对于民航气象来说,研究和分析雾的起因、消散机制对准确预报雾的起止时间具有指导性的作用,同时雾的准确预报也将为用户制定有效的运行决策和提升航班运行正常性提供显著的帮助,对提高民航服务质量具有重大意义。近年来,国内众多机场气象台、气象站对于雾的各个方面都做了大量的研究与讨论,并取得了一定的成果,滕林等[1] [2]认为典型的辐射雾形成过程需要微风、少云、低层湿度和较低的稳定层结。喻晗等[3]指出锋面附近冷暖平流的交汇有利于锋面雾的发生。王爽等[4]对一次辐射平流雾进行研究,认为稳定的大尺度环境、逆温层、充沛的水汽和地面辐射冷却对大雾的形成和维持有明显作用。为提高对于雾的预报能力,刘熙明等[5] [6]分析了雾的水汽来源和边界层特征,指出冷空气的侵入使边界层相对湿度减小,风速和风速垂直切变增大,破坏近地面大气边界层的结构,导致大雾的消散。曹伟华等[7]讨论逆温层与雾的关系,认为边界逆温层的是低能见度过程形成的必要条件,但并不最终决定其强度。刘贵萍等[8]探索了雾的精细化预报的可行性。研究人员从气候学和天气学的角度出发,对各个地区的大雾时空分布特征进行分析,均为大雾天气的预报和科研奠定了良好的基础。

本文通过对 2022 年 3 月 7 日贵阳机场出现的一次辐射雾天气过程进行分析及讨论,以期寻找此次辐射雾过程的形成及消散原因,为今后贵阳机场此类相似过程的预报工作提供一定的参考价值。

2. 过程简介及资料方法

贵州地貌类型复杂,贵阳龙洞堡国际机场(26°N, 106°E)位于贵州省中部贵阳市东部,机场两条跑道呈现南北走向。此次大雾过程从 3 月 7 日 04 时 05 分(北京时,下同)开始,至 3 月 7 日 10 时 21 分结束,期间最低主导能见度 100 m,跑道视程(RVR) 200 m。

利用贵阳机场 2022 年 3 月 6~7 日常规地面观测资料和高空资料、贵阳站探空资料、自动观测站数据,通过天气学分析及物理量诊断的方法,从地面要素、大尺度环流背景、物理量条件等方面入手,对本次天气过程进行分析和讨论。

3. 地面气象要素分析

贵阳机场此次辐射雾天气过程的主导能见度和 RVR 随时间变化趋势如图 1 所示。从图中可以看出整个过程曲线类似“U”型,在 7 日 04 时之前主导能见度和 RVR 数值呈波动降低趋势,从 04 时开始,主导能见度和 RVR 急剧下滑至 1000 m 以下,RVR 也下降到 500 m 以下,天气现象由轻雾转变成了雾。在 04 时 26 分主导能见度达到 300 m,此后至 08 时 27 分稳定维持在此次过程的最小值 100 m,RVR 为 175 m,随后逐步改善,在 10 时 21 分主导能见度和 RVR 上升至 1500 m 以上,天气逐渐转好,11 时主导能

能见度 4000 m 以上，整个过程结束。

利用贵阳机场 3 月 6 日 20 时~7 日 12 时地面常规观测资料分析相关的气象要素如图 2 所示，分别为风向、风速的变化时序图以及温度、露点、相对湿度的时序图。适宜的风场是有利于雾发生的条件之一，在雾天气发生时，近地面风速一般较小，能使水汽在原地滞留，有利于形成一定厚度的雾。图 2(a)为大

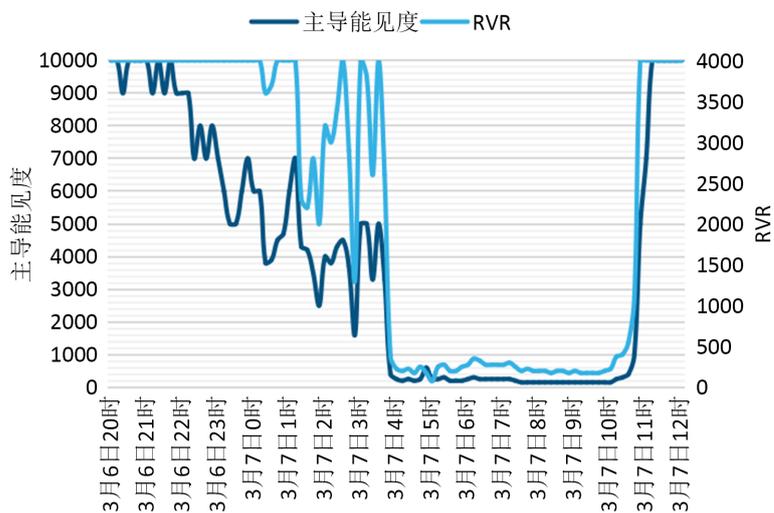


Figure 1. Time series plot of dominant visibility (unit: m) and RVR (unit: m) from 20:00 on March 6 to 12:00 on March 7, 2022

图 1. 2022 年 3 月 6 日 20 时~7 日 12 时主导能见度(单位:m)、RVR (单位:m)随时间变化序列图

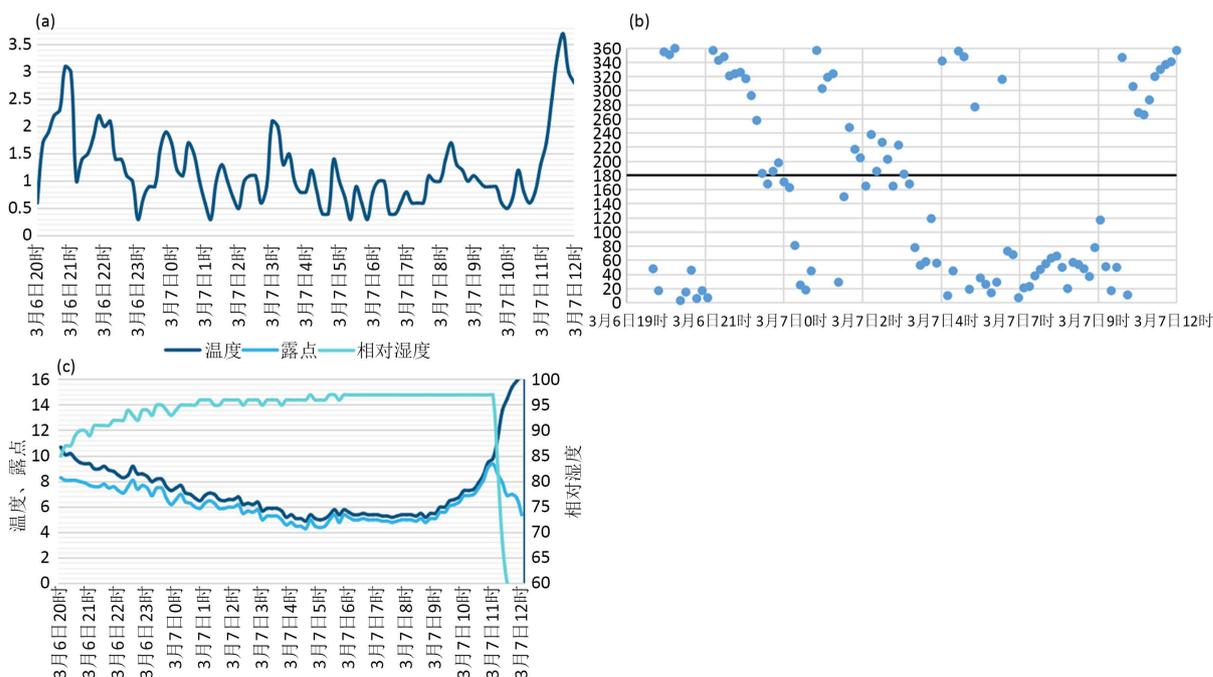


Figure 2. Time series plot of wind speed (a), wind direction (b), temperature, dew point and relative humidity (c) from 20:00 on March 6 to 12:00 on March 7, 2022 (wind speed unit: m/s, wind direction unit: $^{\circ}$, temperature and dew point unit: $^{\circ}\text{C}$, relative humidity unit: %)

图 2. 2022 年 3 月 6 日 20 时~7 日 12 时风速(a), 风向(b), 温度、露点、相对湿度(c)随时间变化序列图(风速单位: m/s; 风向单位: $^{\circ}$; 温度、露点单位: $^{\circ}\text{C}$; 相对湿度单位: %)

雾发生前后的风速变化，图 2(b)为大雾发生期间的风向变化。结合两张图可以看出，雾发生前风速最大为 3 m/s，在 6 日 21 时有明显的骤降，之后风速均不超过 2 m/s，风向由偏北风转为偏南风，源源不断地送来暖湿空气，有一定程度的乱流发展，在雾过程期间，风速均不超过 1.5 m/s，风向也由偏南风逐渐转为偏北风，处于微风条件下，有利于水汽聚集和停留，使近地面水汽达到饱和，能见度迅速降低。7 日 11 时后，风速迅速增大，增强了空气的混合效应，从而使能见度迅速好转。

对于温度露点的变化曲线可以由图 2(c)看出，6 日 20 时之后，温度露点差值均在 2℃ 以下，在 7 日 04 时雾的过程开始之后，温度、露点曲线几近重合，在雾的持续时间内，温度露点差值在均为 0.4℃。相对湿度自 6 日 20 时起逐步上升，在 7 日 04 时之后稳定于 98%，时间一直持续至 11 时，由于太阳辐射增强，近地面温度大幅提高，露点温度急转直下，与此同时相对湿度呈直线骤降，雾天气消散。根据温度露点差值以及相对湿度的关系，在此段时间内，水汽达到饱和状态，近地面空气湿度大，水汽充足，是雾天气得以维持的重要条件之一。

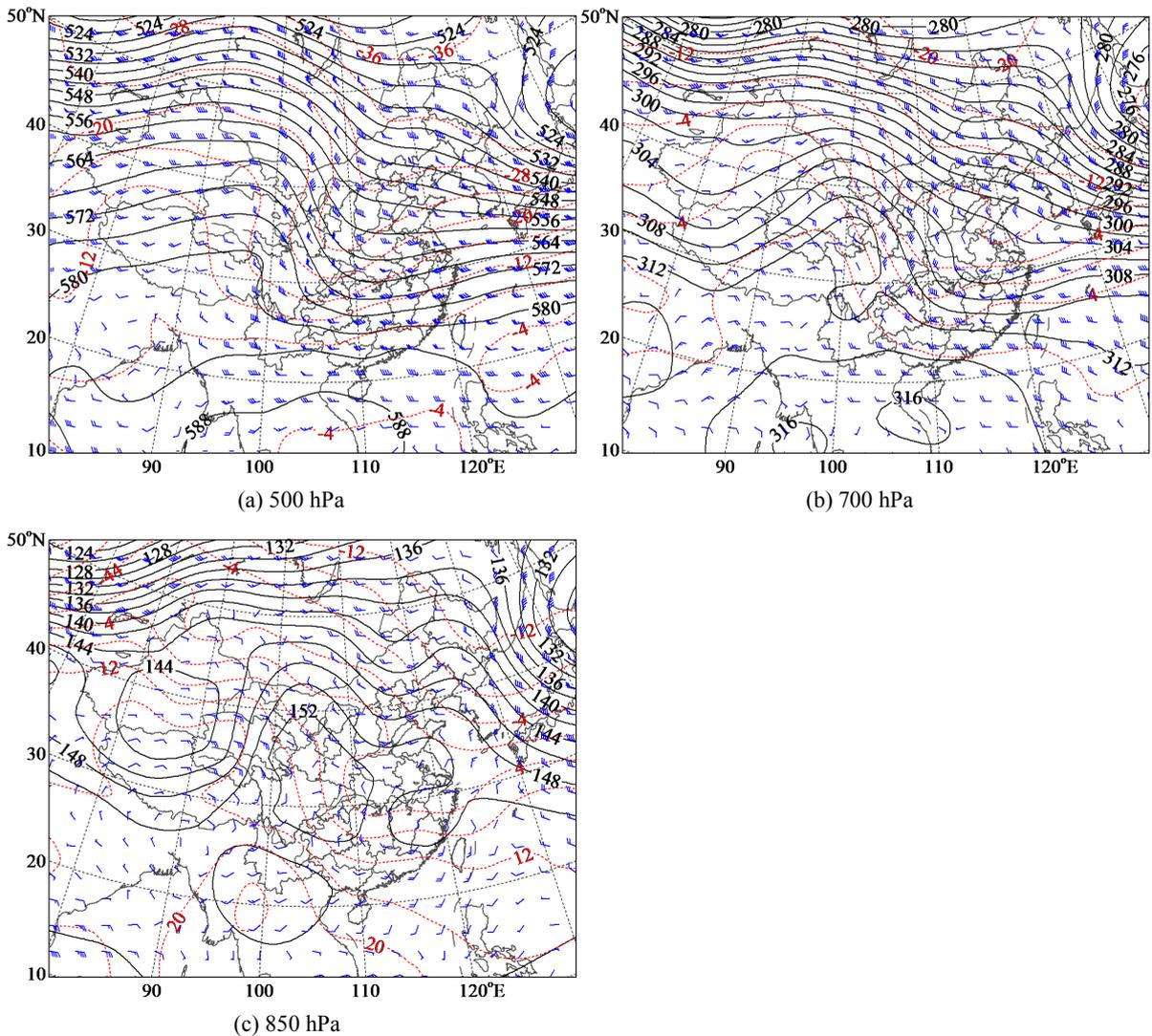


Figure 3. Potential height field, temperature field and wind field at (a) 500 hPa, (b) 700 hPa and (c) 850 hPa at 20:00 on the 6th (solid line is the isopotential height line, unit: dagpm; dashed line is the temperature field, unit: °C; wind vector field, unit: m/s)
图 3. 6 日 20 时 (a) 500 hPa, (b) 700 hPa 和 (c) 850 hPa 的位势高度场、温度场和风场 (实线为等位势高度线, 单位: dagpm; 虚线为温度场, 单位: °C; 风矢量场, 单位: m/s)

4. 环流形势分析

大尺度环流背景的特征对于大雾天气过程的产生和消散都有决定性的作用。

在此次辐射雾天气过程中, 6日20时的环流形势如图3所示, 在500 hPa的天气图中, 低压槽从黄河中下游一带穿过重庆地区至贵州东部边缘, 贵阳地区受槽后脊前西北气流控制。700 hPa上, 前期还位于四川东部的切变线逐渐移动至贵州南部, 此时贵阳地区主要受西北气流影响, 以冷平流为主。850 hPa上, 冷高压中心位于四川东部与陕西的交界处, 贵阳地区处于冷高压的底部, 受冷平流控制, 在这样的环境配置中, 大气运动在垂直方向上是辐散下沉的, 且有利于天空状况的打开, 为大雾提供较好的辐射降温条件。在地面图上(图略), 我国大部分地区受高压控制, 贵阳地区处在高压底部外围, 受微弱的偏东北风影响。在这样的环境配置中, 大气辐散下沉, 天气晴好, 风速微弱, 为辐射雾的形成提供有利的条件。

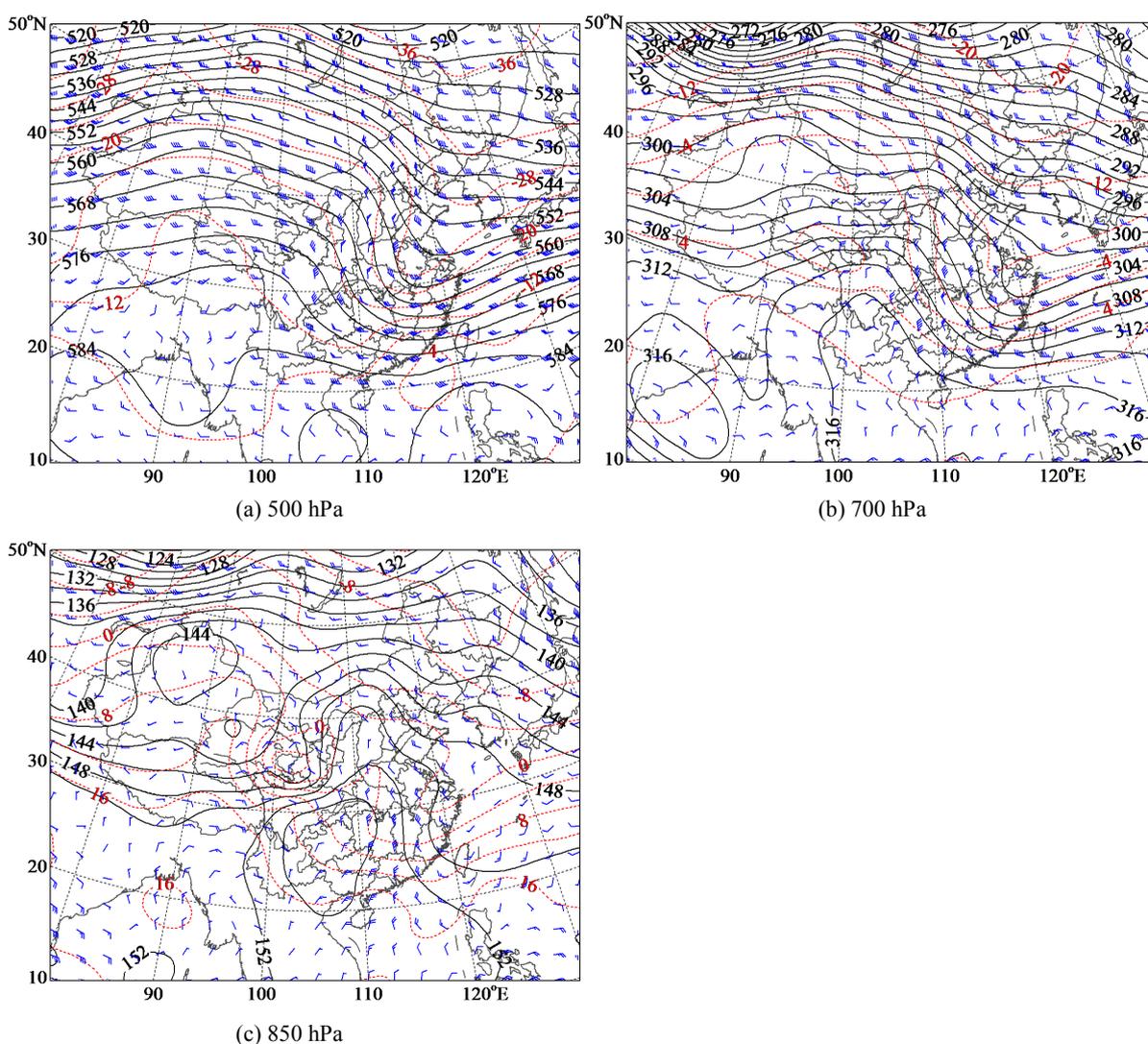


Figure 4. Potential height field, temperature field and wind field at (a) 500 hPa, (b) 700 hPa and (c) 850 hPa at 08:00 on the 7th (solid line is the isopotential height line, unit: dagpm; dashed line is the temperature field, unit: °C; wind vector field, unit: m/s)

图4. 7日08时(a) 500 hPa、(b) 700 hPa和(c) 850 hPa的位势高度场、温度场和风场(实线为等位势高度线, 单位: dagpm; 虚线为温度场, 单位: °C; 风矢量场, 单位: m/s)

7日08时的环流形势如图4所示,在大雾过程发生期间,500 hPa上控制我国地区的高压脊和低压槽整体东移,且强度增强,低压槽从沿海地区延伸至广西北部,贵阳地区处在槽后脊前的位置,受西北气流控制,使辐散下沉运动的强度增强。700 hPa上,切变线东移至我国东部沿海地区,贵阳地区处在高压脊的控制范围内,受西北气流影响。850 hPa上,贵阳地区处在冷高压中心,受高压控制,这样的环境配置使得气流辐散下沉加剧,有利于形成稳定的大气层结,进一步促使近地面水汽聚集,使得近地面水汽含量增加,同时对逆温层有一定的影响。地面图上(图略),冷高压中心位于贵阳、湖南与重庆的交界处,贵阳地区受高压控制,风速微弱,有利的风场条件使水汽在近地面滞留。

5. 物理量诊断分析

5.1. 水汽条件

与云的形成过程一样,雾的形成也需要水汽达到饱和凝结状态[9],因此充足的水汽含量也是辐射雾产生的重要条件之一。图5分别给出了大雾过程期间700 hPa和850 hPa上的水汽通量和水汽通量散度的情况。从图中可以看出,6日20时,700 hPa上水汽通量大值区位于贵州东南部,贵州大部水汽通量散度为正值,贵阳地区存在明显的水汽辐散。同时850 hPa上贵阳地区水汽相当充沛,水汽通量大值区依

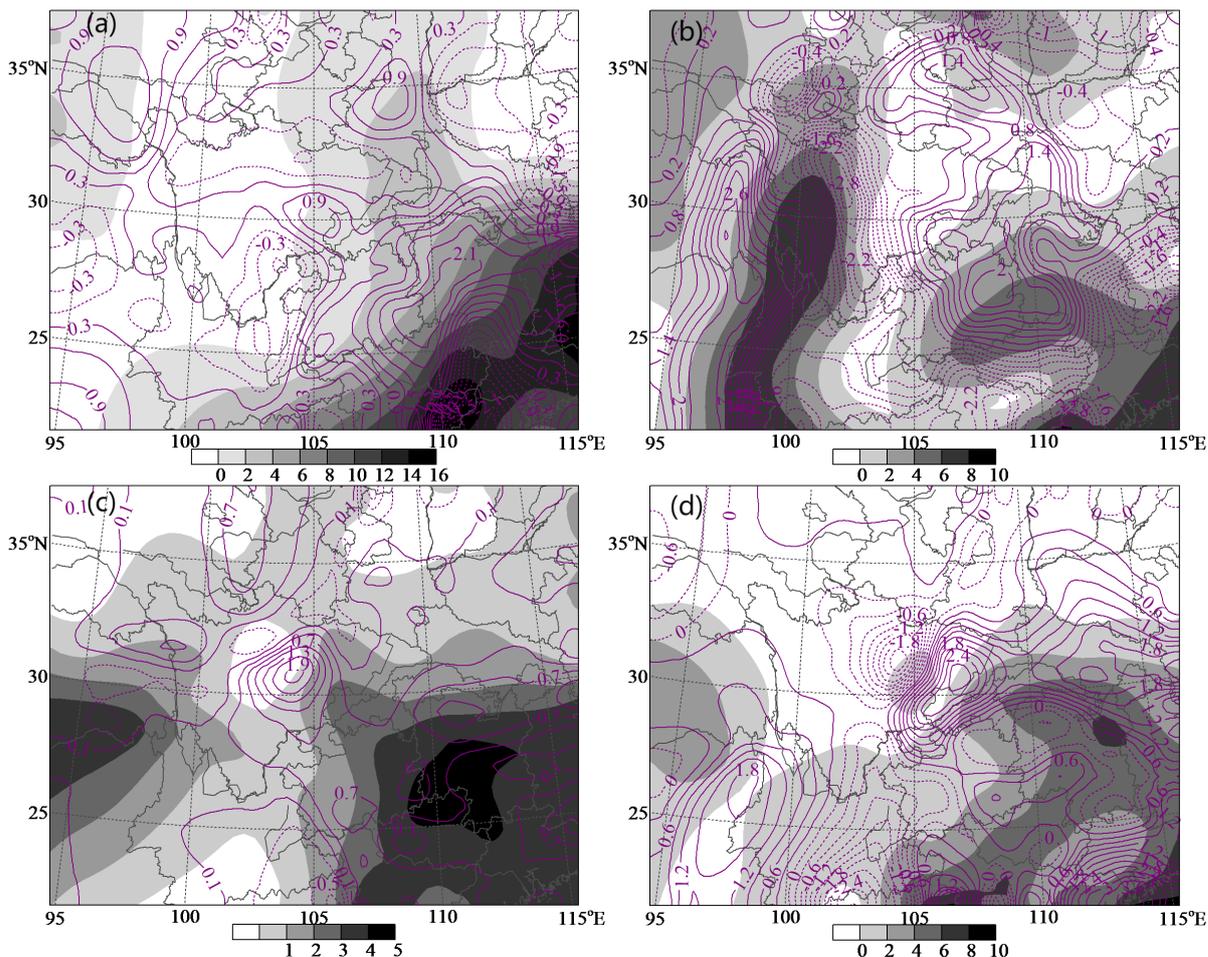


Figure 5. Vapor flux (shaded, unit: $g/(cm \cdot hPa \cdot s)$) and moisture flux divergence (curves, unit: $g/(cm^2 \cdot hPa \cdot s)$) at 20:00 on the 6th (a) 700 hPa, (b) 850 hPa and at 08:00 on the 7th (c) 700 hPa, (d) 850 hPa

图 5. 6日20时(a) 700 hPa、(b) 850 hPa 和 7日08时(c) 700 hPa、(d) 850 hPa 水汽通量(阴影, 单位: $g/(cm \cdot hPa \cdot s)$)与水汽通量散度(曲线, 单位: $g/(cm^2 \cdot hPa \cdot s)$)示意图

旧位于贵州东南部,使得低层湿层厚度增加,从而快速达到饱和形成大雾。7日08时,700 hPa水汽含量与6日20时相比有所增加,且水汽通量散度在贵州地区南部有一个弱的辐散中心,但850 hPa水汽相对减少,且水汽通量散度没有明显的辐合或辐散,辐合强度减弱,辐散强度稍稍加强,大雾缓慢消散。

沿26°N做出的比湿垂直剖面图如图6所示,从比湿的垂直分布来看,随着高度的升高,比湿逐渐降低,6日20时,在700~850 hPa与925~1000 hPa之间等比湿线较密集,说明在底层有丰富的水汽含量,为雾的形成提供充足的水汽条件,随着高度往上,等比湿线逐渐稀疏,在400 hPa附近接近零值,表明高层较干。在大雾发生期间7日08时,近地面等比湿线更加密集,贵阳地区上空最大比湿值达到13 g/kg,参考机场实际观测资料,此时也为机场能见度最小值,大雾消散后,贵阳上空最大比湿值降低至9 g/kg,比湿的整体情况是由大变小,直观反映出辐射雾过程期间水汽的含量变化。

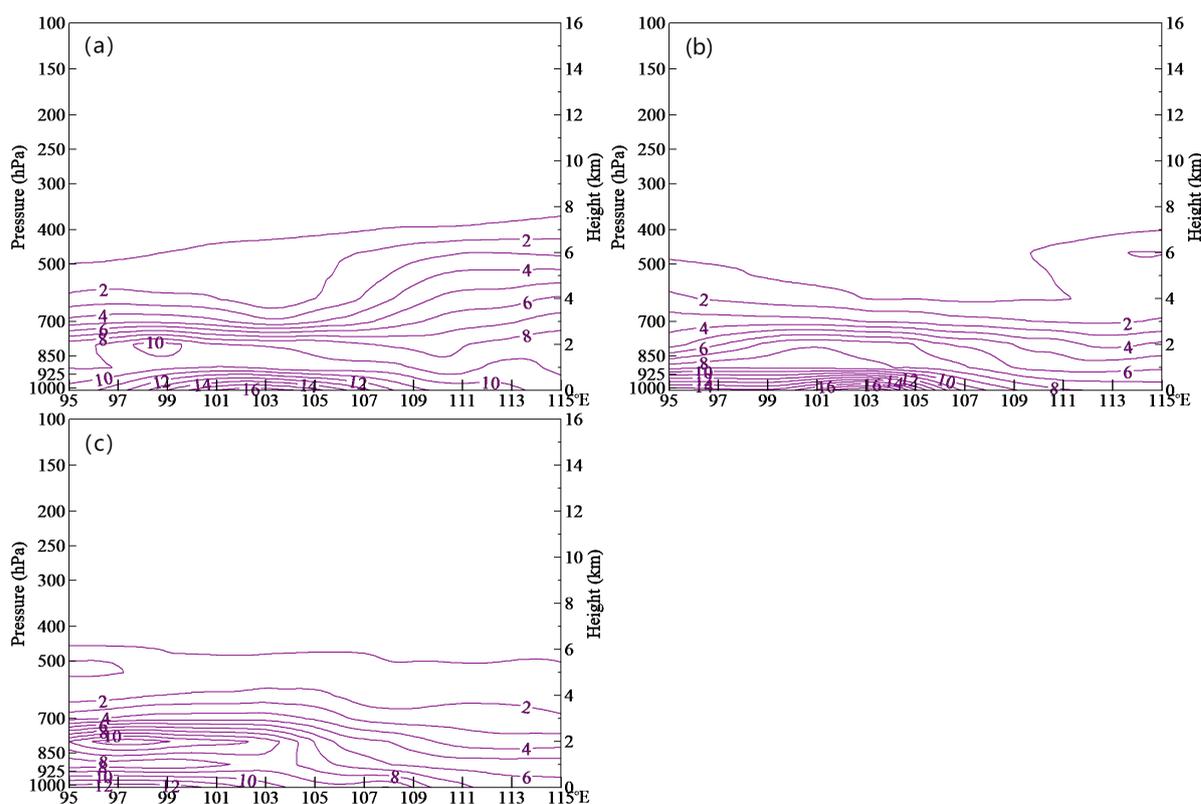


Figure 6. Vertical profiles of specific humidity (unit: g/kg) along 26°N at (a) 20:00 on the 6th, (b) 08:00 on the 7th, (c) 20:00 on the 7th

图 6. (a) 6日20时、(b) 7日08时、(c) 7日20时的比湿沿26°N(单位: g/kg)的垂直剖面示意图

5.2. 温度条件

对大雾发生前后对流层的温度平流垂直分布进行分析,如图7所示。6日20时,贵阳地区上空为一致的冷平流,与形势场上的西北气流和高压相对应,冷平流从地面到850 hPa随高度增加逐渐增强,在850 hPa附近存在一冷平流中心,并且冷平流在850 hPa至700 hPa随高度减弱,冷平流先随高度增大,在上层转为随高度减小,在小范围内形成上暖下冷的结构,对应探空曲线也可看出此处存在一逆温层。至7日08时,850 hPa以下贵阳地区为暖平流,且暖平流随高度逐渐降低,850 hPa以上逐渐转为冷平流,太阳辐射增强导致地面升温,不利于雾的维持。

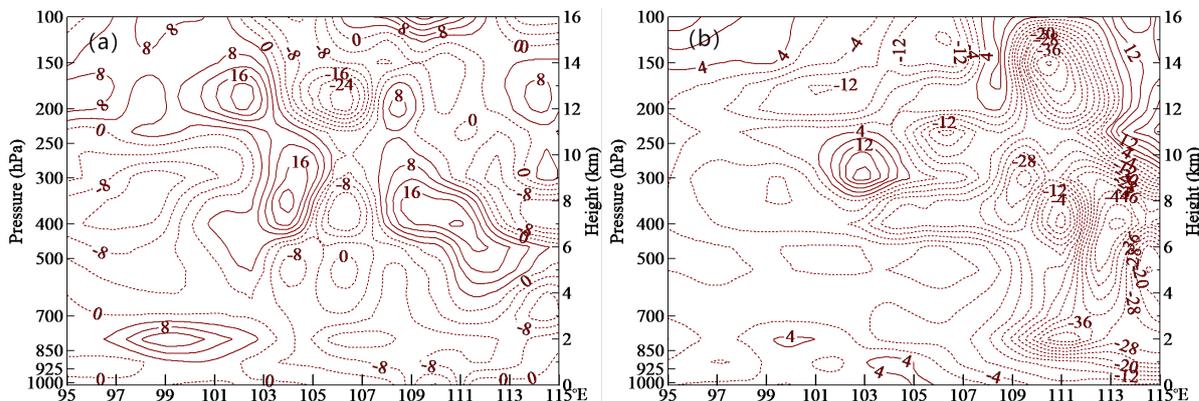


Figure 7. Vertical profiles of temperature advection (unit: 10^{-5} K/s) along 26°N at (a) 20:00 on the 6th, (b) 08:00 on the 7th
图 7. (a) 6 日 20 时、(b) 7 日 08 时的温度平流沿 26°N (单位: 10^{-5} K/s) 的垂直剖面示意图

5.3. 动力条件

大雾过程期间的垂直速度剖面图如图 8 所示, 6 日 20 时, 贵阳地区上空的垂直速度为趋近于 0, 弱的下沉运动配合低层弱的辐合上升运动, 使层结趋于稳定, 遏制水汽向高空的扩散, 对近地面维持湿区存在有利的作用。在 7 日 08 时, 贵阳地区上空为上升运动, 且有所增强, 持续性的上升运动不利于稳定层结的维持, 使水汽不断向高层输送, 雾的维持时间缩短, 之后大雾消散期间, 随着上升运动加强, 稳定层遭到破坏, 贵阳地区整层上空垂直速度均为负值区, 雾逐渐消散。

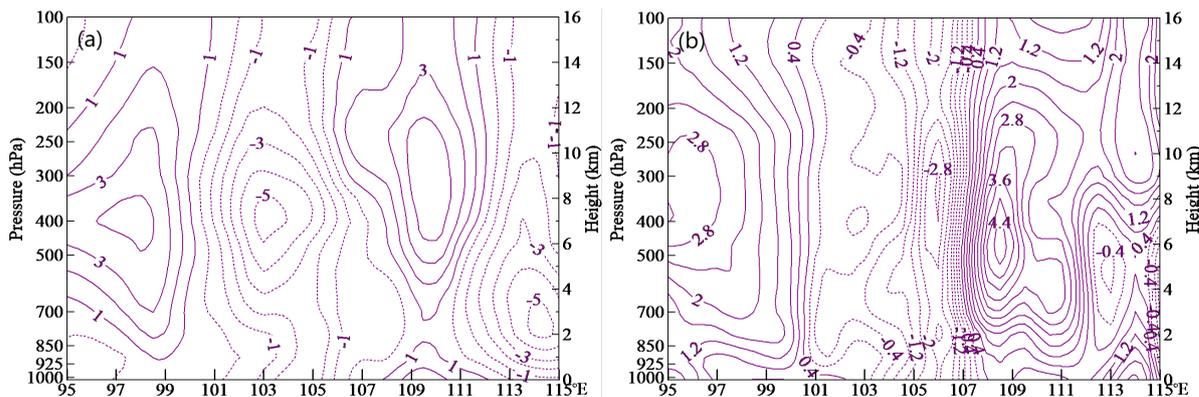


Figure 8. Vertical profiles of vertical velocity (unit: 10^{-1} Pa/s) along 26°N at (a) 20:00 on the 6th, (b) 08:00 on the 7th
图 8. (a) 6 日 20 时、(b) 7 日 08 时的垂直速度(单位: 10^{-1} Pa/s)沿 26°N 的垂直剖面示意图

图 9 为大雾发生前后的散度场, 从图中可以看出, 在 6 日 20 时, 贵阳地区上空 850 hPa 以下散度为负值, 有弱的气流辐合上升, 有利于低层水汽的聚集, 而在 700 hPa 附近存在一个散度正值中心, 辐散下沉, 这种在近地面低层的弱上升运动配合着上层的弱辐散下沉运动, 在其交界面有利于形成逆温以维持大雾, 且有助于水汽一定程度的向上扩散, 使得湿层厚度增厚。7 日 08 时, 贵阳地区上空为弱的散度辐合区, 大气辐合上升, 上升运动的存在打破了稳定的空间结构, 之后能见度逐渐上升。

5.4. 层结条件

逆温层是产生辐射雾的重要条件之一, 本文选取贵阳探空站的探空曲线图来讨论辐射雾发生过程中的层结特征。从图 10 来看, 6 日 20 时在 850 hPa 上空存在一逆温层, 厚度比较厚, 大气处于稳定状态, 逆温层的存在抑制了水汽的向上扩散, 使得水汽在近地面得以聚集, 为辐射雾的形成提供充足的水汽,

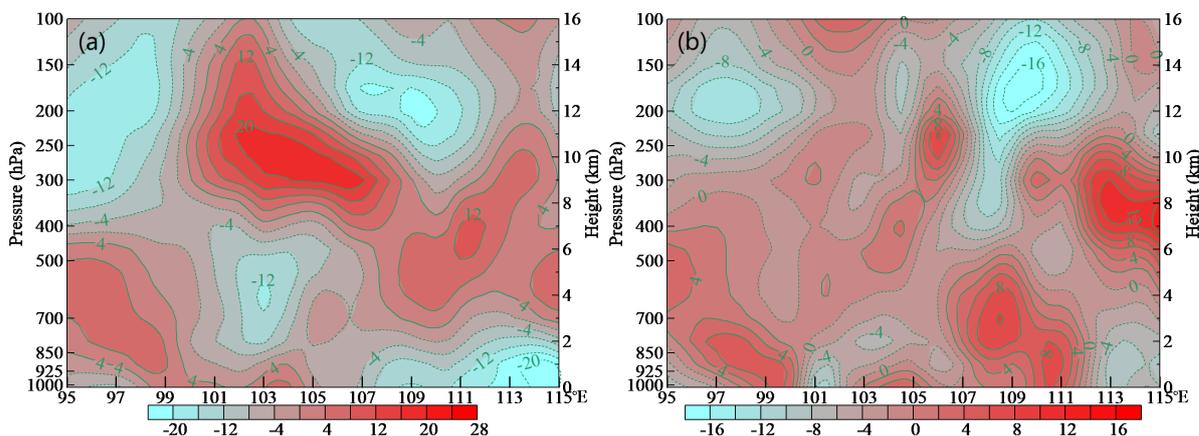


Figure 9. Vertical profiles of divergence (unit: $10^{-6}/s$) along $26^{\circ}N$ at (a) 20:00 on the 6th, (b) 08:00 on the 7th
图 9. (a) 6 日 20 时、(b) 7 日 08 时的散度(单位: $10^{-6}/s$)沿 $26^{\circ}N$ 的垂直剖面示意图

高空风随高度顺时针旋转, 近地面风向为弱的偏南风, 带来弱的暖平流输送, 使高空温度升高, 湿度下降, 上干下湿的空间结构有利于雾的产生。7 日 08 时大雾发生过程中, 逆温层的高度和厚度均下降, 温度露点差减小, 抬升凝结高度从 2500 m 左右降低至 1000 m 以下, 使得低层水汽更加容易达到饱和状态。随着地面温度不断上升, 逆温层逐渐被破坏, 凝结的水滴将逐渐蒸发为水蒸气向高空扩散, 低层水汽含量减少, 大雾逐渐消散。

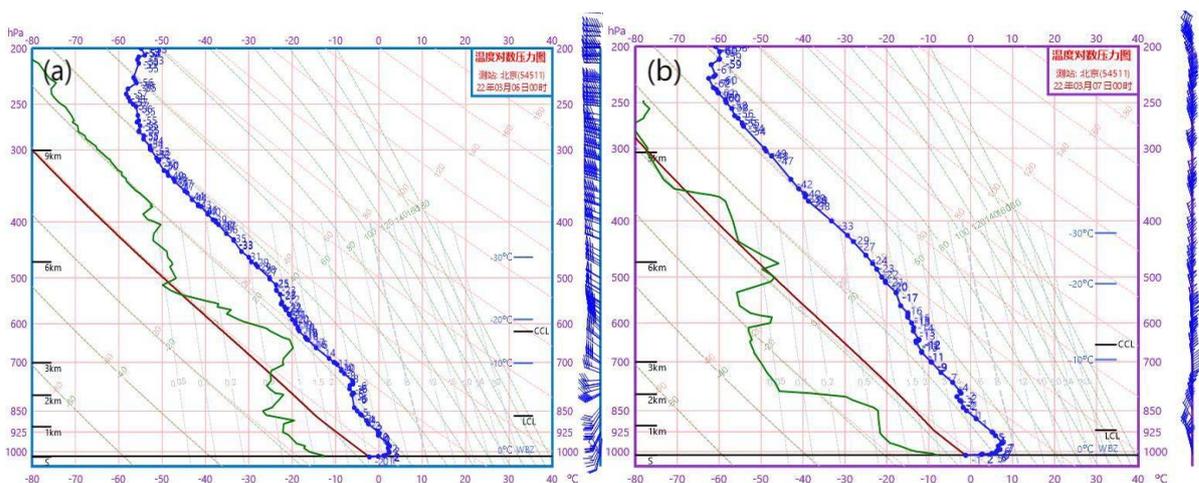


Figure 10. (a) T-logP in Guiyang station at (a) 20:00 on the 6th (b) 08:00 on the 7th
图 10. (a) 6 日 20 时、(b) 7 日 08 时贵阳站探空曲线图

6. 结论

本文对 2022 年 3 月 7 日发生的一次辐射雾过程进行了研究, 通过对地面气象要素变化、环流形势、物理量条件等方面进行深入的研究, 揭示了大雾的成因及消散机制, 其结果表明:

- 1) 大雾发生整个过程的形势场都表现为贵阳机场受弱高压控制, 由高层到低层均为下沉运动, 这样的环流形势使大气层结稳定。
- 2) 大雾过程期间, 贵阳机场地面风速始终很小, 风向以偏北风为主, 微风条件有利于地面水汽滞留, 温度露点差也几近为 $0^{\circ}C$, 为此次辐射雾过程提供良好的水汽条件。
- 3) 逆温层的存在也为大雾的维持提供有利的层结条件, 随着逆温层高度降低, 厚度变薄, 受到破坏,

从而使大雾消散。

4) 随着太阳辐射增强,地面气温升高,风速增大,上升运动的增强,辐射雾逐渐消散。

参考文献

- [1] 滕林, 邹永成, 蔡成瑶, 等. 2017年双流机场两次大雾过程的对比分析[J]. 中低纬山地气象, 2021(2): 35-39.
- [2] 余佳. 2021年长沙黄花机场连续两日辐射雾对比分析[J]. 河南科技, 2022(1): 113-116.
- [3] 喻晗, 李云. 2016年11月贵阳机场一次锋面雾天气过程分析[J]. 科学技术创新, 2018(4): 4-12.
- [4] 王爽, 张宏升, 吕环宇, 等. 大连初冬一次辐射平流雾天气过程分析[J]. 大气科学学报, 2011, 34(5): 614-620.
- [5] 刘熙明, 胡非, 邹海波, 等. 北京地区一次典型大雾天气过程的边界层特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(5): 1174-1182.
- [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] 曹伟华, 梁旭东, 李青春. 北京一次持续性雾霾过程的阶段性特征及影响因子分析[J]. 气象学报, 2013(5): 940-951.
- [8] 刘贵萍, 李跃春. T639和WAFS产品对贵阳机场辐射雾预报能力的对比分析[J]. 贵州气象, 2011, 35(6): 14-17.
- [9] 石红艳, 王洪芳, 齐琳琳, 等. 长江中下游地区一次辐射雾的数值模拟[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2005, 6(4): 404-408.