

近五年贵阳机场低能见度天气特征及关键物理量演变分析

罗璇, 罗娅, 唐枫, 邓小光

民航贵州空管分局气象台, 贵州 贵阳

收稿日期: 2026年4月15日; 录用日期: 2026年5月13日; 发布日期: 2026年5月25日

摘要

本文利用贵阳机场2019~2023年自动观测及历史地面观测资料, 研究低能见度发生特征及物理量变化, 结论如下: 1. 贵阳机场低能见度类型复杂, 以辐射雾为主, 出现次数与持续时间均居首位; 雨后阴天雾次之, 占比10.9%。2. 低能见度多发于9~11月, 次多发于1~4月, 5~8月较少; 辐射雾持续时间长、占比高。3. 主导能见度与RVR对应关系良好, 辐射雾导致的低能见度中, 88%的最低能见度 ≤ 600 米, RVR均值为437米。4. 辐射雾全年均可出现, 11月为高发期, 7月影响最小; 起雾前一日20时, 气温 $6.1^{\circ}\text{C}\sim 24.5^{\circ}\text{C}$ 之间, 露点为 $0.22^{\circ}\text{C}\sim 21.1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度66%~98%。5. 辐射雾发生前一日, 露点与温度明显上升, 露点升至 0°C 以上, 相对湿度达60%以上, 76%个例相对湿度超80%。6. 辐射雾发生前一日20时气温、相对湿度、露点、修正海压与过程最低主导能见度的相关系数表明, 气温、露点与主导能见度呈正相关, 修正海压与主导能见度呈负相关。

关键词

低能见度, 辐射雾, 相对湿度, 露点温度

Analysis of Low Visibility Weather Characteristics and Evolution of Key Physical Quantities at Guiyang Airport in Recent Five Years

Xuan Luo, Ya Luo, Feng Tang, Xiaoguang Deng

Meteorological Observatory of Guizhou Air Traffic Control Sub-Bureau of Civil Aviation, Guiyang Guizhou

Received: April 15, 2026; accepted: May 13, 2026; published: May 25, 2026

Abstract

Based on the automatic observation and historical surface observation data of Guiyang Airport from 2019 to 2023, this paper studies the occurrence characteristics of low visibility and variations of related physical quantities. The conclusions are as follows: 1. The types of low visibility at Guiyang Airport are complex, with radiation fog being the dominant type, ranking first in both occurrence frequency and duration; post-rain overcast fog takes the second place, accounting for 10.9%. 2. Low visibility occurs frequently from September to November, secondarily from January to April, and less frequently from May to August. Radiation fog features long duration and high proportion. 3. There is a good corresponding relationship between dominant visibility and runway visual range (RVR). Among low visibility events caused by radiation fog, 88% have a minimum visibility of ≤ 600 meters, with an average RVR of 437 meters. 4. Radiation fog can occur throughout the year, with a high incidence in November and the weakest impact in July. At 20:00 on the day before fog formation, the temperature ranges from 6.1°C to 24.5°C, the dew point ranges from 0.22°C to 21.1°C, and the relative humidity ranges from 66% to 98%. 5. On the day before the occurrence of radiation fog, the dew point and temperature rise significantly, with the dew point rising above 0°C and the relative humidity exceeding 60%. In 76% of cases, the relative humidity is above 80%. 6. The correlation coefficients between temperature, relative humidity, dew point, and corrected sea level pressure at 20:00 on the day before the radiation fog event and the minimum prevailing visibility during the process indicate that temperature and dew point are positively correlated with prevailing visibility, while corrected sea level pressure is negatively correlated with prevailing visibility.

Keywords

Low Visibility, Radiation Fog, Relative Humidity, Dew Point Temperature

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

在航空气象上,能见度指大气的浑浊程度或是大气的透明度[1],低能见度是指能见度小于 1000 米的天气。当能见度低于 1000 米时会对飞机起降产生影响。低能见度天气也会对跑道视程产生影响,跑道视程是指在跑道中线上,航空器上的飞行员能看到跑道面上的标志或跑道边界灯或中线灯的距离[1]。能见度和 RVR 是机场最低运行标准的重要判断依据。

对贵阳机场运行以及航班正常性产生影响的天气进行统计分析,近 5 年来因天气原因造成的航班延误占比,低能见度天气虽然影响次数少于强对流天气,但造成的航班延误率最高,达到 43%。在贵阳机场,主要是因辐射雾、锋面雾的雾现象造成的低能见度,其次是因为降水(降雨或降雪)造成的低能见度。

由于低能见度天气对航空运行影响大,近年来对于低能见度的分析研究越来越多。罗忠红等[2]对厦门机场的一次浓雾天气研究表明,前降水使地表潮湿,雾日午时的强劲升温使潮湿地表水大量蒸发为浓雾的形成和爆发性增长提供了充足的水汽。朱虹等[3]对昭通机场两次辐射雾天气进行对比,发现水汽大小和下沉运动条件对雾的浓度、持续时间有正反馈。裴昭昭等[4]对桃仙机场一次冻雾天气分析,表明持续性冻雾天气发生,主要是由于持续偏南风的暖湿气流输送叠加平流逆温造成。严文莲等[5]对江苏的一次大范围强浓雾天气过程进行分析,认为雾前降雨为强浓雾的形成创造了基础条件,也是日出后部分站

点由于水汽蒸发增强而导致雾爆发性增强的直接原因。方春刚等[6]对河北一次浓雾过程爆发性增强的微物理特征及形成机理进行研究发现：浓雾过程除具有均压场等特征外，还具有雾微物理过程出现爆发性增强的特征。可见在天气形势具备的条件下，近地面物理量要素的细微变化对低能见度天气的形成和消散起着重要作用。

贵阳机场三期扩建自 2018 年起开工，扩建工程对场区地形地貌作了重大调整，赵丹丹等研究发现，由于周边地貌改变，导致近地面气象条件发生改变[7]，近五年贵阳机场低能见度天气发生特征已有较大变化。本文利用机场自动观测资料、历史地面观测资料，对机场 2019~2023 年数据资料进行分析，研究贵阳机场低能见度天气的发生特征以及预报关键点、相关阈值等。

2. 贵阳机场近五年低能见度天气特征

统计分析机场历史自观数据，近五年贵阳机场共出现能见度低于 1000 米的低能见度天气过程 55 次，总持续时间 182.32 h。

贵阳机场低能见度天气类型复杂，包括辐射雾、锋面雾、雨后阴天雾、与强降水(雪)相关的低能见度等多种天气类型(图 1)，其中典型的辐射雾天气出现 42 次，占比 76.4%，持续时间累计 144.96 h，占比 79.5%，辐射雾天气出现次数和持续时间均占第一；与强降水(雪)相关的低能见度天气发生次数为 3 次(全部与中或大的降雪相关)，占比 5.5%，持续时间累计 5.01 h，占比 2.7%；锋面雾发生次数 4 次，占比 7.3%，持续时间累计 6.55 h，占比 3.6%；由雨后阴天造成的低能见度发生次数 6 次，占比 10.9%，持续时间累计 25.8 h，占比 14.2%。

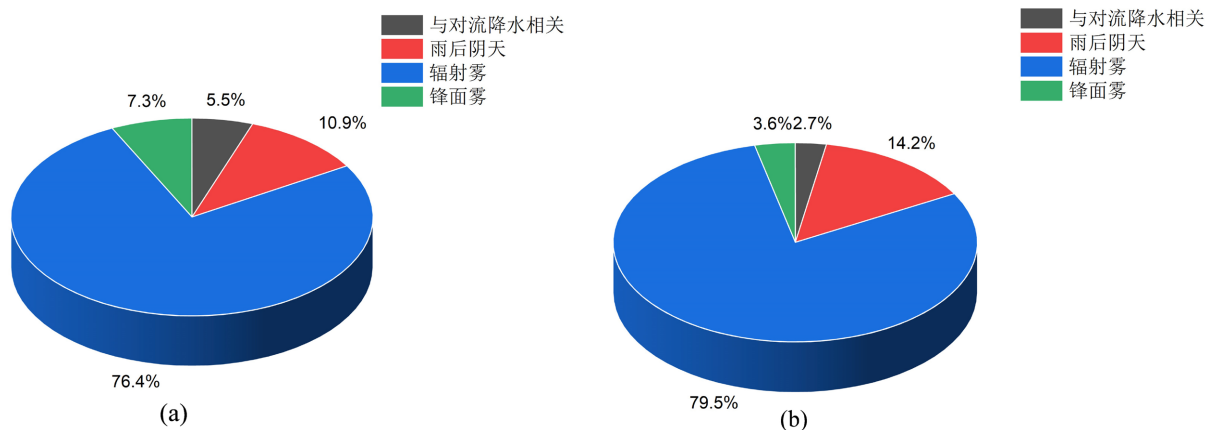


Figure 1. Pie charts of occurrence frequency (a) and total duration (b) of various types of low visibility at Guiyang Airport in recent five years

图 1. 近五年贵阳机场各类型低能见度发生次数(a); 持续总时长(b)饼状图

由贵阳机场低能见度天气发生月份 - 持续时间散点图(图 2)可见，9 月至 11 月是贵阳机场低能见度天气多发月份，类型以辐射雾为主；1~4 月为次多发时段，类型复杂，主要为辐射雾和锋面雾、与对流降水相关的低能见度；5~8 月是贵阳机场低能见度天气少发月份，类型上有雨后阴天造成的低能见度。过程持续时间上，极端个例持续时间约 10.33 h，发生在 1 月，10 月~次年 1 月发生的低能见度天气时长较长，一半以上个例可以超过 4 h，持续时间长，影响较大；5 月~8 月的低能见度天气持续时间短，均低于 5 小时。锋面雾持续时间短，均小于 2.5 小时；与对流降水相关的低能见度天气持续时间均小于 3.5 小时；雨后阴天的低能见度持续时间变化大，最短 0.5 小时，最长 8.5 小时；辐射雾造成的低能见度，最短 0.5 小时，最长 10.33 h，但 97% 的个例持续时间均在 1 小时及以上，54% 的个例持续时间在 3 小时及以上，和

其他类型比较, 辐射雾造成的低能见度持续时间长, 占比高。

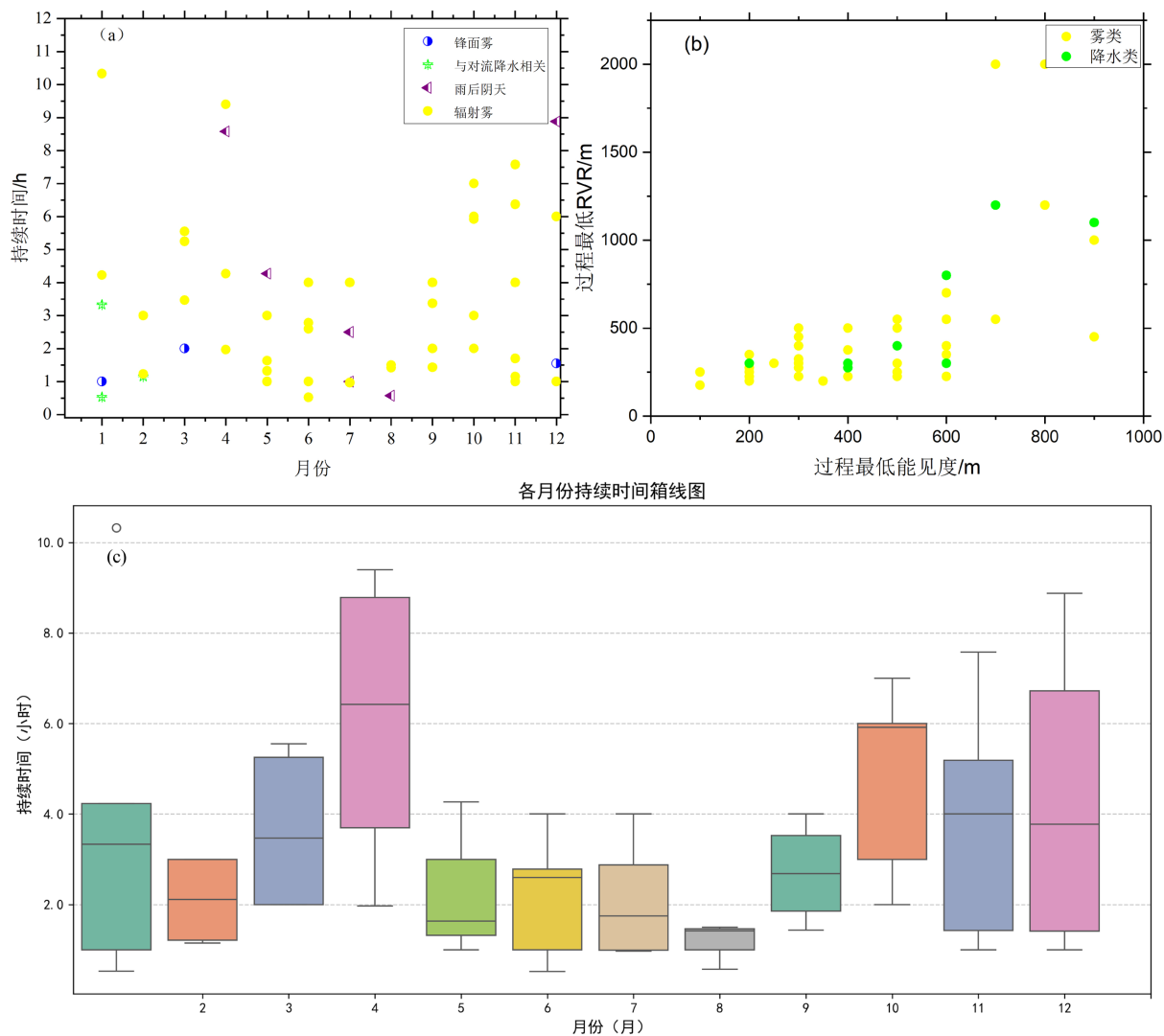


Figure 2. Scatter plots of month vs. duration of low visibility weather (a); dominant visibility vs. minimum RVR during events (b); boxplot of duration by month (c) at Guiyang Airport in recent five years

图 2. 近五年贵阳机场低能见度天气发生月份 - 持续时间(a); 主导能见度 - 过程最低 RVR 散点图(b); 各月份持续时间箱线图(c)

图 2(c)为贵阳机场各月份低能见度事件持续时间的箱线图, 图中箱体上下沿分别代表上、下四分位数, 箱体内部横线为中位数, 上下虚线为正常数据范围, 圆点为离群值。从季节分布来看, 贵阳机场低能见度事件持续时间存在显著的季节性差异: 春季(3~4 月)和秋冬季(10~12 月)低能见度持续时间整体偏长, 且离散度较大; 夏秋季(5~9 月)持续时间整体偏短, 数据分布相对集中。其中, 4 月低能见度持续时间的中位数为 6.5 h, 为全年最高, 箱体上四分位数接近 9 h, 表明该月低能见度事件不仅持续时间普遍较长, 且不同事件间的差异较大; 12 月的中位数约为 4 h, 上须线延伸至 9 h 以上, 同样表现出较大的离散性。夏秋季的 5~9 月低能见度持续时间中位数普遍低于 3 h, 其中 8 月持续时间最短, 中位数不足 1 h, 且箱体和虚线跨度均较小, 表明低能见度事件持续时间短且稳定。此外, 1 月出现 1 个持续时间超过 10 h 的离群值, 该月存在一次极端长时间低能见度事件。

贵阳机场低能见度持续时间的季节性特征与当地天气系统活动密切相关。春季(3~4月)受锋面活动和辐射雾共同影响,低能见度事件频发且持续时间偏长,冷空气活动的不稳定性导致事件间持续时间差异较大;夏季(6~8月)以对流性降水和短时天气过程为主,低能见度多由阵雨、雷暴等天气造成,持续时间短、影响集中,因此整体持续时间偏低且数据分布稳定;秋冬季(10~12月)受夜间辐射冷却和静止锋影响,辐射雾和锋面雾事件增多,低能见度持续时间明显回升,冷空气活动强度的差异导致事件间持续时间波动增大。

3. 贵阳机场能见度与 RVR 对应关系

由贵阳机场低能见度天气最低主导能见度-过程最低 RVR 散点图(图 2(b))可见,最低主导能见度和过程最低 RVR 的对应关系较好,主导能见度大于 600 米时,RVR 值均大于 500 米,其中 75% 的个例 RVR 值大于 1000 米。主导能见度小于 600 米时,RVR 值也小于或等于 500 米。由图 1(a)可见,贵阳机场的低能见度主要是因辐射雾、锋面雾的雾现象造成的,其次是因为降水(降雨或降雪)造成的。但近 5 年,降水类(雨后阴天及与对流降水相关)造成的低能见度仅 9 例,过程最低能见度均高于 400 米,RVR 均大于 250 米,80% 的个例 RVR 大于 300 米;雾类(主要为辐射雾)造成的低能见度,88% 的个例最低能见度 ≤ 600 米,最低 RVR 平均值为 432 米,标准差为 398 米,数据离散度较大,83% 的个例最低 RVR < 550 米,最低值 175 米。可见降水类造成的低能见度天气对运行的影响小于雾类影响。

4. 贵阳机场辐射雾的预报关键点及相关阈值

通过以上分析,贵阳机场辐射雾具有高影响,统计近五年贵阳机场典型辐射雾 42 例个例,过程 RVR 低于 400 米个例 24 例,占比 57.1%,过程 RVR 低于 550 米个例 33 例,占比 78.6%。贵阳机场辐射雾过程前日 20 时往往是各类预报产品发布以及进行运行决策的关键时间点。对起雾前日 20 时气象要素阈值进行分析,见表 1,业务上可借鉴参考。

Table 1. Thresholds of meteorological elements at 20:00 on the day preceding radiation fog events at Guiyang Airport (Coloring represents impact coefficient $R = \text{total duration of cases with RVR} < 550 \text{ m} / \text{total monthly case duration}$; $R \geq 0.8$ in red; $0.8 > R \geq 0.6$ in orange; $0.6 > R \geq 0.2$ in yellow; $R < 0.2$ in green)

表 1. 贵阳机场辐射雾过程前日 20 时气象要素阈值表(填色为影响系数 $R = \text{RVR} < 550$ 个例总时长/该月个例总时长, $R \geq 0.8$ 红色; $0.8 > R \geq 0.6$ 橙色; $0.6 > R \geq 0.2$ 黄色; $R < 0.2$ 绿色)

月份	影响系数 R	气温/ $^{\circ}\text{C}$	露点/ $^{\circ}\text{C}$	修正海压/hPa	相对湿度/%	24 h 内有降水占比
1	0.8	6.2~8.9	3.7~4.0	1025.5~1017.1	71~84	1/2
2	0.9	6.1~10.3	3.8~8.1	1018.6~1029.6	85~86	3/3
3	0.9	10.5~13.9	5.9~11.09	1009.6~1028.8	73~83	2/3
4	1.0	10.3~13.5	4.3~12.88	1015.5~1027.9	66~96	3/3
5	0.9	13.8~21.7	17.06~19.3	1010.4~1016.9	84~90	4/4
6	0.9	18.9~23.4	15.99~20.2	1005.8~1013.6	81~88	5/5
7	0.1	21.3~24.5	18.7~19.4	1009.4~1010.5	73~85	2/2
8	0.5	21.7~23.6	19.1~21.1	1006.7~1011.3	92~98	2/2
9	1.0	19.5~22.3	14.4~19.8	1011.1~1017.0	72~90	4/4
10	1.0	10.4~17.1	7.66~12.6	1020.7~1028.3	72~88	3/5
11	1.0	8.1~13.9	5.4~12.64	1019.8~1027.2	77~92	4/7
12	0.9	2~6.1	0.22~1.05	1030.1~1034.0	70~88	1/2
年度	0.9	6.1~24.5	0.22~21.1	1005.8~1034.0	66~98	34/42

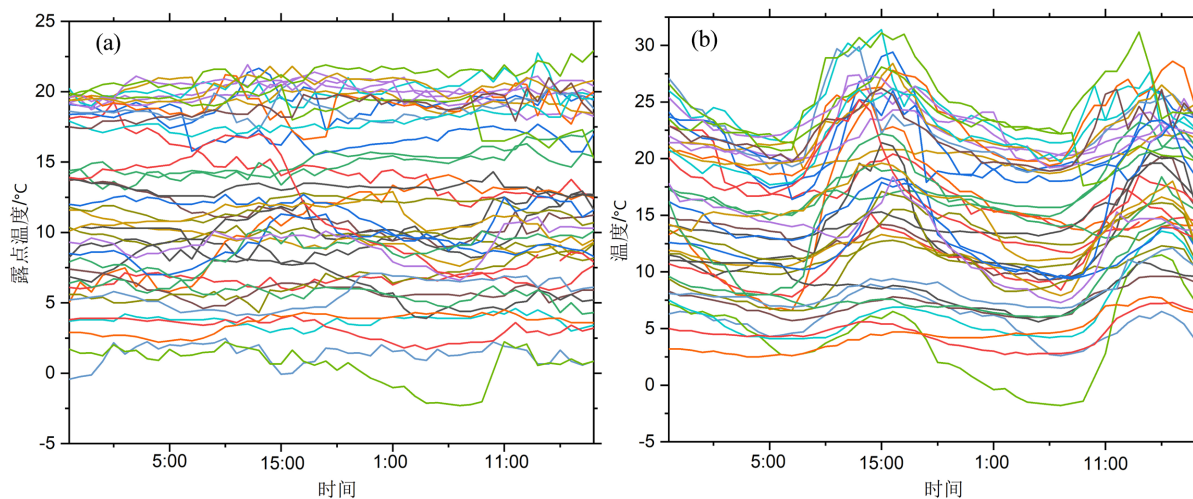
为更好地体现辐射雾的影响程度,定义影响系数 R ,指该月 $RVR < 550$ 个例总时长/该月个例总时长,影响系数越高,辐射雾的影响越大。虽然辐射雾在贵阳机场全年均可出现,但7月的影响最小, R 为0.1;8月次之, R 为0.5。11月是贵阳机场辐射雾发生高峰,出现7次,6月、10月为次高峰,各出现5次。起雾前一日20时,温度变化范围在 $6.1^{\circ}\text{C}\sim 24.5^{\circ}\text{C}$ 之间,露点温度为 $0.22^{\circ}\text{C}\sim 21.1^{\circ}\text{C}$,修正海平面气压 $1005.8\sim 1034.0\text{hPa}$,相对湿度在 $66\%\sim 98\%$ 之间。42个例有34个在起雾前24小时有降水,占比80%。深秋时节(10、11月)的辐射雾,有40%的个例辐射雾发生前无降水,但露点温度较高,10月为 $7.66^{\circ}\text{C}\sim 12.6^{\circ}\text{C}$ 、11月为 $5.4^{\circ}\text{C}\sim 12.64^{\circ}\text{C}$,空气中绝对水汽含量充沛,相对湿度在 $72\%\sim 92\%$ 之间,由于深秋时节夜间较强的辐射冷却作用,即使前一日没有降水,但仍能导致近地面水汽饱和起雾。4~9月起雾前24小时均有降水,低层水汽充沛,除了4月露点温度最低为 4.3°C ,其余月份露点温度均在 $14^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间,前一日20时相对湿度在 $66\%\sim 98\%$ 之间,典型形势为:前日白天降水阻碍气温上升,夜间晴空辐射降温致辐射雾发生,该项占比达到9/9。冬季(12~2月),气温和露点温度较其余各月均偏低,最低值出现在12月,温度 $2^{\circ}\text{C}\sim 6.1^{\circ}\text{C}$,露点温度 $0.22\sim 1.05$,在冬季虽然水汽含量低,但较低的温度以及辐射冷却,仍能使空气达到饱和形成低能见度。

5. 地面要素的变化特征分析

辐射雾发生前日,存在地面要素的异常变化,本文详细列举贵阳机场42例辐射雾发生前一日20时之前的48h要素序列图。图3(a)为露点温度变化,得到以下结论:对于相对湿润的季节,露点温度大于 15°C (如春夏季),辐射雾发生前露点温度的变化不明显,分析前期露点温度异常来预报低能见度的效果是不佳的;对于水汽条件较差,温度偏低季节,露点温度小于 15°C (如秋冬季),露点温度在辐射雾发生前一日06~11时之间有明显的上升,一般而言露点温度变化较为平稳,该异常上升趋势,预示着第二日辐射雾天气发生的高可能性。且所有个例,在发生辐射雾前一日20时,露点温度均上升至 0°C 以上。

图3(b)为气温变化,得到以下结论:贵阳机场近五年的辐射雾在发生前一日均有显著的升温,在前一日16时后气温均呈下降趋势。尤其对于平均温度低于 10°C (如秋冬季)的个例,前一日的升温趋势更明显。对于暖季(如春夏季)的辐射雾前一日多有阴雨,可能存在白天日最高温较雾发生前两日有所降低。

图3(c)为相对湿度变化,得到以下结论:贵阳机场辐射雾发生前水汽条件好,前一日至前两日93%的个例夜间相对湿度大于80%。前期相对湿度增大有利于辐射雾天气发生,前一日16时后相对湿度开始上升,至发生前一日20时,相对湿度达到60%以上,其中76%的个例相对湿度大于80%。



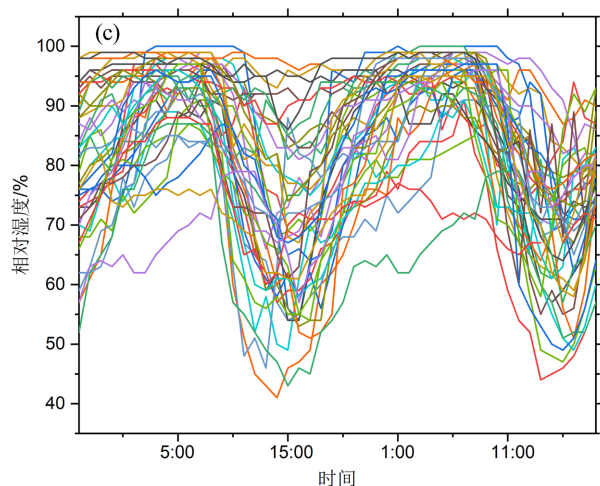


Figure 3. Time series of 48-hour meteorological elements before 20:00 on the day preceding radiation fog events at Guiyang Airport: (a) Dew point temperature; (b) Temperature; (c) Relative humidity

图 3. 贵阳机场辐射雾发生前一日 20 时之前的 48 h 要素序列图: (a) 露点温度; (b) 温度; (c) 相对湿度

计算辐射雾发生前日 20 时的气温、相对湿度、露点、修正海压与过程最低主导能见度的相关系数, 结果如下:

Table 2. Correlation coefficients of temperature, relative humidity, dew point and corrected sea level pressure at 20:00 on the day before radiation fog events vs. minimum prevailing visibility at Guiyang airport

表 2. 贵阳机场辐射雾前日 20 时气温、相对湿度、露点、修正海压与最低主导能见度的相关系数

气象要素	相关系数(r)	p 值	$\alpha = 0.05$ 显著性检验
发生前日 20 时气温/ $^{\circ}\text{C}$	0.5203	0.0004	显著
发生前日 20 时相对湿度/%	0.2570	0.1003	不显著
发生前日 20 时露点/ $^{\circ}\text{C}$	0.5504	0.0002	显著
发生前日 20 时修正海压/hPa	-0.4480	0.0029	显著

在 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平下, 显著相关要素有 3 个: 气温、露点、修正海压, p 值均 < 0.01 , 相关关系具有统计学意义。不显著要素 1 个: 相对湿度, p 值 $= 0.1003 > 0.05$, 相关关系不可靠。露点与能见度呈正相关($r = 0.5504$), 露点越高, 过程最低能见度值越大, 说明高露点环境下能见度通常更好, 是影响能见度的最关键气象要素。气温与能见度呈正相关($r = 0.5203$), 气温越高, 最低能见度越大, 与露点的影响趋势一致。修正海压与能见度呈负相关($r = -0.4480$), 修正海压越高, 能见度越差, 说明高压系统可能伴随低能见度天气。相对湿度与能见度呈正相关($r = 0.2570$), 相关性不显著, 对能见度的实际影响较小, 可忽略。结果可能由于五年内的样本量小, 会带来一定局限性。

6. 小结

本文利用机场自动观测资料、历史地面观测资料, 对机场 2021~2025 年数据资料进行分析, 研究低能见度发生特征及物理量要素变化, 得到以下结论:

(1) 贵阳机场低能见度天气类型复杂, 包括辐射雾、锋面雾、雨后阴天雾、与降雪相关的低能见度等多种天气类型, 其中辐射雾出现次数和持续时间均占第一; 由雨后阴天造成的低能见度发生次数次之, 占比 10.9%。

(2) 9月至11月是机场低能见度天气多发月份, 1~4月为次多发时段, 5~8月是贵阳机场低能见度天气少发月份。辐射雾造成的低能见度持续时间长, 占比高。

(3) 主导能见度和RVR的对应关系较好, 雾类造成的低能见度, 88%的个例过程最低能见度 ≤ 600 米, RVR平均值为437米。

(4) 辐射雾在贵阳机场全年均可出现, 7月的影响最小, 11月是贵阳机场辐射雾发生高峰。起雾前一日20时, 温度在 $6.1^{\circ}\text{C}\sim 24.5^{\circ}\text{C}$ 之间, 露点温度为 $0.22^{\circ}\text{C}\sim 21.1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度在66%~98%之间。

(5) 露点温度、和温度辐射雾发生前一日有明显的上升, 前一日20时, 露点温度均上升至 0°C 以上, 相对湿度达到60%以上, 其中76%的个例相对湿度大于80%。

(6) 辐射雾发生前日20时气温、相对湿度、露点、修正海压与过程最低主导能见度的相关系数表明, 气温、露点与主导能见度呈正相关, 修正海压与主导能见度呈负相关, 露点与能见度呈相关系数($r=0.5504$)最高, 是影响能见度的最关键气象要素。

基金项目

中国民用航空西南地区空中交通管理局创新类项目(基于贵阳龙洞堡机场重要天气案例库的辐射雾预报方法研究 SWATMB-202402)资助。

参考文献

- [1] 中国民用航空局空管行业管理办公室. 民用航空气象地面观测规范[S]. 北京: 中国民用航空局, 2021.
- [2] 罗忠红, 江航东, 梁升, 等. 2016年厦门机场一次爆发性浓雾的天气条件分析[J]. 热带气象学报, 2020, 36(4): 499-507.
- [3] 朱虹, 沈茜, 何娟. 昭通机场两次辐射雾过程的对比分析[J]. 气象科技, 2021, 49(5): 770-776.
- [4] 裴昭昭, 杜旭, 徐记亮. 沈阳桃仙机场一次持续性冻雾天气过程分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(4): 572-578.
- [5] 严文莲, 朱承瑛, 朱毓颖, 等. 江苏一次大范围的爆发性强浓雾过程研究[J]. 气象, 2018, 44(7): 892-901.
- [6] 方春刚, 郭学良. 华北一次浓雾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.
- [7] 赵丹丹, 曹阳. 贵阳龙洞堡机场地形改变对气象要素的影响分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(5): 904-912.