

贵阳龙洞堡国际机场复杂天气特征分析

唐 枫, 宋 媛, 杨凤婷, 邓小光

民航贵州空管分局气象台, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年4月25日; 录用日期: 2025年5月23日; 发布日期: 2025年5月30日

摘 要

本文基于贵阳龙洞堡国际机场2008~2022年逐小时气象观测数据及2020~2024年航班运行数据, 系统分析了雷暴、低云低能见度、冰雪凝冻、大风和风切变等复杂天气的时空分布特征及其对航班运行的影响机制。研究发现: 雷暴主要集中在5~8月的午后至夜间, 低云低能见度以冬季辐射雾和锋面雾为主, 冰雪凝冻多发生于12月至次年2月, 大风和风切变在春季频发。强对流天气是导致航班返航备降的主要原因(占比72%), 低云低能见度和冰雪凝冻则显著增加航班延误风险(分别占比49%和18%)。结合机场运行标准, 提出优化低能见度运行程序、加强季节性天气预警、完善跑道除冰策略等针对性建议, 为西南高原复杂地形机场的气象服务和航班调度提供科学依据。

关键词

贵阳机场, 复杂天气, 航班运行, 气象服务, 保障建议

Analysis of Complex Weather Characteristics at Guiyang Longdongbao International Airport

Feng Tang, Yuan Song, Fengting Yang, Xiaoguang Deng

Meteorological Office of Guizhou Air Traffic Management Branch, Civil Aviation Administration of China, Guiyang Guizhou

Received: Apr. 25th, 2025; accepted: May 23rd, 2025; published: May 30th, 2025

Abstract

Based on the hourly meteorological observation data of Guiyang Longdongbao International Airport from 2008 to 2022 and the flight operation data from 2020 to 2024, this paper systematically analyzes the temporal and spatial distribution characteristics of complex weather conditions such as thunderstorms, low clouds and low visibility, ice and snow freezing, strong winds, and wind shear, as well as their impact mechanisms on flight operations. The study finds that thunderstorms mainly occur in the

afternoon and night from May to August, low clouds and low visibility are dominated by winter radiation fog and frontal fog, ice and snow freezing mostly happen from December to February of the following year, and strong winds and wind shear frequently occur in spring. Severe convective weather is the main cause of flight diversion and return (accounting for 72%), while low clouds and low visibility and ice and snow freezing significantly increase the risk of flight delays (accounting for 49% and 18% respectively). In combination with the airport operation standards, targeted suggestions such as optimizing low visibility operation procedures, strengthening seasonal weather warnings, and improving runway de-icing strategies are proposed, providing a scientific basis for meteorological services and flight scheduling at complex terrain airports in the southwest plateau.

Keywords

Guiyang Airport, Complex Weather, Flight Operations, Meteorological Services, Assurance Suggestions

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

贵阳龙洞堡国际机场(以下简称贵阳机场)于 1997 年 5 月 28 日正式通航, 机场标高 1138.9 米, 为 4E 级民用国际机场, 是中国西部地区重要航空枢纽、区域枢纽机场、西南机场群成员。贵阳机场地处云贵高原东侧, 山地气候特点明显[1], 受静止锋影响天气复杂, 雷暴、冰雹等强对流、低云低能见度、冰雪凝冻以及大风、风切变等天气交替伴随出现, 这些天气现象对航班运行安全与效率构成严重威胁, 例如强对流天气导致航班备降返航, 低云低能见度造成航班延误, 冬季冰雪凝冻影响跑道除冰作业等[2] [3]。尽管已有研究对贵阳机场的单一天气类型(如辐射雾、雷暴)进行了分析[4]-[11], 但系统性探讨多类复杂天气的时空分布特征及其对航班运行的综合影响仍显不足。

本文围绕提升民航气象服务“准确性”和“实用性”的要求, 基于 2008~2022 年逐小时气象观测数据及 2008~2024 年航班运行数据, 系统分析贵阳机场复杂天气的时间分布规律及其对航班运行的影响机制。旨在达到以下研究目标: 一是揭示各类复杂天气在不同季节、时段的演变特征; 二是量化各类天气对航班延误、备降、复飞的具体影响; 三是结合机场运行标准, 提出针对性保障建议。研究结果可为贵阳机场气象预警、航班调度及低能见度运行程序优化提供科学依据, 同时对西南高原复杂地形下的机场气象服务具有参考价值。

2. 资料与方法

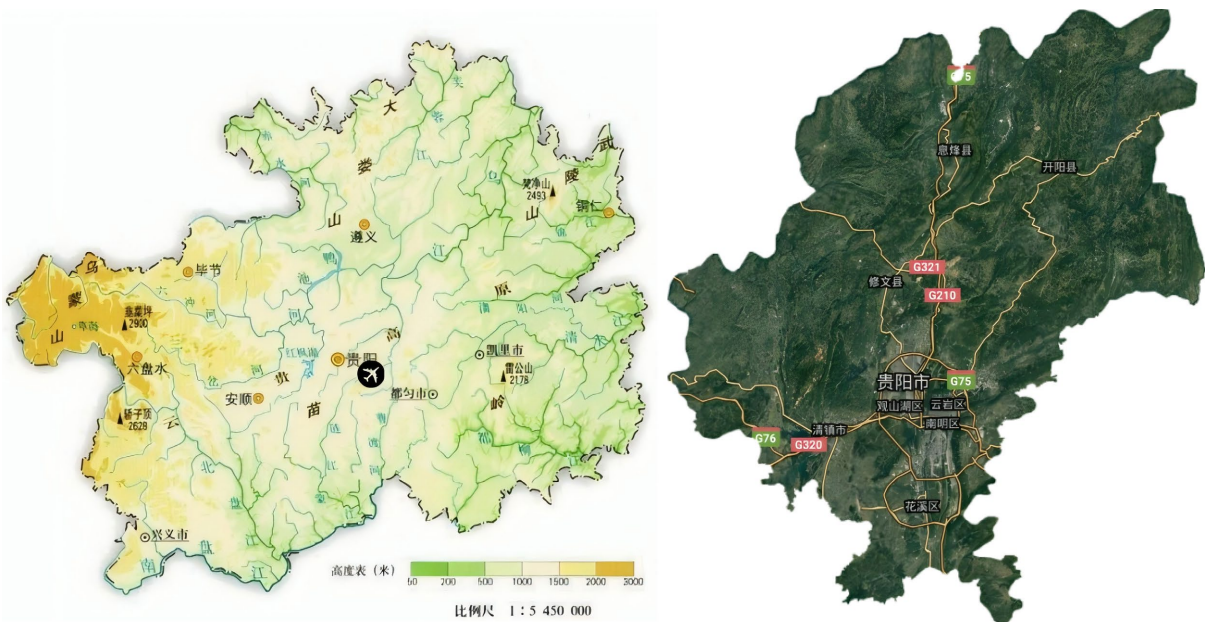
本文使用的资料包括 2008 年至 2022 年贵阳机场逐小时地面观测数据、逐小时机场实况报文、观测纪要等, 以及 2020 年至 2024 年贵阳机场运行数据(包括起降架次、不正常航班架次、航班正常率等)。统计 2008~2022 年贵阳机场出现的复杂天气过程变化规律。分析其发生的时间特征以及对机场正常运行的影响, 提出针对性的运行参考建议。

3. 贵阳机场总体概况

3.1. 地理位置和自然环境

贵州地形地貌复杂, 山地性显著, 整体地势西高东低, 大势宛如一向东的马蹄, 贵阳市正处于马蹄

状地形的中部。低纬度、高海拔、丘陵群山作用显著，是贵阳机场气候主要的自然地理背景(图 1)。贵阳市位于云贵准静止锋的活跃地带，同时市内水体众多，红枫湖、百花湖、松柏山水库、花溪水库等位于机场西侧上游地区，为贵阳及机场地区的天气演变提供了一定水汽条件。



来源：贵州省自然资源厅。

Figure 1. Topographic map of Guizhou Province (left) and Guiyang City (right)
图 1. 贵州省(左)与贵阳市(右)地形图

3.2. 跑道构型和运行标准

贵阳机场位于北纬 26°32'，东经 106°48'。机场有水泥质东、西跑道两条(图 2)，其中西跑道长 3500 m、宽 45 m，跑道编号为 19R/01L；东跑道长 4000 m、宽 45 m，跑道编号为 19L/01R。贵阳机场一般情况下，采用“左起右落”的模式运行，即使用 19L 和 01L 跑道起飞，使用 19R 和 01R 跑道落地，同时

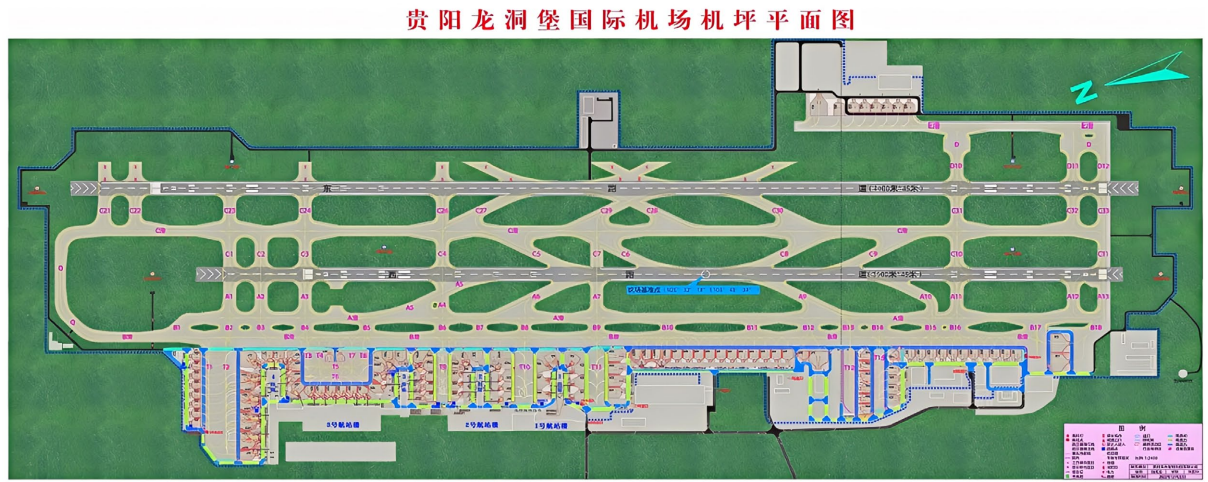


Figure 2. Runway layout of Guiyang Airport
图 2. 贵阳机场机坪平面图

贵阳机场可根据天气和运行情况，采用灵活使用跑道方式运行。

3.3. 气候特征和主要天气影响

按照我国气候带的划分，贵州省属于亚热带高原湿润季风气候，受复杂的地形、地貌影响，气候具有以下特点：冬无严寒，夏无酷暑，四季分明，雨水充沛；冬半年常受云贵准静止锋影响，多阴雨，少日照；受季风的不稳定性影响，干旱、暴雨、低温冷害、冰雹、大风等气象灾害频繁。

贵阳机场地处贵州中部地区，盛行偏北风，一年四季的气候特征为：春季冷暖多变，大风日数较多，云量多变、多低云，晴雨交替频繁，多夜雷雨，还可出现冰雹、雷暴及飑等灾害性天气。夏季，初夏多暴雨，盛夏连晴少雨，多雷暴，能见度较好，低云少。秋季气温变化大，初秋高气爽，晚秋多连阴雨，地面风向较恒稳。冬季，常受寒潮南下入侵影响，多降温冰雪凝冻天气，降水量小，低云低能见度天气出现频繁。

根据数据统计(2020 年至 2024 年)，贵阳机场因本场天气原因出现 728 架次航班延误，875 架次航班返航备降，95 架次航班复飞(图 3)，其中冬季航班延误较多的原因主要是除冰雪作业，春夏两季返航备降较多的主要原因则是雷雨对流天气影响。同时，对影响航班正常运行的天气进行分类分析，强对流天气(雷暴及中或大的降水、冰雹)造成的返航备降占比最高，冰雪凝冻天气(降雪、冻降水、霜)造成的航班延误占比最高，低云低能见度天气对运行的影响主要体现为航班延误，大风和低空风切变的主要影响体现为航班返航备降。本文将着重分析上述 4 类复杂天气的特征和影响。

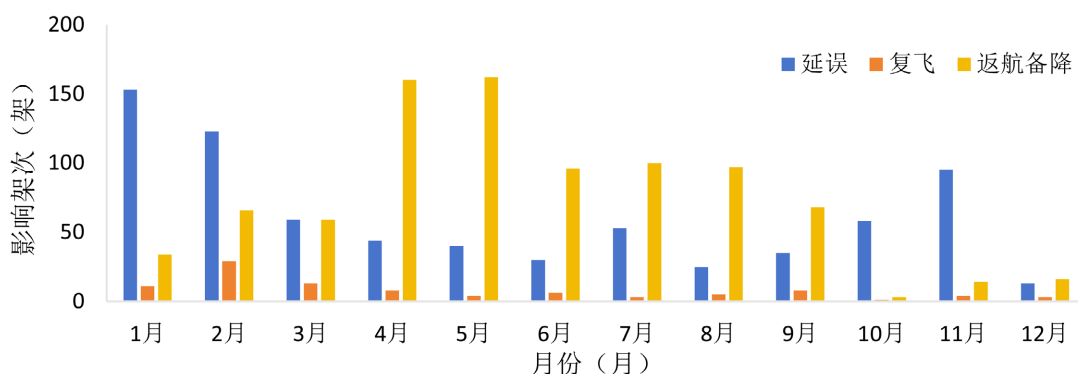


Figure 3. Statistics of flight impacts at Guiyang Airport (2020~2024)

图 3. 贵阳机场 2020 年~2024 年航班影响情况统计

4. 复杂天气特征分析

4.1. 强对流天气

4.1.1. 雷暴天气特征

雷暴是对贵阳机场运行影响最频繁的天气(图 4)。从年变化来看，贵阳机场年平均雷暴日数为 39.1 天，除 12 月外，均有雷暴天气发生，雷暴天气主要出现在 3 月~8 月，其中，5 月~8 月为雷暴盛行期，出现次数最多，8 月后雷暴日数明显减少。从日变化来看，一天当中，每个小时都有雷暴出现，同时，雷暴出现的时间也有明显的规律，雷暴最容易出现在 08UTC~23UTC，其中出现最多的时段是 10UTC~23UTC (多夜雷)，01UTC~06UTC 为雷暴较少时段。

影响贵阳机场的雷暴主要有两种类型：系统性雷暴和局地热雷暴。系统性雷暴主要由高空槽、锋面、切变线等引发，往往从贵州西部生成并逐渐向东发展影响，对流云团尺度大，持续时间较长、范围较广，

对机场和航路的影响较大。局地热雷暴主要发生在夏季高温高湿环境或台风外围云系中，单个对流云团尺度小，分布广，生成发展速度快，移动方向多变，对机场的影响时间往往不超过半小时，但对航路影响表现为绕飞不规律，指挥难度大。

贵阳机场雷暴的持续时长(图 5)以 0 h~1 h 居多，累年总次数为 320 次，占 49.3%，1 h~2 h 及 2 h~4 h 的雷暴总次数分别为 159 次、115 次，分别占 24.5%、17.7%；4 h~6 h 的雷暴较少，累年总次数为 32 次，占 4.9%；6 h~12 h 的雷暴更少，累年总次数为 18 次，占 2.8%；12 h~24 h 的雷暴很少，累年总次数为 4 次；持续 24 h 以上的雷暴仅有一次，出现在 2018 年 6 月 21 日，持续时间为 28 h 53 m。

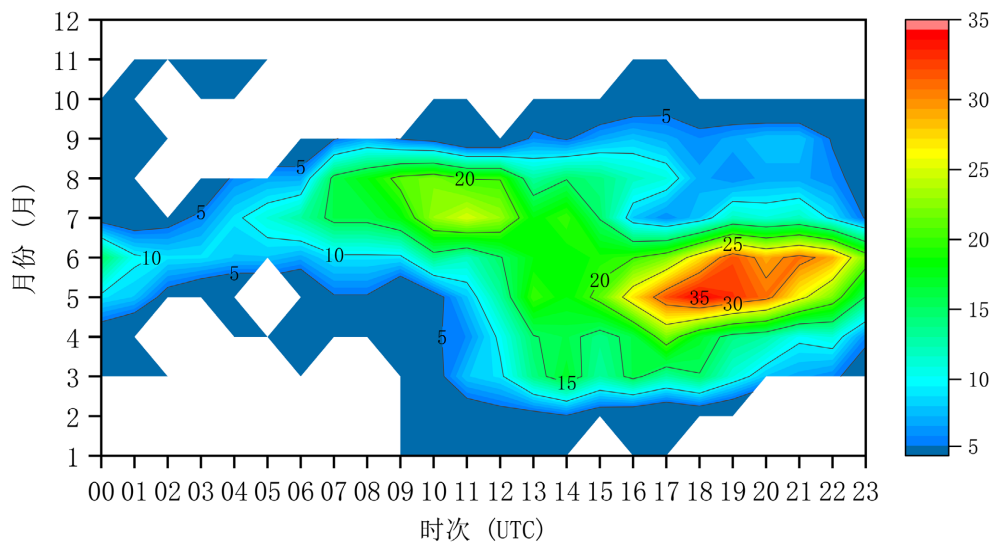


Figure 4. Monthly and hourly thunderstorm occurrence times over the years at Guiyang Airport (unit: times)
图 4. 贵阳机场累年各月逐时段雷暴出现次数(单位: 次)

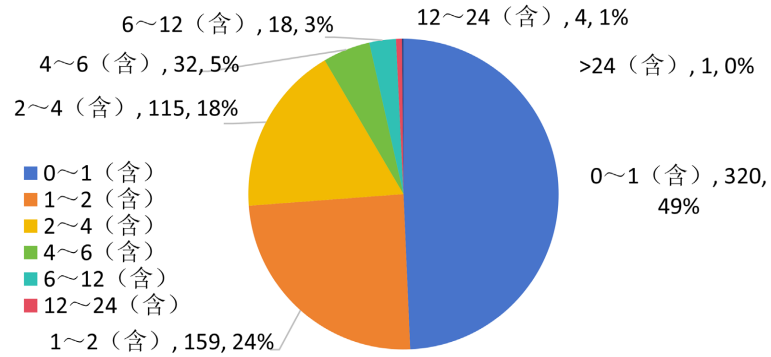


Figure 5. Duration statistics of thunderstorms (unit: events)
图 5. 不同持续时间的雷暴出现次数(单位: 次)

4.1.2. 冰雹天气特征

贵阳机场 2008 年~2022 年 15 年间共出现 10 次冰雹天气，冰雹天气仅出现在 2 月~5 月份，2 月~4 月降雹日数均为 0.1 天，5 月为 0.2 天。贵阳机场冰雹多发生在春季。贵阳机场的冰雹平均直径为 3.8 mm；10 次冰雹天气中，单次过程降水量最大 41.8 mm，最小为 19.6 mm，平均为 31.3 mm；降雹一般伴有雷暴、中或大降水、偶有大风(最大阵风 20 m/s)。近来，贵阳机场还发现在降水数小时后降雹的现象。

4.2. 低云低能见度

4.2.1. 雾天气特征

贵阳机场年平均雾出现日数为 22.9 天，其中 1 月出现次数最多，为 2.7 天，9 月出现次数最少，为 1.0 天。影响贵阳机场的雾主要分为辐射雾和锋面雾，其中辐射雾的影响较大，主导能见度和 RVR 常降低至 550 米以下，锋面雾影响的主导能见度和 RVR 大多在 550 米以上。从图 6 可以看出，对运行造成影响的 RVR 低于 550 米的天气出现规律与雾出现规律基本相同，其中，冬季雾出现次数与 RVR550 < 米出现次数相比较多，说明云贵准静止锋活动带来的锋面雾较多，而 7~10 月两者出现次数较为接近，说明在此期间出现的雾主要为辐射雾天气。

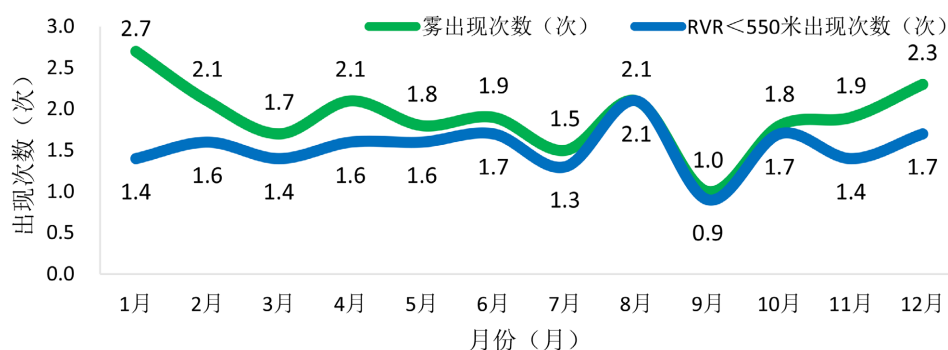


Figure 6. Annual variations of fog and RVR < 550 m occurrences (unit: days)

图 6. 雾和 RVR < 550 米天气平均出现次数的年变化(单位: 次)

一天当中，雾出现次数呈现 U 型分布(图 7)，雾在 21UTC~22UTC 的出现次数最多，分别为 71 次和 70 次；在 05UTC~09UTC 之间没有出现。

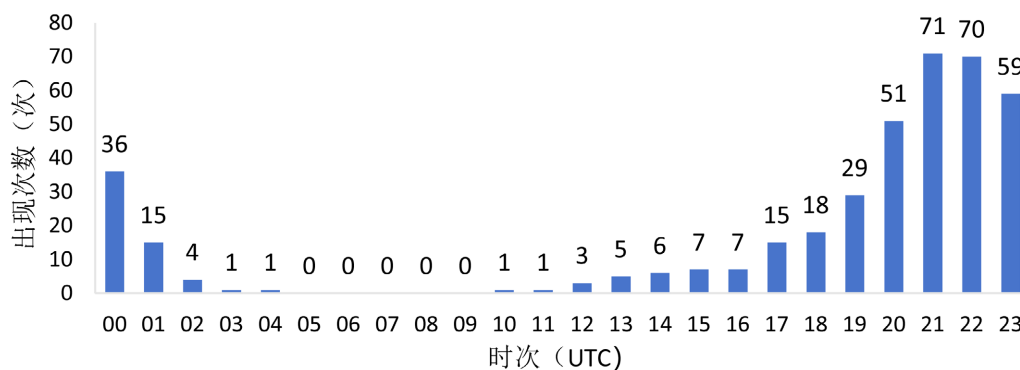


Figure 7. Diurnal distribution of fog events (unit: events)

图 7. 雾出现次数的日变化(单位: 次)

分析雾的持续时间可知(图 8)，雾持续时间 2~3 h 之间的次数最多，为 19 次；雾最长持续时长可达 9~10 h，共出现三次；8~9 h 的雾持续时长出现次数最少，仅 2 次。据统计，雾的持续时长最大可达 10 h。

4.2.2. 低云天气特征

贵阳机场低云多为碎雨云，往往与本场在云贵准静止锋和地面辐合线影响下的持续性弱降水关系密切，虽然 BKN、OVC 量级频率低，但 SCT、FEW 量级的低碎云也严重影响着陆。这类云出现时，常体现为从北至南开始影响，跑道北端低洼地带的低云在北风的引导下，可在短时间内覆盖两条跑道及其延

长线,云底高度常常低至 30 m~60 m,伴随天气多为弱毛毛雨,主导能见度常降低 3000 米以下,偶尔降低至 1000 米以下,形成锋面雾。

贵阳机场低云平均出现次数的年变化分布特征呈双峰型分布(图 9),第一峰在 1 月,为 3.7 次;第二峰出现在 11 月,为 2.2 次;7 月平均出现次数最少,为 0.2 次。

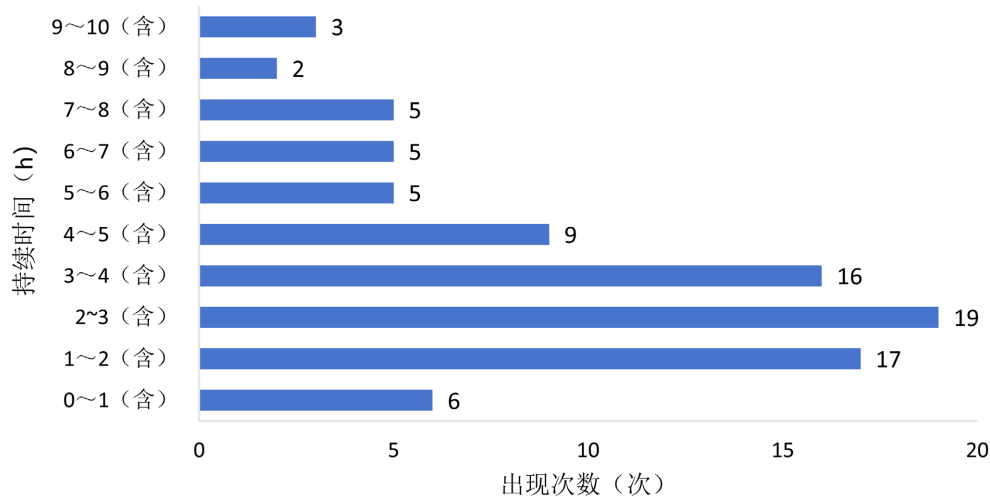


Figure 8. Duration statistics of fog (unit: events)
图 8. 不同持续时间的雾出现次数(单位: 次)

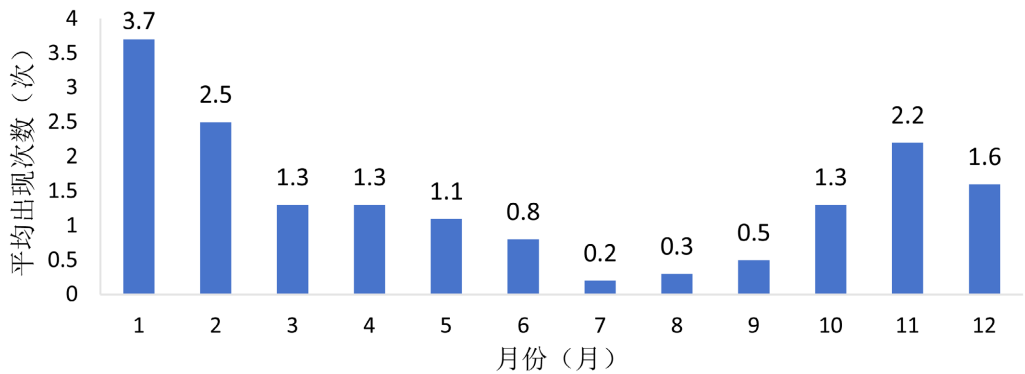


Figure 9. Annual variations of low cloud occurrences (unit: days)
图 9. 低云平均出现次数的年变化(单位: 次)

从日变化特征来看(图 10),其变化特征呈现 U 型分布,在 23UTC 出现次数最多,为 167 次;在 06UTC~07UTC 并列最少,为 29 次。低云全天都会出现,但大多时候出现在傍晚至上午期间。

低云持续时长(图 11)多分布在 1~10 小时之间,其中 4~5 小时的时长出现最多,为 28 次;0~1 小时与 15~16 小时时长都只出现 3 次。据统计,低云的持续时长最大可达 19 小时。

4.3. 冰雪凝冻

4.3.1. 降雪天气特征

贵阳机场降雪在 10 月~次年 3 月均可出现,其中 1 月出现日数最多,累年平均为 3.9 天。贵阳机场累年降雪初雪平均日是 12 月 20 日,终雪日是 2 月 9 日,初终日数平均为 52 天;最早初雪日为 2011 年 10 月 13 日,最晚初雪日为 2017 年 2 月 25 日;最早终雪日为 2015 年 1 月 11 日,最晚终雪日为 2011

年3月15日。

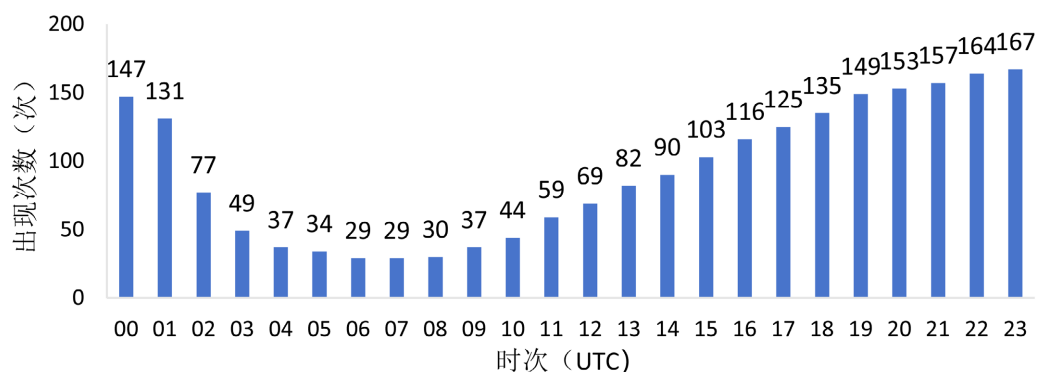


Figure 10. Diurnal distribution of low cloud events (unit: events)

图 10. 低云出现次数的日变化(单位: 次)

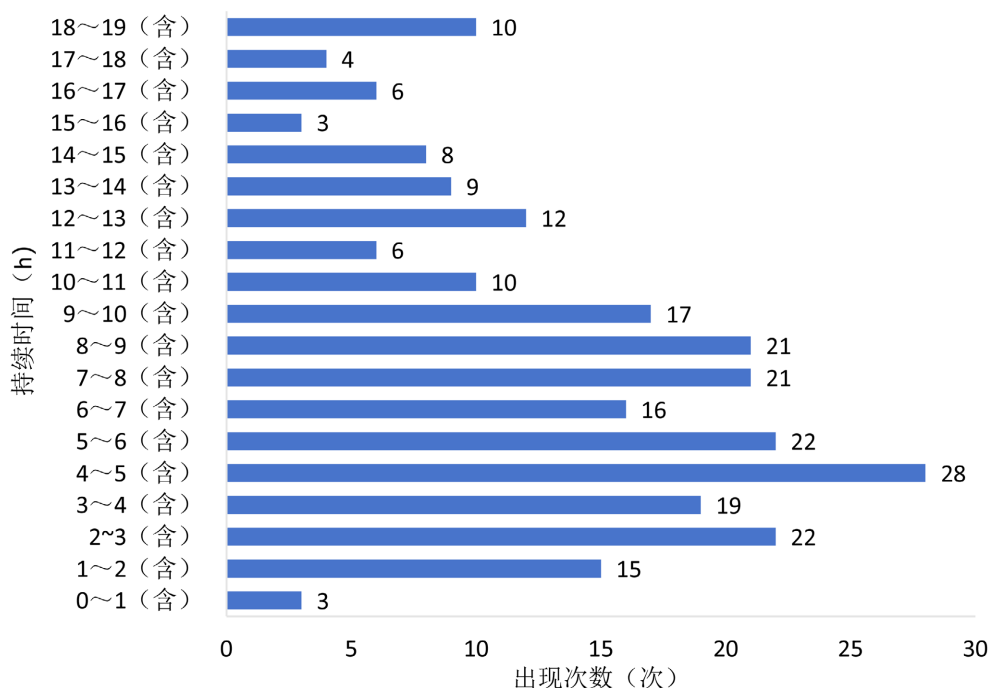


Figure 11. Duration statistics of low clouds (unit: events)

图 11. 不同持续时间的低云出现次数(单位: 次)

贵阳机场降雪全天均可出现(图 12), 其中 16UTC 出现次数最多, 平均为 2.1 次。贵阳机场降雪的不同持续时间中(图 13), 以 <2 小时的出现日数最多。而各月的降雪持续时间均有不同, 其中 12 月易出现持续时间 >12 小时的降雪, 1 月易出现持续时间 2~4 小时的降雪, 2 月易出现持续时间 <2 小时的降雪。

贵阳机场的降雪形态(表 1)有小雨夹雪、弱冻雨夹雪、米雪、小雪、中雪, 其中以小雪出现频率最高, 为 57.5%。贵阳机场出现降雪时, 积雪的出现频率为 21.9%, 其中最大积雪深度为 10 厘米。

4.3.2. 冻雨天气特征

贵阳机场冻雨在 12 月~次年 2 月均可出现, 年平均日数为 4.3 天, 其中 1 月出现日数最多, 累年平均为 1.3 天。冻雨全天均可出现, 日变化较为显著(图 14), 其中 16UTC 出现次数最多。

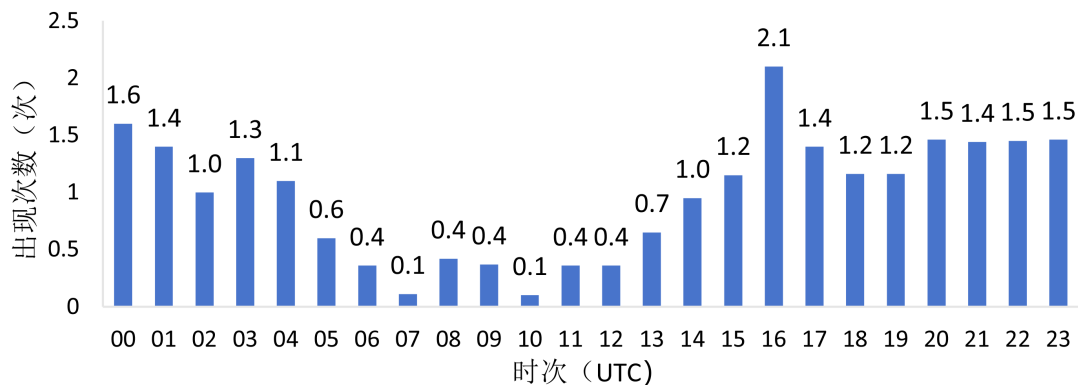


Figure 12. Diurnal distribution of snowfall (unit: events)
图 12. 降雪出现次数的日变化(单位: 次)

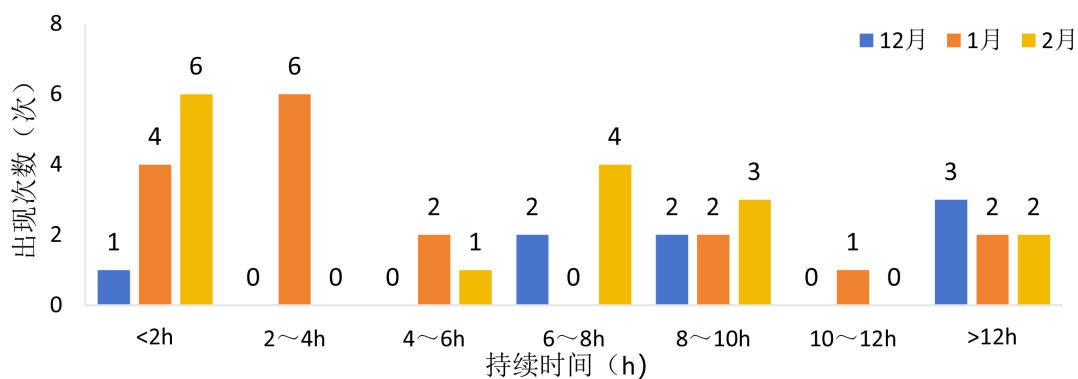


Figure 13. Duration statistics of snowfall (December-February, unit: events)
图 13. 12 月~2 月不同持续时间的降雪出现次数(单位: 次)

Table 1. Snowfall types and frequencies
表 1. 降雪天气类型及频率

天气现象	小雨夹雪	弱冻雨夹雪	米雪	小雪	中雪
次数	8	2	4	23	3
占比	20%	5%	10%	57.5%	7.5%

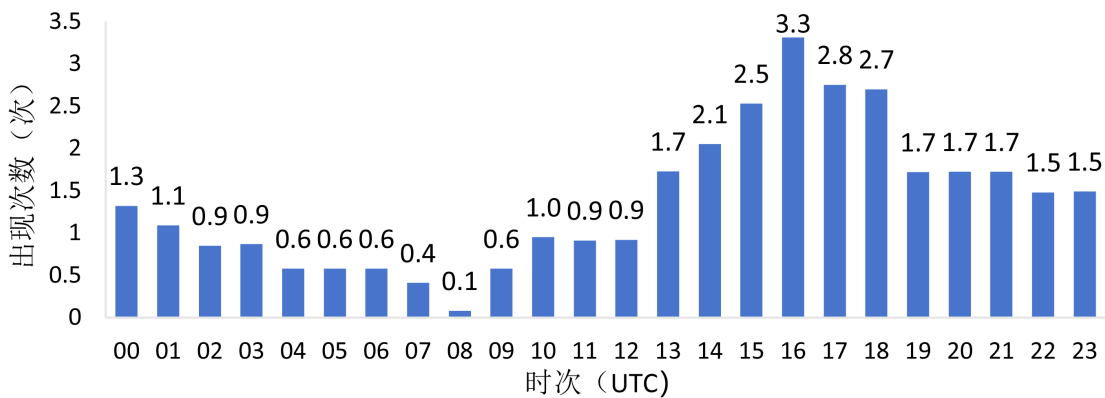


Figure 14. Diurnal distribution of freezing rain (unit: events)
图 14. 冻雨出现次数的日变化(单位: 次)

一般情况下，冻雨从傍晚开始，至第二天上午结束，中午前后，冻雨在地表面及近地面物体上的凝冻便会融化。如果冻雨连续时间长，且雨较稠密时，冻雨便无日变化可言，且越积越厚实，严重影响飞机的起降安全。

贵阳机场冻雨的不同持续时间中(图 15)，以<2 小时的出现日数最多。而各月的冻雨持续时间均有不同，其中 12 月易出现持续时间 >12 小时的冻雨，1 月易出现持续时间 <2 小时的冻雨，2 月易出现持续时间 <2 小时的冻雨。

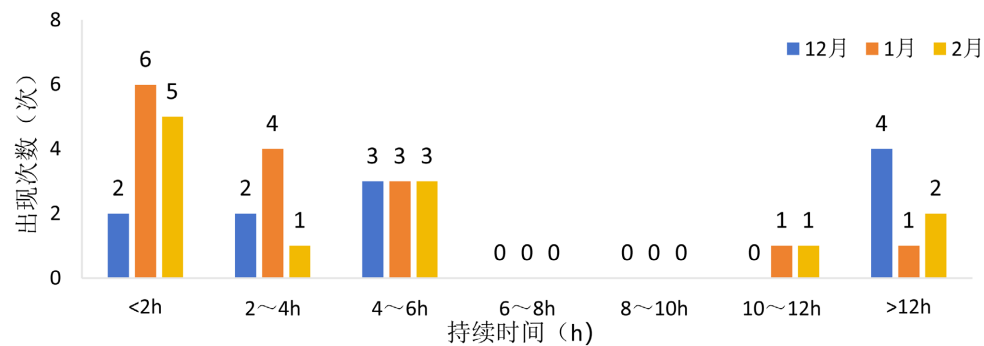


Figure 15. Duration statistics of freezing rain (December-February, unit: events)
图 15. 12 月~2 月不同持续时间的冻雨出现次数(单位: 次)

贵阳机场冻雨期间的气温分布显示，冻雨时当日气温最高可达 7.2℃，最低为-4.7℃。冻雨形态(表 2)有弱冻毛毛雨、弱冻雨，其中以弱冻毛毛雨出现频率最高，为 68.4%。

4.3.3. 霜天气特征

贵阳机场霜在 12 月~次年 2 月均可出现，其中 12 月出现日数最多，累年平均为 1.8 天。贵阳机场霜出现在 16UTC~次日 04UTC，其中 23UTC~24UTC 出现次数最多，平均为 3.4 次。贵阳机场霜的不同持续时间中(图 16)，以 2~4 小时的出现日数最多。而各月的霜持续时间均有不同，其中 12 月易出现持续

Table 2. Freezing rain types and frequencies
表 2. 冻雨天气类型及频率

天气现象	弱冻毛毛雨	弱冻雨
次数	26	12
占比	68.4%	31.6%

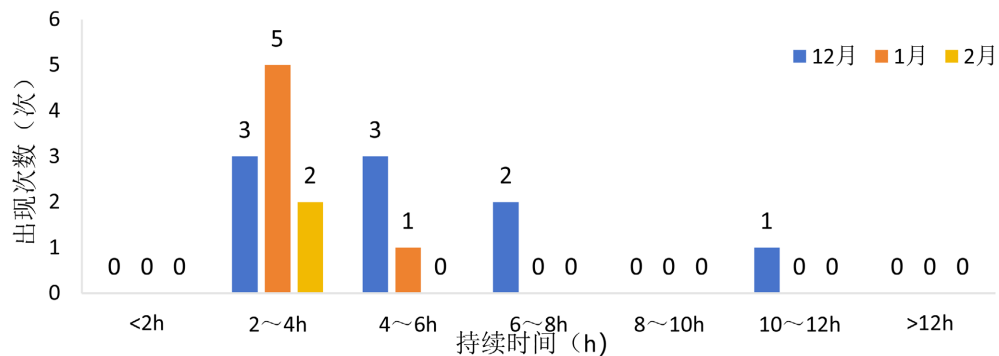


Figure 16. Duration statistics of frost (December-February, unit: events)
图 16. 12 月~2 月不同持续时间的霜出现次数(单位: 次)

时间 2~6 小时的霜, 1 月易出现持续时间 2~4 小时的霜, 2 月易出现持续时间 2~4 小时的霜。贵阳机场霜期间的气温分布显示, 有霜时的气温最高为 2.2℃, 最低为-4.2℃。

4.4. 大风和低空风切变

4.4.1. 大风天气特征

贵阳机场风速 ≥ 17 m/s 的大风天气主要有两类, 一类是热低压影响下的偏南大风, 一类是强对流天气伴随的雷暴大风。大风天气全年都可出现(图 17), 其中 3 月和 4 月平均出现次数均为 1.5 次, 为全年最高; 2 月最低, 为 0.3 次。

全天各时次均会出现大风天气(图 18), 但出现最多的时段为 01UTC~12UTC 之间, 多为午后大风, 其中 09UTC 大风出现次数最多, 为 128 次。贵阳机场历年来出现的风速极值是 2022 年 4 月 24 日的雷暴大风, 最大风速为 32 米/秒, 风向为 100°。

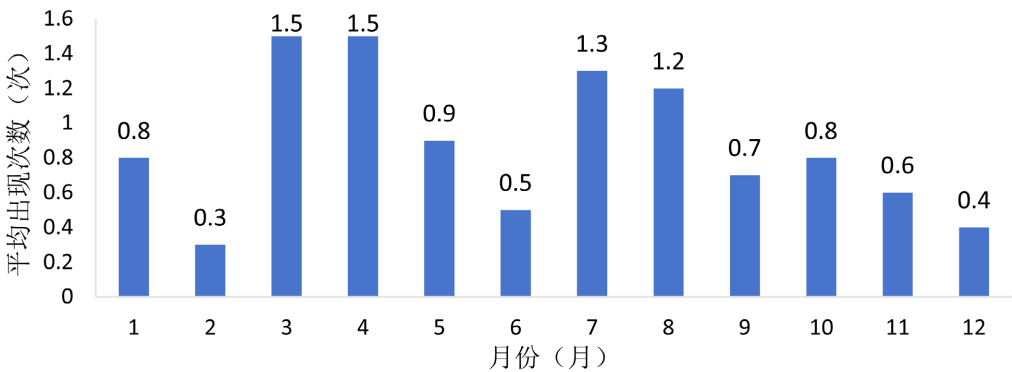


Figure 17. Annual variations of strong wind events (unit: days)

图 17. 大风平均出现次数的年变化(单位: 次)

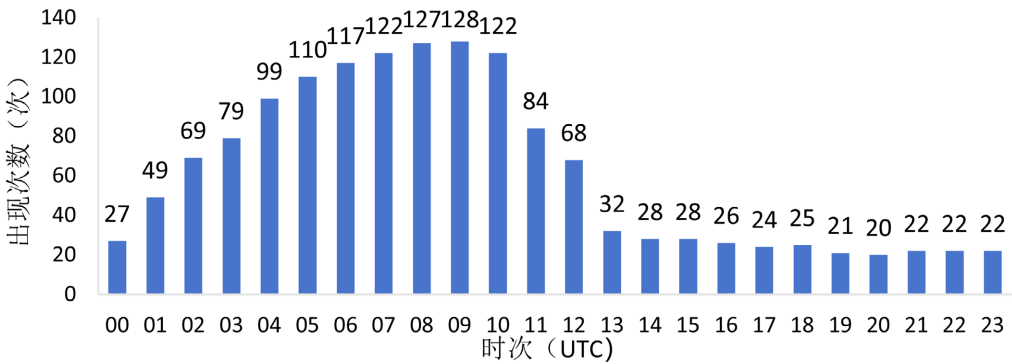


Figure 18. Diurnal distribution of strong winds (unit: events)

图 18. 大风出现次数的日变化(单位: 次)

4.4.2. 风切变天气特征

从风切变平均出现次数的年变化(图 19)可以看出, 贵阳机场除 6 月外, 其余各月均有风切变天气出现, 其中 3 月最多, 为 0.9 次, 8 月次之, 为 0.6 次。

风切变出现次数的日变化特征显示(图 20), 全天各时段均有风切变出现, 其中 10UTC 出现的风切变次数最多, 为 18 次; 而在 19UTC~22UTC 之间风切变的出现次数最少, 均为 1 次。

引发贵阳机场风切变的天气系统主要有冷锋、准静止锋、低空急流和局地热对流, 其中冷锋引发的

风切变最多，常伴随强对流天气过境，地面风由南风转为北风的过程中，北风越大、风向转换越快，风切变也越明显。

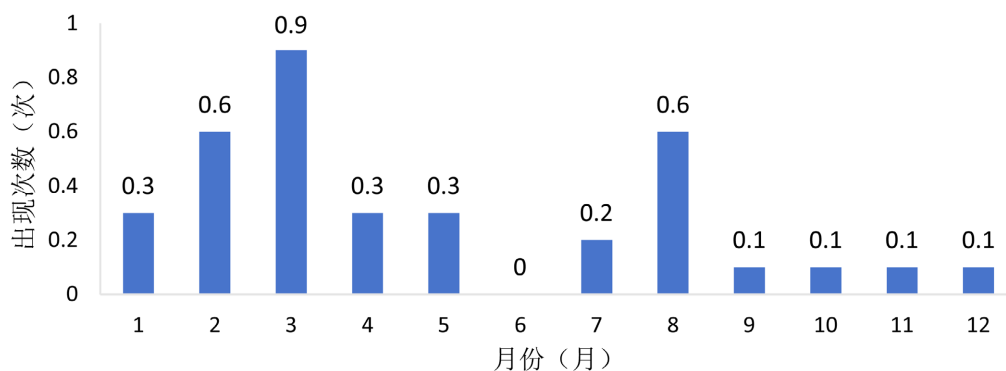


Figure 19. Annual variations of wind shear events (unit: days)

图 19. 风切变平均出现次数的年变化(单位: 次)

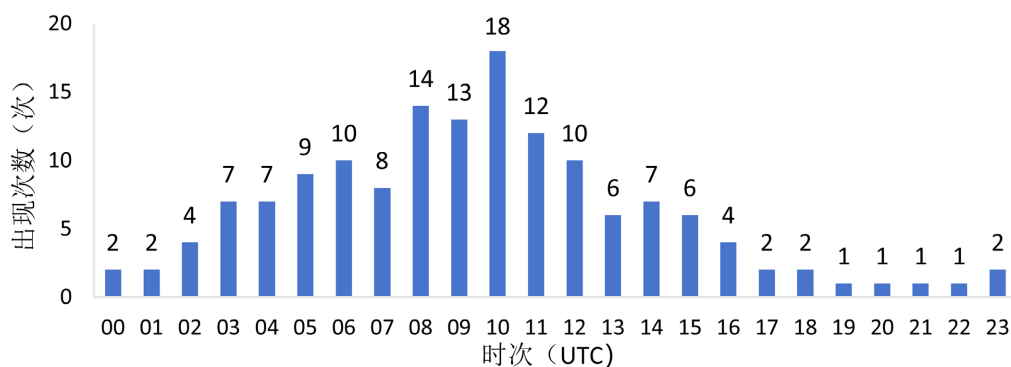


Figure 20. Diurnal distribution of wind shear (unit: events)

图 20. 风切变出现次数的日变化(单位: 次)

各类型风切变在各高度上的频次分布可以看出(图 21)，冷锋型风切变出现在 150~300 米高度上的几率较大；准静止锋型主要发生在 250~400 米的高度和 600 米以上的高度上；低空急流型各高度上频次差别不大，但是四种类型中最有可能发生在 50 米以下的风切变类型；局地对流型主要发生 150~400 米的高度上，400 米以上的情况很少发生。

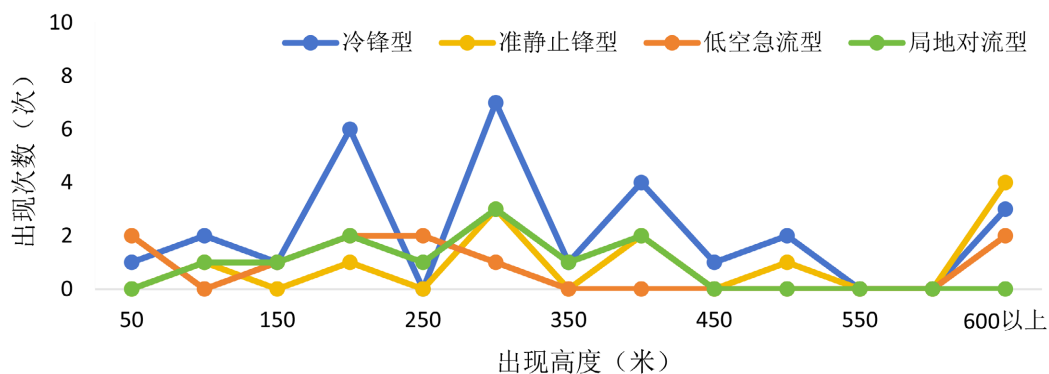


Figure 21. Altitude distribution of wind shear types (unit: events)

图 21. 不同类型风切变出现高度变化特征(单位: 次)

5. 运行保障气象建议

5.1. 复杂天气影响类型分析

根据 2008 年~2022 年贵阳机场航班运行受本场天气影响数据,将复杂天气对航班的影响分为“复飞”“返航备降”和“延误”三类,并按照低云、雾、强对流(包含雷暴、冰雹)、降雪、冻雨、霜、大风、风切变共计 8 类不同的天气类型影响情况进行分析(图 22)。可以看出,强对流天气出现次数最多,有 599 次,占全部复杂天气总数的 38%,低云天气 340 次,占比 22%,雾 220 次,占比 14%。造成航班复飞影响最多的天气是低云,有 67 架次,占比 44%,其次是强对流天气,有 41 架次,占比 27%,风切变影响的有 31 架次,占比 21%;造成航班返航备降影响最多的是强对流天气,有 1288 架次,占比 72%,其次是雾,有 220 架次,占比 12%,低云影响的有 137 架次,占比 8%,其余天气造成的返航备降影响较少;造成航班延误影响最多的天气是雾,有 1979 架次,占比 49%,其次为强对流天气,有 774 架次,占比 19%,降雪影响的有 735 架次,占比 18%。

复飞架次	67	9	41	0	0	0	3	31
返航备降架次	137	220	1288	33	1	0	39	59
延误架次	146	1979	774	735	375	4	30	0
天气次数	340	220	599	59	45	16	210	70
	低云	雾	强对流	降雪	冻雨	霜	大风	风切变

Figure 22. Impact classification of complex weather on flights
图 22. 贵阳机场复杂天气对航班的影响情况

5.2. 复杂天气影响年变化分析

分析各类复杂天气影响的年变化规律可知(图 23), 贵阳机场雷暴月平均出现日数主要发生在 5 月至 8 月;冰雹在 2~5 月偶有出现;降雪及冻雨均主要出现在 12 月至次年 2 月;霜主要出现在 1 月;雾主要出现在 6 月;低云主要出现在 11 月至次年 2 月,其中 1 月最多;大风主要出现在 3 月至 4 月、7 月至 8 月;风切变主要出现在 2 月、3 月及 8 月。贵阳机场春季多大风、低云、风切变和强对流天气影响,夏季主要受强对流天气、大风和大雾天气影响,秋季低云低能见度天气的影响开始增加,冬季主要受降雪、冻雨、霜和低云低能见度天气影响。

5.3. 复杂天气影响日变化分析

分析各类复杂天气的日变化规律可知(图 24), 贵阳机场雷暴多出现在 13 时至 21 时;冰雹多出现在 11 时至 14 时;降雪多出现在 00 时至 09 时;冻雨多出现在夜间,13 时至 21 时;霜多出现在 22 时~次日 01 时;雾多出现在夜晨,20 时至次日 01 时;低云多出现在夜间,15 时至次日 01 时;大风多出现在午后,04 时至 10 时;风切变多出现在 08 时至 11 时。一天当中,早高峰放行时段主要受低云、雾、大风天气影响;午后至傍晚时段主要受强对流、大风天气影响;夜间运行时段主要影响天气为强对流、低云和冰雪凝冻天气。

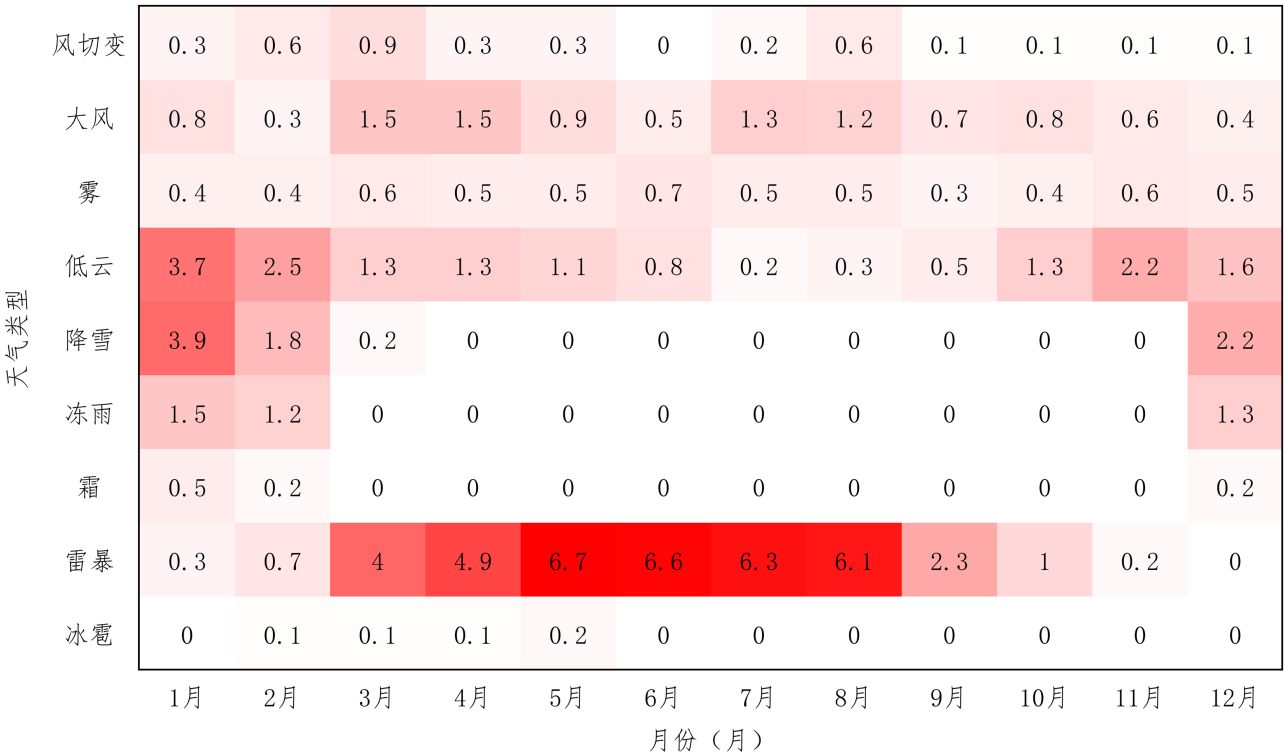


Figure 23. Monthly distribution of key weather types
图 23. 重要天气类型月平均出现日数年变化

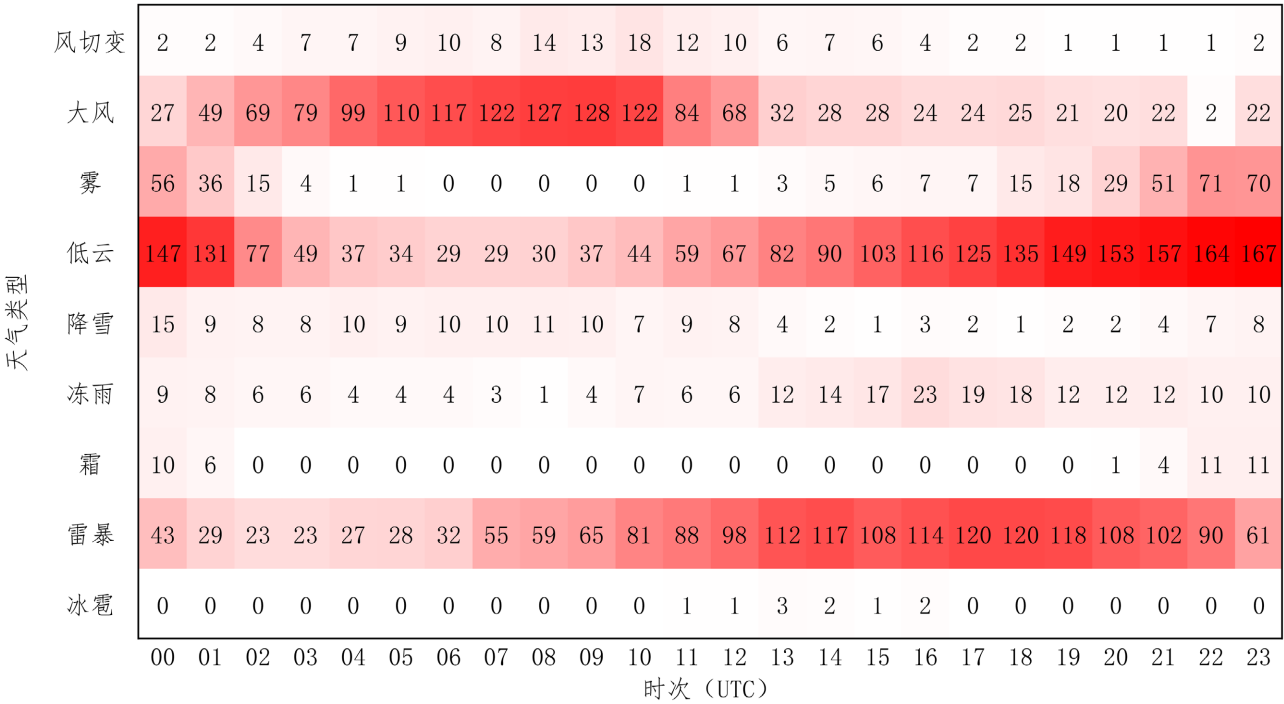


Figure 24. Diurnal distribution of key weather types
图 24. 重要天气类型出现次数日变化

6. 结论

6.1. 贵阳机场复杂天气时空特征显著

强对流天气：年均雷暴日数达 39.1 天，高发于 5~8 月午后至傍晚，局地热雷暴与系统性雷暴并存，导致航班备降占比达 72%。

低云低能见度：年均雾日 22.9 天，冬季锋面雾与辐射雾交替，主导能见度常低于 550 米，是航班延误的主要诱因(占比 49%)。

冰雪凝冻：1 月降雪、冻雨频发，冻雨持续时间最长可达 12 小时，需依赖除冰作业保障跑道适航性。

大风与风切变：春季偏南大风与雷暴大风并存，风切变多由冷锋过境引发，高度集中在 150~400 米，对起降阶段威胁显著。

6.2. 贵阳机场复杂天气应对建议

差异化保障策略：强对流天气需加强雷达监测，提前做好航路绕飞预案；低云低能见度应根据 II 类运行标准配备机组资源；冰雪凝冻需提前科学部署除冰资源。

时间敏感调度：早高峰重点关注低云与雾，午后防范强对流，夜间加强冰雪天气预警。

6.3. 研究意义与展望

本研究通过多源数据融合，首次系统揭示了贵阳机场复杂天气的交互影响机制，提出的运行建议已初步应用于贵州空管分局的预警业务，未来需进一步结合数值模式与人工智能技术，提升短临预报精度，并探索地形动力效应对局地天气的调制作用。

参考文献

- [1] 民航贵州空管分局. 贵阳龙洞堡国际机场航空气候志(2008 年-2022 年版) [Z]. 2024.
- [2] 苏艳华, 裴昭昭, 徐畅. 气候变化对民航运行的影响[J]. 民航管理, 2019(11): 60-62.
- [3] 唐枫, 徐庆彬, 邓小光. 基于贵阳机场运管委运行模式下的航空气象服务浅析[J]. 国际航空航天科学, 2025, 13(1): 1-14.
- [4] 罗璇. 贵阳机场近 10 年雷暴气候特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(3): 122-126.
- [5] 刘开宇, 梁卫, 戴平. 贵阳地区“2022.1.4”冬季极端冰雹天气诊断分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(3): 457-464.
- [6] 宋媛, 刘贵萍. 贵阳机场辐射浓雾起雾前气象要素变化研究初探[J]. 自然科学, 2024, 12(6): 1242-1250.
- [7] 罗浩, 张亚男. 利用多源数据对 2019 年 2 月贵阳机场准静止锋低云天气诊断分析[J]. 高原山地气象研究, 2023, 43(2): 44-51.
- [8] 杨凤婷. 贵阳机场冬季不利天气条件及预报思路[J]. 自然科学, 2023, 11(5): 809-817.
- [9] 司林青. 贵阳机场冻雨统计特征及一次典型案例分析[J]. 自然科学, 2022, 10(4): 437-445.
- [10] 张亚男, 罗浩. 贵阳机场低空风切变成因初步分析[J]. 气象科技进展, 2023, 13(2): 58-66.
- [11] 刘烈霜, 刘贵萍, 刘开宇, 张媛. 一次下击暴流个例的诊断分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2012, 34(S1): 33-3842.