

成都双流机场多跑道地面风特征分析

林 莉¹, 罗 浩², 杨栋楠¹, 褚芸欣¹, 刘烈霜¹

¹民航西南空管局气象中心, 四川 成都

²民航贵州空管分局气象中心, 贵州 贵阳

收稿日期: 2026年7月17日; 录用日期: 2026年8月20日; 发布日期: 2026年8月31日

摘 要

利用成都双流国际机场2021~2025年跑道自动气象观测系统逐分钟地面风资料, 分析了多跑道构型下地面风场的时空分布特征及其运行影响。结果表明, 双流机场地面风场受季风环流与局地地形共同作用, 各跑道端风向频率与风速强度呈显著空间差异, 该差异在日变化与季节尺度上均具有稳定表现, 日变化方面东西跑道大风时段呈错峰分布, 季节尺度方面各跑道端均具有春季北风占优、夏季南风增强的特征。顺风超标事件在季节与日变化时段上呈非均匀分布, 且不同跑道端之间的发生频率存在差异。极端大风事件集中于春末至初秋, 特定跑道端的气候风险显著高于其余跑道端。上述结果表明, 多跑道机场的风场特征无法通过单点观测予以完整表征, 宜依据各跑道端的差异化分析结果, 构建分跑道、分时段的气象预警与运行响应方案。

关键词

多跑道, 地面风场, 时空分布, 顺风超标, 极端大风

Surface Wind Characteristics Analysis for Multi-Runway Operations at Chengdu Shuangliu International Airport

Li Lin¹, Hao Luo², Linan Yang¹, Yunxin Chu¹, Lieshuang Liu¹

¹Meteorological Center, Southwest Air Traffic Management Bureau, CAAC, Chengdu Sichuan

²Meteorological Center, Guizhou Air Traffic Management Bureau, CAAC, Guiyang Guizhou

Received: July 17, 2026; accepted: August 20, 2026; published: August 31, 2026

Abstract

Based on the one-minute surface wind data from the Automated Weather Observation System

文章引用: 林莉, 罗浩, 杨栋楠, 褚芸欣, 刘烈霜. 成都双流机场多跑道地面风特征分析[J]. 地理科学研究, 2026, 15(4): 753-762. DOI: 10.12677/gser.2026.154068

(AWOS) at Chengdu Shuangliu International Airport from 2021 to 2025, this study investigates the spatiotemporal distribution characteristics of surface wind fields under a multi-runway configuration and their implications for airport operations. The results indicate that the surface wind field at Chengdu Shuangliu Airport is jointly modulated by the monsoon circulation and local topography, exhibiting significant spatial disparities in wind direction frequency and wind speed intensity among runway ends, with stable manifestations on both diurnal and seasonal scales. Diurnally, strong wind events on the eastern and western runways show staggered peak hours; seasonally, all runway ends are characterized by northerly wind dominance in spring and enhanced southerly wind in summer. Tailwind exceedance events exhibit non-uniform distributions across seasons and diurnal periods, with systematic frequency differences among runway ends. Extreme wind events are concentrated from late spring to early autumn, with certain runway ends showing substantially higher climatic risk exposure than the others. These findings suggest that the surface wind characteristics of multi-runway airports cannot be fully captured by single-point observations; instead, differentiated meteorological warning and operation response strategies should be established based on runway-end-specific analyses.

Keywords

Multi-Runway, Surface Wind Field, Spatiotemporal Distribution, Tailwind Exceedance, Extreme Wind

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

地面风是影响民航机场运行的关键气象要素之一，直接关系到航空器起降安全、航班放行效率及低空风险管控。其中，阵风突变、顺风及侧风对起降阶段的影响尤为显著，因此机场跑道地面风精细化监测、特征研判及临近预报预警对机场安全高效运行至关重要[1]。在机场地面风场研究领域，国内外航空气象学者结合不同区域机场地形、空域构型、跑道布局开展了大量针对性研究[2]-[5]，同时在数值预报产品解释应用、新型风场探测设备业务化运行等方面取得阶段性成果：朱静威等[6]基于首都机场三条跑道两端及中间探测点的地面风观测资料，系统对比分析了不同季节、不同风向下各跑道地面风的异同特征及变化规律，揭示了多跑道布局下地面风时空分布的非均匀性及其对跑道运行选择的影响机制，为首都机场多跑道运行模式下跑道风向匹配策略及地面风预报服务提供了观测事实支撑；王珂等[7]依托计算流体动力学(CFD)方法，利用 FLUENT 软件构建重庆江北机场三跑道布局下的航空器地面滑行模型，系统研究了不同侧风条件下滑行航空器的气动力响应特征与安全阈值，弥补了实际观测中极端侧风样本不足的局限，为机场多跑道滑行调度方案优化及侧风运行标准的制定提供了理论依据。上述研究分别从观测统计和数值模拟角度揭示了多跑道风场的部分特征，但针对西南地区复杂地形下多跑道机场的系统性风场时空分析尚不多见，尤其缺乏基于长时间序列观测数据的跑道端精细化对比研究。通过深入探究多跑道气象要素的时空变化规律，进一步揭示其对机场运行已产生或潜在的影响，从而为制定针对性的本地气象预警与运行策略提供科学依据。研究成果将有助于提升气象探测、预报与运行保障的本地化与精准化水平。

2. 机场概况及资料介绍

成都双流国际机场(以下简称双流机场)位于四川省成都市西南部，如图 1。成都地区位于四川盆地西部边缘，其地势的典型特点是北高南低、西高东低，自西北向东南倾斜。盆地西部边缘为龙门山脉，盆

地中西部有龙泉山脉，龙门山脉与龙泉山脉之间形成了东北-西南向的袋形走廊，走廊中地势平坦，双流机场就处于走廊正中的成都平原上，受复杂的大、小地形影响，形成了独特的地方性气候特点。

成都双流国际机场作为西南区域核心航空枢纽，双跑道运行多年。机场近地面风场局地特征突出，跑道两端风场差异性、雨天顺风突变特征对航空器起降限制明显。本文选用成都双流国际机场 2021 年 1 月~2025 年 12 月跑道自动气象观测系统(AWOS) 10 m 高度逐分钟地面风观测资料，结合本场两条平行跑道(西跑道 02L/20R，东跑道 02R/20L)运行模式，依据民航起降顺风、侧风运行阈值，从机场常年盛行风分型、风场季节演变规律、日变化特征、跑道四端风要素差异性、降雨耦合顺风超标特征等维度开展统计分析，系统分析本场近地面风场时空分布规律，以期双流机场跑道运行方向调度、起降气象风险研判、地面风预警指标修订提供客观的数据支撑与理论依据。

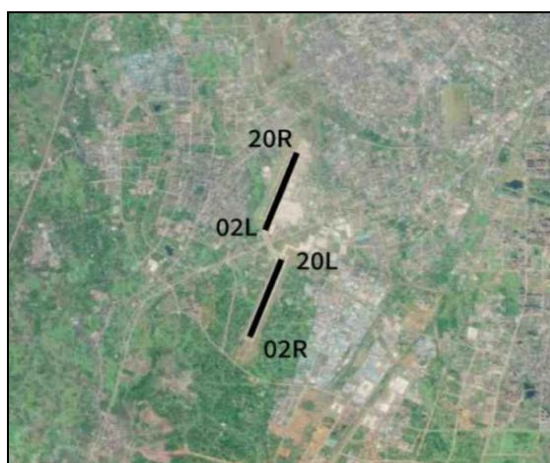


Figure 1. Runway layout of Chengdu Shuangliu International Airport

图 1. 成都双流机场跑道平面示意图

3. 地面风场特征分析

3.1. 跑道端地面风场特点

利用成都双流机场两条跑道，四个跑道端口 2021 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日 AWOS 地面平均风数据按 16 方位统计风向频率，绘制风玫瑰图，如图 2 所示，双流机场受季风气候影响，同时结合地形，形成了以北-南向为主导的盛行风向。

各跑道端风场呈现一定程度的差异，逐跑道进行分析：02L 跑道端主导风向为正北风，高频风速集中在 2 至 4 m/s，其次为 6 m/s 区间；次要风向为西南风，以小于 4 米/秒风速为主；东北方向上的频率相对较高，高频风速集中在 2 至 8 m/s。20R 跑道端在正北风方向频率相对最多，但风速均低于 8 米/秒，其余方向风速和频率均较小。02R 跑道端东北风出现频率小于西南风和南风出现频率，但北风风速区间大于南风风速，与 02L 跑道端相比，02R 北风出现频率偏少，但在西南风和南风方向出现频率偏高，且偏西风方向出现频率分布更均匀。20L 跑道端正北风方向出现频率为所有跑道端最低，而东北风方向风出现频率为所有跑道端最高且覆盖风速达到 12 米/秒，西南风方向同样存在高频风区，且西南风方向风速分布更均匀；整体而言，双流机场四个跑道端以正北和偏东北风为主导风向，主要风速范围为 2~8 m/s，次主导风速集中在西南方向，主要风速范围为 2~4 m/s；由此可以看出，局地地形差异导致各跑道端风向和风速在共性中也表现出一定差异性。上述差异表明，即便在同一机场范围内，跑道空间位置的变化亦可导致风场统计特征的差异，其成因将在第 4 章进一步讨论。

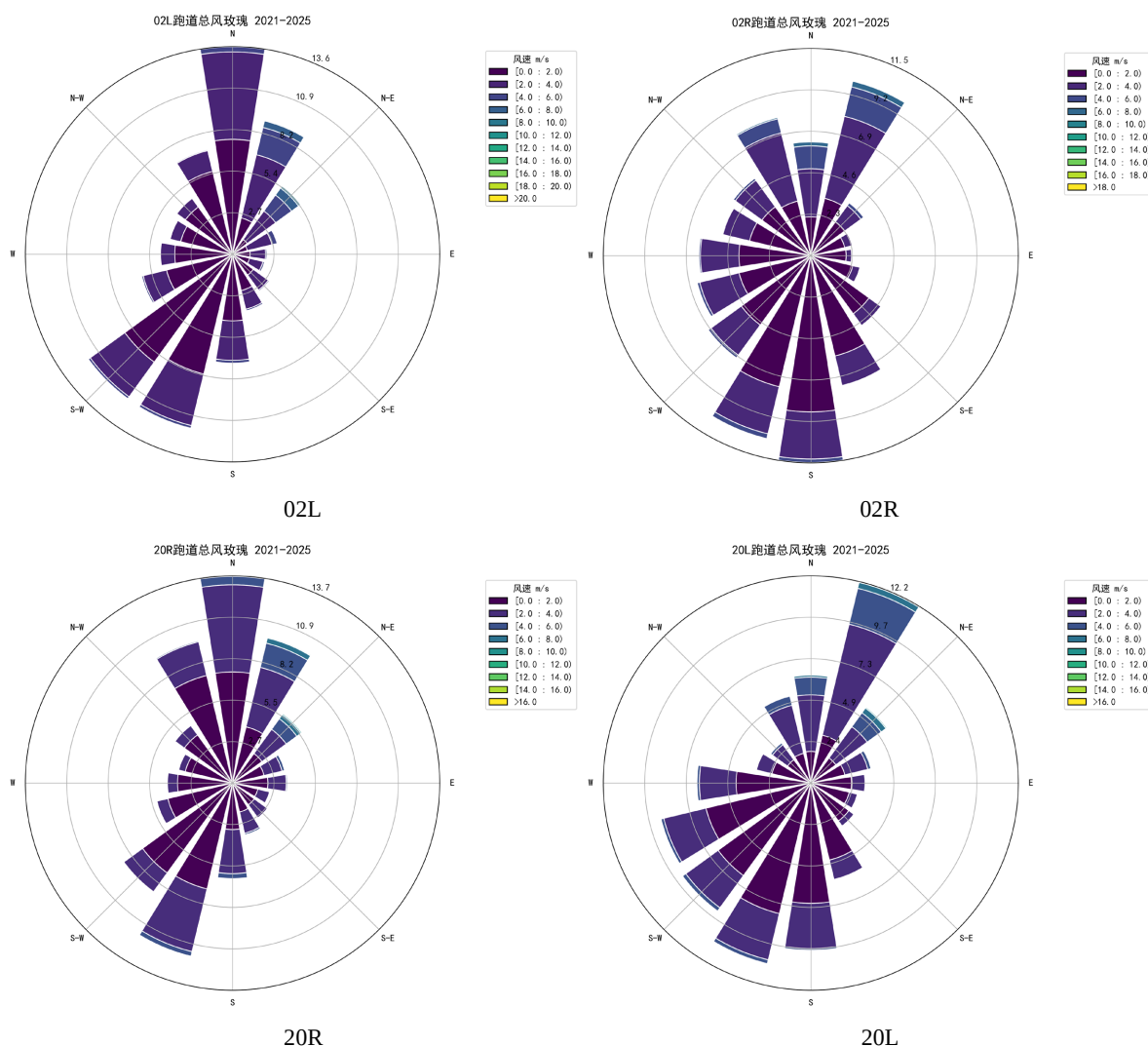


Figure 2. Surface wind rose for each runway end, Shuangliu International Airport

图 2. 双流机场各跑道端地面风玫瑰图

3.1.1. 跑道端各风向对应风速日变化特征

图 3 是双流机场双跑道 4 端各风向区间 10 min 平均风速的日变化的热力图, 由图可见, 西跑道 02L 和 20R 偏东北风区间($0^{\circ}\sim 070^{\circ}$)风速均明显大于其它风向, 且较大风速集中出现在夜间(北京时间, 下同) 17~23 时, 北端 20R 的平均风速大于南端 02L, 偏南风区间($150^{\circ}\sim 220^{\circ}$)风速为次大风速区间, 集中出现在 12~22 时段, 且北端 20R 的平均风速大于南端 02L。东跑道 02R 和 20L 在北风区间($320^{\circ}\sim 050^{\circ}$)也出现风速大值区, 主要出现在傍晚 15~20 时段。偏西南风区间($170^{\circ}\sim 220^{\circ}$)为次大风速区间, 出现在午后 14~18 时段。且北端 20L 的平均风速大于南端 02R。对比来看, 各跑道风场日变化存在明显差异。西跑道整体以偏东北风区间风速最大, 是全天最主要的大风风向区间。西跑道风速高值时段集中在夜间 17 时至 23 时, 夜间大风现象显著。西跑道偏南风区间为次大风速区, 风速高值主要出现在 12~22 时, 昼夜风向风速变化规律明显。东跑道风速大值区集中在北风区间, 风速高值时段主要出现于午后至傍晚的 15~20 时, 风速高值时段相较于西跑道出现时间偏晚。东跑道偏西南风为次大风速区间, 主要分布在午后 14~18 时, 午后东跑道南风更显著。东跑道同样呈现北端风速更强的规律。整体来看, 东西跑道大风时段存在错峰

特征,跑道四端风场不仅存在空间差异,也具有日变化规律。

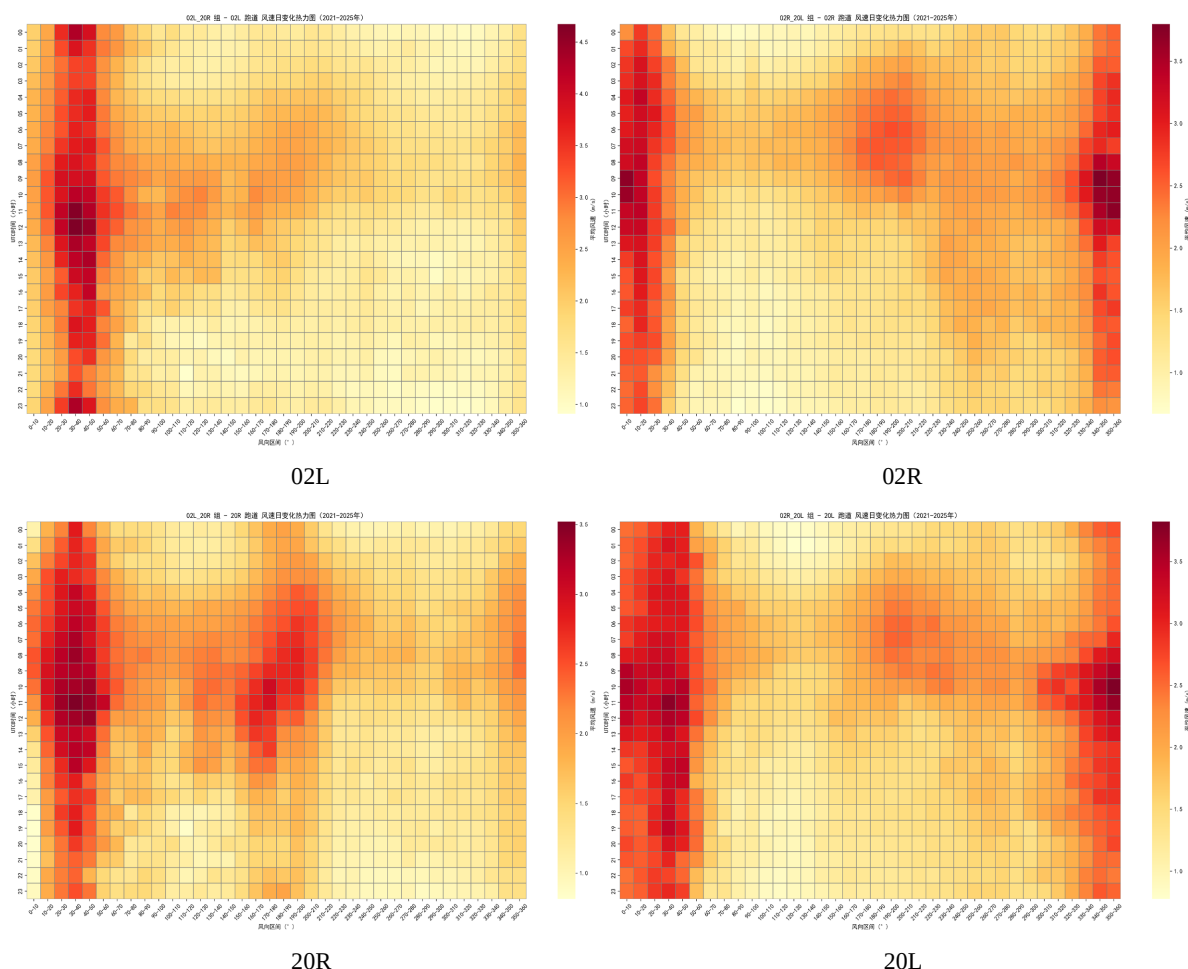


Figure 3. Heatmap for diurnal variation of mean wind speed vs. wind direction at each runway threshold, Shuangliu International Airport

图 3. 双流机场各跑道端风向的平均风速日变化热力图

3.1.2. 跑道端各风向对应的风速年变化特征

图 4 是双流机场双跑道 4 端各风向 10 min 平均风速的年变化热力图, 由图可见, 西跑道南北端风向在所有月份北风区间($10^{\circ}\sim 70^{\circ}$)的平均风速均大于其它风向段, 其中 3~5 月的北风平均风速大于其它月份。跑道北端 20R 在 4~9 月南风区间($150^{\circ}\sim 220^{\circ}$)的平均风速为次大值区。跑道北端 20R 南风风速大于跑道南端 02L。东跑道南北两端(02R, 20L)的北风区间($340^{\circ}\sim 040^{\circ}$)的平均风速大于其它风向段, 其中 3~5 月的北风平均风速大于其它月份。4~9 月南风区间($160^{\circ}\sim 270^{\circ}$)的平均风速为次大值区。东西跑道各跑道端风场存在显著的月变化规律。西跑道全年各月均表现为北风区间风速最大。西跑道北风高值风速主要集中在 3~5 月, 春季北风风力整体更强。西跑道北端 20R 在 4~9 月南风区间形成稳定次大风速区, 夏季南风风场活跃度。相同南风风向条件下, 西跑道北端 20R 风速整体大于南端 02L, 南北差异常年存在。东跑道全年同样以北风区间风速最大。东跑道北风高值同样集中在 3~5 月, 与西跑道春季大风特征一致。东跑道在 4~9 月南风、西南风区间形成次大风速分布, 东西跑道风场月变化规律相似, 均呈现春季北风强、夏季南风次强的季节特征。综合来看, 双流机场各跑道端风场不仅存在空间分布

差异，而且具备季节性变化规律。

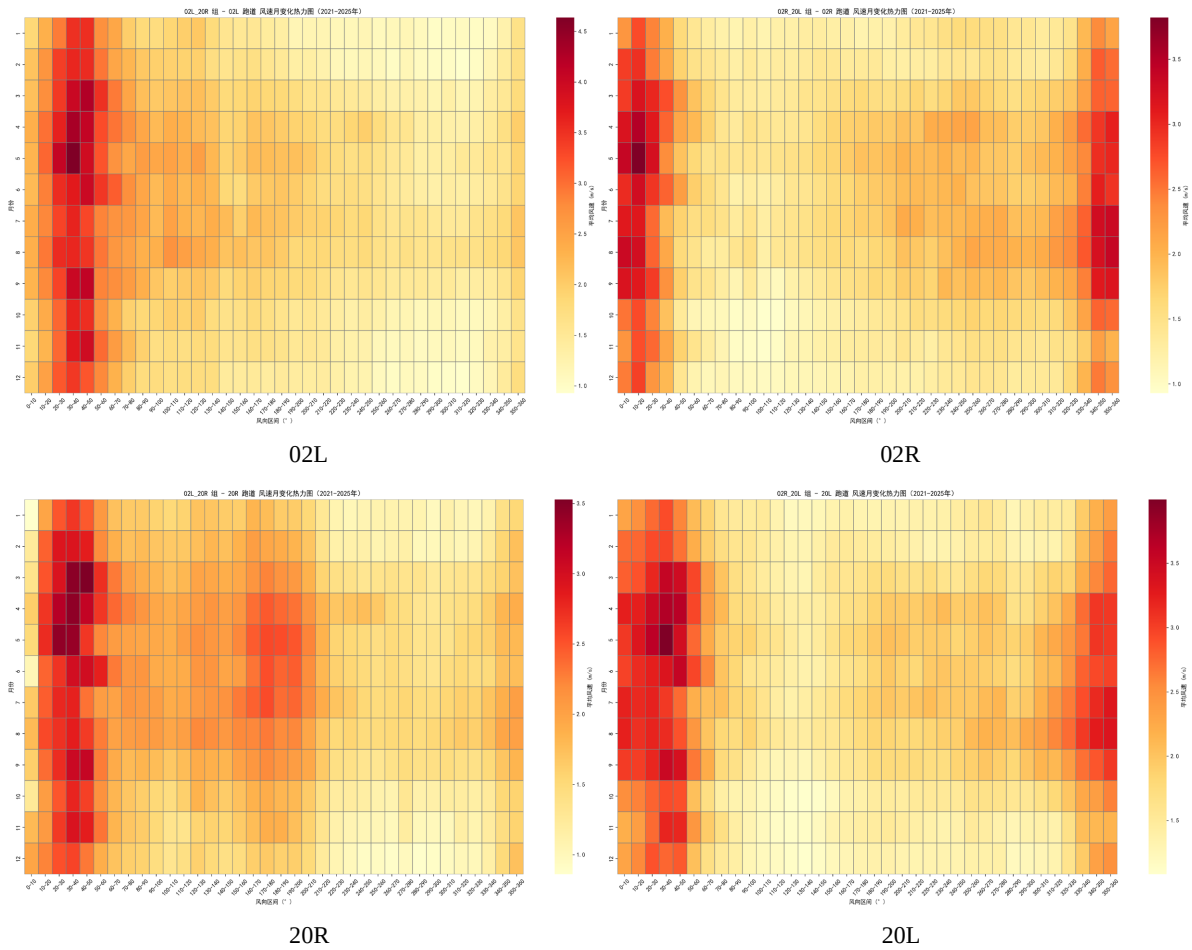


Figure 4. Heatmap of annual variation of mean wind speed by wind direction at each runway end, Shuangliu International Airport
图 4. 双流机场各跑道端风向的平均风速年变化热力图

3.2. 跑道端地面风运行分析

根据双流机场管制运行需求[8][9]，目前主要关注顺风超标阈值为湿跑道 1.5 m/s、3.5 m/s，干跑道 5 m/s。对 02L 和 02R 跑道端顺风发生频率做热力图，如图 5 所示，02L 跑道端顺风超标发生频率具有季节性分布特点，以 4 月，7 至 9 月发生频率最高，3 月、5 月、6 月及 10 月次之，从日变化来看主要出现在午后至次日早晨。上午出现频率较小。02R 跑道端顺风超标发生频率较 02L 明显偏少，仍以 4 月，7 至 9 月发生频率最高，5 月、6 月及 10 月次之。从日变化来看主要出现在午后至傍晚，7~9 月可以延续至次日早晨 08:00。

如图 6 所示，02L 和 02R 跑道端湿跑道顺风超标发生频率具有一致的季节性分布特点，超过 3.5 m/s 年变化分布不均匀，主要集中出现在 3~9 月，出现频率最高的是 7 月和 8 月。日变化方面，主要集中在中午 14 时~次日凌晨 06 时，出现频率最高的是凌晨 02~03 时。

如图 7 所示，02L 和 02R 跑道端顺风超标发生频率具有一致的季节性分布特点，超过 5 m/s 年变化分布不均匀，主要集中出现在 5~7 月，其次是 8~9 月。日变化方面，主要集中在中午 12 时~傍晚 18 时，其次是 19 时。

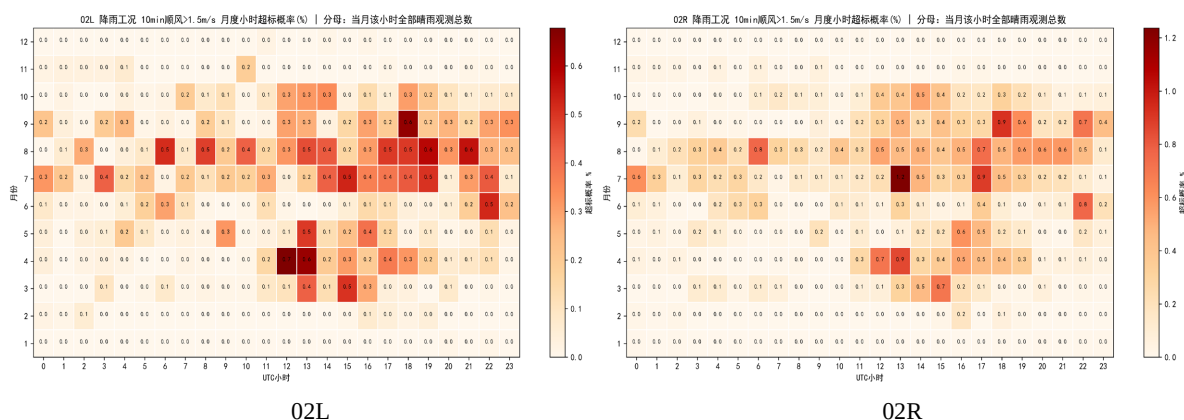


Figure 5. Diurnal variation heatmap of tailwind over 1.5 m/s (Wet Runway, 02L Left, 02R Right, Unit: %)

图 5. 跑道端顺风超过 1.5 m/s 日变化热力图(湿跑道)(左 02L, 右 02R, 单位: %)

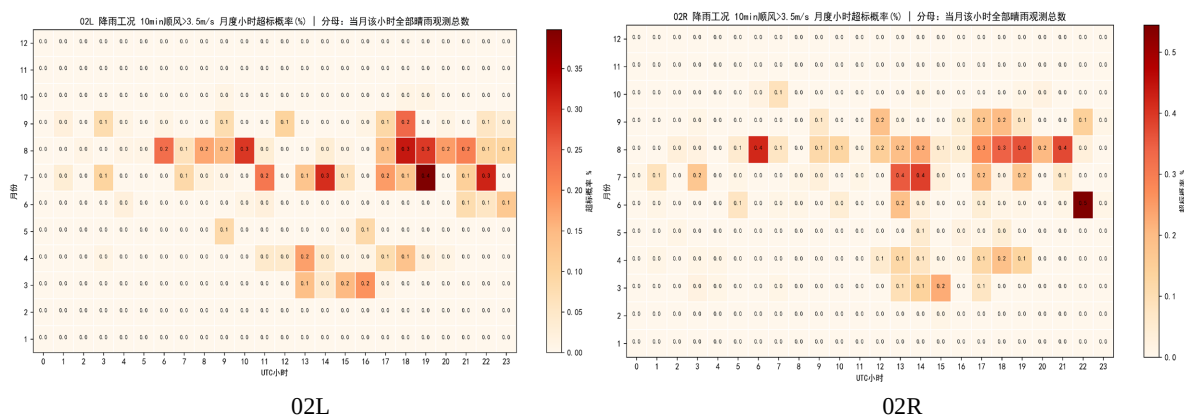


Figure 6. Diurnal variation heatmap of tailwind over 3.5 m/s (Wet Runway, Left: 02L, Right: 02R, Unit: %)

图 6. 跑道端湿跑道顺风超过 3.5 m/s 日变化热力图(左 02L, 右 02R, 单位: %)

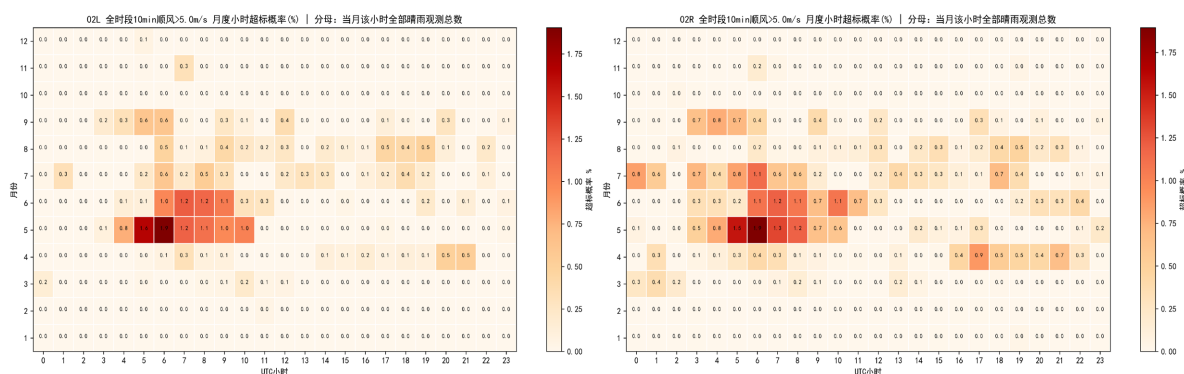


Figure 7. Diurnal variation heatmap of tailwind over 5 m/s (Left: 02L, Right: 02R, Unit: %)

图 7. 跑道端顺风超过 5 m/s 日变化热力图(左 02L, 右 02R, 单位: %)

3.3. 跑道端的大风特征

3.3.1. 大于 8 m/s 的地面风

如图 8 所示, 双流机场双跑道 4 端风速大于 8 m/s 的统计情况, 上中下子图分别为日变化、年变化和年际变化。从 10 分钟平均风速(WS10A)的日分布来看, 风速超过 8 m/s 最集中的时段四端均为下午到夜



Figure 8. Statistics for wind speed exceeding 8 m/s at runway thresholds (Top to bottom: diurnal, annual, interannual variation; Blue: 10-min mean wind, Orange: 2-min mean wind, Green: instantaneous wind)

图 8. 跑道端风速 > 8 m/s 统计图, 从上到下依次是日变化、年变化、年际变化(蓝色是 10 分钟平均风速、桔色是 2 分钟平均风速、绿色是瞬时风速)

间的 12~20 时, 02L 和 02R 的峰值均出现在 12 时, 20L 和 20R 的峰值也出现在 12 时, 各跑道端次峰值均出现在 16~19 时。02L 和 20R 谷值均出现在 21 时, 02R 和 20L 的谷值均出现在 10 时。在夜间 23 时~次日 02 时也有一个次峰值区。超过 8 m/s 的总分钟数(统计数值略) 02L 和 20L 显著高于 02R 和 20R。因此可得出西跑道南端和东跑道北端超过 8 m/s 的大风显著高于西跑道北端和东跑道南端的结论。从月分布来看, 5 月份是各个端头出现超过 8 m/s 大风最多的月份, 西跑道南端 02L 出现的分钟数均远远超过其它跑道端, 2 月份则是各端头出现超过 8 m/s 大风最少的月份。各跑道端年变化趋势来看, 超过 8 m/s 的瞬时风速、2 分钟平均风速和 10 分钟平均风速, 2021~2022 年各跑道端成上升趋势, 2022 年达到峰值。2023~2025 年, 02L 和 20R 超过 8 m/s 的大风次数较为平均, 02R 和 20L 超过 8 m/s 的大风次数呈逐年上升趋势。瞬时风和 2 分钟平均风的统计情况与 10 分钟平均风速统计结论相近, 不再赘述。

3.3.2. 大于 15 m/s 的地面风

成都双流机场双跑道各端风速超过 15 m/s 的统计情况(图略), 发生事件数量进一步减少, 日变化 02L 主要集中在 15~19 时和 23 时~次日 02 时, 20R 主要集中在 15~19 时和次日 04 时, 02R 主要集中在次日 23 时, 20L 主要集中在 17 时和 23 时。年变化来看 02L 和 20L 主要集中在 5~9 月, 02R 主要集中在 5 月, 20R 主要集中在 8 月。根据气候统计, 双流机场春末秋初 5~9 月容易出现雷暴大风。年际变化来看, 近两年 2024~2025 年 2 分钟平均风速大于 15 m/s 出现次数较为平均, 10 分钟平均风速出现次数明显减小, 但近两年西跑道 02L 和 20R 均有出现, 东跑道 20L 近五年未出现大于 15 m/s 的情况。因为 15 m/s 属于偶发事件, 所以在年际变化方面没有明显规律可言。跑道对比方面, 02L 跑道发生 15 m/s 以上大风次数仍远大于其他跑道端。

3.3.3. 大于 17 m/s 的地面风

大于 17 m/s 的大风情况(图略)其发生的次数较大于 15 m/s 更低, 瞬时风速、2 分钟平均风速以及 10 分钟平均风速日变化, 02L 主要集中在 15~19 时, 02R 出现在 23 时。瞬时风速 02L 出现在 23 时, 20R 出现在 04 时, 20L 出现在 17 时和 20 时。年变化, 10 分钟平均风速大于 17 m/s 的大风情况, 02L 出现在 9 月, 02R 出现在 5 月。瞬时风速, 20R 出现在 8 月, 20L 出现在 9 月。年际变化来看, 近两年 2024~2025 年平均风速大于 17 m/s, 02L 和 02R 出现次数偏多。总体来看, 大于 17 m/s 的大风情况仅发生在个别年份的个别月份。

4. 结果

成都双流机场受季风与局地地形共同作用, 整体盛行北-南向气流, 各跑道端风场存在统一气候共性与显著空间差异。风玫瑰图结果表明, 四跑道端均以正北、东北风为主导风向, 主风速区间 2~8 m/s, 西南风为次盛行风向, 风速集中 2~4 m/s; 但 02L 正北风频率最高, 20L 东北风频次与风速区间均为全场最大, 02R 西南、南风占比偏高, 20R 整体风速偏弱, 局地地形与跑道构型造成各端口风向频率、风速强度的差异化分布。

各风向日变化特征显示东西跑道大风存在明显错峰特征: 西跑道 02L/20R 偏东北大风集中夜间 17~23 时, 北端 20R 平均风速常年高于南端 02L; 东跑道 02R/20L 北风高值出现在 15~20 时, 午后西南风活跃, 北端 20L 风速高于 02R。季节尺度上, 各跑道端春季 3~5 月北风风力最强, 夏季 4~9 月形成次强南风风场, 南北端风速强弱差异在全年各月均保持一致。

运行风险层面, 湿跑道顺风 > 1.5 m/s 超标以 4 月、7~9 月高发, 02L 超标频率显著高于 02R; 湿跑道 3.5 m/s 超标集中夏季, 午后及凌晨多发; 5 m/s 超标集中春夏季中午至傍晚, 随阈值提升高发时段缩短至 12~18 时。极端大风统计显示, > 8 m/s 大风 5 月最多、2 月最少, 西跑道 02L、东跑道 20L 大风频次更高; > 15 m/s 雷暴大风集中 5~9 月, 02L 发生频次远超其余跑道端, 20L 近五年无 10 分钟平均风速超 15 m/s 记录; ≥ 17 m/s 强阵风属于偶发极端事件, 仅零散出现在春末至初秋月份。

5. 讨论

5.1. 多跑道风场差异化特征的综合讨论

综合上述观测事实, 双流机场四跑道端风场的时空分布差异是由大尺度季风环流、局地地形强迫及跑道空间构型共同作用的结果。季风背景决定了本场北-南向的主导气流方向, 而跑道东、西两组布局与周边地形共同调制了各端口的局地风速、风向频率及极端事件出现概率。这一发现与朱静威[6]在首都机场多跑道地面风特性研究中揭示的跑道间风场非均匀分布规律具有一致性, 表明多跑道机场普遍存在

因跑道空间位置不同而导致的风场特征分化, 该分化对跑道运行选择具有重要影响。

值得注意的是, 东西跑道大风错峰特征的发现, 为多跑道运行策略的动态调整提供了新的时间维度依据。日变化尺度上西跑道夜间大风与东跑道午后大风错峰出现的规律, 意味着在特定时段优先选用大风风险较低的跑道端可有效降低顺、侧风超标概率, 这一思路与刘烈霜[10]关于多跑道机场气象服务需从“场级”向“跑道级”转变的理念一致。

5.2. 对运行安全与效率的启示

风场特征的分跑道端精细化识别对运行安全与效率具有直接指导意义。本场 02L 跑道在顺风超标频率、>8 m/s 大风频次, 以及>15 m/s 雷暴大风记录方面, 均显著高于其他跑道端, 而 20R 则整体表现为全场风速最弱的跑道端。这种跑道端间的固有风险差异, 为极端天气下跑道选用策略的优化提供了客观依据 - 在雷暴大风高发期(5~9 月), 优先选用 02R 或 20R 执行起降任务, 在气候统计意义上可降低遭遇强风的风险。同时, 大风错峰的季节性特征提示, 春季以偏北大风为主要影响, 夏季则需关注西南气流活跃及雷暴伴随的阵性大风, 分季节、分时段、分跑道端的差异化预警与运行策略具备明确的观测依据。

5.3. 研究局限与展望

本研究基于 2021~2025 年跑道自观数据开展统计分析, 在揭示风场统计规律方面取得了一定成果, 但仍存在以下局限: 首先, 研究以统计描述为主, 未对风场差异化特征的物理成因进行数值模拟验证, 地形强迫与跑道构型各自贡献度尚不明确; 其次, 预报能力的提升依赖于对风场演变机理的深入理解, 当前结论主要为气候统计层面的规律归纳, 直接转化为预报产品的路径有待进一步探索。后续可结合数值模拟等方法量化局地地形及跑道布局对风场分异的贡献, 并探索将风场统计规律与业务预报系统对接的可行方案。

基金项目

中国民用航空西南地区空中交通管理局科技创新项目“西南地区多跑道运行气象预报预警技术研究”。

参考文献

- [1] 2025 年民航行业发展统计公报[EB/OL]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/202604/t20260417_230601.html, 2026-04-17.
- [2] 嘉男, 胡明华, 张洪海, 等. 多跑道协同运行模式优化方法[J]. 航空学报, 2014, 35(3): 795-806.
- [3] 赵阳. 提升机场多跑道运行效率的关键策略与实践探索[J]. 中国军转民, 2025(10): 51-52.
- [4] 徐肖豪, 于跃, 黄宝军, 等. 不同运行模式的近距平行跑道容量分析[J]. 中国民航大学学报, 2012, 30(6): 34-39.
- [5] 王钦, 唐钱奎, 张杰. 地面突风对通航飞行器的影响及数值模拟研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(30): 12895-12902.
- [6] 朱静威, 钟威. 首都机场跑道地面风特性浅析[J]. 科技风, 2017(24): 128-129.
- [7] 王珂. 江北机场地面滑行航空器的侧风影响研究[D]: [硕士学位论文]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2018.
- [8] AC-91-FS-2023-15 民用航空机场运行最低标准制定与实施准则[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- [9] AC-121-FS-33R1 航空承运人湿跑道和污染跑道运行管理规定[S]. 北京: 中国民用航空局, 2021.
- [10] 刘烈霜. 多跑道机场运行及气象预警预报服务要点分析[J]. 国际航空航天科学, 2026, 14(3): 81-88.