

# 成都天府机场历年降雨量及各跑道端时空分布特征分析

刘烈霜\*, 徐俊杰

民航西南地区空管局气象中心, 四川 成都

收稿日期: 2025年10月12日; 录用日期: 2025年11月12日; 发布日期: 2025年11月20日

## 摘要

本文基于成都天府机场历年例行观测与各跑道端自动观测资料, 分析了机场及各跑道端降水量的时空分布规律、变化趋势及极端降水风险。研究发现: 天府机场降水年际变化显著, 降水量呈“波峰波谷”型变化, 旱涝急转特征明显。降水强度呈现“极化”趋势, 并形成“总量减少、强度增强、季节前移”的新模式。极端降水事件具有高度的季节集中性, 78%发生于夏季(6~8月)。空间上, 各跑道端降水量变化趋势基本一致, 表明降水事件具有显著的区域一致性特征, 但极端降水风险不可忽视。其中11号跑道端降水变率与极端降水概率相对最高。结论对天府机场汛期防汛重点时段划定、跑道运行安全及灾害性天气预警策略制定具有一定参考意义。

## 关键词

天府机场, 多跑道运行, 降雨量, 时空分布特征

# Analysis of Annual Rainfall and Spatio-Temporal Distribution Characteristics at Each Runway End of Chengdu Tianfu Airport

Lieshuang Liu\*, Junjie Xu

Meteorological Center, Southwest Regional Air Traffic Management Bureau of CAAC, Chengdu Sichuan

Received: October 12, 2025; accepted: November 12, 2025; published: November 20, 2025

\*第一作者。

文章引用: 刘烈霜, 徐俊杰. 成都天府机场历年降雨量及各跑道端时空分布特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1329-1340. DOI: 10.12677/ccrl.2025.146133

## Abstract

Based on historical routine observations and automated weather data from each runway end at Chengdu Tianfu Airport, this study analyzes the spatio-temporal distribution patterns, variation trends, and extreme precipitation risks of rainfall at the airport and its runway ends. The results show that Tianfu Airport experiences significant interannual rainfall variability, characterized by a “peak-trough” pattern with abrupt transitions between drought and flood. Rainfall intensity exhibits a “polarization” trend, forming a new pattern of “decreasing total amount, increasing intensity, and earlier seasonal occurrence.” Extreme precipitation events are highly concentrated seasonally, with 78% occurring in summer (June~August). Spatially, the rainfall trends at all runway ends are generally consistent, indicating significant regional coherence in precipitation events. However, the risk of extreme precipitation cannot be ignored, with the highest variability and probability of extreme rainfall observed at the Runway 11 end. The conclusions provide a reference for determining key flood control periods during the flood season, ensuring runway operational safety, and developing early warning strategies for severe weather at Tianfu Airport.

## Keywords

Tianfu Airport, Multi-Runway Operations, Rainfall, Spatio-Temporal Distribution Characteristics

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/>



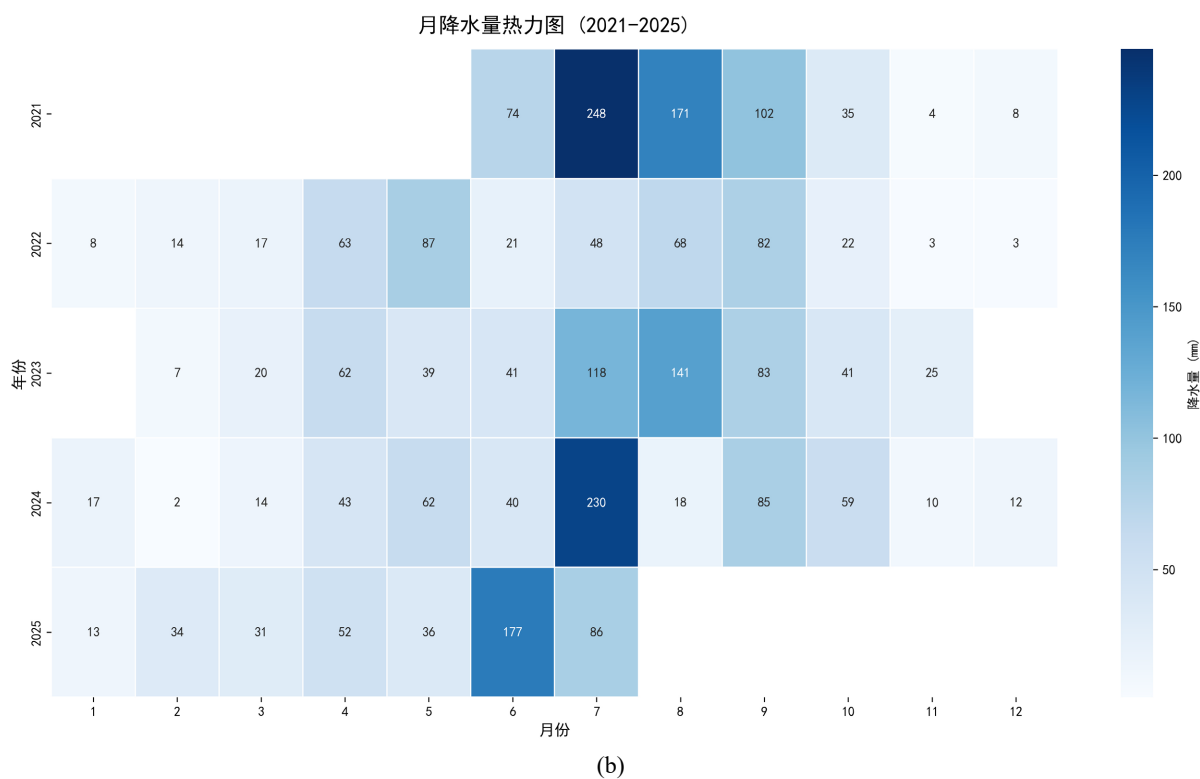
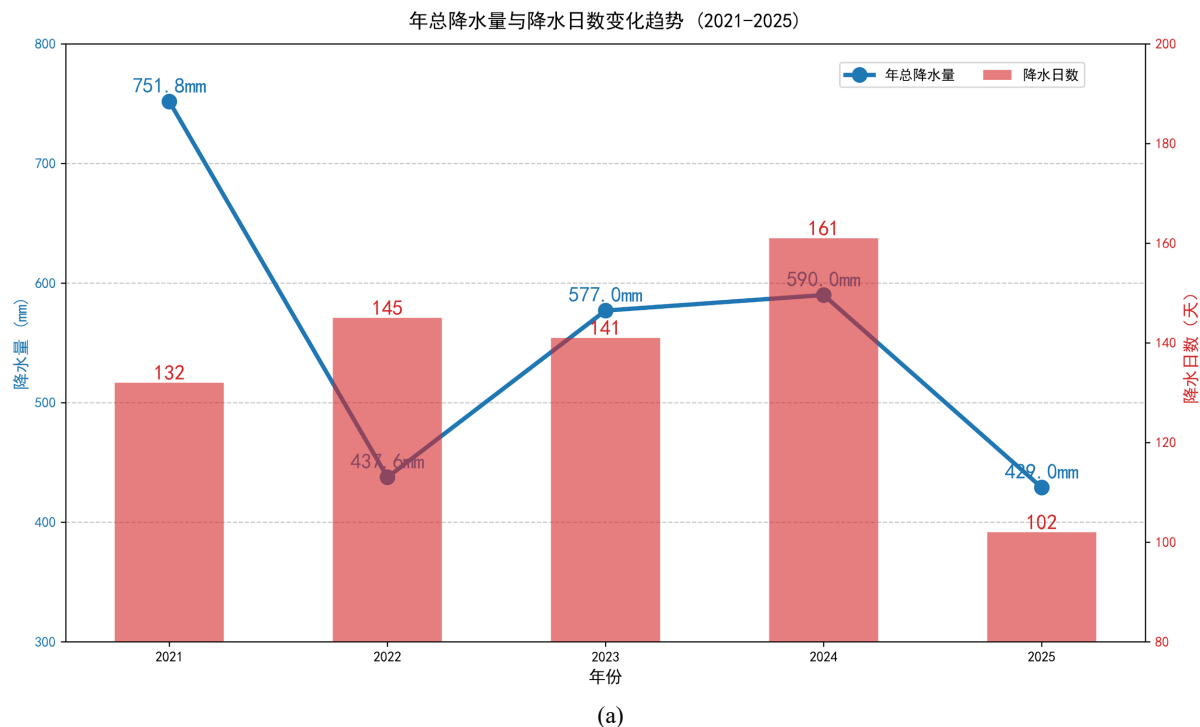
Open Access

## 1. 引言

降雨是影响航空运行的重要气象因素之一, 降雨强度及其时空分布特征往往是机组起降的重要决策参考。国内外气象学者对降雨及其时空分布的影响开展了很多研究。王雪梅[1]等研究揭示了中国山丘区极端降雨演变规律的时空分异格局, 可为区域极端降雨灾害风险防控提供科学依据。李海洲[2]等研究白龙江流域中游地区近年来降水时空分布特性, 指出该流域降水年内变化剧烈, 年际差异较大, 呈现出丰枯交替、整体缓慢增长的趋势变化特点。蒋安尧等[3]研究分析了“三北”工程区极端降水的时空演变特征揭示了“三北”工程区极端降水风险的空间集聚性, 为“三北”工程分区防灾与生态管理提供科学支撑。航空气象服务机构开展降雨相关研究, 对于提升航空运行和多跑道机场的安全正常效率都具有重要意义。毛鹏飞[4]等通过相应方法构造出降雨下跑道积水分布的理论模型, 通过建立道面摩擦特性与安全性之间的联系, 分析跑道积水分布对飞机着陆性能影响。储栋[5]等指出雨雪天气时, 跑道表面摩擦系数降低, 刹车距离增加, 在有限长度的跑道上可能无法及时减速或发生侧滑, 甚至冲出跑道, 严重影响飞机安全起降。钱菲[6]等围绕雷暴天气影响下的多跑道进场航班排序问题开展系统研究, 构建了一种路径规划与航班排序相结合的综合调度优化方法。申红喜等[7]提出多跑道运行机场由于天气要素分布的不均匀性, 尤其是遇到对流降水时可能发生不同跑道端降水量差距很大的情况, 将对航空运行安全正常产生重大影响。

成都天府机场为多跑道运行机场, 夏季雷雨季节, 短时强降水常对航空运行造成显著影响。2021年6月开航至今, 对于天府机场降雨的时空分布特征尚不明确, 对运行服务缺少定性定量参考。本文选取了天府机场自开航以来2021年6月至2025年7月的例行观测资料、各跑道端自动观测资料, 对天府机场降雨量时空分布特征进行初步统计分析。

## 2. 降雨量年际变化特征



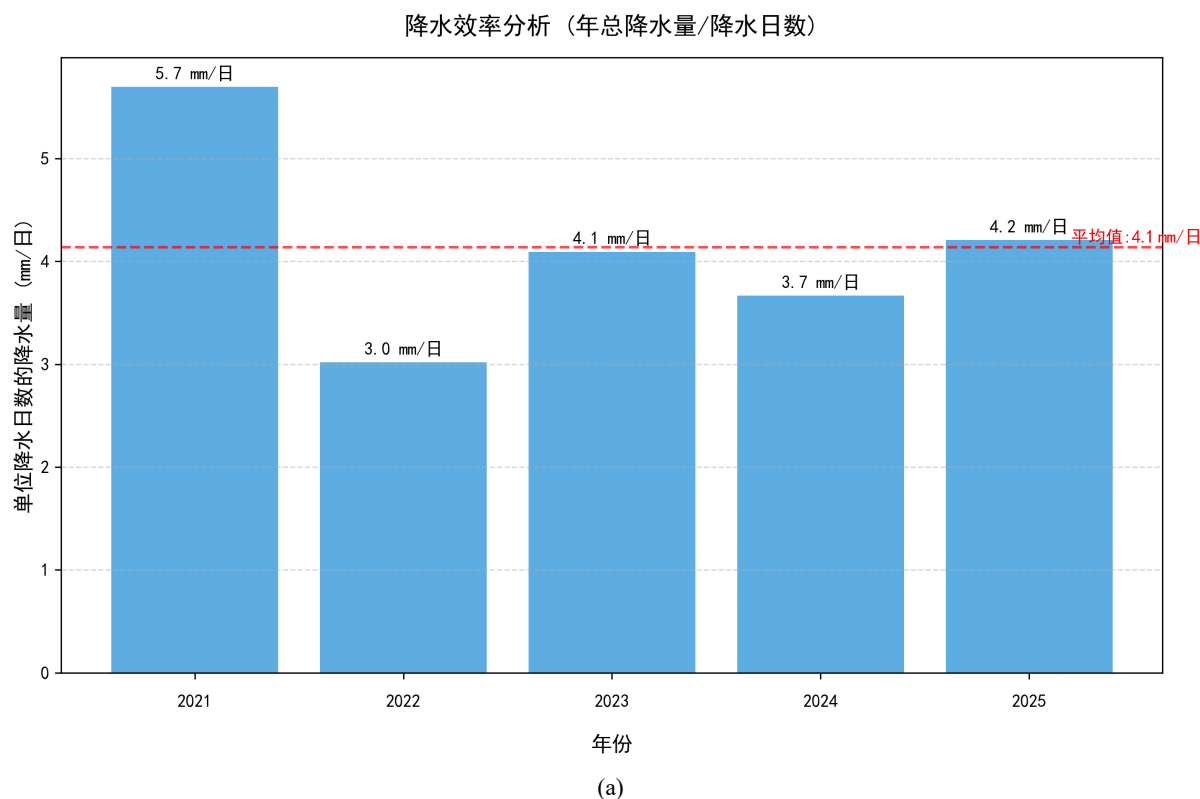
**Figure 1.** (a) Distribution of annual total precipitation and precipitation days at Tianfu Airport from 2021 to 2025; (b) Heat map of monthly precipitation distribution at Tianfu Airport from 2021 to 2025

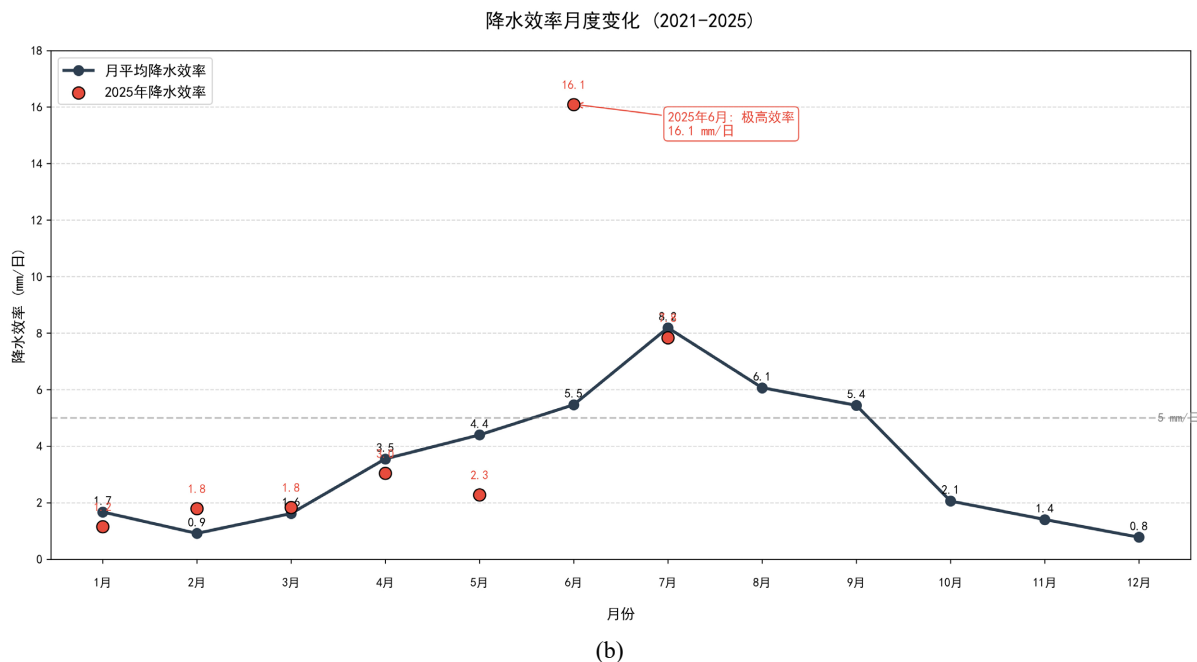
**图 1.** (a) 天府机场 2021 年~2025 年年总降水量及降水日数分布; (b) 天府机场 2021 年~2025 年逐月降水量分布热力图

天府机场 5 年年平均降水量为 557 mm, 年平均降水日数为 136.2 日。降水量和降水日数的分布存在明显的年际变化。由图 1(a)可见, 2021 年 6 月至 2025 年 7 月, 5 年间天府机场年总降水量呈现“双峰双谷”变化曲线。其中 2021 年虽仅统计 6~12 月的降水资料, 仍在 5 年之中降水量最高, 达 751.8 mm。2023 年与 2024 年年总降水量持平, 在 570~600 mm 区间。2022 年及 2025 年为两个波谷, 其中 2022 年显著偏低, 全年降水仅 437.6 mm, 显示天府机场年际降水量分布差异明显, 最大年际差达 314.2 mm (2021 vs 2022), 相当于年均降水量的 56%, 降水年际变率大, 存在旱涝急转的情况。从月降水量分布热力图可见图 1(b), 天府机场月降水量大于 80 mm 的主要在 7~9 月, 与四川盆地夏季汛期时间一致。而 2022 年则是少见的伏旱年份, 2025 年则呈现汛期偏早的特点。

### 3. 日降水效率分布

图 2 为天府机场历年降水日降水效率分布。由图 2(a)可见, 2021 年~2025 年, 天府机场降水日平均降雨量为 4.1 mm/日, 其中 2021 年降水效率最高, 达 5.7 mm/日; 2022 年最低为 3.0 mm/日, 最高与最低日降水效率(2021 年 vs 2022 年)差值比例达 90%, 体现出降水效率的显著差异。且从 2021 年至 2025 年降水效率演变中呈现一年偏高一年偏低的变化趋势, 显示短时强降水效率有年际的变化调整。从图 2(b)可见, 历年逐月平均日降水效率为 5 mm/日, 3 月起逐步上升, 至 7 月达到峰值 8.2 mm/日, 之后逐月下降, 10 月后低于 2 mm/日。强降水效率与天府机场雷雨季基本同步, 显示雷雨季节对流性降水对日降水效率的显著影响。2025 年天府机场初雷出现较晚, 5 月 7 日才发生, 4~5 月的日降水效率也比历史平均偏低。而 2025 年 6 月 24 日出现了日降水量达 58.7 mm 的暴雨过程, 当月出现了日降水效率 16.1 mm/日的极端大值, 显著高于年平均值, 体现了 2025 年雷雨季发生晚但短时强降水强, 降水效率高, 降水极端性增强的特点。

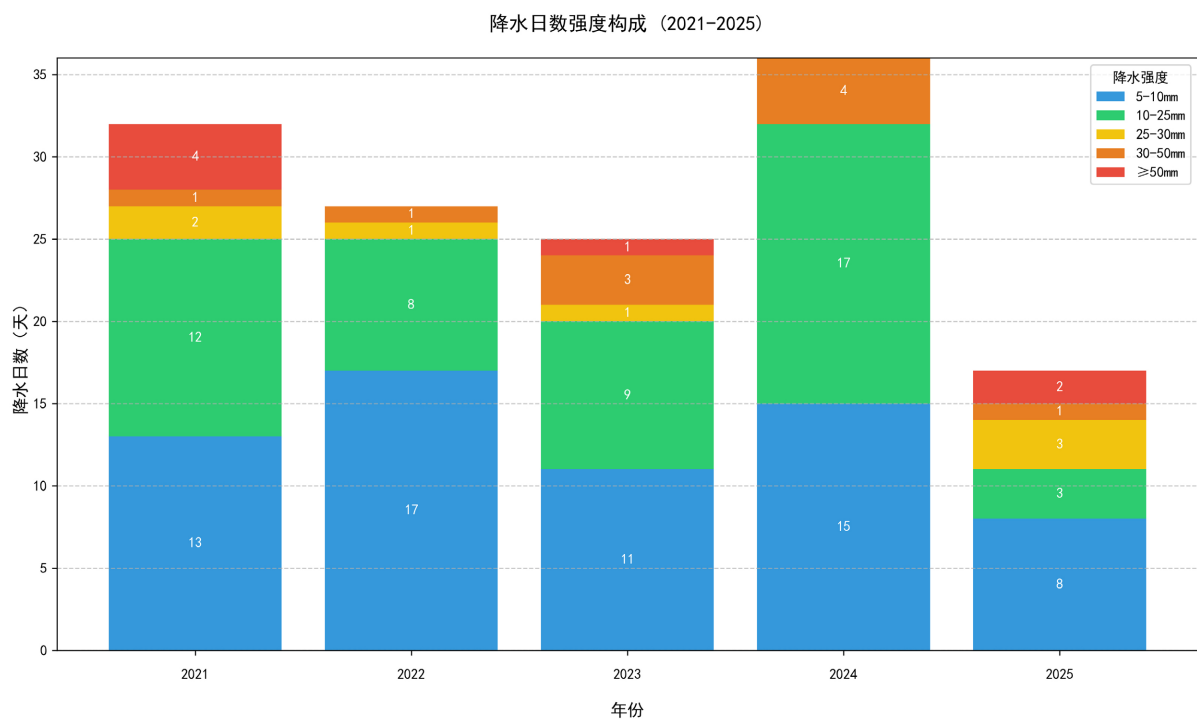




**Figure 2.** (a) Analysis of annual average daily precipitation efficiency at Tianfu Airport from 2021 to 2025; (b) Analysis of monthly average daily precipitation efficiency at Tianfu Airport from 2021 to 2025

**图 2.** (a) 天府机场 2021 年~2025 年降水逐年平均日降水效率分析; (b) 天府机场 2021 年~2025 年降水逐月平均日降水效率分析

#### 4. 不同等级日降水强度分布



**Figure 3.** Distribution of days by daily precipitation intensity level at Tianfu Airport, 2021~2025

**图 3.** 天府机场 2021 年~2025 年不同等级日降水强度日数分布

图 3 为天府机场 2021 年~2025 年各级日降水强度分布。在天府机场历年日降水量大于 5 mm 的降水日中，日降水达到中雨 10 mm 及以上日数平均占比为 52%，最高为 2021 年，达到 58%，需考虑对运行的影响。由图 3 可见，在日降水效率最高的 2021 年，其日降水量达到中等以上( $\geq 10$  mm)降雨的日数为 19 日，而日降水效率次低值的 2024 年，其中等以上降雨日数达到 21 日，相对 5 年为最高，呈现“高日数低效率”的异常特征。而历年日降水量达到大雨以上除 2022 年显著偏少外，其他年份相对持平，平均为 4.6 日。大雨以上( $\geq 25$  mm)级别の日数占比平均为 19%，2022 年最低，仅 7%，2025 年则最大，达到 35%。

综合来看，天府机场降水总体呈现“总量减少、强度极化、季节前移”三重趋势。中低强度降水日数五年减少 46.9%，但 $\geq 25$  mm 强降水保持稳定， $\geq 50$  mm 极端降水在 2025 年显著回升。降水效率提升 12% 反映单位降水强度增加，2025 年形成的“少雨量强降水”模式尤其值得警惕。

### 5. 极端降水事件分布特征

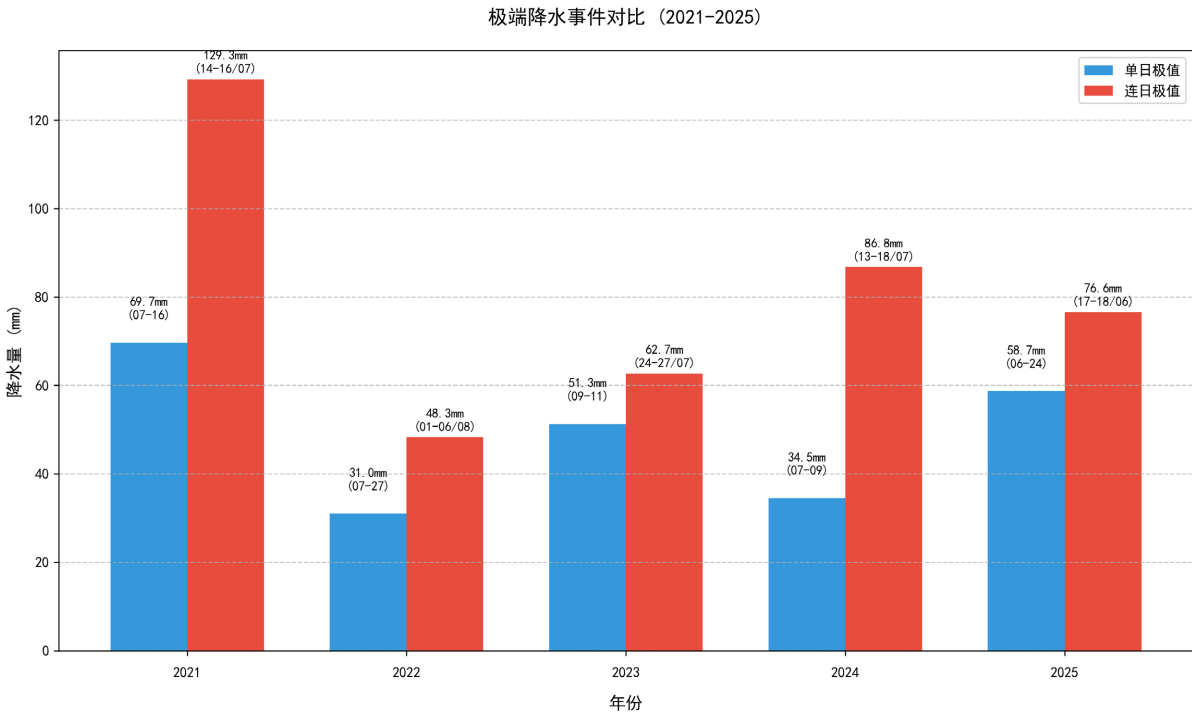


Figure 4. Distribution of single-day and consecutive-day precipitation extremes at Tianfu Airport, 2021~2025

图 4. 天府机场 2021 年~2025 年单日及连日降水极值分布

图 4 是天府机场 2021 年~2025 年降水量极值分布。历年单日及连日降水极值都出现在 2021 年，单日降水量 69.7 mm，出现与 2021 年 7 月 16 日，比五年均值(48.8 mm)高 42.8%。过程连日极值降水量 129.3 mm，出现于 2021 年 7 月 14~16 日，单次过程降水量占当年总降水量的 17.2%。降水季节集中性突出(图 5)，极端降水事件 78% 发生在夏季(6~8 月)，其中 7 月独占 60%(6/10 次)，连续降水事件均发生在 6~8 月，最长持续 6 天(2024 年 7 月 13~18 日)，2025 年出现降水季前移，极端降水最早出现在 6 月(单日 58.7 mm + 连续 76.6 mm)。

从天府机场历年 6~10 月汛期单日极值降水的日期分布来看(图 6)，上旬及下旬出现降水极值的频次相当，分别为 39%，出现在中旬的占 22%。其中 6 月主要出现在下旬，代表着天府机场逐渐进入防汛关键期；7 月主要出现在中下旬，8 月集中出现于上旬，与传统“七下八上”的夏季集中汛期特点一致。9

月受副高及台风外围影响导致的极值降水集中出现于中旬前后。10月随着季节转换,从夏季雷雨强降水逐渐转为秋季连阴雨为主的秋雨天气,极值降水主要出现在10月上旬,代表着汛期的逐渐结束。基于以上分析,建议天府机场汛期各月防汛重点时段主要关注6月下旬,7月下旬到八月上旬,9月中下旬到10月上旬(图7)。

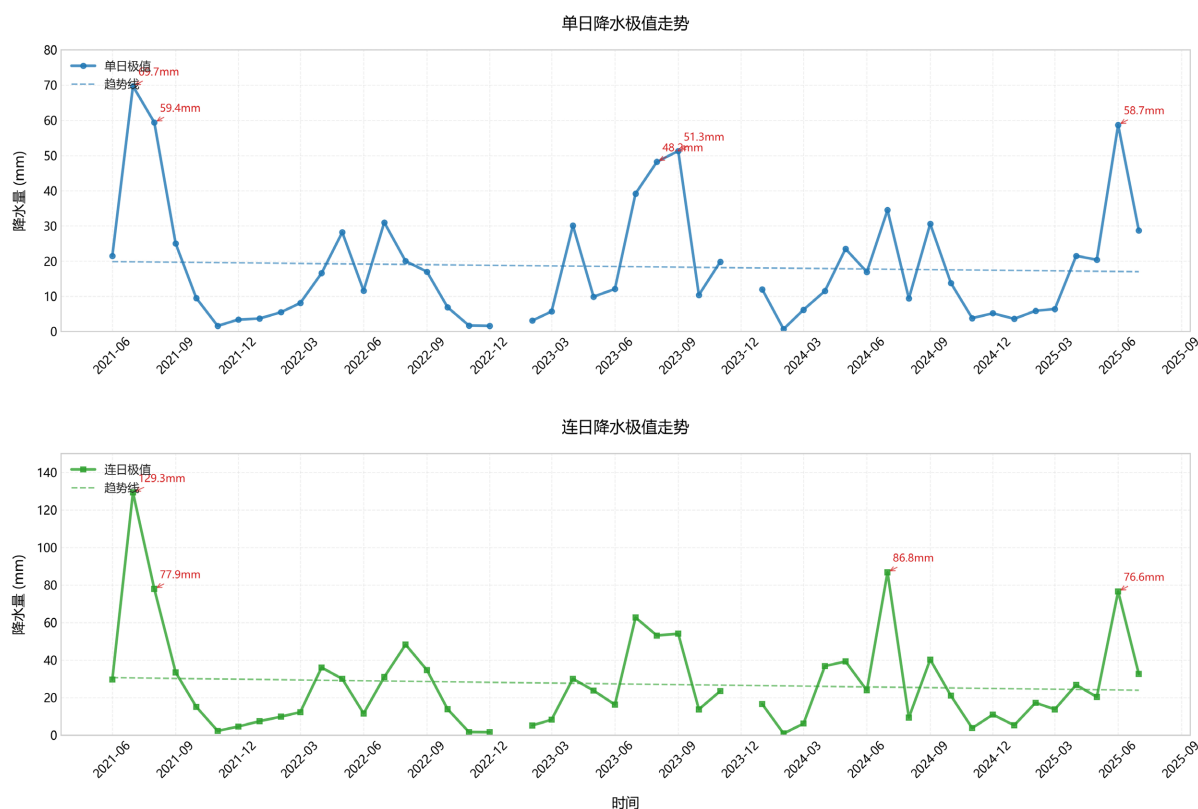
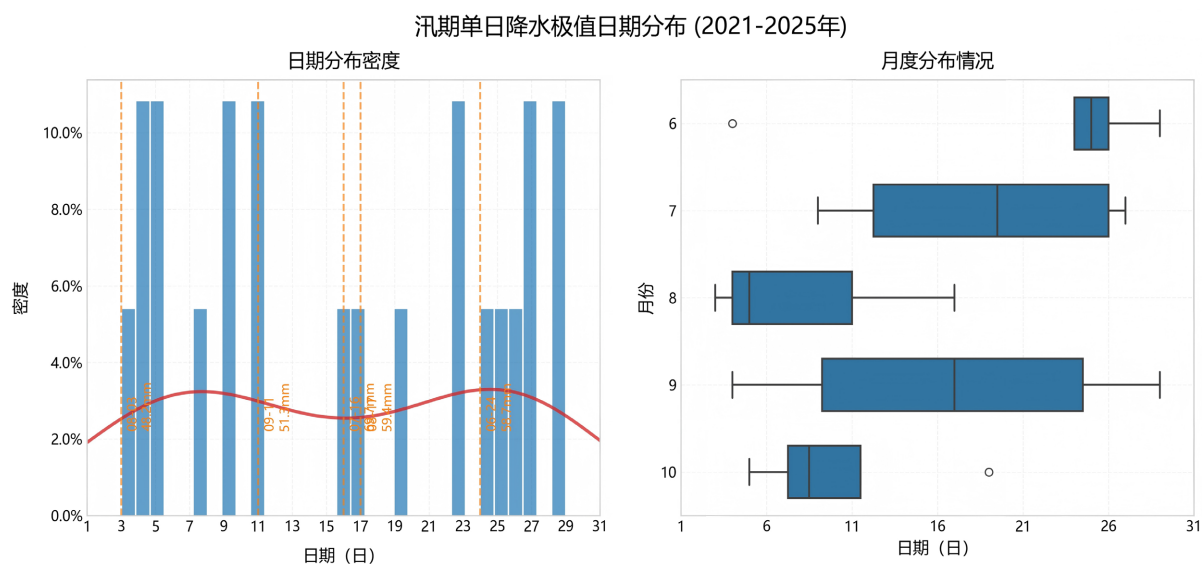


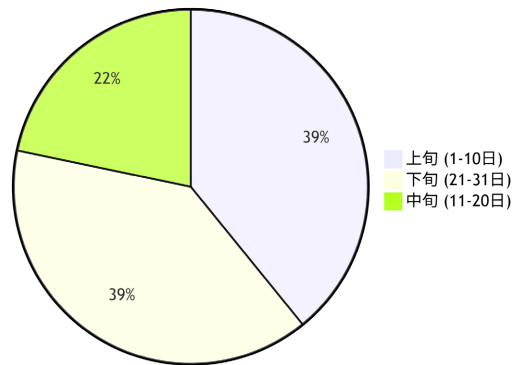
Figure 5. Trends in single-day and consecutive-day precipitation extremes at Tianfu Airport, 2021~2025

图 5. 天府机场 2021 年~2025 年单日及连日降水极值走势





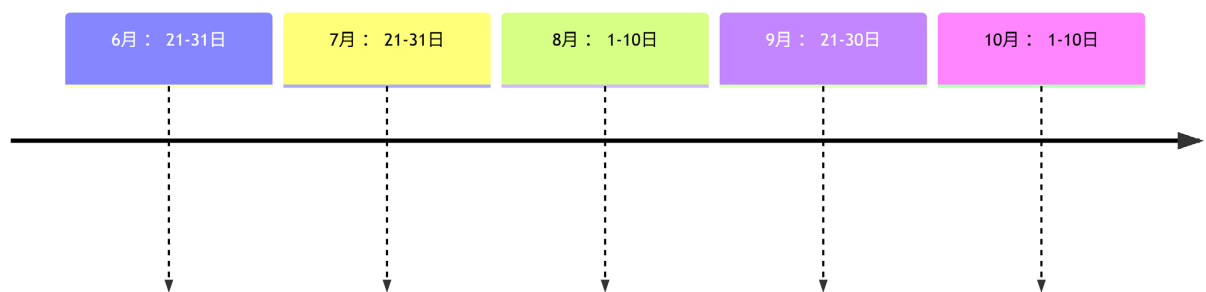
汛期单日极值日期分布 (n=23)



**Figure 6.** Distribution of extreme single-day precipitation dates during the flood season at Tianfu Airport, 2021~2025

**图 6.** 天府机场 2021 年~2025 年汛期单日降水极值日期分布

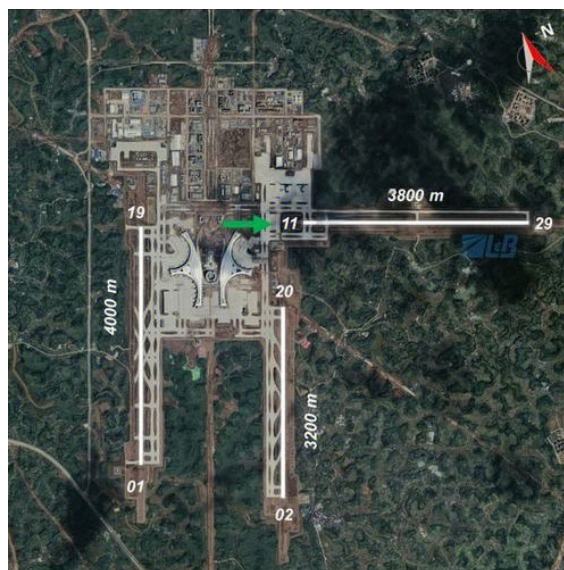
各月需重点防范时段



**Figure 7.** Key flood-prevention periods by month at Tianfu Airport

**图 7.** 天府机场各月防汛重点关注时段

## 6. 各跑道端降水分布特征



**Figure 8.** Runway layout of Tianfu Airport

**图 8.** 天府机场跑道平面图



图 8 为天府机场跑道平面图。天府机场目前为三条跑道运行，其中 01-19、02-20 为两条东北 - 西南向的平行跑道，跑道磁向分别为 022-202°，01-19 长 4000 m，宽 60 m，02-20 长 3200 m，宽 45 m。11-29 为与另外两条跑道相垂直的专供起飞的跑道，跑道磁向为 112-292°，11-29 长 3800 m，宽 45 m。机场日常向北运行，跑道端 01、02 为五边落地方向，跑道端 19、20 为一边起飞方向，11 号跑道为向东起飞一边。一边、五边的降水强度对航空运行有显著影响。本文选取了天府机场 2021 年~2025 年观测基准点日降水量达到大雨量级( $\geq 25$  mm)的 22 个降水案例(表 1)来分析天府机场各跑道端日降水量的分布特征。

**Table 1.** Daily precipitation (mm) at each runway threshold for days with  $\geq 25$  mm at Tianfu Airport, 2021~2025

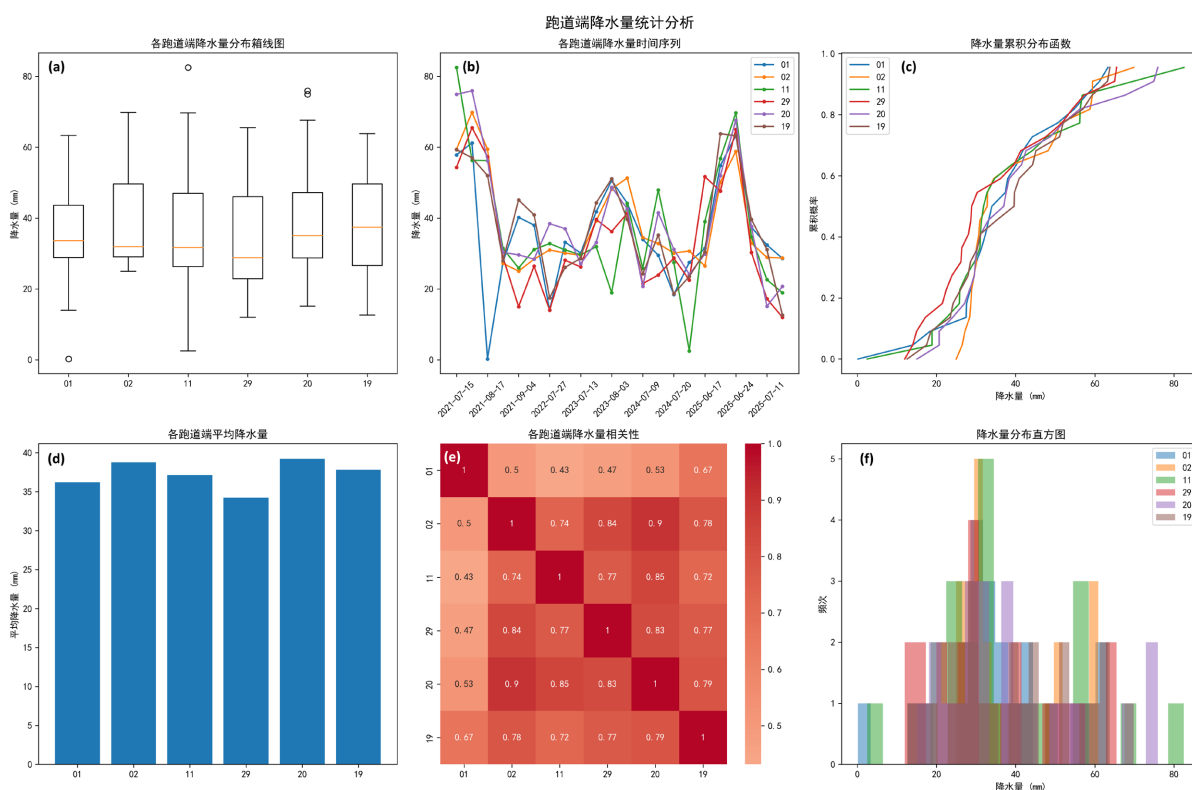
**表 1.** 天府机场 2021 年至 2025 年日降水量 $\geq 25$  mm 各跑道端日降水量(mm)

| 日期(年 - 月 - 日) | 跑道端 01 | 跑道端 02 | 跑道端 11 | 跑道端 29 | 跑道端 20 | 跑道端 19 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2021-07-15    | 57.8   | 59.4   | 82.5   | 54.3   | 74.9   | 59.3   |
| 2021-07-16    | 61.2   | 69.8   | 56.3   | 65.5   | 75.9   | 57     |
| 2021-08-17    | 0.2    | 59.4   | 56.2   | 57.3   | 56.2   | 52     |
| 2021-08-25    | 27.6   | 27.2   | 31.4   | 28.9   | 30.3   | 28     |
| 2021-09-04    | 40.2   | 25     | 25.9   | 15     | 29.6   | 45.1   |
| 2022-05-14    | 38     | 28.4   | 31.1   | 26.4   | 28.4   | 40.9   |
| 2022-07-27    | 14     | 31     | 32.8   | 14     | 38.4   | 17.5   |
| 2023-04-18    | 33.2   | 30.1   | 31     | 28.1   | 37     | 26.1   |
| 2023-07-13    | 30.1   | 29.5   | 29.6   | 26.2   | 27.1   | 28.6   |
| 2023-07-27    | 41.8   | 39.2   | 31.9   | 39.6   | 33.1   | 44.3   |
| 2023-08-03    | 50.6   | 48.2   | 18.9   | 36.2   | 48.7   | 51.1   |
| 2023-09-11    | 44.2   | 51.3   | 44.2   | 41.3   | 42.6   | 39.7   |
| 2024-07-09    | 34     | 34.5   | 25.8   | 21.5   | 20.7   | 24.2   |
| 2024-07-18    | 29.5   | 32.8   | 47.9   | 23.9   | 41.5   | 35.2   |
| 2024-07-20    | 18.4   | 30.1   | 27.5   | 28.7   | 31.2   | 18.6   |
| 2024-09-29    | 27.5   | 30.7   | 2.5    | 22.5   | 24.1   | 23.5   |
| 2025-06-17    | 31.4   | 26.5   | 39     | 51.7   | 29.8   | 30.4   |
| 2025-06-18    | 54.8   | 50.1   | 56.8   | 47.6   | 52     | 63.8   |
| 2025-06-24    | 63.3   | 58.8   | 69.7   | 65     | 67.6   | 63.2   |
| 2025-06-29    | 37.4   | 32.9   | 34.7   | 30.3   | 37.6   | 39.6   |
| 2025-07-11    | 32.4   | 28.9   | 22.6   | 17.2   | 15.1   | 31.1   |
| 2025-07-23    | 28.6   | 28.7   | 18.9   | 12     | 20.7   | 12.6   |

图 9 为各跑道端日降水量的统计分布图。本次分析共包含 22 个观测日期, 涵盖 6 个跑道端(01, 02, 11, 29, 20, 19)的 24 小时降水量数据。在 22 个大雨及以上降水事件中(图 9(a)、图 9(d)), 各跑道端降水量分布基本呈正态分布, 各跑道端平均降水量范围为 34.24 mm~39.20 mm; 最大降水量出现在跑道端 11, 达到 82.50 mm, 最小降水量出现在跑道端 01, 仅为 0.20 mm。90%的降水事件 $\leq 59$  mm, 但剩余 10%的“黑天鹅”事件强度可达 60~80 mm。从时间和空间分布特征看(图 9(b)、图 9(e)), 各跑道端降水量时间变化趋势基本一致, 表明降水事件具有显著的区域一致性特征。其中跑道端 02 与 20 之间的降水量空间相关性最高( $r=0.90$ ), 跑道端 01 与 11 之间的相关性最低( $r=0.43$ ), 整体上看, 各跑道端降水量表现出较强的空间相关性模式( $r>0.6$ ), 地理位置相近的跑道端显示更高的相关性。

累积分布函数图(图 9(c))显示, 约 17%的跑道端降水量观测值低于 25 mm 的基准点日降水量。直方图(图 9(f))及表 2 显示显示各跑道端降水量分布呈右偏形态, 偏度均 $>0$ , 右偏越大越容易出现极端高值。中位数 33 mm 远低于均值 38 mm, 极端降水的出现概率不可忽略。

各端降水量标准差范围为 13.9 mm~18.7 mm, 表明各跑道端降水变率较大。其中 11 端标准差和偏度均最大, 29 端均值虽小, 但偏度较大, 显示 11-29 跑道降水强弱变化大, 可预报性难度相对较高。01-19、02-20 跑道偏度相当, 分布均衡, 预测不确定性相对更低。各跑道 95%分位平均值为 61.9 mm, 90%分位为 59.4 mm, 可将跑道端 24 小时降水量“ $\geq 60$  mm”定为红色预警阈值, 可覆盖 90%以上极端事件。针对 11 端标准差最大、变率较大的特点, 在日常运行中可多关注和通报 11 端 10 min 雨量及变化趋势, 为机组决策提供必要参考。



**Figure 9.** Statistical analysis of precipitation at each runway threshold of Tianfu Airport ((a) Boxplot of precipitation distribution; (b) Time-series plot of precipitation; (c) Cumulative distribution function of precipitation; (d) Mean precipitation; (e) Precipitation correlation; (f) Histogram of precipitation distribution)

图 9. 天府机场各跑道端降水量统计分析((a) 降水量分布箱线图; (b) 降水量时间序列图; (c) 降水量累积分布函数; (d) 平均降水量; (e) 降水量相关性; (f) 降水量分布直方图)

Table 2. Statistical indicators of precipitation at each runway threshold  
表 2. 各跑道端降水量统计指标

| 跑道端 | 均值(mm) | 标准差  | 偏度    | 95%分位 | 极值(mm) |
|-----|--------|------|-------|-------|--------|
| 01  | 35.4   | 16.8 | +0.55 | 61.2  | 63.3   |
| 02  | 37.6   | 14.2 | +0.48 | 59.4  | 69.8   |
| 11  | 38.9   | 18.7 | +0.92 | 69.7  | 82.5   |
| 19  | 38.2   | 13.9 | +0.46 | 59.3  | 63.8   |
| 20  | 38.3   | 15.6 | +0.50 | 67.6  | 75.9   |
| 29  | 32.0   | 15.0 | +0.70 | 54.3  | 65.5   |

7. 结论

本文选取了天府机场开航以来 2021 年 6 月至 2025 年 7 月的例行观测资料、各跑道端自动观测资料，对天府机场降雨量时空分布特征进行初步统计分析，得出以下结论：

(1) 天府机场降水量及降水日数年际变化大，年总降水量呈现典型的“波峰波谷”变化曲线，存在早涝急转的特点。主要汛期在 7~9 月，每年汛期开始结束时间有一定差异。

(2) 天府机场年度降水日降水效率差异明显，整体呈现降水效率“一年强一年弱”交替特点，同时具有“低日数高效率，高日数低效率”等特点。逐月降水日降水效率在 7 月达到峰值，极端强降水事件增多，出现远高于平均值的极值事件。

(3) 天府机场降水总体呈现“总量减少、强度极化、季节前移”三重趋势。中低强度降水日数五年减少，但 $\geq 25$  mm 强降水保持稳定， $\geq 50$  mm 极端降水在 2025 年显著回升。降水效率提升反映单位降水强度增加，2025 年形成的“少雨量强降水”模式尤其值得警惕。

(4) 天府机场极端降水事件季节集中性突出。极端降水事件 78%发生在夏季(6~8 月)，其中 7 月独占 60%，连续降水事件均发生在 6~8 月，2025 年出现降水季前移，极端降水最早出现在 6 月。天府机场汛期各月防汛重点时段主要关注 6 月下旬，7 月下旬到八月上旬，9 月中下旬到 10 月上旬。

(5) 天府机场各跑道端降水量分布基本呈正太分布特征，各跑道端降水量时间变化趋势基本一致，表明降水事件具有显著的区域一致性特征。各跑道端降水量表现出较强的空间相关性模式( $r > 0.6$ )，地理位置相近的跑道端显示更高的相关性。

(6) 各跑道端降水量分布呈右偏形态，极端降水可能性不可忽略。各跑道端降水变率较大，11 端降水变率及极端降水概率相对较高，需加强监测和预报。将跑道端“24 小时降水量 $\geq 60$  mm”定为预警阈值，可覆盖 90%以上极端事件。

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] 王雪梅, 刘荣华, 刘晓婉, 刘潇, 周雄, 孙朝兴. 中国山丘区极端降雨演变的时空分异特征[J/OL]. 水科学进展, 2025, 1-11. <https://link.cnki.net/urlid/32.1309.P.20251013.1603.002>, 2025-11-14.

[2] 李海洲, 肖卫国, 商永喜, 何传凯. 白龙江流域中游地区降雨时空分布特征分析[J]. 水电与新能源, 2025, 39(9): 64-68.

- [3] 蒋安尧, 陈睿山, 郑利林, 郭晓娜, 孙南沙, 李因帅. “三北”工程区极端降水时空演变特征与影响[J/OL]. 干旱区研究, 2025, 1-12. <https://doi.org/10.13866/j.azr.2025.08.01>, 2025-11-14.
- [4] 毛鹏飞. 跑道积水分布条件对飞机着陆性能影响研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2023.
- [5] 储栋. 机场道面积水状况预警技术研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2023.
- [6] 钱菲. 雷暴天气影响下多跑道进场航班排序研究[D]: [硕士学位论文]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2025.
- [7] 申红喜, 沈宏彬, 刘丽霞. 我国多跑道运行下的航空气象服务[J]. 中国民航飞行学院学报, 2014, 25(2): 50-52+56.