

# 成都双流和天府两机场RVR时空分布统计分析

钟增华, 宁浩翔, 解晓晓

民航西南地区空中交通管理局, 四川 成都

收稿日期: 2026年3月25日; 录用日期: 2026年5月25日; 发布日期: 2026年6月2日

## 摘要

通过分析双流、天府机场多跑道运行下各跑道端RVR特征, 对标管制和航司精细服务需求, 为预警信息发布以及航班起降调度提供参考, 为改扩建工程观测平台选址提供理论依据。选取双流机场2019~2023年、天府机场2021~2023年自动观测资料, 以RVR < 1500 m过程为样本, 按300 m、550 m阈值分级, 开展距平与持续时间相关分析。结果显示双流机场东跑道低值更集中, 西跑道呈“南低北高”; 天府机场R29与MID\_29\_11低值占比偏高, 低RVR多在夜间。天气系统及微地形影响下, 多跑道机场各端RVR要素时空分布存在差异, 报文发布、预警预报以及航班起降决策中, 可引入跑道端差异约束。

## 关键词

低能见度, 跑道视程, RVR, 多跑道运行, 气象要素, 差异分析

# Runway-End Differences of RVR at Chengdu Shuangliu and Tianfu Airports

Zenghua Zhong, Haoxiang Ning, Xiaoxiao Xie

Southwest Air Traffic Management Bureau of CAAC, Chengdu Sichuan

Received: March 25, 2026; accepted: May 25, 2026; published: June 2, 2026

## Abstract

Analyzes the RVR differences at runway ends under multi-runway operations at Chengdu Shuangliu and Chengdu Tianfu airports, providing references for flights takeoff/landing scheduling, and offering a theoretical basis for observation-site selection in airport expansion and reconstruction projects. Automatic observation data from Shuangliu Airport (2019~2023) and Tianfu Airport (2021~2023) were selected. RVR < 1500 m events were used as samples, statistics were compiled by thresholds of 300 m and 550 m, and anomaly (departure-from-mean) as well as duration-based correlation analyses were conducted. At Shuangliu Airport, low RVR values are more concentrated on the east runway, while the west runway shows a “south lower, north higher” pattern; at Tianfu Airport, R29 and MID\_29\_11 have relatively high proportions of low values, and conditions are worse at night.

**Under the influence of mesoscale weather systems and local terrain, the spatiotemporal distribution of RVR elements across runway ends differs. Runway-end differences can be incorporated as constraints in weather message issuance, meteorological warning/forecasting, and flight take-off/landing decision-making to improve operational efficiency.**

## Keywords

**Low Visibility, Runway Visual Range, RVR, Multi-Runway, Meteorological Elements, Difference Analysis**

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

随着民用机场扩建,西南地区主要机场均开启多跑道运行格局。中小尺度天气系统及地形影响下,各跑道端的气象要素时空分布存在差异,给气象报文发布、机场天气预警预报以及航班起降决策带来压力,进而影响运行效率,传统的单跑道观测服务模式与运行需求之间的差距逐渐拉大[1]。结合各机场气候特点,从管制和航司最关注的实际问题出发,围绕 RVR 气象要素开展特征统计与对比分析,识别其分布规律,为航班起降调度提供运行参考。

低能见度是全球航空运行面临的主要气象威胁之一。ICAO 明确要求对跑道视程进行精细化观测与预报[2],欧洲 SESAR 计划和美国 FAA 的 NextGen 项目均将 RVR 的精准监测与预报列为提升机场容量的关键技术方向[3] [4]。在多跑道机场运行场景下,不同跑道端 RVR 的差异对于进近分类和起降决策具有重要影响,相关研究已成为航空气象领域的热点[5]。

国内目前对雾的气候学特征与预报方法研究较为丰富。马晓刚等(2013)建立了中国典型大雾落区概念模型[6],此后又有基于多源资料分析成都辐射平流雾的生消机理[7]、成都地区民航标准下低能见度的时空分布特征[8]研究,申红喜等探讨了多跑道运行下的航空气象服务问题[1],然而,上述研究多侧重于单站或区域尺度的能见度分析,未涉及 RVR 的跑道端差异定量分析,对多跑道机场各跑道端 RVR 空间差异性的系统研究尚不充分。

在雾的物理机制方面,成都地处四川盆地,特殊的盆地地形使得冬季夜间辐射冷却和逆温层结发展尤为显著,是低能见度高发的根本原因[7]。双流机场位于成都市区西南,东、西跑道之间间距以及周边城市建筑群的热力差异可能导致局地微气象环境不同;天府机场距市区约 50 km,地势相对开阔,但北跑道与西、东跑道之间的走向差异使得不同跑道端在雾的水平推进过程中受影响的时序与程度有所不同。目前对于这种多跑道尺度的 RVR 空间非均匀性及其与地形、微气象的关联研究尚属空白。

基于上述研究背景,本文选取双流机场(2019~2023 年)与天府机场(2021~2023 年)的自动观测资料,以 RVR < 1500 m 事件为样本,系统开展两机场各跑道端 RVR 的分级统计、距平分析和持续时间相关性分析,旨在揭示多跑道运行下 RVR 的时空分布差异特征,为气象报文发布、预警预报及航班起降调度决策提供科学依据。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 样本与分级标准

低能见度和低云是影响双流两场的最典型天气。本文选取双流机场(2019~2023 年)自动观测资料、天

府机场(2021~2023年)自动观测资料,依据现行民航RVR特殊报标准[9],以任一跑道端满足 $RVR < 1500$  m时段作过程样本,剔除持续时间 $< 5$  min的个别记录。按精密进近运行阈值分为:I:  $RVR < 300$  m; II:  $300 \text{ m} \leq RVR < 550$  m; III:  $550 \text{ m} \leq RVR < 1500$  m。

## 2.2. 统计与分析方法

分别统计极值箱线分布,箱线统计量包括均值、中位数、上下四分位数及离群点,综合刻画分布形态与离散程度。按低RVR过程持续时间分组,采用皮尔逊相关系数评估各端一致性,划分弱/中/强相关等级,以增强结果可解释性。采用K-means聚类方法依据RVR变化特征对各跑道端进行分组,并引入主成分分析(PCA)方法识别影响两场RVR变化的主要空间模态,以多角度增强论证的严谨性。

## 3. 双流机场各跑道端RVR差异分析

### 3.1. 机场概况

成都双流国际机场属4F级国际机场,现有跑道2条(02L/20R、02R/20L),跑道分布见图1,西跑道长3600 m、宽45 m;东跑道长3600 m、宽60 m。

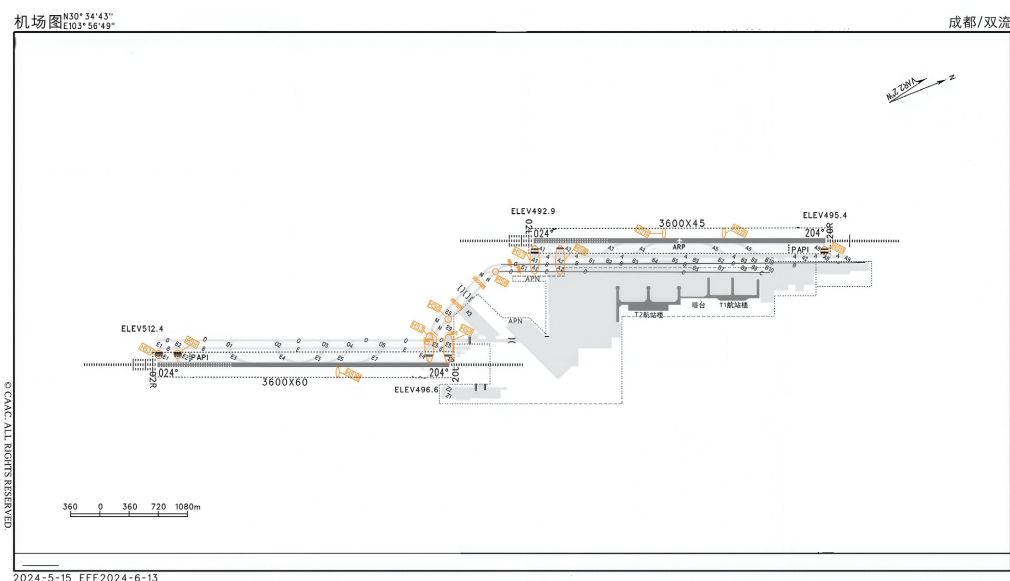


Figure 1. Runway layout of Shuangliu Airport  
图 1. 双流机场跑道构型图

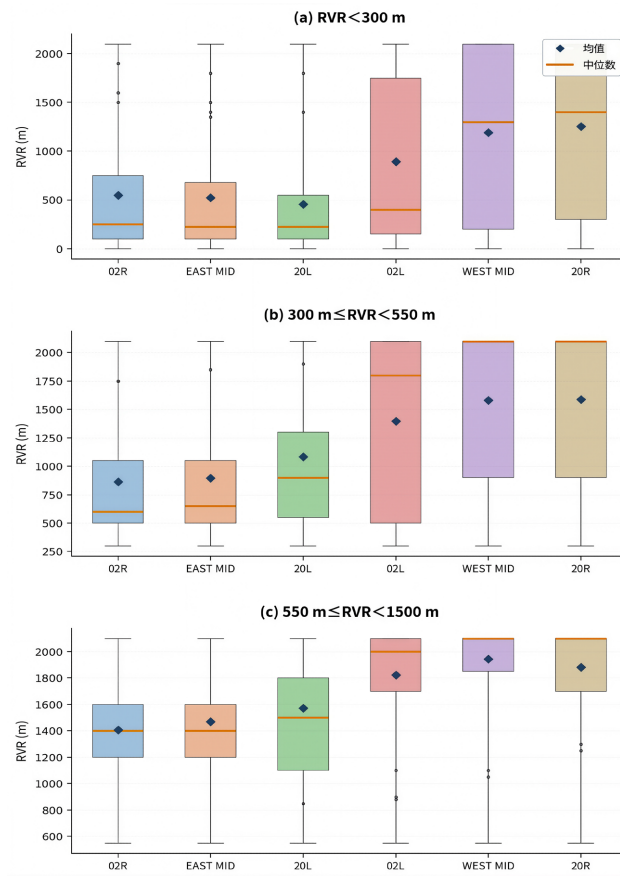
### 3.2. 各跑道端RVR统计特征

当任意跑道端满足不同阈值区间时,东跑道(02R、EAST MID、20L)总体RVR低于西跑道(02L、WEST MID、20R)。当 $RVR < 1500$  m时,西跑道统计值随端位由南向北呈增加趋势,表现为“南低北高”见图2。

在 $RVR < 300$  m场景下,东跑道三端平均值分别为548 m、523 m、454 m,明显低于西跑道;西跑道02L为893 m、WEST MID为1300 m、20R为1400 m,各端差异突出。

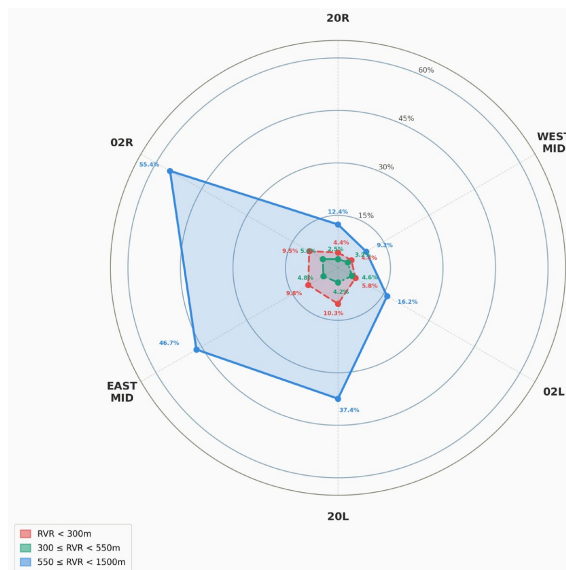
在 $300 \text{ m} \leq RVR < 550$  m场景下,东跑道平均值为865 m、896 m、1083 m,西跑道平均值为1397 m、1581 m、1586 m,仍表现为西跑道显著优于东跑道。

在 $550 \text{ m} \leq RVR < 1500$  m场景下,东跑道平均值为1406 m、1470 m、1571 m,西跑道平均值为1822 m、1943 m、1882 m,稍高能见度区间端间差异依旧存在,但总体呈高值分布。



**Figure 2.** Box plot of RVR statistical analysis for each runway end at Shuangliu Airport  
**图 2.** 双流机场各跑道端 RVR 统计分析箱型图

### 3.3. 运行阈值占比



**Figure 3.** Proportion of RVR intervals at each runway end of Shuangliu Airport  
**图 3.** 双流机场各跑道端 RVR 区间占比

根据机场年总簿记录, 2019~2023 年双流机场共出现 RVR < 1500 m 日数约 86 次, RVR < 300 m 区间东跑道端占比更高; 300 m ≤ RVR < 550 m 与 550 m ≤ RVR < 1500 m 区间亦表现为东跑道占比比较高、西跑道占比较低, 见图 3。

### 3.4. 不同持续时间下的相关性

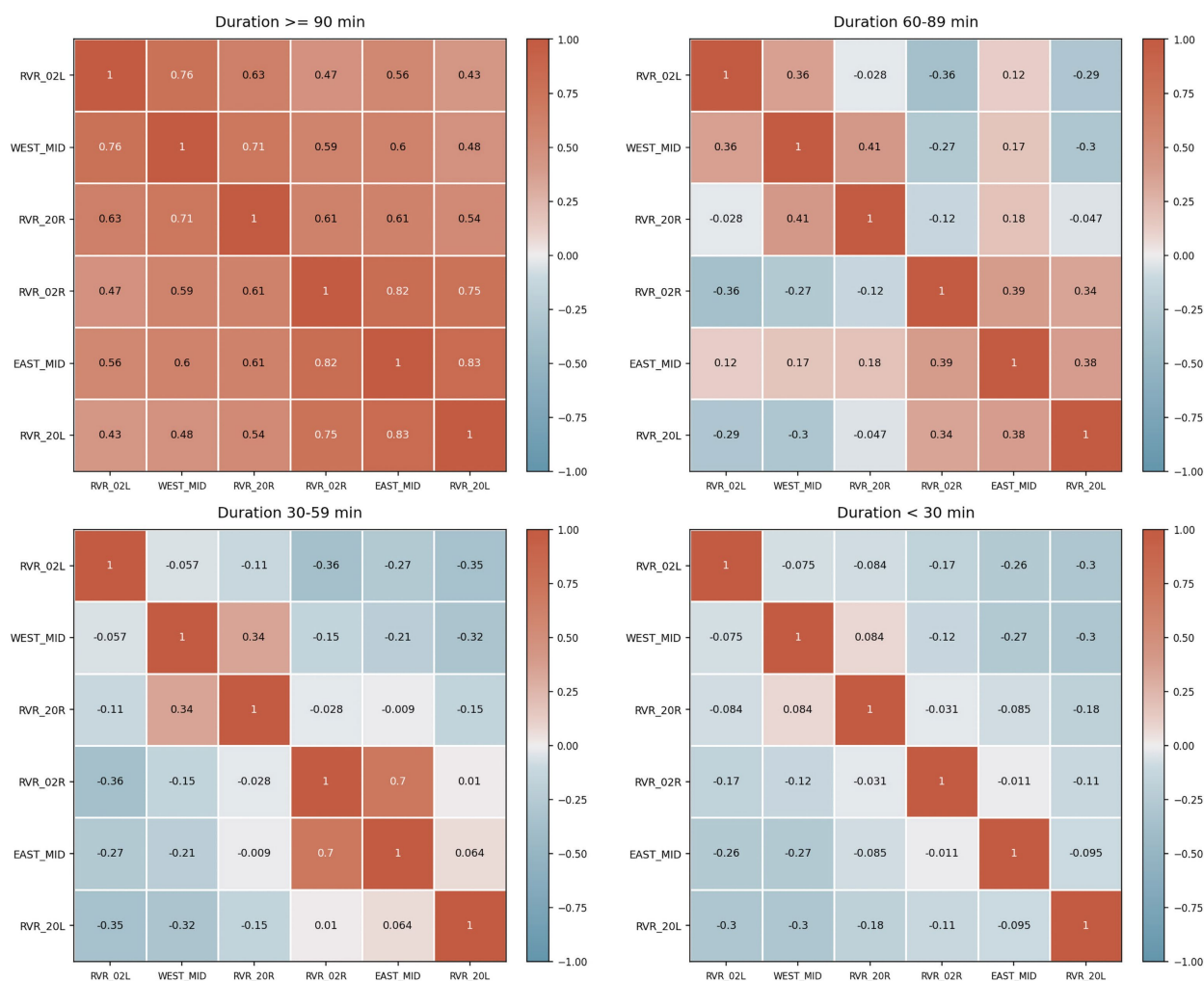


Figure 4. Correlation of RVR at both ends of Shuangliu Airport runways under different durations

图 4. 双流机场跑道各端 RVR 不同持续时间下的相关性

持续时间较短(<30 min)时, 多数端间相关性弱或为负, 可能与碎雾/局地雾影响有关; 持续时间增加后, 同跑道相邻端一致性增强, 且东跑道端间在持续时间 > 90 min 时呈极强正相关, 低 RVR 过程持续时间越长, 端间相关性越强, 提示影响范围扩大、过程更具整体性, 见图 4。

## 4. 天府机场各跑道端 RVR 差异分析

### 4.1. 机场概况

成都天府国际机场为 4F 级国际机场, 机场标高 442.5 m, 现有跑道 3 条, 见图 5: 西一跑道 01/19、东一跑道 02/20、北一跑道 11/29。

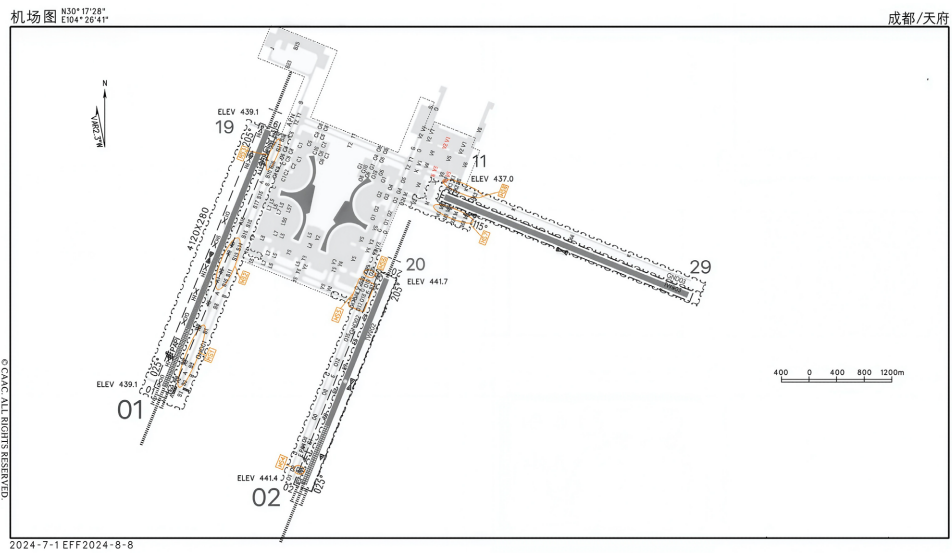


Figure 5. Runway layout of Tianfu Airport  
图 5. 天府机场跑道构型图

#### 4.2. 各跑道端 RVR 统计特征

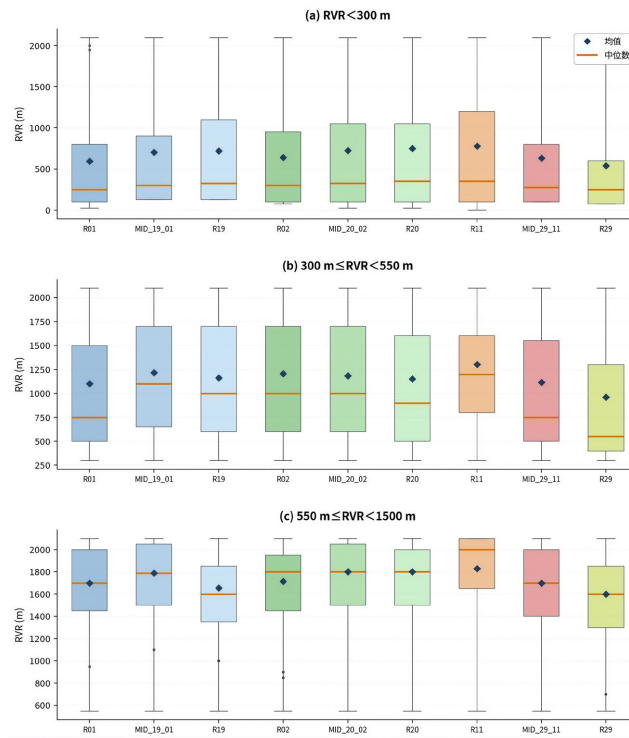


Figure 6. Box plot of RVR statistical analysis at each runway end of Tianfu Airport  
图 6. 天府机场各跑道端 RVR 统计分析箱型图

当  $RVR < 300\text{ m}$  时，R11 (ave780 m)与 R20 (ave750 m)整体较高，R29 (ave538 m)与 R01 (ave592 m)偏低；

当  $300\text{ m} \leq RVR < 550\text{ m}$  时，R11 平均值 1301 m、中位数 1200 m，显著高于其他端；R29 平均值仅

962 m、中位数 550 m，为视程最差端。

当  $550\text{ m} \leq \text{RVR} < 1500\text{ m}$  时，R11 平均值 1830 m、显著高于其他端；R01、R02 端平均值与中位数整体处于 1650~1800 m 区间；MID\_29\_11 次之；R29 仍为最低。总体来看，极端值与平均与中位数一致性不强，见图 6。

### 4.3. 运行阈值占比

天府机场 2021 开航以来至 2023 年共记录  $\text{RVR} < 1500\text{ m}$  日数 125 次，当  $\text{RVR} < 1500\text{ m}$  时，R29 占比最高，其次为 MID\_29\_11、R01；当  $300\text{ m} \leq \text{RVR} < 550\text{ m}$  时，R01 与 R29 占比最高，更可能触发 II 类运行条件。绝对频次统计与相对比例分析结论一致，R29 端低 RVR 发生频次最高，见图 7。

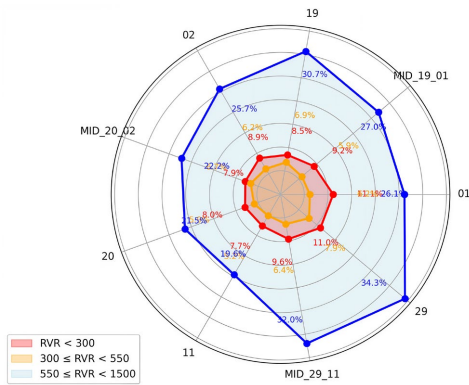


Figure 7. Proportion of RVR ranges at each runway end of Tianfu Airport  
图 7. 天府机场各跑道端 RVR 区间占比

### 4.4. 不同持续时间下的相关性

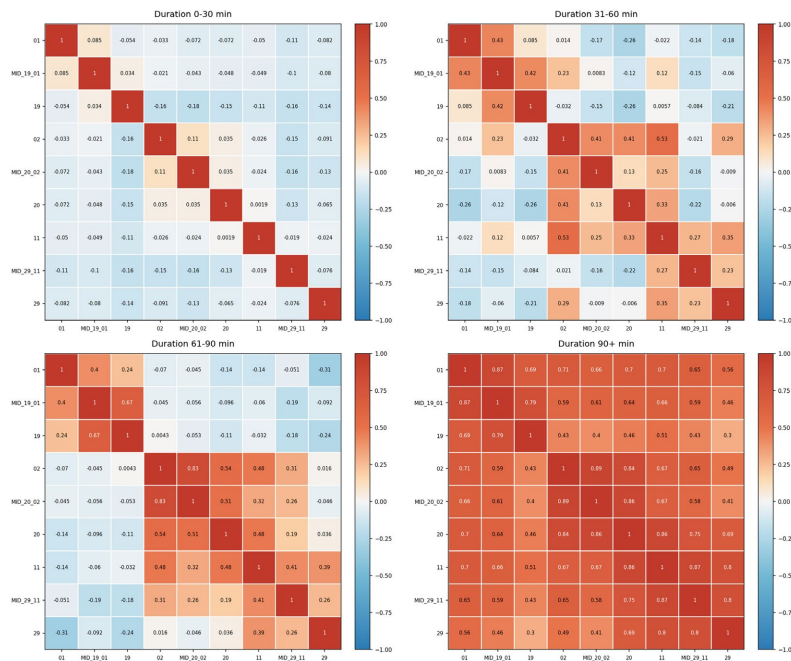


Figure 8. Correlation of RVR at each end of Tianfu Airport runway under different durations  
图 8. 天府机场跑道各端 RVR 不同持续时间下的相关性

将 RVR < 1500 m 过程按持续时间分为 0~30 min、31~60 min、61~90 min、≥90 min 四类，结果表明：持续时间越长，端间相关性越强，提示过程影响随时间扩展；当持续时间较短时相关性弱甚至为负，过程更具局地性；当持续时间 ≥ 90 min 时，多数端间呈中等至极强正相关，低能见度影响范围可覆盖机场大部区域，见图 8。

## 5. 聚类方法与 RVR 空间模态

### 5.1. 聚类分析

对照双流机场、天府机场跑道构型，基于三个 RVR 阈值区间的均值特征向量，采用 Ward 层次聚类方法对各跑道端进行分组。双流机场聚类结果显示，东跑道三端(02R、EAST MID、20L)聚为一组，西跑道三端(02L、WEST MID、20R)聚为另一组，两组间 Ward 距离显著大于组内距离，验证了东西跑道间的系统性差异；天府机场聚类结果表明，R29 与 R01 端因低 RVR 均值聚为一组，其余端位聚为另一组，R11 端因相对较高的 RVR 值在较高级别单独分出，反映了跑道走向对 RVR 空间分布的潜在影响，机场跑道的多向布局使得低视程表现更复杂，对大雾的反应步调不同，呈现出明显地理连片性(见图 9)。

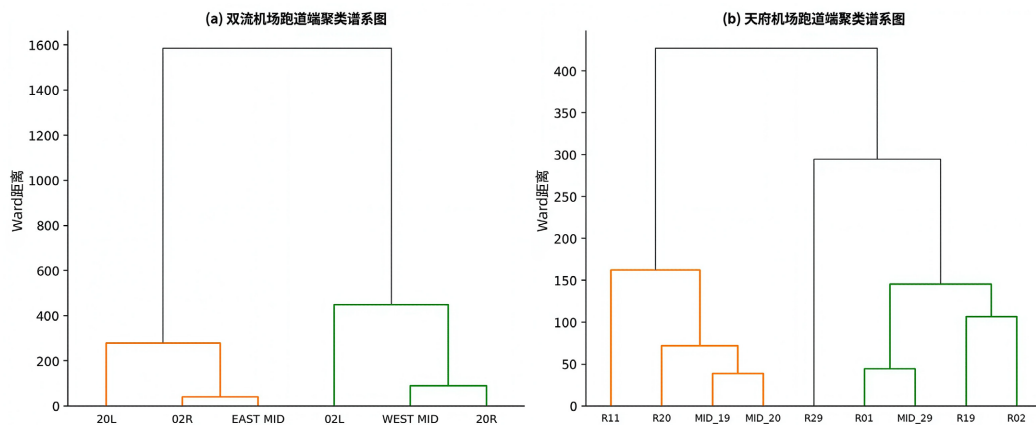


Figure 9. Cluster dendrograms of each runway end at the two airports  
图 9. 两机场各跑道端聚类谱系图

### 5.2. 主成分分析

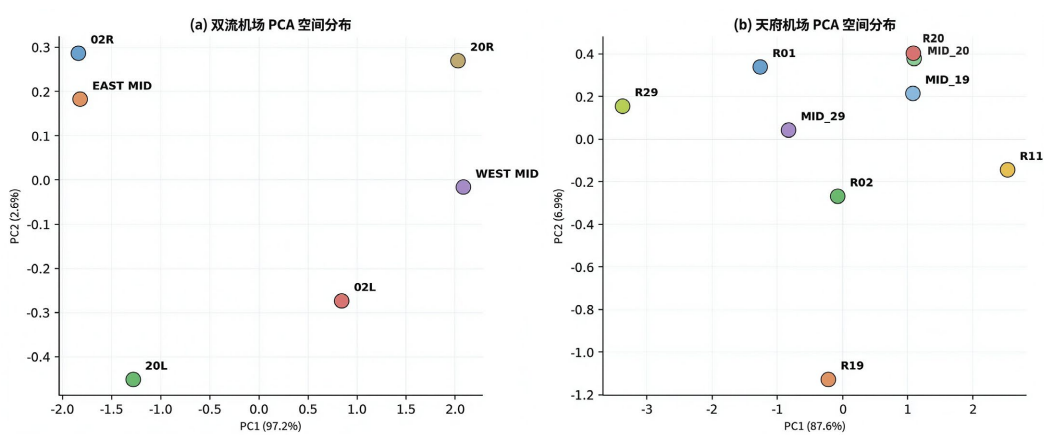


Figure 10. Spatial distribution of PCA at each runway end of the two airports  
图 10. 两机场各跑道端 PCA 空间分布图

使用主成分分析(PCA)进一步揭示 RVR 变化的主要空间模态。其中 PC1 主要反映东西跑道间的整体 RVR 水平差异, PC2 则捕捉了同一跑道内南北端的差异模态;在 PC1-PC2 散点图上,东跑道三端与西跑道三端分别聚集在坐标系的两侧。天府机场 PCA 结果中, PC1 主要区分了北一跑道两端(R11、R29)与其他跑道端, PC2 则反映了西一跑道与东一跑道之间的次要差异。进一步验证了箱线图和距平分析显示的 RVR 时空差异模式(见图 10)。对照两机场跑道构型,可以初步判断 RVR 分布特征受机场局部微气候和跑道布局影响较大。

## 6. RVR 跑道端差异的物理机制探讨与未来展望

双流机场西跑道 RVR 整体优于东跑道的现象,可能与机场周边的城市热岛效应及下垫面差异有关。东跑道东侧紧邻建筑群,热力与动力效应可能改变近地面的温湿分布和湍流结构,从而影响雾的形成与消散过程,西跑道“南低北高”的分布特征则可能与成都盆地冬季常见的偏北冷空气南侵路径有关。天府机场 R29 端低 RVR 占比偏高,可能与北一跑道的近东西走向有关,该走向使其东端更易暴露于来自龙泉山方向的水汽输送和冷空气下沉气流的影响之下,受平流雾入侵干扰。分析主要基于统计方法,尚未引入温度、湿度、风场等气象要素和高分辨率地形数据开展机理分析,上述推断尚需结合地形数据和再分析资料进行数值模拟加以验证,这也是后续研究的重要方向,从物理机制层面解释 RVR 的空间非均匀性,并探索基于机器学习的跑道端 RVR 差异预报方法。

## 7. 结束语

本文基于双流与天府机场自动观测资料,对低能见度条件下不同跑道端 RVR 进行了分级统计、距平变化与持续时间相关性分析。结果表明:两机场均存在稳定的空间非均匀性与明显的时间变化特征,其中双流机场表现为西跑道整体优于东跑道且“南低北高”,天府机场则以北一跑道东端(R29)及其附近端位低 RVR 更为突出。在低能见度运行程序触发、报文发布与精细化预报服务中引入跑道端差异约束,并在后续观测平台优化选址中充分考虑雾过程的空间扩展路径与持续时间特征。结合跑道端低 RVR 高发位置,对关键端位加密布设 RVR/能见度与云高观测,减少“代表性偏差”;在发报与预警预报时,注意区分局地碎雾、部分雾与整体性雾过程;针对夜间高发时段,强化短临监测与趋势外推,提前为管制与航司提供跑道可用性预报建议。后续研究将引入气象要素观测和高分辨率地形数据,结合数值模拟方法深入探讨 RVR 时空差异的物理成因,并探索跑道端差异约束在精细化预报产品中的业务化应用路径。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] ICAO (2018) Annex 3—Meteorological Service for International Air Navigation (20th ed.). ICAO.
- [3] Vislocky, R.L. and Fritsch, J.M. (1997) An Automated, Observations-Based System for Short-Term Prediction of Ceiling and Visibility. *Weather and Forecasting*, **12**, 31-43. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1997\)012<0031:aaobsf>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1997)012<0031:aaobsf>2.0.co;2)
- [4] Terradellas, E. and Cano, D. (2007) Implementation of a Single-Column Model for Fog and Low Cloud Forecasting at Central-Spanish Airports. *Pure and Applied Geophysics*, **164**, 1327-1345. <https://doi.org/10.1007/s00024-007-0221-8>
- [5] Gultepe, I., Tardif, R., Michaelides, S.C., Cermak, J., Bott, A., Bendix, J., et al. (2007) Fog Research: A Review of Past Achievements and Future Perspectives. *Pure and Applied Geophysics*, **164**, 1121-1159. <https://doi.org/10.1007/s00024-007-0211-x>
- [6] 马晓刚,罗思维,舒海燕,等.中国典型大雾落区基本概念模型的研究与建立[J].气象与环境学报,2013,29(1):62-67.
- [7] 张涛.基于多种资料对成都辐射平流雾生消机理分析[J].气象科技,2019,47(1):70-78.
- [8] 刘小渝.成都市民航气象行业标准下的低能见度时空分布特征研究[J].高原山地气象研究,2014,34(1):57-61.
- [9] 《民用航空气象地面观测规范》(AP-117-TM-2021-01R2)民航规[2021]43号[Z/OL]. [http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/202112/t20211231\\_210719.html](http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/202112/t20211231_210719.html), 2021-12-15.