

多跑道机场运行及气象预警预报服务要点分析

刘烈霜

民航西南地区空管局气象中心, 四川 成都

收稿日期: 2026年6月12日; 录用日期: 2026年7月8日; 发布日期: 2026年7月15日

摘要

随着全球民航事业快速发展, 大型枢纽机场进入“多跑道运行”时代已成为必然趋势。多跑道运行在显著提升机场容量的同时, 也对气象服务的精细化、精准化和协同化提出了前所未有的挑战。本文梳理了国际国内多跑道机场的运行概况与模式, 剖析风、低能见度、雷暴等关键气象要素对多跑道机场运行的影响机制及应对策略, 阐述当前背景下多跑道机场气象服务的核心价值与服务重点。研究表明, 多跑道机场气象服务需从传统“场级”宏观产品向“跑道级”精细化预报转变, 从单纯天气预报向决策导向的深度服务演进, 阐述了气象服务在保障安全、提升效率、创造效益方面的重要作用, 为多跑道机场气象预警预报技术研究提供理论和实践参考。

关键词

多跑道机场运行, 气象预警, 运行模式, 能见度, 风切变, 协同决策

Analysis of Key Points in Multi-Runway Airport Operations and Meteorological Warning and Forecasting Services

Lieshuang Liu

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

Received: June 12, 2026; accepted: July 8, 2026; published: July 15, 2026

Abstract

With the rapid development of the global civil aviation industry, it has become an inevitable trend for large hub airports to enter the era of “multi-runway operations.” While multi-runway operations significantly enhance airport capacity, they also pose unprecedented challenges to meteorological services in terms of refinement, precision, and coordination. This paper reviews the operational

overview and modes of multi-runway airports both domestically and internationally, analyzes the impact mechanisms and response strategies of key meteorological elements—such as wind, low visibility, and thunderstorms—on multi-runway airport operations, and elaborates on the core value and service priorities of meteorological services for multi-runway airports under the current context. The research indicates that meteorological services for multi-runway airports need to transition from traditional “field-level” macro products to “runway-level” refined forecasting, and evolve from mere weather prediction to decision-oriented in-depth services. This paper also expounds on the important role of meteorological services in ensuring safety, improving efficiency, and generating benefits, providing theoretical and practical references for research on meteorological warning and forecasting technologies for multi-runway airports.

Keywords

Multi-Runway Airport Operations, Meteorological Warnings, Operation Modes, Visibility, Wind Shear, Collaborative Decision-Making

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

1.1. 研究背景

近年来，全球航空运输需求持续快速增长，截至 2025 年，中国民航旅客吞吐量已位居世界前列[1]。为满足日益增长的运输需求，众多枢纽机场纷纷实施扩建工程，多跑道配置已成为大型机场的常态。广州白云机场、上海浦东国际机场拥有五条跑道，北京大兴国际机场具备四条跑道，多个省会枢纽机场进入双跑道和三跑道运行。这一趋势表明，中国已进入大规模多跑道机场建设与运行阶段。

然而，多跑道系统的复杂性决定了其对气象变化的敏感度远超单跑道机场[2]-[5]。任何影响单条跑道运行的天气现象，在多跑道机场都可能被放大并引发连锁反应。据统计，约 20% 的航空事件与不利气象条件有关，因此，深入研究多跑道机场气象预警预报技术，对于保障民航运行安全、提升运行效率具有重要的理论与现实意义。

1.2. 研究目的与意义

本文旨在梳理多跑道机场的运行概况与气象影响特征，探讨气象服务在多跑道环境下的发展重点与价值实现路径。具体意义体现在以下三方面：一是为多跑道机场气象预警预报技术的深入研究提供理论支撑；二是为运管委(A-CDM)机制下的跨部门协同提供技术参考；三是为行业管理部门制定相关政策标准提供决策依据。

2. 多跑道机场运行概况与模式

2.1. 中国多跑道机场发展现状

当前，中国已形成多层次、广覆盖的多跑道机场网络体系。根据截至 2026 年 6 月的公开信息，目前中国内地共有 12 座机场拥有 3 条或以上的跑道(表 1)。其中，广州白云是国内唯一拥有 5 条商用跑道的机场；上海浦东、北京大兴、重庆江北则拥有 4 条投入运营的跑道。这些机场构成了中国民航运输网络

的核心节点。

Table 1. Overview of major multi-runway airports in China
表 1. 国内主要多跑道机场一览

机场名称	跑道数量(民用/军用)	构型	备注
五条跑道(1 座)			
广州白云(CAN)	5 条	全平行，宽距 + 窄距组合	全国唯一“5 条商用跑道”运行的机场。
四条跑道(3 座)			
上海浦东(PVG)	4 + 1 条	全平行，宽距	另有 1 条商飞专用跑道，共有 5 条物理跑道。
北京大兴(PKX)	4 条	“三纵一横”全向型	拥有 3 条南北向跑道和 1 条东西向跑道。
重庆江北(CKG)	4 条	两组近距平行	东、西两组近距平行跑道(3,4 及 1,2 跑道)。
三条跑道(8 座)			
北京首都(PEK)	3 条	远距平行	原有两条跑道，后新建一条 4F 级跑道。
成都天府(TFU)	3 条	“两纵一横”全向型	拥有两条平行跑道和一条侧向跑道。
武汉天河(WUH)	3 条	“两远一近”平行	跑道间距分别为：1→2 为 1645 米，2→3 为 360 米。
西安咸阳(XIY)	3 条(在建 4 条)	全平行跑道	南二跑道 2025 年投用，第三跑道(北一)仍在建，未来共 4 条。
昆明长水(KMG)	3 条(实际运行 2 条)	全平行跑道	东一跑道关闭改造，实际运行西跑道和新投用的东二跑道。
乌鲁木齐天山(URC)	3 条	全平行跑道	新建两条 4F 级跑道，与原有跑道形成“三跑道运行”。
兰州中川(LHW)	3 条	全平行跑道	在原有西一跑道东侧 365 米处新建两条平行跑道。
深圳宝安(SZX)	3 条	窄距 + 宽距平行	西跑道组为窄距(中心线间距 550 米); 三跑道 4F 级。
特殊情况			
香港(HKG)	3 条	平行	由东北至西南方向伸延，三跑道系统于 2024 年 11 月全面启用。

2.2. 国际典型多跑道枢纽机场运行实践

亚特兰大哈茨菲尔德 - 杰克逊国际机场(ATL)拥有五条平行跑道，是全球旅客吞吐量第一的大型枢纽。针对夏季雷暴频发特点，ATL 建立了一套完整的雷暴应对体系：通过对 2013~2023 年期间的航班延误记录与 NASA POWER 大气数据的综合分析[6]，发现降水是 ATL 航班延误的主导正向预测因子($p < 0.001$)，而矢量风切变则表现出显著的负向系数效应($\beta = -14,050, p = 0.001$)，这种反向关系反映了季节相位不匹配——高峰延误期往往对应气候学上较弱的风切变强度，为将气象指标整合进机场运营和延误预测提供了实证支持。ATL 的实践表明，对于雷电频发地区的多跑道机场，应重点建设终端区雷达监视网与空中交通管制系统的深度耦合机制，实现天气信息向容量预测的实时转化。

阿姆斯特丹史基浦机场(AMS)虽仅有两条平行跑道，但通过极致的精细化管理实现高效运行。荷兰皇家气象研究所(KNMI)在史基浦机场部署了 24 台 Vaisala FD12P 现时天气传感器(PWS)，建设起高密度的自动气象观测网络，发展基于多传感器融合的智能能见度算法，并通过科学合理的跑道构型设计降低雾对运行的影响。研究表明[7]，任意两台传感器之间的能见度和降水强度测量差异随距离增加而变化，

短距离内的依赖关系最为显著，而在约 15 公里处趋于平缓。机场开发了改进和定制的能见度预报系统，通过系统分析不同能见度类别对应的容量和流量限制，建立了 LVP 触发阈值与容量损失之间的量化关系[8]。这一机制确保在能见度低于 550 米时，能够提前启动相应的运行限制措施。

伦敦希思罗机场拥有两条平行跑道，但通过独特的“就近起降”原则和跑道交替运行机制实现高效运行[9]：机场采用严格的跑道交替运行模式——每天上午部分时段使用一条跑道降落、另一条起飞，下午 15:00 切换模式。这种安排主要出于噪音控制考虑，但也带来了一定的运行灵活性收益。研究表明[10]，当考虑重量级别增长因素时，仅切换到混合模式运行不会允许额外增加航班且降低当前延误水平；而混合模式双跑道加一条仅供到达的第三跑道可允许航班数量增加 46%。

2.3. 多跑道机场主要运行模式

根据《平行跑道同时仪表运行管理规定》¹，平行跑道同时仪表运行主要分为四种基础运行模式：

(1) 独立平行仪表进近：航空器在相邻平行跑道仪表着陆系统上同时进近，不同跑道进近的航空器之间不需配备规定的雷达间隔。要求两条平行跑道中心线间距不小于 1035 米。独立平行仪表进近可将进近最低间隔从单跑道的 6 公里缩小至不需配备雷达间隔，大幅提升进近流量。

(2) 相关平行仪表进近：航空器在相邻平行跑道仪表着陆系统上同时进近，但不同跑道进近的航空器之间需配备规定的雷达间隔(通常为 4 公里)。要求跑道间距不小于 915 米。采用相关平行仪表进近可将进近最低 6 公里的间隔缩小到建立航道后的 4 公里。

(3) 独立平行离场：离场航空器在平行跑道上沿相同方向同时起飞。要求跑道间距不小于 760 米。若间距小于 760 米，航空器可能受尾流影响，放行间隔应按一条跑道规定的放行间隔执行。

(4) 隔离平行运行：在平行跑道上同时运行，其中一条跑道只用于离场，另一条跑道只用于进近。要求跑道间距不小于 760 米。

多跑道机场的运行效率取决于运行模式的合理选择与应用[11]-[14]。

隔离平行运行是最常见模式之一，指定一条跑道专门用于起飞，另一条专门用于降落。这种模式管制指令相对简单，可有效避免起降冲突。国内多个大型机场(如浦东、天府、大兴等)的不同跑道在起飞和降落的航班量上存在显著差异，部分跑道专用于起飞或降落。独立平行运行允许两条跑道同时进行互不影响的起飞和降落，能最大化机场容量，但对导航设备、监视系统及气象条件有极高要求。当平行跑道间距不足以支持独立运行时，采用非独立/相关平行运行模式，需保持一定的安全间隔。

上述四种基本运行模式通过不同组合形成半混合运行和混合运行。半混合运行是指两条跑道中有一条仅用于进近或离场，混合运行则是两条跑道可同时用于进近和离场。通常双跑道运行模式是逐步推进的：从隔离平行运行模式(一起一降)，到半混合运行模式(两起一降或两降一起)，再到混合运行模式(两起两降)，运行模式的提升促进机场运行容量的提升。“就近起降”原则是多跑道运行优化的先进理念，旨在根据停机位位置动态分配最近跑道以缩短滑行时间，但该目标受风向、跑道维护等因素制约。

3. 气象要素对多跑道运行的影响机制

3.1. 风的影响机理与运行策略

风是影响机场运行最直接、最频繁的气象要素。对于多跑道机场，风的影响呈现立体和动态特征，主要包括：

跑道构型决策复杂性：机场运行首要原则是逆风起降。风向改变将直接导致整个机场跑道使用方向

¹https://www.gov.cn/gongbao/content/2005/content_63346.htm

变更。在大型多跑道机场，跑道方向切换是极复杂的过程，涉及数十甚至上百架飞机的重新排序和路线规划，通常耗时半小时以上，期间机场容量大幅下降，造成航班积压。决策时需综合考虑风向风速持续性、交通流量、管制员工作负荷等多重因素。

侧风限制与容量损失：每种机型都有最大可承受侧风限制。当某条跑道侧风分量超机型限制时，该跑道对相应机型关闭。若侧风导致多条跑道不可用，特别是具有特定功能(如长航线起飞)的跑道，机场整体运行能力将严重削弱。

低空风切变威胁：风切变被称为航空器“空中隐形杀手”。它可导致飞机空速骤变、升力突然丧失，甚至失控(表 2)。2025 年 5 月 6 日，重庆江北机场遭遇低空风切变突袭，气象自动观测面板上风速从 3 米/秒迅猛跃升至 10 米/秒，大兴机场测风激光雷达也曾探测到 17L、17R 端进离港航线发生 25 节大小的风切变。

跑道间风速差异：占地面积广阔的多跑道机场(如浦东、大兴)，不同跑道位置处的风速和风向可能存在显著差异，尤其是在锋面过境或雷暴天气影响下。这要求气象服务提供跑道级精细化风场信息而非单一“机场风”预报。

Table 2. Risk levels of wind shear in different scenarios
表 2. 风切变在不同场景下的风险等级

风切变类型	形成机制	典型风速变化率/百米	风险等级	应对措施
锋面风切变	冷暖空气交汇	5~15 m/s	高	提前预报、绕飞
逆温层风切变	温度层结异常	3~10 m/s	中高	加强监测
雷雨风切变	雷暴微下击暴流	10~30 m/s	极高	LLWAS 预警
地形风切变	山地地形影响	5~15 m/s	中	航线规划

3.2. 低能见度/大雾的影响与对策

低能见度是导致机场容量下降和航班大规模延误的最主要原因之一[14]-[16]。影响主要体现在以下几点：

运行标准显著提升与容量骤降：当跑道视程(RVR)低于特定阈值(如 550 米)时，机场须启动低能见度程序(LVP)。在 LVP 下，飞机之间水平和垂直间隔标准大幅增加，地面车辆和航空器活动受到严格限制，滑行速度减慢。这一系列措施将导致机场容量急剧下降，通常会降至正常天气容量的 50%或更低。天府机场在 2025 年 11 月 27 日遭遇大雾，三条跑道 RVR 在 125 米至 200 米间剧烈波动，通过优化气象数据和起飞标准协同机制，在三条跑道 RVR 不稳定低于 200 米的情况下，保障 45 架次航班成功起飞，保障约 7000 名旅客顺利出行，有效避免大面积航班延误。

对平行跑道运行的影响：低能见度对独立平行进近的影响是显著的。独立平行进近的安全性在很大程度上依赖于管制员能够目视或通过雷达监控飞机航迹，确保它们不会偏离航道进入相邻跑道的“禁止侵入区”(NTZ)。在极低能见度下，这种监控能力大大削弱，通常不再允许进行独立平行进近，而必须降级为非独立平行进近甚至单跑道运行，导致机场容量断崖式下跌。2026 年 1 月 30 日新疆乌鲁木齐机场受低能见度天气影响，共有 32 架次航班备降疆内机场、6 架次备降疆外机场、1 架次返航。

多跑道运行的协同复杂性：在大型多跑道机场，复杂的滑行道系统在低能见度下如同迷宫，飞行员视野受限，极易发生“跑道侵入”或“滑错路线”等不安全事件。根据中国民航局相关规定，对于拥有多条可实施低能见度运行跑道的机场，所有跑道的运行准备工作必须同时启动。只有当所有跑道的天气都

恢复到标准以上时,才能结束 LVP。这种“同启同终”的原则也对气象监测和预报的协同性、一致性提出了极高要求。

3.3. 雷暴/强对流天气的影响

雷暴是夏季影响民航运行的最主要天气,其影响是立体的、破坏性的,能使一个大型多跑道枢纽陷入停滞,导致大面积的航班延误。其影响主要体现在:

终端区空域容量下降: 雷暴单体或雷暴群通常覆盖数十甚至上百平方公里范围。当移动至机场上空或关键进离场通道时,会造成终端区大片空域不可用。飞机无法起降,只能在远端进行空中等待或备降其他机场。

复合型危险天气对运行产生威胁: 包括强风和风切变、强降水、冰雹、雷击和强颠簸等。雷暴中的下击暴流和阵风锋导致飞机遭遇风切变的概率增加;短时强降雨使能见度下降至 LVP 标准以下;雷击导致飞机及驻场设备损伤等。2025 年 7 月 9 日夜间,广东揭阳潮汕机场遭遇雷雨天气,机场单跑道遭雷劈损坏,临时关闭进行抢修,不少进港航班备降、出港航班全部延误,凸显了雷暴对跑道基础设施的物理破坏能力,在多跑道运行的枢纽机场,此类事件将造成更大范围的运行影响和调度困难。

地面运行停滞: 当机场附近(通常为 5~8 公里内)有雷电活动时,须停止所有坪上作业,包括旅客登机、行李装卸、飞机加油、配餐等。导致航班在天气好转后也无法立即出发,延误被进一步拉长。2019 年夏季,意大利米兰马尔彭萨(MXP)和贝加莫(BGY)两大机场遭受雷暴、龙卷风等强对流天气袭击,导致大量航班延误、取消和备降,机场运行陷入混乱,极端强对流天气对大型机场运行造成巨大冲击。

3.4. 其他气象要素影响

云: 低云(特别是低于最低决断高度的云)直接影响飞行员能否建立目视参考,是决定能否正常着陆的关键因素。

跑道污染: 降雪、冻雨、大雨等天气会在跑道上形成积雪、结冰或积水,显著降低跑道摩擦系数。

4. 多跑道机场气象服务重点与价值体现

4.1. 气象服务核心重点

未来多跑道机场气象服务,可从以下方面为机场运行提供支撑:

从“场”到“点”的精细化: 为多跑道运行提供精细化、临近的预报技术支持是多跑道气象服务的核心重点之一。大型多跑道机场占地面积巨大,天气现象在场内可能存在显著空间差异。例如,强降水可能只影响了北侧跑道而南侧跑道天气良好;局地团雾导致不同跑道 RVR 值差异巨大。气象服务的核心须转向提供“跑道级”甚至“跑道端级”的精细化产品,包括各条跑道不同位置(RVR 实况与预报)、各条跑道进近/离场关键航段的低空风切变预警、各跑道端的风向风速(包括阵风)预报。以及建设覆盖全场的高密度、多类型观测网络,发展能够解析机场内部小微尺度天气现象的数值模式和 AI 预报算法等。

从“现象”到“影响”的决策导向: 空管、航空公司和机场运营方最关心的是天气将对运行产生什么具体影响?这需要开发基于气象预报的“机场运行影响预报”产品,将气象预报模型与机场容量评估模型、交通流量模型进行耦合。推进气象与流量、情报、机场多方数据协同,优化跑道使用策略。基于每条跑道的独立气象数据,空中交通管制部门可以灵活分配航班使用哪条跑道起降。

从“产品”到“服务”的深度融合: 气象信息需要无缝嵌入到用户的决策流程和工作平台中。包括采用标准化的数据接口和协议与各运行单位进行系统对接,以及派驻专业的气象领航员进入运控大厅提供伴随式气象解读和决策咨询服务等。

对新技术和新标准的支撑：随着 PBN (基于性能的导航)、GBAS (卫星导航地基增强系统)、EFVS (增强飞行视觉系统)等新技术应用，对气象服务的精度和类型提出新要求。需要开展针对性气象服务技术研究，如为仪表进近程序提供更精确的湍流、结冰、大气密度预报；为 EFVS 运行提供更可靠的能见度垂直廓线信息。

4.2. 气象服务设施配置与数据支撑

自动气象观测系统(AWOS)是多跑道机场气象服务的核心基础设施。AWOS 提供连续、实时的天气报告，可配置覆盖 24 小时监测地面风、跑道视程、云高等 13 项要素，当出现冻降水、雷暴、低能见度等符合 SPECI 发布标准的天气时，第一时间向管制部门通报。对于多跑道机场，每条跑道通常需要安装多个传感器点位，例如太原武宿机场新建南跑道头、尾和中间共 3 处安装 10 余根传感器桅杆，构成完整的气象监测网络。

组网建设 X 波段相控阵天气雷达。近年来，X 波段相控阵天气雷达(PAWR)因其高空间分辨率、高时间分辨率的特点，可在 1 分钟内完成一次体扫描，空间分辨率可达 30 米，适用于监测高影响天气。其相控阵天线具有更快的扫描速度，能够实现对终端区的连续监测，这对于雷暴、飑线等快速移动对流系统的追踪具有重要意义。

多源数据协同：整合 AWOS、跑道视频辅助系统、双偏振天气雷达(CINRAD)、微波辐射计(MWR)、风切变告警系统等多设备数据，构建基于天气机理的判定规则库，实现对雾、强降水、雷暴、冰雹等复杂天气的精确识别。利用气象数字孪生技术生成的格点天气数据反哺航迹推演，增强恶劣天气下的航线规避能力；将飞行计划处理与气象预报的数据协同，形成“天气影响预测 - 航迹调整 - 运行结果 - 保障复盘”的完整链条。

4.3. 气象服务价值的体现

保障运行安全：这是气象服务的首要价值。及时准确的气象预警可让机组采取中断起飞或复飞等措施，有效避免飞行安全事故。据统计，约 20%的航空事件与不利气象条件有关。精准的气象预警是构筑航空安全防线不可或缺的一环。

提升机场运行容量和运行效率：精准的气象服务使机场能够在满足安全标准的前提下，采用更高效的运行模式。将天气对运行的“突袭”变为“有准备的遭遇战”，让管制部门提前规划备降航线、有序分流，显著减少因天气造成的航班延误，提升航班准点率。一次洲际航班的备降成本高达数十万甚至上百万元人民币。以“飞机每多飞一分钟，就多承担经济成本 1000 元”作为粗略估算基准，可以量化出节省的燃油成本，评估气象服务在优化机场运行流程中的效率增益并将其转化为经济价值。

为机场改扩建和标准优化提供依据：长期气象观测数据的积累可为机场建设和运行标准优化提供科学依据。天府机场基于详实的气象数据和运行数据相结合分析，提出了 RVR150 米低能见度起飞的新标准，进一步提升了机场的运行效率。

5. 结论与展望

进入多跑道运行时代，大型枢纽机场已经演变为一个高度精密和复杂的巨系统。在这个系统中，天气不再是一个外部干扰变量，而是深度内嵌于运行决策每一个环节的核心要素。面向多跑道机场的气象服务，必须完成从传统、宏观、产品导向到现代、精细、决策融入的深刻转型，朝着“跑道级观测、精细化预报、智能化预警、协同化决策”的方向发展。

在自动气象观测系统(AWOS)、风切变监测系统、数值预报、多源数据融合技术以及数字孪生等新技

术驱动下,气象数据正从单纯的“天气预报”升级为航空运行决策的核心数据资产。未来,随着人工智能、大数据、物联网等新技术的不断发展,气象服务在多跑道机场运行中的核心枢纽地位将愈发凸显,其所能释放的价值潜力无可限量。我国作为全球最大的民用航空市场之一,应抓住这一历史性机遇,加快推动多跑道机场气象预警预报技术创新,为建设民航强国贡献力量。

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] 中国民用航空局. 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] 尹嘉男, 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] 中国民用航空局飞行标准司. 民用航空机场运行最低标准制定与实施准则: AC-91-FS-2023-15 [R]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- [4] 中国民用航空局. 航空承运人湿跑道和污染跑道运行管理规定: AC-121-FS-33R1 [R]. 北京: 中国民用航空局, 2021.
- [5] 高伟, 张兆宁. 基于低能见度机场场面运行策略[J]. 中国科技信息, 2017(Z1): 31-34.
- [6] Verma, S., Kozon, T., & Ballinger, D. (2014) Comparative Analysis of Procedures for Dual and Triple Closely Spaced Parallel Runways. *The International Journal of Aviation Psychology*, **24**, 315-336.
<https://doi.org/10.1080/10508414.2014.949519>
- [7] International Civil Aviation Organization (ICAO) (2019) Manual on All-Weather Operations: Doc 9365-AN/910.
- [8] National Weather Service (2025) Thunderstorm Impact on Airport Operations.
- [9] Federal Aviation Administration (FAA) (2021) Approval for Use of Low Visibility Approaches and Takeoffs: Advisory Circular AC 120-76D.
- [10] Shafienya, H. and Regan, A.C. (2022) 4D Flight Trajectory Prediction Using a Hybrid Deep Learning Prediction Method Based on ADS-B Technology: A Case Study of Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport (ATL). *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **144**, Article 103878. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103878>
- [11] Wu, M.G., Liu, Y. and Clarke, J.P. (2025) Super Close Runway Operations (SupeRO): Review of Paired Approach Concepts on Closely Spaced Parallel Runways. *CEAS Aeronautical Journal*, **16**: 123-138.
<https://doi.org/10.1007/s13272-025-00828-z>
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 麻金海. 多跑道枢纽机场低能见度启动机制管理浅析——以北京两场为例[J]. 民航管理, 2020(12): 90-92.
- [15] 王卓君, 魏杰, 陆琴谦. 大兴国际机场低能见度运行特征及影响因子分析[J]. 中国民用航空, 2021(10): 48-52.
- [16] 李云, 喻晗. 贵阳龙洞堡国际机场双跑道 RVR 对比分析[J]. 自然科学, 2026, 14(2): 238-247.