

南疆西部主要机场雷暴天气特征及对管制措施的建议

李云翔, 曼吾拉·卡德尔

新疆机场(集团)有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2026年8月3日; 录用日期: 2026年9月2日; 发布日期: 2026年9月9日

摘要

基于南疆主要机场近5年的气象观测资料, 本文采用统计分析方法系统研究雷暴天气的时空分布及演变特征, 并分析其对飞行安全与管制运行的影响。结果表明: 独特的干旱区山地-盆地耦合下垫面条件决定了南疆机场雷暴活动集中分布于4~10月(春季至秋季中期)的时间规律, 不同机场的雷暴初始触发位置、移动路径、单次过程持续时长受局地地形遮蔽效应影响呈现出显著的空间异质性。针对该类地域性雷暴的运行管控实践证实, 以航空器运行安全为核心前置目标, 提前实施动态管制间隔扩容与精准化流量管控、从运行入口端减少终端区航班密度, 是从根源上规避航空器误入强对流风险的最可靠高效手段; 同步通过专项预案迭代、跨部门流程重构、多源感知体系升级等方式优化全保障链条的协同联动效率, 可全面补齐南疆支线机场复杂气象条件下的管制服务能力短板, 研究成果可为提升南疆机场雷暴天气下的空管运行安全水平与运行效率提供直接的理论参照与实践指引。

关键词

南疆西部, 机场, 雷暴天气, 管制措施

Thunderstorm Weather Characteristics of Major Airports in Western Southern Xinjiang and Suggestions for Control Measures

Yunxiang Li, Movlan Kader

Xinjiang Airport (Group) Co., Ltd., Urumqi Xinjiang

Received: August 3, 2026; accepted: September 2, 2026; published: September 9, 2026

Abstract

Based on the meteorological observation data of the main airports in southern Xinjiang in the past five years, this paper uses statistical analysis methods to systematically study the spatial and temporal distribution and evolution characteristics of thunderstorm weather, and analyzes its impact on flight safety and control operation. The results show that the unique mountain-basin coupling underlying surface conditions in the arid region determine the temporal distribution of thunderstorm activity in the southern Xinjiang airport from April to October (spring to mid-autumn). The initial triggering position, moving path and duration of a single process of thunderstorms in different airports show significant spatial heterogeneity due to the influence of local terrain shielding effect. The operation and control practice of such regional thunderstorms confirms that the most reliable and efficient means to avoid the risk of aircraft mis-entry into strong convection is to take the safety of aircraft operation as the core pre-target, implement dynamic control interval expansion and precise flow control in advance, and reduce the flight density in the terminal area from the operation entrance. Through the iteration of special plans, the reconstruction of cross-departmental processes, and the upgrading of multi-source perception systems, the collaborative linkage efficiency of the full guarantee chain is optimized, which can fully supplement the shortcomings of the control service capacity of the southern Xinjiang regional airport under complex meteorological conditions. The research results can provide direct theoretical reference and practical guidance for improving the safety level and operation efficiency of air traffic control operation under thunderstorm weather at the airports in southern Xinjiang.

Keywords

Western Southern Xinjiang, Airport, Thunderstorm Weather, Control Measures

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

新疆南疆盆地深居欧亚大陆腹地, 被天山山脉、帕米尔高原与昆仑山脉三面环绕, 特殊的地形地貌与大气环流背景使其成为我国西北干旱区典型的气候敏感区, 局地强对流天气触发机制复杂, 冰雹、短时强降水、低空乱流等灾害性天气发生频次高、突发性强, 对民航运行安全构成显著威胁[1][2]。作为我国向西开放的空中门户, 南疆西部机场群近年来航空业务量持续攀升, 繁忙时段终端区航空器密度不断增大, 雷暴天气引发的航班绕航、等待、备降等运行冲突逐步凸显, 已成为制约区域民航运行效率与安全品质提升的关键气象因素之一。

长期以来, 我国雷暴天气的系统性研究主要集中于华南沿海暖湿对流活跃区及长江流域梅雨锋强对流带, 相关成果围绕中尺度对流系统演变机理、人工影响天气试验及大范围区域灾害风险评估等方向形成了较为成熟的理论体系[3]。相比之下, 针对干旱区尤其是南疆西部山地-盆地耦合特殊下垫面条件下的雷暴研究仍较为零散: 早期研究多聚焦于南疆重点区域冰雹天气的天气学成因与潜势预报技术构建, 尚未延伸至雷暴全生命周期时空演变规律及其对民航运行场景的精细化适配分析[4]; 近年针对新疆全域雷暴云活动特征的统计研究多已揭示出干旱区雷暴的地域性发生规律, 但尚未结合机场终端区管制运行的实际需求开展针对性的应用转化, 研究成果与民航管制场景的适配性不足。与此同时, 国内针对雷暴

天气下民航管制运行的现有研究多面向中东部繁忙枢纽机场展开, 相关成果涵盖终端区雷达管制飞行调配、改航路径优化、进场航班动态排序等多个技术方向, 能够为中东部平原机场的雷暴天气运行提供完备的理论支撑与实践指引[5]-[7], 但此类结论难以直接照搬应用于地形条件极端复杂、气象观测站点密度相对稀疏的南疆西部机场群。

从区域民航运行的现实需求来看, 现有针对西北强对流气候背景的相关研究已对咸阳国际机场等西北枢纽的雷暴年际变化、生消时段等基础特征完成系统性梳理, 为内地机场气象服务精细化升级提供了重要参考[8], 但南疆西部机场受地形遮蔽效应影响, 雷暴的触发时间、移动路径及影响范围均呈现出显著区别于内地机场的独有特征, 相关区域化研究成果仍处于空白状态。针对这一研究缺口, 行业内相继开展的雷暴规避区预测建模、动态四维航迹自适应规划、管制扇区容量动态评估等前沿技术探索, 也均为研究区域本地化特征完成参数校准, 难以直接服务于南疆西部机场的日常管制运行[9][10]。与此同时, 通用航空气象灾害监测预警技术的新进展虽为区域气象服务能力升级指明了方向, 但如何将其与南疆管制现场的实际运行流程深度融合, 仍是当前航行情报服务优化过程中亟待破解的核心问题[11][12]。

鉴于此, 本文针对南疆西部区域的雷暴特征展开系统性研究, 旨在明确该区域雷暴的时空分布规律与时间演变精细化特征, 并据此面向机场管制工作提出适配性运行建议与决策参考。研究选取南疆盆地西部三个主力运营机场近五年的逐小时雷暴观测数据集, 同步集成民航气象常规观测报文、机场气候志及管制运行记录等资料, 采用气候统计分析方法对盆地西部雷暴天气的发生时段峰值、空间移动规律、持续时间分布等核心特征展开定量归纳, 提炼出区别于内地平原机场的南疆雷暴独有演变规律。研究成果既可为后续南疆西部扇区动态容量评估、改航路径智能规划等技术落地提供基础数据支撑, 也可为管制一线工作人员制定雷暴天气下的飞行调配预案提供本地化的理论依据, 对补齐干旱区复杂地形条件下民航气象管制服务的短板、提升南疆机场群整体运行安全水平具有重要的现实意义。

2. 资料与方法

本文基于南疆盆地喀什机场、和田机场、莎车机场 2015~2019 年共计 5 年气象观测实况资料, 包括样本机场例行观测报文、机场 Vaisala 气象自动观测系统数据以及相关报表, 用统计方法分析上述机场雷暴天气特征。文中雷暴日定义为, 一天内观测到一次或以上雷声, 即计为一个雷暴日; 雷暴过程定义为积雨云在不稳定大气条件下发展、成熟并消散的完整生命史, 伴随闪电、雷声、强风和短时强降水等强对流现象, 通常持续约 2 小时。

3. 南疆主要机场雷暴天气特征

3.1. 喀什机场

喀什机场累年各月雷暴出现的日数(见图 1(a)), 累年平均雷暴期为 31 天, 月最多雷暴日数为 40 天, 出现在 8 月。雷暴发生时间集中在 18~24 时之间(图 1(b)), 4~9 月雷暴持续时间呈增长的趋势, 影响时间最短 3 分钟, 最长 5 小时。喀什机场雷暴可出现机场任何方向, 主要出现在偏北方向占 64% (图 2(a)), 由于雷暴的传播移动方向受高空引导气流有关, 喀什机场高空以偏西气流为主, 因此雷暴的传播移动方向以偏东方向为主, 占 72%(图 2(b))。伴随有天气的情况占 68%, 伴随天气主要是小阵雨, 大风和扬沙, 大雨、冰雹和浮尘出现次数很少。暴发生时地面风风向以偏北风为主占 59%(图 2(c)), 而风速主要为 5~10 m/s 占 48%, 最大风速可达 26 m/s。

3.2. 和田机场

和田机场处昆仑山区北麓, 距离最近的山区距离为 10 km, 因此偶有山区对流云系影响出现的雷暴

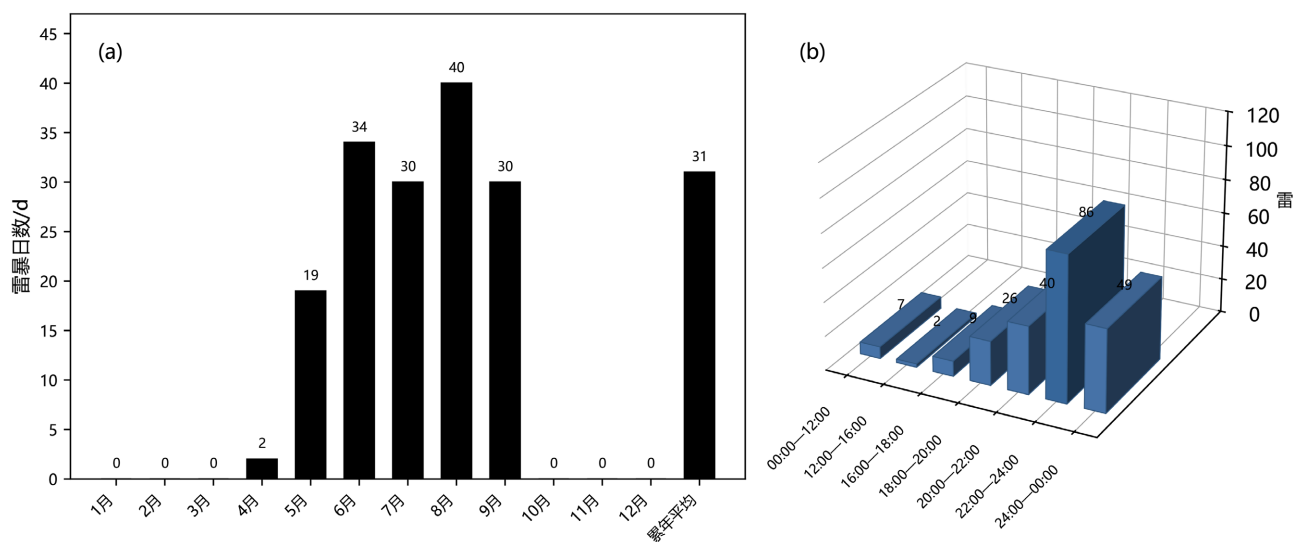


Figure 1. Characteristics of thunderstorm occurrence time in Kashgar Airport. (a) Monthly variation characteristics; (b) Thunderstorm diurnal variation characteristics

图 1. 喀什机场雷暴出现时间段特征。(a) 月变化特征; (b) 雷暴日变化特征

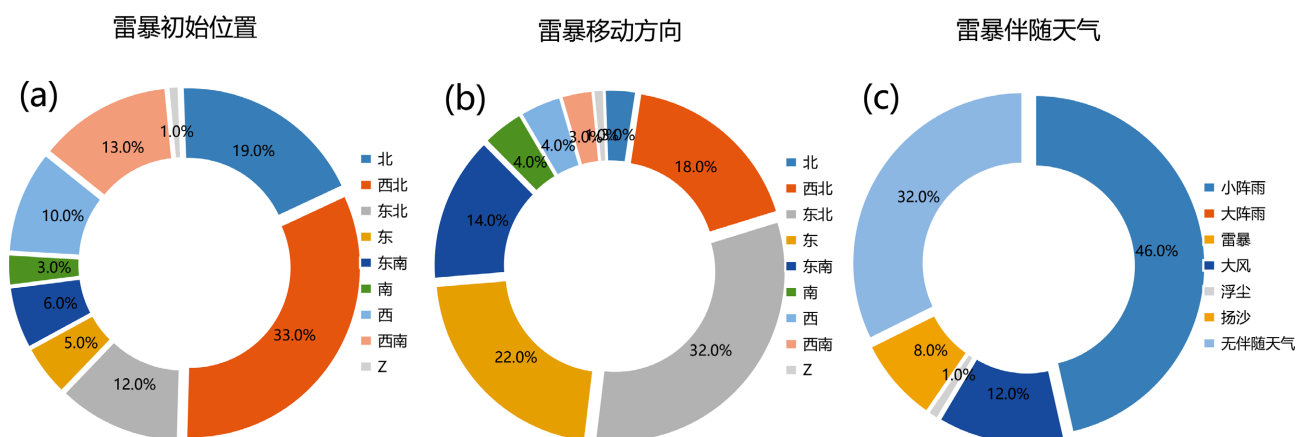


Figure 2. Characteristics of thunderstorm weather in Kashgar Airport. (a) Thunderstorm initial position; (b) Thunderstorm moving direction; (c) Thunderstorm accompanying weather category

图 2. 喀什机场雷暴天气变化特点。(a) 雷暴初始位置; (b) 雷暴移动方向; (c) 雷暴伴随天气类别

天气, 雷暴云系出现位置多为机场偏南部地区, 一般东南部雷暴出现频率较多。从图 3(a)中可以发现, 雷暴集中发生在 5 月至 7 月, 其中 6 月份出现的次数最多, 平均出现 5 次雷暴天气, 持续时间较长。经过多年统计资料, 从入秋起到来年 4 月, 和田机场无雷暴天气发生。和田机场雷暴的日变化特征中发现(图 3(b)), 和田机场雷暴天气日变化特点为, 一般出现北京时间 14 时~20 时之间, 最多出现在 17 时左右, 这也是本场当日最高气温出现的时间, 也在一定程度上反映了雷暴天气出现所需的温度影响蒸发量加大造成的空气垂直运动加强等条件。

雷暴移动方向具有较明显的集中性和方向性特征(图 3(c)), 主要向西北和东北方向移动, 其中向西北方向移动的雷暴占比最高, 达到 42%; 向东北方向移动的雷暴次之, 占 32%。二者合计占雷暴样本总数的 74%, 表明研究区域雷暴移动总体表现为明显的向北移动特征, 且偏向西北方向的移动更为显著。相比之下, 向西南和东南方向移动的雷暴比例相对较低, 分别为 17%和 9%, 合计仅占 26%。和田机场雷暴移动方向主要集中于北侧象限, 尤其以西北方向为主, 反向向南移动的雷暴相对较少。

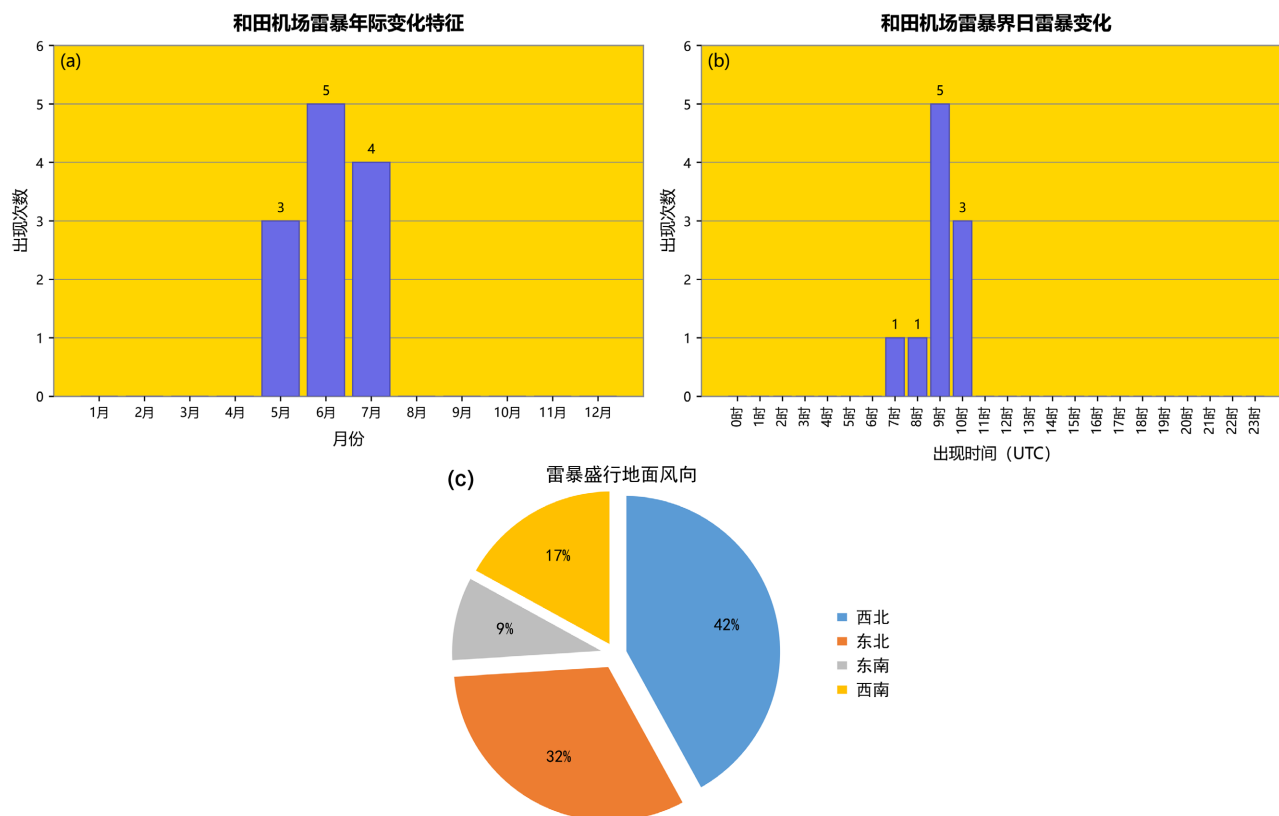


Figure 3. Characteristics of thunderstorm occurrence time at Hotan Airport. (a) interannual variation of thunderstorm; (b) daily variation of thunderstorm; (c) Thunderstorm accompanying weather category

图 3. 和田机场雷暴出现时间段特征。(a) 雷暴年际变化; (b) 雷暴日变化; (c) 雷暴移动方向

3.3. 莎车机场

莎车机场雷暴发生时间绝大多数在北京时间 22:00 之后(图 4(a)), 莎车机场雷暴持续时间平均为 1

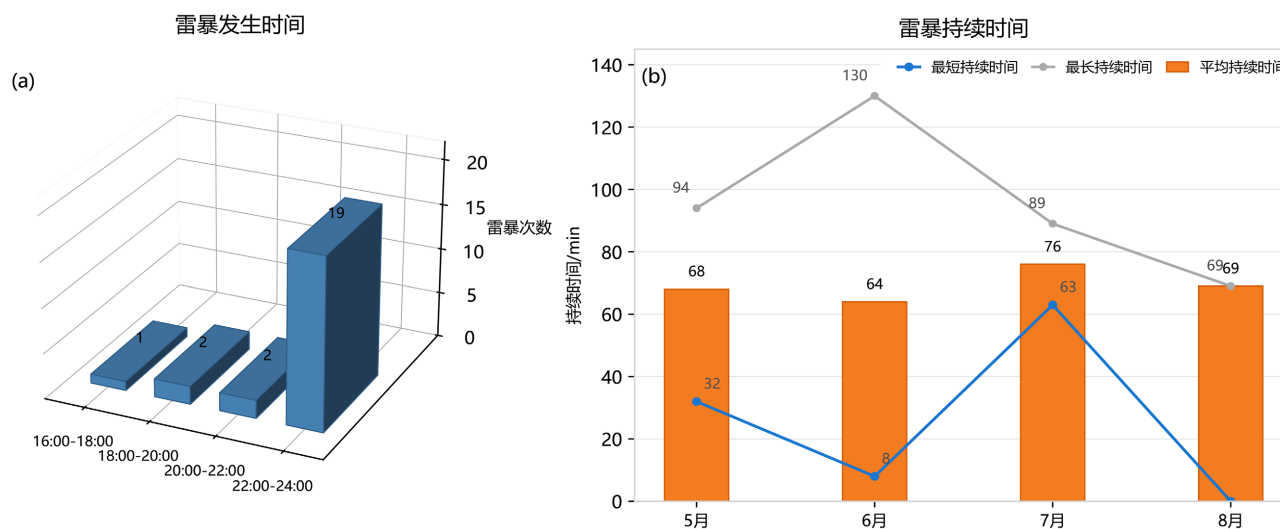


Figure 4. Characteristics of thunderstorm occurrence time in Shache Airport. (a) daily variation of thunderstorm weather; (b) duration of thunderstorm

图 4. 莎车机场雷暴出现时间段特征。(a) 雷暴天气日变化; (b) 雷暴持续时间

小时左右, 影响时间最短 8 分钟, 最长 2 小时 10 分(图 4(b))。莎车机场雷暴受地形影响, 主要出现在偏西和偏北方向占 71%、由于雷暴的传播移动方向受高空引导气流有关, 莎车机场高空以偏西气流为主, 因此雷暴的传播移动方向以偏东偏北方向为主, 占 79% (图 5(a)、图 5(b))。莎车机场雷暴伴随有天气的情况占比 58%, 伴随天气主要是小阵雨, 大风、扬沙及沙暴(图 5(c)), 雷暴发生时地面风风向以西北风占比 54%, 东北风占比 34%, 偏南风较少(图 6(a)), 而风速小于 10 米/秒占 75%, 最大风速可达 27 米/秒(图 6(b))。

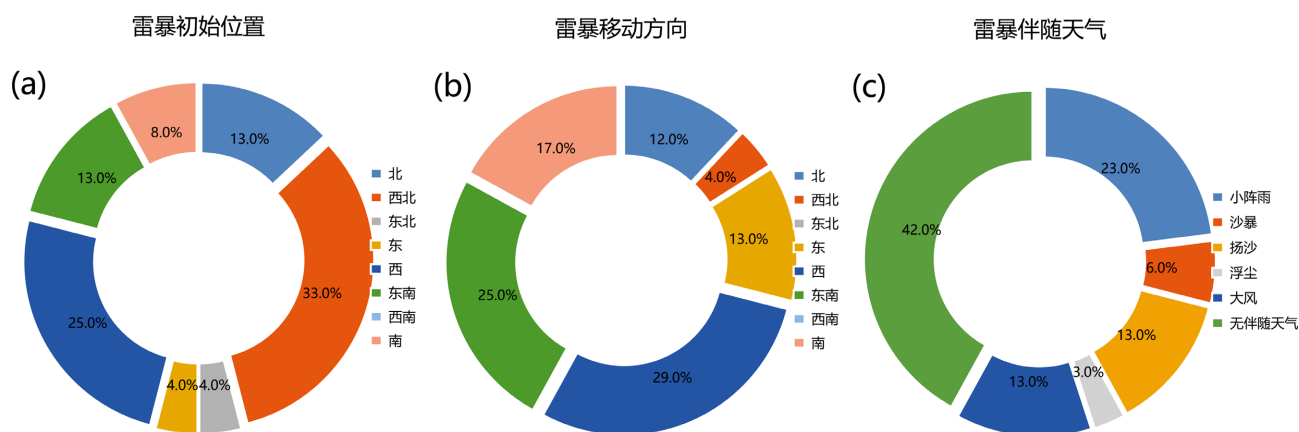


Figure 5. Variation characteristics of thunderstorm weather at Shache Airport. (a) Thunderstorm initial position; (b) Thunderstorm moving direction; (c) Thunderstorm accompanying weather

图 5. 莎车机场雷暴天气变化特点。(a) 雷暴初始位置; (b) 雷暴移动方向; (c) 雷暴伴随天气

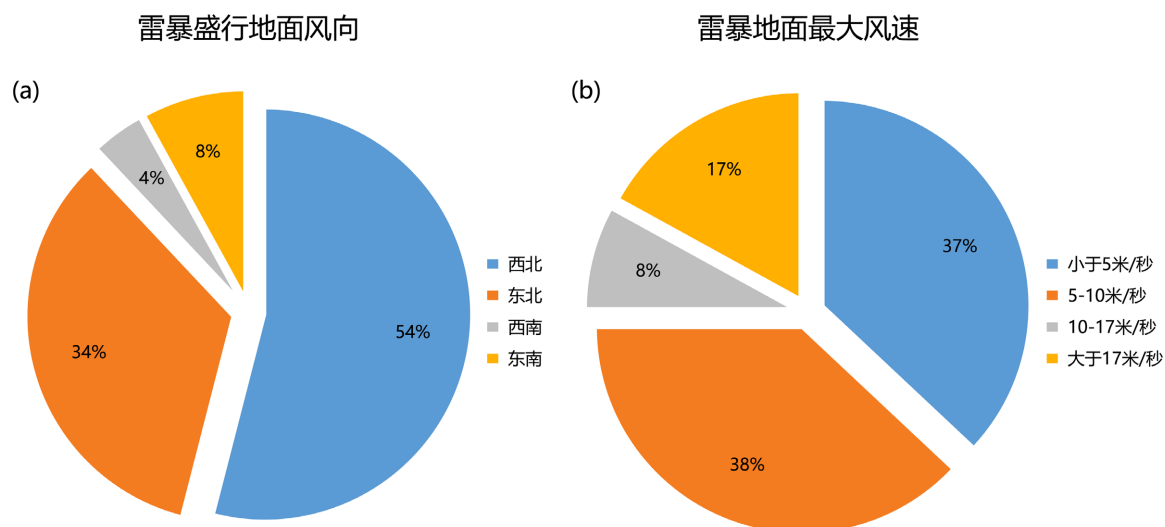


Figure 6. Characteristics of surface wind under thunderstorm weather in Shache Airport. (a) Prevailing wind direction during thunderstorm; (b) maximum wind speed during thunderstorm

图 6. 莎车机场雷暴天气下地面风特征。(a) 雷暴期间盛行风向; (b) 雷暴期间最大风速

对喀什、和田和莎车三个机场雷暴天气特征进行对比发现, 三地雷暴均具有明显的季节性和日变化特征, 且受南疆地区夏季西风环流影响, 雷暴传播移动方向总体以偏东方向为主, 发生时常伴有小阵雨、大风和扬沙等天气现象, 地面风向则以偏北或偏西北风为主, 最大风速均可达到 $26\sim 27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。然而, 由于三个机场所处地理环境不同, 其雷暴时空分布及局地特征存在明显差异。喀什机场位于塔里木盆地西

缘相对开阔的绿洲平原, 受地形限制较弱, 雷暴可出现在机场各个方向, 主要发生于偏北方向, 雷暴日数在 8 月达到最多, 发生时段集中在 18~24 时, 持续时间变化范围较大, 伴随天气出现的比例也相对较高。和田机场位于昆仑山北麓, 距山地较近, 地形抬升和山区对流云系输送作用显著, 雷暴主要从机场南部特别是东南部发展或移入, 集中发生于 5~7 月, 6 月最为频繁, 日变化峰值出现在 17 时左右, 且雷暴移动方向以西北和东北为主, 向北移动特征最为突出。莎车机场位于塔里木盆地西南部平原地区, 受西部天气系统及周边地形共同影响, 雷暴主要出现在偏西和偏北方向, 发生时间明显偏晚, 绝大多数集中于 22 时以后, 平均持续时间约 1 h, 传播方向以偏东偏北为主。总体来看, 喀什机场雷暴的空间分布相对分散、持续时间变化较大, 和田机场雷暴的季节性和地形触发特征最为突出, 莎车机场则表现出发生时间偏晚、移动方向偏东偏北的特点, 说明大尺度西风环流决定了三地雷暴的总体传播背景, 而昆仑山邻近程度、盆地地形及局地热力条件的差异, 则进一步对不同机场雷暴的发生位置、活动时段和持续时间。

综上所述, 南疆西部机场雷暴天气以热雷暴为主, 通常出现在午后或傍晚, 期间伴随着剧烈的湍流、低云、闪电、沙尘暴和降雨等天气。导致的常见的飞行影响主要有, 一是机场一边或五边雷雨覆盖、低云、低能见或是不稳定气流等因素, 影响航空器的正常起降, 存在航空器运行安全风险; 二是进离场航线受雷雨影响, 需航空器采取绕飞避让措施, 航空器脱离进离场航线后存在低高度告警风险; 三是中止进近或复飞航空器与起飞航空器之间存在危险接近风险; 四是航班大面积备降延误的恢复过程, 必然存在极端的管制间隔、波道拥挤、强大的劳动负荷等运行风险; 五是航空器因跑道道面湿滑冲偏出跑道、航空器遭受雷暴受损等紧急情况的应急保障, 存在管制员的应急处突能力不足的风险。

4. 雷暴天气下对管制指挥的适配性优化建议

雷暴天气作为南疆西部机场群最具代表性的灾害性天气, 其突发性、局地性及特殊的地形衍生移动规律, 对管制指挥的预判精度、处置效率与跨部门协同能力提出了远高于内地平原机场的要求。本章节基于前文提炼的南疆西部雷暴本地化时空演变特征, 结合三机场终端区空域结构、运行流程与管制指挥现实痛点, 从分类处置方法与体系化保障机制两个维度提出针对性的管制优化建议, 为南疆支线机场雷暴天气下的安全运行管控提供可落地的实践参照。

4.1. 南疆西部机场雷暴天气过程飞行管制分类指挥方法

南疆西部机场的塔台管制员可通过现场目视观测、机组主动报告、机场气象雷达回波研判、气象部门专项通报四类渠道完成雷暴天气信息的多源交叉核验。当确认塔台管制责任区域内出现雷暴活动征兆时, 管制席需第一时间与当地气象服务部门联动, 精准获取雷暴的对流属性、核心影响位置、回波强度、波及范围、移向移速、生命周期阶段及预判消散时间等精细化参数, 并将上述气象信息通过陆空通话向所有在场运行的航空器完成全量通报。在此基础上可结合运行场景分级采取推迟起飞序列、调整进离场航线、变更飞行高度层、空中等待、横向绕飞、返航备降等差异化管控措施, 从运行流程层面提前规避航空器误入雷暴强对流核心区的安全风险。以下结合南疆西部三机场雷暴独有的自西向东移动规律、主降方向由东向西的运行特征, 针对塔台管制区内三类高频雷暴影响场景提出标准化指挥流程。

4.1.1. 机场上风边(起落航线一边)被雷暴覆盖场景

南疆西部机场的主降方向均设置为由东向西, 与当地雷暴主体自西向东的常规移动路径完全耦合: 当机场上风边(一边)被雷暴覆盖时, 雷暴系统会随东移过程逐步向跑道进近方向推进, 对进近、离场航空器的影响范围与强度将随时间持续攀升。该场景下管制员需第一时间向空中、地面所有航空器通报雷暴实况, 对处于进场及进近阶段的航空器优先提出返航备降或指定等待空域空中等待的合理化建议, 对尚

未推出的地面航空器发布地面等待指令。针对已切入最后进近边的航空器,管制员需重点提醒机组开启机载气象雷达对上风边对应的复飞路径完成全域扫描,经机组确认复飞路径无强对流隐患、满足复飞安全条件后方可许可其继续进近;若复飞路径已被雷暴覆盖则立即中止进近,引导航空器前往指定等待空域盘旋或执行返航备降程序。针对已完成滑跑推出、正在进港等待起飞的航空器,可许可其滑行进入跑道并完成对正操作后,提醒机组开启机载气象雷达对离场爬升路径的雷暴分布情况完成扫描,经确认离场路径无强对流影响、满足越障与对流规避条件后方可发布起飞许可,不满足起飞条件的航空器立即引导其滑回停机位执行地面等待。

4.1.2. 机场最后进近边(五边)被雷暴覆盖场景

当机场最后进近五边被雷暴回波完全覆盖时,管制员需第一时间果断指挥所有进近中的航空器中止进近,不得冒险尝试着陆。结合南疆雷暴东移的本地化实测规律,该区域雷暴平均移动速度可达 40~60 km/h,雷暴主体移出机场空域后残余的局地对流云团多在机场东侧 10~15 km 范围内快速衰减,20~30 分钟内即可完全消散;且机场地面风向由西北风转向东风或东南风是雷暴进入消散阶段的典型气象指征,指征出现后 10~15 分钟内终端区运行条件即可恢复至准常态水平。该场景下管制员可向进近过程中的航空器提出分层等待的合理化建议,最终等待或备降决策以机组主观判断为准,全程做好动态通报与协调配合,避免指挥干预过度引发运行冲突。

4.1.3. 进离场航线被雷暴覆盖场景

南疆西部机场周边出现雷暴天气时,通常伴随局地对流扰动导致的第三方用户训练活动临时暂停,可利用的剩余空域冗余度相对较高,多数机组会主动申请偏离标准进离场航线完成雷暴绕飞。该场景下管制员需依托 ADS-B 监视系统强化绕飞航空器的全轨迹动态监控,对于原本执行 PBN 进场程序、因规避雷暴偏离标准程序航路的航空器,需立即告知机组暂时中止 PBN 导航程序运行,并结合终端区网格安全高度、地形障碍物分布参数向其提供对应区域的最小安全高度提示,从程序层面规避超障风险,全程保障航空器绕飞过程的运行安全。

4.2. 不同机场雷暴天气下塔台管制体系化保障工作建议

针对三个机场雷暴天气的时空分布及移动特征,管制运行中应采取差异化的防范措施。喀什机场雷暴可出现在机场各个方向,且主要集中于 18~24 时,持续时间变化范围较大,因此应重点加强傍晚至夜间时段的雷暴监视和预警,密切关注机场北侧及西侧上游雷暴云团的发展和东移趋势,及时掌握雷暴影响范围及移动速度。当雷暴接近机场起降航线、进离场航路或终端区时,应根据雷暴强度和移动趋势,及时采取调整进离场顺序、限制航空器进入受影响空域、增加航空器间隔以及绕飞或等待等措施;对于持续时间较长的雷暴过程,应加强与航空公司、机场运行部门及气象部门的信息通报,合理安排航班放行和备降。和田机场紧邻昆仑山北麓,雷暴主要从机场南部特别是东南部发展或移入,且多发生于 14~20 时、17 时左右最为集中,因此管制部门应在午后提前加强机场南部和东南部山区对流云系的监测,重点防范山区雷暴向机场方向发展并影响进离场航线。雷暴活动期间,应结合雷暴移动方向及其北向传播特征,及时调整南部、东南部方向的进离场程序,必要时限制相关方向航空器运行,并做好航空器绕飞、等待及备降安排;同时应充分考虑山区雷暴发展迅速、局地性强的特点,避免仅依据机场短时天气状况作出放行判断。莎车机场雷暴主要出现在偏西和偏北方向,传播移动方向以偏东偏北为主,且绝大多数发生在 22 时以后,因此应重点加强夜间时段机场西侧和西北侧雷暴系统的监测与预警,提前研判其向机场及东侧空域移动的可能性。雷暴影响机场终端区或进离场航路时,应及时调整相关方向的航路使用和航空器运行顺序,实施绕飞、等待或限制放行等措施,并重点防范雷暴伴随的大风、扬沙和沙暴对能见

度、跑道运行及航空器起降安全造成的不利影响。总体而言, 喀什机场应突出夜间雷暴持续时间不确定性带来的运行风险, 和田机场应突出午后南部山区对流云系快速发展和移入风险, 莎车机场则应突出深夜偏西、偏北方向雷暴及其伴随低能见度和大风沙尘天气的影响, 从而提高雷暴天气下机场管制运行的针对性。

5. 结论

本研究基于南疆西部主力机场近 5 年的雷暴观测资料、民航气象报文与机场气候志数据集, 系统厘清了特殊地形约束下南疆西部机场雷暴的本地化时空分布特征与演变规律, 结合管制运行实际场景形成了适配性的指挥优化策略, 主要结论如下:

5.1. 需强化管制与气象岗位的人员能力体系建设

组织塔台管制员常态化学习南疆干旱区雷暴的特殊发生机理与本场专项管制规则, 结合近年雷暴指挥典型案例动态评估现有管制制度的合理性, 迭代完善适配本地雷暴特征的标准化管制实施细则; 同步强化气象预报岗位人员的技术培训, 提升雷暴生消时间、移动路径的预报精准度, 针对性开展管制员心理素质脱敏训练, 保障极端繁忙场景下指挥决策的沉稳性; 优化管制、气象、航空公司各部门的协同工作流程, 建立雷暴等复杂天气下的跨部门联动响应机制, 提升多主体协同运行效率。

5.2. 构建多源融合的雷暴气象信息闭环传递链路

管制协调席需依托多源气象监视产品实时捕捉雷暴的生消动态与发展趋势, 空管部门接收到气象部门发布的雷暴预警后, 需加密气象信息更新频次, 第一时间将最新雷暴实况通报给所有运行航空器, 打通气象产品从观测端到运行端的落地最后一公里。

5.3. 建立分阶段雷暴响应分级管控机制

当责任区内出现雷暴潜在活动征兆时, 管制席需提前主动向机组推送全维度气象态势信息, 在严格恪守安全底线的前提下做好各保障单位的前置协同联动, 为特殊天气下的航空器运行预留充足的决策与响应冗余, 全面提升南疆西部机场群雷暴天气下的民航运行安全保障水平。

参考文献

- [1] 钱勇, 郑栋, 叶发新, 等. 新疆雷暴云活动特征研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2025, 19(6): 114-121.
- [2] 曼吾拉·卡德尔, 刘鑫华, 李云翔, 等. 西北干旱区机场低空风切变基本特征分析[J]. 干旱气象, 2024, 42(3): 347-356.
- [3] 回忆, 庄南剑, 孙涛. 基于交叉相关算法的雷暴规避区预测[J]. 长沙航空职业技术学院学报, 2025, 25(2): 26-32.
- [4] 柳志慧. 南疆重点地区雷暴(冰雹)天气学成因与预报研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [5] 张其乐. 复杂气象条件下繁忙机场终端区雷达管制飞行调配策略研究[J]. 科技视界, 2025, 15(25): 80-83.
- [6] 孙哲, 张军峰, 支婧文, 等. 雷暴天气下航空器改航路径优化[J]. 航空计算技术, 2025, 55(4): 81-86.
- [7] 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.
- [8] 康佳慧, 董爱民, 王欢. 基于西北地区强对流气候背景对西安咸阳国际机场 2022 年雷暴特征的研究与分析[J]. 民航学报, 2025, 9(3): 103-106+96.
- [9] 杜世杰. 雷暴天气下西安区域管制扇区容量评估研究[D]: [硕士学位论文]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2025.
- [10] 刘晨宇. 雷暴天气下的动态四维航迹自适应规划研究[D]: [硕士学位论文]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2025.
- [11] 吴昊, 徐琪, 曹阳, 等. 通用航空气象灾害监测与预报预警技术新进展[J]. 大气科学学报, 2025, 48(2): 340-351.
- [12] 黄颖. 改善民航航行情报质量的几种措施[J]. 中国航班, 2021(14): 77-78.