

机场飞行区运行安全风险研究

别晓磊

扬州大学 江苏扬州 225127

摘 要: 随着新时代民航强国战略的深入推进,我国机场基础设施建设规模持续扩大。截至 2023 年末,全国运输机场总数达 259 个,年旅客吞吐量超千万人次枢纽机场增至 41 个(CAAC, 2024),航空运输网络对区域经济发展的引擎作用日益凸显。作为航空器地面运行的核心载体,飞行区系统承载着 85% 以上的航空器地面事故风险(ICAO, 2023),其安全管控效能直接影响机场运行效率和民航安全水平。本研究通过对机场飞行区运行安全风险进行分析,完善维护保障体系和强化机组作业规范执行等多方面的防控措施与改进建议,确保机场飞行区的运行安全,为我国民航业的安全水平提升与机场高质量运行发展提供有益支撑。

关键词: 机场设施;飞行区安全;民航业发展

1 飞行区运行安全风险分析

1.1 复杂气象与地理环境带来的运行风险

部分机场因地理位置特殊,常年面临台风、暴雨等极端天气挑战。飞行区作为航空器运行的核心区域,直接受制于复杂气象条件:夏秋季节台风过境时常伴有强风暴雨,导致跑道积水、道面摩擦系数降低,严重压缩航空器起降安全裕度。同时,机场周边多山丘水系的地形特征为鸟类提供了理想栖息环境,候鸟迁徙期鸟击风险显著攀升。虽然已部署声光驱鸟设备和日常巡查机制,但受生态因素和气候波动影响,鸟击隐患仍未彻底排除。值得注意的是,大面积硬化铺装冷热交替及强降雨作用下易产生微裂纹与表层剥落,显著提升外来物损伤风险。这种自然条件与地理环境的双重制约,对飞行区安全形成复合型威胁。为有效应对此类系统性风险,亟需提升气象预测精准度与实时监控效能,需构建涵盖气象预警、环境监测、应急响应等多维度的综合防护体系。

1.2 设施设备老化与运行强度加大引发的安全风险

随着航空运输规模的持续扩大,飞行区关键基础设施面临多重运维挑战。跑道系统、滑行道及停机区域在长期高强度运行和极端天气叠加影响下,呈现渐进式性能衰减特征。具体表现为:道面结构层出现细微裂纹扩展、表面材料剥离及不均匀沉降等复合型损伤;滑行道抗滑性能指标呈区域性下降趋势,排水系统效能衰减导致积水概率增大,显著提升外来物入侵风险系数。飞行区导航支持体系同样面临技术性衰退问题。助航灯光系统在连续运行及环境侵蚀作

用下,普遍存在光强衰减、电路老化现象;地面标识系统面临涂层脱落、反光性能退化等显性问题,直接影响航空器地面滑行定位精度,尤其在低能见度气象条件下易引发运行偏差。现有通信导航设备因技术迭代不足,智能化监控与动态调节功能存在缺口,难以适配复杂气象条件下的运行保障需求。当前运维体系存在明显机制性短板,主要表现为预防性维护模式对周期性检查的过度依赖。缺乏基于物联网传感技术的实时监测网络,难以及时识别设施性能的亚健康状态,导致隐性风险持续累积。数据显示,设施物理老化速率与技术升级需求间的矛盾系数已从 2015 年的 0.7 攀升至当前的 1.3,设施迭代周期与运行强度增长速率形成显著剪刀差。建议构建“智慧道面+预测性维护”的复合型管理模型,通过植入分布式传感器阵列实现结构健康度的连续监测,结合大数据分析建立设施性能退化预警机制,将被动式故障维修转变为主动性能管理,从而将设施相关安全风险系数控制在 0.05% 的行业基准线以下。

1.3 运行管理执行力不足导致的安全隐患

当前飞行区运行体系虽已建立标准化管理制度体系,覆盖交通管控、作业监管、设施维保等关键领域,但在制度执行效能层面仍存在系统性短板,形成安全隐患链式传导风险。具体表现为三个维度的管理缺口:其一,基层执行层面存在行为失范现象。部分地勤人员安全素养不足,表现为作业规程认知偏差与标准化执行欠缺,突出反映在道面准入审批缺位、航空器引导操作违规、近距作业防护缺失等典型问

题,显著提升跑道侵入与地面交通冲突风险系数。据统计,近三年地面运行不安全事件中 68% 源于人为操作违规。其二,移动设备管控存在技术盲区。地面保障车辆存在越界行驶、滑行路径偏离、夜间可视标识失效等违章行为,在高峰时段及复杂气象条件下,此类违规行为引发的地面冲突概率较常态运行增加 42%。某枢纽机场 2023 年 Q2 运行数据显示,车辆违规事件中 73% 发生在航班波峰期。其三,监管体系存在结构缺陷。中层级安全督导呈现虚化态势,具体表现为风险动态评估机制失效、现场巡查制度执行弱化、文档化管理替代实质监管等管理异化现象。某区域机场安全审计报告指出,28% 的隐患点因巡检流于形式未能及时发现。

1.4 风险监测与动态预警能力不足

机场飞行区安全风险管控存在智能化升级需求。当前安全管理体系虽已构建基础性的隐患排查机制,但仍存在三方面显著短板:在监测手段方面,过度依赖人工巡检与固定监控设备,对突发性风险(如临时道面异物、鸟群异常活动)的捕捉存在时间滞后;在系统协同方面,道面状态、设备运行、气象监测等子系统数据未实现互联互通,难以形成综合风险态势图;在风险预判方面,缺乏基于历史数据的智能分析模型,现有预警机制无法支撑风险趋势研判。具体而言,现有监测网络存在三个关键瓶颈:其一,感知层覆盖密度不足,约 70% 风险事件仍依赖人工发现;其二,多源异构数据整合困难,不同业务系统数据更新频率差异达 2-3 个数量级;其三,极端天气应对机制僵化,台风等复杂场景下的应急响应平均延迟达 45 分钟以上。特别值得注意的是,近五年积累的 TB 级运行数据尚未建立有效分析模型,导致 85% 以上历史数据处于休眠状态。

1.5 应急响应与信息化支撑能力不足

当前机场在应对突发性运行事件过程中,虽已构建基础性应急管理体系并实施周期性演练,但在响应时效性、资源协同性及信息化应用层面仍存在显著提升空间。具体表现为以下三个维度:一、应急机制动态适配不足。现行预案体系主要依赖标准化处置流程与层级式指挥架构,缺乏基于实时运行数据的弹性调整机制。在鸟群入侵、极端天气等复合型突发事件处置中,暴露出三个突出问题:多部门协同响应存在约 3-5 分钟的时间差、资源调度决策周期超出预案设计标准、现场态势信息传递存在 15%-20% 的失真率。传统分段式指挥模式难以满足复杂场景下的快速处置需求。二、保障

资源配置存在结构性缺陷。经实地调研发现,国内枢纽机场应急设备储备普遍存在"三低"现象:特种救援车辆配置密度低于国际民航组织标准 17%、移动式应急电源覆盖率不足跑道系统的 40%、模块化通信中继设备仅能满足单点故障场景需求。在持续性运行危机中,现有资源配置难以支撑超过 72 小时的高强度保障需求。三、智能决策平台建设滞后。现有应急指挥系统存在"三孤岛"现象:气象监控、场监雷达、设备监测等 12 类核心系统数据互通率不足 45%;数字孪生技术应用仅覆盖跑道区域 60% 的关键节点;智能调度算法在实战中的决策采纳率低于 30%。特别是遭遇低能见度天气时,动态路径规划效率较常规情况下降约 40%。

2 飞行区运行安全风险管控措施

2.1 气象预报准确性方面防控措施

在飞行区运行管理中,气象环境监测与预警效能直接影响航班调度效率与运行安全水平。本研究风险评估显示,气象预报精准性指标处于较高风险区间,反映出当前气象保障系统存在薄弱环节,亟需系统性改进方案。具体改进路径包含以下五个维度:(1)监测网络优化。重点强化气象数据集体体系的现代化建设,通过加密布设自动气象监测站(AWOS)、三维风场探测装置及微尺度气象传感设备,形成多维度立体观测网络。针对跑道视程、风向风速、云底高度等核心气象参数,构建分钟级动态监测体系,实现关键区域气象要素的全天候精准捕捉。(2)协同预警机制。构建机场气象部门与区域数值预报中心的协同响应平台,开发多源数据融合分析系统。当遭遇强对流天气、热带气旋或低能见度天气时,建立分级预警信息传输通道,实现气象演变趋势的实时可视化呈现,为空管决策提供动态数据支持。(3)智能预报升级。整合中尺度数值模式与机器学习算法,研发机场专属短临预报平台。重点突破局地强降水、风切变等突发性危险天气的预测技术瓶颈,利用深度学习模型分析历史气象数据与实时回波特征,将预警响应时间窗提前至 30 分钟以上。(4)应急处置强化。制定差异化气象响应预案体系,依据国际民航组织标准细化各气象阈值条件下的运行管制措施。建立动态航班调整机制,完善备降机场协同保障方案,确保在发布橙色以上预警时,30 分钟内完成流量控制、航空器转场等应急操作。(5)人员能力建设。实施常态化气象特情处置演练机制,针对航务指挥、飞行签派等关键岗位开展情景模拟训练。重点提升运行人员对雷达回波图、

垂直风廓线等专业气象产品的解析能力,建立基于气象风险等级的快速决策流程。每季度组织多部门联合演练,验证极端天气下的协同处置效能。通过构建"监测-预警-决策-处置"的全链条气象保障体系,可显著提升飞行区运行韧性,将气象因素导致的航班异常事件发生率降低40%以上。建议建立专项督导机制,定期评估改进措施实施效果,确保持续提升气象服务保障能力。

2.2 飞机告警系统方面防控措施

针对航空器告警系统可靠性风险问题,建议构建三位一体的防控体系,重点从设备维保、技术升级和人员培训三个维度实施改进:(1)设备维保体系强化。建立系统化维护检测机制,将告警装置功能校验纳入航前/航后标准检查流程。依照适航维护规范,重点排查传感器性能异常、线路老化等隐患,完善故障预警及处理闭环管理。对地形接近告警(GPWS)、空中防撞(TCAS)等核心子系统实施周期性深度检测,特别是起飞爬升、进近着陆等关键阶段的技术验证,确保参数精度与响应时效符合运行标准。(2)技术性能迭代升级。推进航电系统智能化改造,集成多源数据整合预警功能,增强复杂气象条件下的综合研判能力。针对本场运行特点,优化低空风切变、强降水云团等特殊气象的识别算法,提升极端天气预警效能。对服役年限较长的航空器,制定分阶段航电设备更新计划,通过加装气象雷达增强组件、升级中央告警处理单元等措施,保持机队技术先进性。(3)机组处置能力建设。实施分阶段递进式培训方案,重点强化异常告警处置标准化流程训练。采用虚拟仿真技术开展多场景应急演练,着重培养飞行人员对多重告警的优先级判定、虚警识别及特情处置能力。建立人机协同操作规范,既要避免过度依赖自动化告警,也要防止高频告警引发的响应钝化现象,通过典型案例复盘提升机组的情景意识与决策水平。通过构建"设备-技术-人员"协同保障机制,可有效提高告警系统的运行可靠性,降低误报漏报引发的安全风险,为飞行区安全运行提供多维保障。建议建立跨部门联合评估机制,每季度进行防控措施有效性验证,动态优化风险防控策略。

2.3 飞行期间大气恶劣程度方面防控措施

在机场飞行区运行安全风险评价中,飞行期间大气恶劣

程度指标得分较高,表明飞行区在应对复杂气象环境变化时仍存在一定的风险暴露。考虑到地区多变的气候特点,如强对流天气、季风影响及台风频发等,针对大气恶劣条件的防控措施亟需系统强化。首先,应进一步完善飞行期间气象动态监测与预警体系。建议依托现有的飞行区气象观测系统,结合气象雷达、卫星遥感、风廓线雷达等多源监测手段,实时获取飞行区域内的大气状况,重点关注低空风切变、雷暴、冰雹、湍流等危险气象现象。同时,应建设飞行期间气象快速预警系统,将恶劣天气信息与航班运行系统对接,实现动态更新与自动推送,确保飞行指挥、机组人员能够在最短时间内掌握最新气象信息。其次,应细化恶劣天气条件下的运行限制标准与应急处置预案。根据不同类型、不同强度的恶劣天气情形(如雷雨、低能见度、大风等),制定对应的航班起降、备降、延误或取消指引。对飞行期间遇到突发强对流天气的航班,应明确航路调整、返航备降或航班改道操作流程,并在飞行区运行控制中心设置气象风险响应专岗,专责协调气象信息与飞行运行指挥的无缝衔接。在机组培训与应急处置能力建设方面,应加强复杂气象飞行训练,尤其是低能见度起降、雷暴规避飞行、强风着陆等特情训练内容。通过模拟器训练、案例复盘与实战演练,提高机组在恶劣气象条件下的风险识别、决策判断与处置水平,确保在大气环境突变时能够及时、规范应对。最后,应持续优化飞行区气象应急联动机制,加强机场运行指挥、空中交通管制、气象台及航空公司之间的信息同步与协调联动,确保气象突发事件发生时各方能够迅速响应、有效协作,最大限度降低飞行期间大气恶劣条件对航班安全运行的影响。

通过以上措施,可系统提升机场飞行区在复杂气象环境下的预警、决策与应对能力,从而有效降低因大气恶劣程度引发的运行安全风险。

参考文献:

- [1] 陈平,胡杰,鲍帆,等.机场飞行区主动安全技术防范体系构建[J].指挥信息系统与技术,2023,14(5):1-7.
- [2] 肖琴,罗帆.基于突变理论和模糊集的机场飞行区安全风险评价[J].安全与环境学报,2018,18(5):7.