

基于AI技术的乌鲁木齐机场低能见度天气空管气象预报优化

刘 倩

民航新疆空中交通管理局气象中心 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：机场在航空运输体系中占据重要地位，但低能见度天气频发对其空管安全构成严峻挑战。本文以乌鲁木齐机场为例，基于空管气象预报层面，深入剖析机场低能见度天气的形成原因、特征，以及其对空管安全产生的影响。同时，探索提高空管气象预报精准度的方式和应对策略，思考 AI 技术在航空气象保障中的应用，期望能为空管部门提供科学合理的决策参考，保障航班安全运行。

关键词：机场；低能见度；空管安全；气象预报；乌鲁木齐机场；AI 技术

引言

近年来，随着人工智能（AI）技术的发展，其在航空气象预报中的应用逐渐受到关注。AI技术能够有效提升气象数据处理能力和预报精度，为低能见度天气的预报提供了新的思路。本文将乌鲁木齐机场为例，分析低能见度天气的成因、特征及其对空管安全的影响，并探讨提升空管气象预报准确性的方法和应对策略。通过引入AI技术，本文旨在为机场空管部门提供科学有效的决策依据，保障航班运行安全。

1 乌鲁木齐机场低能见度天气的类型及特征

1.1 时空分布规律

根据《乌鲁木齐国际机场航空气候志（1991-2020）》统计，乌鲁木齐机场低能见度天气主要集中于冬半年（11月至次年3月），占全年低能见度日数的95%。其中，冻雾年均日数为47.5天，阴雾年均持续2-5天，浓雾事件多集中于11月下旬至12月。

1.2 主要天气类型及成因

冻雾：冬季高发，需满足近地层温度（0℃至-15℃）、丰富过冷水滴及逆温层条件，常导致跑道视程低于800m。典型事件如2019年12月9日-12日，冻雾持续65.4小时，机场航班几乎停运。

阴雾：准噶尔盆地特有现象，由积雪反射降温与高空暖脊共同作用形成，能见度波动剧烈。例如，2013年11月26日-27日，阴雾导致能见度反复变化，塔台管制难度骤增。

浓雾：突发性强，与辐射降温及稳定大气层结相关，曾造成2013年11月26日-27日航班大面积备降。

2 低能见度天气对空管安全的影响

2.1 对飞行活动的影响

在低能见度天气条件下，飞行员难以清晰辨别地面和周边环境，很难精准判断飞机的位置、高度以及方向，这使得飞行操作的难度大幅增加，航空事故发生的风险也明显提高。大雾中的水汽很容易进入飞机仪表内部，进而导致仪表指示出现偏差，影响飞行员对飞行状态的准确判断。例如，空速管若被积水堵塞，会使空速指示出现错误；高度表会因气压变化产生误差，这些情况都给飞行安全埋下了严重的隐患。

2.2 对航班调度的影响

为确保飞行安全，低能见度天气下机场常采取限制起降措施，致航班延误或取消。据《气候志》数据显示，能见度低于起降标准时，航班平均延误时间延长 2.3 小时，取消率增加 15% - 20%。空管部门需依实时天气变化和航班动态，灵活调整航班起降顺序和飞行路线。但低能见度条件下，航班流量控制、间隔调配等工作复杂，稍有差错可能引发航班冲突或加剧延误。如能见度较低时，塔台管制员工作负荷增加 30% 以上，对其指挥能力和反应速度要求更高。

2.3 对地面运行的影响

低能见度天气严重限制机坪交通，车辆和人员活动受制约，须大幅降速^[1]，开启防雾灯等警示设备，谨慎驾驶，以防碰撞事故。空管塔台对地面飞机和车辆监控难度提升，指挥指令传达和执行易受干扰。飞机滑行中可能因能见度低偏离预定滑行路线，要求塔台管制员及时发现并纠正，对其指挥能力和反应速度要求更高。

3 空管气象预报在应对低能见度天气中的作用

3.1 提供精准天气信息

空管气象预报部门通过先进的气象监测设备，如自动气象观测系统、天气雷达、风廓线仪等，对机场及周

边地区的气象数据进行实时采集,涵盖能见度、风向风速、气温、气压、湿度等关键气象要素。这些数据为空管部门及时掌握天气变化动态提供了重要依据。

3.2 辅助空管决策

依据气象预报信息,空管部门可合理制定航班放行计划。低能见度天气来临前,提前控制航班起飞数量,避免航班长时间等待;对即将降落航班,及时通报天气状况,必要时引导其备降其他机场,确保飞行安全。气象预报还提供大气垂直方向详细气象信息,包括不同高度层的风向风速、温度、湿度等,空管部门据此为航班选择最优飞行路线和高度,帮助飞机避开低能见度区域,减少天气不利影响,降低燃油消耗和飞行成本。

3.3 提升协同效率

空管气象预报部门与机场运控中心、航空公司、地面保障部门等建立紧密信息共享机制,及时传递低能见度天气预报和预警信息。各方基于共享信息,协同开展航班调整、旅客安置、地面保障等工作,提高应对低能见度天气的整体效率。如低能见度天气发生时,航空公司可及时调整航班计划,安排旅客改签或退票;地面保障部门可提前做好设备准备和人员调配,确保航班顺利运行。

4 AI在提升航空气象保障能力中的应用

4.1 数据收集与处理

4.1.1 多源数据融合

低能见度天气的形成受多种因素影响,如温度、湿度、气压、风速风向等。利用AI技术,可以将气象卫星、雷达、地面气象站、飞机观测等多源数据进行融合。通过数据融合算法,将不同来源、不同格式、不同时空分辨率的数据进行无缝对接和协同处理,形成全面、准确的气象数据集,为后续预报提供丰富的数据基础。例如,在乌鲁木齐机场,通过融合多源数据,可以更全面地了解机场及其周边地区的气象状况,为低能见度天气的预报提供有力支持。

4.1.2 数据清洗与质量控制

运用AI算法清洗海量气象数据,自动识别和剔除错误、异常、重复数据,提高数据质量。如采用深度学习异常检测模型,快速准确发现数据离群点和错误记录,确保输入预报模型的数据可靠。在乌鲁木齐机场气象观测中,AI技术可提高数据准确性和可靠性。

4.1.3 数据特征提取

借助AI特征提取技术,从原始气象数据中提取对预报重要的特征信息。如用卷积神经网络(CNN)提取气象图像数据中的云型、降水特征,或用主成分分析等方

法对气象要素数据降维处理,提取主要特征,减少数据冗余,提高预报效率。在乌鲁木齐机场气象预报中,提取能见度、风速、温度等关键特征,更好分析低能见度天气形成和发展过程,为预报提供准确依据。

4.2 预报模型构建与优化

4.2.1 深度学习模型应用

深度学习模型在气象预报中能力强。CNN可处理气象图像数据^[2],分析云图、雾区特征;RNN及其变体(LSTM、GRU)可处理时间序列数据,捕捉低能见度天气变化趋势。如构建基于LSTM的模型预测未来能见度变化。在乌鲁木齐机场气象预报中,深度学习模型可提高低能见度天气预报的准确性和时效性。

4.2.2 集成学习模型

将多个不同AI模型集成,如随机森林、支持向量机等。通过投票法或堆叠法融合多个模型预测结果,综合各模型优势,提高预报准确性和稳定性。在乌鲁木齐机场气象预报中,集成学习模型可提高预报的准确性和可靠性。

4.2.3 模型优化与更新

持续优化和更新AI预报模型,增加数据量、调整参数、改进结构,提高泛化能力和预报精度。根据新气象观测数据和预报需求,定期重新训练和更新模型,确保性能良好。在乌鲁木齐机场气象预报中,不断优化和更新预报模型,提高低能见度天气预报的准确性和可靠性。

4.3 预报结果分析与应用

4.3.1 智能诊断与分析

利用AI技术对预报结果进行智能诊断和分析,自动识别气象灾害和异常天气情况。例如,通过建立气象灾害识别模型,对预报的气象要素场进行分析,快速判断是否存在暴雨、大风、雷电、冰雹等灾害性天气,并给出相应的预警信息。在乌鲁木齐机场的气象预报中,通过智能诊断与分析,可以及时发现低能见度天气等异常情况,为航班运行提供及时的预警和决策支持。

4.3.2 概率预报与不确定性评估

采用AI方法进行概率预报,给出气象要素和天气事件发生的概率分布,为航空决策提供更全面的信息。例如,通过构建概率预报模型,对飞机颠簸、跑道结冰等风险进行概率评估,让空管部门和航空公司能够更准确地评估天气风险,制定合理的飞行计划和应对措施。在乌鲁木齐机场的气象预报中,通过概率预报与不确定性评估,可以为航班运行提供更科学的决策依据,降低天气风险对航班运行的影响。

4.3.3 人机交互与决策支持

开发人机交互的 AI 气象预报系统,将 AI 预报结果以直观、易懂的方式呈现给空管人员和飞行员,并提供决策支持建议。例如,通过可视化技术,将气象预报数据以图形、图表、动画等形式展示出来,同时利用自然语言处理技术,为用户提供简洁明了的预报解读和操作建议,帮助他们更好地理解和应用气象预报信息。在乌鲁木齐机场的气象预报中,通过人机交互与决策支持,可以提高空管人员和飞行员对气象预报信息的理解和应用能力,为航班运行提供更有力的保障。

4.4 持续学习与协同创新

4.4.1 行业合作与数据共享

加强空管部门、气象部门、科研机构 and 高校等之间的合作与数据共享,是推动 AI 在航空气象预报中应用的重要途径。建立统一的数据共享平台,促进气象数据、飞行数据、地理信息数据等的流通和共享,为 AI 模型的训练和验证提供更丰富的数据资源,同时也便于各方开展联合研究和技术创新。在乌鲁木齐机场的气象预报中,通过行业合作与数据共享,可以获取更多的气象数据和相关信息,为低能见度天气预报提供更有力的支持。

4.4.2 人才培养与团队建设

培养引进懂气象和 AI 技术的复合型人才,组建专业航空气象 AI 研发应用团队^[3],开展培训课程、学术交流、实践项目等,提高相关人员技术水平和业务能力。在乌鲁木齐机场气象预报中,提高气象预报人员对 AI 技术的应用能力,为低能见度天气预报提供专业技术支持。

4.4.3 跟踪前沿技术与创新应用

关注 AI 前沿技术发展,如 Transformer 架构、强化学习、生成对抗网络等,引入新技术和方法到航空气象预报中^[4]。鼓励创新应用,探索 AI 在航空气象其他领域应用,如机场气象环境模拟、航空气象灾害风险评估等,拓展 AI 在空管航空气象中的应用范围和深度。在乌鲁木齐机场气象预报中,不断提高低能见度天气预报的准确性和可靠性,提供更优质气象服务。六、提升空管气象预报准确性的方法。

5 提升空管气象预报准确性的方法

5.1 优化气象观测设备布局

在机场及其周边,科学增加自动气象观测站数量,提高观测点覆盖密度。尤其在跑道、滑行道、停机坪等关键区域及周边气象条件多变地段,增设观测设备,获取更全面细致的气象数据。同时,引入先进气象观测技术和设备,如毫米波雷达等,提高对低能见度天气的监测能力。

5.2 改进气象预报模型与算法

针对乌鲁木齐机场的地理环境、气候特征和气象数据特点,对现有的数值天气预报模型进行深度本地化优化。调整模型的物理参数化方案、初始条件和边界条件,使其更贴合机场的实际情况,从而提高预报准确性。此外,融合气象观测数据、卫星遥感数据、数值天气预报产品等多种数据源,充分发挥各数据源的优势,提高气象预报的信息量和可靠性。

5.3 加强气象预报人员培训

定期组织气象预报人员参加专业技能培训,学习最新气象预报理论^[5]、方法和技术,如数值天气预报模型应用、气象卫星和雷达资料解读、低能见度天气预报技巧等。通过系统培训,提升气象预报人员专业素养和业务能力。同时,开展低能见度天气案例分析和经验交流活动,组织预报人员复盘历史低能见度天气事件,总结经验教训,提高预报水平。

结论

低能见度天气对机场空管安全构成重大挑战,但通过提升气象预报水平和优化应对策略,可有效降低其不利影响。以乌鲁木齐机场为例,本文分析了低能见度天气的成因与特点,探讨了其对空管安全的影响,并提出提升预报准确性的方法,如优化观测设备布局、改进预报模型、加强人员培训等。同时,制定了低能见度天气下的空管应对策略,包括信息协同、航班调整和地面管理等,并引入 AI 技术以提升预报能力和决策水平。这些措施有助于保障机场运行安全,提高运营效率。未来,随着气象科技、空管管理和 AI 技术的持续发展,机场应对低能见度天气的能力将进一步增强,为航空运输的稳定发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]张琤,赵征,徐恩东,等.基于大雾天气影响的离港航班延误影响量化评估方法[J].民航学报,2025,9(01):48-52.
- [2]郭萍,李斌,段绍玲,等.2017-2021年云南沧源佤山机场雨季雾的统计特征[J].成都信息工程大学学报,2024,39(06):755-760.
- [3]徐志辉.基于低能见度天气分析飞行应对措施[J].中国科技信息,2024,(20):93-95.
- [4]薛广灿,梁文娟.不利天气条件下机场应急救援能力评估研究[J].安全,2024,45(05):7-15.
- [5]李忠堃.基于深度学习的重庆江北机场能见度预测模型研究[D].中国民用航空飞行学院,2022,30(4):111-135.