

# 低能见度条件下机场起飞着陆气象保障技术研究

李桃

中国民用航空西北地区空中交通管理局宁夏分局，宁夏银川，750004；

**摘要：**为了探讨民航机场在低能见度天气条件下的气象服务保障技术，本文聚焦低能见度条件下机场起飞着陆气象保障技术，深入剖析气象探测技术，涵盖毫米波雷达、激光雷达等新型设备在低能见度气象要素监测中的应用；探究数值天气预报技术对低能见度天气的精准预测；阐述机场灯光与导航系统在低能见度环境下的优化；分析机场运行管理策略的改进。通过系统研究各类气象保障技术，保障航空运输的稳定与高效。

**关键词：**低能见度；机场；气象保障；探测技术；预报技术

**DOI：**10.69979/3041-0673.25.11.088

## 引言

能见度即目标物的能见距离，是指观测目标物时，能从背景上分辨出目标物轮廓的最大距离。影响能见度的天气现象包括雾、低云、暴雨、雪、沙尘和霾等。在低能见度天气下飞行会造成飞机驾驶员无法辨认地标或误判飞行姿态发生偏航和迷航，在低能见度天气起降会造成飞机驾驶员无法辨认地标或障碍物而发生偏离跑道或航空器撞击等严重安全事故。一直以来，低能见度都是造成民航飞行事故的重要因素之一，1977年美国洛斯罗迪欧机场在大雾天气下运行时，荷兰皇家航空和美国泛美航空的两架波音747客机发生飞机相撞事故，为民航历史上伤亡人数最多的一次飞行事故。

随着航空运输业快速发展，航班起降架次日益增多，低能见度天气运行成为民航安全运行的重要课题。大雾、暴雨、沙尘等导致的低能见度情况，常引发航班大面积延误、取消，甚至造成严重飞行事故。优化和创新低能见度条件下机场起飞着陆气象保障技术、提升低能见度天气的气象服务保障能力对保障飞行安全、提升机场运行效率、降低经济损失意义重大。如何运用先进技术手段，实现低能见度气象精准监测、准确预报及有效应对，成为亟待研究的重要课题。

本文聚焦低能见度条件下机场的气象保障技术，深入剖析气象探测技术，涵盖毫米波雷达、激光雷达等新型设备在低能见度气象要素监测中的应用；探究数值天气预报技术对低能见度天气的精准预测；阐述机场灯光与导航系统在低能见度环境下的优化；分析机场运行管理策略的改进。以期能为提高低能见度条件下机场运行安全和效率提供技术支持和决策参考。

## 1 气象探测技术

在能见度监测技术方面，目前广泛采用的设备有：我国自主研发的气象自动观测设备，以及引进芬兰、德国、美国等国家的机场气象自动观测系统等。气象自动观测设备集成系统中包括对跑道视程、气象光学视程的探测，可全天候24小时实时获取数据，对比机场运行的最低能见度标准，可以辅助飞机驾驶员判断机场是否符合起降标准。随着科学技术的进步，近些年有新研发的气象设备逐步投入使用，如毫米波雷达、激光雷达、相控阵雷达等，通过这些设备的多点布设，能够全面监测机场及周边区域的气象状况。

毫米波雷达，是指发射电磁波的波段在毫米波段的雷达。通常毫米波是指30~300GHz频域（波长为1~10毫米）。毫米波对雾、烟、灰尘等大气污染物的穿透能力强，能分辨识别很小的目标，而且能同时识别多个目标，因此具有在恶劣天气下探测能力高的优点。且具有体积小、质量轻和空间分辨率高的特点。激光雷达常用的工作波长主要有两种：905纳米和1550纳米，可以获得高角度、高精度的距离和速度分辨率，因此可以获得目标的清晰图像。激光雷达就要轻便、灵巧得多，发射望远镜的口径一般只有厘米级，整套系统的质量最小的只有几十公斤，架设、拆收都很简便。但激光雷达一般在晴朗的天气里衰减较小，传播距离较远。而在大雨、浓烟、浓雾等坏天气里，衰减急剧加大，传播距离大受影响。

相控阵雷达，全称相位控制电子扫描阵列雷达。其工作原理是形成阵列的众多小天线同步发射同频率电磁波，通过相位控制使得电磁波在干涉效应下共同形成

特定方向的指向性波束，实现灵活扫描，不需整体旋转，从而提高了雷达监测的时效性。相控阵雷达对浓雾和降水粒子具有较高的穿透能力。中国电科研制为北京大兴机场“定制”的C波段全数字有源相控阵天气雷达，是最新雷达体制在民航领域全球首次应用，实现了对气象目标的精细化、快速化探测。2023年我国自主研发的第三代全天候飞行导航系统结合AI气象预测算法、激光测距与毫米波雷达，将安全飞行的能见度标准从原有800米能见度降至300米。随着探测技术的进步和AI能力的增强等方面的技术的突破将不断改写民航安全标准。

另外，气象卫星、天气雷达和地面气象观测站、人工观测组成的协同观测网络，相互配合，优势互补，不仅实现了对低能见度天气长时间、不间断的监测，还极大地丰富了气象数据的来源，实现从空中到地面、由百公里到米级别的全方位观测。提高了气象信息的完整性和准确性，增强民航气象观测效能，为机场探测低能见度天气提供了坚实的数据基础。

## 2 数值天气预报

数值天气预报技术以大气运动方程组为基石，将大气的运动规律以数据和模型的形式呈现出来，从而实现对大气运动的模拟和对大气中各个物理量场的预测，让气象工作者能够据此判断天气的变化趋势。如今随着气象行业建立基站的大力投入以及计算机硬件水平的进步，数值模式的初始场的精度逐渐提高，计算机运行能力也大幅提升，加上对数值预报模式的算法升级，数值预报的准确度实现了质的飞跃。但在低能见度预报这方面，仍然欠缺足够有效的预报预警模型和算法，目前的数值预报产品中关于能见度的预报多与相对湿度条件有关，而对于烟、霾、沙尘、和暴雨引起的低能见度预报与实际偏离较大。

高分辨率模式的引入，四维变分同化技术和集合预报方法的结合为低能见度天气预报带来了质的飞跃。高分辨率模式精细地描绘出天气系统中气流的运动轨迹、水汽的聚集与扩散、温度和气压的细微变化等，四维变分同化对数据进行精心筛选和处理，使模式的初始场更加贴近实际大气状态，有效避免了因初始数据不准确而导致的预报偏差。集合预报方法通过生成多个不同的预报结果，从多个角度对天气变化进行预测和分析，通过结果的相互对比、印证，能够全面评估预报的不确定性，

极大地提高了对大雾、暴雨等低能见度天气的预报精度，让机场能够更加准确地掌握天气变化，提前做好应对准备。

但在低能见度预报这方面，仍然欠缺足够有效的预报预警模型和算法，目前的数值预报产品中关于能见度的预报多与相对湿度条件有关，而对于烟、霾、沙尘、和暴雨引起的低能见度预报与实际偏离较大。

## 3 灯光导航系统

在低能见度的恶劣环境下，进近灯光系统通过科学计算发射特定波长的光波，可以补充飞行员目视能力，引导飞机沿既定的下滑道降落。目前机场的助航灯光系统主要包括进近灯光系统、精密进近坡度指示系统、跑道及滑行道灯光系统等。

增强型跑道灯光系统是对传统跑道灯光的一次重大革新，该系统采用LED冷光源技术与智能控制系统，通过在跑道中线每隔30米设置高强度嵌入式灯组，同时在跑道边界加装双排定向投光灯，将灯光强度提升至传统系统的3倍，灯光密度增加。这种立体式灯光布局显著提升了跑道在低能见度条件下的可见性，即使遭遇浓雾、暴雨或沙尘等极端天气，飞行员座舱视角内的跑道轮廓依然清晰可辨。系统内置的自适应调光模块能够根据实时气象数据自动调整灯光参数：当能见度低于500米时，灯光亮度将触发应急增强模式；在夜间或阴云密布的环境下，灯光色温会自动切换至穿透力更强的琥珀色。为飞机提供了精准的着陆指引，还通过闪烁频率变化提示跑道入口、脱离道位置等关键信息。实际运行数据显示，在装备增强型跑道灯光系统的机场，低能见度条件下的着陆偏差率降低，因跑道辨识不清导致的复飞事件减少，有效保障了飞机在恶劣气象条件下的安全着陆。

仪表着陆系统(ILS)和卫星导航系统(如GNSS)在低能见度条件下，为飞机的安全起飞和着陆提供了不可或缺的支持。ILS通过发射稳定的无线电信号，为飞机精心绘制出航向道和下滑道，确保飞机能够沿着精确的路径对准跑道。GNSS利用遍布全球的卫星定位技术，在低能见度的复杂环境中为飞机提供了全方位的位置信息，辅助飞机避开障碍物，安全地完成起飞和着陆任务。实现了在任何时间、任何地点的高精度定位和导航。

## 4 运行管理策略

地面等待策略和跑道使用方案的优化，是机场在低能见度天气下提高运行效率和安全性的重要举措。机场根据气象条件和航班计划，合理安排飞机在地面等待合适的起降时机。这样不仅避免了飞机在空中盘旋造成的燃油消耗和安全隐患，还能使机场的运行更加有序。机场根据低能见度条件下的实际情况，灵活调整跑道使用方案，通过优化跑道运行模式，充分挖掘跑道的使用潜力，提高跑道利用率，保障机场在恶劣天气下仍能保持较高的运行效率，确保更多航班能够安全顺利地完成起飞和着陆任务。

## 5 技术融合应用

气象探测技术与数值天气预报技术的融合，构建起了一个数据驱动的高效预报体系，实时获取大量的气象数据，这些数据不仅为数值天气预报提供了丰富的初始场信息，还成为了验证预报结果准确性的重要依据。当气象探测设备捕捉到低能见度天气的实时变化时，这些数据迅速传输到数值天气预报系统中，帮助系统调整和优化预报模型，使预报结果更加贴近实际天气状况。这种数据与预报的紧密结合，形成了一个良性循环，不断提高数值天气预报的准确性，为机场应对低能见度天气提供更可靠的决策支持。

数值天气预报结果在机场灯光导航系统和运行管理策略中发挥着核心指导作用。当数值天气预报预测到低能见度天气即将来临时，机场能够提前做好充分准备。根据预报的天气状况和影响程度，机场可以提前开启增强型灯光系统，让跑道在恶劣天气到来之前就做好迎接飞机的准备，为飞机安全着陆提供可靠的目视引导。运行管理部门依据预报结果，及时调整航班计划，合理安排地面等待和跑道使用方案，避免因天气变化导致的混乱和延误。

将气象探测技术、数值天气预报技术、灯光导航系统和运行管理策略进行有机融合，形成了一个协同发展的气象保障体系。在这个体系中，各个环节相互关联、相互促进。运行管理过程中反馈的实际情况，如航班调整后的运行效果、灯光系统的使用反馈等，又成为了改进气象探测和预报技术的重要依据。通过对这些反馈信息的分析和总结，气象探测设备可以进行优化升级，数值天气预报模型也能得到进一步改进，从而使整个气象保障体系不断完善和发展。这种协同发展的模式，实现

了对低能见度条件下机场起飞着陆的全方位、高效保障，为机场在恶劣天气下的安全运行提供了坚实的技术支撑和保障。

## 6 结语

低能见度条件下机场起飞着陆气象保障技术通过气象探测、数值预报、灯光导航和运行管理等多方面技术的协同发展，有效提升了机场应对低能见度天气的能力。

民航气象是服务于民用航空业的基础性、科技型事业，是国家气象、民航事业的重要组成部分，是民航安全、高效发展的重要力量。民航气象已形成以数值预报技术为基础，综合应用统计预报、集合预报、机器学习、融合多源数据和人工智能技术的民航气象预报技术路线，致力气象信息与用户运行信息融合，以技术为驱动，以需求为牵引，大力推进从天气预报到天气变化对航空运行影响预测的转变。未来，随着科技不断进步，气象探测设备将向更高精度、智能化方向发展，数值天气预报模式的分辨率和准确性将进一步提高，灯光导航系统与卫星导航技术将深度融合，机场运行管理也将更加智能化、精细化。多技术的深度融合与创新应用，将为低能见度条件下机场安全高效运行提供更坚实的保障。

## 参考文献

- [1] 孙学金, 李昀英, 梁俊聪. 低能见度天气的客观预报方法研究[J]. 气象, 2003, 29(12): 3-8.
- [2] 张小玲, 陶诗言, 张顺利. 北京地区严重雾、霾天气边界层结构的对比分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(3): 358-368.
- [3] 赵坤, 刘黎平, 葛润生. 毫米波云雷达探测的层状云微物理结构研究[J]. 高原气象, 2010, 29(5): 1256-1266.
- [4] 杨东旭, 陈洪滨, 夏祥鳌. 激光雷达在大气探测中的应用进展[J]. 应用气象学报, 2012, 23(3): 381-390.
- [5] 朱小祥, 苗世光, 陈敏. 机场低能见度数值预报技术研究进展[J]. 气象科技进展, 2018, 8(2): 52-57.

作者简介：李桃（1983—），女，汉族，江苏徐州人，本科，中国民用航空西北空中交通管理局宁夏分局，工程师。研究方向：大气科学，民用航空气象预报，气象探测技术。