

局部气象现象对飞行安全的影响研究：低空风切变与湍流的飞行影响

全征宇

中国国际航空股份有限公司运行控制中心，中国·四川 成都 610202

摘要：飞行安全始终是航空领域内备受关注的核心议题。低空风切变与湍流作为常见的局部气象条件，对飞行安全构成了重大挑战。风切变表现为短时间内风速及风向的急剧变动，而湍流则体现为空气流动的不规则状态。这两种气象现象均可能对飞机的稳定性和操控性能造成不利影响，严重时甚至会引发飞行事故。本研究深入剖析风切变和湍流的形成机制、特性及其对飞行安全的具体作用，揭示其在实际飞行操作中的潜在风险。在此基础上，论文将提出一系列有效的飞行安全措施与应对策略，为航空业提供科学依据，以减轻风切变和湍流对飞行安全的潜在威胁。

关键词：低空风切；湍流；飞行影响；策略分析

Research on the Impact of Local Meteorological Phenomena on Flight Safety: Flight Effects of Low Altitude Wind Shear and Turbulence

Zhengyu Quan

Air China Operations Control Center, Chengdu, Sichuan, 610202, China

Abstract: Flight safety has always been a core issue of concern in the aviation industry. Low altitude wind shear and turbulence, as common local meteorological conditions, pose significant challenges to flight safety. Wind shear is manifested as a rapid change in wind speed and direction in a short period of time, while turbulence is manifested as an irregular state of air flow. Both of these meteorological phenomena may have adverse effects on the stability and maneuverability of aircraft, and in severe cases, may even lead to flight accidents. This study deeply analyzes the formation mechanism, characteristics, and specific effects of wind shear and turbulence on flight safety, revealing their potential risks in actual flight operations. On this basis, the paper will propose a series of effective flight safety measures and response strategies, providing scientific basis for the aviation industry to reduce the potential threats of wind shear and turbulence to flight safety.

Keywords: low altitude wind shear; turbulence; flight impact; strategy analysis

0 前言

论文探究了低空风切变及湍流对航空安全的潜在影响，深入剖析了这些现象的形成机制、特性及其对飞机性能和操控的具体作用。借助具体案例的解析，本研究指出风切变和湍流在实际飞行过程中可能带来的严重威胁，并据此提出了一系列提升飞行安全性的对策与建议。本研究特别指出在飞行准备阶段对气象数据的准确收集与详尽分析，以及在飞行过程中对气象变化的有效监控与及时预警系统的运用非常重要，同时也强调了加强飞行员的专业训练和在飞机设计阶段融入更多安全考量的紧迫性。

1 低空风切变的飞行影响分析

1.1 低空风切变的成因与特征

低空风切变指的是在较低飞行高度（通常界定于地面至 600 米范围内）出现的风速与风向的骤然变动。此类现象多发于雷暴、锋面活动、山区及建筑密集区，尤其是由雷暴引发的风切变具有较高的风险性。其特点为风速的迅速增减

及风向的急剧转换，这些变化往往在极短时间内完成，对飞行器操控构成了严峻考验^[1]。低空风切变对飞行安全的影响非常突出，特别是在起降过程中，由于飞行器此时速度较慢且操纵灵活性受限，故面临较大风险。为此，飞行员需依赖先进的气象雷达与地面预警系统，以便及时发现并避开潜在的风切变区域。当前航空技术正不断革新，如优化飞行控制策略及引入自动化预警机制等措施，可以提升飞行器面对风切变时的安全性能，然而低空风切变依然是航空业需长期重视与深入探讨的课题，以保障飞行作业的安全性。

1.2 风切变对飞机性能的影响

风切变是在极短距离内风速或风向出现急剧变动的现象，这一现象对航空安全构成了严峻挑战。当遭遇风切变时，飞机的升力与推力会直接受损，进一步影响其整体性能。尤其在起降过程中，由于飞机速度较低且对风的变化更为敏感，风切变的影响显得非常突出。突如其来的升力减少可能导致飞机急速下坠，甚至诱发失速，严重威胁飞行安全。除此之外，风切变还可能迫使飞机偏离既定航迹，加大飞行员

的操作难度。因此,飞行员在起降阶段应高度关注风切变的潜在威胁,并采取必要的防范措施,以保障飞行安全。

1.3 风切变对飞行操作的影响

在风切变环境下,飞行员需迅速响应以保证飞机的稳定与安全。风切变指的是风速与风向在极短距离及时间内急剧变化的现象,这种现象可能出现在飞行的各个阶段,尤其在起降过程中,对飞行安全构成严重威胁。飞行员应始终保持高度警惕,严密监控气象雷达及外部环境,以便尽早识别风切变的征兆。面对风切变,飞行员须立即采取行动,这可能涉及调节油门以控制飞机推力,调整飞行姿态以适应风向与风速的变化,并运用飞机的控制装置,例如,副翼、升降舵和方向舵,抵消风切变的影响^[2]。在特定情形下,飞行员或许需要执行复飞程序,即中断着陆过程并重新提升高度,保证飞机有足够的时间与空间恢复至安全飞行状态。若条件许可飞行员可能需实施紧急着陆程序,以保障飞机及乘客的安全。风切变的突发性和不确定性要求飞行员具备迅速反应的能力,以及对飞机性能与操作限制的深刻认识。飞行员必须接受严格训练,熟练掌握在风切变情境下的应对策略与操作技能。

1.4 风切变对飞行安全的具体案例分析

在历史长河中,风切变始终是威胁航空安全的重要因素。1985年8月2日,达美航空191航班在接近达拉斯-沃斯堡国际机场时遭遇强烈风切变,最终导致飞机坠毁,造成163人遇难。该事件不仅令航空界深感震撼,也突显了风切变对飞行安全构成的重大风险。为此,航空业界积极采取了一系列措施,大幅提升了风切变的检测与防范能力^[3]。

现今商用飞机普遍装备有高度先进的风切变预警系统,这些系统可实时监控风速及风向的变动,并迅速向机组人员发出警报。此类系统通常由气象雷达、风切变探测装置以及自动化警报机制组成。同时飞行员接受了专项训练,掌握识别与处理风切变状况的技能。他们学会了在遭遇风切变时执行恰当的操作流程,以保障飞行器的安全。除了技术与教育层面的革新,机场设施也有所提升。例如,诸多机场增设了风切变监测站,这些站点能提供更为精准的风切变数据,部分机场还优化了跑道布局与降落程序,可以减轻风切变对航空器的潜在影响。

2 湍流的飞行影响分析

2.1 湍流的分类与特性

湍流是在大气环境中普遍存在的一种无序运动形式,其特征表现为较大的随机性和复杂度。依据形成机制的不同,湍流可细分为若干类别,如热力湍流、动力湍流及地形湍流。热力湍流源于地表受热分布的不均一性,尤其在晴天且地表条件差异明显时更为较大。动力湍流的发生往往与风速的变化密切相关,特别是在风向转换或风速出现骤增的地带。地形湍流则是由于山体、建筑物等固定障碍物对空气流

动的阻碍作用而产生。湍流的关键属性涵盖强度、范围以及持续时长,这些因素共同决定了湍流对航空器运行的具体影响。湍流的规模可从数米延伸至数千千米,而其强度也可以从轻微的振动变化至足以造成飞机结构损害的程度。

2.2 湍流对飞机稳定性和操控性的影响

湍流通过引发飞行路径上的非均匀气流扰动,直接作用于飞机的稳定性和操纵性能。轻度湍流可能会导致飞机出现轻微的颠簸现象,而重度湍流则可能引发飞机剧烈摇晃,甚至出现短暂失控的情况。在湍流环境中飞机所受的升力与阻力会发生无规律的变化,这迫使飞行员或自动驾驶系统需不断进行调整以保持飞行姿态的稳定性^[4]。此外,湍流还可能对飞机的航向和速度产生影响,进一步导致飞行轨迹偏离预定路线。在极端条件下湍流还可能对飞机结构件造成累积性的疲劳损伤。

2.3 湍流对飞行安全的影响

湍流构成飞行安全的重要威胁之一,不仅干扰飞机的稳定性和操纵性能,还可能对机上乘客及机组成员造成身体损伤。在遭遇湍流时未系安全带的乘客与机组人员可能被突然抛起,碰撞到飞机内壁,导致受伤。此外,湍流还可能使飞机上的设备和仪器遭受冲击,影响其正常运行。在极端情况下湍流甚至可能引起飞机结构损伤,或触发飞行事故。鉴于此,飞行员需借助气象雷达、卫星云图及其他气象资料对湍流区域进行预测并采取规避措施。

2.4 湍流影响下的飞行操作

在湍流的影响下,飞行员需采取多种操作策略以保障飞行的安全。需要预先获取气象资料,掌握可能遭遇的湍流区,并尽可能规划绕行路径以规避这些区域。在接近已知湍流区之前,飞行员应当确认所有乘客及机组成员均已系紧安全带并检查机上各项设施是否稳固。飞行途中飞行员必须持续关注飞机的各项飞行指标,如高度、速度与姿态,随时准备调节飞行操纵面以适应湍流引发的变化。若条件允许,飞行员应适当减缓飞行速度,减轻湍流对机体的冲击力,并迅速且安全地离开湍流环境。同时,飞行员还需与空中交通管理部门保持联络,通报湍流状况并依据管制指令执行相应措施。

3 飞行安全措施与应对策略

3.1 飞行前的气象信息获取与分析

保证飞行安全的重要前提是在飞行前获取精准的气象信息,航空公司与飞行员需借助多种途径汇集气象资料,涵盖卫星云图、雷达反射、地面气象站记录及高空风温数据。上述资料用于评估天气动态,预判如雷暴、台风、低空风切变和湍流等可能干扰飞行的天气现象。利用专业气象分析工具,可编制详尽的飞行前气象报告与预测,辅助飞行员及航空公司作出明智的决策,比如调整航迹、变更飞行高度或延迟起飞。当代航空领域还仰赖先进的气象预测模型和实时更

新的气象信息系统, 这些平台能提供更为精确的天气预报和即时警告^[5]。飞行员在执行任务期间会不断接收到最新的气象情报, 以便应对突如其来的天气变动。例如, 机载气象雷达可实时监控前方的降水情况和风暴活动, 助力飞行员规避潜在风险区。飞行规划时通常会留有额外的时间与燃油储备, 以应对未预见的天气条件。通过这一系列综合策略, 航空行业得以最大程度地降低天气因素对飞行安全的负面影响, 保障旅客与机组成员的安全。

3.2 飞行中的气象监测与预警系统

在当代航空业中, 飞行安全始终占据着重要的地位。飞机上装备的气象雷达与自动相关监视广播(ADS-B)系统是保障飞行安全不可或缺的技术手段。气象雷达可实时探测飞机周边的降雨、风切变及湍流等潜在气象威胁, 并向机组人员发出即时警报。而 ADS-B 系统则通过接收其他航空器及地面基地的信号, 提供精准的位置与速度数据, 进一步强化了飞行的安全性。除了上述机载装置, 现代航空器还可能安装有高级气象数据传输链路, 可接收地面站或卫星提供的实时气象资料。这些数据传输链路为机组人员提供了更为详尽和精确的气象情报, 可以让他们更全面地掌握航线上空的天气变化, 进一步作出更加合理的判断。此外, 飞机上配置的气象信息处理系统可将获取的气象资料与飞行规划相结合进行综合分析, 自动生成建议或警示信息, 以辅助机组人员进行决策。这不仅有效降低了机组人员的工作强度, 同时也提升了飞行的安全性和效能。借助这些前沿的技术与系统, 机组人员可更加从容地应对各类复杂的气象环境, 保证每次飞行的安全与顺畅。

3.3 飞行员培训与应对低空风切变与湍流的技能

飞行员在培训阶段需深入掌握气象学知识, 这不仅是保障飞行安全的必要条件, 也可提升飞行效率。他们必须学会解读气象报告与图表, 这些资料对于航线规划及预判可能的天气风险具有重要意义。在实际飞行过程中, 飞行员须具备识别各类恶劣天气迹象的能力, 特别是低空飞行时常见的风切变与湍流现象, 这些往往是导致飞行事故的关键因素。为有效应对上述挑战, 飞行员在模拟器训练及实际飞行中须掌握一系列应对策略, 涵盖运用恰当的操控技巧以稳定飞机、根据气流变化调整飞行速度与姿态以及在紧急情况下迅速实施应急程序。此外, 飞行员还需熟练运用机载气象雷达及其他预警设备, 这些装置能帮助其预先识别潜在威胁, 及时采取规避行动, 保证飞行安全。通过这一系列综合性训练, 飞行员可较大增强对复杂气象环境的适应能力, 减轻天气因素对飞行安全的负面影响, 无论面对何种气象状况均能保持镇定与专业, 保证乘员与机组人员的安全。

3.4 飞机设计中的安全改进措施

在当代航空工业领域, 飞机制造企业深刻认识到飞行安全的非常重要性, 因而在飞机设计过程中全面考量了可能

对飞行安全产生影响的各种因素, 特别是恶劣天气条件的影响。飞机的结构设计须具备抵御极端天气的能力, 如湍流和风切变, 这些自然现象可能对飞机的稳定性和操控性能构成威胁。为了实现这一目标, 工程师采用高强度材料与先进的结构设计技术, 保证飞机在遭遇恶劣天气状况时仍能维持结构的稳固性和飞行控制的可靠性。除结构设计外现代飞机的导航与通信系统也在持续优化, 提供更加精准的气象数据和更为稳定的飞行控制。例如, 增强型近地警告系统(EGPWS)和风切变预警系统等先进机载设备, 可实时监控飞机周边环境, 并在探测到潜在风险时自动向飞行员发出警示。在特定情境下这些系统甚至可以自动干预, 通过调整飞机姿态或速度来规避潜在的飞行风险。此外, 飞机制造商应致力于提升飞机的冗余系统设计, 保证如液压、电气及导航系统等关键系统在部分故障时仍可继续运行。飞行员训练需要重视在恶劣天气条件下操作技巧与紧急情况应对能力的培养, 保证飞行员在面临突如其来的气象挑战时可以做出恰当的判断。通过上述设计改进与安全措施的有效落实, 飞机的安全性能得到增强, 为飞行安全构筑了更为坚实的屏障。

4 结语

综上所述, 论文对低空风切变及湍流形成机制、特性及其对飞行安全潜在影响的详尽探讨, 阐明了这些局部气象现象对飞行操作与安全保障构成的具体挑战。借助具体案例的研究, 论文突显了风切变和湍流在实际飞行过程中所具有的严重威胁, 并建议采取包括飞行前的气象数据收集与分析、飞行期间的气象监控与预警体系构建、飞行员的专业训练以及飞机设计中的安全性优化等一系列防范措施。上述策略的有效执行对于提升飞行安全性、减轻风切变和湍流对航空安全的负面影响具有重要意义。

参考文献:

- [1] 杨巧兰, 蒋晓威, 夏冬, 等. 地形和建筑触发珠海机场低空风切变数值模拟[J]. 中山大学学报(自然科学版)(中英文), 2024, 63(4): 47-60.
- [2] 杜星, 王海霞, 梁希豪, 等. 银川河东机场低空风切变气候特征统计及分型研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(14): 61-65.
- [3] 彭浩荣. 地形影响下机场低空风切变形成机理及风险评价研究[D]. 上海: 同济大学, 2022.
- [4] 范琪, 郑佳锋, 周鼎富, 等. 基于激光测风雷达的机场低空风切变识别算法[J]. 红外与毫米波学报, 2020, 39(4): 462-472.
- [5] 赵燕勤, 陈仁良. 低空风切变系统建模及其对直升机飞行安全威胁定性分析[J]. 航空学报, 2020, 41(7): 153-164.

作者简介: 全征宇(1996-), 男, 中国湖南衡阳人, 本科, 助理工程师, 从事飞行签派、飞机性能工程、航空气象等研究。