

VAISALA

航空风切变

解决方案手册



风切变可能会给机场带来重大风险：它发生在飞机最易受影响的起飞和降落期间的不同高度。大型商业客机可能无法根据这种急剧变化做出及时调整，继而危及飞机安全，造成航班延误和机场成本飞涨。

风切变探测系统帮助机场决策者了解这类天气状况并做好准备，确保安全高效的运营。在有多种技术可供选择的情况下，应根据机场当地天气状况和特定的风切变类型确定适合的解决方案。

本指南简要介绍风切变的物理学知识及其特性、可供选择的新技术以及风切变探测系统选型和选址的惯例。



航空大趋势：气候变化和数字化

航空业正在经历四个总体趋势变化：气候变化、可再生能源、未来出行方式和数字化。尽管这些因素均会产生影响，但数字化和气候变化不仅构成直接的挑战，同时还提供了解决方案。气候变化使包括风切变在内的极端天气事件发生数量不断攀升，造成一系列环境和经济影响。因此，可靠的气象观测和预报对保护生命和基础设施的重要性不断提高。

为了缓解极端天气影响，航空业正在努力优化所有流程并采取积极的措施。这也是数字化能够发挥效力的领域。

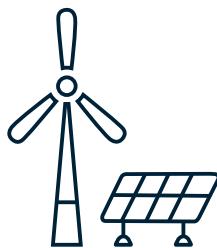
诸如云服务等数字技术使得对复杂数据进行整合、可视化和利用成为可能。为了改进数字信息交换，国际民航组织正在制定诸如 SWIM 等新倡议，各机构可利用这类倡议改进数字信息交换。

天气相关数据的核心是即便最简单的参数也需要确保可靠性和质量，另外还包括测量数据的方式。单点数据使用得越多，确保其质量和可靠性就越重要。这就要求设备收集数据并通过端到端解决方案分发数据。



气候变化

- 极端天气
- 保护生命和财产安全



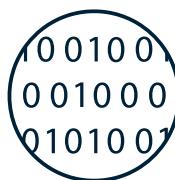
可再生能源

- 稳定的能源生产
- 监测、预测和规划运营



未来出行

- 交通的安全与效率
- 自动化以及新颖的出行方式层出不穷



数字化

- 以全新的方式利用和整合数据
- 新型天气相关数字服务

实现安全性和效率的平衡



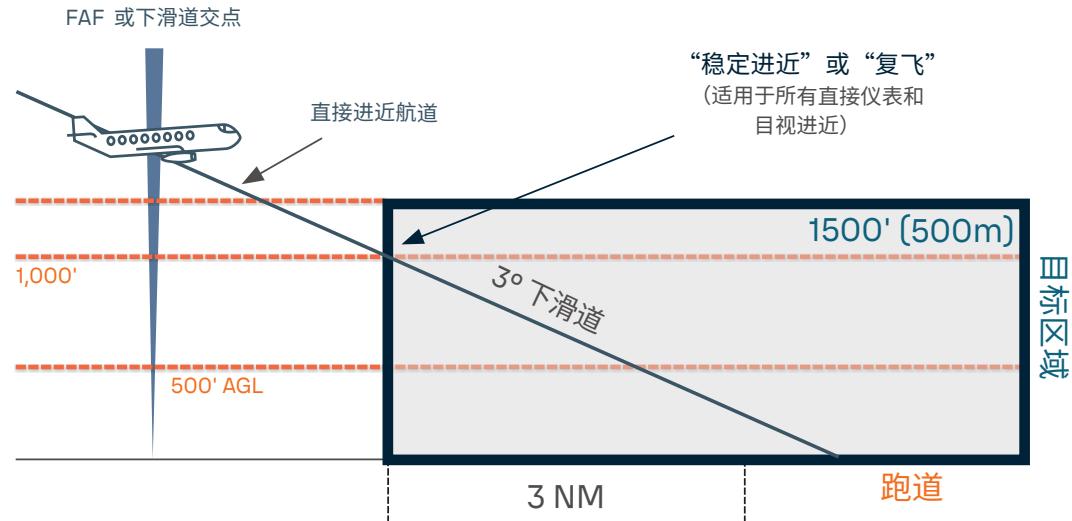
风切变影响机场运营的效率和安全。尽管极端的风切变可能会导致事故，但更多的是造成机场运营方和飞行员的担忧和不确定性。

这种天气现象可以通过技术进行测量和探测，让机场运营方能够采取积极措施，尽可能减少航班延误和取消，同时保持运营尽可能顺畅。

风切变可能是一项主要的安全隐患

自 2000 年以来，风切变已经造成 33 起事故，导致 476 人死亡^{*}

风切变的物理原理



风切变的定义

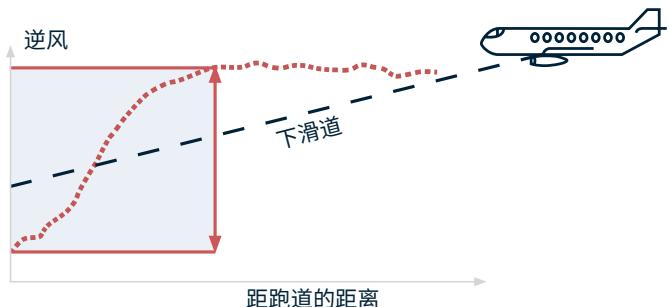
风切变是飞机进近或起飞期间遇到的强烈而持续的逆风或顺风变化。国际民航组织附件 3 将发生在 500 米以下的风切变定义为低空风切变。

图中的红色虚线表示跑道进近时的风况。进近开始时，红色曲线稳定不变，表示风几乎没有变化。然而，当飞机在阴影区向跑道进近时，逆风会显著减弱（风切变的一种类型）——根据国际民航组织定义，这将导致升力大幅降低。当飞机无法补偿风切变并过快触及地面时，就会造成极大的风险。

海拔高度对飞机的影响

发生在特定海拔高度的风切变造成的安全风险最大。最关键的危险区域是从 1000 英尺的最高高度开始的稳定进近。这正是飞行员通过设定诸如襟翼等着陆配置从而固定降落空速的时期。如果这时出现风切变，则很难对进近过程进行调整。

因此提前通知对飞行员做好风切变应对准备以及调整襟翼和飞机速度等配置至关重要。



飞行员必须了解：

- 1500 英尺（500 米）以下的逆风变化
 - 临界区域：3° 下滑道 3 海里 (NM) 延伸区
- 进入稳定进近之前的进近通道沿线情况
 - 着陆前 2~3 分钟的情况

当前建议

国际民航组织认为应对风切变进行报告。报告风切变的唯一有效方法是由机场向飞行员报告；而如果由飞行员向机场报告，飞行员就没有时间进行应对准备。主动通知的安全性和效率优势让机场风切变探测系统成为一项明智的投资。

国际民航组织附件 3 提到了两种类型的风切变探测：警告和警报。



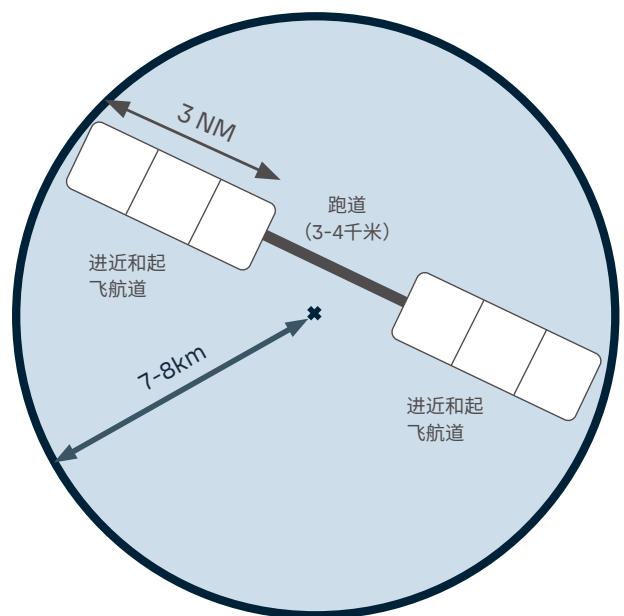
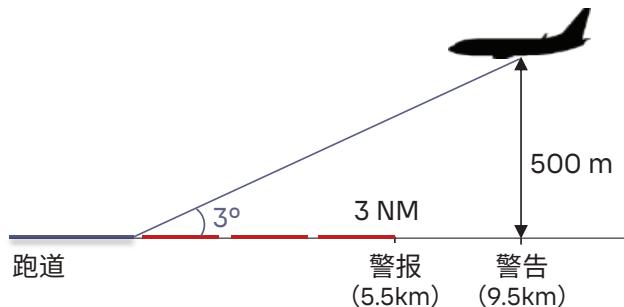
警告

- 由机场气象台根据地面设备、飞机观测和其他信息编制
- 已观测到的或预计存在风切变的简明信息
- 不足 500 米：进近+起飞航道+跑道+盘旋进近



警报

- 自动化地面遥感或探测设备
- 已观测到逆风或顺风变化大于 7.5 米/秒（15 海里）的风切变相关的最新简明信息
- 最终进近航道或初始起飞航道以及跑道上的飞机



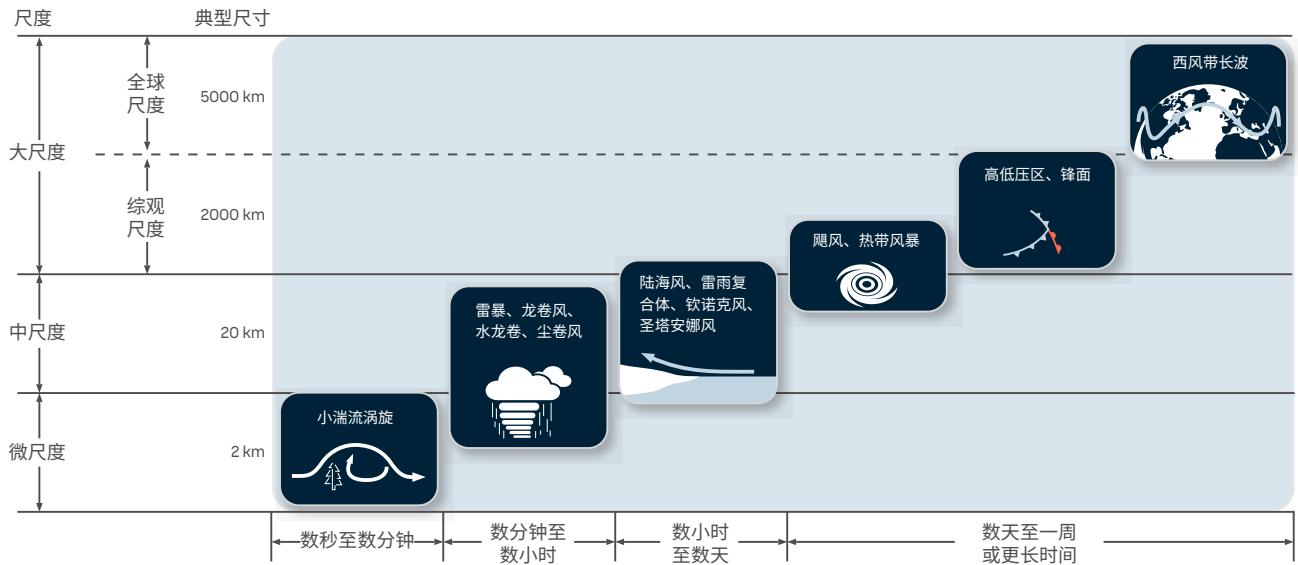
下图介绍了风切变临界警报区域

警告通常采用手动方式，而自动天气观测系统可提供及时、准确的自动警报。

警告和警报系统最好几分钟刷新一次。

ICAO 手册 9817 和 FAA 航空信息手册对最佳操作惯例进行了更为详细的介绍。

风切变的来源

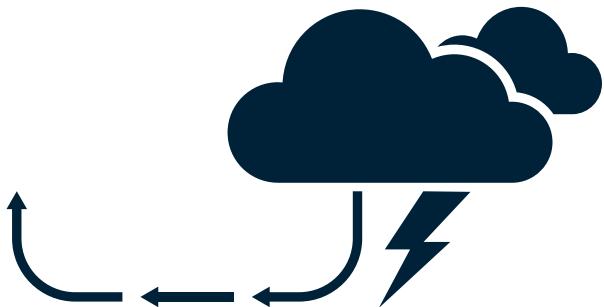


风力等级

气象学中的尺度对于预测天气至关重要。风力等级的范围从局部微尺度（长度几米，且持续时间几分钟）到行星级大尺度（长达 5000 千米并持续数天甚至数周）不等。

任何给定区域的风均为不同风力等级的组合，由此造成不同的风速和风向。这种组合就是导致风切变的原因。

风切变类型



对流

对流风切变通常发生在雷暴期间，分为三种类型：

- 来自成熟积雨云的下沉气流，通常包括大雨
- 雷暴外侧的阵风锋
- 下降空气区域产生的微暴流或小尺度下击暴流，到达地面时会向各个方向扩散

背景风和阵风锋之间的相互作用也可导致风切变。

对飞机而言，微暴流是最危险的风切变类型，因为其尺度小，时间短且强度大，很难探测到。



非对流

任何天气条件下都会发生非对流风切变。沿海地区温度变化造成的波动（海陆风）、山脉环绕的山谷以及低空或夜间急流都可能引起风切变。局部地形和诸如摩天大楼与城市桥梁之类的障碍物也可能导致风切变。

测量风切变

如今使用的测量技术主要有三种：低空风切变预警系统（LLWAS）、气象雷达和测风激光雷达。

在海事和港口环境中，采用多管齐下的方法来实现环境态势感知，是服务整个海事生态系统的理想途径——无论现在还是未来。

LLWAS 由布置在跑道进近附近的一系列风速计组成。风速计的数量根据机场的需求而有所不同。LLWAS 的主要优点是在不同天气条件下都能实时探测风切变。

气象雷达自 20 世纪 80 年代以来就已投入使用，以其在雨天条件下对风切变的高精度和细节表现不错。雷达可用于提供危险预警和监测特定现象，从而更好地理解雷暴的结构。此外，雷达还可用于监测和预测天气锋面和风暴的移动。

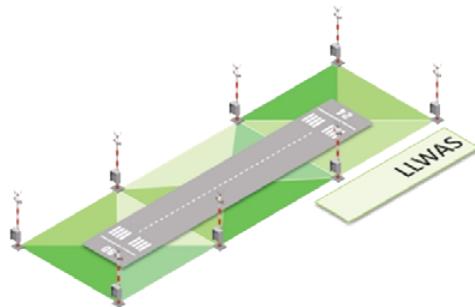
测风激光雷达是机场进行风切变探测的新技术。与雷达类似，激光雷达在晴空条件具有高分辨率，可提供精确的风场和风切变信息。

除具有风切变测量功能外，测风激光雷达还可以与气象雷达一起作为集成警告系统的一部分使用。这种组合可提供机场周围 3D 风场感知以及风湍流或风切变测量。

气象雷达和测风激光雷达分别在特定天气条件下工作，对风切变进行探测和测量。因此两者可在机场共同作为高精度风切变探测系统使用。

低空风切变警报系统

- 由风速计网络组成
- 任何天气条件下均具有实时探测功能



气象雷达

- 所使用的固态发射机具有出色的精度和可用性
- 能够在雨天精确测量风切变
- 对包括风切变、冰雹、冻雨和雷暴在内各种天气现象进行预警



测风激光雷达

- 高分辨率和高精度的风场和风切变测量
- 能够在晴空条件下精确测量风切变
- 机场周围的 3D 风场感知以及对风、湍流和风切变的更多掌握



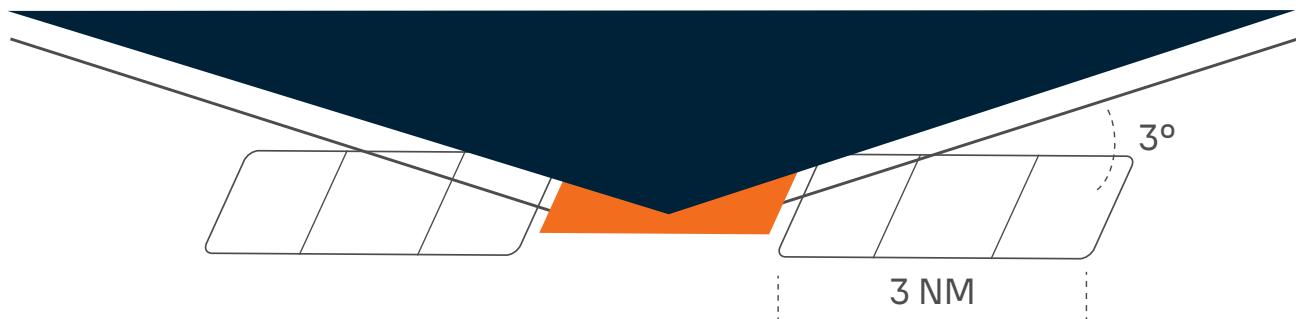
风切变探测系统的集成

本表列出了常见的天气条件和风切变类型，展示了不同情境下适合使用的传感器。适合的传感器或传感器组合与当地天气情况以及机场的风切变类型有关。

除了安装相应传感器外，将风切变数据集成到与自动气象观测系统（AWOS）链接的单一系统内也至关重要。

天气状况	非对流						对流/雷暴		
	城市风	山区	谷/上升风 —下降风	低空急流	夜间急流	海陆风	阵风锋	微暴流	下击暴流
晴空	 激光雷达								 低空风切变 警报系统
小雨									
中到大雨	 雷达								

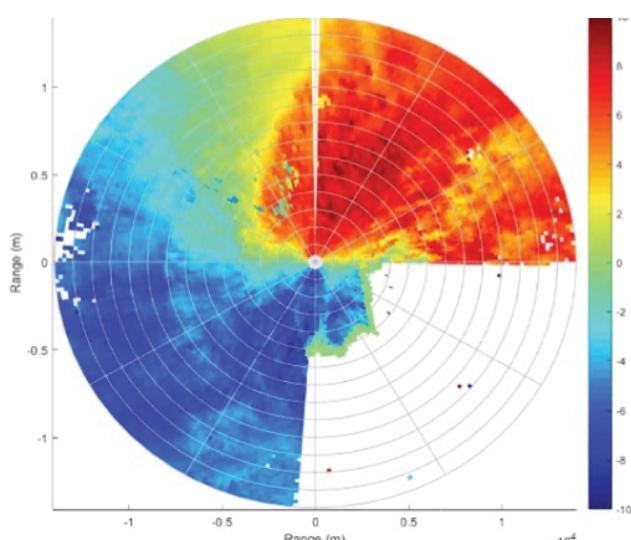
测风激光雷达的扫描和选址策略



每个机场的情况均独一无二；我们建议您先进行全面的现场勘察（包括提前进行精心规划）来确定机场的特定需求。

测风激光雷达的典型扫描策略是方位角或平面位置指示器（PPI）扫描。

这是在迎着下滑道的方向进行的锥形扫描，根据测风激光雷达的位置以及 1-2 分钟的扫描持续时间，它能够以 1-3° 的角分辨率提供 100-200 米的物理分辨率。



测风激光雷达测量示例

测风激光雷达：

左图为范围达 15 千米的西南风详图。

测风激光雷达安装在地图的中心。颜色表示多普勒速度。蓝色表示风朝向激光雷达，红色表示背向雷达。

扫描策略

- 在下滑道高度进行的 PPI 扫描
- 物理分辨率：100-200 米
- 角度分辨率：1-3°

数据输出

- 典型测量范围：
- 测风激光雷达为 10 千米
- 更新率：每 1-2 分钟或更短

如何选址



现场勘察

合适的站点选址对于确保高有效性和精度至关重要。在进行系统规划之前，先通过现场勘察确定适合您机场的风切变探测系统。然后分析所有可能存在的障碍物，确定实现适当风切变覆盖的最佳位置。

激光雷达和雷达的理想位置取决于机场的限制条件。有些机场仅有一条跑道，而其他机场则可能需要更多传感器才能精确探测风切变。

位置指南

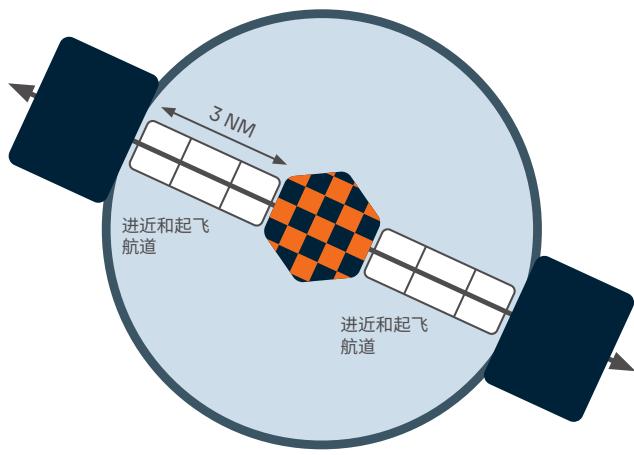
- 解决实际条件和技术性限制
- 确保目标区域的高数据有效性
 - 测风激光雷达：将激光雷达设置在靠近跑道中心并覆盖两个进近通道的位置，让进近通道通畅可见
 - 气象雷达：除了对进近通道通畅可见之外，气象雷达的位置选择还应考虑其他气象雷达数据使用情况
 - LLWAS 系统：通过现场勘察确保测风塔站点的位置以及检修途径
- 确保高质量的风切变探测
 - 远程测量系统的与跑道方向的最大角度差为 30° ，以便最大化径向风速的逆风分量

实际条件与技术性约束

与扫描策略相比，测风激光雷达和气象雷达的选址涉及到一系列不同的约束条件。^{*}

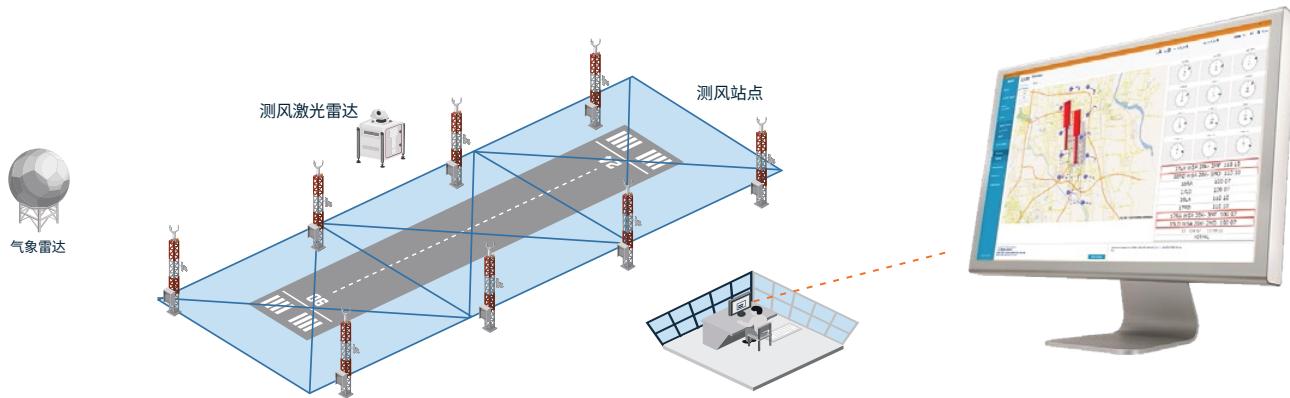
第一组约束条件是实际条件和技术性约束，如混凝土地表、供电、维护网络的可访问性以及跑道接近要求。

选址的目的是在跑道两侧目标区域中获得尽可能最高的数据有效性。由于 PPI 是在非常低的高度上以 3° 角度扫描，因此必须清除系统周围的所有障碍物。



^{*} 资料来源：FAA TDWR 选址计划

AWOS 的风切变报告



风切变影响机场运营的效率和安全。尽管极端的风切变可能会导致事故，但更多的是造成机场运营方和飞行员的担忧和不确定性。

这种天气现象可以通过技术进行测量和探测，让机场运营方能够采取积极措施，尽可能减少航班延误和取消，同时保持运营尽可能顺畅。

将风切变信息与 AWOS 结合使用能够提供详细的自动报告，并增强对局部情况的态势感知。

从云端到地面， 可信赖的 航空气象保障



为什么选择维萨拉？

依托在航空领域超过 50 年的服务经验，维萨拉确保采取积极有效的措施实现安全、效率和可持续性。

维萨拉的机场气象解决方案深受全球 170 多个国家或地区和 2000 多个机场的信赖。事实上，全球每一架商业航班在飞行途中的某个时刻都会使用由维萨拉设备生成的气象观测数据或由我们的传感器测量结果驱动获得的气象预报。

维萨拉致力于不断创新和发展我们的产品组合，始终站在行业前沿，不断探索新的领域。

