

乌鲁木齐机场“2023.4.7”东南大风下航班复飞原因分析及安全建议

陈阳权, 朱雯娜, 尹才虎, 沙艳萍

民航新疆空中交通管理局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年4月7日; 录用日期: 2024年5月7日; 发布日期: 2024年5月14日

摘要

利用跑道自动观测数据、激光雷达资料等数据, 对2023年4月7日(文中时间均为协调世界时UTC)夜间乌鲁木齐机场13架航班在低空复飞的不正常事件原因进行分析, 结果表明: 1) 13架航班复飞是在机场航班进港高峰期, R07跑道下滑道20 m/s以上的强侧风使得飞机在低空侧风超标, 下滑道上强侧风层风速不均匀性引起较强的侧风切变, 使得航空器在R07跑道降落过程中操纵困难导致复飞。2) 激光雷达侧风风速演变及其不均匀性在一定程度上揭示了飞机复飞时遭遇的强侧风以及因强侧风层的不均匀性导致的侧风切变, 在此类天气的预警预报服务中可作为有用参考。3) 提出跑道低空风场综合监测告警的组合概念模型, 可综合利用跑道AWOS资料、激光测风雷达资料计算侧风、风切变等数据, 从点到面对跑道及其低空侧风、风切变进行有效的监测和告警, 为航空运行实时提供有关跑道和下滑道风切变、强侧风的告警服务, 使终端管制人员实时了解机场及周边运行的气象环境, 对保障航空飞行安全有序十分有利。

关键词

东南大风, 复飞, 激光雷达, 强侧风

Reasons Analysis for the Go-Arounds of Flights in the Southeast Gale on April 7, 2023 at Urumqi Airport and Safety Recommendations

Yangquan Chen, Wenna Zhu, Caihu Yin, Yanping Sha

Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Management Bureau, Urumqi Xinjiang

Received: Apr. 7th, 2024; accepted: May 7th, 2024; published: May 14th, 2024

文章引用: 陈阳权, 朱雯娜, 尹才虎, 沙艳萍. 乌鲁木齐机场“2023.4.7”东南大风下航班复飞原因分析及安全建议[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(3): 506-513. DOI: 10.12677/ccrl.2024.133055

Abstract

Utilizing runway Automated Weather Observing System (AWOS) data and lidar data, this study analyzes the unusual incident of go-arounds of 13 flights at low altitude during the night of April 7, 2023 (all times referenced are Coordinated Universal Time, UTC) at Urumqi Airport. The results show that: 1) The go-arounds of 13 flights occurred during the airport's peak period for incoming flights, where strong crosswinds exceeding 20 m/s on the R07 runway glide path caused aircraft to exceed low-altitude crosswind limits. The uneven wind speed within the strong crosswind layer on the glide path led to significant crosswind shear, making it difficult for aircraft to maneuver during the landing process on the R07 runway, leading to go-arounds. 2) The evolution of the lidar-measured landing crosswind speed and its heterogeneity revealed the strong crosswinds and the crosswind shear caused by the unevenness of the strong crosswind layer during go-arounds, which can serve as useful reference in early warning and forecasting services for such weather. 3) A conceptual model for combining low-altitude wind field monitoring and warning on runways is proposed. This model can utilize runway AWOS data, laser wind radar to calculate crosswind, wind shear to effectively monitor and issue alarms for crosswinds and wind shear at runways and their low altitudes. This provides real-time alarms about wind shear and strong crosswinds on runways and glide paths helping ensure the safe and orderly operation of air travel. Real-time awareness of the meteorological environment at and around the airport by terminal control is highly beneficial to ensuring aviation flight safety and order.

Keywords

Southeast Gale, Go-Around, Lidar, Strong Crosswind

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

飞机复飞是飞机在降落过程中因为环境条件不宜继续降落,重新拉起的过程,是一种不正常的事件,若复飞时高度较低,再叠加复杂天气,对飞机操纵、管制决策等有较大影响,严重时可能导致不安全事件发生[1]。因此对飞机复飞原因进行系统的分析是十分必要。

对于气象原因导致的飞机复飞主要发生在飞机低空降落过程中,难以利用常规气象探测资料对复飞原因进行深入的探讨和分析。激光测风雷达作为一种新型的测风手段,经过几十年的发展,已广泛应用于地质测绘、军事测量、医学应用、大气监测与观测等多领域[2]。该探测数据具备高时空分辨率的特点,能够有效弥补常规探空手段在低空风场探测能力的不足[3] [4]。随着激光测风雷达在民航机场的不断应用,民航气象工作者利用激光测风雷达数据对机场大风成因和机制、边界层的细微结构、低空风切变的探测、告警和预警方法等进行了大量的分析和研究[5]-[12],其在机场的应用效果也不断得到检验。乌鲁木齐机场激光雷达为西南技术物理研究所研制的 FC-III 型激光测风雷达,于 2019 年 9 月开始安装使用,其高时间、空间分辨率的风场探测数据为机场西北大风、东南大风、小尺度风场扰动下的风切变、颠簸等监测和预警提供了较好的参考。激光雷达数据的使用,为分析航班复飞事件提供了有效的低空风场数据。

2023 年 4 月 7 日夜间乌鲁木齐机场出现了一次较强的东南大风过程,受地面和低空东南大风共同影响,导致 13 架次航班在低空复飞和 1 架次航班终止近进,对航空运行安全造成了严重影响。因此,本文

利用自动观测数据、激光雷达数据等对此次航班频繁复飞的不正常事件进行分析,探究导致频繁复飞的气象原因,并由此提出对跑道及低空可能影响飞行的气象要素进行综合监视告警的构想,希望为将来机场低空风场探测技术提供参考,从而提高此类天气下的安全保障能力。

2. 天气和影响概述

2023年4月7日白天至8日凌晨,乌鲁木齐地区出现区域性东南大风天气,乌鲁木齐机场在7日15:00前后开始出现了东南大风天气。

图1为乌鲁木齐机场 AWOS 资料的 R07 和 R25 跑道的 2 分钟平均风速、风向、阵风以及跑道上温度和修正海平面气压随时间的演变。从图 1(a)、图 1(c)可见,在跑道上 11:30 开始,机场跑道两端开始由偏北风转为一致的东南风,风速 13:00 左右开始逐渐增大, R07 跑道方向增大更迅速;至 15:00 左右,2 分钟平均风速达到 12 m/s 以上,但风速强度波动明显,17:00 后 R25 方向风速开始明显波动减小,维持在 5~10 m/s,但 R07 方向 12 m/s 左右的风速一致维持到 19:00 左右,后续开始波动减小。

在东南大风条件下,乌鲁木齐机场采用 R07 跑道运行,如图 1(b)所示, R07 跑道在 15:00 左右风速迅速增大,2 分钟平均风速最大达到 15 m/s 左右,阵风风速达 12~20 m/s,且具有明显的脉动性特点。图 1(d)为机场温度和气压随时间的变化,7 日下午至傍晚机场温度随日变化先升后降,但 14:00 后温度处于平稳态,而修正海平面气压随日变化先降后升,在 14:00 前后气压迅速降低,这与东南大风时升温、减压的特点一致[13]。

此次东南大风下共造成了 13 架航班在低空复飞,复飞时段集中在 14:50~18:00,位置集中在距离 R07 跑道入口处 6 公里范围以内,高度在 30~350 m,11 架次航班报告复飞原因为风向风速变化大或有乱流导致航空器控制困难,2 架次航班报告侧风超标。

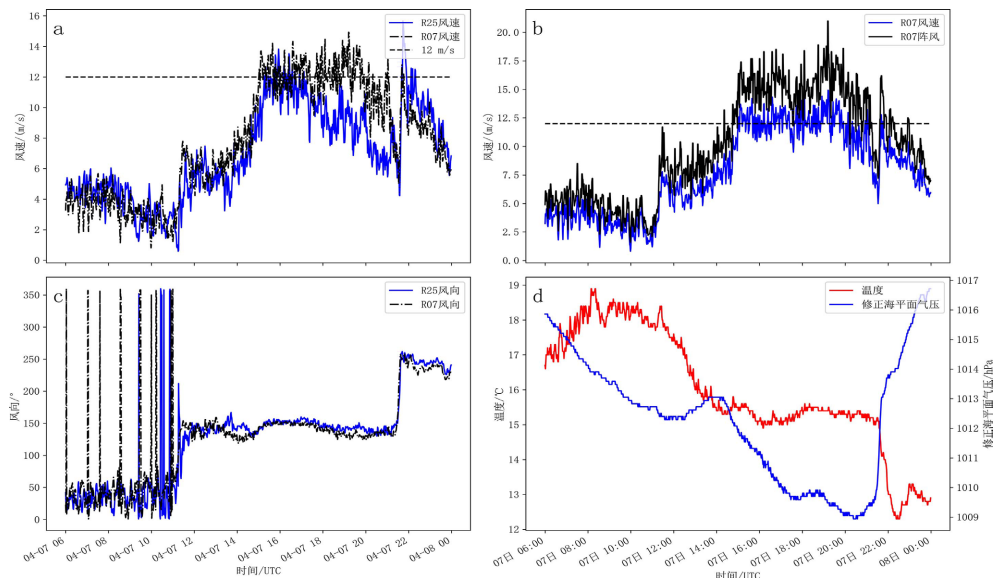


Figure 1. (a) and (c) represent 2-minute average wind speed (unit: m/s) and wind direction (unit: degrees) data from the AWOS for Urumqi Airport's runways R07 and R25; (b) shows the 2-minute average wind speed and 2-minute gust wind speed (unit: m/s) data from the AWOS for runway R07; (d) indicates the temperature (unit: °C) on the airport's runways and the corrected mean sea level pressure (unit: hPa)

图 1. (a)、(c)为乌鲁木齐机场 R07 和 R25 跑道 AWOS 资料的 2'平均风速(单位: m/s)、风向(单位: °); (b) 为 R07 跑道 AWOS 资料的 2'平均风速和 2'阵风风速(单位: m/s); (d) 为机场跑道上的温度(单位: °C)和修正海平面气压(单位: hPa)

3. 利用激光雷达分析航班复飞原因

图 2 为激光雷达沿 R07 跑道下滑道扫描得到的复飞临近时刻侧风风速廓线, 纵轴为水平距离, 横轴为风速, 正值为右侧风, 负值为左侧风。从侧风数据来看, 14:54 左右在第一架航班出现低空复飞时, 在 R07 跑道下滑到上已经出现了最大达 20 m/s 以上的强侧风, 且在下滑道上强侧风存在显著的不均匀性, 在距离雷达 1000m、1500 m 附近出现了 25 m/s 左右的侧风, 而下滑道上部分区域侧风风速为 12~15 m/s, 低空侧风风速的剧烈变化可导致较强侧风切变, 从而影响飞行安全。至 16:12 左右, 下滑道上侧风已经增强至最大近 30 m/s, 而最小却只有 12 m/s 左右, 且在整个航班复飞过程中均出现这种不均匀特点。可见下滑道上的强侧风除了让降落飞机侧风超标外, 其出现区域性的侧风风速不均匀导致了较强的侧风切变, 两者共同造成飞机在此时段内频繁复飞。

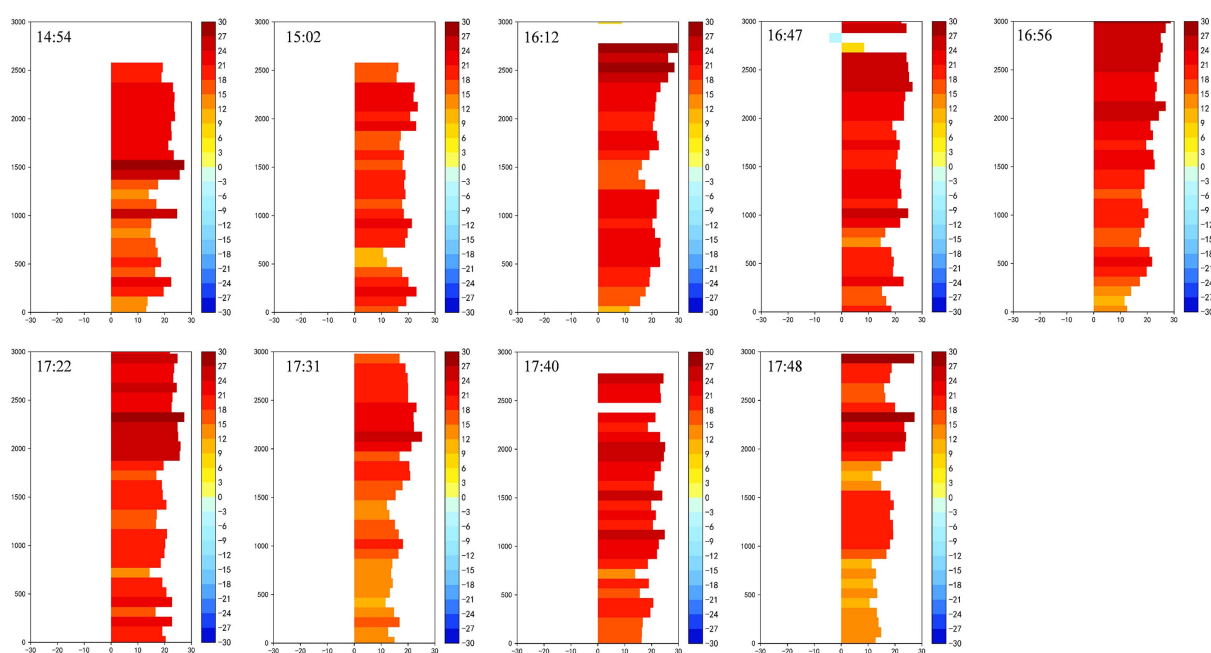


Figure 2. The crosswind wind speed (unit: m/s) obtained by scanning at a 3-degree elevation angle along the direction of runway R07

图 2. 为沿 R07 跑道方向下滑道以 3°仰角扫描的侧风风速(单位: m/s)

由于下滑道上侧风风速廓线无法直观获取强侧风的高度范围, 而风廓线模式计算的侧风可直观得到在不同高度上的侧风风速, 因此将两者共同使用, 更有利于把握下滑道上侧风的演变和影响。图 3 为激光雷达风廓线模式数据的水平风按 R07 跑道方向分解得到的侧风风速廓线, 时间为复飞时刻附近。由侧风风速廓线上看, 在 14:54 附近时段, 在 200~500 m 附近已经出现了接近于 20 m/s 强侧风层, 15:03、16:13 侧风风速最大均达到了 20m/s 以上, 且层次更低, 而在强侧风层上下的侧风风速只有 10 m/s 左右。17:23 后强侧风层的侧风风速有所减小, 但强侧风层的上下均出现较弱的侧风层, 这种“弱-强-弱”的侧风层结构使得飞机降落过程中在其上下边界上均可出现较强的侧风切变。

可见, 4 月 7 日夜间乌鲁木齐机场低空东南风层导致航班在降落过程中强侧风超标、强侧风层中的不均匀性及其“弱-强-弱”的垂直结构导致较强的侧风切变等共同造成航班出现频繁复飞事件, 这也与航班报告的复飞原因一致。

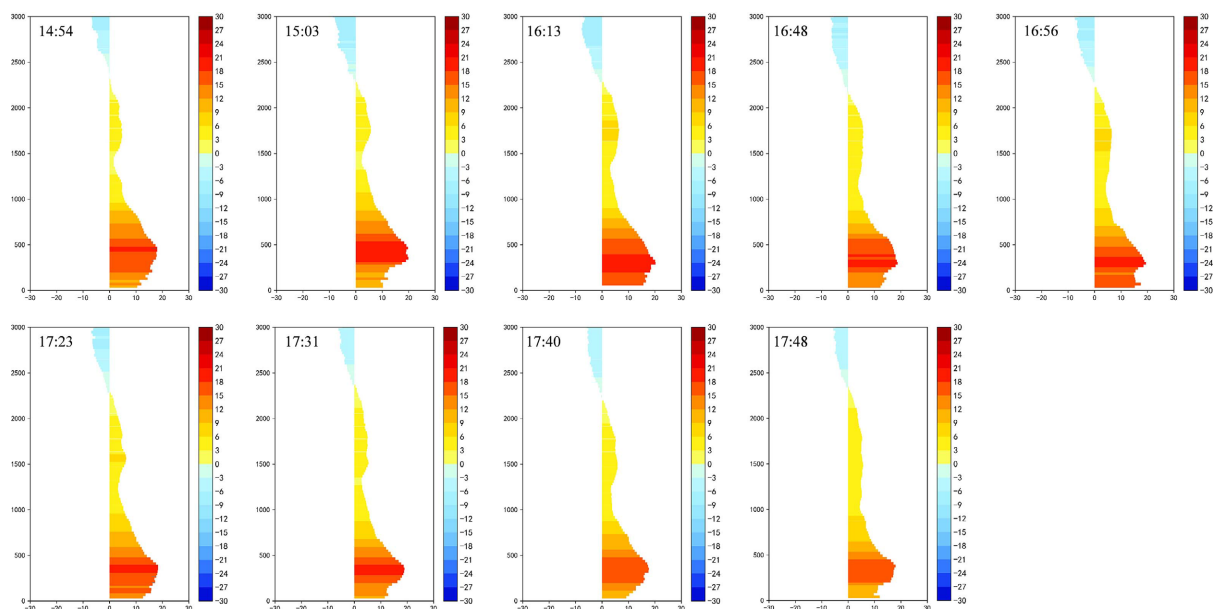


Figure 3. Represents the crosswind speed (unit: m/s) decomposed along the R07 runway direction obtained from the wind profile mode

图 3. 为风廓线模式沿 R07 跑道分解得到的侧风风速(单位: m/s)

4. 安全建议：跑道及低空风场综合监测告警方案的构想

对此次 13 架航班低空复飞的气象原因进行分析发现，跑道及低空下滑道侧风超标、较强的低空侧风切变是导致航班复飞的主要原因。强的低空侧风、风切变可能导致航空器在着陆过程中产生危险，因此若能够对跑道及低空风场的精细结构进行实时的监控，当侧风、顺风、风切变等重要要素达到一定阈值时，按照所使用的跑道方向对跑道及下滑道上的气象要素进行告警，可大大减轻气象人员低空风场结构监视的压力，也可为终端管制部门了解当前终端管制区域内的气象环境提供更直观的气象服务。

4.1. AWOS 风场数据

AWOS 风场数据的时间分辨率极高，达到了秒级，这些秒级数据主要通过串口读取方式实时在 AWOS 显示系统中进行展示。对于乌鲁木齐机场而言，将实时观测的风沿跑道分解为侧风和迎头风，并计算跑道两端的水平风切变，即可将该跑道有关风的航空要素进行监视，并可按给定阈值(如侧风 ≥ 10 m/s、水平风切变 ≥ 7.7 m/s)进行实时告警。基于 AWOS 的风切变告警产品已经整合到“气象信息综合服务系统”中向用户实时提供服务，取得了较好的效果。

4.2. 激光雷达资料监视跑道低空侧风、风切变

乌鲁木齐机场激光测风雷达于 2019 年安装使用后，在大风、风切变保障中发挥着重要的作用。激光测风雷达探测数据中包含了单点风廓线、沿下滑到扫描的风场数据、PPI 平面扫描数据以及风切变告警数据等。

上文中按照主降跑道计算单点风廓线的侧风廓线，并将下滑道扫描得到的侧风数据结合使用，较好的描述了导致此次天气下航班频繁复飞的原因。可见通过对这些要素的监视，既可实时监视到机场上空高度更高的强侧风和风切变，又可兼顾到高度较低的下滑道侧风，最终将两种产品以时间序列廓线提供给用户，用户能够实时查看到机场上空及下滑道上侧风及风切变随时间的演变，从而大致了解当前低空运行的气象环境状况。

如图 2、图 3 所示为 4 月 7 日航班复飞时间点最近时刻侧风廓线和下滑道扫描侧风。从侧风廓线上看, 4 月 7 日飞机复飞临近时刻, 在高度 300 m 左右有很强的侧风层, 500 m 以下侧风呈单锋型, 飞机将经历“弱-强-弱”的风速层, 必然产生明显的较强的风切变, 针对这种层次浅薄、高度较低的强侧风, 除了进行风切变告警外, 对侧风强度也应进行相应的告警。而从下滑道扫描的侧风来看, 在 R07 跑道头及其下滑道上, 存在 20 m/s 以上的强侧风, 但受雷达探测性能影响和安装位置, 当对 R07 下滑道进行探测时, R07 跑道延长线及更高的高度风的结构便难以探测到。可见将下滑道扫描方式与风廓线侧风综合使用, 可有效弥补下滑道扫描模式探测的缺陷。将时序和单时间点数据同时提供给用户, 用户既可了解到航空气象要素的演变趋势, 也可了解到要素在某个时间在垂直方向的细微结构。

激光测风雷达软件自带有风切变告警功能, 该告警功能采用表格方式实时显示风切变的强度、位置和高度, 当低空风场出现不连续时, 软件往往进行频繁的告警, 在实际应用中难以直观的捕捉到频繁告警的时段。由于激光雷达风切变告警有较高的虚警率, 在对 4 月 7 日航班复飞时段的告警数据进行处理时发现, 利用激光雷达软件告警数据按逐 5 min 计算前 30 min 内告警次数来反映出风切变告警次数激增的时间, 在设定一定阈值条件下能够有效减少激光雷达风切变告警的虚警率。这种处理可能出现漏报, 在实际使用前, 需针对天气形势进行分类, 如区域性东南大风、系统性西北大风、雷暴大风、热力风场扰动等进行更多的研究, 寻求更好的阈值, 尽量减少漏警情况。

4.3. 跑道低空风场综合监测告警的组合概念模型

通过上述分析发现, 对分散的航空气象要素数据进行整合和二次计算, 构建一种机场及其低空的综合风场监控十分必要。将跑道风数据与机场上空风场数据融合到一起, 针对对飞行可能产生影响的迎头风、侧风和风切变的时间演变进行显示, 实时为终端管制部门用户提供机场附近当前的气象环境信息, 可为终端管制运行决策提供参考。组合概念模型如图 4 所示。

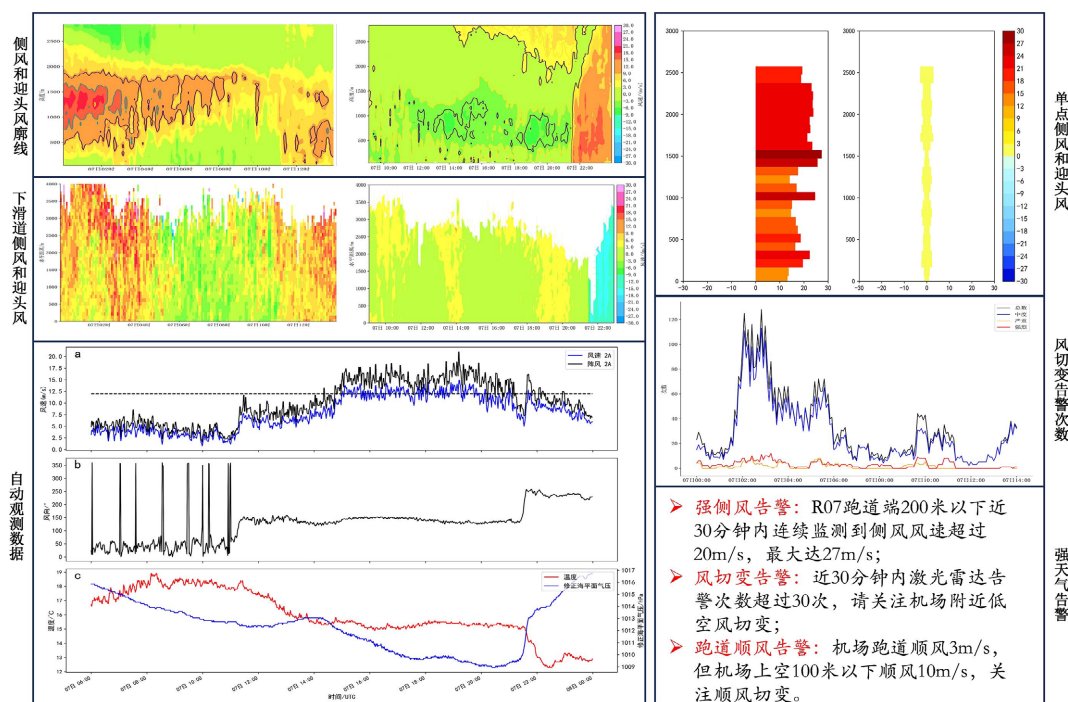


Figure 4. Airport runway and low-level wind shear warning display model

图 4. 机场跑道及低空风场监视告警显示模型

正如上文所述,将风廓线模式和下滑道模式的侧风、迎头风综合应用,既可监测更高的高度,又可兼顾下滑道。根据对13架航班复飞的高度进行分析发现,复飞高度基本都在350 m以下高度,因此监控告警的重点主要是在低空飞机准备着陆和正在着陆阶段的高度上,当此阶段出现强顺风、强侧风时,若在一定时间内持续出现,则应该在强天气告警模块中提醒预报人员和终端管制人员注意机场低空风场环境,及时提醒机组调整降落对策。

在跑道上,实时监控跑道的风向风速、两端的侧风、迎头风及水平风切变,当出现持续的侧风超标、持续水平风切变超过警戒线等,及时进行告警,提醒预报人员和塔台管制员。

对于低空风切变,得益于高时空分辨率的激光雷达数据,既可根据激光雷达廓线数据计算风切变,还可直接利用激光雷达风切变告警数据。本模型中通过对激光雷达告警资料进行滑动处理,按照给定阈值即可进行低空风切变告警,相对于原激光雷达低空风切变告警来说,此模型可监视到告警次数激增和持续的过程,有效减少了局地性微尺度湍流或数据边界计算导致的风切变虚警,增强了数据可用性。但这种方式处理后,对一些热力性尺度相对较大的湍流有造成漏报可能。

此概念模型是对后续建设如风廓线雷达、激光雷达等进行跑道低空风场探测时与跑道自观等数据在软件端集成方案的一种探讨。以此次13架航班复飞的不正常事件为例,通过分析提炼出在此类大风条件下需要关注的航空气象要素,结合数据源提出机场跑道及其低空风场综合监视告警的方案,并将数据提供给气象预报用户和终端管制用户,无疑对提高气象预报服务和安全保障能力有一定的价值。

5. 结论

通过对2023年4月7日夜間乌鲁木齐机场东南大风下13架航班在低空复飞的不正常事件原因进行分析,结果如下:

1) 4月7日夜間13架航班复飞发生在乌鲁木齐机场低空东南大风层影响过程中,此时是机场航班进港高峰期,R07跑道下滑道20 m/s以上的强侧风使得飞机在低空侧风超标,同时下滑道上强侧风层风速的不均匀性引起较强的侧风切变,使得航空器在R07跑道降落过程中操纵困难导致复飞。

2) 激光雷达的侧风风速演变及其不均匀性在一定程度上揭示了飞机复飞时遭遇的强侧风以及因为强侧风层的不均匀性导致的侧风切变,在此类天气的预警预报服务中可作为有用参考。

3) 提出跑道低空风场综合监测告警的组合概念模型,可综合利用跑道AWOS资料、激光测风雷达资料及其再次计算的侧风、风切变等数据,从点到面对跑道以及跑道低空侧风、风切变进行有效的监测和告警,为航空运行实时提供有关跑道和下滑道风切变、强侧风的告警服务,使得终端管制人员能够实时了解机场及周边运行气象环境,对保障航空飞行安全十分有利。

基金项目

民航新疆空中交通管理局科技项目《乌鲁木齐东南大风天气的航空气象预报与服务研究》。

参考文献

- [1] 刘德懿. 低高度复飞的安全思考[J]. 中国民用航空, 2012(6): 41-43.
- [2] 董宗戈, 邓凯, 蔡旺. 大气探测激光雷达技术发展综述[J]. 光电技术应用, 2022, 37(6): 53-57.
- [3] 王青梅, 郭利乐. 激光雷达在机场低空风切变探测中的应用[J]. 激光与红外, 2012, 42(12): 1324-1328.
- [4] Hobois, L., Cariou, J.P. and Gultepe, I. (2019) Review of Lidar-Based Applications for Aviation Weather. *Pure and Applied Geophysics*, 176, 1959-1976. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-2058-8>
- [5] 梁希豪, 杨寅, 冯亮, 等. 基于测风激光雷达银川机场动量下传大风特征研究[J]. 激光技术, 2023, 47(3): 432-438.

-
- [6] 吴俊杰, 王耀辉, 徐足音, 等. 基于多普勒激光雷达的机场边界层高度研究[J/OL]. 激光技术: 1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1125.TN.20230404.1834.002.html>, 2023-05-19.
- [7] 李肖雅, 禹智斌, 刘冬, 等. 大风背景下首都机场两条跑道低空风切变特征统计[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(12): 294-302.
- [8] 张曦, 张建军, 丁媛媛, 等. 机场多普勒激光雷达风切变探测与识别[J]. 气象科技, 2021, 49(2): 184-191. <https://doi.org/10.19517/j.1671-6345.20200142>
- [9] 张开俊, 伏龙延, 李兰倩, 等. 基于激光测风雷达的两种低空风切变告警算法对比研究[J]. 干旱气象, 2021, 39(4): 652-661.
- [10] 华志强, 黎倩, 黄轩, 等. 激光测风雷达在航空保障中的典型应用分析[J]. 激光技术, 2020, 44(5): 600-604.
- [11] 代冰冰, 何敏, 杨靖新, 等. 利用激光雷达判别机场晴空风切变事件成因[J]. 气象科技, 2021, 49(4): 589-596. <https://doi.org/10.19517/j.1671-6345.20200287>
- [12] 黄轩, 郑佳锋, 张杰, 等. 西宁机场一次低空风切变的结构和特征研究[J]. 激光技术, 2022, 46(2): 206-212.
- [13] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986.