

乌鲁木齐机场风切变特征分析及对新跑道建成后风切变告警系统的思考

丁 旭, 陈阳权, 胡建军

中国民用航空新疆空中交通管理局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年12月10日; 录用日期: 2024年1月8日; 发布日期: 2024年1月16日

摘要

本文利用机场AWOS资料、激光测风雷达资料及新疆区域航空器空中报告对2020~2023年新疆空域内航路危险天气事件进行统计, 并对风切变进行着重分析, 结果表明: 1) 风切变是对航路影响最大的危险天气。2) 机场东南大风时风切变强度较强, 持续时间长, 出现风切变的频数较大。跑道两端风速差越大, 风向差越大, 水平风切变越强。3) 可利用三条跑道AWOS可实现对机场平面的风切变进行监测和告警, 结合激光测风雷达产品, 构建时间连续性强、时空分辨率高的机场低空三维风切变监视模型, 提供有效的风切变告警产品, 对保障机场低空飞行安全来说是有价值的。

关键词

危险天气, 风切变, 三维风场, 监测系统, 告警系统

Analysis of Wind Shear Characteristics at Urumqi Airport and Consideration of Wind Shear Warning System after the Completion of New Runway

Xu Ding, Yangquan Chen, Jianjun Hu

Meteorological Center, Xinjiang Air Traffic Management Bureau, Civil Aviation Administration of China, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 10th, 2023; accepted: Jan. 8th, 2024; published: Jan. 16th, 2024

Abstract

In this paper, using AWOS data, laser wind radar data and Xinjiang regional aircraft air report to

文章引用: 丁旭, 陈阳权, 胡建军. 乌鲁木齐机场风切变特征分析及对新跑道建成后风切变告警系统的思考[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(1): 83-89. DOI: 10.12677/ccrl.2024.131010

make statistics on hazardous weather events in Xinjiang airspace during 2020~2023, and focuses on wind shear analysis. The results show that: 1) Wind shear is the hazardous weather with the greatest impact on flight paths. 2) Wind shear is stronger and lasts longer when the airport is windy from the southeast, and the frequency of wind shear is higher. The greater the difference in wind speed between the two ends of the runway, the greater the difference in wind direction, the stronger the horizontal wind shear. 3) The three runway AWOS can be used to monitor and warn the wind shear in the airport plane, and combined with the laser wind radar products, to construct a three-dimensional wind shear monitoring model with strong time continuity and high spatial and temporal resolution in the low altitude of the airport, and to provide effective wind shear warning products, which is valuable to ensure the safety of low altitude flights in airports.

Keywords

Hazardous Weather, Wind Shear, Three-Dimensional Wind Field, Monitoring System, Warning System

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

随着经济快速发展，人民群众对航空运输业的需求日益增长。我国航空运输业也迎来了新的发展与挑战。近年来，因晴空颠簸、大风、风切变、积冰等天气原因造成的航空不正常事件逐年增多，甚至造成多名旅客及机组人员受伤。危险天气严重威胁着航空飞行的安全[1]、效率和正常，一直以来备受民航交通运输业及航空气象服务部门的关注。

为此民航气象工作者针对航空危险天气做了大量研究。颜玉倩等[2]对研究认为微下击暴流条件下出现的小高压环流，易产生辐散风诱发水平风切变，导致飞机低高度复飞。王楠等[3]利用乌鲁木齐机场激光测风雷达数据对机场低空风切变风场结构进行研究，分析了冷锋条件下机场低空小尺度冷空气活动的演变过程及结构特征。张茜等[4]对一次春季东南大风天气过程进行分析表明，东南大风持续期间跑道两端易出现明显风速差，使风切变值超过安全阈值。陈阳权等[5]使用世界区域预报中心提供的颠簸、积冰产品构建了新疆区域航路预报系统，为用户提供由点及面的区域飞行气象产品。

在对航路危险复杂天气分析的基础上，本文利用机场自动气象观测系统资料、激光测风雷达资料、新疆区域航空器空中报告对 2020 年 1 月 28 日~2023 年 4 月 27 日区域内的航路危险天气事件进行统计，针对其中的风切变进行分类分析，了解其时空变化规律、结构特征、成因及影响。为今后不同天气条件下的风切变预报提供一定的参考，以期进一步提高风切变预报预警能力，最大限度的减少天气对航空运行安全与效率造成危害。

2. 所用资料

文中使用的资料主要包括：

- 1) 新疆区域航空器空中报告，其中包括航路危险天气种类、时间、高度、强度、成因等资料；
- 2) 乌鲁木齐机场的自动观测数据；
- 3) 激光测风雷达资料。

3. 航路重要天气要素统计

陈阳权等[5]对新疆区域 2020 年 1 月 28 日至 2021 年 5 月 16 日的航路天气要素进行统计分析, 本文在此工作基础上, 更新了统计资料的时间范围, 增加 2021 年 5 月 17 日~2023 年 4 月 27 日的话音方式航空器空中报告的内容。在此期间乌鲁木齐机场共收到航空器报告 2028 份, 其中颠簸报告 1782 份, 积冰报告 109 份, 风切变报告 115 份, 8.4 海里颠簸报告 74 份, 其他报告 52 份。

据统计, 影响航路的主要天气类型为颠簸, 其次为积冰、风切变、8.4 海里颠簸。造成航路危险天气的成因主要为急流(935 份), 其次为 8.4 海里颠簸、风场变化大、不明原因(370 份)及高空槽(341 份)。受东南风层和对流云影响分别为 195 及 119 份; 受低涡、冷锋、切变线、山地波及地形影响较少, 共计 68 份。

风切变对飞行影响最大, 造成了 72% 的航空器复飞、备降或返航; 其次为其它, 包括风速风向变化大、风场不连续、气流紊乱等, 占比 21%, 这种情况虽然没有直接报告风切变, 但对航空运行来说其影响与风切变的影响同样重要; 可见风切变与航空器正常运行有着密不可分的关系。

针对风切变造成的影响和其成因进行深入分析, 近三年风切变导致 24% 的航班复飞, 3% 的航班备降及 2% 的航班返航, 另有 71% 的航班在起飞、着陆及航路飞行时因风切变产生了其它影响。出现风切变的原因主要包括对流云(17 份)、东南风层(12 份)、高空槽(12 份)等, 其中对流云、东南风层及急流占比较大, 低涡及切变线数量较少。

4. 乌鲁木齐机场风切变特征分析

作为严重威胁飞行安全的天气, 风切变与航空飞行活动的安全和正常密不可分。本文统计了乌鲁木齐机场及终端区内航空器起降及飞行过程中的 32 份风切变报告。结果表明: 导致风切变的主要原因为东南大风, 底高主要在 1000 米以下, 强度为轻度; 其次为风向风速变化不连续, 在各高度层均有可能出现; 由对流云引起的风切变主要在航空器起降过程中发生, 强度未知, 高度较低, 对飞行安全危害较大; 因切变线造成的风切变数量较少, 仅 2 份, 但影响高度低, 一般在跑道入口或跑道末端。

5. 天气案例

5.1. 2022 年 4 月 30 日至 5 月 2 日东南大风

5.1.1. 天气概况及对飞行的影响

如图 1 所示, 2022 年 4 月 30 日 02:00 乌鲁木齐机场出现东南大风天气, 16:00 后机场风速明显增大, 平均风 $\geq 12 \text{ m/s}$, 阵风 $\geq 17 \text{ m/s}$ 。14:30 后, 东南风再次加大, 平均风速维持在 12 m/s 以上, 阵风风速最大达到 24 m/s, 持续至 2 日 08:00 后平均风降至 10 m/s 以下。整个东南大风过程持续 55 个小时, 东南大风期间, R07 号跑道风速大于 R25 号跑道风速。

此次东南大风天气强度较强, 持续时间久, 对航空运行产生了较大影响。4 月 30 日~5 月 2 日机场运行保障共 358 架次, 因天气原因出港延误 49 架次, 延误超两小时航班 18 架次, 备降 29 架次。

5.1.2. 风切变特征分析

图 2 为乌鲁木齐机场 R07 及 R25 号跑道风场时间变化序列图, 如图所示, 东南大风期间, 跑道两端风向差整体小于 30°, 30 日 00:00~06:00、20:00~2 日 05:00 期间, 跑道两端风速差 $\geq 5 \text{ m/s}$, 30 日 05:00 前后, 30 日 20:00~1 日 07:00 水平风切变超过 7.7 m/s 的警戒标准。可见此次东南大风在跑道上分布不均匀, 风向变化小, 风速差较大, 多时间段出现水平风切变超标准情况。

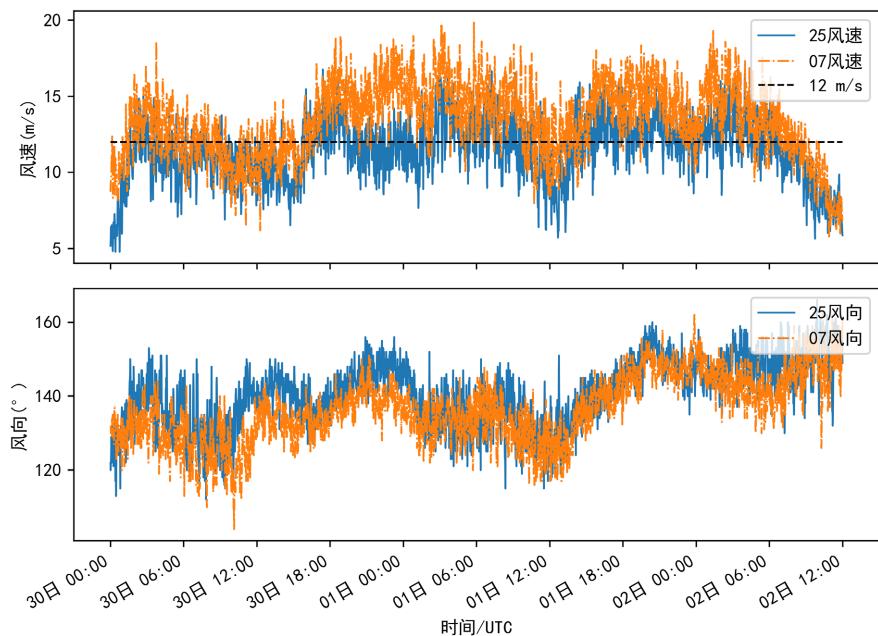


Figure 1. Time series diagram of wind direction and wind speed changes at runways R07 and R25 of Urumqi Airport from 00:00 April 30 to 12:00 May 1. (The blue solid line is the wind direction and speed of runway R25, the orange dashed line is the wind direction and speed of runway R07, and the black dashed line represents the wind speed of 12 m/s)

图 1. 乌鲁木齐机场 4 月 30 日 00 时~5 月 1 日 12 时 R07 及 R25 号跑道风向风速变化时间序列图。(蓝色实线为 R25 号跑道风向风速, 橘色虚线为 R25 号跑道风向风速, 黑色虚线代表风速为 12 m/s)

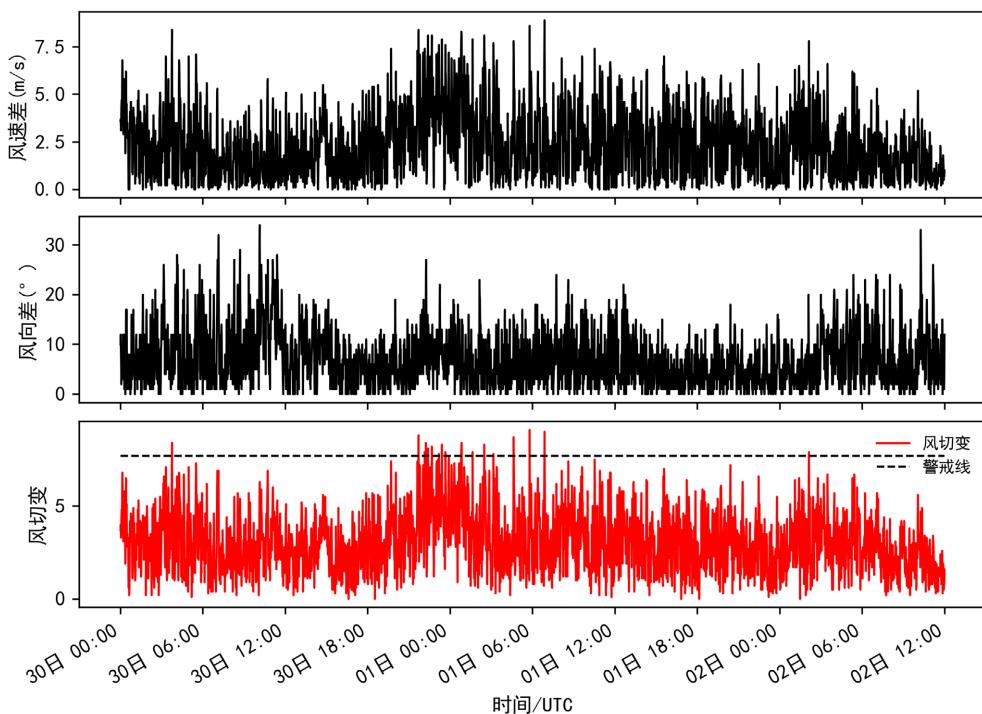


Figure 2. Time series diagram of wind speed difference (m/s), wind direction difference (°) and horizontal wind shear (m/s) at runways R07 and R25 of Urumqi International Airport from 00:00 April 30 to 12:00 May 1, 2022 (black dashed line represents wind shear of 7.7 m/s)

图 2. 2022 年 4 月 30 日 00:00~5 月 1 日 12:00 乌鲁木齐机场 R07 及 R25 号跑道风速差(m/s)、风向差(°)及跑道水平风切变(m/s)时间变化序列图(黑色虚线代表风切变为 7.7 m/s)

为了定量研究跑道两端风向差及风速差大小对风切变值的影响，本研究将东南大风天气过程期间跑道两端的风向、风速差进行分级研究。

从图 3(a)可以看出，风向差大于 90°时，尤其是风速差大于 2 m/s 时，易出现风切变超标。在同一风速差的情况下，跑道两端风向差越大，风切变越强。

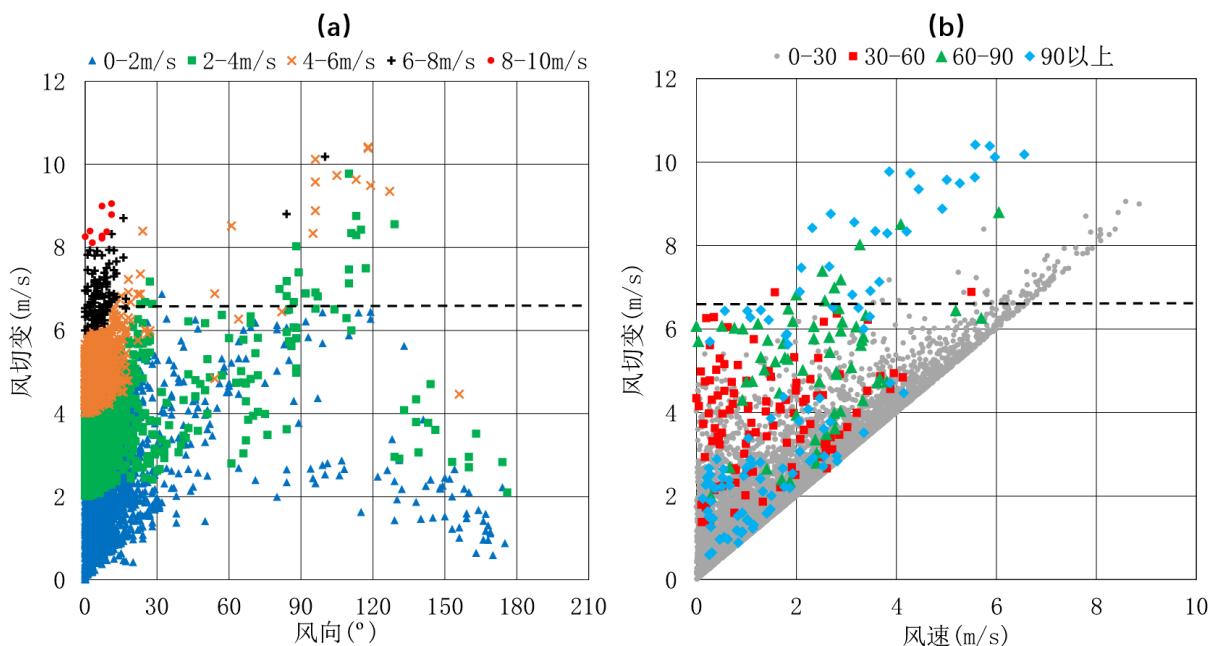


Figure 3. Scatter plot of wind speed difference, wind direction difference and wind shear value in the direction of runway 07-25 at Urumqi Airport from 00:00 April 30 to 12:00 May 1, 2022. (a) Wind speed; (b) Wind direction

图 3. 2022 年 4 月 30 日 00:00~5 月 1 日 12:00 乌鲁木齐机场跑道 07-25 方向风速差、风向差及风切变值的散点图。(a) 风速; (b) 风向

除了分析跑道两端的水平风切变特征外，利用 FC-III 型激光测风雷达资料可对乌鲁木齐机场上空低层风场的三维结构特征进行分析。

选取东南大风天气过程中具有代表性的时次的风场结构进行分析，获得航空器在起降过程中迎头风及侧风风场结构特征。图 4 是乌鲁木齐机场激光雷达 R07 及 R25 号跑道的侧风和迎头风廓线，由图 4(a)可知 R07 跑道方向迎头风风速变化不均匀，成波动变化，迎头风向变化不一致，呈顺-逆-顺变化。R07 号跑道侧风变化不均匀，0~1000 米范围内跑道上为右侧风，风速呈上升趋势，最大侧风风速达 27 m/s；1000~2800 米侧风风速逐渐减小至 3 m/s (图 4(b))。R25 号跑道整体为小于 9 m/s 的顺风(图 4(c))。侧风风速分布不均匀，有明显风速波动，最大侧风风速达 30 m/s (图 4(d))，航空器难以保持稳定姿态。综上可知，跑道上迎头风及侧风方向突然转变，侧风风速变化剧烈时，均易产生低空风切变，危害航空器飞行安全。

图 5 是乌鲁木齐机场激光雷达数据计算的 500 米高度以下水平风的垂直切变，所使用的标准为国际民航组织发布的风切变强度标准。由图可见，东南大风期间机场上空 500 米高度以下出现较为明显的风切变，在 200 米以下，出现了持续时间较长的中度到强烈的风切变。尤其在 1 日 18:00~2 日 00:00 期间 200~400 米高度层风切变显著加强，200 米高度以下风切变强度达到严重级别。在此类大范围长时间的强侧风以及低空有持续且强烈的风切变条件下，航空器在进近、起降过程中受不稳定气流的影响，会出现偏离跑道、难以保持飞行姿态、着陆困难等安全威胁。

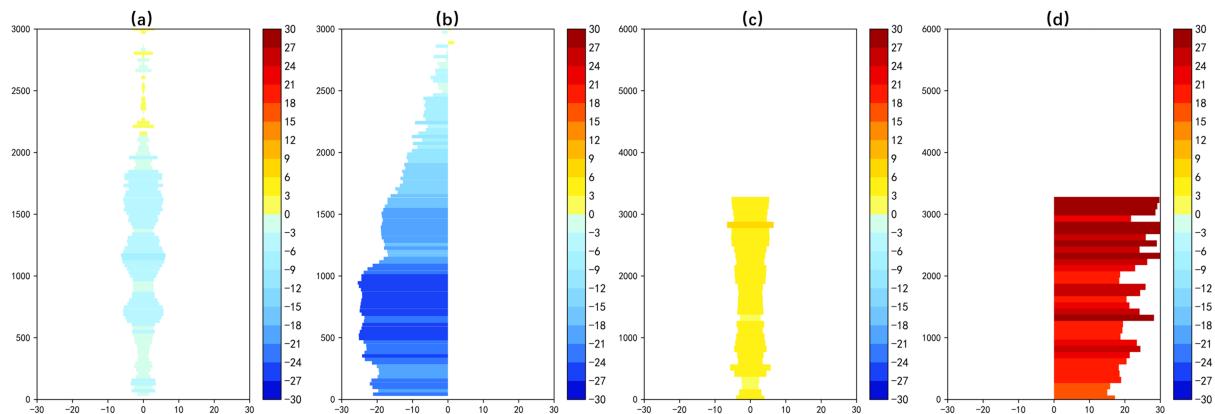


Figure 4. Crosswind and head-on wind profiles of LiDAR runways R07 and R25 at Urumqi Airport 1 May 2022 14:48. (a) Head-on wind on Runway R07; (b) Crosswind on Runway R07; (c) Head-on wind on Runway R25; (d) Crosswind on runway R25

图 4. 乌鲁木齐机场激光雷达 R07 及 R25 号跑道的侧风和迎头风廓线。2022 年 5 月 1 日 14:48。(a) R07 号跑道迎头风; (b) R07 号跑道侧风; (c) R25 号跑道迎头风; (d) R25 号跑道侧风

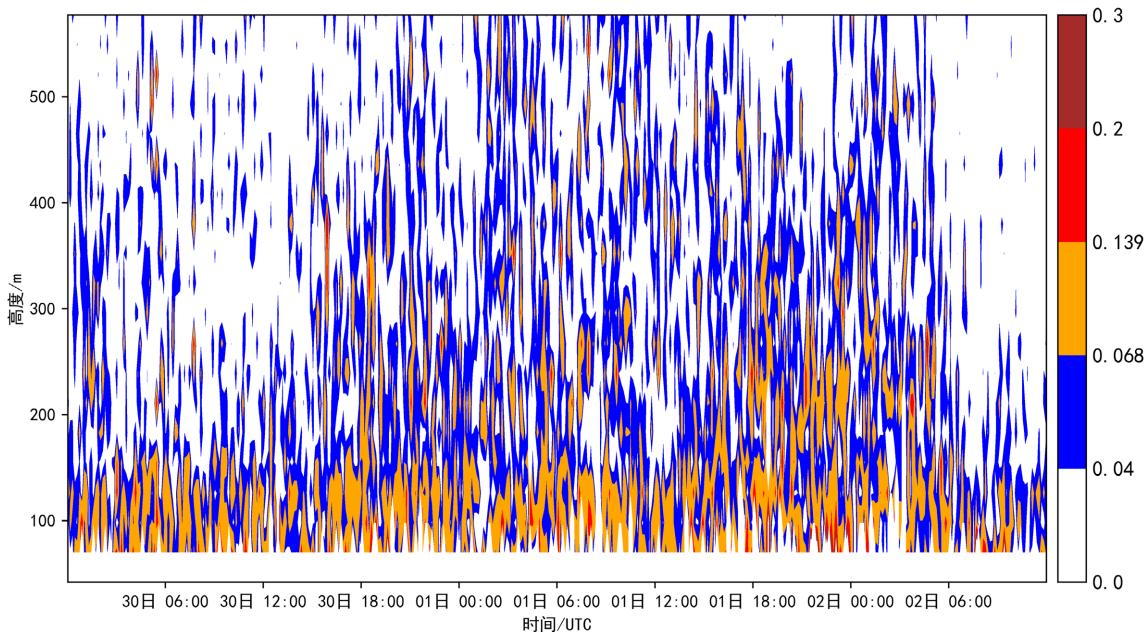


Figure 5. Vertical shear profile of horizontal wind over the airport (calculated with a height interval of 27 m, unit: 1/s)

图 5. 机场上空水平风的垂直切变廓线(计算时以 27 m 为高度间隔, 单位: 1/s)

6. 关于风切变监测预警的建议

目前乌鲁木齐机场气象部门通过计算跑道两端风向风速及风切变的变化情况, 对单条跑道水平风切变进行监测和告警, 提高了对跑道上风切变告监测和告警能力。随着机场改扩建工程的推进, 乌鲁木齐机场将同时运行三条跑道, 这对更大范围风场变化的预报提出了新的要求和挑战。

面对这一问题, 一方面可以通过对三条跑道六端风场数据进行计算得到单条跑道两端、不同跑道之间风切变, 对跑道面上的水平风切变进行监视和告警。另一方面可以利用激光测风雷达产品对本场及上空风场进行二次计算, 得到时间及空间上连续的迎头风、侧风及风切变等资料。结合跑道面上的风场及风切变数据, 构建时间连续性强、时空分辨率高的低空三维风场及风切变监测和告警模型, 实时对机场

跑道及其下滑道的风切变进行监视，当出现风切变、强侧风、强顺风、风场不均匀等情况及时向气象、管制人员发出告警，有助于气象人员及时发布风切变预警，也有利于管制人员在风切变发生时及时采取措施，最大限度保障航空器飞行安全。

7. 结论

- 1) 影响飞行的航路危险天气主要有颠簸、晴空颠簸、积冰、风切变、雷暴等，其中风切变对飞行的影响最大，且在东南大风、风场变化不连续及对流天气下最易产生风切变。
- 2) 东南大风时风切变强度较强，持续时间较长，出现风切变的频数较大。跑道两端风速差越大，风向差越大，水平风切变越强。
- 3) 目前气象部门已经基于现有单条跑道 AWOS 数据进行跑道水平风切变的监测和告警，随着二、三跑道建设，利用三条跑道 AWOS 可实现对机场平面的风切变进行监测和告警，结合激光测风雷达产品，构建高时空分辨率的机场低空三维风切变监视模型，提供有效的风切变告警产品，对保障机场低空飞行安全来说是有价值的。

基金项目

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] 刘苗. 严重风切变，两度失速警告！首航飞机起落架断裂备降深圳真相查明[EB/OL]. <http://pc.nfapp.southcn.com/1365/2088748.html>, 2019-11-21.
- [2] 颜玉倩, 田维东, 李金海, 等. 多源数据在高原机场一次低空风切变过程分析中的综合应用[J]. 高原气象, 2020, 39(6): 1329-1338. <https://doi.org/10.7522/j.issn.1000-0534.2020.00035>
- [3] 王楠, 尹才虎, 刘晓明, 等. 乌鲁木齐机场一次冷锋型低空风切变过程的 LiDAR 分析[J]. 激光技术, 2023, 47(4): 565-571.
- [4] 张茜. 乌鲁木齐机场春季东南大风的多资料天气过程及风切变分析[J]. 地理科学研究, 2022, 11(5): 478-490. <https://doi.org/10.12677/gser.2022.115049>
- [5] 陈阳权, 杜安妮, 丁旭, 等. 新疆区域航路天气要素分析及预报系统构建[J]. 气象水文海洋仪器, 2022, 39(2): 93-95.