

乌鲁木齐机场一次高影响东南大风天气分析

刘 佳

民航新疆空管局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年12月22日; 录用日期: 2024年1月19日; 发布日期: 2024年1月26日

摘 要

本文利用FNL 0.25×0.25 再分析数据、机场跑道自动观测(AWOS)资料和常规观测资料对乌鲁木齐机场2023年4月7~8日的一次高影响东南大风进行分析, 结果表明, 此次东南大风主要由锋前减压引起, 地面呈现“东高西低”“南高北低”的气压场形势。通过对跑道风切变指数进行分析, 风切变指数超过阈值的时段与飞行影响较大的时段有较好的对应关系。

关键词

风切变, 锋前减压, 气象服务保障

Analysis of a High Impact Southeast Gale Weather at Urumqi Airport

Jia Liu

Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Control Bureau of CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 22nd, 2023; accepted: Jan. 19th, 2024; published: Jan. 26th, 2024

Abstract

In this paper, FNL 0.25×0.25 reanalysis data, airport runway automatic observation (AWOS) data and conventional observation data are used to analyze a high-impact southeast gale at Urumqi Airport on April 7~8, 2023. The results show that the southeast gale is mainly caused by pre-front pressure reduction. The ground presents a pressure field situation of “high in the east and low in the west” and “high in the south and low in the north”. Based on the analysis of the runway wind shear index, the time period when the wind shear index exceeds the threshold has a good correspondence with the time period when the flight influence is high.

Keywords

Wind Shear, Front Decompression, Meteorological Service Guarantee

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

乌鲁木齐东南大风是在特殊地形和天气形势下形成的山谷风[1]。乌鲁木齐地处东南-西北向的峡谷西北开口端,地势呈现东南高西北低的特点,当峡谷两侧出现地面气压场南高北低的形势,在气压梯度力和“狭管效应”的作用下,乌鲁木齐一带常常会出现东南大风[2]。东南大风具有起风突然、阵性强、风力强及季节性明显等特点,易伴随出现沙尘天气,引起风切变和空中颠簸[3]。

风切变被喻为严重威胁飞行安全的“隐形杀手”,根据研究,东南大风是诱发乌鲁木齐机场风切变最为频繁和严重的天气,在引起风切变的天气中占比达到56% [4] [5]。针对东南大风的研究,机场气象专家针对环流背景、气象要素变化特征、风切变特征等方面[6] [7] [8] [9] [10],得到大量在东南大风预报工作中可以借鉴的结论,为此类天气保障提供有效参考。

本文选取2023年4月7~8日的一次高影响东南大风天气进行研究,拟从环流形势、物理量要素变化和风切变指数等方面进行天气原因分析,为今后此类的东南大风天气风向风速和风切变的预报提供依据。

2. 资料选取

本文利用美国环境预报中心(NCEP)的FNL 0.25×0.25 再分析数据、地窝堡机场跑道自动观测系统观测资料(简称AWOS)资料和常规观测资料、针对此次天气过程的预报保障产品等对2023年4月7~8日的东南大风天气过程及风切变指数特征进行分析,为今后此类东南大风的预报提供一定参考。

本文风切变指数计算公式:

$$\beta = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 - 2u_1u_2 \cos \theta}$$

其中, u_1 、 u_2 分别为中间跑道与07号跑道两端的风速, θ 指中间跑道及07号跑道的风向差,根据中间跑道与07跑道之间的距离,取3.85 m/s作为出现风切变的临界阈值。

3. 天气实况及影响

2023年4月7~8日,受锋前减压影响,乌鲁木齐地区出现区域性东南大风天气。图1(a)为AWOS资料中07号跑道2分钟平均风速和极大风速随时间的变化。如图所示,乌鲁木齐机场4月7日19:20~8日05:30出现东南风,根据东南大风的定义:风向 $110^\circ \sim 170^\circ$,平均风速不小于12 m/s或者阵风风速不小于17 m/s;此次达到东南大风标准的时段为7日23:00~8日04:00(图1灰色阴影部分),时长达到五个小时,期间,07号跑道出现极大风速21 m/s,07号跑道的东南大风整体强度略大于25号跑道。8日05:39东南风急转偏西风,平均风8~13 m/s,阵风14~18 m/s,短时扬沙,能见度4000米,07:30后偏西风开始减小,维持在4~8 m/s,能见度好转至10公里以上。

东南大风期间,飞机起降一般转换为07号跑道,因此,采用07号跑道的AWOS数据进行分析。东南风相对于跑道具有 90° 的夹角,因此强烈的东南大风天气容易使得飞机起飞或者降落时侧风超标,对飞

行安全造成威胁。由图 1(b)得知, 7 日 23:00~8 日 05:00, 07 号跑道侧风风速大于等于 10 m/s, 维持逆风, 期间, 07 号跑道最大侧风达到 14 m/s, 远超侧风标准。东南风急转偏西风后, 侧风风速骤降, 07 号跑道由逆风急转为顺风。

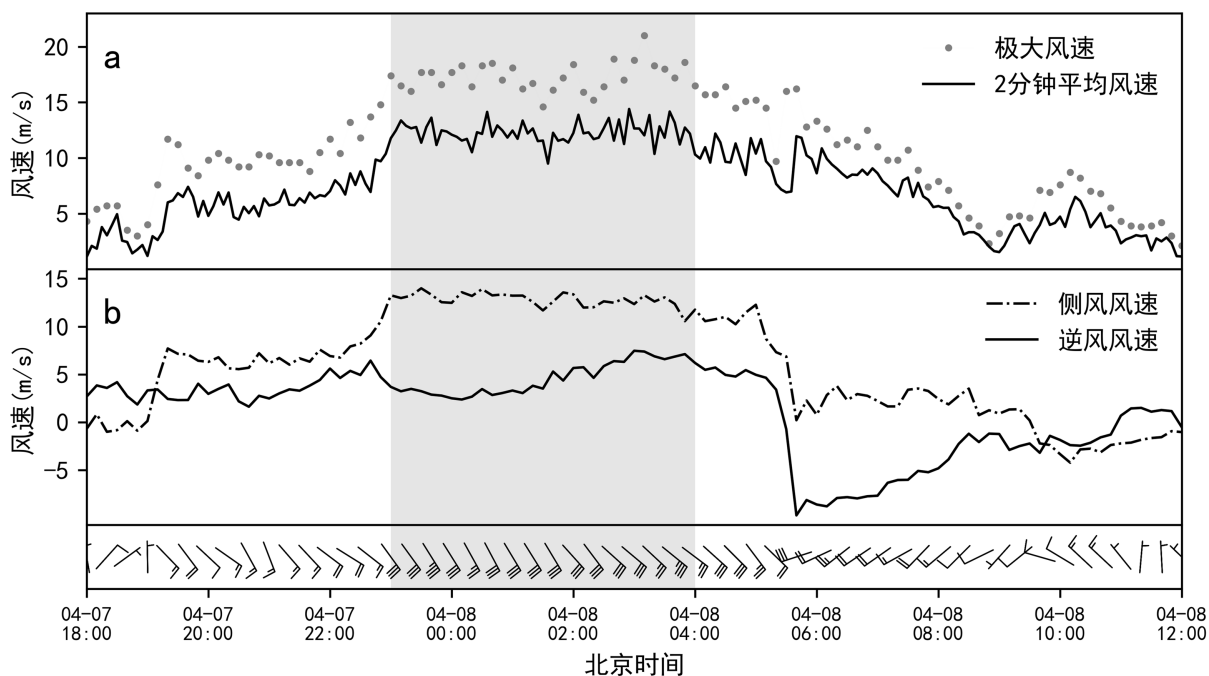


Figure 1. AWOS wind direction wind speed (a) and crosswind and headwind wind speed (b) of Runway 07 of Urumqi Airport (unit: m/s) (The shaded part is the southeast wind period)

图 1. 乌鲁木齐机场 07 号跑道 AWOS 风向风速 (a)和侧风和逆风风速 (b) (单位: m/s) (阴影部分为东南大风时段)

由图 2 可见, 东南大风期间, 本场晴朗少云, 机场夜间温度未随日变化出现明显下降, 基本维持在 14℃~16℃之间, 东南风转偏西风后, 机场温度快速下降 2℃。4 月 8 日 06 时前, 机场 3 小时变压值一直为负值, 说明东南大风期间, 本场一直处于减压, 8 日 1:003 小时变压值达到最大值 -3.24 hPa, 东南风转偏西风后, 本场气压值迅速升高, 3 小时变压值最大达到 7.7 hPa, 升压后南高北低的形势场逐渐被破坏, 不利于东南风的维持。

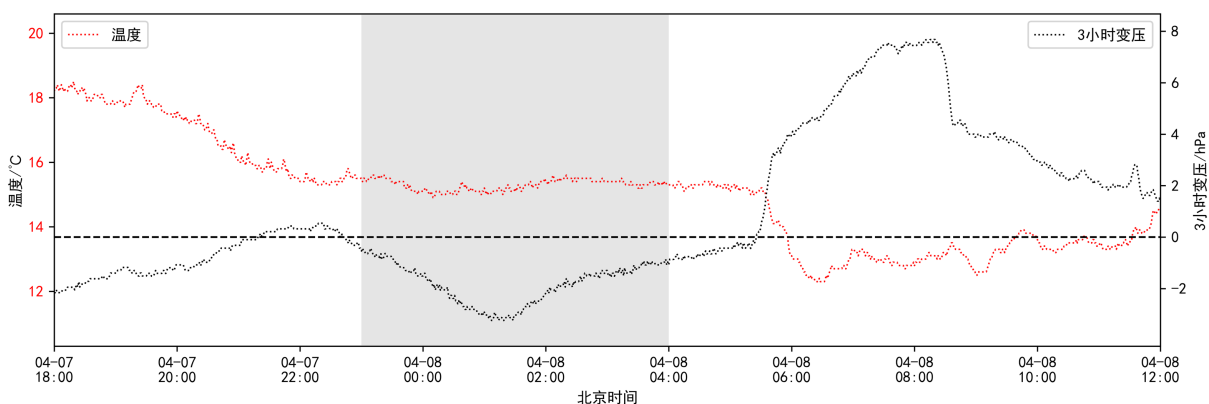


Figure 2. Temperature and 3-hour variable pressure at Urumqi Airport (The shaded part is the southeast gale time)

图 2. 乌鲁木齐机场温度与 3 小时变压(阴影部分为东南大风时段)

根据经验, 春秋季节东南大风出现时, 达坂城与机场的气压差具有良好的相关性。分析东南风期间的压差发现(图略), 东南大风出现前期, 达坂城与机场的压差维持在 5 hPa 左右, 此时乌鲁木齐机场平均风速 5~10 m/s, 阵风 10~15 m/s; 当压差达到 6 hPa 及以上时, 本场东南风明显增大; 压差从 6 hPa 急剧减小时, 本场气压开始升高, 气压梯度力减小, 东南风急转偏西风。

此次东南大风具有风力强, 影响大的特点。分析 1 min 间隔的 AWOS 资料发现, 东南风阵性明显, 忽大忽小, 同一时刻跑道两可能会出现风向风速的不连续, 易在跑道上形成水平风切变。而东南大风出现时段, 正值乌鲁木齐机场航班进港高峰期, 易对飞行造成威胁。查阅航班数据发现, 东南风期间, 因风向风速变化大造成 14 架航班复飞, 因天气原因有 27 架航班备降, 其中, 在 7 日夜间 22:00~8 日 01:00 三个小时内造成航班复飞 13 架次, 备降 10 架次; 东南风转西北风后因扬沙天气又造成 1 架次航班复飞。可见, 此次东南大风天气对航班运行造成了较大的影响。

4. 天气学诊断分析

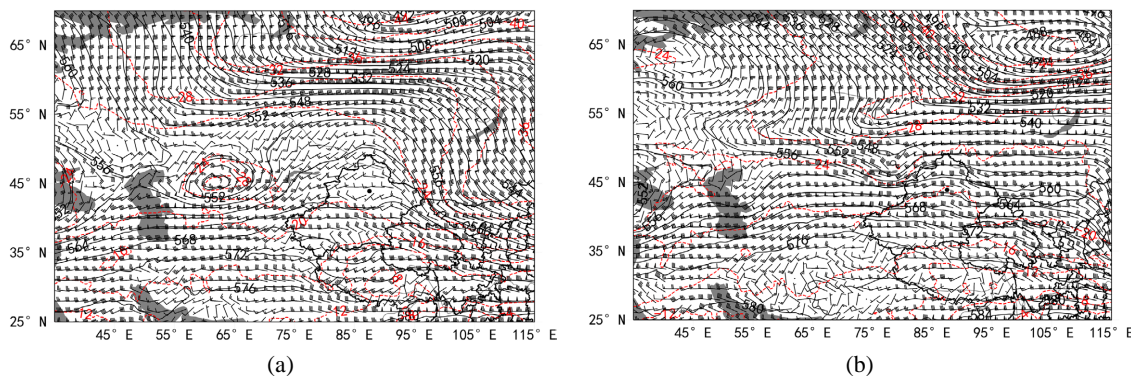
4.1. 天气形势

500 hPa 上, 4 月 6 日 20 时(图 3(a)), 新疆转为脊区控制, 脊呈南北走向, 巴尔喀什湖低涡伴有 -28°C 的冷中心, 逐渐填塞东移。蒙古西部附近存在东北-西南向的高空槽, 逐渐东移南下, 引导冷空气东移南压, 使得东疆东部、陕甘一带明显加压, 易在地面形成东高西低的气压场, 有利于北疆区域性偏东风和乌鲁木齐附近东南风形势建立。6 日夜间甘肃附近高空槽东移迅速, 东部加压很快停止, 冷高压东移, 利于东南风出现的形势场有所减弱, 对应乌鲁木齐机场 6 日夜间出现的东南风风速基本维持在 6~8 m/s。乌鲁木齐一带的东南风使得该区域地面气压明显下降。7 日 500 hPa 上巴尔喀什湖以西低涡开始减弱东移, 同时西西伯利亚横槽开始南压, 两者共同作用下(图 3(b)), 使得地面冷高压逐渐南压, 冷锋锋区逐渐南下, 北疆区域位于锋前减压区, 气压进一步降低。南疆、东疆受中亚短波槽东移影响, 地面气压下降速度减慢, 有利于形成南高北低和东高西低的形势, 符合东南大风出现的形势场。

700 hPa 上, 6 日 14 时开始, 北疆大部为区域性东南风控制, 暖舌东伸影响北疆沿天山一带, 7 日 14 时乌鲁木齐附近形成 -2°C 的暖中心, 利于低层升温。

850 hPa 与 700 hPa 类似, 北疆盆地存在区域性偏东风, 暖舌东伸影响北疆沿天山一带, 其中, 北疆沿天山一带的偏东风在 7 日 14 时逐渐加强, 最大风速达到 12 m/s。8 日 08 时受短波东移影响, 乌鲁木齐地区受槽后西北气流控制, 西北风风速达到 16 m/s。

7 日 14 时(图 3(c)), 冷锋呈东北-西南向位于巴尔喀什湖以北区域, 北疆处于其底部前的减压区, 北疆盆地迅速减压, 而东疆一带减压比北疆慢, 使得东高西低的气压场形势增强, 导致了夜间东南风明显增大。东南风使得乌鲁木齐区域气压降低, 随着冷锋锋区东移, 冷锋前部气压梯度明显增大(图 3(d)), 导致冷锋影响时西北风也较大, 叠加前期乌鲁木齐机场干燥少雨和施工影响, 西北风出现时易出现短时扬沙天气。



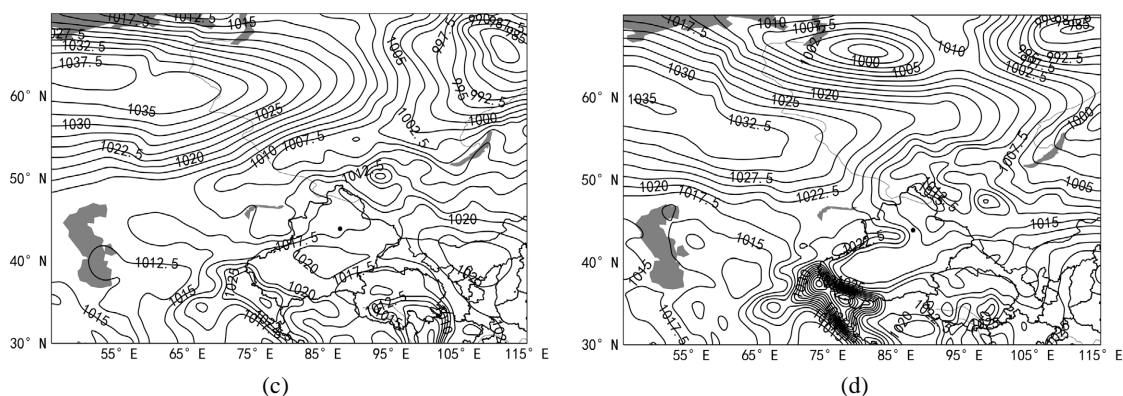


Figure 3. 500 hPa weather situation at 20:00 (a) on April 6, 2023 and 20:00 (b) on April 7, 2023; Sea level pressure field at 14:00 (c) on April 7, 2023 and 08:00 (d) on April 8, 2023

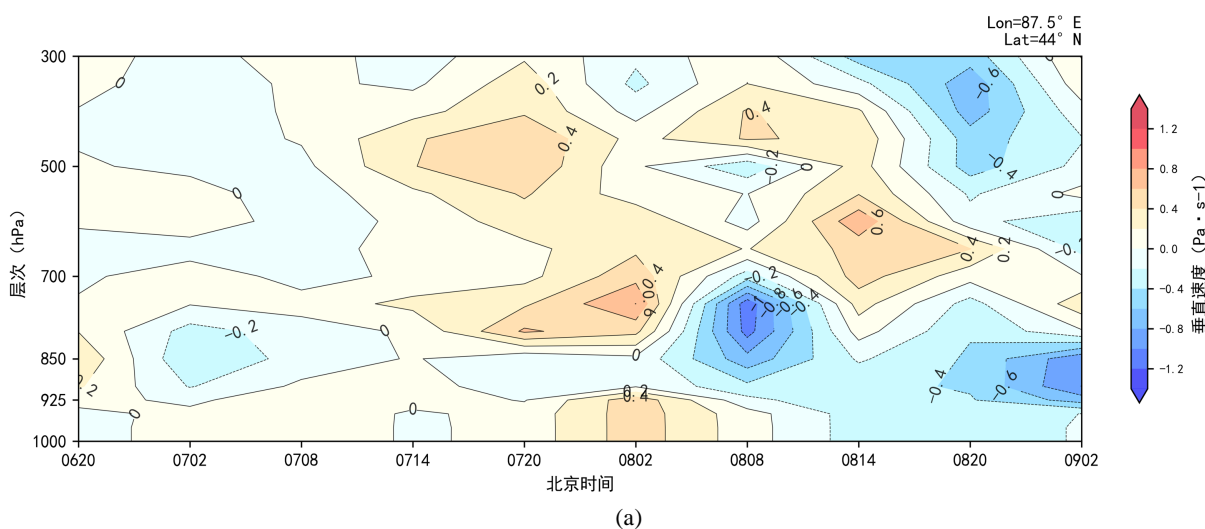
图 3. 2023 年 4 月 6 日 20 时 (a) 与 4 月 7 日 20 时 (b) 500 hPa 天气形势; 2023 年 4 月 7 日 14 时 (c) 与 4 月 8 日 08 时 (d) 海平面气压场

可见此次东南大风是在前期区域性东南风减压的基础上，横槽携锋区南压导致北疆减压速度加快，南疆、东疆受短波影响，气压减小速度减慢，故在地面上形成东高西低、南高北低的气压场，导致机场出现东南大风，锋前减压是此次东南大风的主要成因。

4.2. 物理量场分析

通过图 4(a)分析 FNL 资料中垂直速度(单位: Pa/s)，东南大风期间，低层 1000~925 hPa 及 700 hPa 出现弱的下沉运动，其中，700 hPa 最大垂直速度达到 0.6Pa/s，850 hPa 表现为弱上升运动。8 日 02:00 后，925~700 hPa 逐渐转为一致的上升气流，并不断加强，此时东南大风逐渐趋于结束。8 日 08:00，700~850 hPa 之间最大上升速度达到-1.0 Pa/s，此时本场已转为偏西风。

散度能够衡量速度场的辐合与辐散，对机场附近的散度剖面图进行分析(图 4(b))发现，7 日 20:00 前，1000~850 hPa 层次有辐合，负值中心值达到 $-4.2 \times 10^{-5} \cdot S^{-1}$ ，辐散区域随时间逐渐向上层扩散，7 日 20:00 后，925~700 hPa 出现辐散，并不断加强，近地面 1000~925 hPa 维持辐合，8 日 8:00 后，低层辐合区域逐渐消失，1000~750 hPa 逐渐转为一致的辐散，此时，东南大风转为偏西风。综上，东南大风期间，近地面 1000~925 hPa 辐合，低层 925~700 hPa 为辐散。



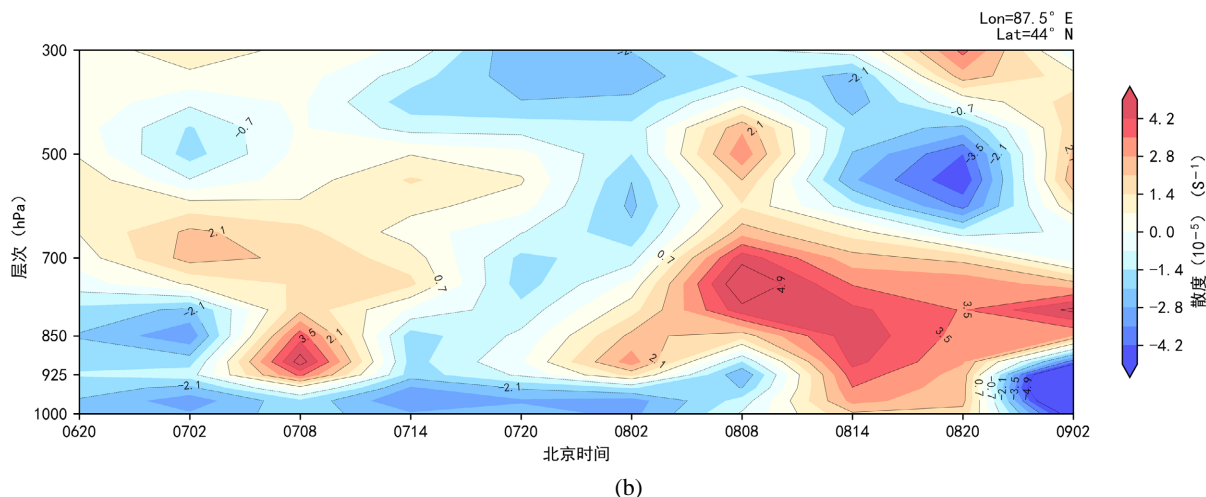


Figure 4. Profile of vertical velocity with time (a) and divergence with time (b) of Urumqi Airport
图 4. 乌鲁木齐机场垂直速度随时间变化剖面图 (a)和散度随时间变化剖面图 (b)

通过对乌鲁木齐机场附近的风向风速、相对湿度和温度做剖面进行分析，可以发现，东南大风前期，中低层 1000~850 hPa 一致存在东南风层，东南风层贴地且厚度较薄。8 日 2:00~8 日 8:00 中低层受扰动影响，机场中低层的东南风转为偏西 - 西北大风，此时机场地面也出现了急剧的风向转换。

5. AWOS 风切变特征分析

东南风期间，飞机主要从 07 号跑道起飞，因此计算 07 号跑道 - 中间跑道的风切变指数较能贴合实际，根据风切变计算公式和两端跑道长度，风切变指数可采用阈值 3.85m/s。

图 5 为东南风期间跑道中间跑道和 07 号跑道的风切变指数和风向差、风速差随时间变化图。7 日

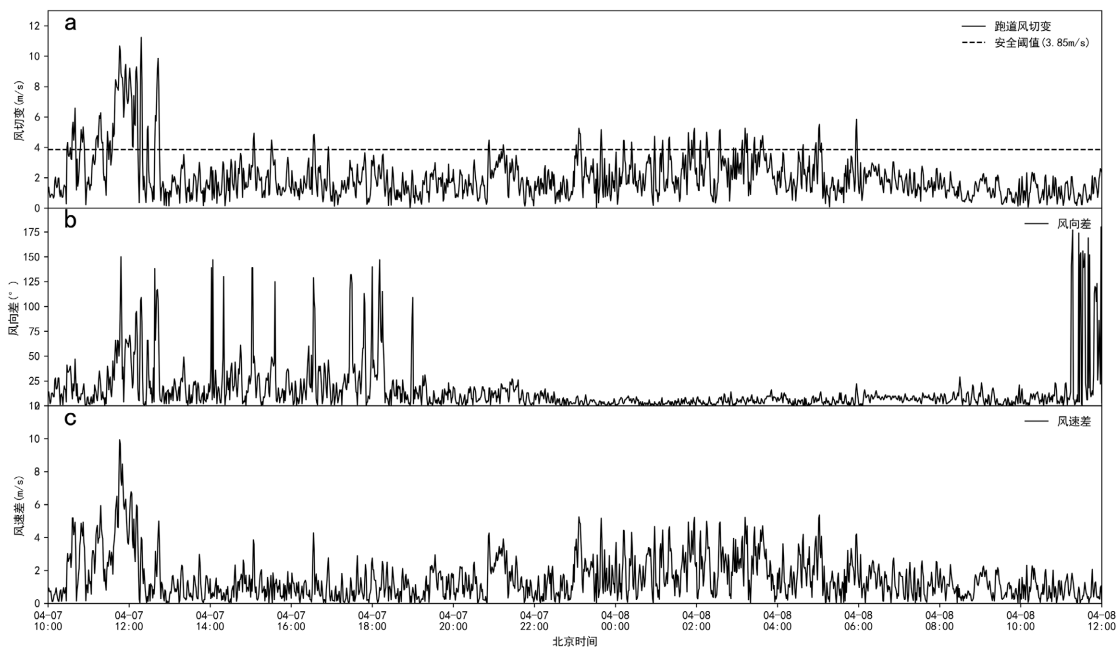


Figure 5. Characteristics of wind shear index (a), wind direction difference (b) and wind speed difference (c) of AWOS data No. 07 and middle runway
图 5. AWOS 资料 07 号和中间跑道风切变指数 (a)、风向差 (b)和风速差 (c)特征

10:00~12:30 风切变指数明显超过阈值,最大达到 11.23 m/s,主要原因是 07 号跑道和中间跑道的风速差、风向差较大。7 日 23:00~8 日 06:00,风切变指数长时间频繁突破阈值,此时段内,飞机航班出现复飞 13 架次,备降 10 架次,可见,在日常保障中需要关注突破阈值的风切变指数。分析原因发现,此时段内,07 号跑道和中间跑道的风向变化不大,但风速差异较大,风速差较大时能够达到 6 m/s 左右,忽大忽小的东南风易引起风切变指数超标。

6. 预报预警产品偏差分析

针对此次东南风,预报室共发布 5 份预警产品,包括 3 份等级预警、2 份机场警报。第一份预警提前量约 12 小时,对本场夜间东南风进行了详细预报,其中,对东南风开始增大的时间预警较为准确,但强度较实况略偏小,东南风急转西北风时间较实际偏晚约 2 小时 20 分。

7 日中午发布更新了等级预警,并发布了一份机场警报,调整了东南风的大小,使得东南风强度与实际更为接近,西北风开始时间准确,同时考虑低层风变化大,增加轻度风切变的信息提醒用户关注。

此次东南风预报员已经提前关注到,并尽早的发布了东南风、西北风、扬沙、颠簸等天气的预警提示,为提前决策提供了有利的支持。预报室及时发布了预警更新,调整东南风风速、西北风进入的时间,并提示低空风切变的存在,为后续航班安全运行提供了更准确的气象情报。

7. 结论

通过对此次东南大风的环流形势、物理量场和风切变指数等进行分析,得到以下结论:

1) 此次东南大风以锋前减压为主,500 hPa 上,蒙古西部低槽东移南压,东疆和陕甘一带加压,形成东高西低的形势场;后受西西伯利亚横槽南压影响,北疆区域减压加快,南疆和东疆受短波东移影响,减压速度减慢,地面形成南高北低、东高西低的形势场,叠加周边地形作用,形成此次东南风。

2) 分析垂直速度可知,东南大风期间 1000~925 hPa 和 700 hPa 有弱的下沉运动,850 hPa 为弱的上升运动;从散度剖面图可知,925~700 hPa 出现弱辐散,后续不断加强,近地面 1000~925 hPa 为弱辐合运动。

3) 东南大风期间 07 号跑道与中间跑道风切变指数超过阈值时段与航班大量复飞和备降时段对应较好,因此风切变指数突破阈值时需要关注对飞行的影响。

4) 此次过程预报较为准确,提前发布了东南风、颠簸等预警提示。

参考文献

- [1] 窦刚,雅森江·库尔班,木尼热·艾尼. 乌鲁木齐东南大风空间分布和时间变化特征[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(12): 8-10.
- [2] 《新疆短期天气预报指导手册》编写组. 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.
- [3] 张利平,王春红. 乌鲁木齐机场东南大风气象要素及水平风切变特征分析[C]//中国气象学会. 中国气象学会 2006 年年会“航空气象探测、预报、预警技术进展”分会场论文集: 2006 年卷. 2006: 8.
- [4] 程海艳. 乌鲁木齐国际机场风切变特征及其定量分析[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(2): 87-94. <https://doi.org/10.12677/ccrl.2021.102011>
- [5] 孙少明,张茜,朱雯娜,杜安妮. 乌鲁木齐国际机场典型低空风切变事件分析[J]. 民航学报, 2021, 5(6): 81-88.
- [6] 杨洪儒,王楠. 地窝堡机场东南大风特征及其大气结构[J]. 干旱气象, 2014, 32(3): 393-398.
- [7] 孙少明,张茜,朱雯娜,等. 东南大风诱发的乌鲁木齐机场水平风切变成因分析[J]. 中国空管, 2019, 46(4): 78-82.
- [8] 孟齐辉,吕斌,刁平. 天山地形对乌鲁木齐东南大风影响的再认识[J]. 新疆气象, 1996(3): 5-9.
- [9] 万瑜,曹兴,窦新英,杨莲梅. 乌鲁木齐东南大风气压场中尺度特征分型及其演变分析[J]. 干旱区研究, 2016, 33(4): 724-731.
- [10] 王春红,朱雯娜,陈阳权. 乌鲁木齐国际机场风切变颠簸天气个例分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(6): 15-21.