

乌鲁木齐机场一次持续东南大风天气成因及影响分析

陈阳权, 沙艳萍, 王楠楠

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5日; 录用日期: 2024年2月22日; 发布日期: 2024年2月28日

摘要

利用FNL分析资料、乌鲁木齐机场自动观测系统、区域自动站数据等对2023年4月30日~5月2日一次长时间持续的强东南大风过程原因进行分析, 探究大风长时间持续的原因及影响要素, 结果如下: (1) 此次东南大风具有持续时间长、阵性大、日变化显著等特点, 风速在机场跑道上具有“西强东弱”特征, 东南大风持续时跑道出现的强侧风以及强侧风阵性导致的较强的水平风切变是影响飞行安全的重要因子。(2) 长时间维持的回流型东南大风和随后的锋前减压型东南大风共同作用是此次东南大风形成和长时间持续的主要原因。(3) 达坂城、哈密等站与机场的气压差、气温差等演变对于东南大风开始、持续及减弱均有较好的提前量和指示意义。

关键词

东南大风, 气压差, 强侧风, 水平风切变

Analysis of the Causes and Impacts of a Prolonged Southeast Gale at Urumqi Airport

Yangquan Chen, Yanping Sha, Nannan Wang

Meteorological Center, Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 5th, 2023; accepted: Feb. 22nd, 2024; published: Feb. 28th, 2024

Abstract

An analysis of the causes and sustained impact factors of a prolonged southeast gale from April 30th to May 2nd, 2023, had been conducted using FNL data, automatic observation system of Urumqi Airport, and regional automatic station data. The results showed that: (1) The event was

characterized by a long duration, prominent gustiness, and significant diurnal variation. The wind speed displayed a “stronger in the west, weaker in the east” pattern on the airport runway. The southeast gale resulted in strong crosswind and gust-induced horizontal wind shear on the runway, which were identified as key factors affecting flight safety. (2) The main causes for the formation and sustained nature of this southeast gale were identified as the cumulative effect of a long-maintained return flow pattern of southeast gale and the subsequent reduction in pressure in front of the front. (3) The evolution in the pressure and temperature differences between stations like Dabancheng, Hami, and the airport had good predictive value for the start, duration, and weakening of the southeast gale.

Keywords

Southeast Gale, Pressure Difference, Strong Crosswind, Horizontal Wind Shear

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

乌鲁木齐机场位于天山中部峡谷的西北开口处，峡谷呈西北 - 东南向，由南向北逐渐收缩，海拔高度向北依次降低，在这种峡谷和下坡地形作用下，结合一定的天气形势，常在春、秋季节造成乌鲁木齐一带局地山谷地形风，即东南大风[1]，具有刮风范围小，强度强，阵性大，起始突然等特点[2]，出现时常常给乌鲁木齐机场航空安全运行带来严重的影响。

针对乌鲁木齐一带的东南大风，新疆气象专家学者对其做了大量的研究，通过对天气形势、要素演变、数值模拟等阐述了东南大风的形成机制、预报预警方法等[3] [4] [5] [6]，为东南大风的预报、预警提供了有效的参考。东南大风及其所带来的强侧风、风切变、颠簸等严重影响飞行安全，乌鲁木齐机场气象学者针对出现在机场的东南大风及其影响也做了大量的研究，从气候统计特征、数值预报、东南大风时低空风切变颠簸及水平风切变等多维度进行研究和分析[7]-[14]，探讨了乌鲁木齐机场东南大风形成的特征、数值预报表现及对航空运行的影响程度，为机场进行东南大风的预报预警以及东南大风时服务关注点奠定了基础。由于长时间持续的东南大风造成的强侧风、风切变等对乌鲁木齐机场的运行安全和效率均有持续影响，严重时可能引发不安全事故，因此对长时间持续的东南大风进行分析，寻找导致大风持续的原因，并分析其对飞行的影响，对保障航空飞行安全来说十分有意义。

2023年4月30日~5月2日，乌鲁木齐机场出现一场罕见的持续性东南大风天气，持续时间长达55小时，对航空飞行安全造成了严重的影响。本文将利用FNL分析资料、机场自动观测资料以及自动站数据等对此次东南大风的形成和长时间持续的原因进行分析，探索其影响要素及对机场跑道的影响，希望能够为此类持续性东南大风天气的预报、预警及对跑道的影响提供有价值的参考。

2. 天气过程及影响分析

2023年4月30日至5月2日，乌鲁木齐机场出现了一场长达55小时的东南大风天气过程，平均风速10~18 m/s，瞬时最大阵风达28 m/s。

图1为乌鲁木齐机场2023年4月29日16:00~5月2日12:00自动观测系统中跑道R25和R07方向平均风向、平均风速、阵风、温度、气压等要素演变。由图1(a)、图1(b)可见，在4月30日00时前后，

机场跑道两端的风速迅速增大, 平均风速达到 10~14 m/s, 阵风风速达到 14 m/s 以上, 且 R07 跑道风速显著大于 R25 方向, 即跑道西头风速强于东头, 风向维持在 120°~150° (图 1(c)), 直至 5 月 2 日 06:00 后, 平均风速和阵风迅速降至 12 m/s 以下, 东南大风结束。从东南大风强度的日变化来看, 在每日中午后至前半夜风速有所减小, 但后半夜开始风速再次迅速加大, 可见东南大风具有显著的日变化特征。从图 1(d) 可见, 在东南大风开始后机场温度迅速上升, 气压则持续下降, 气压没有明显的日变化, 呈显著的下降趋势, 而温度则不同, 与东南大风强度一致具有显著的日变化特征。

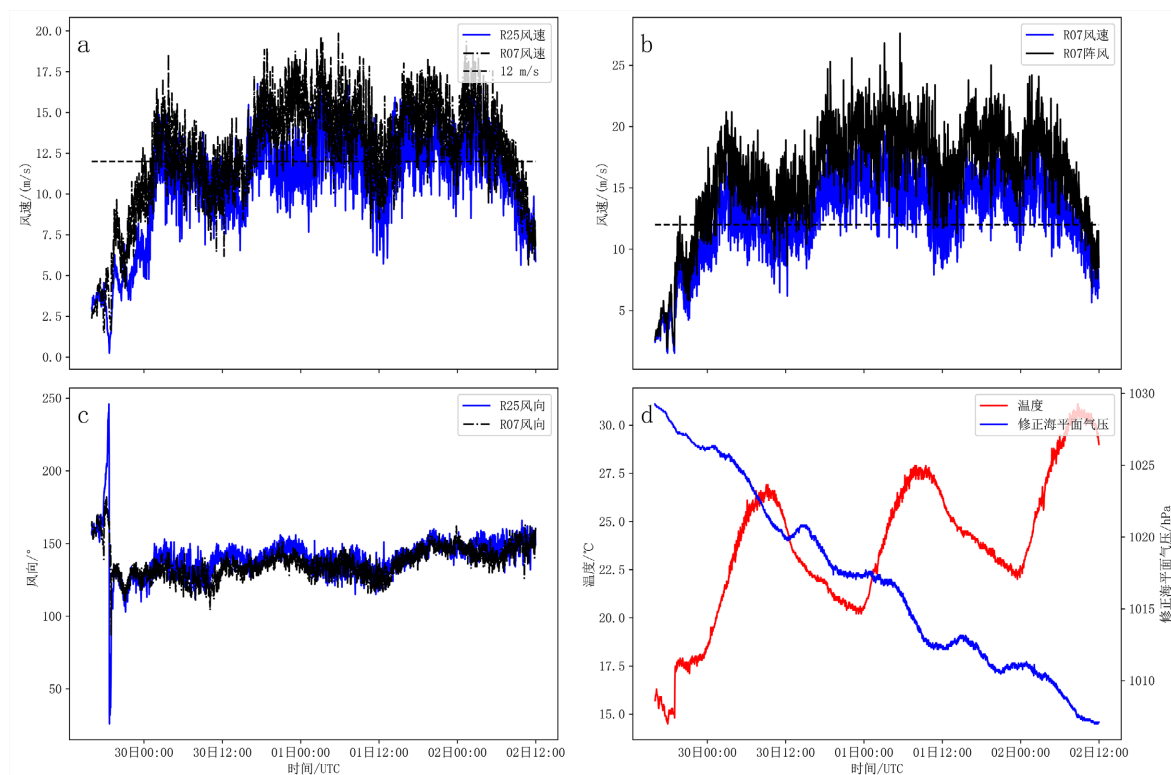


Figure 1. Evolution of meteorological elements such as wind direction ($^{\circ}$), wind speed (m/s), gusts (m/s), temperature ($^{\circ}$ C), and pressure (hPa) for runways R25 and R07 at Urumqi Airport from April 30 to May 2, 2023

图 1. 2023 年 4 月 30 日~5 月 2 日乌鲁木齐机场自动观测系统跑道 R25 和 R07 的风向($^{\circ}$)、风速(m/s)、阵风(m/s)、温度($^{\circ}$ C)、气压(hPa)等气象要素演变

此次持续的东南大风天气过程具有强度强、阵性大、持续时间长等特点, 对乌鲁木齐机场的航空运行造成了严重影响, 共导致 49 架次航班延误, 延误超过 2 小时的航班达 18 架次。16 架次航班因为风切变或侧风超标而复飞, 严重威胁飞行安全。

3. 天气成因

3.1. 天气形势分析

图 2 为 FNL 分析资料 4 月 29 日 18 时和 5 月 1 日 18 时 500 hPa、850 hPa 高空形势和地面形势。在 500 hPa 上前期, 北疆地区有一次冷空气过程, 西西伯利亚高空槽东移南下影响北疆地区, 高空槽东移后巴尔喀什湖一带及新疆西部地区迅速转为脊区控制, 脊区强烈向东北方向发展, 脊前东北-偏北风带引导贝加尔湖一带冷空气向南补充, 使得新疆偏东地区及陕甘一带冷槽进一步发展和维持。4 月 29 日 18:00 东疆及南疆东部在 500 hPa 上受冷槽控制, 维持 -24° C 以下的冷中心, 脊区的稳定发展和维持(图 2(a)),

使得东部冷槽在发展中稳定少动，不断有冷空气回流进入东疆及南疆东部。直至 5 月 1 日夜间，随着北支锋区南压，新疆脊区逐渐被削平，新疆以东冷槽东移(图 2(b))，北支锋区南压过程中，处于其底部前的北疆地区受其前部暖平流作用，出现系统性减压，直至 5 月 2 日下午冷空气进入北疆区域，打破了这种减压态势；在 850 hPa 上，4 月 29 日 18:00 北疆已经出现区域性偏东-东南风，新疆东部为 4℃~8℃ 温度区控制，北疆为 8℃~12℃ 温度区控制(图 2(c))，出现了东冷、西暖的形势，易于乌鲁木齐一带出现地方性的东南大风。至 5 月 1 日夜间，随着北支锋区前部暖平流作用，850 hPa 上有暖舌从中亚一带伸向北疆盆地，在北疆出现显著的增温(图 2(d))；海平面气压场上，在高空环流的影响下，4 月 29 日 18:00 开始南疆东部、东疆逐渐转为冷高压控制，北疆盆地在脊区控制下冷空气逐渐变性出现减压(图 2(e))，至此东高西低的气压场形势出现，乌鲁木齐一带出现回流形势的东南大风。随着东部高空槽东移，东部冷高压也东移出新疆区域，但西部北支锋区底部前的北疆盆地出现锋前减压(图 2(f))，东疆的气压仍较北疆高，东高西低的气压场得以进一步维持，出现锋前减压型东南大风。

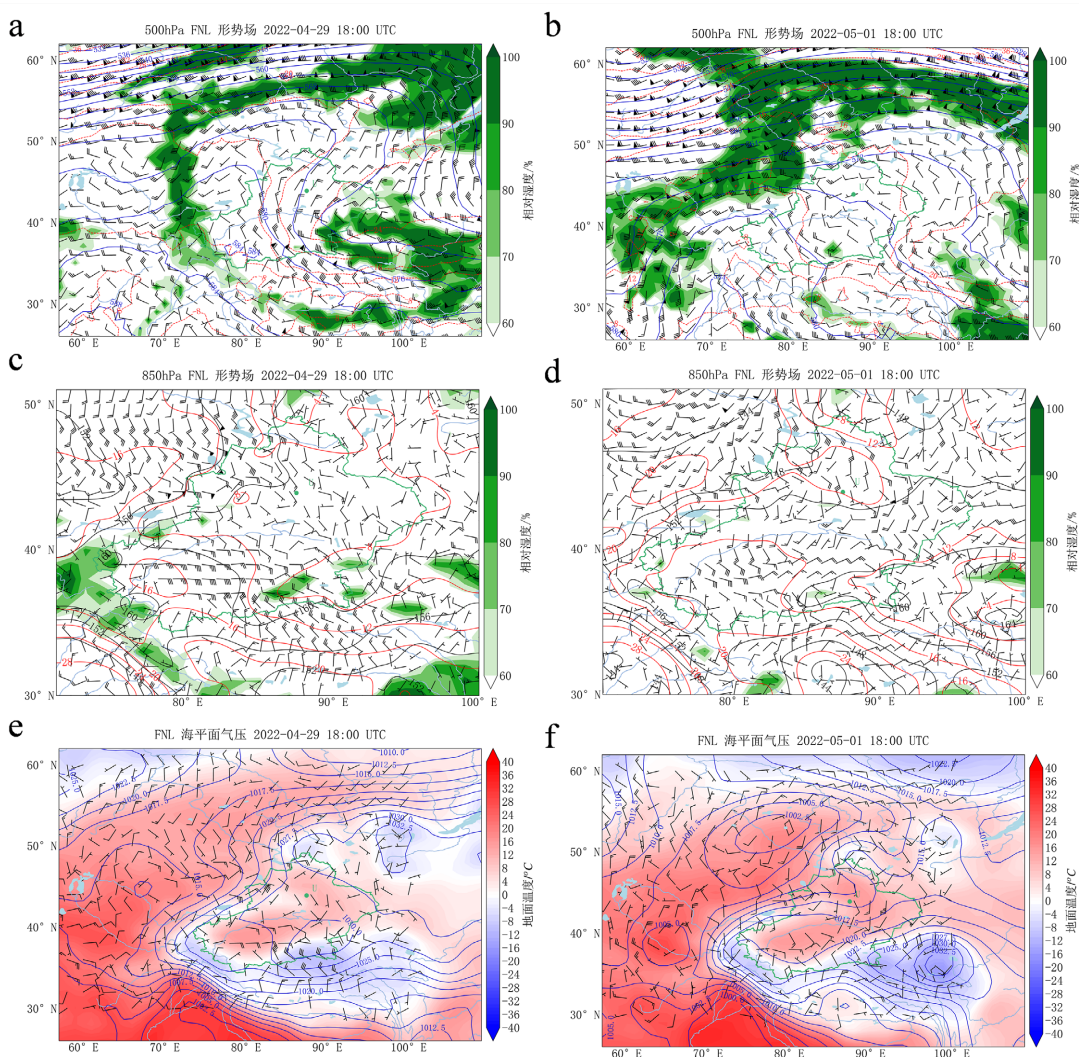


Figure 2. FNL analysis data for the 500 hPa and 850 hPa upper-air patterns and surface conditions at 18:00 on April 29th and at 18:00 on May 1st (The letter “U” in the diagram indicates the location of Urumqi Airport)

图 2. FNL 分析资料 4 月 29 日 18 时和 5 月 1 日 18 时 500 hPa、850 hPa 高空形势和地面形势(图中 U 为乌鲁木齐机场所在位置)

可见，此次长时间持续的东南大风分为两个阶段，第一阶段为冷空气回流造成的回流型东南大风，第二阶段为锋区前部减压造成的减压型东南大风，第一个阶段持续时间较第二个阶段长得多，主要是由于第一阶段中新疆脊的稳定维持使得东部冷槽稳定少动，导致冷空气在新疆东部盘踞，东高西低的气压场长时间维持。

3.2. 乌鲁木齐机场(以下称机场)和自动站气压和温度差

乌鲁木齐一带出现东南大风的关键是要建立“南高北低、东高西低”的气压场形势，这种气压场形势的建立可以在海平面气压和 2 m 气温的差异上得到体现。图 3 为机场与东部哈密、吐鲁番、达坂城及与西部伊宁、石河子的海平面气压差，图 4 为相应的 2 m 气温差。

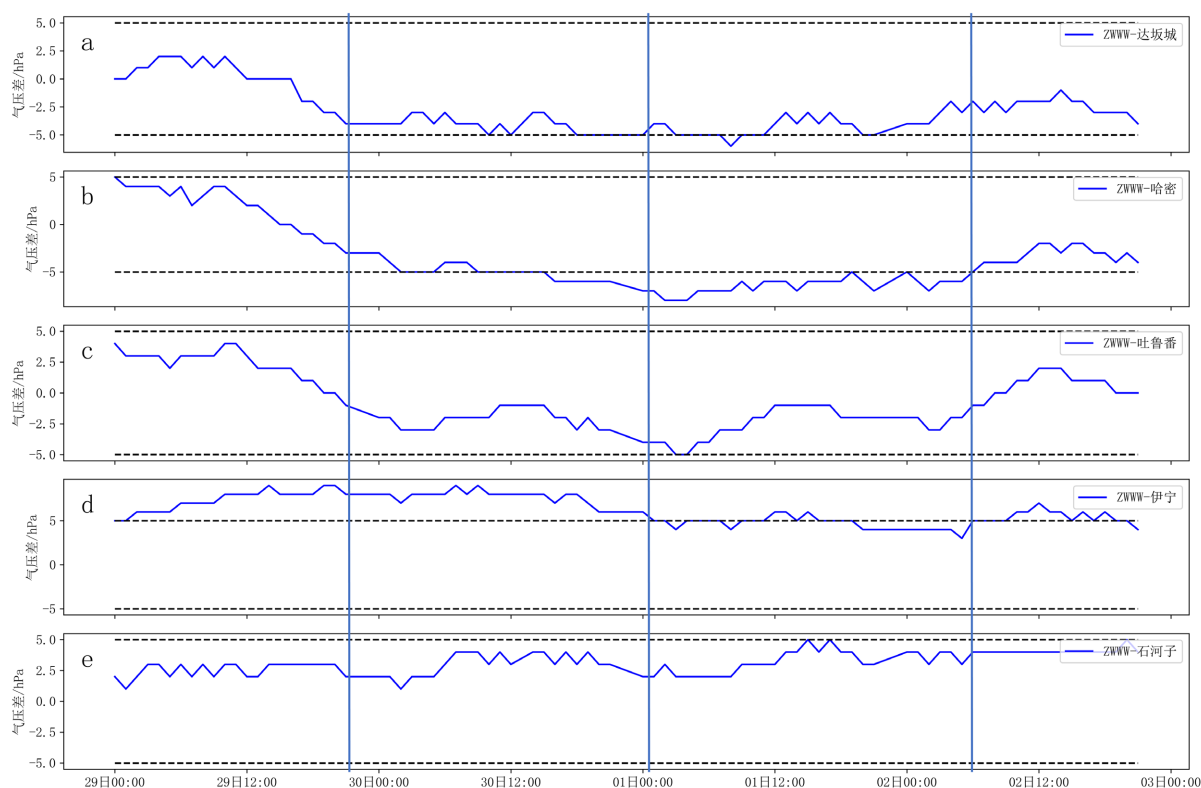


Figure 3. Sea level pressure difference (hPa) between Urumqi Airport (ZWWW) and Dabancheng, Hami, Turpan, Yining, and Shihezi

图 3. 乌鲁木齐机场(ZWWW)与达坂城、哈密、吐鲁番、伊宁、石河子的海平面气压差(hPa)

如图 3 所示，在 29 日 12:00 前，机场海平面气压高于东部的吐鲁番、达坂城及哈密，即处于“西高东低”的态势。12:00 后，随着东部冷空气补充南下，东疆及南疆东部逐渐处于地面冷高压控制，吐鲁番、达坂城及哈密逐渐高于机场，且东部气压与机场气压差逐渐增大，“东高西低”的气压场态势逐渐建立，形势不断增强。在机场出现东南大风时，达坂城站海平面气压较机场高约 4 hPa，哈密站与机场差约 3~4 hPa，气压差在上述值稳定约 3~4 个小时，即若按此气压差预报大风开始将有 3~4 个小时的提前量。吐鲁番站与机场的海平面气压差在东南大风出现时约 2~2.5 hPa，且气压差呈现增大趋势。在东南大风持续阶段，达坂城与机场气压差维持在 4~5 hPa，哈密与机场气压差维持在 5~8 hPa，吐鲁番与机场气压差维持在 2~5 hPa，其中吐鲁番与机场的气压场存在较明显的日变化，而达坂城、哈密与机场气压差较稳定，日

变化不明显,即“东高西低”的气压场较稳定维持,与此次东南大风的持续有较好的对应关系。至2日03:00后,东部三个站与机场的气压差开始减小,达坂城和机场的气压差在05:00前后减小至2.5 hPa,哈密与机场的气压差在06:00前后减小至2.5~4 hPa,而吐鲁番与机场的气压差则持续减小,12:00前后机场的气压差高于吐鲁番,“东高西低”的气压场形势在减弱,这与机场东南大风在2日06:00前后开始减小一致。由于此次天气过程第一阶段为回流型东南大风,第二个阶段为锋前减压型东南大风,从图3(a)、图3(b)、图3(c)中可见,两个阶段东南大风,东部三站点与机场气压差处于较稳定的阈值范围内,而西部伊宁站海平面气压较机场低,机场与伊宁站的气压差在5月1日00:00前维持在5~8 hPa,之后气压差减小至5 hPa左右,这表明伊宁站在锋区前部减压时,机场一带也出现强烈的减压,导致两站气压差有所减小,可作为锋区前减压前期的参考,石河子站离机场较近,两者气压在东南大风时处于稳定的气压梯度上。

从各站与机场的温度差上看(图4),从29日19:00开始,机场与达坂城、哈密的温度差迅速增大,最大达到了12°C,机场的气温显著高于两站气温。而吐鲁番站的气温在前期显著高于机场,但在19:00后气压差显著减小,23:00左右后机场气温高于了吐鲁番站。机场与东部达坂城、哈密气温差的迅速增大,较东南大风出现有4~5个小时提前量。但在东南大风持续阶段,受日变化的影响,温度在中午时段温差减小,夜间温差增大,这与东南大风的日变化一致,在中午时段有所减小,夜间增大。此次东南大风持续过程中吐鲁番站与机场的温度差维持在0°C~2.5°C,机场的温度比吐鲁番温度低。西部伊宁站、石河子站的气温与机场持平或较机场偏低。可见,在东南大风时段,除去日变化影响,机场较周围的温度均偏高,这与东南大风的焚风效应特点一致。而焚风效应使得机场迅速升高,气压相应较小,大风强度得以维持。

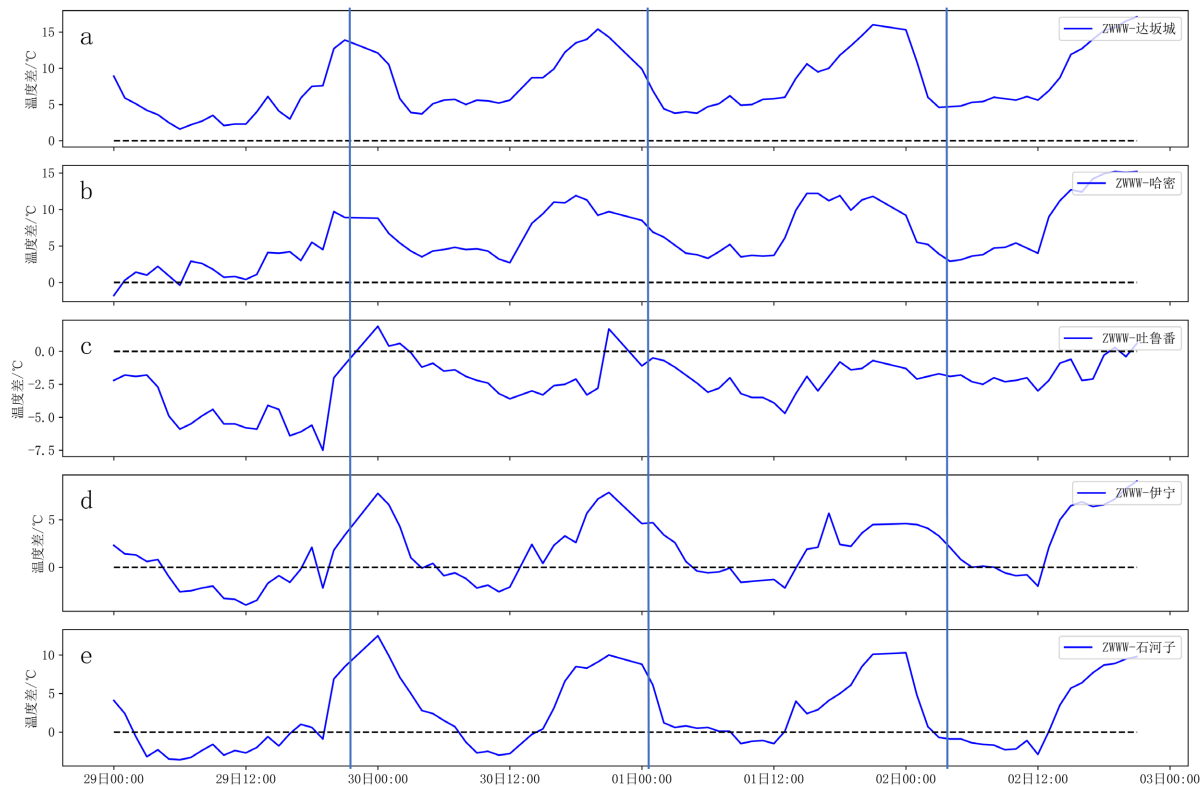


Figure 4. 2-meter temperature difference ($^{\circ}\text{C}$) between Urumqi Airport (ZWWW) and Dabancheng, Hami, Turpan, Yining, and Shihezi

图 4. 乌鲁木齐机场(ZWWW)与达坂城、哈密、吐鲁番、伊宁、石河子的 2 m 气温差($^{\circ}\text{C}$)

4. 对航空飞行的影响

乌鲁木齐机场东南大风对飞行的主要表现在东南大风的时跑道侧风超标、跑道水平风切变、跑道水平风切变、低空风切变等。本文利用机场跑道自动观测系统风场数据，计算垂直于跑道的侧风、沿跑道的顺逆风以及跑道两端的水平风切变等分析机场出现东南大风时跑道上风的变化对飞行的影响。

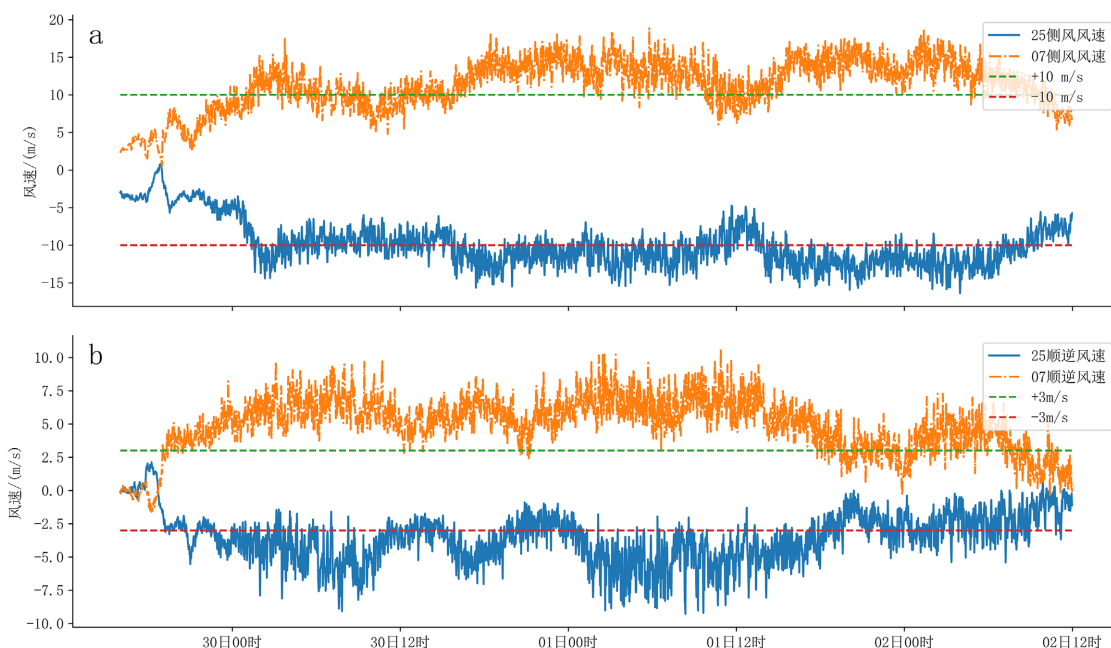


Figure 5. Evolution of Urumqi Airport runway crosswind (m/s) and headwind/tailwind (m/s)

图 5. 乌鲁木齐机场跑道侧风(m/s)和顺逆风(m/s)演变

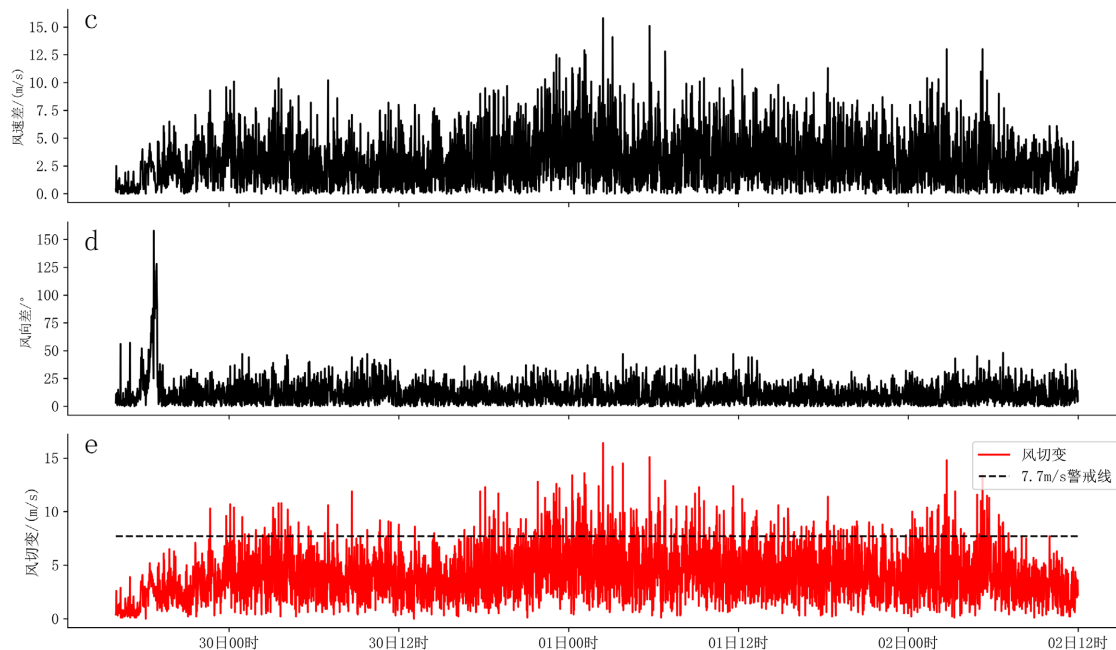


Figure 6. Difference in wind speed, wind direction, and horizontal wind shear at both ends of the runway at Urumqi Airport

图 6. 乌鲁木齐机场跑道两端风速差、风向差以及水平风切变

图 5 为机场跑道自动观测系统计算的侧风和顺逆风演变。东南大风开始后,跑道两端侧风迅速增大达到 10 m/s 以上,最大达到了 15 m/s 以上(图 5(a)),按照《空中交通管理规则》的要求[15],当侧风达到 10 m/s 以上时,需要提醒降落机组关注侧风对飞行的影响,部分飞机在侧风达到 15 m/s 时侧风超标,因此在 4 月 30 日上午、30 日夜间到 5 月 1 日中午、1 日夜间至 2 日上午多架航班均因为侧风超标而导致复飞。此次东南大风过程中,跑道顺逆风分量大部分时间均超过了 5 m/s (图 5(b)),由于在跑道实际运行时采用 R07 跑道,对沿 R07 跑道着陆的飞机来说是逆风,影响较小,若 R07 跑道无法使用时,R25 跑道将因为顺风超标而无法起降,影响飞行安全和正常。

图 6 为乌鲁木齐机场跑道两端 R07 跑道和 R25 跑道自观计算的跑道水平风切变,该计算方法采用美国机场低空风切变警报系统中的计算方法,当风切变超过阈值 7.7 m/s 时,则对航空运行产生影响[16][17]。如图 6(a)所示,在 4 月 30 日乌鲁木齐机场出现东南大风时,跑道两端的风速差迅速增大达到了 10 m/s,最大达到了 15 m/s,风向差维持在 40°内,由于跑道两端风速的不均匀性,导致在 4 月 30 日白天、5 月 1 日凌晨至 2 日下午出现了长时间的跑道水平风切变超标,严重影响了飞行安全。

5. 结论

(1) 此次东南大风具有持续时间长、阵性大、日变化显著等特点,风速在机场跑道上具有“西强东弱”特征,东南大风持续时跑道出现的强侧风以及强侧风阵性导致的较强的水平风切变是影响飞行安全的重要因素。

(2) 新疆脊区强烈发展且稳定维持,脊前北方带引导冷空气南下补充,新疆东部至陕甘一带低槽得以发展和维持,冷空气回流进入东疆及南疆东部,形成长时间的回流型东南大风。随后北支锋区南压,锋区前部减压作用又导致出现锋前减压型东南大风。在两者共同作用是此次东南大风长时间持续主要原因。

(3) 新疆东部达坂城、哈密等站与乌鲁木齐机场的气压差、气温差等演变能够很好地反映“东高西低”气压场建立、加强及减弱过程,对于东南大风开始、持续及减弱的预报预警有较好的提前量和指示作用;西部伊宁、石河子等站与乌鲁木齐机场的气压场、温度差演变对锋前减压的开始有一定的指示。

参考文献

- [1] 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,1986:330-336.
- [2] 黄海波,陈阳权,王清平.乌鲁木齐机场东南大风数值预报及地形敏感性试验[J].气象科技,2014,42(6):1064-1068+1082. <https://doi.org/10.19517/j.1671-6345.2014.06.020>
- [3] 孙鸣婧,李如琦,刘俊哲,等.乌鲁木齐春季两类东南大风个例的对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(5):38-45.
- [4] 汤浩,王旭,储长江,等.乌鲁木齐城区一次极端东南大风的形成机制——重力波与超低空急流耦合[J].干旱区地理,2019,42(6):1229-1238.
- [5] 赵克明,李霞,孙鸣婧,等.乌鲁木齐冬季浅薄型焚风对大气扩散条件及空气质量的影响[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(1):13-20.
- [6] 万瑜,曹兴,窦新英,等.ECMWF 细网格数值预报产品在乌鲁木齐东南大风预报中的释用[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(1):32-38.
- [7] 王春红.乌鲁木齐机场东南大风的低空风切变特征及飞行安全保障[J].空中交通管理,2001(5):34-37.
- [8] 王春红,张利平.乌鲁木齐机场大风天气的地方性特点及影响[J].空中交通管理,2010(6):4.
- [9] 张利平.乌鲁木齐国际机场 20 年东南大风天气的统计特征分析[J].中国民航飞行学院学报,2007(2):3-6.
- [10] 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.
- [11] 张利平,王春红.乌鲁木齐机场东南大风过程温压湿及水平风切变特征[J].气象科技,2007(5):719-722. <https://doi.org/10.19517/j.1671-6345.2007.05.023>
- [12] 张利平.乌鲁木齐国际机场一次强东南大风天气分析[J].沙漠与绿洲气象,2007(2):23-25.

-
- [13] 张亚莉, 程海艳, 张明旭, 等. 乌鲁木齐国际机场一次冬季东南大风成因和特征分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2023, 40(1): 55-59. <https://doi.org/10.19441/j.cnki.issn1006-009x.2023.01.030>
- [14] 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.
- [15] 交通运输部关于修改《民用航空空中交通管理规则》的决定[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2023(12): 15-102.
- [16] 张利平, 陈阳权, 朱国栋, 等. 乌鲁木齐机场冬季东南风引起的低空风切变个例分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(6): 45-50.
- [17] 杜安妮, 陈阳权, 张利平. 乌鲁木齐机场东南大风风切变及航空气象保障[J]. 空中交通, 2016(8): 37-40.