

乌鲁木齐机场一次由对流天气引起的 低空风切变特征分析

程海艳

中国民用航空局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18日; 录用日期: 2024年1月16日; 发布日期: 2024年1月23日

摘要

利用NCAR/NCEP FNL $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料和机场自动观测系统(AWOS)风数据对2019年7月18日发生在乌鲁木齐机场的一次对流型低空风切变进行分析。结果发现, 此次对流型低空风切变是在弱天气尺度强迫下由短波槽和切变线触发不稳定能量所致。对流单体移动过程中产生的阵风是造成此次低空风切变的主要原因, 因此低空风切变的变化与阵风的变化有很好的对应。低空风切变具有明显的阵性特征, 持续时间波动较大, 最短1分钟, 最长13分钟; 当跑道两端风向差足够大时, 即使风速差小于2 m/s也能达到告警标准。

关键词

低空风切变, 对流天气, 水平风切变

Analysis of Low-Level Wind Shear Characteristics Caused by Convective Weather in Urumqi Airport

Haiyan Cheng

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

Received: Dec. 18th, 2023; accepted: Jan. 16th, 2024; published: Jan. 23rd, 2024

Abstract

The characteristics of low-level wind shear that occurred on July 18, 2019 at Urumqi Airport are analyzed on the basis of NCAR/NCEP FNL $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data and the real-time wind data from airport runways automatic observation system (AWOS). The results show that the convective low-

level wind shear was caused by unstable energy triggered by short wave troughs and wind shear lines under weak weather scale forcing. The gust generated by the movement of convective cells is the main cause of the low-level wind shear, so the change of low-level wind shear corresponds well with the change of gust. The low-level wind shear has obvious gusty characteristics, with significant fluctuations in duration, ranging from 1 minute to 13 minutes, when the wind direction difference between the two ends of the runway is large enough, even if the wind speed difference is less than 2 m/s, the alarm is still met.

Keywords

Low-Level Wind Shear, Convective Weather, 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

风切变是风向和风速突然发生变化的一种现象，它可以出现在高空，也可以发生在低空，航空气象上将发生在 600 m 以下的风切变称为低空风切变[1]，具有变化时间短、尺度小、强度大等特点，在这种飞行环境中，空速也会相应地突然发生变化，从而影响航空器的升力，进而改变航空器的飞行轨迹，因此对处于起飞和着陆阶段的航空器威胁极大[1] [2] [3]。据不完全统计，1970~1985 年间至少发生过 28 起与低空风切变有关的飞行事故，绝大多数都发生在 300 米以下，尤其是着陆阶段[3]。

程海艳[4]、孙少明等[5]先后对乌鲁木齐机场风切变进行了统计分析，发现东南大风是引起乌鲁木齐机场风切变最主要的原因，对流天气则是造成乌鲁木齐机场风切变的第二大天气原因。2001 年，王春红[6]通过分析东南大风天气下的风切变特征，发现当 1000 米以上的东南风风速超过 16 m/s 时，就可以预报中度及以上的风切变。张利平等[7]进一步分析发现东南大风天气下的风切变在起始和结束阶段最为显著。张茜[8]、张利平等[9]则分别研究了春季和冬季东南大风下的风切变特征。但关于乌鲁木齐机场由对流天气引起的风切变的研究却很少，因此，本文以 2019 年 7 月 18 日发生在乌鲁木齐机场的一次对流型低空风切变为研究对象，分析对流天气下低空风切变的特征。

2. 天气实况和资料介绍

2019 年 7 月 18 日乌鲁木齐机场出现对流性天气，期间伴有 11~15 m/s 偏南阵风的天气，分别在 11:46、12:30 (北京时，下文同)收到机组低空风切变报告，发生高度分别为 80 m、100 m。

文章使用的资料包括：(1) NCAR/NCEP FNL 再分析数据，精度 $1^\circ \times 1^\circ$ ；(2) 乌鲁木齐机场自动气象观测系统(AWOS)风场数据，风数据为两分钟平均值，时间精度为 15 秒。

采用美国机场低空风切变警报系统，当两个相距 3 km 的测风站之间风向、风速矢量差达 7.7 m/s (即 2.6 (m/s)/km) 以上时，即发出报警信号。风切变计算公式如下：

$$\beta = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \theta} \quad (1)$$

其中， U_1 、 U_2 为跑道两端的风速值， θ 为跑道两端的风向差。乌鲁木齐机场跑道全长 3.6 km，呈东北西南方向(07/25)，07 方向与 25 方向 AWOS 相距 3 km，分别与中间(MID) AWOS 安装位置相距 1.5 km，根据告警阈值分别为 7.7 m/s、3.9 m/s。

3. 天气形势分析

从 500 hPa 形势场(图 1(a))可知, 18 日 08 时西伯利亚地区存在一冷性低涡, 新疆地区处于低涡底部, 北疆大部受偏西气流控制, 在北疆盆地存在一支东北-西南向的短波槽, 槽后有弱的冷平流。700 hPa 形势(图 1(b))与 500 hPa 类似, 由低涡分裂的短波影响北疆地区, 在北疆沿天山一带有一条近乎东西向的切变线, 切变线两侧有明显的风向和风速的辐合。

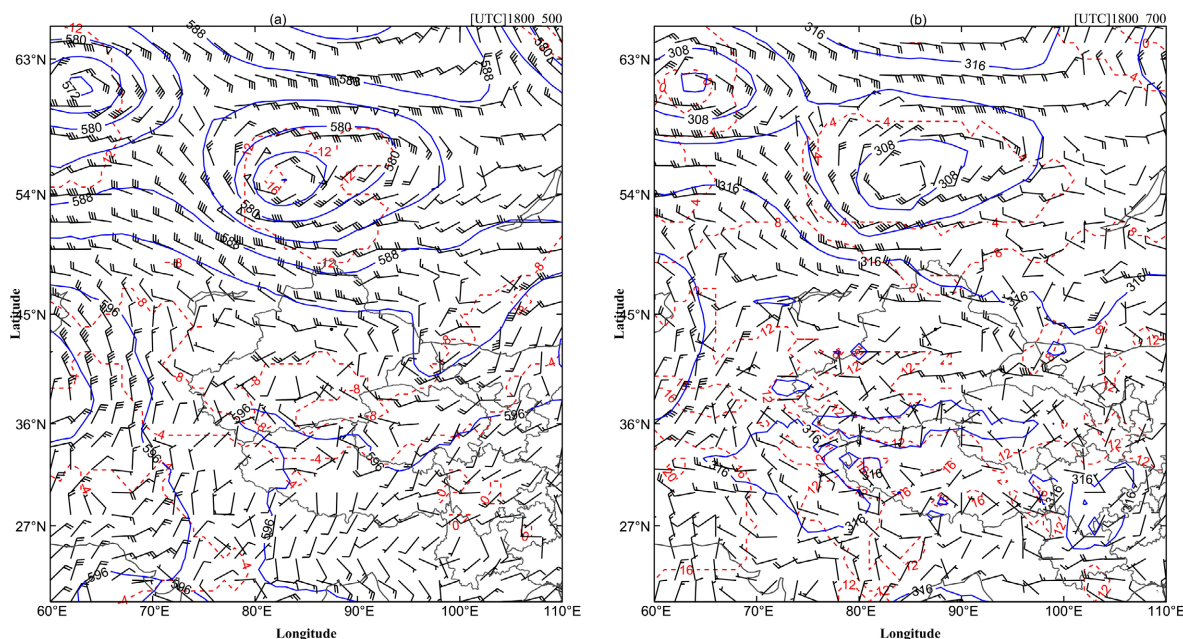


Figure 1. The synoptic situations of 500 hPa (a) and 700 hPa (b) at 08:00 in July 18, 2019

图 1. 2019 年 7 月 18 日 08 时 500 hPa (a)、700 hPa (b) 形势场

分析不稳定能量(图略)发现, 18 日 08 时北疆大部 850 hPa 与 500 hPa 的温差达到 32°C , 乌鲁木齐地区 K 指数 33°C 、沙氏指数 -0.57°C , 且在 850~700 hPa 之间存在条件不稳定特征, 具有较好的对流不稳定能量。

4. 低空风切变期间风场特征

18 日 10:00 前后乌鲁木齐机场西南方向有 35 dBz 以上的强回波(图略), 并向东北方向移动, 10:43 左右, 0.5° 仰角的径向速度图(图略)显示西南方向距离乌鲁木齐机场 30 km 处有 $15\sim 17\text{ m/s}$ 负速度向机场移动。11:30 对流云团开始影响到跑道的 07 端, 11:39 跑道 07 方向瞬时风速突增至 15.6 m/s (图 2(a)), 随后向 25 方向传播, 风速有所减小; 11:49 跑道 25 方向风速达到最大(12.2 m/s), 跑道两端风速存在 10 分钟的明显差异; 12:00 前后 07 方向风速再次增加, 25 方向紧随其后, 但后续两段风速差异明显减小; 尤其是 13:00 后, 跑道两段风速基本一致。

根据跑道两端风向变化(图 2(b)), 11:30 跑道 07 方向转偏南风, 而 25 方向保持偏东风, 跑道两端风向差大于 100° , 持续至 11:42, 随后风向差逐渐减小, 12:00~12:30 之间为较为一致的西北风, 12:32 跑道 07 方向转为偏南风, 跑道两端风向再次超过 100° , 12:35 后风向差迅速减小, 跑道两端则为一致的偏南风。

通过对风向风速的分析可知, 乌鲁木齐机场在 11:30~11:49 之间具有较为明显的风向和风速差异, 期间最大风速差为 14.2 m/s , 最大风向差为 180° , 在 12:32~12:35 之间具有较为明显的风向差。两次低空风切变便发生在此期间。

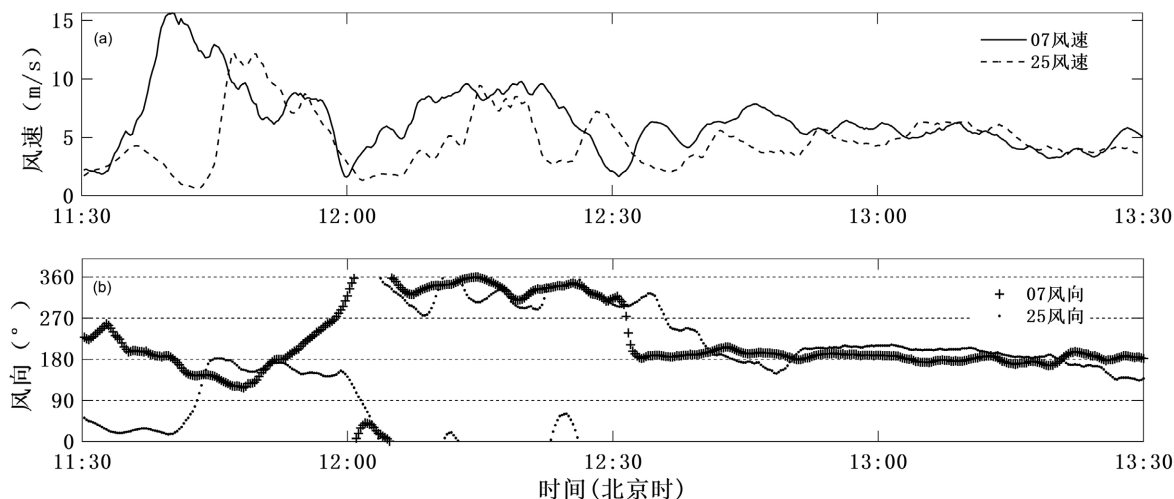


Figure 2. Changes of wind speed (a) and wind direction (b) at the two ends of the runway at Urumqi Airport during low-level wind shear

图 2. 低空风切变期间乌鲁木齐机场跑道 2 端风速 (a)、风向 (b)变化

5. 低空风切变特征

利用水平风切变公式，计算得到跑道两端风切变值。从图 3 可知，此次风切变过程具有明显的阵性特征，跑道两端风切变数值在 12:35 前多次达到告警标准(7.7 m/s)，持续时间最短 1 分钟，最长 13 分钟。其中 11:34~11:47 跑道两端水平风切变数值最大达 17.8 m/s，出现在 11:39，也就是 07 方向风速突增的时刻，机组报告低空风切变时(11:46)的水平风切变数值为 9.9 m/s。与第二份机组报告最为接近的时段为 12:33~12:35，最大水平风切变值为 8.3 m/s。第二份机组报告时间(12:30)跑道 07 方向与 25 方向风向和风速差异并不大，但 07 方向与 MID 方向存在明显差异，根据 07 方向与 MID 方向水平风切变值(图略)，12:28~12:36 均达到告警标准(3.9 m/s)。

从图 3 可知，在 11:54~11:59 期间跑道两端风速差平均值仅为 0.9 m/s，但仍可达到告警标准，分析发现在此期间，跑道两端虽没有明显风速差但却有明显的风向差，差值在 60°~130°之间。

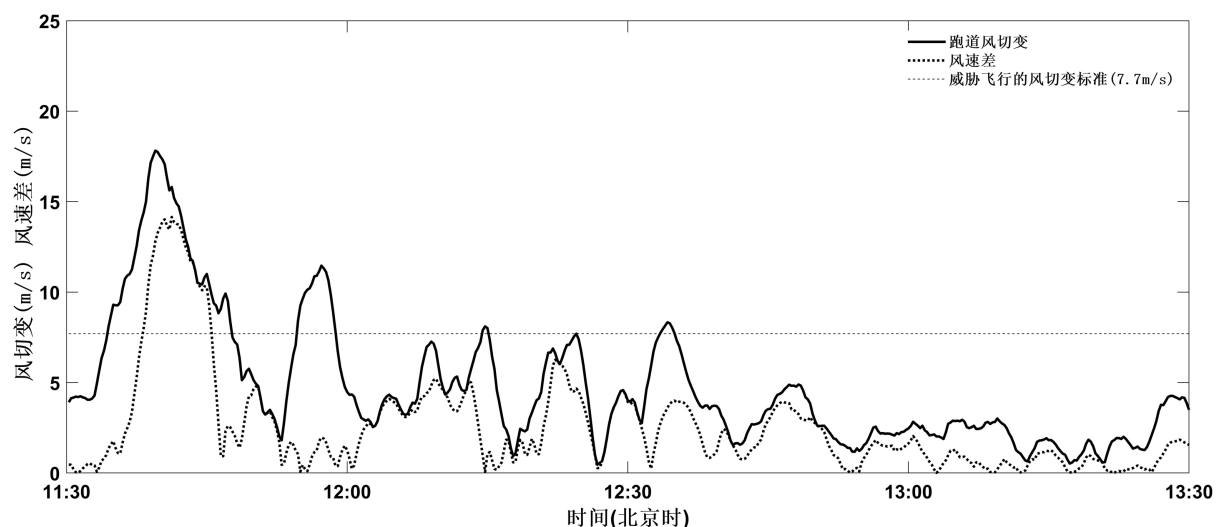


Figure 3. Changes of horizontal wind shear values at both ends of the runway during low-level wind shear at Urumqi Airport

图 3. 乌鲁木齐机场低空风切变期间跑道两端水平风切变值

进一步对此次过程中不同风向差下的水平风切变值统计发现,当跑道两端风向基本一致(风向差小于 30°)时,风切变的大小与跑道两端风速差的变化基本一致,此时只要观察到跑道两端风速差超过 7.7 m/s 即可发出告警。而当跑道两端风向差异明显($30^\circ\sim 90^\circ$),且风速差异也明显时,风切变较强,风速差异不明显时,风切变较弱;当风向差异在 $60^\circ\sim 90^\circ$ 之间时,跑道两端风速之和大于 15 m/s 时,即使跑道两端风速差异不明显,也能达到告警标准。当跑道两端风向差大于 90° (图4): 1) 跑道两端的风速差 $\leq 2\text{ m/s}$,水平风切变数值也能达到告警标准; 2) 当跑道两端风速均 $\geq 4\text{ m/s}$ 或两端风速的和 $\geq 8\text{ m/s}$ 时,就能达到告警标准。

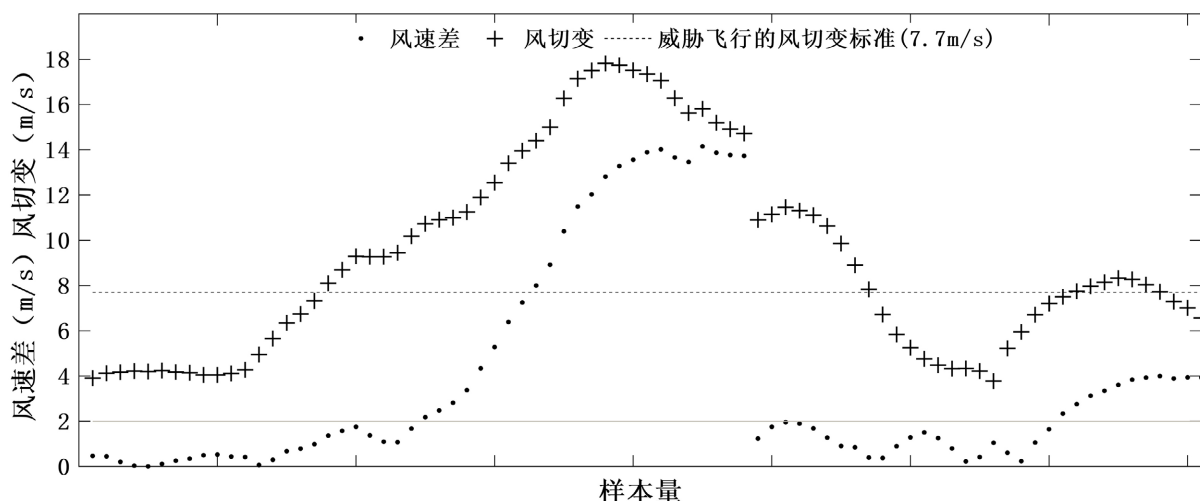


Figure 4. The change of wind shear and wind speed difference when the wind direction difference is greater than 90°
图4. 风向差大于 90° 时风切变与风速差的变化

6. 结论和讨论

此次低空风切变过程由对流天气引起,对流单体在移动过程中引发的阵风是造成此次低空风切变的主要原因,通过分析得到以下结论:

- 1) 此次低空风切变是发生在低涡底部偏西气流控制的背景下,500 hPa 短波和 700 hPa 切变线是触发不稳定能量释放的机制。
- 2) 低仰角径向速度对阵风天气的出现有很好的指示意义。
- 3) 低空风切变出现时间与阵风出现时间有较好的对应关系,具有明显的阵性特征,持续时间波动较大,最短 1 分钟,最长 13 分钟。
- 4) 较大的风向差和风速差是出现低空风切变的必要条件,当跑道两端风向一致时,风切变的大小完全由风速差决定。
- 5) 当跑道两端风向差较大(大于 90°)时,即使跑道两端风速差很小也能达到告警标准,此时当跑道两端风速均 $\geq 4\text{ m/s}$ 或两端风速的和 $\geq 8\text{ m/s}$ 也能达到告警标准,从而影响飞行安全。

参考文献

- [1] 赵树海. 航空气象学[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [2] 郭虎道. 低空风切变对飞行的影响[J]. 四川气象, 2001, 21(3): 20-21.
- [3] 李春生. 低空风切变——航空飞行的恶魔[J]. 中国民用航空, 2002(6): 59.
- [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.

- [5] 孙少明, 张茜, 朱雯娜, 等. 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] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 张利平. 乌鲁木齐机场一次冬季东南风引起的低空风切变分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(6): 45-50.