

# 地窝堡国际机场一次连续雷雨大风天气浅析

王楠楠, 杜安妮

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: 2023年11月7日; 录用日期: 2023年12月21日; 发布日期: 2023年12月29日

## 摘要

本文利用FNL再分资料、乌鲁木齐机场雷达、激光风廓线雷达等多种资料对2022年7月24日乌鲁木齐机场一次连续雷暴大风天气的成因进行分析。结果表明: (1) 500 hPa低涡底部多短波活动, 低层有风速的辐合、风向的切变和地形的抬升作用, 加上地面冷高压控制的高低层配置, 造成了伊犁河谷、北疆沿天山一带的雷雨, 局地大风等天气。(2) 随着偏西引导气流, 北疆西部地区的对流云团在东移过程中不断在北疆沿天山一带激发新的对流云并不断加强, 先后覆盖乌鲁木齐机场两次, 并且第二次雷达回波强度更强, 径向速度更大, 造成第二次雷雨过程中出现大风天气。(3) 就本次天气来说, 激光雷达风廓线风的监测对本场强对流的出现有20分钟提前量。(4) 低层水汽主要沿偏西和西北路径输送至北疆西部、天山山区及其两侧。相较而言, 第二次雷雨的水汽条件略好于第一次, 且动力条件上第二次雷雨的上升运动区高度也更高、强度更强, 因此伴随的天气现象也更强。

## 关键词

雷暴, 气象雷达, 激光风廓线雷达

# Analysis of a Continuous Thunderstorm and Strong Wind at Diwopu International Airport

Nannan Wang, Anni Du

Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Management Bureau, Urumqi Xinjiang

Received: Nov. 7<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 21<sup>st</sup>, 2023; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In this paper, the causes of a continuous thunderstorm on July 24, 2022 at Urumqi Airport are

analyzed by using FNL subdivision data, Doppler Radar and Lidar at Urumqi Airport. The results show that: (1) Many shortwave activities at the bottom of 500 hPa Vortex, wind speed convergence, wind direction shear and topography uplift at the lower layer, and the configuration of high and low layer controlled by cold high pressure at the surface, caused thunderstorms and local strong winds in the Yili River valley and along the northern of Tian Shan. (2) With the westerly leading air current, the convective cloud clusters in the western part of northern Xinjiang continuously stimulated and strengthened new convective clouds along the Tian Shan during the eastward movement. Covering the Urumqi Airport twice in succession, and the second radar echo intensity is stronger, the radial velocity is bigger, causing the second thunderstorm in the process of gale weather. (3) For this weather, Lidar wind profile wind monitoring has a 20-minute lead time for the appearance of strong convection in this field. (4) The low-level water vapor mainly transports to the western part of northern Xinjiang, the Tian Shan mountainous and its two sides along the westward and northwest paths. The water vapor condition of the second thunderstorm is slightly better than that of the first, and the ascending motion area of the second thunderstorm is higher and stronger, so the accompanying weather phenomenon is stronger.

## Keywords

Thunderstorm, Weather Radar, Lidar

Copyright © 2023 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

强对流天气常带来冰雹、雷雨大风和突发性暴雨等剧烈天气现象,给人民生命财产带来重大损失。国外多项研究指出,强对流天气的难以预测性及不同的环流形势会出现不同的强对流天气特征[1][2]。国内很多文献分析了中国不同地区雷暴[3]-[8]、冰雹[9][10][11]天气气候特征,表明不同地区雷暴和冰雹有着不同的年际变化特征和周期性。不同的地区,影响因子也不同,要更好地揭示强对流发生的机理,就必须对不同区域的强对流事件分别考虑。陈思蓉[12]等对中国743个站点的雷暴以及冰雹发生日数进行统计得出,青藏高原中东部、川西高原、云南、贵州南部、广西、广东、江西东南、福建等地夏季雷暴发生概率都在30%以上,是雷暴发生频繁的地区。另外,新疆西部小部分地区夏季雷暴发生概率达30%,也是雷暴较容易发生的区域。

乌鲁木齐国际机场地处东西天山间吐鲁番盆地至乌鲁木齐的东南-西北向峡谷开口处,属于北疆沿天山一带,也是除了新疆西部以外,多对流天气爆发地区。雷暴时伴有闪电、雷鸣、阵雨、大风,时而且还伴有冰雹、龙卷等现象的中小尺度对流天气系统,对飞行安全有严重的威胁。在雷暴中飞行有以下几点危险:雷暴会引起飞机强烈的颠簸,飞机的操纵性能恶化;可能会产生较强的积冰,从而影响飞机的稳定性和操作性;雷暴云下降风或强烈的风切变、下击暴流等会造成飞机失速、倾斜、严重偏离下滑道而失事;雷击和闪电能严重干扰飞机的无线电通讯,常使机载电子设备失灵或损坏。因此对雷暴天气的预报是夏季飞行气象保障中的重点。朱雯娜[13]等对一次乌鲁木齐机场的雷暴天气进行分析,指出中尺度天气分析方法可以预测中小尺度强天气落区,但是中尺度数值预报模式缺乏有效的强对流天气指导产品。杜安妮[14]等对乌鲁木齐机场强对流天气的环境条件及雷达回波特征进行分析,希望能够为强对流天气的预报提供一定的参考,本文在此基础上增加了激光风廓线雷达的分析,以期能找到大风的变化规律,为

今后雷暴大风的预报提供参考。

2022年7月24日夜间乌鲁木齐机场出现一次连续雷暴伴大风天气,正值机场夜间进港高峰期,对航空运行造成了严重的影响。本文利用常规气象资料、雷达回波、物理量场分析,结合激光雷达的分析对乌鲁木齐机场的一次连续雷暴天气进行了研究,力求能在对流天气的监测和预警中提供一些有价值的参考,更好地保证飞行安全和航班正常。

## 2. 天气实况

2022年7月24日(以下时间均为北京时),受低涡底部偏西气流多短波东移影响,北疆西部、天山山区及其两侧、东疆地区出现了大范围的强对流天气。疆内各机场主要在博乐机场出现近2小时的雷雨天气;哈密机场出现雷雨时间短,但其大风影响更为显著,平均风速最大达到15米/秒,阵风最大达到22米/秒;乌鲁木齐机场24日白天为晴转多云小阵雨天气,24日夜间至25日凌晨出现雷雨大风伴扬沙天气。

乌鲁木齐机场此次对流天气分为两个阶段,第一阶段为24日21时48分至23时,维持1小时12分钟,以干雷暴转弱雷雨天气为主;第二阶段为25日01时07分至02时12分,维持1小时5分钟,主要表现为干雷暴转弱雷雨,并伴有偏西大风和扬沙天气,大风维持半小时,平均风速最大达到13米/秒,阵风最大达到23米/秒,扬沙天气时主导能见度为3000米。两次对流发生阶段正值乌鲁木齐机场航班进港高峰期,对航班运行造成了严重影响。

## 3. 雷暴成因分析

### 3.1. 大尺度环流背景

500 hpa上,24日08时-20时在西西伯利亚地区有一个明显的低涡系统,并伴有冷中心 $-24^{\circ}\text{C}$ ,新疆地区受低涡底部不断分裂的小股冷空气影响,为北疆沿天山一带强对流天气的产生提供了有利的触发机制。24日20时(如图1(a))北疆沿天山一带有弱冷平流,短波槽移动至石河子附近,有冷暖空气的汇合,为此次机场强对流天气的发生提供不稳定条件。700 hpa上,24日北疆西部有风向的切变线,北疆北部至盆地受12 m/s以上的西北气流控制,局地风速最大达到20 m/s,乌鲁木齐附近风速较小,最大达到10 m/s,北疆沿天山一带有风速的辐合,有较强的上升运动。850 hpa上,23日20时在西部国境线附近有波动进入,24日08时短波东移,北疆西部地区转为西北气流控制,与北疆沿天山一带近乎垂直,有地形抬升作用,14时乌鲁木齐区域有风向辐合,利于产生上升运动,至20时可以明显看到北疆北部西北风加强,乌鲁木齐机场附近仍有切变线维持,有利于雷暴天气的出现。

从地面海平面气压和10米风场来看,强冷高压中心位于乌拉尔山地区,冷高压前部不断有小股冷空气分裂东移南下入侵新疆地区。24日08时新疆偏北地区为西南-东北向的弱高压控制,新疆中部地区为低压控制,北疆沿天山一带有较弱的气压梯度。至20时(如图1(b)),冷高压进一步东移南下,气压梯度在新疆中部略有加强,北疆沿天山一带西北风增大,最大风速位于乌鲁木齐附近,达12米/秒。

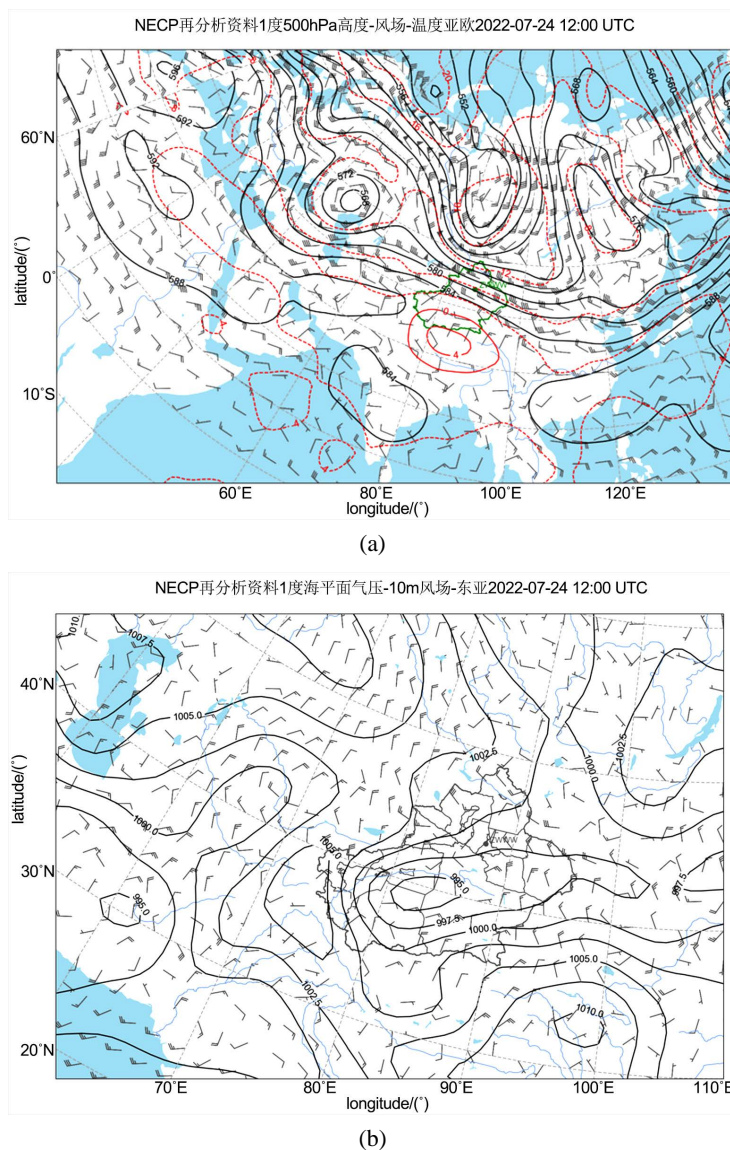
整层的高低空配置为北疆西部、北疆沿天山一带对流发生提供了较好环境背景。

### 3.2. 雷达图分析

由自治区雷达拼图可以分析,24日白天至傍晚,隐嵌对流云主要出现在克拉玛依、伊犁河谷、天山山区西段和哈密地区;本场白天由晴天逐渐转为多云小阵雨,伴对流云天气,小阵雨维持半个小时。随着偏西引导气流,西部地区的对流云团在21时左右东移至石河子附近,并在继续东移过程中不断加强,博乐-北疆沿天山一带均出现强对流天气,本场21时48分至23时出现第一场雷暴转弱雷雨天气。随着偏西引导气流,位于克拉玛依一带新生成的对流云团向东移动,在东移过程中其底部在北疆沿天山一带

不断激发新的对流云并逐渐加强, 乌苏、石河子及本场一带均被强对流覆盖, 本场再一次出现短时的雷暴大风天气。

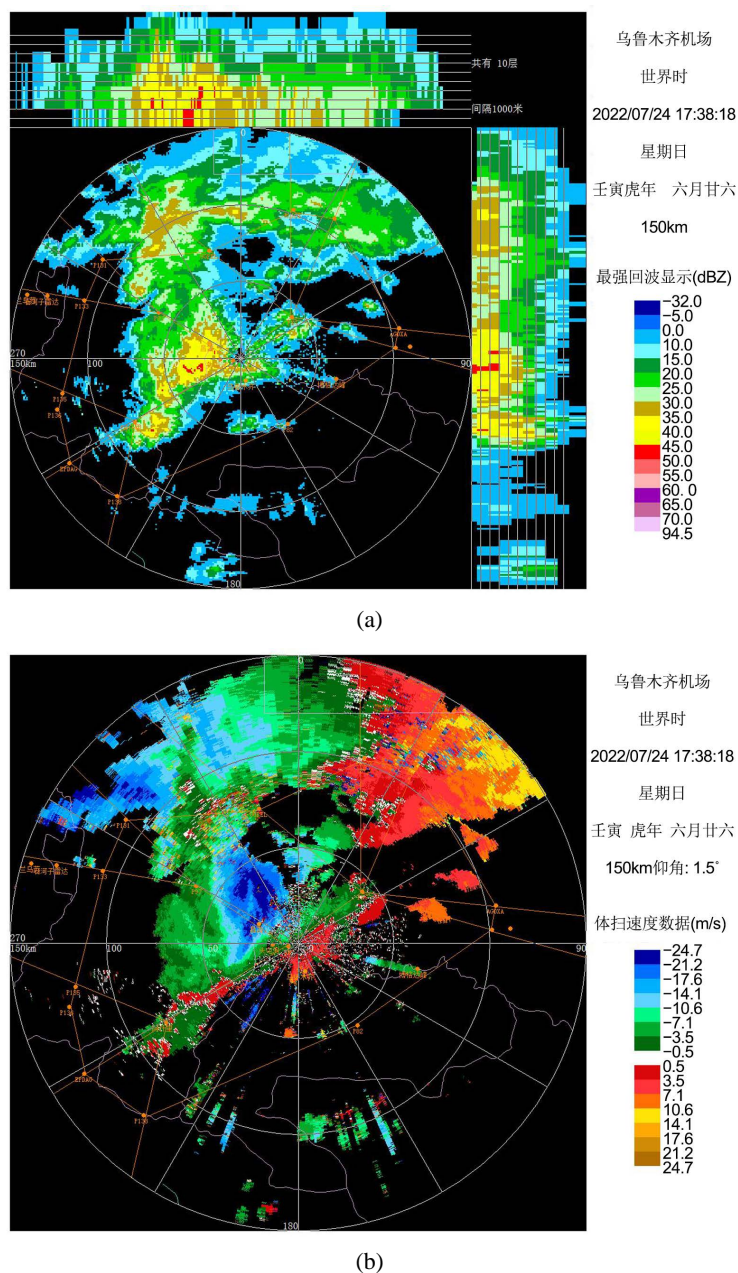
由乌鲁木齐机场雷达图分析可知, 24 日 21 时以前, 终端区内主要以层状云系为主, 夹杂分散的弱对流云发展, 本场此时为多云小阵雨天气, 伴有对流云。24 日 21 时至 24 时, 终端区自西向东有较大范围的隐嵌对流云团东移并发展, 移至乌鲁木齐机场附近, 对流云最强发展至 45~50 dBZ, 出现第一场雷暴转弱雷雨天气。25 日 00 时至 02 时 30 分, 有新的成片对流云团自西向东覆盖了终端区大范围区域, 回波顶高达到 10 公里以上, 强度较第一波对流更强, 范围更大, 最强回波达到 50~55 dBZ, 高度达到 4~5 公里(如图 2(a)), 乌鲁木齐机场出现第二场雷暴转弱雷雨天气, 并伴大风沙尘, 对流云团移出乌鲁木齐机场上空之后开始明显减弱。



**Figure 1.** Upper air temperature field (red contour: °C), geopotential height (black contour: DAGPM), relative humidity (color in: %) of 500 hPa (a) and Pressure field at sea level (black contour: hPa), wind of 10 m (m/s) at 20:00 of Jul 24, 2022

**图 1.** 2022 年 7 月 24 日 20 时高空温度场 500 hPa (a) 温度(红线: °C)、位势高度(黑线: dagpm)、相对湿度(填色: %) 和海平面气压场(b) (黑线: hPa)、10 米风速(m/s)





**Figure 2.** Strongest echo (a) (unit dBz) and Speed data (b) (unit m/s) of Urumqi Airport Doppler Radar at 01:38 of Jul 25, 2022

**图 2.** 乌鲁木齐机场 2022 年 7 月 25 日 01 时 38 分最强回波显示(a) (单位 dBz)和 1.5 仰角的体扫速度图(b) (单位 m/s)

由径向速度图分析可知, 第一阶段雷雨伴随的风速较小。25 日 01 至 03 时乌鲁木齐机场西北侧 70 公里范围内开始出现大风区, 强度最强达到或超过  $-24.7$  m/s, 01 时 38 分大风区前沿到达头屯河区(如图 2(b)), 10 分钟后乌鲁木齐机场出现半小时的偏西大风, 平均风速  $8\sim 13$  m/s, 阵风  $14\sim 23$  m/s, 并伴有短时扬沙, 主导能见度 3000 米。

### 3.3. 激光风廓线雷达

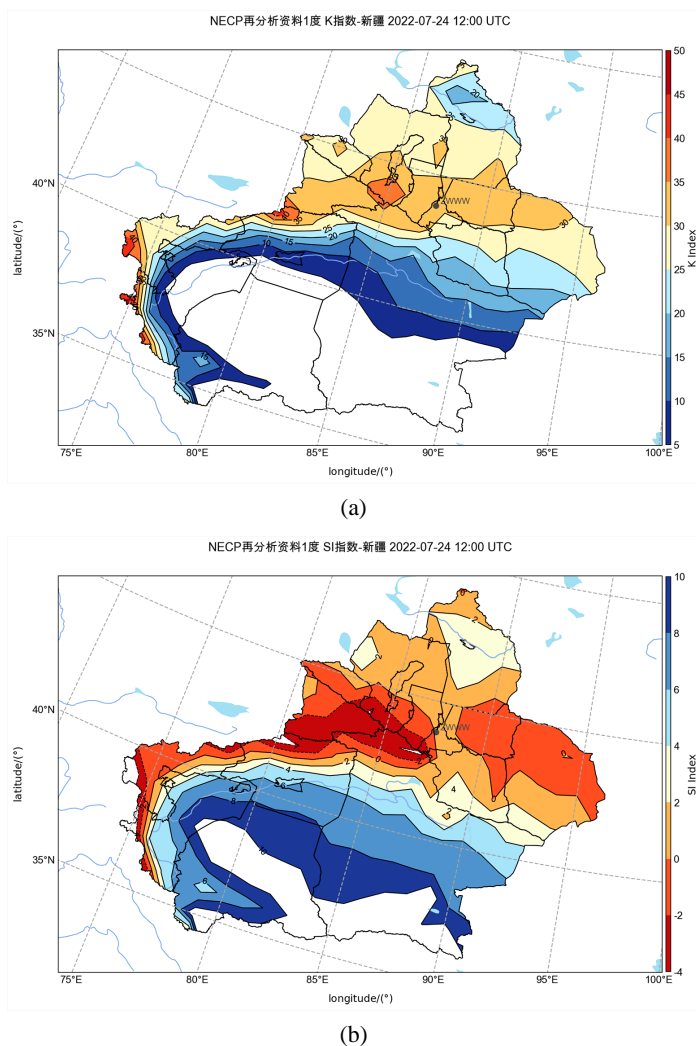
分析乌鲁木齐机场激光风廓线雷达可以明显看到, 25 日 01 时 30 分时 500 米至 1500 米偏北风明显

增大至 24 m/s, 至 01 时 41 分时有明显的动量下传, 低层风速明显增大, 至 01 时 50 分时, 接地端的偏西风风速已经增大到 28 m/s 且持续至 02:15, 随后低层风速逐渐减小。就本次天气来说, 激光雷达风廓线风的监测对本场强对流的出现有 20 分钟提前量。

## 4. 物理量场分析

### 4.1. 层结条件

08 时 K 指数大值区位于北疆沿天山一带, 午后 K 指数明显增加, 其中伊犁河谷 K 指数在午后上升至 35℃ 以上, 天山山区中段及北疆东部 K 指数 30℃~35℃, 具有较强的热力不稳定。至 20 时(如图 3(a))伊犁河谷至天山山区一带 K 指数明显增大, 局地山区 K 指数大值依旧维持。08 时克拉玛依、石河子至乌鲁木齐南部以及东疆北部 SI 指数均小于 0℃, 其中伊犁河谷、乌鲁木齐南部山区以及东疆北部 SI 指数午后有明显减小, 至 20 时(如图 3(b))伊犁河谷、天山山区一带 SI 指数减小至 -4℃, 层结不稳定。08 时乌鲁木齐至东疆北部, CAPE 值在 200 J/kg 以上, 20 时伊犁河谷、库尔勒地区 CAPE 值均略有增加, 天山山区南部达到 300 J/kg 以上, 为雷暴的发生提供不稳定层结条件。

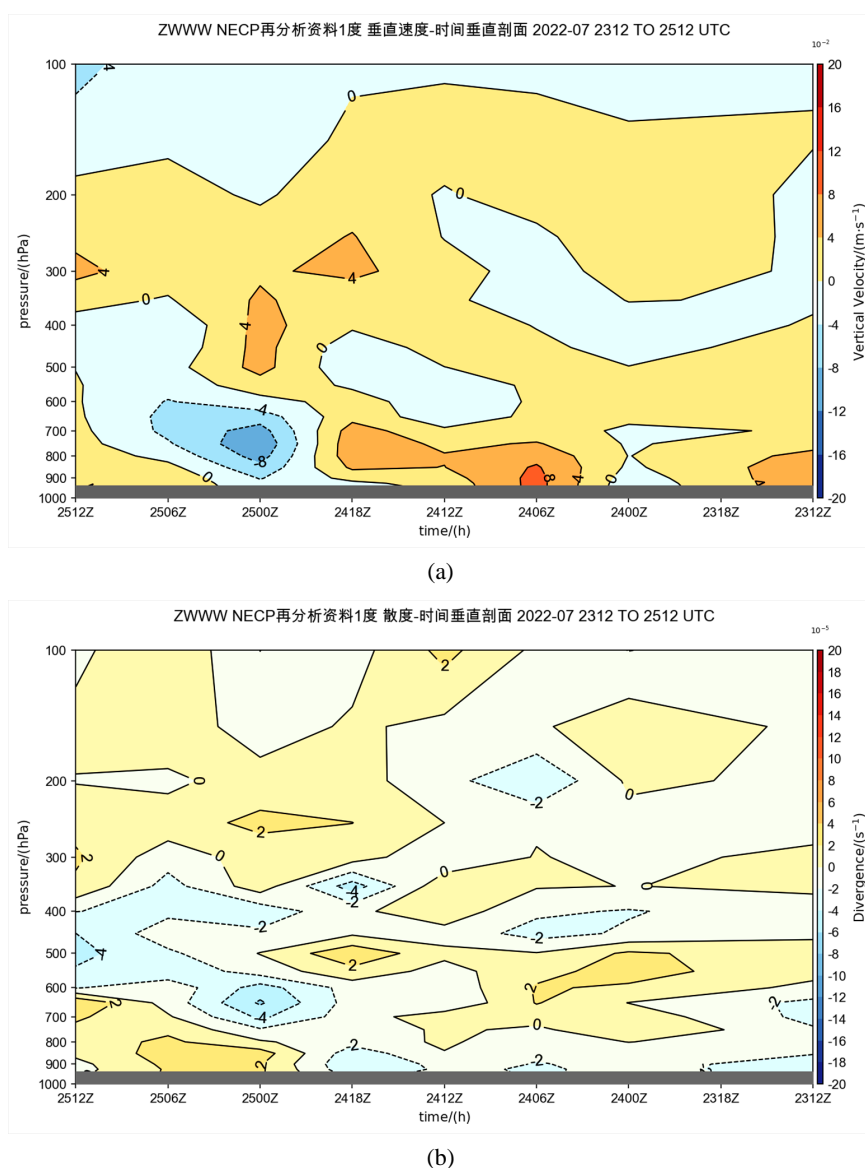


**Figure 3.** Index K and SI at 20:00 of Jul 24, 2022 (unit: °C)  
**图 3.** 2022 年 7 月 24 日 20 时 K 指数和 SI 指数(单位: °C)

## 4.2. 动力条件

以乌鲁木齐机场(43°14'N、87°28'E)做垂直速度的时间剖面图分析可知(如图4(a)),第一次雷雨时,700 hPa到500 hPa为下沉运动区,700 hPa以下为上升运动区,最强上升运动区集中在850 hPa高度;第二次雷雨时,900 hPa以下为下沉运动区,900~600 hPa均为上升运动区,850 hPa到700 hPa为强上升区。以乌鲁木齐机场(43°14'N、87°28'E)做散度-时间剖面图分析可知(如图4(b)),第一次雷雨时,500 hPa以下为弱辐合区,800 hPa到700 hPa夹杂一辐散层;第二次雷暴时,600 hPa以下均为辐合区,较强辐合区在800 hPa以下,500 hPa上下为辐散区。

垂直速度和散度的分析均有较强的辐合上升运动,为对流天气提供了更好的动力条件。相较于第一次雷雨时段,第二次雷雨上升运动区高度更高、强度更强,因此伴随的天气现象也更强。

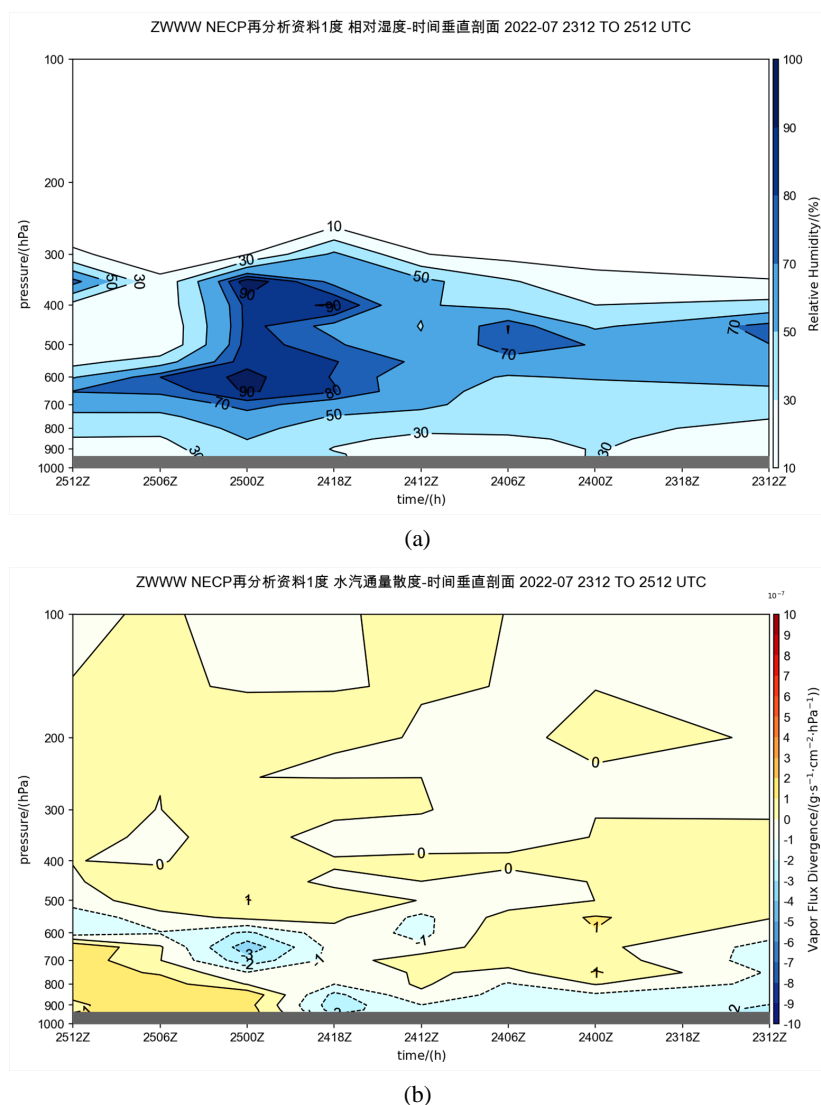


**Figure 4.** Vertical velocity-time profile (a) (units:  $\text{m/s}$ ) and divergence-time profile (b) (units:  $\text{m/s}$ ) of 23 July 2022 at 20:00 to 25 July 2022 at 20:00

**图 4.** 2022 年 7 月 23 日 20 时至 25 日 20 时垂直速度 - 时间剖面图(a) (单位  $\text{m/s}$ )和散度 - 时间剖面图(b) (单位  $\text{m/s}$ )

### 4.3. 水汽条件

通过分析水汽通量可知, 700 hPa 水汽通过偏西路径经中亚地区进入北疆区域, 随后主要输送至北疆西部、盆地、天山山区及北疆沿天山一带; 850 hPa 水汽通过西北路径经西西伯利亚进入北疆区域, 随后继续向南输送至伊犁河谷、天山山区及天山南麓, 为上述地区的对流发生提供水汽来源。以乌鲁木齐机场(43°14'N、87°28'E)做相对湿度的时间剖面图可知(如图 5(a)), 雷暴发生前低层偏干, 第一次雷雨期间相对湿度也较差, 在 50%~70%; 第二次雷雨发生时相对湿度略有抬升, 高湿区集中在 550 hPa~700 hPa, 和 400 hPa 附近, 为 70%~90%, 反而整层相对湿度大值区出现在本场对流天气过后。以乌鲁木齐机场(43°14'N、87°28'E)做水汽通量散度的时剖面可知(如图 5(b)), 第一次雷暴期间, 800~650 hPa 有水汽的辐散, 600 hPa 附近和 800 hPa 以下有水汽的辐合, 第二次雷暴期间 600 hPa 以下都为水汽的辐合, 即第二次雷雨期间低层的水汽辐合更强。



**Figure 5.** Relative humidity-time profile (a) (units: m/s) and divergence of water vapor flux-time profile (b) (units: m/s) of 23 July 2022 at 20:00 to 25 July 2022 at 20:00

**图 5.** 2022 年 7 月 23 日 20 时至 25 日 20 时相对湿度 - 时间剖面图(a) (单位%)和水汽通量散度 - 时间剖面图(b) (单位  $g \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1}$ )



低层水汽主要沿偏西和西北路径输送至北疆西部、天山山区及其两侧, 但是乌鲁木齐机场雷雨期间整层水汽条件较差, 相较而言, 第二次雷雨的水汽条件略好于第一次。

## 5. 结论

(1) 500 hPa 低涡底部多短波活动、低层风速的辐合、风向的切变以及地形的抬升作用, 加上地面冷高压控制的高低层配置, 造成了伊犁河谷、北疆沿天山一带的雷雨, 局地大风等天气。

(2) 随着偏西引导气流, 北疆西部地区的对流云团在东移过程中不断在北疆沿天山一带激发新的对流云并不断加强, 先后覆盖乌鲁木齐机场两次, 并且第二次雷达回波强度更强, 径向速度更大, 造成第二次雷雨过程中出现大风天气。

(3) 就本次天气来说, 在本场出现对流较强时, 监测激光雷达风廓线风的情况, 有 20 分钟提前量。

(4) 垂直速度和散度的分析均有较好的辐合上升运动, 为对流天气提供了更好的动力条件。相较于第一次雷雨时段, 第二次雷雨上升运动区高度更高、强度更强, 因此伴随的天气现象也更强。

(5) 低层水汽主要沿偏西和西北路径输送至北疆西部、天山山区及其两侧, 但是乌鲁木齐机场雷雨期间整层水汽条件较差, 相较而言, 第二次雷雨的水汽条件略好于第一次。

## 参考文献

- [1] Rakovec, J. (1989) Thunderstorms and Hail. *Theoretical and Applied Climatology*, **40**, 179-186. <https://doi.org/10.1007/BF00865969>
- [2] Cacciamani, C., Battaglia, F. and Patrino, P. (1995) A Climatological Study of Thunderstorm Activity in the Po V Alley. *Theoretical and Applied Climatology*, **50**, 185-203. <https://doi.org/10.1007/BF00866116>
- [3] 徐桂玉, 杨修群. 我国南方雷暴的气候特征研究[J]. 气象科学, 2001, 21(3): 299-307.
- [4] 李照荣. 西北地区雷暴气候特征[J]. 灾害学, 2005, 20(2): 83-88.
- [5] 张敏锋. 我国北方雷暴的时空分布特征[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 278-284.
- [6] 叶殿秀, 张强, 邹旭恺. 三峡库区雷暴气候变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(3): 37-39.
- [7] 段炼, 陈章. 近 42 年成都地区雷暴的气候统计特征[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 59-64.
- [8] 胡艳, 端义宏. 上海地区雷暴天气的气候变化及可能影响因素[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36(4): 588-594.
- [9] 杨晓霞, 张爱华, 贺业坤. 连续冰雹天气的物理特征分析[J]. 气象, 2000, 26(4): 50-54.
- [10] 陶云, 段旭, 杨明珠. 云南冰雹的时空分布特征及其气候成因初探[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(6): 837-842.
- [11] 康凤琴, 张强, 郭江勇. 中国西北地区冰雹的气候特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(1): 83-86.
- [12] 陈思蓉, 朱伟军, 周兵. 中国雷暴气候分布特征及变化趋势[J]. 大气科学学报, 2009, 32(5): 703-710.
- [13] 朱雯娜, 王清平, 孙少明. 乌鲁木齐机场一次连续性雷暴天气分析与气象服务保障[J]. 自然科学, 2017, 5(5): 424-429.
- [14] 杜安妮. 乌鲁木齐机场一次强对流天气的环境条件及雷达回波特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(5): 888-897.