

乌鲁木齐天山国际机场一次春季强降水天气分析

王楠楠

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: 2025年10月29日; 录用日期: 2025年11月26日; 发布日期: 2025年12月5日

摘要

本文利用NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 逐6小时再分析资料和雷达资料, 对2025年5月2~3日乌鲁木齐天山国际机场春季强降雨天气特征及成因进行分析, 结果表明: (1) 乌拉尔槽底部偏西气流、低层西北急流、叠加地面锋区共同作用, 在沿天山一带产生强烈的垂直上升运动和地形强迫抬升作用, 为强降水提供良好的动力条件。(2) 中低层中亚-北疆沿天山一带有稳定的水汽输送带, 伊犁河谷、天山山区有水汽辐合中心, 且水汽达到饱和, 为两场降水提供充足的水汽条件。(3) 本场上空上层有辐散中心, 中低层配合有辐合中心, 使得本场上空维持有深厚的上升运动, 提供了良好的动力条件。(4) K指数、SI指数具有较强的对流潜势, 以及混合性降水回波, 造成伊犁河谷、天山山区局地出现短时强降水和大风天气。

关键词

乌鲁木齐, 强降雨, 水汽饱和, 上升运动, 对流潜势

Analysis of a Spring Heavy Precipitation Event at Urumqi Tianshan International Airport

Nannan Wang

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

Received: October 29, 2025; accepted: November 26, 2025; published: December 5, 2025

Abstract

This study analyzes the characteristics and causes of a spring heavy rainfall event that occurred at Urumqi Tianshan International Airport from May 2 to 3, 2025, using NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6-hourly reanalysis

data and radar data. The results show that: (1) The combined effects of the westerly airflow in front of the Ural trough bottom, the low-level northwest jet stream, and the surface strong frontal zone generated intense vertical ascending motion and topographically forced uplift along the Tianshan Mountains, providing favorable dynamic conditions for heavy precipitation. (2) There was a stable water vapor transport belt in the middle and low levels over the area from Central Asia to northern Xinjiang along the Tianshan Mountains, with water vapor convergence centers in the Ili River Valley and the Tianshan Mountainous Area; the water vapor in these regions reached saturation, supplying sufficient moisture for the two rainfall episodes. (3) A divergence center existed in the upper layer above the airport, while a convergence center was present in the middle and low layers. This configuration maintained deep ascending motion over the airport, offering favorable dynamic conditions. (4) The K-index and SI index indicated strong convective potential, and the mixed precipitation echo led to the occurrence of short-term heavy rainfall and gale weather in local areas of the Ili River Valley and the Tianshan Mountainous Area.

Keywords

Urumqi, Heavy Rainfall, Water Vapor Saturation, Ascending Motion, Convective Potential

Copyright © 2025 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

新疆的降雨天气主要集中在春、夏季，其次为秋季，冬季则以降雪为主。王世杰等利用 1991 至 2010 年的 5 到 9 月乌鲁木齐市气象站降水量资料，分析了乌鲁木齐近 20 年降雨特征，结果表明，逐小时降水量和降水频次呈现较为一致的日变化特征，均以 20 时以后至翌日 11 时左右为高值区，在下午 16 时达最低值；小雨过程发生的频次最多，其次为中雨、大雨和暴雨过程[1]。

乌鲁木齐天山国际机场(原乌鲁木齐地窝堡国际机场)作为我国西北地区核心航空枢纽，地处天山北坡特殊地形带，其南部和东北侧紧邻天山山脉，北部为准噶尔盆地，这种独特的地形格局使机场春季受中高纬度冷空气南下与天山山区暖湿气流交汇影响显著，成为强降水及次生强对流天气的高发区域。张允勃用乌鲁木齐机场近 40 年的观测数据，做了气候统计分析得出：40 年中乌鲁木齐机场春季平均降水量达 73.555 mm，虽略低于夏季，但对年降水增加的贡献却居各季节首位，且强降水在总降水的占比呈上升趋势[2]。

天山地形的动力与热力作用进一步加剧了降水的复杂性。作为气流迎风坡且处于喇叭口地形附近，机场所在区域因地形强迫抬升作用，降水强度较周边平原地区显著偏高。朱雯娜等对一次暴雪过程做了地形敏感性试验[3]，结果表明当天山山脉高度降低 50%时，近地面上升速度中心值可减少 30%，水汽通量与水汽通量散度也相应减少 30%。这种地形与环流的协同作用，使得机场局地强降水中心的小时雨强可达 8~12 毫米，远超周边区域均值，同时也导致降水分布极不均匀，给精准预报及运行决策带来极大挑战。

深入解析乌鲁木齐天山国际机场春季强降水的形成机理、结构特征及影响规律，对提升航空气象预报精度、优化机场运行调度具有重要现实意义。本文以该机场一次典型春季强降水过程为研究对象，重点分析天气系统配置、物理量场演变及中尺度特征，希望对冬春过度时期强降雨天气的相态和降水量的预报总结经验，为机场精准气象保障及航班安全运行提供理论支撑。

2. 天气实况

2025年5月2~3日,北疆大部、天山山区及东疆北部地区出现降雨天气,其中伊犁河谷、天山山区及北疆沿天山一带出现暴雨,山区局地大暴雨天气。最大降雨中心位于霍城县福寿山站(134.7毫米),最大小时雨量位于昌吉州阜康市四工河站(49.6毫米)。乌鲁木齐市市区站降水量达30.8毫米(暴雨)。全疆大部出现5级左右西北风,风口风力9~10级,阵风11~12级,极大风速中心为巴州和静县乃门莫敦镇站33.5米/秒(12级)。

乌鲁木齐天山国际机场(以下简称乌鲁木齐机场)出现了两场降水,5月2日10:00~11:30、13:00~17:00小雨,降水量4.0毫米。5月3日03:00~10:30出现小雨,其中04:30~05:30中雨,04:45出现短时大雨并伴有低云,云底高60米,且主导能见度低至2000米,整个过程降水量17.9毫米,达到大雨量级,降水期间风向为西北风,平均风速7~9米/秒,大雨前后出现14~15米/秒阵风。3日中午开始,本场逐渐有少量对流云生成,15:54~19:30西北风再次增加,平均风速8~12 m/s,阵风风速18 m/s,极大风速达到19.1 m/s,后续转为多云天气,没有再次产生降水。因此次天气原因,5月2日和3日共造成乌鲁木齐机场航班延误33架次,对运行造成一定的影响。

3. 天气形势分析

通过分析500 hPa天气形势可知,2日08时,亚欧大陆中纬度地区以纬向环流为主,地中海-黑海一带有低涡活动。其前部里海附近为脊区控制。乌拉尔山及咸海一带多短波槽活动。此时,新疆地区为脊区控制。随后伊朗高压持续北顶,中亚短波槽与乌拉尔槽同位相叠加并向南发展,使得环流的经向度增大。2日下午,乌拉尔大槽南端伸至北纬40°附近,槽前短波及偏西、西南急流开始影响新疆西部地区。后续主槽逐步东移影响北疆地区,在3日凌晨-上午高空槽进入北疆西部(如图1(a))北疆沿天山一带均处于槽前西南急流影响,出现了强降水,3日下午至傍晚,主槽东移至东疆地区,北疆转为槽后西北气流控制。

700 hPa上,2日08时,新疆地区由脊区控制转为槽底前部的偏西气流影响,巴湖北部至北疆西部存在偏西急流,最大风速达到18米/秒。随着高空槽的逐步东移,北疆地区等温线变密集,锋区加强,急流轴位于塔城-克拉玛依一线,最大风速达到20米/秒,乌鲁木齐周边则为西北气流影响。2日下午后,伊朗高压持续增强,其前部西北气流较为强盛,最大风速约为20~24米/秒。较为强盛的西北急流配合下滑槽使得锋区进一步加强。3日凌晨-上午(如图1(b)),乌鲁木齐周边位于西北急流轴前部的辐合区。3日白天,北疆为西北气流控制,但有温度槽迅速掠过北疆地区,表明部分地区的冷平流较强。20日温度槽移至东疆地区。

850 hPa上,2日白天,北疆为蒙古高压后部弱形势场控制,无明显影响系统活动。南疆有一热低压,中心温度为20℃~24℃。2日夜间,伊朗高压前部开始影响北疆地区,部分地区存在西北或偏西急流,最大风速为12~20米/秒。3日凌晨至上午(如图1(c)),西北急流开始影响北疆沿天山一带,最大风速12米/秒。3日白天,北疆大部为西北急流控制,伴随有短波活动。

925 hPa情况类似。

分析地面形势可知,2日08时,北疆位于蒙古高压底后部,南疆为低压控制,伊朗高压主体位于咸海北部,中心强度大于1022.5 hPa。2日20时,伊朗高压略微增强,其前部冷空气已经入侵北疆地区,天山山区一线气压梯度增大,天山南麓出现大范围的翻山风。3日08时(如图1(d)),高压主体东移至东经75°附近(24小时移动15个经距),北疆大部、天山山区、南疆西部气压梯度进一步增大,南疆盆地出现东灌天气。3日20时,高压主体进一步东移至东经80°附近,全疆大部为高压控制,北疆北部、东部、东疆气压梯度增大,出现大范围的西北风。

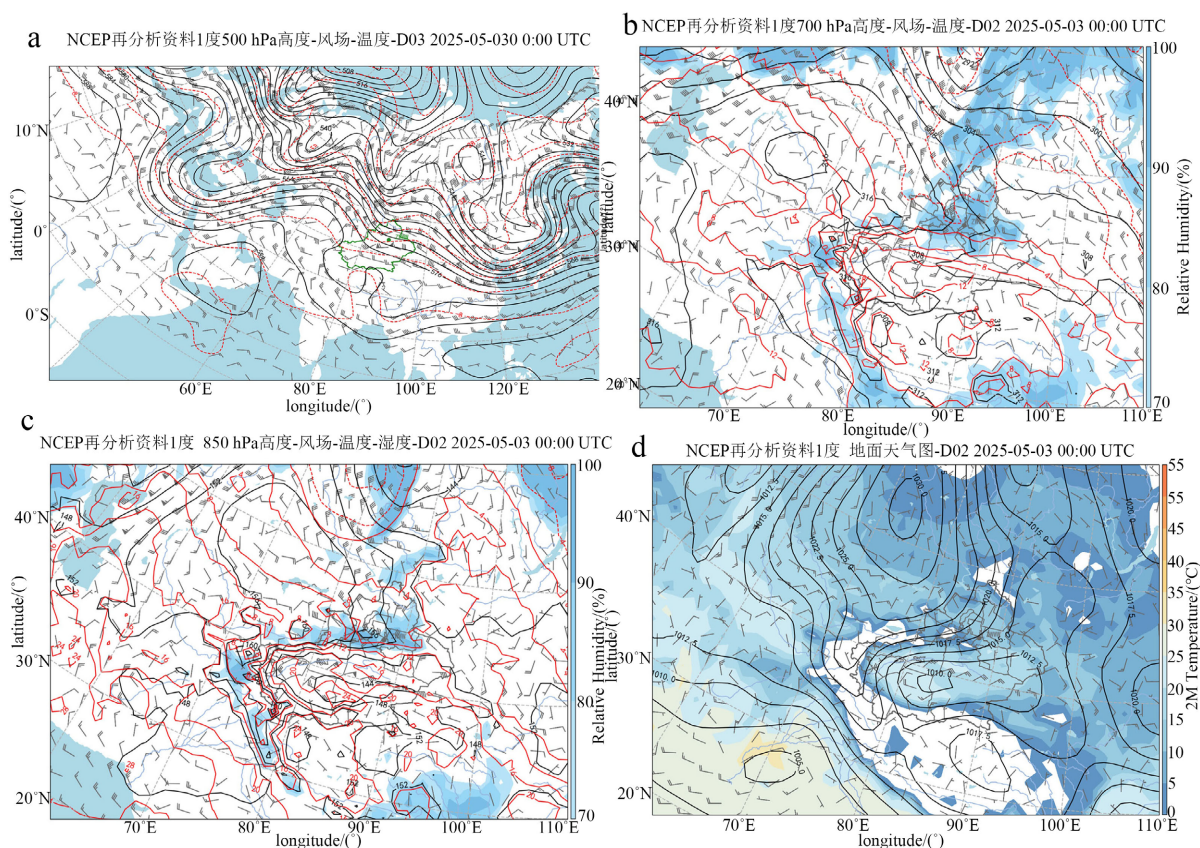


Figure 1. High altitude situation at 500 hPa (a), 700 hPa (b), 850 hPa (c) and Ground situation (d) at 08:00 on May 03, 2025
图 1. 2025 年 5 月 3 日 08 时 500 hPa 高空形势(a)、700 hPa 高空形势(b)、850 hPa 高空形势(c)及地面形势(b)

综上所述,此次天气形势为 500 hPa 有乌拉尔槽缓慢东移,700 hPa 和 850 hPa 有偏西-西北急流,为伊犁河谷及北疆沿天山一带的强降水提供了良好的动力条件。北疆区域前期有冷空气活动,南疆为低压控制,升温较明显,地面上伊朗高压主体位置偏北,冷空气入侵时,较强的气压梯度造成南疆的翻山大风及后续的东灌天气。

4. 物理量场分析

通过分析比湿可知,2 日白天,700 hPa 比湿的水平分布呈现出山区高于盆地的特点,比湿的相对大值区集中在北疆西部-天山山区一带及南疆西部山区,基本为 5~7 g/kg,2 日夜间,随着降雨的发生与维持,700 hPa 比湿的相对大值区的范围略有减少,比湿也由 5~7 g/kg 下降至 3~7 g/kg。850 hPa 比湿的水平分布特征与 700 hPa 类似,比湿的相对大值区仍旧集中在北疆西部-天山山区一带、南疆西部山区,基本为 9~11 g/kg,2 日傍晚局地比湿为 11~13 g/kg。比湿特征表明北疆西部-天山山区一带、南疆西部山区水汽含量充沛,就北方而言,上述地区存在出现大雨或暴雨的可能。

通过分析相对湿度和温度露点差可知,2 日白天,700 hPa 相对湿度 $\geq 70\%$ 的相对大值区集中于北疆西部、北疆沿天山一带以及天山山区,上述部分地区相对湿度 $\geq 90\%$,表明空气已经饱和或趋于饱和。由温度露点差的水平分布可知,温度露点差 $\leq 6^\circ\text{C}$ 的区域与相对湿度 $\geq 70\%$ 的相对大值区对应的基本一致(南疆西部山区例外),850 hPa 相对湿度 $\geq 70\%$ 的相对大值区和温度露点差 $\leq 6^\circ\text{C}$ 的区域明显小于 700 hPa。2 日夜间至 3 日,700 hPa 和 850 hPa 饱和区呈现出逐步东移的趋势,主要集中在北疆沿天山一带,造成局地短时强降水。

通过分析水汽通量可知, 2 日白天, 700 hPa 水汽通量的相对大值区集中在北疆西部、北疆沿天山一带以及天山山区, 水汽通量约为 $4\sim 8\text{ g/s}\cdot\text{cm}\cdot\text{hPa}$, 结合风场特征表明中亚地区至北疆沿天山一带存在一个稳定的水汽输送带, 为北疆降水的发生与维持提供了充沛的水汽。2 日夜间后, 水汽输送带已延伸至北疆东部及东疆地区。850 hPa 仅仅在伊犁河谷一带存在明显的水汽输送带, 相比 700 hPa 水汽输送较弱。

通过分析水汽通量散度可知, 700 hPa 水汽通量辐合区集中在北疆西部、天山山区及其两侧及南疆西部, 其中伊犁河谷、天山山区中段、喀什地区为水汽的辐合中心, 水汽通量散度约为 $-2\sim -3\text{ g/s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{hPa}$, 850 hPa 水汽辐合中心集中在伊犁河谷附近, 约为 $-4\sim -9\text{ g/s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{hPa}$ 。水汽通量的辐合有利于促进水汽上升冷却凝结形成降水。

通过 K 指数和 SI 指数的分布特点来分析层结条件可知, 2 日白天, 北疆西部、天山山区中西段及南疆西部山区 K 指数 ≥ 30 , 其中伊犁河谷、天山山区部分地区 K 指数 ≥ 35 ; 北疆西部、天山山区及其两侧、南疆西部山区, 南疆东部至东疆南部为沙氏指数的负值区, 约为 $0\sim -2$, 其中伊犁河谷、天山山区部分地区为 $-2\sim -6$ 。表明上述地区大气层结不稳定, 有较强的对流潜势。

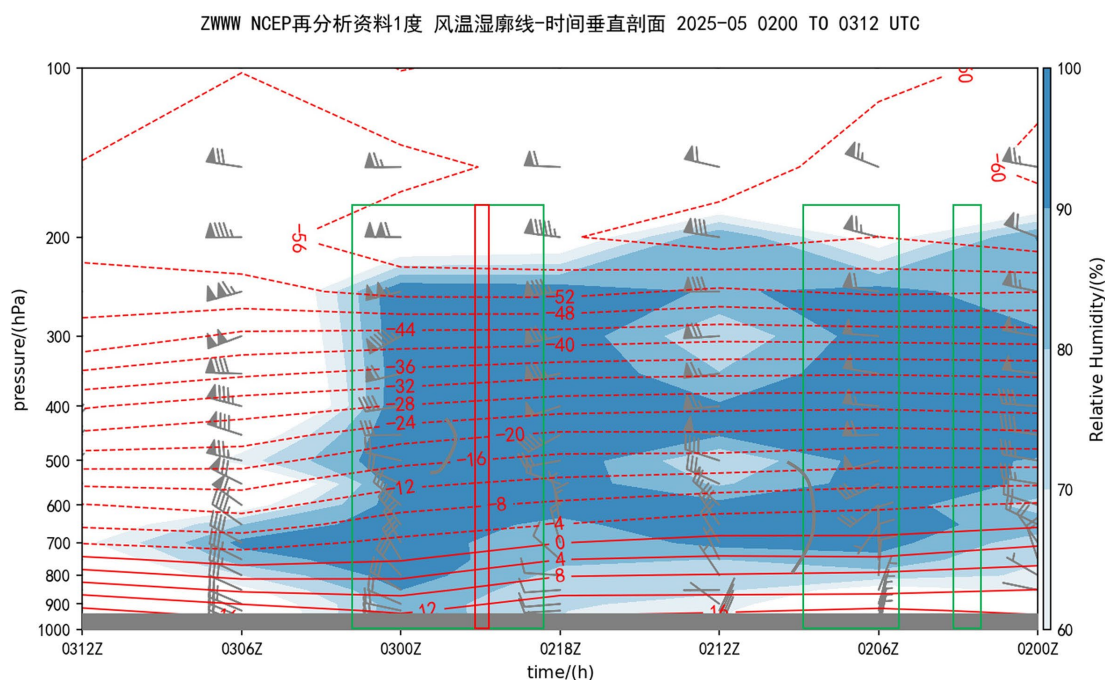


Figure 2. Urumqi Airport wind temperature humidity profile-time vertical Section on May 02 to 03, 2025

图 2. 2025 年 5 月 2~3 日乌鲁木齐机场风温湿廓线 - 时间垂直剖面

对乌鲁木齐机场做风温湿廓线 - 时间垂直剖面, 经分析可以看出(图 2), 2 日 14:00 前后至 20 时, 本场上空低层为西南气流逐步转为西北气流, 表明有低槽过境, 同时水汽饱和层较为深厚。此时, 本场出现了长时间的小雨。3 日凌晨至上午, 本场上空 500 hPa 有低槽过境, 低层为西北气流控制, 同时西北气流不断加强。低层辐合的加强, 配合较为深厚的湿层, 使得本场短时出现中或大雨。

由本场的散度 - 时间剖面图(如图 3(a))以及垂直速度 - 时间剖面图(如图 3(b))分析可知, 两段降水期间(5 月 2 日 13:00~17:00、5 月 3 日 03:00~10:30)本场上空上层均有辐散中心, 散度为 $6\sim 8/s\cdot 10^5$, 同时中低层配合有辐合中心, 散度为 $-4\sim -6/s\cdot 10^5$, 这样的配置使得本场上空有持续深厚的上升运动, 有利于降水的发生与维持。

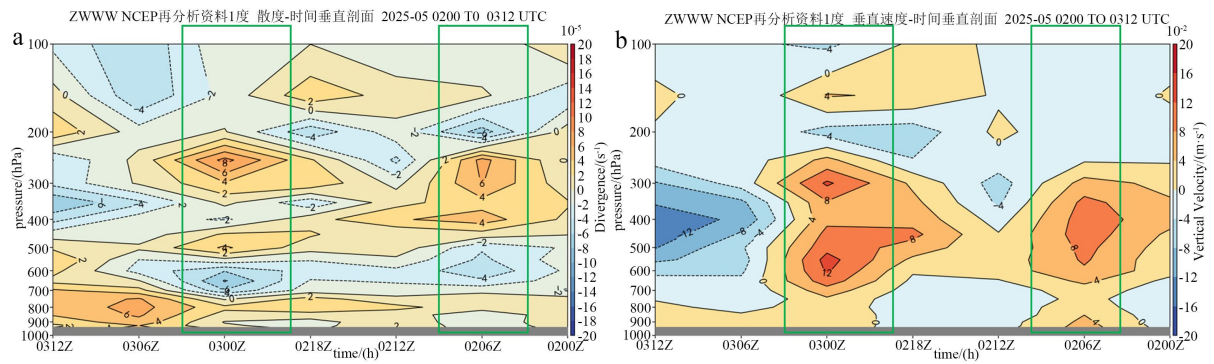


Figure 3. Urumqi Airport divergence-time vertical cross-section (a) and vertical velocity-time vertical cross-section (b) on May 02 to 03, 2025

图 3. 2025 年 5 月 2~3 日乌鲁木齐机场散度 - 时间垂直剖面(a)和垂直速度 - 时间垂直剖面(b)

综上所述, 700 hPa 中亚 - 北疆沿天山一带有稳定的水汽输送带, 伊犁河谷、天山山区有水汽辐合中心, 且 700 hPa 和 850 hPa 相对湿度 $\geq 90\%$, $T-T_d \leq 5^\circ\text{C}$, 均为水汽饱和, 为两场降水提供充足的水汽条件; 本场上空上层有辐散中心, 同时中低层配合有辐合中心, 这样的配置使得本场上空维持有深厚的上升运动, 从而有利于本场出现长时间的降水天气过程。此外北疆西部、天山山区中西段及南疆西部山区 K 指数 ≥ 3 , SI 指数 < 0 , 大气层结不稳定, 为局地短时强降水提供了较强的对流潜势。

5. 雷达图分析

分析乌鲁木齐机场多普勒雷达组合反射率的演变可知, 2 日 12:30 前, 大片回波位置偏北, 自西向东移动, 10:00~11:30 本场被强回波边缘覆盖, 出现小雨天气。2 日 12:30 后, 随着系统进一步发展, 大片回波区范围扩大, 其中强回波区转为东南的移动方向, 本场被强回波覆盖, 最强回波达到 35~40 dBz, 13:00~17:00 再次出现小雨天气; 17:00 后回波减弱并移动至本场偏东 - 偏南方向, 本场降水结束。

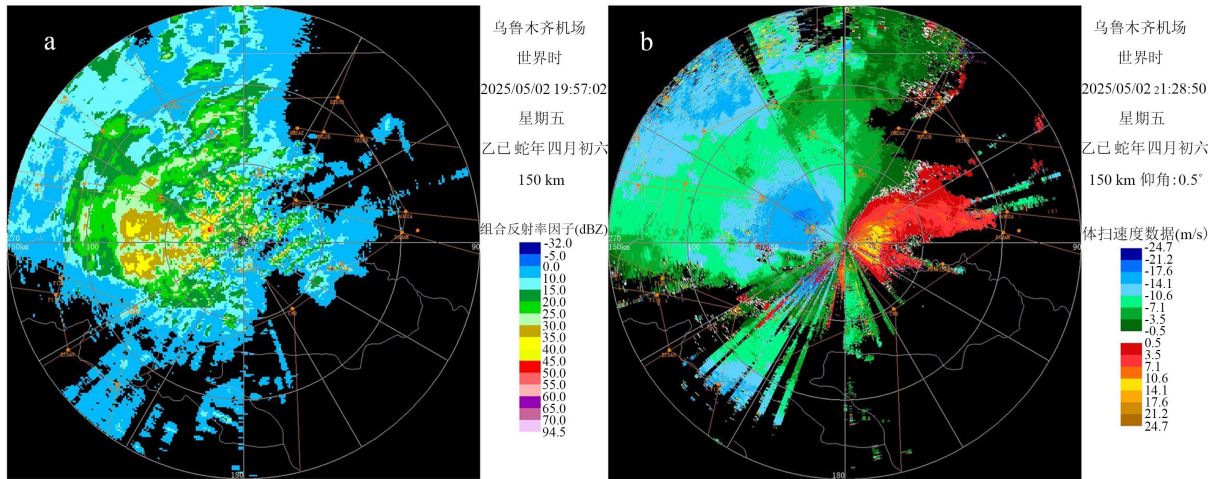


Figure 4. Urumqi Airport radar composite reflectivity chart at 03:57 (a) and radial velocity chart at 05:30 (b) on May 03, 2025

图 4. 乌鲁木齐机场雷达 2025 年 5 月 3 日 03:57 组合反射率因子图(a)和 05:30 径向速度图(b)

2 日夜间开始, 北疆沿天山一带有新的强回波区东移, 相较于 2 日白天的回波范围更大, 强度更强。3 日 03:57 移至昌吉附近时出现最强回波中心, 强度达到 45~50 dBZ (如图 4(a)), 后续进一步东移覆盖本场, 虽然最强中心下降至 40~45 dBZ, 但 > 35 dBZ 的强中心范围更为集中, 因此本场开始出现中雨及短时

大雨天气。

通过对 0.5° 仰角的径向速度分析可知(如图 4(b)), 在 3 日早晨中雨及短时大雨期间, 本场西北方向 70 公里范围内均为径向速度大值区, 基本在 -14 m/s 以上, 最强达到了 $-17\sim-21\text{ m/s}$, 对应本场地面出现西北阵风最大为 $14\sim15\text{ m/s}$ 。3 日下午, 受终端区分散对流云团影响, 17:00 在本场西侧 20~30 公里位置的径向速度又达到了 $-17\sim-21\text{ m/s}$, 本场地面最大阵风达到 18 m/s 。

此次降水回波呈现出混合型降水回波特征, 大片层状云降水回波中夹杂着弱的对流性降水回波, 正因如此造成了乌鲁木齐机场的短时强降水, 并且与对流性降水回波对应着有径向速度大值区, 在中雨和大雨过程中产生较大阵风。

6. 总结

通过分析, 得出此次天气与以往降雨天气的区别在于存在较强的对流潜势, 导致短时降雨强度较大, 为今后降水量的分析提供参考依据, 具体结论如下:

1、此次天气是在中高层乌拉尔槽、低层偏西 - 西北急流, 叠加地面高压前沿强锋区共同作用, 产生的伊犁河谷及北疆沿天山一带的强降水天气。地面较强的气压梯度造成南疆的翻山大风及后续的东灌天气。

2、700 hPa 有稳定的水汽输送带, 伊犁河谷、天山山区有水汽辐合中心, 且水汽达到饱和, 为降水提供充足的水汽条件。

3、上层辐散, 中低层辐合, 使得本场上空维持有深厚的上升运动, 为降水提供良好的动力条件。

4、K 指数和 SI 指数表现出较强的对流潜势, 且混合性降水回波特征造成了乌鲁木齐机场的短时强降水和短时阵风天气。

参考文献

- [1] 王世杰, 杨莲梅, 史玉光. 乌鲁木齐 1991-2010 年降雨特征分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 509-516.
- [2] 张允勃. 乌鲁木齐机场近 40 年降水统计剖析[J]. 学术研究, 2018(6): 255-256.
- [3] 朱雯娜, 张茜, 谭艳梅. 乌鲁木齐一次暴雪过程地形敏感性试验[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(4): 62-69.