Hans汉斯

乌鲁木齐机场一次中雨天气过程特征分析

尹才虎

民航新疆空中交通管理局,新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年12月10日; 录用日期: 2025年5月15日; 发布日期: 2025年5月22日

摘要

分析了2024年7月19日乌鲁木齐机场的一次降雨天气的成因与特征,发现了本次降雨过程呈现积层混合 云降水的特征,乌鲁木齐机场上空从近地面至200 hPa均为上升运动,乌鲁木齐机场本地有充足的水汽 条件,降雨的水汽输送通道主要为中亚低涡底部分裂的短波槽,乌鲁木齐机场上空中低层有强的水汽辐 合。良好的水汽条件和长时间外地的水汽输送是本次降雨总时间长、中雨时段长的主要原因。

关键词

乌鲁木齐机场,中雨,天气分析,积层混合云降水

Analysis of Characteristics of a Moderate Rain Weather Process at Urumqi Airport

Caihu Yin

Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 10th, 2024; accepted: May 15th, 2025; published: May 22nd, 2025

Abstract

An analysis was conducted on the causes and characteristics of a rainfall event at Urumqi Airport on July 19, 2024, and it was found that the rainfall process exhibited the characteristics of layered mixed cloud precipitation. The airspace above Urumqi Airport was in an upward motion from near ground to 200 hPa, and there were sufficient water vapor conditions locally at Urumqi Airport. The main water vapor transport channel for rainfall was the short wave trough at the bottom of the Central Asian vortex, and there was strong water vapor convergence in the lower atmosphere above Urumqi Airport. The good water vapor conditions and long-term water vapor transport from other places are the main reasons for the long total duration and moderate rain period of this rainfall.

Keywords

Urumgi Airport, Moderate Rain, Weather Analysis, Layered Mixed Cloud Precipitation

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/ (\cdot)



Open Access

1. 引言

2024 年 7 月 19 日,乌鲁木齐机场发生了一次降雨天气,其中中雨的时段持续了 4 小时以上。这次 降雨天气导致当日乌鲁木齐机场因天气原因延误的航班有 59 架次,延误超 2 小时航班有 6 架次。降雨天 气是影响航班运行的重要天气之一,民航气象关注降雨天气的重点主要是降雨强度与起止时间。本次降 雨过程中中雨维持的时间较长,对航班运行效率影响较大,本文分析的重点为这次降雨过程中中雨的成 因及其特征。

多位气象工作者都对降雨天气有过深入的研究。刘婷[1]等分析了短时暴雨的雷达回波特征,指出了 逆风区是暴雨天气发生的重要特征。徐玉秀[2]等则分析了台风暴雨的特征,指出了冷暖空气的对峙是长 时效稳定性降水的重要影响因素。曹静[3]等指出了大气折射率结构常数(Cn²)可以反映降水的开始和结束 时间。李方军[4]等分析了中低层的水汽条件,表明了 10 g/kg 的比湿是吉林省辽源市的暴雨预报的一项指 标。秦炳文[5]等分析了 TBB 低值带区,发现其与暴雨发生的区域相对应。龙俊天[6]等指出低空急流可以 为强降雨区域提供充足的水汽和能量。Mehta J D [7]等研究了不同尺度的 SPI,并估计了干旱的严重程度 和持续时间。Gaohong Y [8]等研究了多个静止卫星在东北亚地区的 OPE,指出了:由于冻粒子和冰云的 影响, QPE 在冬季的精度更差。Fanyu X [9]等基于 WRF 模式开展了对流尺度集合预报,研究了 2019 年 台风 Lekima, 指出 IC/BC 对集合降水预报影响较大。Akshay S [10]等使用 SDBC 与 MPS 相结合, 生成 了更精准的集合预报。

本文使用的资料主要有机场实况报文、机场自观测资料、NCEP 再分析资料、机场多普勒雷达及 FY4B 卫星资料等。

2. 实况特征

2.1. 降雨概况





根据乌鲁木齐机场气象实况报文,乌鲁木齐机场在 2024 年 7 月 19 日 00:30 开始出现小阵雨天气, 并伴有 1~2 分量的 CB 云。7 月 19 日 04:00 转为小雨天气,7 月 19 日 04:04 转为中雨天气,7 月 19 日 04:21 转为大雨天气,7 月 19 日 04:30 转为中雨天气,7 月 19 日 08:43 转为小雨天气,7 月 19 日 10:00 降 雨天气结束。从乌鲁木齐机场的降水量实况(图 1)可以看出,7 月 19 日 05:00~08:00 小时降水量均在 3 mm 以上,与机场报文中的中雨、大雨也是相对应的。

从乌鲁木齐机场的风向风速时间序列来看(图 2,图 3),降雨过程中以西北风为主,风速大部分时间 小于 5 m/s,说明这次降水过程对流发展不强,没有大风天气。从乌鲁木齐机场的修正海平面气压时间序 列来看(图 4),修正海平面气压在此次降雨期间是先增加后减小的,从降雨开始前的 1004 hPa 增加至降雨 中期的 1008 hPa,降雨末期修正海平面气压下降至 1007 hPa。



Figure 2. Urumqi airport runway 25 instantaneous wind speed on July 19, 2024 图 2. 乌鲁木齐机场 25 号跑道 2024 年 7 月 19 日瞬时风速



Figure 3. Urumqi airport runway 25 instantaneous wind direction on July 19, 2024 图 3. 乌鲁木齐机场 25 号跑道 2024 年 7 月 19 日瞬时风向



Figure 4. Urumqi airport runway 25 instantaneous wind direction on July 19, 2024 图 4. 乌鲁木齐机场 25 号跑道 2024 年 7 月 19 日修正海平面气压





Figure 5. Urumqi airport July 18, 2024 16:32 combined reflectivity 图 5. 乌鲁木齐机场 2024 年 7 月 18 日 16:32 组合反射率







注:用软件 Python 绘制。

Figure 7. Urumqi airport July 19, 2024 00:30 combined reflectivity 图 7. 乌鲁木齐机场 2024 年 7 月 19 日 00:30 组合反射率

从乌鲁木齐机场的组合反射率来看(图 5~7),在7月18日16:32(图 5)开始,在乌鲁木机场西南方向100~150 km 处就有回波生成,强度在25~30 dBZ。后续回波向东北方向移动,强度增强,回波面积增大,至7月18日19:05(图 6)覆盖了乌鲁木齐机场偏西方向50~150 km 范围、偏南方向20~70 km 范围,中心强度增加至30~35 dBZ。后续回波逐渐覆盖乌鲁木齐机场上空,但回波大值区并未覆盖机场,因此在19日00:30 之前,机场并未产生降雨。从降雨开始时刻的组合反射率来看(图 7),组合反射率回波特征表现为絮状回波,是混合性降水回波的主要特征,其对应的降雨云系为积层混合云。后续回波主要在乌鲁木齐机场偏北、偏西方向发展,覆盖了距乌鲁木齐机场150 km 内的空域。

2.3. 卫星云图

从 7 月 19 日 00:00 的 FY4B 的长波红外云图(图 8)来看, 云系呈块状, 云中对流发展明显。随着云带的进一步东移, 云系的后边界变得光滑清晰, 整个云块进一步变得均匀。云系中的对流发展减弱, 从对流云系转为积层混合云系, 从 7 月 19 日 04:45 的长波红外云图(图 9)中看出, 相比于 00:00 的云图, 此时的云块小而分散, 边界呈絮状。



注:用软件 Python 绘制。

Figure 8. July 19, 2024 00:00 FY4B 10.8 μm infrared cloud map 图 8. 2024 年 07 月 19 日 00:00 FY4B 10.8 μm 红外云图



注:用软件 Python 绘制。

Figure 9. July 19, 2024 04:45 FY4B 10.8 μm infrared cloud map 图 9. 2024 年 07 月 19 日 04:45 FY4B 10.8 μm 红外云图

3. 成因分析

3.1. 天气形势

根据 2024 年 7 月 18 日 08:00 的 500 hPa 天气形势场(图 10)来看,主要影响新疆区域的环流系统为位于中亚地区的低涡系统,低涡中心强度为 565 dagpm,与高度中心配合的还有温度场的冷中心。冷中心在高度中心底部,位于巴尔喀什湖北侧,冷中心强度为-13℃。新疆区域主要受低涡底前部的西南急流影响, 急流中心强度为 24 m/s。

7月18日08:00~19日02:00 低涡稳定少动,低涡底部有不断的分裂短波槽。分析7月18日20:00的500 hPa高度场与风场(图11)可得,影响新疆区域的短波槽分为南北两支,南支槽位于南疆西部,后续主要影响南疆地区。北支槽位于北疆西部,7月19日02:00北支槽东移(图12),槽前西南急流加强,急流中心强度从7月18日20:00的19 m/s 加强至7月19日02:00的23 m/s。

根据 7 月 18 日 20:00 的 700 hPa 天气图(图 13)来看,中亚地区的低涡在中低层仍然维持,新疆区域 上空无明显急流,风场结构较乱,而同时间的 850 hPa 天气形势(图 14)类似。所以此次乌鲁木齐机场降雨 过程的主要影响系统为 500 hPa 上低涡底前部的西南急流。



Figure 10. 500 hPa high-altitude weather pattern at 08:00 on July 18, 2024 图 10. 2024 年 7 月 18 日 08:00 时 500 hPa 高空天气形势



注:用软件 Python 绘制。



3.2. 动力条件

根据 7 月 19 日 02:00 的 500 hPa 的垂直速度场(图 15)来看,在新疆中西部有带状大值区,与同时刻 500 hPa 急流区(图 12)相叠加为乌鲁木齐机场降雨天气提供大范围的上升运动。从乌鲁木齐机场上空的垂 直速度时间剖面图(图 16)来看,7 月 18 日~19 日乌鲁木齐机场上空从 200 hPa 至近地面均是上升运动,上升运动的大值区在 400 hPa 左右,强度为 16×10⁻² m/s。



注:用软件 Python 绘制。





Figure 13. 700 hPa height field and wind field in Xinjiang region at 20:00 on July 18, 2024 图 13. 新疆区域 2024 年 7 月 18 日 20 时 700 hPa 高度场与风场





Figure 14. 850 hPa height field and wind field in Xinjiang region at 20:00 on July 18, 2024 图 14. 新疆区域 2024 年 7 月 18 日 20 时 850 hPa 高度场与风场







Figure 16. Vertical velocity time profile of Urumqi Airport from July 18~19, 2024 图 16. 乌鲁木齐机场 2024 年 7 月 18 日~19 日垂直速度时间垂直剖面图

3.3. 水汽条件

从 7 月 19 日 02:00 的 700 hPa 水汽通量场(图 17)来看,水汽通量大值区与低涡底部急流区基本一致, 在新疆西部水汽通量分为南北两支,南支水汽通量输送至北疆沿天山一带,是本次降雨过程中的水汽来 源。从7月18日~19日乌鲁木齐机场上空的水汽通量散度(图18)来看,在低层有强的水汽通量的辐合, 辐合中心强度为70×10⁻⁸·g/(s·cm²·hPa)。可以看出在本次降雨过程中,乌鲁木齐机场本地的水汽条件是 充足的,并且低涡底部分裂的短波是本次降雨的水汽输送通道。低涡移动缓慢,水汽输送时间长,导致 本次降雨维持时间长,中雨的时段长。



注:用软件 Python 绘制。

Figure 17. July 19, 2024 02:00 700 hPa water vapor flux field 图 17. 2024 年 7 月 19 日 02:00 700 hPa 水汽通量场



Figure 18. Vertical profile of water vapor flux divergence time at Urumqi Airport from July 18th to 19th, 2024 图 18. 乌鲁木齐机场 2024 年 7 月 18 日~19 日水汽通量散度时间垂直剖面图

4. 数值模拟

4.1. 方案介绍

使用 WRF 模式对该次降水过程进行数值模拟。方案设计使用三重嵌套网格,范围如图 19 所示。三 个区域使用的物理参数化方案均为:微物理过程:WSM6、长波辐射:RRTM、短波辐射:Dudhia、近地 面层:Monin-Obukhov、陆面层:热量扩散方案、行星边界层:YSU、积云参数化:Kain-Fritsch。三个区 域按范围从大到小依次称为 D01、D02、D03,其中 D03 区不参加积云参数化。三个区域空间分辨率为 27 km、9 km、9 km,时间分辨率为 180 分钟、60 分钟、20 分钟。



注:用软件 Python 绘制。

Figure 19. Schematic diagram of WRF mode area 图 19. WRF 模式区域示意图

4.2. 降水量模拟

WRF 模拟的 D03 区模拟的降水量如图 20 所示。降水中心在 43°N, 86°E 附近,中心值约在 50 mm 以上,降水中心向东北方向伸展,伸展出一条西南 - 东北走向的降水带,乌鲁木齐机场在西南 - 东北走向的降水带的中央。降水带的走向与短板槽前的西南暖湿气流走向一致,说明是暖区云系降水。模拟场中乌鲁木齐机场 24 小时降水量约在 10~15 mm,相较实况偏小。

4.3. 水成物模拟

此次过程中乌鲁木齐机场上空模拟的水成物主要占比为:云水、雨水、冰及雪比水蒸气含量小2个

量级, 霰小于水蒸气 3 量级。分析乌鲁木齐机场上空水蒸气的时间垂直剖面图(图 21), 可以看出 400 hPa 以下乌鲁木齐机场的水蒸气含量丰富, 蒸气含量在中低层保持含量高、波动小的特点, 为该次乌鲁木齐 机场的降水过程提供充足的水汽条件。



注:用软件 Python 绘制。

Figure 20. Total precipitation in WRF-D03 area from 08:00 on July 18, 2024 to 08:00 on July 19, 2024 图 20. WRF-D03 区域 2024 年 7 月 18 日 08:00~19 日 08:00 总降水量



Figure 21. WRF-D03 Urumqi Airport July 18, 2024 14:00~14:00 water vapor vertical profile 图 21. WRF-D03 乌鲁木齐机场 2024 年 7 月 18 日 14:00~19 日 14:00 水蒸气垂直剖面图

5. 结论

通过以上分析可以得出以下结论: (1) 本次乌鲁木齐机场的降雨云系主要为积层混合云降水; (2) 本

次乌鲁木齐机场降雨天气的主要影响系统为中亚低涡底部的分裂的短波槽;(3)新疆中西部 500~700 hPa 存在的大范围的上升运动是本次降雨过程的触发机制;(4)本次降雨过程的水汽输送主要来源于低涡底 部分裂的短波;(5)本地充足的水汽和长时间维持的水汽输送是导致本次降雨总时间长和中雨时段长的 主要原因。

参考文献

- [1] 刘婷, 张连霞. 2022 年 8 月 17-18 日鄂尔多斯暴雨天气过程的特征分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2024(1): 105-109.
- [2] 徐玉秀, 蒋姗姗, 张璇, 等. 北上台风引发锦州连续性暴雨的成因分析[J]. 河南科技, 2023, 42(24): 110-113.
- [3] 曹静, 张成军, 马晓天, 等. 风廓线雷达资料在强降水天气过程中的特征分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2024(12): 78-82+154.
- [4] 李方军,崔悦. 辽源地区 2019 年春末夏初一次罕见暴雨天气诊断分析[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(2): 91-93.
- [5] 秦炳文,王宁. 怒江州一次秋季暴雨天气过程分析[J]. 农业灾害研究, 2023, 13(9): 88-90.
- [6] 龙俊天, 廖文超, 李晓容. 四川盆地东北部地区一次暴雨天气过程分析[J]. 农业灾害研究, 2023, 13(5): 118-121.
- [7] Mehta, D.J. and Yadav, S.M. (2023) Meteorological Drought Analysis in Pali District of Rajasthan State Using Standard Precipitation Index. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 15, 1-10. https://doi.org/10.1504/ijhst.2023.127880
- [8] Yin, G., Baik, J. and Park, J. (2022) Comprehensive Analysis of GEO-KOMPSAT-2A and Fengyun Satellite-Based Precipitation Estimates across Northeast Asia. *GIScience & Remote Sensing*, 59, 782-800. https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2067970
- [9] Xu, F., Yuan, H., Lin, L. and Chen, W. (2023) Convective-Scale Ensemble Forecasts of the Heavy Precipitation of Typhoon Lekima (2019) in Zhejiang Province. *Atmospheric Research*, 283, Article ID: 106543. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106543
- [10] Akshay, S., Athul, C., Nibedita, S., *et al.* (2023) Relating Forecast and Satellite Precipitation to Generate Future Skillful Ensemble Forecasts over the Northwest Himalayas at Major Avalanche and Glacier Sites. *Journal of Hydrology*, **616**, Article ID: 128795.