

# 2021年11月18~20日乌鲁木齐机场长时间降雪特征分析

刘 倩, 张亚莉, 张明旭

民航新疆空中交通管理局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年3月20日; 录用日期: 2022年4月13日; 发布日期: 2022年4月20日

## 摘 要

文章利用乌鲁木齐机场自动气象观测系统观测资料及美国环境预报中心(NCEP)的FNL (Final Operational Global Analysis)  $0.25 \times 0.25$ 再分析资料对2021年11月18~20日乌鲁木齐机场连续降雪天气过程进行研究分析, 总结此类天气过程特征, 为今后预报长时间降雪提供一定的参考意见, 结果表明: 1) 此次连续降雪出现在中亚低涡位置偏北, 稳定少动, 不断分裂弱短波影响新疆地区的环流背景。2) 当水汽通量散度在700 hPa以下出现明显的辐合中心时, 有利于出现中雪; 当相对湿度集中在某一时段500 hPa以下, 值高于85%以上时, 配合暖平流, 有利于持续性降雪。3) 高层辐散, 低层辐合的形势有利于抽吸作用, 上升运动加强, 提供有利的动力条件, 冷平流快速南下有利于乌鲁木齐机场出现中雪。低层辐散、高层辐合不利于抬升机制, 有利于降雪结束。4) 云系结构紧密, 强度强, 移速快时, 降水时间较短, 但降水集中且降水量较大; 云系结构松散, 强度弱, 移动缓慢, 降水时间较长, 但量级偏小。

## 关键词

航空气象, 连续降雪, 飞行安全, 短时中雪

## Analysis of Long-Term Snowfall Characteristics of Urumqi Airport from November 18 to 20, 2021

Qian Liu, Yali Zhang, Mingxu Zhang

Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Mar. 20<sup>th</sup>, 2022; accepted: Apr. 13<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 20<sup>th</sup>, 2022

文章引用: 刘倩, 张亚莉, 张明旭. 2021年11月18~20日乌鲁木齐机场长时间降雪特征分析[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(4): 495-504. DOI: 10.12677/ag.2022.124050

## Abstract

This paper uses the observation data of Urumqi airport automatic meteorological observation system and FNL (Final Operational Global Analysis) 0.25 of American Environmental Prediction Center (NCEP)  $\times$  0.25 reanalysis data to study and analyze the continuous snowfall weather process of Urumqi airport from November 18 to 20, 2021, summarize the characteristics of such weather process, and pass some reference opinions for predicting long-term snowfall in the future. Results show: 1) The continuous snowfall is mainly due to the northward position of the Central Asian vortex, which is stable and less moving, and constantly splitting the weak short wave to affect Xinjiang; 2) When the divergence of water vapor flux is below 700 hPa, there is an obvious convergence center, which is conducive to moderate snow. When the relative humidity is concentrated below 500 hPa in a certain period, and the relative humidity is higher than 85%, combined with warm advection, it is conducive to continuous snowfall; 3) The situation of high-level divergence and low-level convergence is conducive to suction, strong updraft and good dynamic conditions. The rapid southward movement of cold advection is also conducive to moderate snow in Urumqi airport; Low level divergence and high-level convergence are not conducive to the lifting mechanism and conducive to the end of snowfall; 4) The cloud system is dense, complete and strong, but the moving speed is fast, the precipitation time is short, but the precipitation is concentrated and the precipitation is large; The cloud system is scattered, the intensity is weak, the moving speed is slow, and the precipitation time is long, but the magnitude is small.

## Keywords

Aviation Meteorology, Continuous Snowfall, Flight Safety, Short-Term Moderate Snow

Copyright © 2022 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

乌鲁木齐地窝堡机场(以下简称乌鲁木齐机场)三面环山,地形复杂,位于亚欧大陆内部、天山中段北麓、准格尔盆地南缘,在冬季常常发生短时强降雪,给各方交通运输带来很大的压力,针对新疆降雪的研究已有许多先例,李娜等[1]发现锋面对动力抬升及水汽辐合有明显作用,有利于暴雪的出现,陈涛等[2]也指出北疆大暴雪过程中地形前暖平流会有明显的增强。多位学者研究发现高低空急流、强锋区、强辐散抽吸及充足的水汽是导致强降雪的必要条件[3] [4] [5],针对长时间降雪哈尔滨机场[6]及郑州机场[7]也有研究的先例,乌鲁木齐机场短时强降雪朱文娜等[8] [9]也有研究,针对乌鲁木齐机场持续性降雪刘倩等[10]研究得出乌鲁木齐机场连续降雪的环流背景多为中亚低涡稳定少动,多短波活动。王清平等研究发现[11]连续长时间的降雪常常造成能见度变差、飞机轮胎与跑道地面的摩擦系数减小、飞机发动机进水,影响航班正常运行;因此,研究乌鲁木齐机场连续降雪环流特点,对提高降雪预报预警能力,保证航空运行安全与效率有重要的现实意义。

2021年11月18日~20日乌鲁木齐机场出现连续降雪,乌鲁木齐机场少出现如此长时间的连续降雪过程,且18日短时出现中雪,主导能见度一度低到600米,对航空飞行保障带来极大的不便,故本文利用机场自动气象观测系统观测资料及美国环境预报中心(NCEP)的FNL (Final Operational Global Analysis)  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析资料(以下简称FNL),基于对此次连续强降雪的天气特征及环流背景进行分析,研究

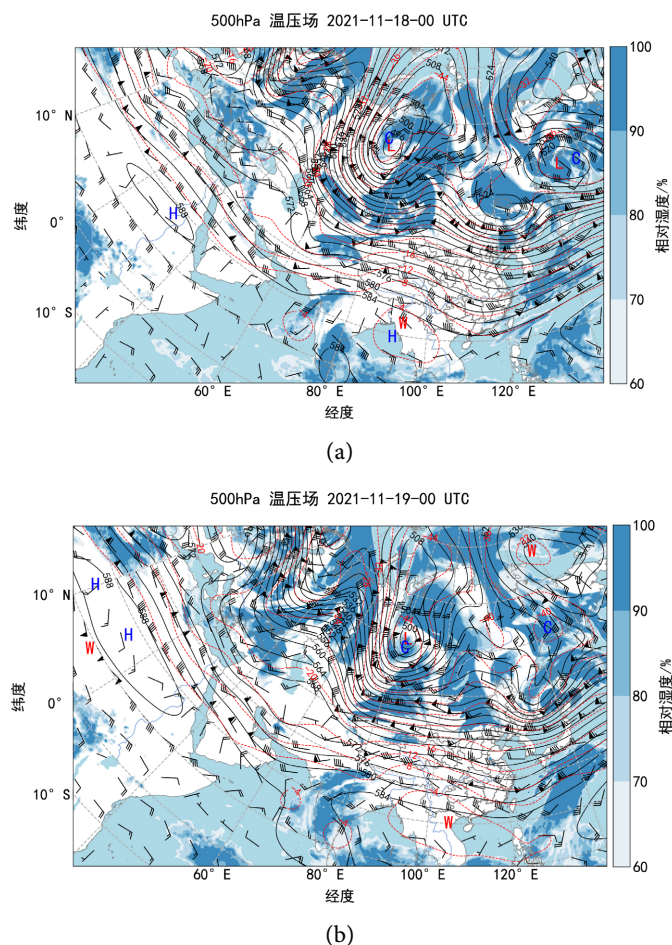
乌鲁木齐机场连续降雪的天气特征，为今后此类天气的预报提供一定的参考。

## 2. 天气概况及对飞行的影响

2021年11月18~20日，乌鲁木齐机场出现多段降雪，18日10:00~12:45小雪，轻雾；19日11:00、14:30~20日04:30、06:30小雪轻雾；其中18日11:55~12:20短时出现中雪，主导能见度600~800米，18日降水量1.8毫米，新增积雪深度2厘米；19日降水量1.4毫米，新增积雪深度1厘米；20日降水量0.9毫米，新增积雪深度3厘米。

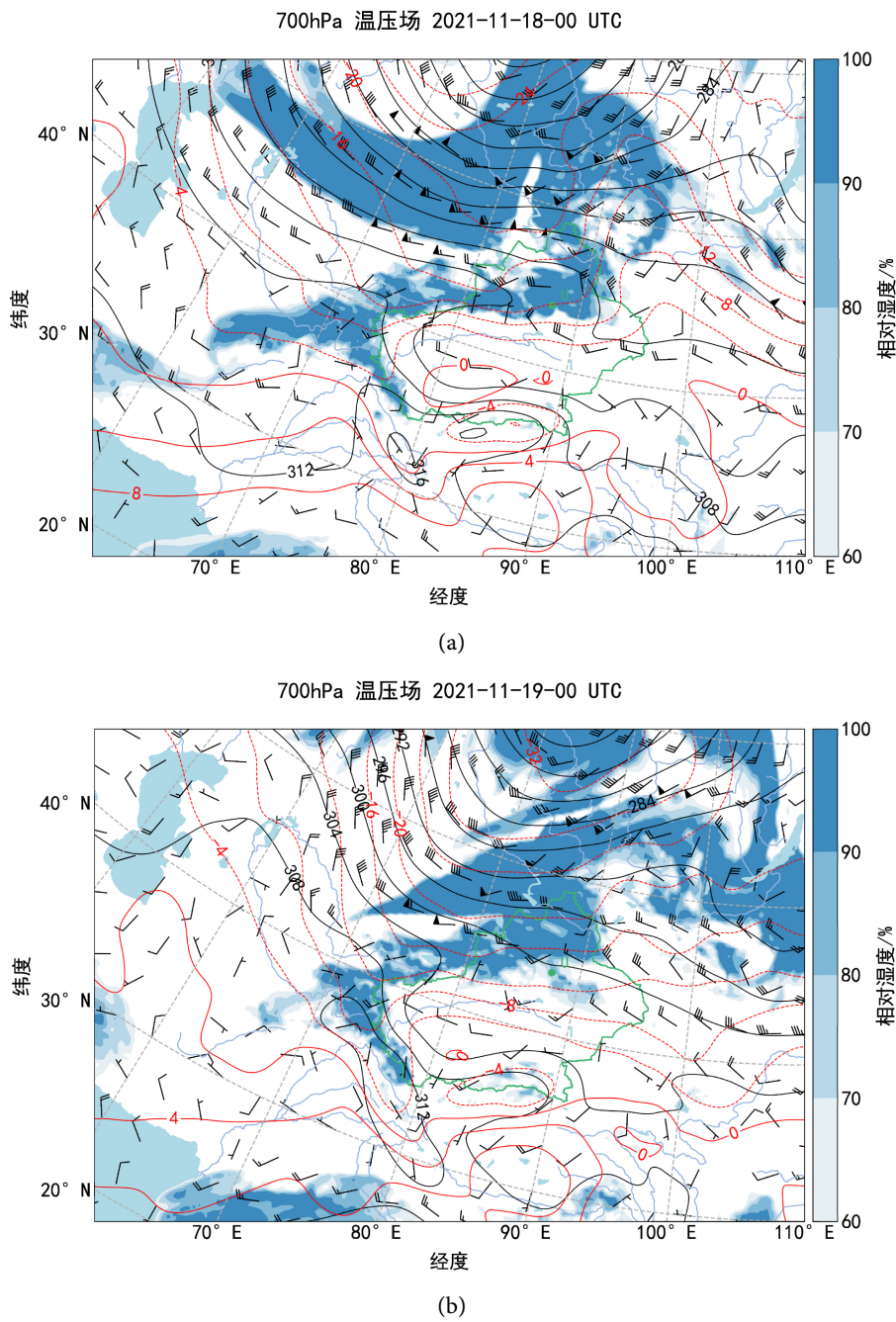
## 3. 环流形势分析

500 hPa上，17日20时(图略)，500 hPa中高纬呈现为两脊一槽型，中亚低涡位置比较偏北，中心最低温度为 $-34^{\circ}\text{C}$ ，槽后西北气流强盛，最大风速达到34 m/s，引导地面强冷空气南下自西向东影响新疆地区，且不断分裂短波影响新疆地区。温度槽落后于高度槽，有利于低涡发展，新疆偏西地区受低涡底部前部西南气流影响；18日08时(图1(a))~20时，低涡东移南压，北疆大部由西南气流转为偏西气流控制，短波槽快速过境给乌鲁木齐机场带来第一波降水；19日08时(图1(b))~20时，低涡继续东移至新疆区域上空，北疆大部受低涡底部偏西气流控制，此时高度槽落后于温度槽，考虑低涡将继续东移，多弱短波活动；至20日08时，低涡逐渐东移出新疆，北疆大部转为西北气流控制，降雪结束。



**Figure 1.** (a) 08:00 on November 18, 2021 and (b) 08:00 on November 19, 2021 500 hPa circulation chart  
**图 1.** (a) 2021 年 11 月 18 日 08 时与 (b) 11 月 19 日 08 时 500 hPa 环流形势图

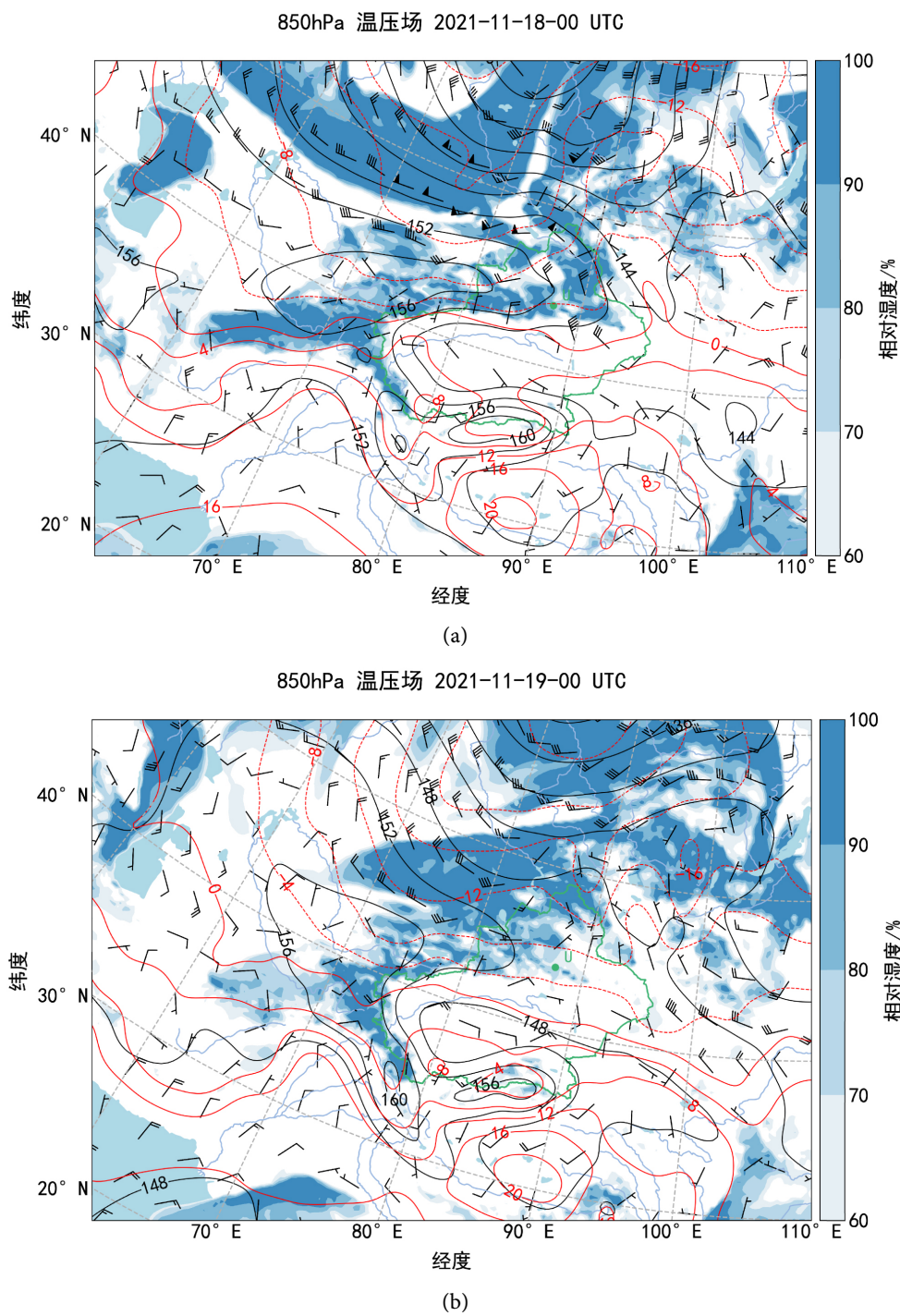
700 hPa 上, 17 日 20 时(图略)至 18 日 08 时(图 2(a)), 北疆西部以偏西气流为主, 18 日 08 时由低涡底部的偏西气流转为西南气流控制, 急流一度达到了 24 m/s, 并且从北疆西部至天山山区一带存在明显的风向风速的辐合。中纬度水汽沿着西南气流进入新疆区域, 有利于后续降水的出现, 19 日 08 时(图 2(b)) 北疆西部转为一致偏西风, 并且从伊犁河谷至克拉玛依一带存在明显的风向辐合。700 hPa 系统和 500 hPa 表现明显一致, 低涡前部不断分裂短波槽南下影响新疆区域, 带来一波又一波的降水, 随着系统的推移, 北疆大部温度露点差小于 4 度, 整个过程, 北疆大部中低层高湿区持续存在。



**Figure 2.** (a) 08:00 on November 18, 2021 and (b) 08:00 on November 19, 2021 700 hPa circulation chart  
**图 2.** (a) 2021 年 11 月 18 日 08 时与(b) 11 月 19 日 08 时 700 hPa 环流形势图

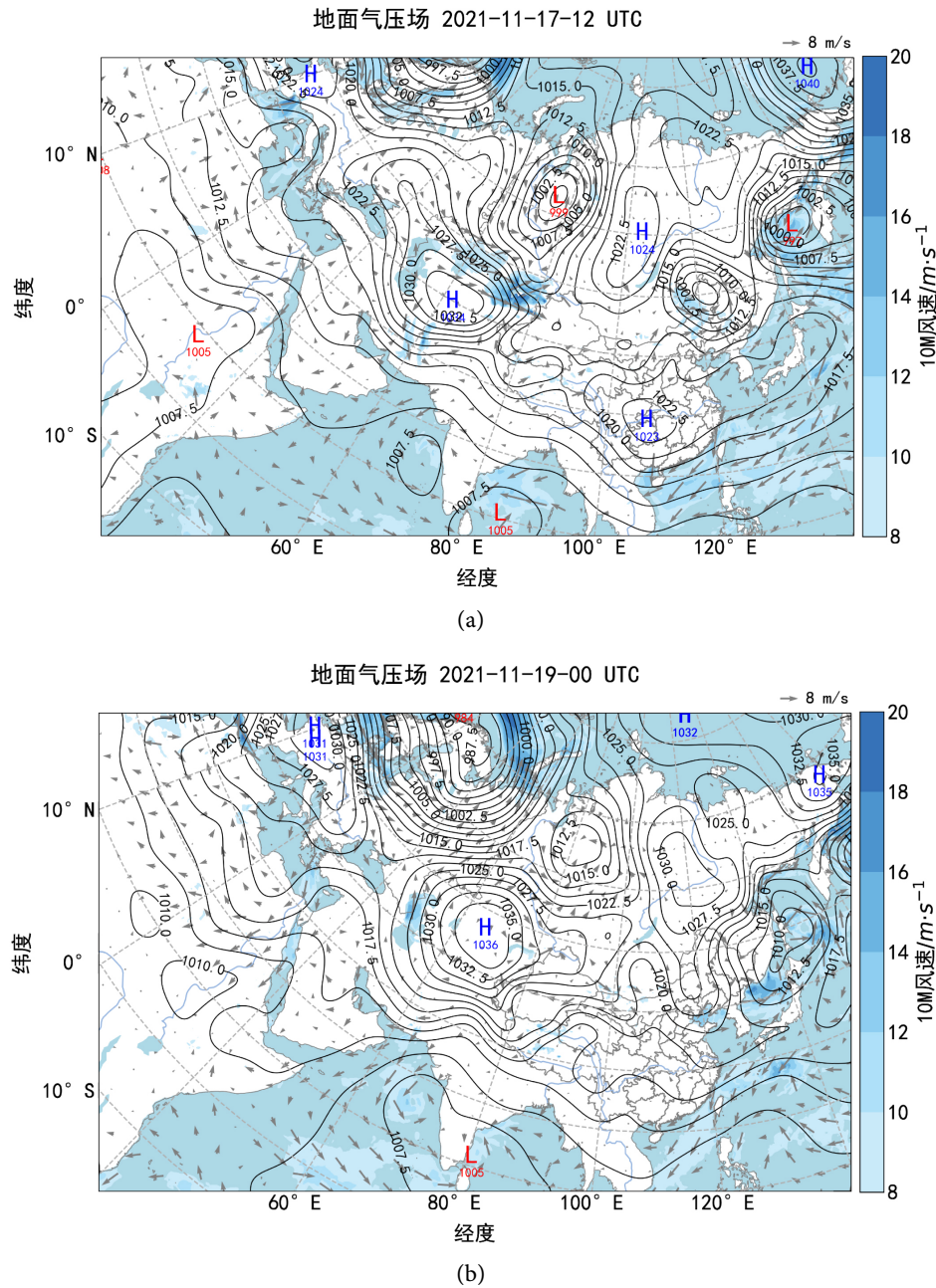


850 hPa 上, 18 日 08 时(图 3(a))乌鲁木齐及天山山区北坡存在明显的风场辐合, 加强水汽辐合产生降雪, 偏北风与天山山脉的相互作用导致地形强迫抬升有利于上升运动加强。中低层风场的切变和辐合促进上升运动的发生发展, 有利于短时中雪的出现。19 日 08 时(图 3(b)), 短波槽较为深厚, 850 hPa 也有较明显的体现, 乌鲁木齐机场出现新的一波降雪。



**Figure 3.** (a) 08:00 on November 18, 2021 and (b) 08:00 on November 19, 2021 850 hPa circulation chart  
**图 3.** (a) 2021 年 11 月 18 日 08 时与(b) 11 月 19 日 08 时 850 hPa 环流形势图

地面图上，有明显的地面冷高压入侵北疆。17 日 20 时(图 4(a))冷高压位于咸海和巴尔喀什湖之间，中心值 1034 hPa，至 18 日 08 时(图略)地面冷高压快速东移，为偏西路径，19 日 08 时(图 4(b))新疆区域受地面冷高前部分裂小高压影响，随后地面冷高压迅速减弱，受中亚地区暖低压阻挡作用，高压主体移动缓慢，稳定加强。19 日 14 时地面高压中心强度增强到 1042.5 hPa，范围明显增大，北疆大部受宽广的高压带控制，高压强度加强，降水强度加强，20 日 08 时乌鲁木齐机场位于带状高压的均压场中，冷高压中心位于北疆北部，强度增加至 1048 hPa，随后快速减弱东移北抬，乌鲁木齐机场降雪结束，第二次降雪持续时间较第一次降雪时间更长，但降水强度没有第一场降雪强。

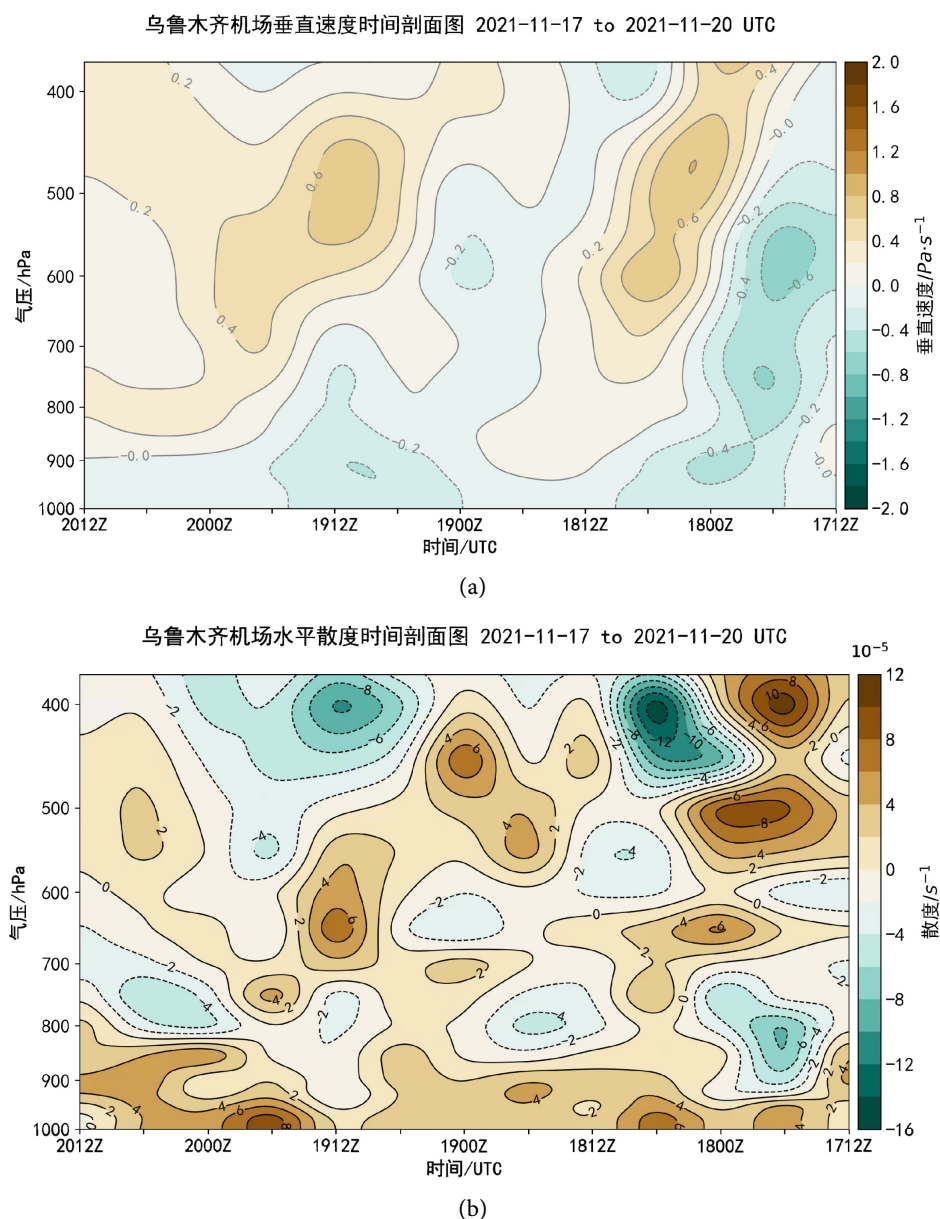


**Figure 4.** (a) 20:00 on November 17, 2021 and (b) 08:00 on November 19, 2021 surface pressures charts  
**图 4.** (a) 2021 年 11 月 17 日 20 时与(b) 11 月 19 日 08 时地面气压图

## 4. 不稳定能量分析

### 4.1. 垂直速度与散度场分析

11月18日12时前乌鲁木齐机场上空以上升气流为主(图5(a)), 其中500 hPa以下垂直速度小于 $-0.4 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ , 为较强的上升气流, 500 hPa~900 hPa出现两个水平散度辐散、辐合中心, 分别为 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和 $-8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (图5(b)), 高层为辐散, 低层为辐合, 这种形势有利于抽吸作用, 加强上升运动, 提供有利动力条件, 与本场地面11:55~12:20中雪时段基本吻合, 该结论与陶俞锋及冯亮等对连续降雪的研究[12] [13]的结论一致。18日12时后, 乌鲁木齐机场低层逐渐由上升气流转为下沉气流, 12~17时出现水平散度辐散中心, 为 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , 低层逐渐转为辐散下沉气流, 降雪逐渐停止。



**Figure 5.** (a) Vertical velocity time profile; (b) Horizontal diffuse time profile

**图 5.** (a) 垂直速度时间剖面图; (b) 水平散度时间剖面图



19 日 08 时后, 乌鲁木齐机场上中高空 700 hPa~400 hPa 下沉气流逐渐加强, 600 hPa 出现垂直速度大值区, 中心值为  $0.6 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ , 低空上升气流逐渐加强抬升, 700 hPa 以下均为上升气流, 16~17 时 950 hPa 出现垂直速度大值区, 中心值为  $-0.4 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$  (图 5(a)), 降水逐渐开始并加强。19 日乌鲁木齐机场 500 hPa 以上为强辐合, 400 hPa 出现水平散度辐合区, 中心值为  $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , 700 hPa 以下为弱辐散, 23 时后低层出现水平散度辐散中心为  $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  (图 5(b)), 而低层辐散、高层辐合不利于抬升机制, 本场降雪减弱逐渐停止。

#### 4.2. 水汽通量分析

低层水汽的聚集为这次降水提供了充沛的水汽。沿着乌鲁木齐  $87.47^\circ\text{W}$ 、 $43.9^\circ\text{N}$  上空做相对湿度的时间高度剖面图(图 6(a)), 及水汽通量散度时间剖面图(图 6(b)), 可以看到 18 日降水开始前, 02 时 700 hPa 以下出现两个水汽通量散度的辐合中心, 辐合中心最大值高达  $-0.8 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ , 水汽在乌鲁木齐机场上空此高度层内聚集, 低层水汽辐合作用强盛, 为短时中雪的出现提供水汽条件, 对流层中低层的相对湿度增加领先于低层, 随着低层相对湿度的增加, 小雪逐渐发展为中雪, 而且在 18 日 06 时~14 时之间, 850 hPa~600 hPa 相对湿度接近饱和, 这与 18 日 11:55~12:20 短时出现中雪有很好的对应。18 日 08 时 850 hPa 风随高度顺时针旋转, 有暖平流, 水汽通量散度图由下到上呈现“辐散-辐合”结构, 且从 850 hPa~600 hPa, 整层为水汽辐合区, 且存在风速的辐合, 乌鲁木齐机场在 10 时出现降雪天气, 18 日 12 时, 850 hPa 以下存在明显的水汽辐散中心, 对流层中低层相对湿度逐渐减小, 从接近饱和降低至降雪过程发生前的水平, 这与观测实况对应的很好, 与低层转变为北风互相匹配, 此时不利于降雪的维持, 第一次降雪逐渐转停, 符合庄晓翠等[14] [15] [16] [17]对北疆降雪的研究结论, 至 19 日 08 时, 底层风随高度顺转, 有暖平流, 与此同时, 900 hPa~600 hPa 相对湿度接近饱和, 但水汽通量散度辐合中心值较小, 故本场降水表现为小雪, 并未出现中雪, 持续至 20 日 10 时, 20 日 06 时后 850 hPa 以下相对湿度减弱至 80% 以下, 水汽通量散度图上也可以明显的看到, 19 日 20 时~20 日 08 时之间, 950 hPa 以下存在明显的水汽辐散中心, 800 hPa~900 hPa 存在弱的水汽辐合, 20 日 06 时以后 850 hPa 以下为正值区, 地面降雪转停。

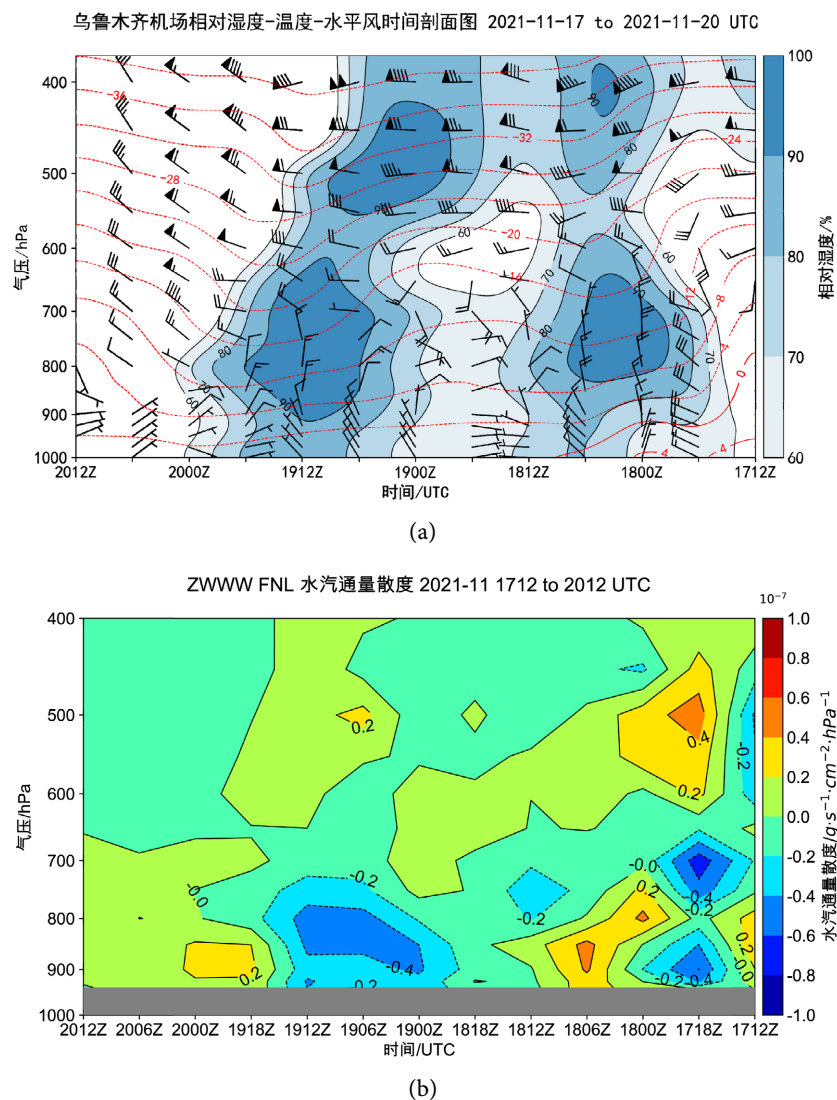
#### 4.3. 温度平流分析

18 日 08 时(图 7) 925 hPa 上, 在塔城附近有一个与短波槽对应的冷平流中心, 在乌鲁木齐机场北侧有一暖平流中心, 中心值为  $40 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ , 冷平流中心值为  $-120 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ , 冷平流明显强于暖平流, 乌鲁木齐处于暖平流中心的后部冷平流中心的前部。18 日 14 时, 与短波槽对应的冷平流加强南下移动至乌鲁木齐机场东南部, 其前部暖平流亦加强东移至新疆东部, 乌鲁木齐机场已转为暖平流控制, 可见短时中雪与冷平流快速南下影响乌鲁木齐机场有关。

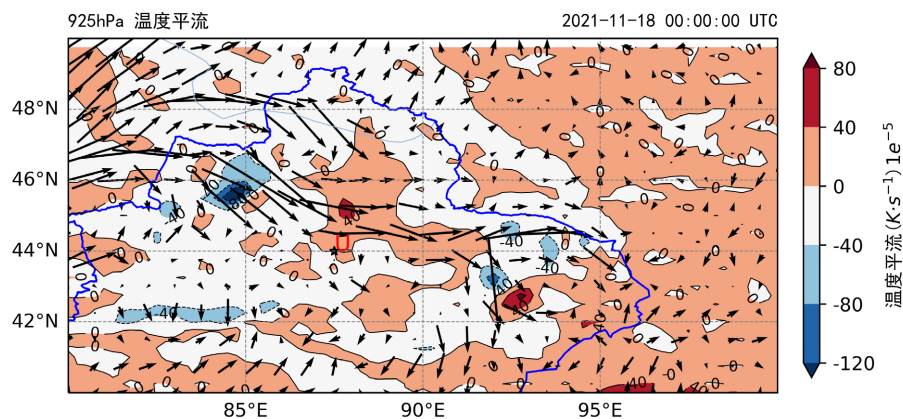
#### 5. 卫星云图分析

从卫星云图(图略), 18 日凌晨北疆大部及天山山区北侧已经被槽前云系覆盖; 随高空槽东移加深, 云系在不断加强; 18 日 09:00 云系中心区域呈带状影响天山山区北坡, 此时基本对应本场的降雪开始时间; 14:00 后主力云系移出本场。19 日 06:00 受后续紧跟的短波槽前云系影响, 较 18 日较弱且松散, 但槽移速较慢; 云系大致呈东北-西南向东移, 12:00 前部分散云系影响至本场, 随后主力云系至 19:00 移出, 19:00~20 日 08:00 本场主要被位于云系后的分散低云影响, 有分散零星降雪。综上所述, 本场此次基本可以分为两次降雪过程, 18 日云系稠密、完整、强度较强但移速较快, 故 18 日整体降水时间较短, 但降水集中且降水量较大; 19 日云系分散、强度较弱、云系前后分布松散稀拉, 但移速缓慢, 始终影响本场上空, 故 19~20 日降水时间较长, 但其间有间歇期, 且量级偏小。





**Figure 6.** (a) Relative humidity-temperature-horizontal wind time profile; (b) Water vapor flux divergence time profile  
**图 6.** (a) 相对湿度 - 温度 - 水平风时间剖面图; (b) 水汽通量散度时间剖面图



**Figure 7.** 08:00 on November 18, 2021 925 hPa temperature advection  
**图 7.** 2021 年 11 月 18 日 08 时 925 hPa 温度平流

## 6. 总结

本文利用 2021 年 11 月 18~20 日乌鲁木齐机场自动气象观测系统观测资料及 FNL 再分析资料对机场连续降雪特征进行研究分析, 主要结论如下:

1) 此次连续降雪出现在中亚低涡位置偏北, 稳定少动, 不断分裂弱短波影响新疆地区, 冷空气不断南下, 中低层风场的切变和辐合促进上升运动有利于加强水汽辅合, 偏北风与天山山脉的相互作用导致地形强迫抬升易造成短时强降雪, 地面冷高压以偏西路径入侵新疆区域时, 配合中低层水汽, 有利于长时间降雪。当出现连续降雪时, 往往第一场降雪强度大, 第二场降雪时间长。

2) 当水汽通量散度在 700 hPa 以下出现明显的辐合中心时, 有利于出现中雪, 当相对湿度集中在某一时段 500 hPa 以下相对湿度局均高于 85% 以上时, 配合有暖平流时, 有利于持续性降雪。

3) 高层辐散, 低层辐合的形势有利于抽吸作用, 上升气流很强, 动力条件较好, 冷平流快速南下也有利于乌鲁木齐机场出现中雪。低层辐散、高层辐合不利于抬升机制, 有利于降雪结束。

4) 云系稠密、完整、强度较强但移速较快, 降水时间较短, 但降水集中且降水量较大; 云系分散、强度较弱、云系前后分布松散稀拉, 降水时间较长, 但量级偏小。

## 参考文献

- [1] 张云惠, 于碧馨, 谭艳梅, 等. 乌鲁木齐一次极端暴雪时间中尺度分析[J]. 气象科技, 2016, 44(3): 430-438, 24-30.
- [2] 王健, 贾健, 蒋慧敏, 等. “2017·12·27”乌鲁木齐高影响大暴雪中尺度特征分析[J]. 高原气象, 2015, 34(1): 1-8.
- [3] 张俊兰, 万瑜, 闵月. 乌鲁木齐“2015·12·11”极端暴雪天气的综合分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(1): 1-10.
- [4] 李娜, 李如琦, 秦贺, 等. 2018 年 10 月乌鲁木齐暴雪过程锋面分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(5): 36-43.
- [5] 陈涛, 崔彩霞. 2010·1·6 新疆北部特大暴雪过程中的锋面结构及降水机制[J]. 气象, 2012, 38(8): 921-932.
- [6] 陈欣彤, 李裕赫, 张秋实. 哈尔滨机场“2019 12. 28-12. 30”持续降雪成因分析[J]. 黑龙江气象, 2020, 37(3): 1-4.
- [7] 王斌, 栗敬仁. 郑州机场一次持续性降雪天气过程分析[J]. 民航管理, 2019(3): 79-82.
- [8] 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.
- [9] 朱蕾, 王清平, 王勇, 等. 乌鲁木齐两次极端暴雪天气过程对比分析[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(3): 225-233.
- [10] 刘倩, 王楠, 尹才虎, 付文睿. 2019 年 12 月乌鲁木齐机场一次连续两场降雪特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(1): 62-74. <https://doi.org/10.12677/CCRL.2022.111007>
- [11] 王清平, 谭艳梅, 陈春艳, 等. 乌鲁木齐机场一次寒潮多相态降水过程分析[J]. 气象与环境科学, 2018, 41(3): 107-114.
- [12] 陶俞锋, 钱峰, 曹文, 杨琦堡. 2018 年 12 月宁波机场两次降雪过程对比分析[J]. 中国民航飞行学院学报. 2022, 33(1): 68-73
- [13] 冯亮. 银川河东机场一次强降雪过程分析[J]. 民航管理. 2017(3): 82-84.
- [14] 庄晓翠, 李渊博, 李如琦, 等. 新疆北部强降雪天气研究若干进展[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(1): 1-8.
- [15] 崔彩霞, 庄晓翠, 贾丽红, 等. 新疆北部暴雪天气预报预警技术研究[M]. 北京: 气象出版社, 2017: 66-79.
- [16] 万瑜, 窦新英. 新疆中天山一次城市暴雪过程诊断分析[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(6): 8-14.
- [17] 李如琦, 唐冶, 肉孜·阿基. 2010 年新疆北部暴雪异常的环流和水汽特征分析[J]. 高原气象, 2015, 34(1): 155-162.