

乌鲁木齐机场两次强降雪过程对比分析

孙少明

民航新疆空管局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年12月1日; 录用日期: 2022年12月22日; 发布日期: 2022年12月30日

摘要

本文选取乌鲁木齐机场2021年年初和年末两次强降雪天气过程, 利用常规地面、高空形势场资料、FNL再分析数据对两场降雪的天气配置、水汽输送路径、动力条件进行诊断分析。结果表明: 1) 中空和高空强盛持久的西南急流为暴雪提供了有利的水汽输送, 中低空明显的风向切变、风速辐合为引起上升运动起到了有效作用, 但降雪发生前“11·26”过程在新疆西部国境线的西南急流轴明显短于“1·23”过程。2) 两次天气过程均存在低空风与地形结合的强迫抬升运动, 但“11·26”过程的强迫抬升运动明显弱于“1·23”过程。3) “1·23”过程的垂直上升运动的厚度显著大于“11·26”过程, “1·23”过程的强降雪发生时段与上升运动最强的时段相吻合, 但“11·26”过程的强降雪时段与上升运动的高度和厚度增加相对应。两场降雪过程的垂直上升运动的减弱时间与降雪减弱的时间一致。

关键词

强降雪, 水汽条件, 动力条件, 垂直速度

Comparative Analysis of 2 Snowstorms at Urumqi Airport

Shaoming Sun

Meteorological Center, Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 1st, 2022; accepted: Dec. 22nd, 2022; published: Dec. 30th, 2022

Abstract

In this paper, selecting 2 snowstorms weather processes at Urumqi Airport at the beginning and end of 2021. The weather configuration, water vapor transport path and dynamic condi-

tions of the 2 snowstorms are diagnosed and analyzed by using conventional ground and upper air situation field data and FNL reanalysis data. The results show: 1) the strong and persistent Southwest jet in the middle and upper levels provides favorable water vapor transport for the blizzard, and the obvious wind shear and wind speed convergence in the middle and low levels play an effective role in causing the upward movement. However, the Southwest jet axis in western Xinjiang during the “Nov. 26” process before the snowstorm is significantly shorter than that during the “Jan. 23” process. 2) There is forced uplift in a combination of low-level wind and terrain in both weather processes, but the forced uplift in the process of “Nov. 26” is significantly weaker than that in the process of “Jan. 23”. 3) The thickness of the vertical ascending motion in the process of “Jan. 23” is significantly greater than that in the process of “Nov. 26”. The period of snowstorm in the process of “Jan. 23” is consistent with the period of the strongest ascending motion, but the period of snowstorm in the process of “Nov. 26” corresponds to the increase of the height and thickness of the ascending motion. The weakening time of vertical upward motion of the 2 snowfall processes coincides with the weakening time of snowfall.

Keywords

Snowstorm, Water Vapor Condition, Dynamic Conditions, Vertical Velocity

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

强降雪预报一直是中高纬冬季气象预报的重要内容和预报难点之一，暴雪是影响乌鲁木齐机场冬季民航运输的最主要的灾害性天气之一。强降雪是除了大雾、浓烟之外又一种造成乌鲁木齐机场低能见度的主要天气现象。强降雪会导致能见度迅速下降，常低于 1000 m 甚至低于 500 m，维持时间一般在 1~2 h 左右。雪片会贴在飞机前挡风玻璃上，妨碍飞行员的目视飞行。当跑道具备合适的地温时，中-大雪会造成跑道积雪和结冰，跑道被雪覆盖，在空中难以识别；积雪过厚，跑道将无法使用；飞机在结冰的跑道道面上不易保持方向，极易冲出跑道，当跑道摩擦系数低于标准时，跑道就无法使用而关闭[1] [2] [3] [4]。

王健等对高影响大暴雪天气进行诊断分析，揭示了水汽通过西南路径和偏西路径输送到暴雪区时，850 hPa 上乌鲁木齐附近较强水汽通量散度的持续时间与强降雪时段对应很好[5]。朱雯娜等对 1976 年~2016 年冬季乌鲁木齐暴雪过程统计分析发现：中亚低槽型(偏西路径型)根据中亚低槽来源不同有两个副类，一类由乌拉尔大槽东移减弱形成中亚低槽，一类由地中海-里海低涡槽东移形成中亚低槽。强降雪落区与地形密切相关，地形使地面冷高压与冷锋变形，并长时间滞留天山山脉迎风坡[6]。朱蕾等对乌鲁木齐极端暴雪天气过程对比分析发现风场辐合与天山地形抬升产生的强上升气流和强辐合为暴雪的形成提供了有利的动力条件[7]。

本文利用常规地面、高空形势场资料、FNL 再分析数据，选取乌鲁木齐机场冬季 2021 年的两场强降雪，分别发生在 2021 年 1 月 23 日(简称“1·23”过程)和 2021 年 11 月 26~27 日(简称“11·26”过程)，采用天气动力学分析方法对强降雪的大尺度环流背景及不稳定、动力、水汽等进行分析，揭示不同类型的强降雪的形成机理及强度差异成因，进一步归纳乌鲁木齐机场强降雪发生的必要条件及关系等，为此

类天气的精细化预报提供重要参考[8] [9]。

2. 天气实况

2.1. 2021 年 1 月 23 日实况

2021 年 1 月 23 日 02:30~24:00 乌鲁木齐机场出现中到大雪天气过程, 其中 06:39~07:00, 12:14~13:00 出现中雪, 过程降水量 8.6 mm, 新增积雪深度 16 cm, 居乌鲁木齐机场 1 月日降水量历史第五位。降雪分布不均, 乌鲁木齐站降水量 17.8 mm, 新增积雪深度 18 cm, 刷新 1 月日降水量历史极值。

此次降雪对空管运行造成较大影响, 因降雪天气, 2021 年 1 月 23 日 10:00 前乌鲁木齐机场计划始发航班 18 架次, 因天气延误 17 架次, 正常率 0%。23 日本场出港延误航班 49 架次, 备降 1 架次。共收到 11 份航空器空中报告, 包括 8 份颠簸、2 份积冰、2 份风切变。

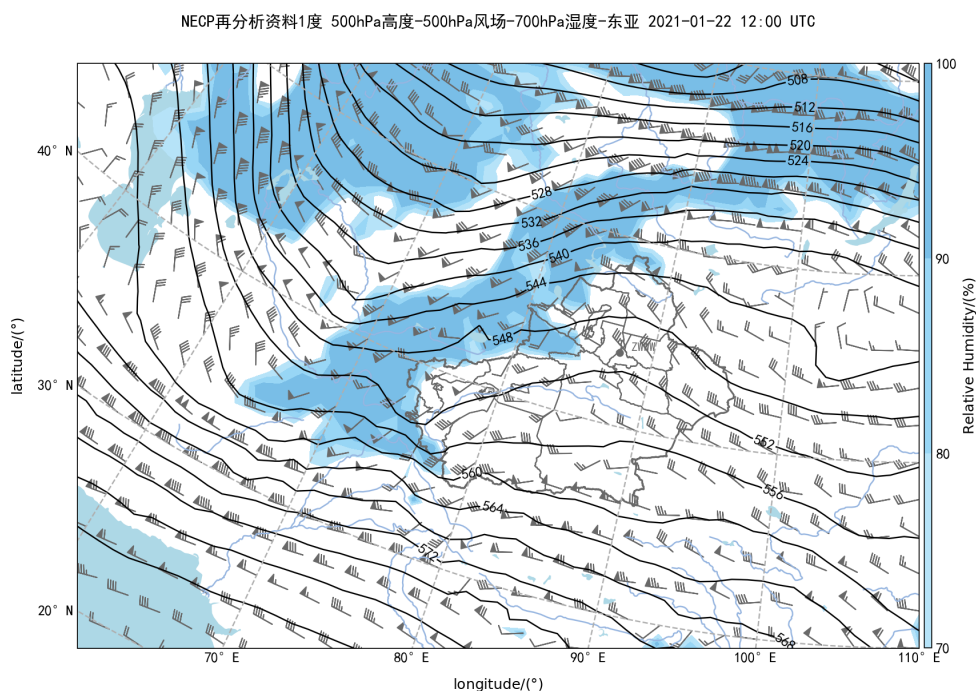
2.2. 2021 年 11 月 26~27 日天气实况

乌鲁木齐机场 2021 年 11 月 26 日 23:00~27 日 18:30 出现持续性降雪天气, 其中 26 日 23:30~27 日 00:30 出现小雨夹雪, 27 日 04:00~06:30 出现中雪, 主导能见度 900 米, 其余时间均为小雪, 过程降水量 8.0 mm, 新增积雪深度 10 cm。此次降雪天气共收到 1 份航空器积冰空中报告。因天气原因延误 38 架次, 返航 1 架次, 备降 3 架次。

3. 天气形势特征对比

3.1. “1·23” 过程天气形势特征

如图 1 所示, “1·23” 过程中 2021 年 1 月 22 日 20 时 500 hPa 上, 高空槽位于中亚巴尔喀什湖西侧, 且温度槽落后于高度槽, 巴尔喀什湖大槽会进一步发展, 槽后北风带最大风速为 38 米/秒; 23 日 08



时,巴尔喀什湖大槽在东移过程中略有北收。23日20时,大槽在东移过程中分裂为南北两支,北支槽主力位于巴尔喀什湖东侧一带,南支槽位于中亚南部,北疆大部受槽前西南气流,最大西南风达22米/秒,后续迅速东移影响北疆大部、东疆、天山山区。2日20时850 hPa,高空槽位于巴尔喀什湖西侧,北疆受多短波扰动影响;23日08时,高空槽东移至巴尔喀什湖上空,北疆西部为风速的弱辐合区。如图2所示,22日20时,地面冷高压主体位于中亚南部,中心气压值为1041 hPa,冷锋锋面位于北疆西部。23日08时,冷高压向东北方向移动,冷高压逐步控制北疆大部。23日20时,冷高压减弱东移。

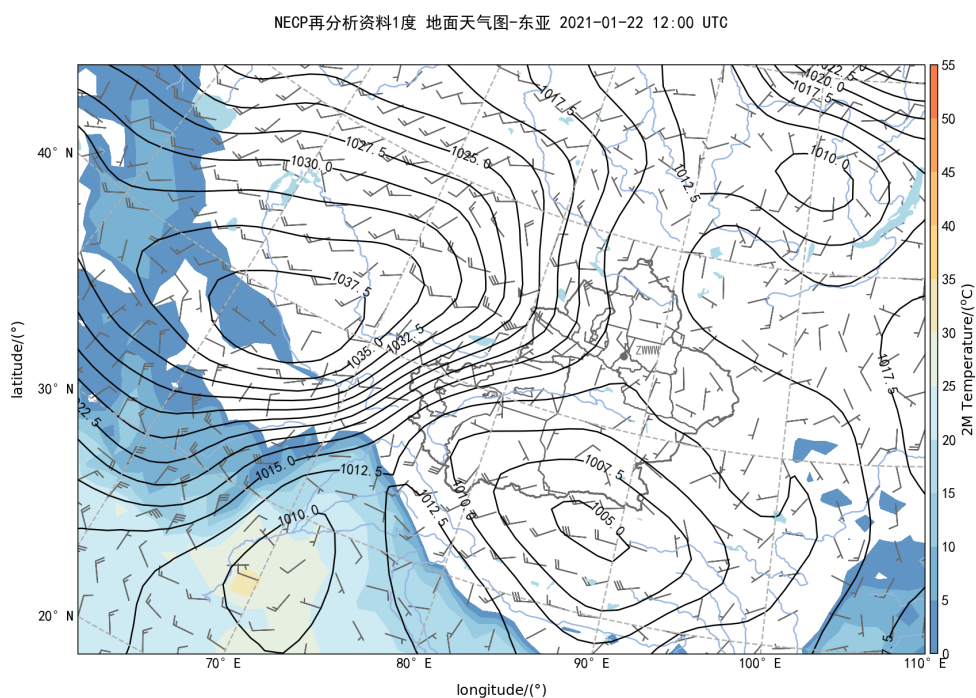


Figure 2. Prebaratic chart at 20:00 on Jan. 22

图2.1月22日20时地面天气图

3.2. “11·26”过程天气形势特征

“11·26”过程中2021年11月24日08时500 hPa上,欧洲暖脊发展旺盛,乌拉尔大槽槽后偏北风强盛,引导冷空气迅速南下,乌拉尔冷槽加深发展;11月25日08时,脊区北伸,低槽进一步东移,槽前西南气流及槽后西北气流的速度均有所加强;11月25日20时,欧洲脊顶受小槽“盖顶”影响,脊东南衰退明显,推动低槽迅速东移;如图3所示,11月26日20时,欧洲脊持续向东南方向衰退,低槽在东移过程中分为两支,北支快速东移,南支缓慢加深东移影响新疆区域。27日08时~28日08时空槽缓慢南下,28日20时后低槽移出新疆区域,新疆区域逐渐转为西北气流控制。700 hPa上25日20时,低槽位于乌拉尔山东侧,且低槽后部的冷平流明显。26日08时,低槽发展东移,槽前的等温线密集带与槽走向一致;27日08时空槽南压至东疆、南疆东部,850 hPa与500 hPa、700 hPa环流形势大致相同,低槽在东移过程中有强冷平流输送。在地面气压图上,11月24日08时冷高压开始形成于黑海地区附近,后续逐渐东移,在此过程冷高压中心气压值变化不大;11月25日08~26日08时,受冷高压持续东移影响新疆区域逐渐形成南高北低的地面气压场;如图4所示,11月26日20时,冷高压中心移至西部国境线,锋面系统已移至北疆盆地,锋线两侧温差明显,北疆大部自西向东出现降雪,北疆西部、北疆沿天山一带短时出现强降雪。11月27日08时,地面高压逐渐移进新疆区域。

NECP再分析资料1度 500hPa高度-500hPa风场-700hPa湿度-东亚 2021-11-26 12:00 UTC

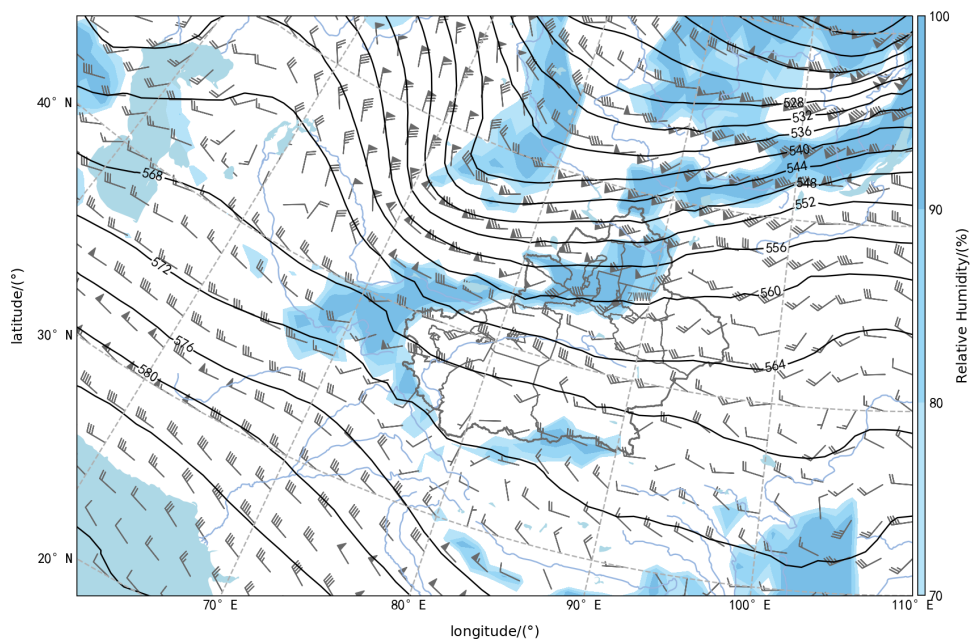


Figure 3. The weather situation of 500 hPa at 20:00 on Nov. 26

图 3. 11 月 26 日 20 时 500 hPa 形势

NECP再分析资料1度 地面天气图-东亚 2021-11-26 12:00 UTC

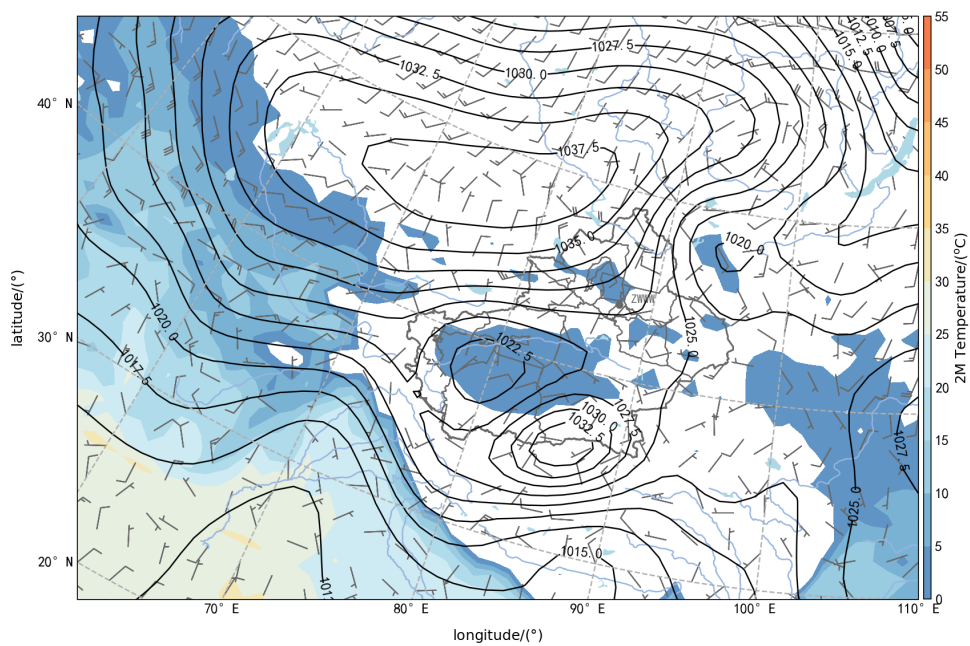


Figure 4. Prebaratic chart at 20:00 on Nov. 26

图 4. 11 月 26 日 20 时地面天气图

3.3. 两次天气过程形势特征对比分析

两次冷天气活动过程，均为偏西路径，高空西南气流均达到了急流标准，冷锋入侵新疆后给北疆大

部带来强降水和大风天气。北疆中低空水汽条件充沛，中低层较大的西北风与乌鲁木齐机场附近地形的强迫抬升作用使得北疆沿天山一带的降雪更加明显。“11·26”过程的北疆冷高压中心强度大于“1·23”过程，“1·23”过程的经向环流幅度大于“11·26”过程，“11·26”过程的北疆冷高压中心强度大于“1·23”过程，且“11·26”过程的冷高压在入疆影响北疆过程中增压明显。

4. 水汽条件分析

4.1. “1·23”过程水汽条件分析

强降雪的发生离不开充沛的水汽输送。图5为“1·23”过程中2021年1月22日20时新疆低层700 hPa的水汽通量散度，由图5可见，水汽辐合区主要位于北疆西部、天山山区、北疆沿天山一带、东疆地区，最大值达到 $3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ ，而乌鲁木齐机场正好位于北疆沿天山一线的大值区的边界区域中。图6为“1·23”过程的850 hPa水汽通量图。在降雪前期，近地面和低层有明显的水汽向新疆西部、北疆北部、北疆盆地地区输送，在北疆北部一带有明显的大值区。从流场上看，低层水汽输送有两条路径，偏西路径进入伊犁河谷一带，西北路径自西北方向进入新疆西部国境线，然后沿西北路径进入北疆盆地地区。乌鲁木齐机场及其周边有明显的水汽输送，最大值达到 $4 \sim 6 \times \text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ ，以上指征说明在降雪开始有充沛的水汽向乌鲁木齐机场及其周边输送。由图7所示，由“1·23”过程的乌鲁木齐机场水汽和温度时间剖面图可知，在降雪前500 hPa主要为西南暖湿气流，而中低层700~850 hPa主要输送冷湿空气，2022年1月22日20时后高层水汽开始不断累积，23日02时开始有整层水汽不断汇集，水汽主要集中在中层600~850 hPa、200~500 hPa，有利的中层和低层的相对湿度为暴雪的发生提供了水汽条件。如图8乌鲁木齐机场温度平流剖面图所示，23日02时以后，乌鲁木齐机场上空整层由偏西气流转为西南气流，且中空达到西南急流20 m/s以上，400~600 hPa西南暖湿气流特征明显，在23日08时至14时暖平流最强，中心最大值达到 $20 \sim 30^\circ\text{C}/10^{-5} \text{ s}$ ，850 hPa以下，23日02~20时，低层有明显的风向风速辐合，为强降雪的发生提供动力条件。

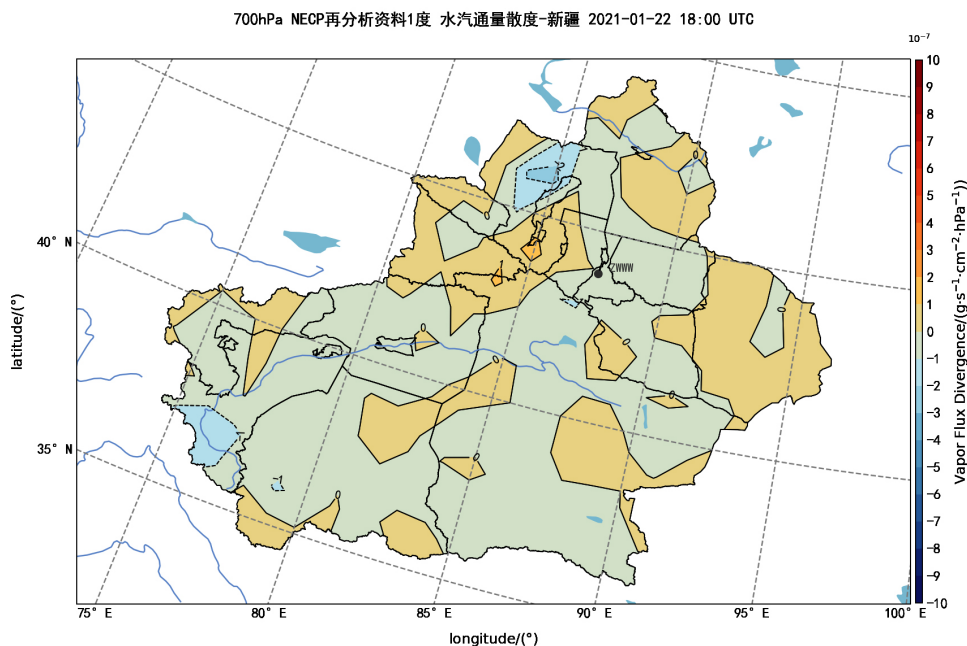


Figure 5. Divergence of water vapor flux of 700 hPa at 02:00 on Jan. 23

图5. 1月23日02时700 hPa水汽通量散度

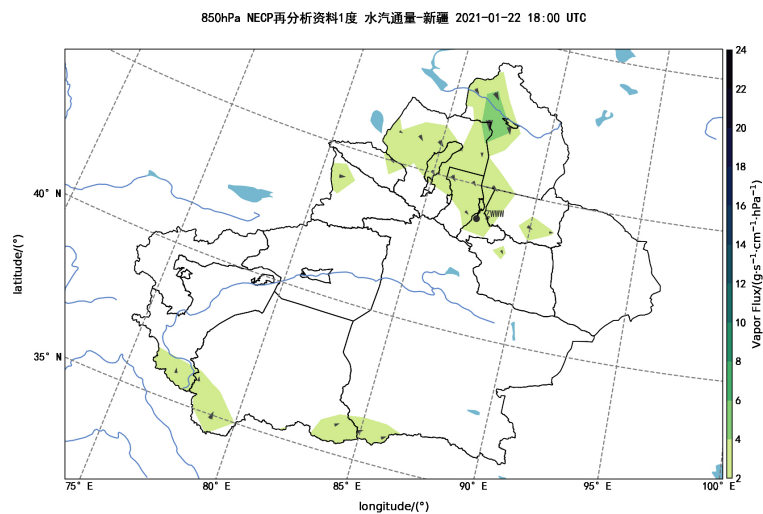


Figure 6. Water vapor flux of 850 hPa at 02:00 on Jan. 23

图 6. 1月23日02时850 hPa水汽通量

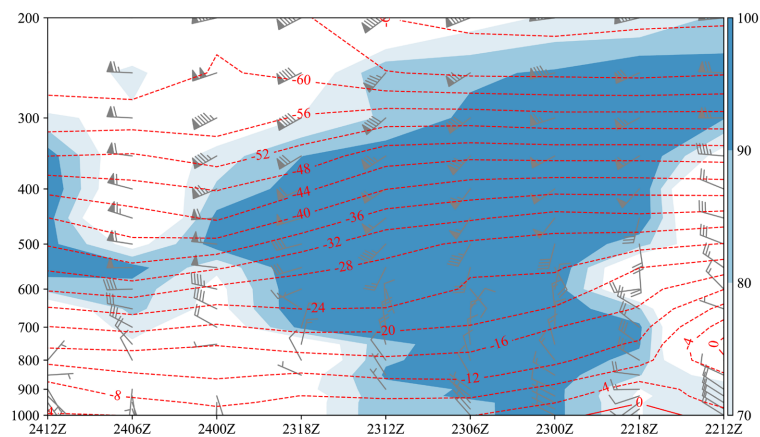


Figure 7. Water vapor and temperature time profile of “1·23”

图 7. “1·23”过程水汽和温度时间剖面

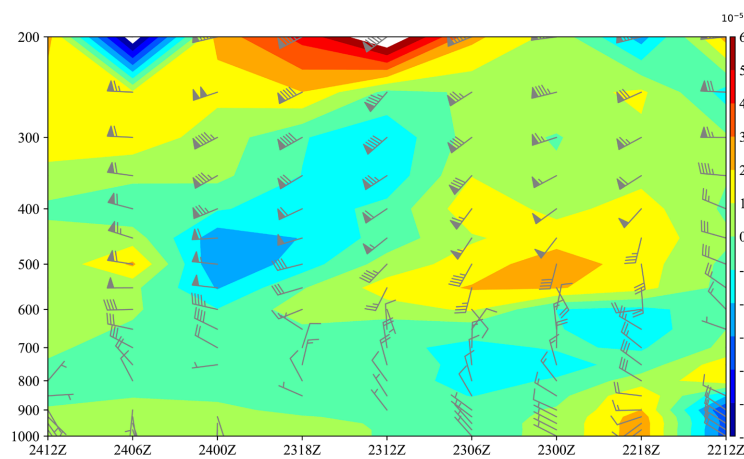


Figure 8. Temperature advection time profile of “1·23”

图 8. “1·23”过程温度平流时间剖面

4.2. “11·26” 过程水汽条件分析

图 9 为“11·26”过程中新疆地区 2021 年 11 月 26 日 20 时中低层 700 hPa 的水汽通量散度。由图 9 可见，水汽辐合区主要位于北疆北部、天山山区、乌鲁木齐机场及其周边，而乌鲁木齐机场正好位于大值区中，与乌鲁木齐机场后续 11 月 26 日 23 时出现明显的降雪天气相对应。图 10 为“11·26”过程的 850 hPa 水汽通量图。在降雪前期，低层 850 hPa 有明显的西北路径自北疆北部向北疆盆地地区输送水汽，乌鲁木齐机场在北疆盆地的大值区内。乌鲁木齐机场及其周边有明显的水汽通量，最大值达到 $2\sim4 \text{ g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})^{-1}$ 。从图 11 乌鲁木齐机场水汽时间剖面图上可见，26 日 08 时开始乌鲁木齐机场高空 200~400 hPa 水汽均为饱和状态，从 26 日 20 时开始高湿层开始下压，至 27 日 02 时从近地面至 400 hPa 为水汽饱和状态，与图 12 乌鲁木齐机场“11·26”过程温度平流剖面图中西南急流风速增大的时间相一致。如图 12 乌鲁木齐机场水汽时间剖面图所示，2022 年 11 月 27 日 02 时后高层水汽开始不断累积，23 日 02 时

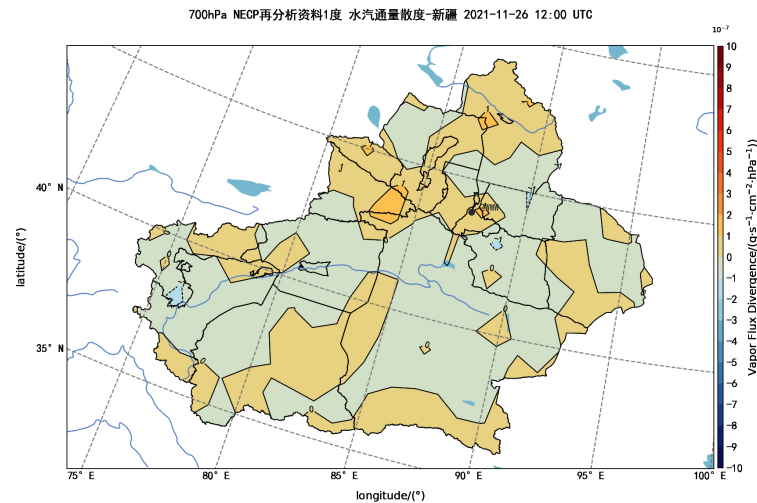


Figure 9. Divergence of water vapor flux of 700 hPa at 20:00 on Nov. 26
图 9. 11 月 26 日 20 时 700 hPa 水汽通量散度

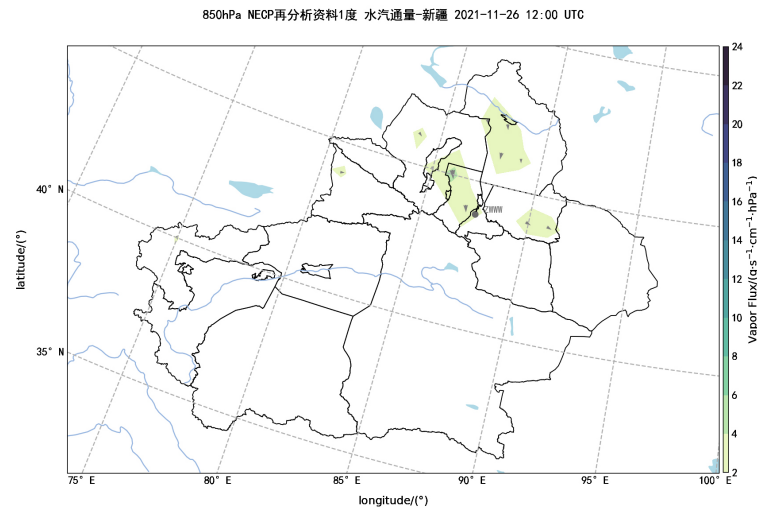


Figure 10. Water vapor flux of 850 hPa at 20:00 on Nov. 26
图 10. 11 月 26 日 20 时 850 hPa 水汽通量

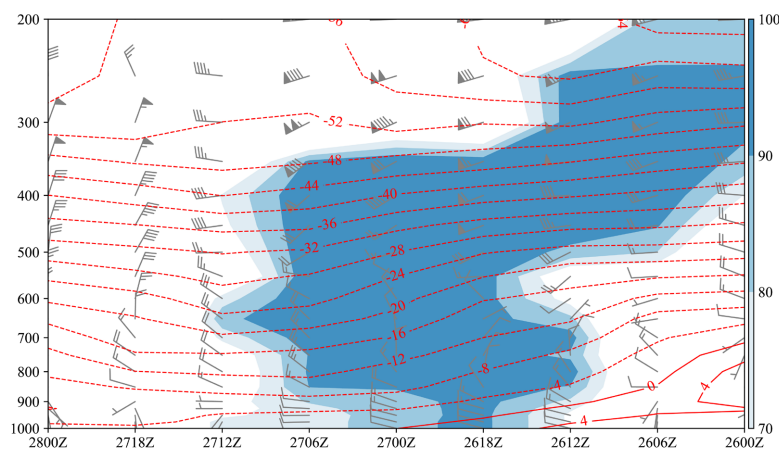


Figure 11. Water vapor and temperature time profile of “11·26”

图 11. “11·26” 过程水汽和温度时间剖面

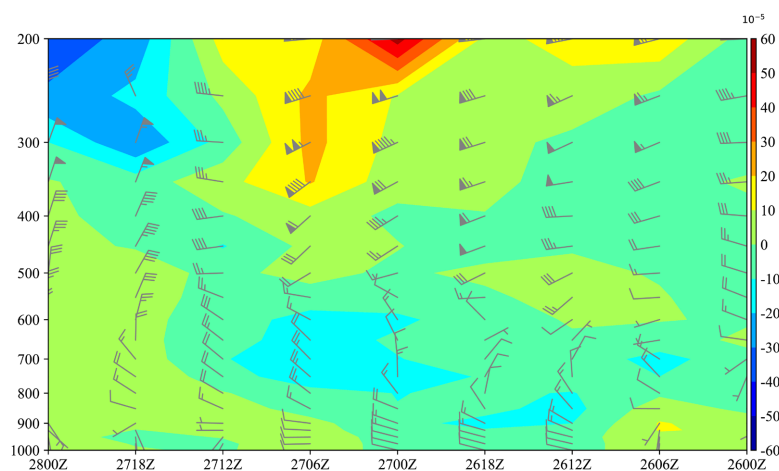


Figure 12. Temperature advection time profile of “11·26”

图 12. “11·26” 过程温度平流时间剖面

开始整层水汽不断汇集,水汽主要集中在中层 600~850 hPa、200~500 hPa,有利的中层和低层的相对湿度为暴雪的发生提供了水汽条件。如图 12 “11·26” 过程乌鲁木齐机场温度平流剖面图所示,26 日 20 时以后,乌鲁木齐机场上空低空风由西北风换为东北风,且中空西南急流由 16 m/s 增大到 30 m/s 以上,27 日 02 时开始高空西南暖湿气流输送明显,27 日 08 时暖平流最强,中心最大值达到 $40\sim 50^{\circ}\text{C}/10^{-5}\text{ s}$ 后续至 14 时本场 400 hPa 以上为西南暖湿气流,在 23 日 08 时至 14 时,600 hPa 以下 26 日 20 时至 27 日 20 时低层风向由东北风转为西北风,低层以干冷空气为主。

4.3. 水汽条件分析

高层水汽通过西南路径输送到暴雪区,500hPa 以上层次乌鲁木齐机场上空均为西南急流,两次强降雪都具备充沛的水汽条件,但“11·26”过程强度明显偏弱,“11·26”过程在新疆西部国境线的西南急流轴明显短于“1·23”过程,500hPa 以下均为西北风,受乌鲁木齐机场附近山脉地形与偏北风的抬升作用影响,使得两次强降雪的上升运动和水汽聚合更加明显,增大了降雪量级。但“11·26”过程的强迫抬升运动明显弱于“1·23”过程,这也是“11·26”过程降雪量少于“1·23”过程的一个原因。

5. 动力条件分析

5.1. “1·23”过程动力条件分析

利用大暴雪发生前的散度和垂直速度的演变分析其强降雪发生发展的动力条件[10]。由图 13 所示，“1·23”过程 500 hPa 23 日 02 时全疆散度图上来看，乌鲁木齐机场及北疆东部有明显辐合，由图 14 “1·23”过程乌鲁木齐机场上空垂直速度时间剖面图来看，“1·23”过程 22 日 20 点前乌鲁木齐机场的近地面层的上升运动速度达到了 $-1.5\sim 2\text{ Pa/s}$ ，同时结合图 8 来看乌鲁木齐机场低空西北风达到了 $4\sim 8\text{ m/s}$ ，近地面层的西北风与天山地形的辐合抬升作用使得上升运动得以加强，有利于乌鲁木齐机场降雪进一步加强。23 日 02 时至 08 时，800 hPa 以下层次为下沉运动，且下沉运动逐渐增强至 1.0 Pa/s ，800 hPa 以上乌鲁木齐机场的上升运动区达到了 -2.0 Pa/s ，在 500 hPa 以上为下沉运动，下沉运动达到 0.5 Pa/s ，在强降雪时段内乌鲁木齐机场的中低层为强烈的上升运动，持续的上升运动为乌鲁木齐机场的强降雪提供了较好的动力条件。至 23 日 14 时以后乌鲁木齐机场的上升运动区逐渐减弱，西北风也减小至 4 m/s 以下。

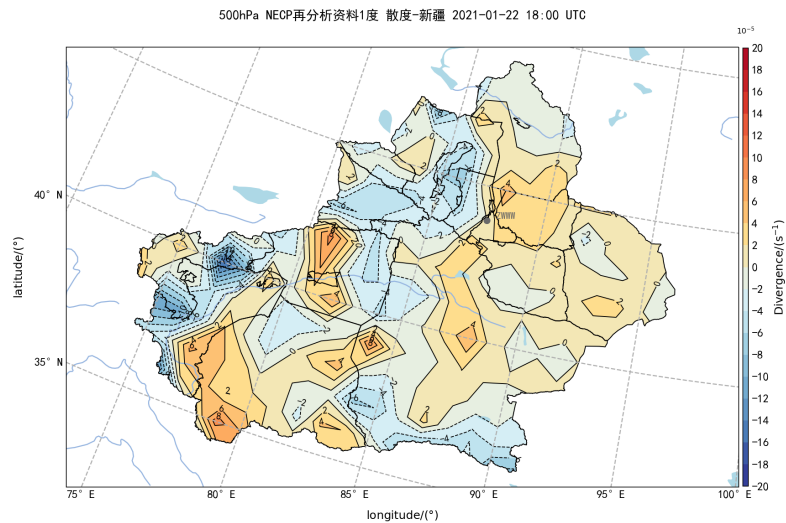


Figure 13. Divergence of 500 hPa at 02:00 on 23 of “1·23”
图 13. “1·23”过程 500 hPa 23 日 02 时散度

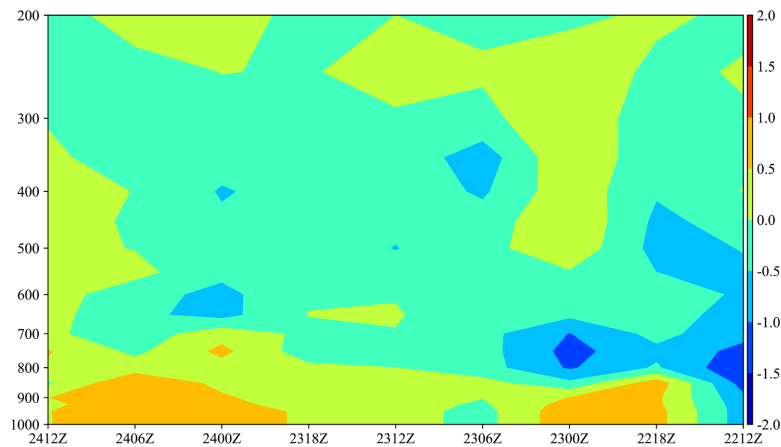


Figure 14. Vertical velocity time profile of “1·23”
图 14. “1·23”过程垂直速度时间剖面

5.2. “11·26”过程动力条件分析

如图 15 所示,“11·26”过程 700 hPa 11 月 23 日 02 时全疆散度图上来看,乌鲁木齐机场及北疆东部、天山山区有明显强烈辐合。从图 16“11·26”过程乌鲁木齐机场上空垂直速度时间剖面图来看,“11·26”过程在降雪发生前,从 26 日 14 时开始至 27 日 14 时,乌鲁木齐机场中低空 600~900 hPa 为显著上升运动,上升速度达到了 $-1.0\sim-2$ Pa/s,同时结合图 12 来看乌鲁木齐机场低空为偏西风转东北风,降雪发生前低空风速在 2 m/s 以下,低层与天山地形有辐合抬升作用,但低空风速较小使得上升运动较弱,对乌鲁木齐机场降雪的加强作用有限。27 日 02 时至 08 时,400 hPa 至 500 hPa 由弱的下沉运动转为上升运动,且上升运动逐渐增强至 -1.0 Pa/s,在降雪过程趋于结束时乌鲁木齐机场上空 900 hPa 以下的下沉运动显著增强,下沉气流速度达到 2.0 Pa/s。“11·26”过程的降雪开始时段与中低层为强烈的上升运动时段相吻合,但上升运动最强时并没有发生强降雪,强降雪发生在中低层和中高层均为上升运动时,持续且深层次的上升运动为乌鲁木齐机场的强降雪提供了较好的动力条件。

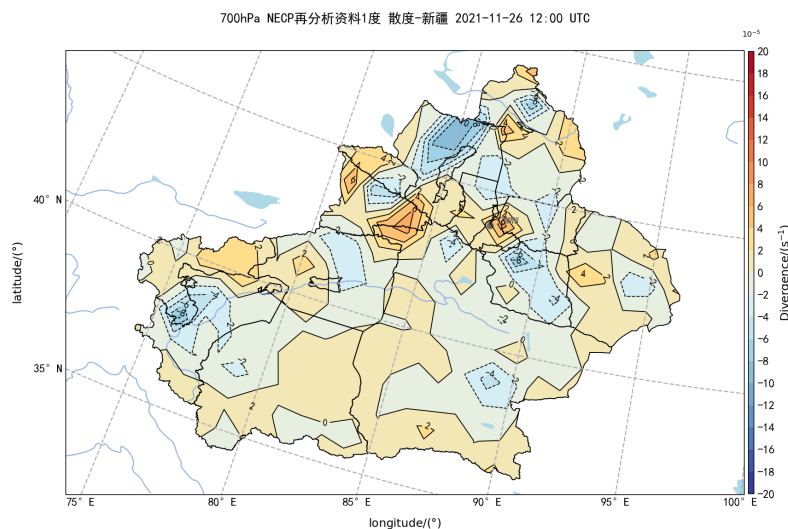


Figure 15. Divergence of 700 hPa at 20:00 on 26 of “11·26”

图 15. “11·26”过程 700 hPa 26 日 20 时散度

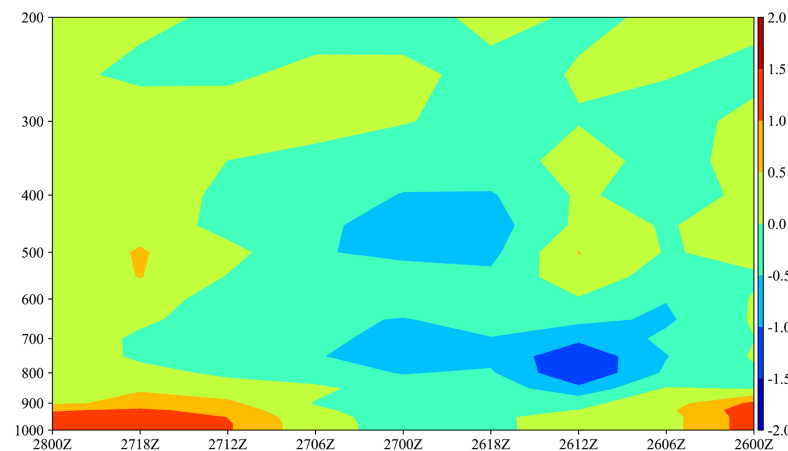


Figure 16. Vertical velocity time profile of “11·26”

图 16. “11·26”过程垂直速度时间剖面

5.3. 两次过程动力条件对比分析

在降雪发生前“1·23”过程的垂直上升运动与“11·26”过程接近,但“1·23”过程的垂直上升运动的厚度显著大于“11·26”过程;在降雪发生时“1·23”过程的低层风速较大,风向为持续的西北风,“11·26”低层风速弱,风向由东北风转为西北风,“1·23”过程与地形的强迫抬升作用大于“11·26”过程;“1·23”过程的强降雪发生时段与上升运动最强的时段相吻合,但“11·26”过程的强降雪时段与整层都转为较强上升运动对应。两场降雪过程的垂直上升运动减弱时间与降雪减弱的时间一致,垂直速度的演变对降雪的起止时间和强度预报有较好的相关性。

6. 结论

本文利用 FNL 再分析资料对乌鲁木齐机场两次强降雪天气过程进行对比分析,结论如下:

- 1) 两次冷天气活动均为偏西路径,两次过程是在低空西北急流与中高空西南急流叠加的环流背景及低空风与地形结合的强迫抬升等中小尺度系统的共同影响下形成的。
- 2) 两次强降雪都具备充沛的水汽条件,但降雪发生前“11·26”过程在新疆西部国境线的西南急流轴明显短于“1·23”过程,“11·26”过程的强迫抬升运动明显弱于“1·23”过程。
- 3) “1·23”过程的垂直上升运动的厚度显著大于“11·26”过程,“1·23”过程的强降雪发生时段与上升运动最强的时段相吻合,但“11·26”过程的强降雪时段与上升运动的高度增加相对应。两场降雪过程的垂直上升运动减弱时间与降雪减弱的时间一致,垂直速度的演变对降雪的起止时间和强度预报有较好的相关性。

参考文献

- [1] 陈阳权. 乌鲁木齐机场 2021 年“10.06~07”初雪天气过程及雨雪转化成因分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(5): 866-875. <https://doi.org/10.12677/CCRL.2022.115090>
- [2] 张家宝. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986: 222-250.
- [3] 张家宝, 邓子凤. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 91-117.
- [4] 沈永平, 王国亚, 魏文寿, 等, 编著. 冰雪灾害[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 37-42.
- [5] 王健, 王毅. 乌鲁木齐“12·27”高影响大暴雪天气分析与预报[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(3): 36-42.
- [6] 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.
- [7] 朱蕾, 王清平, 王勇, 赵克明. 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.
- [8] 封秋娟. 山西冬季降雪云微结构的飞机观测和数值模拟研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2021. <https://doi.org/10.27248/d.cnki.gnjqc.2021.001013>
- [9] 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.
- [10] 魏娟娟, 李娜, 万瑜, 芒苏尔·艾热提, 施俊杰. 乌鲁木齐典型暴雪天气机理及成因分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(5): 1381-1391.