

# 乌鲁木齐机场2021年12月的一次降雪天气分析

尹才虎, 刘倩

民航新疆空中交通管理局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年12月12日; 录用日期: 2023年1月9日; 发布日期: 2023年1月18日

## 摘要

分析2021年12月9日乌鲁木齐机场降雪天气的环流形势、物理量场, 说明了这次降雪天气的主要成因。结果表明: 这次乌鲁木齐机场的降雪天气是北欧高压脊和极涡共同影响的结果, 在北欧脊主导作用下, 乌拉尔槽持续向东南方向移动, 在中亚地区分为两段, 一段北收东移并未影响新疆区域, 另一端向东南移动并增强, 移至新疆境内后, 造成了乌鲁木齐机场地区的降雪天气。此次降雪过程中, 从低层到中层大气运动均为明显的上升运动。

## 关键词

乌鲁木齐机场, 降雪, 环流形势, 物理量

# A Snowfall Weather Analysis of Urumqi Airport in December 2021

Caihu Yin, Qian Liu

Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 12<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jan. 9<sup>th</sup>, 2023; published: Jan. 18<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The circulation situation and physical quantity field of the snowfall weather at Urumqi Airport on December 9, 2021 are analyzed, and the main causes of the snowfall weather are explained. The results show that the snowfall at Urumqi Airport is the result of the joint influence of the Nordic ridge and the polar vortex. Under the leading role of the Nordic ridge, the Ural trough continues to move southeast. In Central Asia, it is divided into two sections. One section moves north to east without affecting Xinjiang, and the other end moves southeast and strengthens. After moving to Xinjiang, the snowfall in Urumqi Airport is caused. In addition, during the snowfall process, the atmospheric motion from the lower level to the middle and upper levels is ascending.

## Keywords

Urumqi Airport, Snowfall, Circulation Situation, Physical Quantities

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

降雪天气是影响民航运行安全的重要天气之一,对降雪天气的预报也是航空气象预报的重点之一。做好降雪天气的预报对保障民航安全运行有着重大意义,本文采用 NCEP 的  $1^\circ \times 1^\circ$  的再分析资料 FNL 对乌鲁木齐机场 2021 年 12 月 9 日的降雪天气进行分析,旨在分析其主要成因,为乌鲁木齐机场的降雪天气预报做出贡献,也为后面的预报累积经验和资料。

对降雪天气的分析前人做的工作很多,张萍萍等[1]从多方位、多角度对比分析干、湿雪,并建立了物理模型,对后续分析干、湿雪做出贡献。而陶健红[2]等则是使用了 WRF 模式对暴雪天气进行模拟,说明了 600 hPa 的强输送和强辐合为降雪提供了水汽条件。尤媛等[3]等对 2021 年 12 月的大气环流进行了分析,也有助于本文对本次降雪天气的分析。张俊兰等[4]对北疆寒潮的天气进行了预报和分析,降雪天气也是寒潮伴随天气之一。

## 2. 天气实况及影响

2021 年 12 月 9 日,乌鲁木齐地窝堡国际机场(ICAO:ZWWW)迎来降雪天气。根据乌鲁木齐机场气象实况报文,12 月 9 日 08:00~9 日 21:30 乌鲁木齐机场出现小到中雪,其中 11:09~12:00、17:30~18:00 短时中雪,中雪期间乌鲁木齐机场主导能见度 600~800 m,降雪过程持续 13 小时 30 分钟,累计过程降水量 4.6 mm,本次降雪天气产生地面新增积雪 10 cm。

本次降雪天气,对乌鲁木齐机场的航班运行造成严重的影响,12 月 9 日受降雪天气影响,乌鲁木齐机场航班延误 31 架次,延误超两小时 3 架次,航班正常率 85.5%。

## 3. 环流形势分析

### 3.1. 500 hPa 中层环流

12 月 6 日 02 时,500 hPa (图略)上极涡中心稳定维持在新西伯利亚群岛附近,中心强度为 483 gdp,极涡冷中心最低温度为  $-48^\circ\text{C}$ 。极锋锋区位于极涡中心底部西南侧,并对应一条急流带,急流带为西北-东南走向。急流带中心位于贝加尔湖东北侧,中心最大风速区为 48 m/s。极涡中心底部冷空气呈锥形向南方渗透,于急流带前形成高空槽,槽底伸至  $40^\circ\text{N}$  纬线附近。

同时,北欧为高压脊,脊顶位于北极圈内,脊后冷平流强盛,使北欧脊底部形成多个切断低涡。其中一个低涡位于阿尔卑斯山脉附近,低涡中心强度为 531 gdp,低涡冷中心最低温度为  $-35^\circ\text{C}$ 。另一低涡位于拉多加湖附近,低涡中心强度为 523 gdp,低涡冷中心最低温度为  $-37^\circ\text{C}$ ,低涡与极涡分裂的短波相连,在北欧脊前形成横槽。横槽呈西-东走向,槽底部为平直的偏西气流。

12 月 6 日 08 时(图略),横槽后部有一暖平流区,暖平流区中心最大强度为  $21 \times 10^{-5} \text{ K/s}$ ,此暖平流区走向与横槽走向一致,呈西-东走向,长度覆盖横槽前半部分。暖平流阻挡了北欧脊前的引导的冷空

气对横槽的补充, 横槽破坏分裂为两部分, 其中一部分分裂为短波槽, 此短波槽较横槽经向度加大, 长度减小。北欧脊前有强暖平流区, 位于斯瓦尔巴群岛, 暖平流区中心最大强度为  $71 \times 10^{-5} \text{ K/s}$ 。北欧脊后有强冷平流区, 位于爱尔兰岛西侧  $17^\circ \text{W}$  经线附近, 冷平流区中心最大强度为  $-185 \times 10^{-5} \text{ K/s}$  (负号代表冷平流)。北欧脊前暖平流、脊后冷平流的温压场配置使北欧脊东移, 北欧脊东移与横槽东移转竖的形势也相对应。位于北欧脊南侧阿尔卑斯山脉附近的切断低涡由于槽后北风带引导北方冷空气南下补充, 低涡中心强度加强, 从低涡中心分析出的高空槽经向度加大, 强度加强。位于低涡东侧同一纬度的黑海地区由于低涡槽的加深黑海地区呈长脊形势。

12月6日14时(图略), 位于乌拉尔山脉附近的横槽转换为短波槽, 此时乌拉尔槽位于北欧脊前, 乌拉尔槽受北欧脊的主导作用。北欧脊的东移, 使乌拉尔槽加深发展, 经向度加大。12月6日20时~12月7日08时, 乌拉尔槽持续加深发展, 其中12月6日20时黑海地区长脊, 黑海地区东侧至巴尔喀什湖出现多个短波槽。12月7日02时槽线东南移, 极涡外围的极锋锋区南压, 里海附近发展出一短波槽, 里海槽和乌拉尔槽同位相叠加。12月7日08时里海槽东移, 12月7日20时黑海脊和北欧脊同位相叠加。

12月8日02时, 高压脊移至乌拉尔山附近, 脊前北风带形成, 北风带引导极地冷空气南下补充至乌拉尔槽。12月8日14时, 里海槽和乌拉尔槽合并为西伯利亚槽, 经向度较大。12月8日20时, 里、咸海长脊, 西伯利亚槽东移。新疆为脊前西南气流控制, 极锋锋区南压至北疆地区。12月9日02时~12月10日02时高空槽过境(图1), 乌鲁木齐机场出现降雪天气, 12月10日08时, 乌鲁木齐机场转为槽后偏北气流。

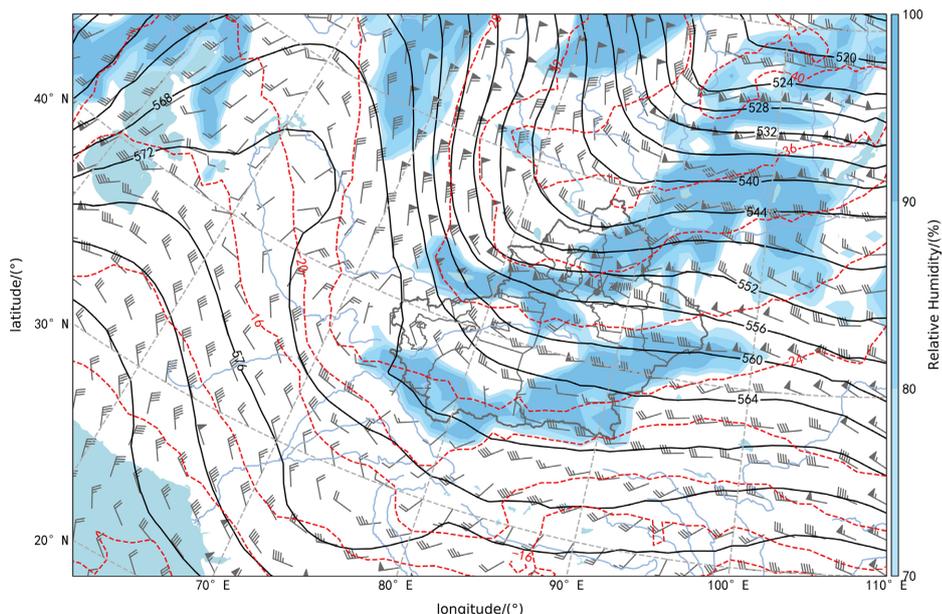


Figure 1. 2021.12.9 08:00 500 hPa upper-air chart  
图 1. 2021 年 12 月 9 日 8 时 500 hPa 高空天气图

### 3.2. 850 hPa 低层环流

12月6日02时, 850 hPa(图略)上极涡分为两个中心, 一个稳定维持在北海群岛东北侧的北冰洋上, 中心强度为 103 gdp, 另一个在白令海峡的西侧海面上, 中心强度为 88 gdp。极涡冷中心较位势高度中心位置偏南, 位于中西伯利亚平原的勒拿河附近, 中心强度为  $-35^\circ \text{C}$ 。极涡冷中心外沿呈三角状, 极地的冷空气沿锥形向南突破, 锥形冷空气的最外沿已伸至蒙古高原, 温度线标值为  $-8^\circ \text{C}$ 。北欧上空则为高压, 配合冷中心, 高压中心强度 146 gdp, 冷中心强度则为  $-17^\circ \text{C}$ 。高压南侧是位于阿尔卑斯山脉上空

的低压, 低压强度为 135 gdp<sub>m</sub>。850 hPa 的极锋锋区位于西西伯利亚平原同纬度附近, 锋区强度为 16°C/10° 纬度。在锋区北侧, 在西西伯利亚平原和东欧平原的交界处, 即乌拉尔山脉上空, 有高压前的北风带和锋区的偏西气流的切变, 在乌拉尔地区生成一个弱的气旋。高压前的北风带引导极地的冷空气补充至乌拉尔地区的气旋中心, 气旋加强, 经向度加大。

12月6日08时(图略), 在里海、黑海之间的地区的北侧, 伏尔加河上空高度场呈长脊趋势, 北欧地区的高压也是东南移, 在同经度下呈连通趋势。随着高压东南移, 高压前的北风带从偏西北方向转为偏北方向, 更加有利于引导冷空气南下进入乌拉尔地区, 位于该地区上空的气旋受冷空气的补充加强, 从气旋逐渐转为高空槽, 经向度加大。极涡受欧洲上空的高压影响, 进一步南压, 极涡前的极锋锋区也是随着南压。

12月6日14时(图略), 伏尔加河上空的弱脊和欧洲高压连通, 在欧洲地区形成较强的高压脊, 其脊顶位于北极圈内, 位于极涡同纬度地带, 脊底部为 148 gdp<sub>m</sub> 高度线, 位于里海北部地区上空。强的高压脊推动着极涡的南移, 极地冷空气沿北风带向南方渗透。乌拉尔地区的短波槽加强, 其走向呈东北-西南方向。12月6日20时, 欧洲脊脊顶受短波槽入侵影响, 欧洲脊向东南垮塌, 极涡底部的高度场也是向西南方向延伸与乌拉尔槽连通, 在欧亚大陆的中高纬度地区形成了一脊一槽的环流形势。12月7日02时, 乌拉尔地区的温度槽明显落后于高度槽, 其高空槽加强发展。极锋锋区位于高空槽前的西南气流, 随着槽的东移南压, 也代表了强冷空气的东移南压。

12月7日08时(图略), 乌拉尔槽继续东移南压, 锋区压至巴尔喀什湖北侧地区。12月7日14时, 乌拉尔槽沿同纬度地区折向东移, 温度锋区强度加强。12月7日20时, 槽线位置位于西西伯利亚平原, 槽线移速较慢, 其强度受北下的冷空气补充影响持续加强。12月8日02时, 槽线位于巴尔喀什湖上, 即在北疆地区的西部国境线外, 受此影响北疆地区开始出现降雪天气。12月8日08时~12月10日02时, 受高空槽东移南压影响, 北疆大部出现降雪天气, 乌鲁木齐机场出现小到中雪天气。

### 3.3. 地面环流

12月6日02时(图略), 地面高压位于北欧地区, 高压强度为 1031 hPa, 与该高压配合的冷中心强度为-21°C。高压南侧为一气旋, 位于阿尔卑斯山脉, 气旋强度为 1003 hPa。地面高压和气旋与 500 hPa 上的阻塞高压和切断低压同位置叠加, 该高压主导系统深厚。12月6日08时(图略), 北欧高压东南下, 移动方位与 500 hPa 高空槽移动方位一致, 地面主导的冷空气势力强盛并持续堆积, 高压前沿伸至乌拉尔山脉。12月6日14时~12月7日08时(图2), 冷高压继续向东南方向移动, 冷高压强度持续增强, 高压中心强度为 1034 hPa。西西伯利亚平原上有一低压中心, 地面冷锋从西西伯利亚低压中心延伸至冷高压前沿, 也代表了本次天气过程主要的地面影响系统。

12月7日14时~12月8日14时(图略), 高压主体在乌拉尔山脉折向东移, 沿纬线向东移动。高压中心位于乌拉尔地区东部, 冷高压增强至 1043 hPa, 地面冷锋位于新疆北部的国境线附近。12月8日20时~12月9日02时, 高压移速减缓, 高压主体位置基本不变。12月9日08时, 冷高压南压, 冷锋入侵北疆地区, 该冷锋也是乌鲁木齐机场降雪的主要影响因素。12月10日08时, 冷锋东移南压并减弱, 乌鲁木齐机场的降雪天气也随之结束。

综上所述, 本次乌鲁木齐机场的降雪天气是北欧高压脊和极涡共同影响的结果。北欧高压脊在高空起主导作用, 高压脊的东南垮塌使乌拉尔地区生成高空槽, 极涡的冷空气南下补充至高空槽, 乌拉尔槽有持续不断的冷空气动力, 在高压脊的主导作用下东移南压, 影响乌鲁木齐机场地区的降雪天气。地面形势与高空形势较配合, 地面系统移动方位与高空系统基本一致, 在乌鲁木齐机场地区, 当高空槽过境时, 同时地面冷锋也入侵。

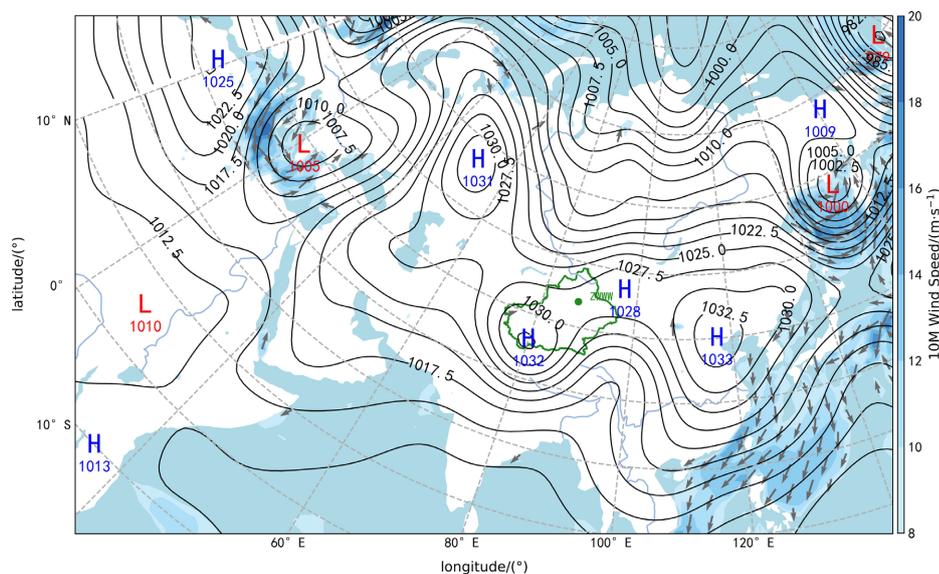


Figure 2. 2021.12.7 08:00 surface weather chart

图 2. 2021 年 12 月 7 日 8 时地面天气图

## 4. 物理量诊断分析

### 4.1. 涡度场

涡度是降雪的重要动力条件之一,对涡度场的分析可以帮助理解降雪动力条件形成。12月6日02时500 hPa上(图略),在乌拉尔山脉附近有横槽,并伴有正的涡度大值区,沿槽线呈带状分布,正涡度中心强度为 $21 \times 10^{-5}/s$ 。分析此涡度区的垂直结构,发现从底层1000 hPa开始至顶层200 hPa涡度值均为正,其中最大值在700 hPa附近,700 hPa正涡度中心强度为 $29 \times 10^{-5}/s$ 。说明在此涡度区中,整层均为辐合上升运动,在700 hPa附近辐合上升最强。

12月6日02时~12月6日20时(图略),500 hPa上乌拉尔横槽向东南移动,其槽线走向从东-西方向转为东北-西南走向,正涡度区随之向东南移动,并且其中心强度增强至 $27 \times 10^{-5}/s$ ,可以看出其与槽的增强呈正相关。12月6日20时~12月7日20时(图略),正涡度区随乌拉尔槽继续向东南方向移动,12月7日20时,以 $4 \times 10^{-5}/s$ 涡度值为界限,正涡度区分为东西前后两部分,偏西方向的正涡度区强度较强,其中心值为 $24 \times 10^{-5}/s$ ,偏东方向的正涡度区较弱,其中心值为 $15 \times 10^{-5}/s$ 。偏西方向的正涡度区移动方向转为向偏西移动,未影响新疆区域,偏东方向的正涡度区仍保持向东南方向移动。

12月7日20时~12月8日08时(图略)偏东方向的正涡度区持续增强,所在区域的高度场有短波生成并加深发展,12月8日14时(图略),短波槽移至巴尔喀什湖附近,其伴随的正涡度区中心强度增强至 $17 \times 10^{-5}/s$ ,12月8日14时~12月9日08时(图略),短波槽向东南方向移动并进入北疆区域,其伴随的正涡度区也随之移至新疆北部及其国境线附近,受此影响北疆出现降雪天气。

通过对本次天气过程涡度场的分析可以得出,正涡度区的强度与影响系统(高空槽)的强度呈正相关,当高空槽增强时,正涡度区也随之增强。正涡度区与高空槽息息相关,当高空槽移动时,正涡度区也随之移动。通过对涡度场的分析,可以细化量化高空槽的作用,从而分析高空槽对天气影响作用。在本次天气过程中,正涡度区反应出,影响系统为乌拉尔槽分裂的短波槽,在北欧脊主导作用下,乌拉尔槽持续向东南移动,在中亚地区分为两段,一段北收东移未影响新疆区域,另一端向东南移动并增强,移至新疆境内后,造成了乌鲁木齐机场地区的降雪天气。

## 4.2. 垂直速度

垂直速度是直观的反应大气上升运动的物理量, 垂直速度一般分为 P 坐标系下的垂直速度(单位为 Pa/s)和 Z 坐标系下的垂直速度(单位为 m/s), 使用 Z 坐标系下的垂直速度对本次降雪天气进行分析, 其中垂直速度为正值代表上升运动, 垂直速度为负值代表下沉运动。12 月 9 日在乌鲁木齐机场上空, 垂直速度从 1000 hPa 至 300 hPa 均为正值(图 3), 均为上升运动, 这里也对应了前文对涡度场的分析, 即在本次降雪过程中, 从低空到中高空大气运动均为上升运动。低层的上升运动是造成本次降雪天气的条件之一, 而中高空的上升运动也可带动低层的上升运动的发展。

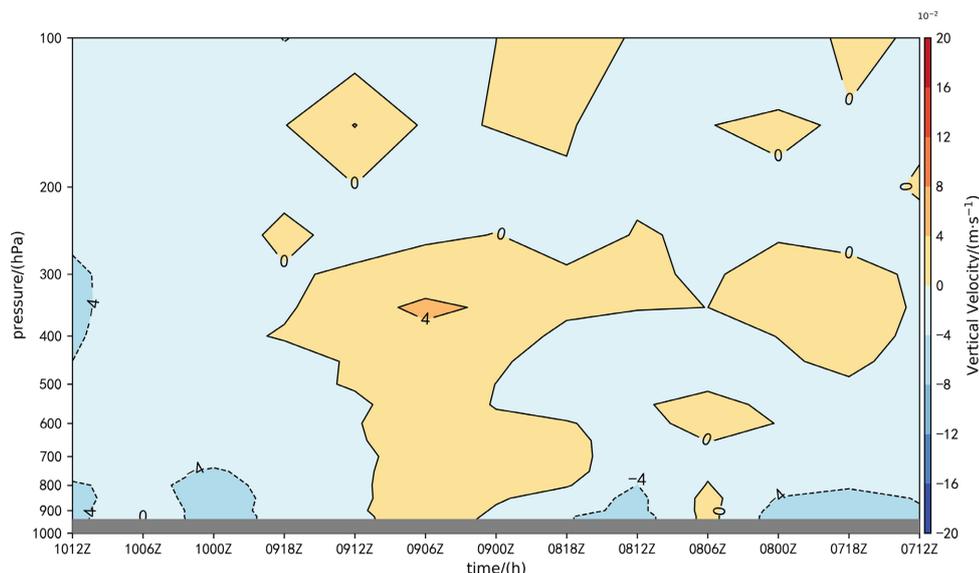


Figure 3. 2021.12.7 20:00~2021.12.10 20:00 vertical speed profile of Urumqi Airport  
图 3. 2021 年 12 月 7 日 20 时~2021 年 12 月 10 日 20 时乌鲁木齐机场垂直速度剖面

## 5. 结论

通过对 2021 年 12 月 9 日乌鲁木齐机场的降雪天气的 500 hPa、850 hPa、地面的环流形势分析和涡度、垂直速度等物理量的分析, 得出主要结论如下:

- 1) 这次降雪天气是北欧高压脊和极涡共同影响的结果, 北欧脊推动极涡的冷空气南下入侵, 并形成乌拉尔高空槽, 进而影响乌鲁木齐机场造成降雪天气。
- 2) 乌拉尔槽形成后向东南移动过程中, 在中亚地区分为两段, 一段北收东移未影响新疆区域, 另一端向东南移动并增强, 移至新疆境内后, 造成了乌鲁木齐机场地区的降雪天气。
- 3) 在这次降雪过程中, 乌鲁木齐机场上空从低层至中高层, 大气运动均为上升运动, 整层的上升运动有利于降雪的发生。

## 参考文献

- [1] 张萍萍, 吴翠红, 祁海霞, 王晓玲, 张宁. 2013 年湖北省两次降雪过程对比分析[J]. 气象, 2015(4): 418-426.
- [2] 陶健红, 张新荣, 张铁军, 等. WRF 模式对一次河西暴雪的数值模拟分析[J]. 高原气象, 2008, 27(1): 68-75.
- [3] You, Y., Ma, X.K., Li, S.T., et al. (2022) Analysis of the December 2021 Atmospheric Circulation and Weather. *Meteorological Monthly*, **48**, 386-392.
- [4] 张俊兰, 牟欢, 谢霞颖. 新疆寒潮天气分析及预报[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(6): 11-18.