

# 乌鲁木齐地区一次降雪天气特征及其形成机制研究

王风谦

中国民用航空新疆空中交通管理局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2025年9月16日; 录用日期: 2025年10月10日; 发布日期: 2025年10月21日

## 摘要

利用地面观测、AQI (空气污染数据)、卫星云图等资料, 综合分析了2018年12月1~2日发生于天山北坡中段的乌鲁木齐地区的一次降雪伴沙尘天气的天气特征及形成机制。结果表明, 西伯利亚大槽携带强冷空气南下配合副热带锋区在新疆地区汇合, 造成沿天山一带的强降雪, 强锋区伴随的密集的温度梯度形成较大的气压差, 造成克拉玛依地区大风, 而克拉玛依附近大风产生的沙尘粒子在高空风的输送下经过准噶尔盆地的古尔班通古特沙漠向东南方向移动, 造成沙漠南缘的莫索湾、蔡家湖、阜康和乌鲁木齐等地长时间沙尘天气。乌鲁木齐市的沙尘雪天气是先出现降雪后出现沙尘伴降雪, 沙尘伴随降雪而下落, 因此地面积雪呈现出“下白上黄”特征。

## 关键词

沙尘雪, AQI

# Study on the Characteristics and Formation Mechanism of a Snowfall Event in Urumqi Area

Fengqian Wang

Xinjiang Air Traffic Management Bureau CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: September 16, 2025; accepted: October 10, 2025; published: October 21, 2025

## Abstract

Using data from surface observations, satellite cloud images, and other sources, this study comprehensively analyzed the weather characteristics and formation mechanism of a snowfall accompa-

nied by sand and dust event that occurred in the Urumqi area, located in the middle section of the northern slope of the Tianshan Mountains, from December 1 to 2, 2018. The results show that the strong cold air carried by the Siberian trough moved southward and converged with the subtropical frontal zone in the Xinjiang region, causing heavy snowfall along the Tianshan Mountains. The dense temperature gradient associated with the strong frontal zone created a large pressure difference, leading to strong winds in the Karamay area. The sand and dust particles generated by the strong winds near Karamay were transported southeastward by upper-level winds through the Gurbantünggüt Desert in the Junggar Basin, resulting in a long-lasting sand and dust weather in areas such as Mosuowan, Caijiahu, Fukang, and Urumqi on the southern edge of the desert. The “snow with sand and dust” weather in Urumqi was characterized by snowfall first, followed by snowfall accompanied by sand and dust. As the sand and dust fell together with the snow, the accumulated snow on the ground showed the characteristic of “white at the bottom and yellow on the top”.

## Keywords

Sand-Dust Snow, AQI

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

沙尘天气是风将地面尘土、沙粒卷入空中，使空气混浊的一种天气现象的统称，包括浮尘、扬沙、沙尘暴、强沙尘暴和特强沙尘暴。沙尘中大量含有的  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  等颗粒中含有有毒物质、病菌可以通过人体呼吸系统进入人体，造成人体器官损害，引发疾病。强度较强的沙尘暴天气则使得能见度快速降低，严重影响交通安全。中国的沙漠主要集中在新疆维吾尔自治区、内蒙古自治区，准噶尔盆地的古尔班通古特沙漠作为中国北方七大沙漠之一[1]，其南缘的北疆沿天山一带地区冬春季由于地表裸露，地面浮土，在冬春、秋冬季节西北大风的影响下，容易造成各类沙尘、沙尘暴天气。一些气象学者对北疆沿天山一带沙尘暴过程的环流动力结构进行分析。陈洪武等[2]对新疆沙尘暴气候背景场进行分析指出新疆沙尘暴高发区位于北疆准噶尔盆地和塔里木盆地的两大沙漠，沙漠南缘、山脉北麓高于沙漠其他周边地区，沙尘暴主要出现在3~9月。赵俊荣等[3]对发生在准噶尔盆地南缘的石河子垦区一次强沙尘暴天气进行研究，发现，较强冷空气引发偏西大风造成此次天气过程。闵月等[4]通过诊断方法对一次沿天山一带的强沙尘暴过程进行研究，发现水平风速增大和局地上升运动的共同作用，加大了空气的绕道和流动，促进了沙尘暴的产生。沙尘暴发生在地面冷锋后部西北大风区内，准噶尔盆地南缘的特殊地形和流沙为沙尘暴形成提供了有利的地理环境。

乌鲁木齐市三面环山，地处天山北麓，东部位于天山山脉东段的博格达峰下，南部为天山山脉和达坂城谷底，西部有喀拉扎山、西山，地势东南高、西北低，北侧为准噶尔盆地南缘。由于受天山山脉天然地形屏障作用，冷空气常滞留在北疆的准噶尔盆地内，冬春季降雪天气多发，并时常有暴雪天气。气象学者对天山北坡的北疆沿天山一带地区的暴雪有一定研究[5]-[10]。万瑜等[7]研究乌鲁木齐地区寒潮型暴雪天气发现，天山准静止锋长时间停滞维持，致使中天山北坡的乌鲁木齐受强锋区的控制形成持续性雨雪天气。张云惠等[8]分析乌鲁木齐地区极端暴雪天气，认为低空西北急流在乌鲁木齐特殊地形的强迫抬升作用有利于天山北侧迎风坡维持强的垂直上升运动和中  $\beta$  尺度次级环流圈，对暴雪有明显增幅作用。许婷婷等[9]对乌鲁木齐极端暴雪的成因进行研究，发现，乌鲁木齐地形引起的强迫抬升为暴雪提供有利的

垂直环流。

沙尘雪天气要有足够的水汽、动力和沙源条件,而冬季北疆地区由于降雪的覆盖,极少出现沙尘天气,尤其降雪伴沙尘天气。2018年11月30日夜间~12月1日,乌鲁木齐市出现一次非常罕见的“黄雪”天气,降雪过程中天空中沙尘伴随而下,空气混浊,空气质量指数极大,这在西北地区极为罕见。此次“黄雪”天气对人们交通出现、环境空气质量造成较大影响,引起人们大量关注。本文通过使用常规高空、地面资料、新疆区域加密自动站、空气质量监测数据、卫星云图等资料,综合分析此次天气过程的环流背景、成因,并揭示沙尘雪过程的沙尘输送路径、来源及影响,期望提高降雪伴沙尘天气的预警、预报能力,为相关市政、民航决策部门提供更好的决策参考。

## 2. 数据介绍

本文使用的数据有常规高空地面观测资料、加密自动气象站、乌鲁木齐市区 51463 站风廓线、空气质量监测数据。51463 站风廓线雷达型号为 CFL-03 型固定式边界层风廓线,其观测时间分辨率为 6 min。空气质量监测数据为乌鲁木齐环保局公布的  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ ,时间分辨率为 1 小时。

## 3. 天气现象及特征

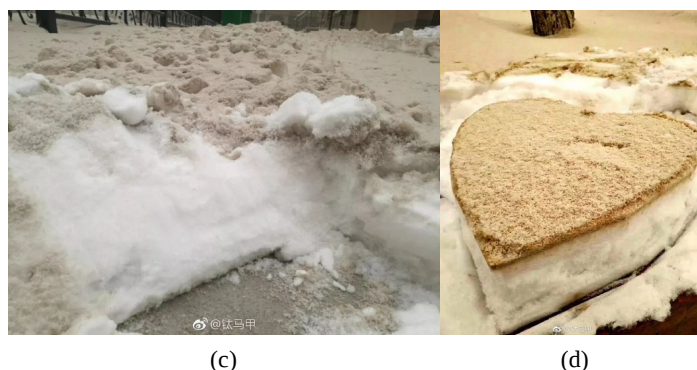
### 3.1. 天气实况

2018年11月30日~12月1日,新疆维吾尔自治区的北疆大部、天山山区、伊犁河谷地区先后出现了一次明显的大风、降水、沙尘天气。克拉玛依市区12月1日凌晨01:30出现大风,风力10~11级,极大风速达  $35.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,是1971年以来的冬季最强大风。克拉玛依所属区域地面自动气象站多站风力超过12级,且克拉玛依市区出现沙尘暴伴随短暂降雪。北疆沿天山一带的昌吉、乌鲁木齐、五家渠和阜康等市,均出现沙尘,降雪,AQI(空气质量指数)小时值爆表达到500。区域  $PM_{10}$  小时浓度最大达  $4886 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,出现在五家渠市。乌鲁木齐市  $PM_{10}$  小时浓度最大值为  $4878 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。乌鲁木齐站降水量16.2 mm,新增积雪深度12 cm(图1),极大风速  $19.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。乌鲁木齐市区自12月1日06时开始出现降雪,07时转大雪,能见度由2 km迅速下降至300 m。08时能见度进一步下降至100 m,玛纳斯-木垒一线(除昌吉大雾)均为中~大雪,乌鲁木齐地区能见度为100~300 m,全疆17个站出现沙尘暴,8个站出现强沙尘暴,4个站出现特强沙尘暴,最低能见度不足200 m。受降雪影响,乌鲁木齐市各单位出动上千台环保扫雪车进行除雪。12月1日,乌鲁木齐国际机场受沙尘雪影响,航班运行受到极大影响,取消307架次,延误34架次(其中27架次延误超2小时),备降6班。由于雪中夹杂大量的沙尘,并降落在机坪和飞机上,致使机坪清雪和飞机除雪难度加大,重复性加大,严重影响航班运行,机场跑道因道面重复性除雪多次关闭,机场运行部门启动大面积航班延误黄色预警应急响应,滞留旅客达4000余人。



(a)

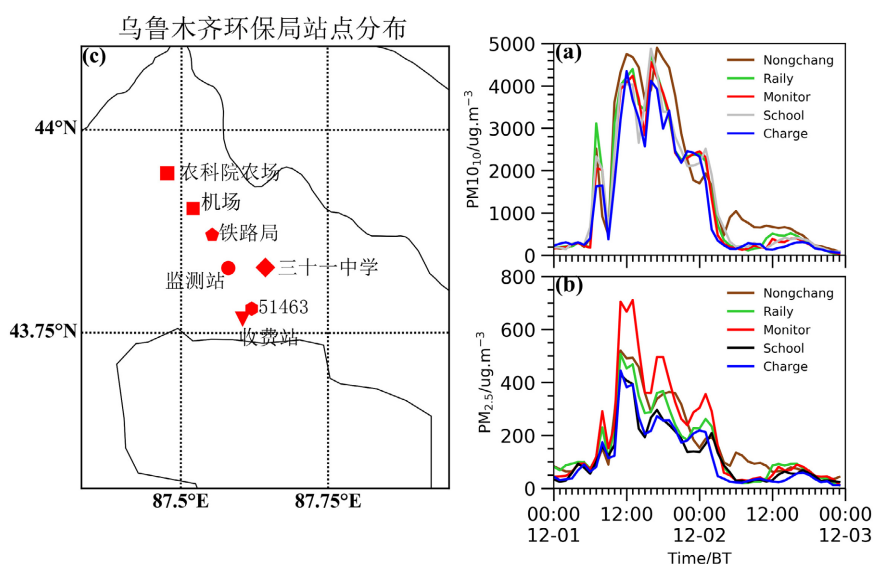
(b)



**Figure 1.** Dust and snow falling on airplane (a) and 24-hour depth of snow at 1th, Dec. 2014 (b) (c) (d)  
**图 1.** 沙尘和雪降落在飞机上(a), “2018.12.01”降雪 24 小时新增积雪深度(b) (c) (d)

### 3.2. 污染物分析

分析环境质量监测数据可以了解沙尘雪天气中的污染物成份和首要污染物。本文使用乌鲁木齐环保局环境监测站逐小时 AQI 浓度监测数据, 并由北向南选取农科院农场、铁路局、监测站、三十一中学、收费所五个站(见图 2(c))。分析五个环境质量监测站的  $PM_{10}$  (见图 2(a))发现, 12 月 1 日 06 时开始, 农科院农场、铁路局、监测站、三十一中学、收费所五站几乎同时上升, 07 时五个站达到小高峰, 铁路局站的  $PM_{10}$  浓度最强为  $3115 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 其余四站分别为  $2517 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $2051 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $2336 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $1929 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 这是国家环境空气二级标准  $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (GB3095-1996) 的 10 倍以上。08~09 时五站点  $PM_{10}$  有短暂明显的回落, 均降至  $600 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  以下。10:00~19:00 又急剧上升, 五个站点均在  $3000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 达到国家二级标准的 20 倍, 可见沙尘浓度很强。11:00~13:00, 16:00~17:00 为两个  $PM_{10}$  浓度高峰值, 五个站点浓度均达到  $3900 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。由于农科院农场位于乌鲁木齐市西北侧, 最先受到影响, 其次是铁路局, 最后为市区南侧的收费所站。12 月 2 日凌晨 04 时五个站点的  $PM_{10}$  降至  $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  以下, 而 05 时农科院农场站  $PM_{10}$  有所回升, 06 时上升至  $1044 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。2 日 19:00 各站下降至沙尘雪天气前的正常值, 可见降雪对沙尘的沉降作用不是很明显。

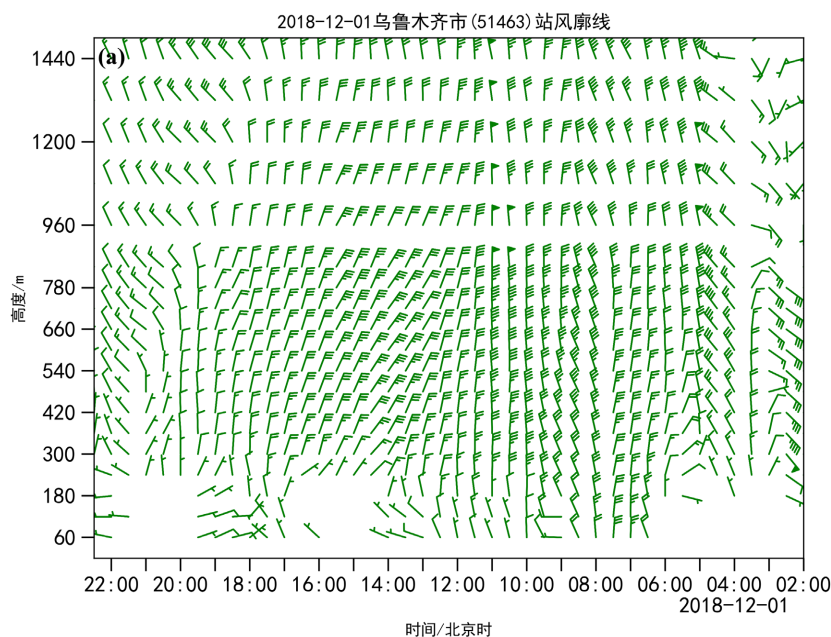


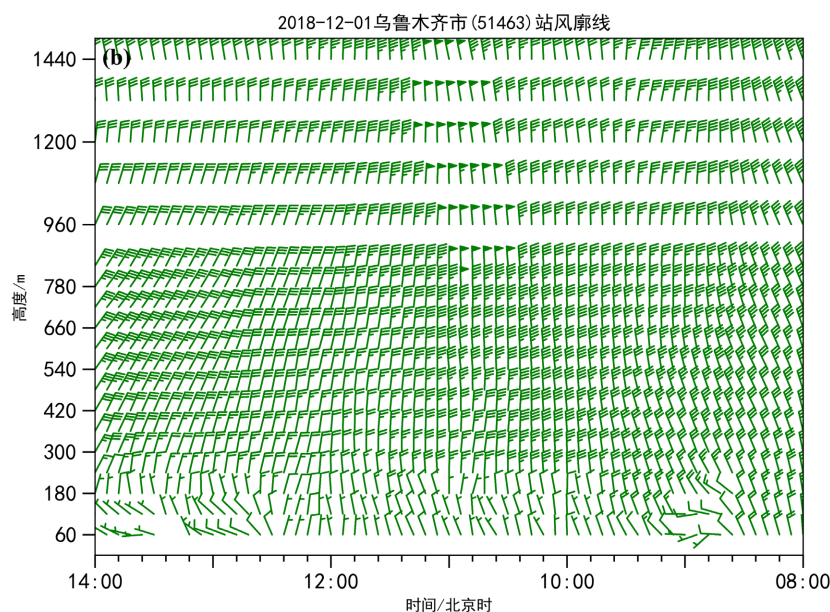
**Figure 2.** The evolution of  $PM_{10}$  (a) and  $PM_{2.5}$  (b) and distribution of stations over Urumqi (c)  
**图 2.** 沙尘雪天气过程期间  $PM_{10}$  (a)、 $PM_{2.5}$  (b)变化和乌鲁木齐站点分布(c)

分析五个站的  $PM_{2.5}$  (见图 2(b)) 发现, 12 月 1 日 06 时各站  $PM_{2.5}$  均在  $80 \mu g \cdot m^{-3}$  以下, 07 时开始均有所增加, 其中铁路局、监测站、三十一中学均达到  $100 \mu g \cdot m^{-3}$  以上, 08 时开始各站均明显增大, 11 时达到峰值, 其中监测站最高, 达到  $705 \mu g \cdot m^{-3}$ , 三十一中学最低, 为  $445 \mu g \cdot m^{-3}$ 。此后各站  $PM_{2.5}$  呈现阶梯式下降, 12 月 2 日 04 时各站下降至 100 以下, 但农科院农场站与  $PM_{2.5}$  缓慢上升, 这与  $PM_{10}$  对应。可见  $PM_{10}$  与  $PM_{2.5}$  变化趋势较为一致, 说明沙尘天气中同时夹杂有粗细颗粒物, 且  $PM_{10}$  是沙尘中的首要污染物。

### 3.3. 地面气象要素演变特征

11 月 30 日 20 时之前, 北疆大部、天山山区、南疆西部为多云阴天, 伊犁河谷大部、北疆沿天山一带为轻雾天气, 能见度 2~3 km, 乌鲁木齐市市区为 800 m 大雾, 西部国境线一带温度在  $0^{\circ}C$  以上。21~23 时, 塔城西部三站出现小雨。12 月 1 日 00 时开始, 塔城、伊犁河谷西部出现降雪和偏西风, 沿天山一带仍为轻雾天气。1 日 02 时, 天气系统影响到克拉玛依市, 市区先出现  $16 m \cdot s^{-1}$  西北风, 03 时克拉玛依机场出现平均风速  $24 m \cdot s^{-1}$ , 阵风  $29 m \cdot s^{-1}$  的西北风并伴有强沙尘暴, 并于 04 时出现短暂的降雪, 沙尘暴持续至 05 时后转为沙尘天气, 而西北风 17 时以后减少至  $10 m \cdot s^{-1}$  以下。05 时开始石河子以西的地区开始出现中到大雪, 06 时石河子以东至木垒的沿天山一带出现降雪, 乌鲁木齐 5163 站上空风廓线(见图 3(a)) 显示为 180 m 以上整层转为偏北风, 780 m 以下为  $2 \sim 8 m \cdot s^{-1}$ 。07~12 时乌鲁木齐附近降雪较强, 均为大雪天气, 09 时乌鲁木齐周边 5 站达到大雪, 风廓线(见图 3(b)) 中 180 m 以下为偏西及西南风, 180 m 以上为西北至偏北风, 说明低层有风向风速辐合, 有利于降雪的加强。10:36~11:24, 市区 51463 站上空 780~1440 m 偏北风进一步加强, 风速达到  $20 m \cdot s^{-1}$ , 说明有低空急流的存在, 急流不仅输送水汽, 还进一步将盆地中的沙尘粒子向乌鲁木齐地区输送。02~08 时气压场中沿天山一带的精河—乌鲁木齐出现明显加压, 乌鲁木齐市由 02 时的 1006 hPa 快速上升至 08 时的 1035 hPa, 6 小时上升近 30 hPa, 快速加压使得沿天山一带没有明显的气压梯度, 因此降雪期间, 沿天山一带风速不大, 且以偏西风为主, 风速  $2 \sim 6 m \cdot s^{-1}$ 。17 时以后北疆地区转为均压场, 系统也移出乌鲁木齐, 进入东疆地区, 北疆的降雪、大风天气结束, 沿天山一带维持 1 km 以上的浮尘天气。





**Figure 3.** The wind profile radar data of 51463 station, (a) is half hour interval and (b) is six minutes interval  
**图 3.** 2018 年 12 月 1 日乌鲁木齐市 51463 站风廓线雷达图。图(a)为半小时间隔；图(b)为 6 分钟间隔

## 4. 形成机制分析

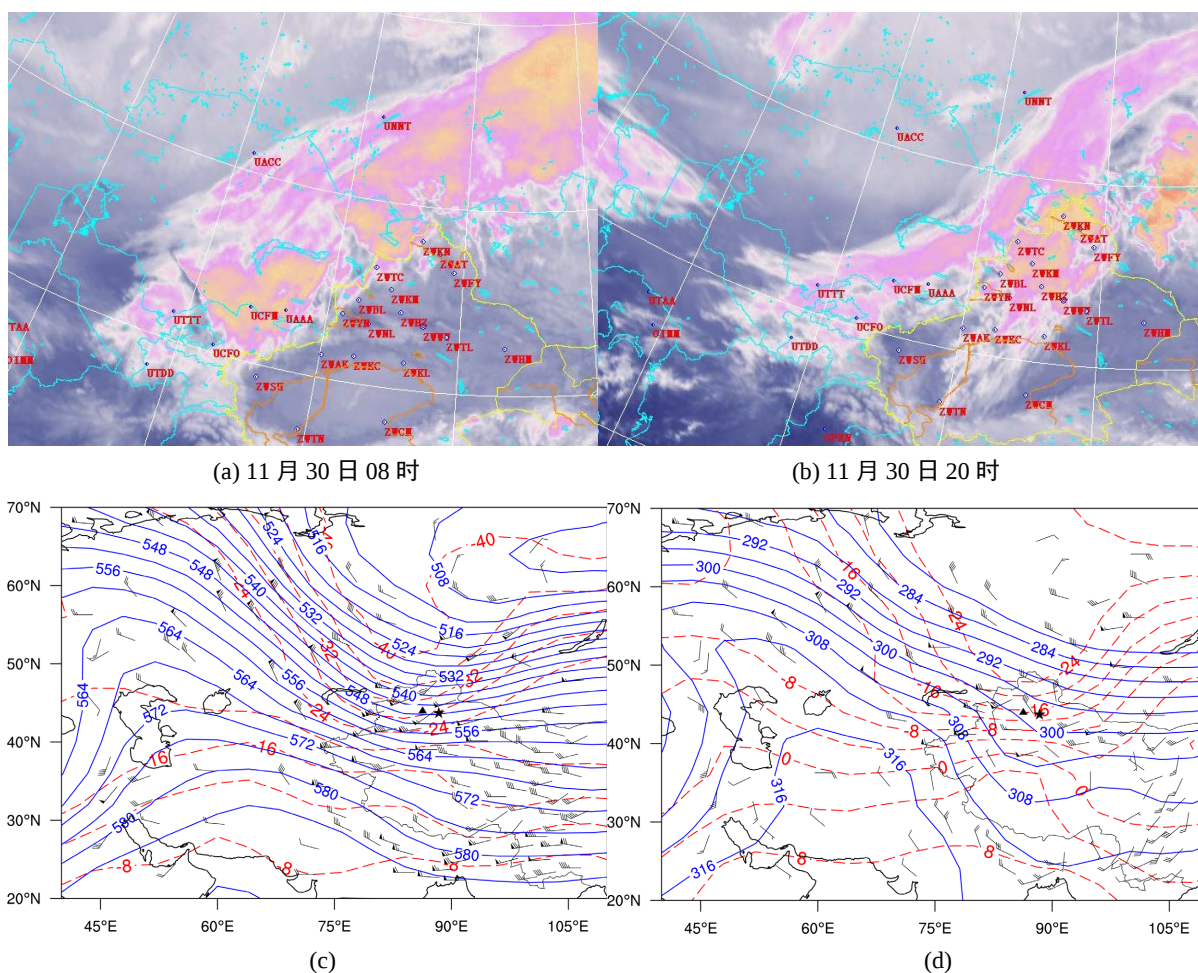
### 环流形势

强降水的发生离不开有利的环流背景场，下面分析此次天气形成的环流背景形势。200 hPa (图略)，11 月 29 日~30 日欧亚地区中高纬度为“两槽两脊”，欧洲平原和贝加尔湖地区为脊区控制，西西伯利亚—咸海为槽区控制，极涡位于西西伯利亚地区，欧洲脊前西北气流不断向南加强推动高空槽南下，北风带最大风速达  $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上；500 hPa 图中，29~30 日里海、欧洲地区不断长脊，脊线东移，脊前西北风加大，最大风速达  $38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，西西伯利亚有闭合低涡形成，低涡槽后北风带引导冷空气南下堆积，极锋锋区和副热带锋区在  $40^\circ\text{N}$  附近交汇，北疆地区处于槽前西南气流控制。两支锋区的交汇将中纬度的水汽输送至新疆区域。11 月 30 日 08 时，与高空槽向配合的带状云系主要呈东北—西南向，以槽前暖区云系为主，且云系前部较为分散，压在新疆西部国境线。30 日 20 时，随着高空槽与地面锋面的东移，云系气旋性弯曲较为明显，北疆上空仍为锋面前部暖区云系。冷锋云系逐渐进入新疆西部国境线。21 时开始，塔城、阿勒泰西部开始出现小到中雨转雪。12 月 1 日 08 时(见图 4(c))，槽进一步东移至西部国境线附近，此时温度场几乎与高度场叠合，系统发展至最强，对应时次的卫星云图(见图 4(a))可以清晰的看到高空槽云系左边界进入新疆地区，乌鲁木齐处于冷锋云系右边界，云系密实，地面降雪实况显示为大雪。1 日 20 时槽快速东移，位于新疆东部地区。

700 hPa 图(见图 4(d))中，11 月 30 日 20 时高空槽与 500 hPa 相配合，槽前一致西南风，且风速较大，最大值为  $34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，槽线附近锋区温度梯度较大，10 纬距达到 6 根等温线，12 月 1 日 08 时(见图 4(b))，700 hPa 槽线位于乌鲁木齐附近此时地面降水较强，沿天山一带为中到大雪，新疆地区处于锋区控制，锋区进一步加强，10 纬距包含 7 根等温线，如此强的锋区较为罕见，也是北疆西部大风的主要原因。850 hPa 形势场中(图略)，11 月 30 日新疆区域处于暖区控制， $0^\circ\text{C}$  温度线覆盖北疆大部，北疆地区有偏西风 and 偏东风切变线， $4^\circ\text{C}$  中心位于北疆西部、伊犁河谷及北疆沿天山一带，锋区位于巴尔喀什湖地。在高空引导气流的作用下，锋区东移并加强。12 月 1 日 08 时，北疆上空由东南风转为偏西北风、北风，风速明显

加强, 乌鲁木齐上空由东南风转为偏北风, 与天山地形几乎垂直, 有利于地形辐合抬升, 为大降水提供有力的动力条件。

地面图中(图略), 11月29日锋面位于乌拉尔山-咸海, 新疆位于宽广大高压控制, 高压包含两个中心, 北中心位于蒙古国西部, 南中心位于新疆、青海、西藏三省交界处。30日08时, 新疆的高压东移, 新疆位于蒙古国高压底部, 乌拉尔山-咸海一带的锋面进一步东移。30日20时, 锋面进入南北疆西部国境线附近, 风口开始转西北风。12月1日, 冷锋继续东移进入新疆, 锋后正变压最大达到14.6 hPa, 强烈的气压梯度造成北疆大部、东疆出现西北大风, 南疆西部出现较强的翻山大风。前期新疆无明显降水, 地面无积雪, 温度高, 大风引起北疆西部的克拉玛依市出现大范围大风、沙尘暴天气, 并随中低层持的西北大风吹至乌鲁木齐及以东地区, 乌鲁木齐市区出现降雪伴浮尘天气。



**Figure 4.** The satellite graphs at 08:00 BT (a) and 20:00 BT (b) on 30th, Nov., 2018 and 500 hPa (c) and 700 hPa (d) circulation pattern

**图 4.** 2018 年 11 月 30 日 08 时(a) 和 20 时(b) FY2G 卫星红外云图; 12 月 1 日 08 时 500 hPa (c)和 700 hPa (d)天气形势图

## 5. 结论

此次沙尘雪天气中的降雪是在西伯利亚大槽携带强冷空气南下配合副热带锋区北上在天山山区汇合的大背景下发生的。外来沙尘粒子与本地产生的沙尘粒子继续向东南输送, 并经过准噶尔盆地的古尔班

通古特沙漠上空达到沙漠南缘的莫索湾、蔡家湖到达乌鲁木齐。

强锋区伴随的非常密集的温度梯度形成较大的气压差,造成克拉玛依地区大风。克拉玛依附近大风产生的沙尘粒子在高空风的输送下向东南方向移动,并经过准噶尔盆地的古尔班通古特沙漠上空先后到达沙漠南缘的莫索湾、蔡家湖和乌鲁木齐,造成莫索湾、蔡家湖、阜康和乌鲁木齐等地长时间沙尘天气。强降雪时,水平能见度主要受降雪粒子、湿度和沙尘粒子共同的影响,而降雪减弱转停时,低能见度主要受沙尘粒子的影响,沙尘粒子中,大颗粒  $\text{PM}_{10}$  粒子占主导作用,沙尘伴雪期间,乌鲁木齐市上空的  $\text{PM}_{10}$  呈现多个“波峰”特征,说明沙尘是一股一股进入乌鲁木齐市,降雪停止后,由于没有有利的沉降因素,沙尘粒子只能自然沉降,因此能见度缓慢上升。

## 6. 讨论

此次沙尘伴雪天气过程中,乌鲁木齐地区先出现强降雪,后出现沙尘导致地面积雪出现“下白上黄”的特征,降雪较沙尘出现时间早近 5 小时,沙尘期间沙尘粒子吸湿性致使沙尘粒子重量增大,有利于沙尘粒子沉降,此次过程发生在北疆地区大面积完全入冬前,与以往有明显不同。但本次天气过程的研究也有局限性,无法精细化研究沙尘和雪同时存在时各自对能见度影响的具体占比,这将成为未来研究的方向。

## 参考文献

- [1] 元天刚,陈思宇,康丽泰,等. 1961-2010 年中国北方沙尘源区沙尘强度时空分布特征及变化趋势[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 927-935.
- [2] 陈洪武,王旭,马禹. 新疆沙尘暴气候背景场的分析[J]. 气象, 2003, 29(6): 37-40.
- [3] 赵俊荣,郭金强. 天山北坡中部一次罕见特大暴雪天气成因[J]. 干旱气象, 2010, 28(4): 438-441.
- [4] 闵月,李娜,汤浩. 2015 年春季北疆沿天山一带一次强沙尘暴过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(5): 30-37.
- [5] 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.
- [6] 万瑜,曹兴,窦新英,等. 中天山北坡一次区域暴雪气候背景分析[J]. 干旱区研究, 2014, 31(5): 1-5.
- [7] 万瑜,曹兴,窦新英,等. 中天山北坡春季寒潮型暴雪致灾成因分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(3): 478-486.
- [8] 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.
- [9] 许婷婷,张云惠,于碧馨,等. 2015 年 12 月乌鲁木齐极端暴雪成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(5): 23-29.
- [10] 赵俊荣,杨雪,蔺喜禄,等. 一次致灾大暴雪的多尺度系统配置及落区分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 201-210.