

2025年11月4~7日伊犁河谷寒潮降水天气过程分析

张馨钰¹, 张伊婕^{2*}

¹中国气象局气象干部培训学院新疆分院, 新疆 乌鲁木齐

²昌吉回族自治州气象局, 新疆 昌吉

收稿日期: 2026年6月18日; 录用日期: 2026年7月14日; 发布日期: 2026年7月27日

摘要

利用常规气象观测数据、NCEP再分析资料及伊宁站探空数据, 对2025年11月4~7日伊犁河谷寒潮降水及复合型灾害天气过程进行诊断分析。结果表明: 此次过程是欧亚中高纬两槽一脊环流形势调整背景下, 乌拉尔山阻塞高压崩溃、中亚横槽转竖引导强冷空气大举南下, 配合南支槽持续水汽输送共同造成的典型秋冬寒潮过程; 地面冷高压东移南下与强气压梯度是区域性大风和阶梯式降温的直接原因, 500 hPa强冷平流与850 hPa高能假相当位温耦合为雨雪转换提供了关键动力与热力条件, 河谷上空强水汽辐合则为持续性降雪提供了充足水汽支撑; 伊宁探空温、湿、风垂直结构清晰呈现暖湿积蓄-冷暖交汇-冷层控制-过程消散的演变特征, 与降水、大风、降温及风吹雪等灾害的发生发展高度对应。

关键词

寒潮降水, 伊犁河谷, 诊断分析

Analysis of Cold Wave Precipitation Weather Process in Yili River Valley on November 4~7, 2025

Xinyu Zhang¹, Yijie Zhang^{2*}

¹Branch of Xinjiang CMA Training Center, Urumqi Xinjiang

²Changji Hui Autonomous Prefecture Meteorological Bureau, Changji Xinjiang

Received: June 18, 2026; accepted: July 14, 2026; published: July 27, 2026

*通讯作者。

文章引用: 张馨钰, 张伊婕. 2025年11月4~7日伊犁河谷寒潮降水天气过程分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(4): 804-812. DOI: 10.12677/ccrl.2026.154085

Abstract

Based on the conventional meteorological observation data, NCEP reanalysis data and Yining station sounding data, the cold wave precipitation and compound disaster weather process in the Ili River Valley on November 4~7, 2025 were diagnosed and analyzed. The results show that this process is a typical autumn and winter cold wave process caused by the collapse of the Ural blocking high and the vertical rotation of the central Asian transverse trough, which leads to the strong cold air moving southward and the continuous water vapor transport of the southern branch trough under the background of the adjustment of the circulation situation of the two troughs and one ridge in the middle and high latitudes of Eurasia. The surface cold high moving eastward and southward and strong pressure gradient are the direct causes of regional gale and stepwise cooling. The coupling of 500 hPa strong cold advection and 850 hPa high-energy pseudo-equivalent potential temperature provides the key dynamic and thermal conditions for the conversion of rain and snow. The strong water vapor convergence over the valley provides sufficient water vapor support for continuous snowfall. The vertical structure of sounding temperature, humidity and wind in Yining clearly shows the evolution characteristics of warm and humid accumulation-cold and warm intersection-cold layer control-process dissipation, which is highly corresponding to the occurrence and development of disasters such as precipitation, gale, cooling and snowdrift.

Keywords

Cold Wave Precipitation, Ili River Valley, Diagnostic Analysis

Copyright © 2026 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

寒潮作为欧亚大陆腹地典型的灾害性天气系统, 具有影响范围广、降温幅度大、致灾性强等特征, 其引发的降雪、大风、强降温及次生灾害, 对农牧业生产、交通运输及生态环境构成严重威胁[1]-[3]。新疆地处亚洲腹地, 地形复杂多样, 受西风环流与极地冷空气共同影响, 成为我国寒潮频发区域之一, 其中北疆地区因特殊的“喇叭口”地形, 寒潮过程往往伴随持续性降雪, 灾害影响更为显著[4]-[6]。伊犁河谷位于新疆西北部, 三面环山、河谷开阔, 既为冷空气堆积与爆发提供了有利地形条件, 又利于暖湿气流输送与辐合, 使得该区域秋冬转换期寒潮常表现为“雨雪 - 大风 - 强降温”复合型灾害特征[7][8], 对区域经济社会发展和防灾减灾工作提出严峻挑战。

国内外学者针对新疆寒潮天气已开展大量研究。在气候特征方面, 江远安等[9]基于 1961~2016 年新疆 89 个气象站观测数据研究发现, 新疆不同等级冷空气过程呈现北疆多、南疆少的空间分布特征, 寒潮年平均频次在伊犁河谷为 4~12 次, 且近 56 年来全疆寒潮频次呈显著减少趋势, 但局部地区仍存在异常增强现象; 张太西等[10]对北疆冷空气过程的分析表明, 秋冬转换期(10~11 月)是寒潮与强降雪的高发时段, 其环流背景多与乌拉尔山阻塞高压崩溃、横槽转竖密切相关。在天气成因方面, 马丽云等[11]通过分析 2010 年疆北持续性降雪过程指出, 蒙古高压的强而连续爆发与极涡中期活动的协同作用, 是极端降雪形成的关键; 肉孜·阿基等[12]对北疆强寒潮的诊断分析表明, 500 hPa 冷槽、地面冷高压与南支槽的水汽输送共同构成了寒潮雨雪的核心动力 - 水汽配置; 张俊兰等[13]则强调, 北疆寒潮的预报需重点关注乌拉尔山阻高演变、

冷平流强度及地形增幅效应的综合影响。在物理机制研究中, 温度平流与假相当位温的耦合作用、水汽通量辐合的时空演变, 被证实是寒潮雨雪转化与强度维持的关键因子[14] [15]。索渺清, 丁一汇[16]对比低纬高原寒潮过程发现, “冷垫”的形成与暖湿气流的抬升是雨转雪的重要标志, 而水汽通量的增大是强降雪的必要条件; 闫瑞琪, 刘诗韵[17]对“超级寒潮”的分析则指出, 强盛的冷平流与高空动量下传是导致剧烈降温和大风的主要原因。此外, 探空资料的分析表明, 寒潮过程中温、湿、风垂直结构的“暖湿积蓄-冷暖对峙-冷层控制”演变, 与天气实况具有高度同步性, 可为精细化预报提供重要依据[18] [19]。

尽管现有研究已明确新疆寒潮的气候特征与环流背景, 但针对伊犁河谷秋冬转换期复合型寒潮的多尺度系统协同作用研究仍有待深化, 2025年11月4~7日, 伊犁河谷遭遇一次典型的秋冬转换期寒潮过程, 表现为平原雨转雨夹雪、山区持续性降雪、区域性大风及阶梯式强降温, 伴随道路结冰、风吹雪等次生灾害, 对区域交通、农牧业及居民生活造成显著影响。本文基于常规气象观测资料、NCEP再分析资料及伊宁站探空数据, 系统分析该次寒潮过程的天气实况、环流背景、物理量场演变及局地层结特征, 重点揭示高空阻塞高压、横槽转竖、地面冷高压与南支槽的协同作用机制, 探讨温度平流、水汽辐合、假相当位温等关键物理量的演变规律, 以期为伊犁河谷秋冬季节寒潮复合型灾害的预报预警提供科学依据与技术支撑。

2. 实况天气分析

2025年11月4日夜間至7日白天, 受强冷空气东移南下影响, 伊犁河谷出现大范围复合型灾害性天气, 主要表现为平原地区雨转雨夹雪、山区降雪、区域性大风、阶梯式强降温, 并伴随道路结冰、积雪、风吹雪等高影响次生灾害, 为秋冬转换期典型的灾害性天气过程。4日傍晚起河谷平原由降雨转为雨夹雪, 高海拔区域同步转为降雪, 5~6日全域以降雪为主, 累计降水量平原5.2~22.7 mm, 山区26.3~48.5 mm, 积雪深度平原2~7 cm、山区16~33 cm。过程期间河谷大部出现6~7级阵风, 果子沟等风口及山区局地阵风8~9级, 全区过程降温9℃~11℃, 山区局地降温达13℃, 达到寒潮蓝色预警标准。

3. 环流背景

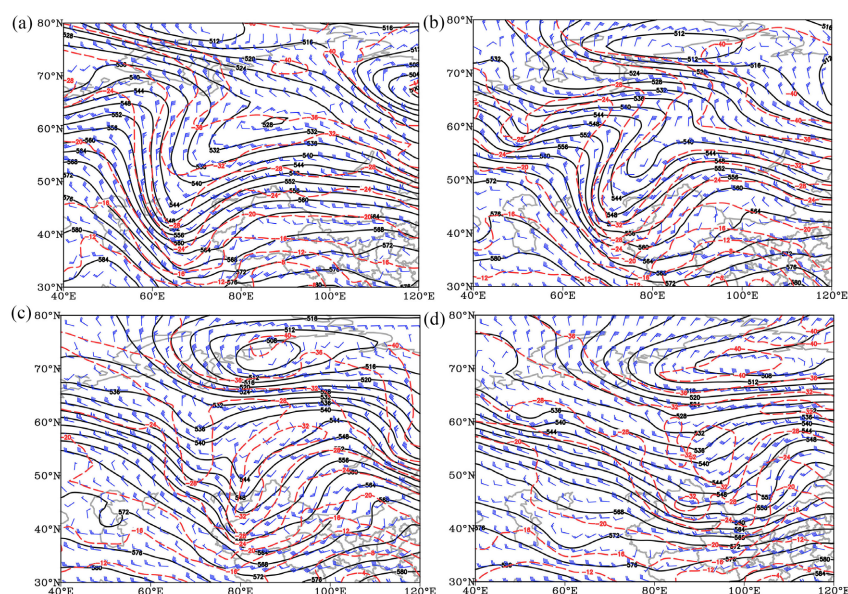


Figure 1. 500 hPa circulation situation. (a) at 08:00 on 4 November; (b) at 08:00 on 5 November; (c) at 08:00 on 6 November; (d) at 08:00 on 7 November

图 1. 500 hPa 环流形势。(a) 11月4日 08:00; (b) 11月5日 08:00; (c) 11月6日 08:00; (d) 11月7日 08:00

11月4日08:00 (图1(a)), 欧亚中高纬呈现典型“两槽一脊”环流形势, 乌拉尔山为深厚阻塞高压, 西西伯利亚至中亚维持东西向横槽, -40°C 冷中心与槽区配合使得冷空气在槽后持续堆积, 槽后显著冷平流及槽前正涡度平流为伊犁河谷提供动力条件, 同时南支槽前西南气流与中纬度暖湿气流叠加, 为后续雨雪天气储备充足水汽。5日08:00 (图1(b)), 乌拉尔山阻塞高压东移崩溃, 横槽快速转竖南下, 冷槽斜压性增强, 强冷平流与动量下传共同作用, 导致伊犁河谷出现雨转雪、阶梯式降温及区域性大风, 冷垫抬升暖湿气流的结构进一步维持了持续性降雪。6日08:00 (图1(c)), 冷槽主体东移, 伊犁河谷受槽后强西北气流控制, 密集等温线带来强温度梯度与持续冷平流, 降温幅度达过程峰值, 叠加地形抬升作用, 山区降雪与积雪深度显著增加, 风口区域因动量持续下传出现强阵风并引发风吹雪灾害。7日08:00 (图1(d)), 冷槽完全东移出境, 中高纬环流由经向型转为纬向型, 水汽输送中断, 冷平流与高空风速显著减弱。

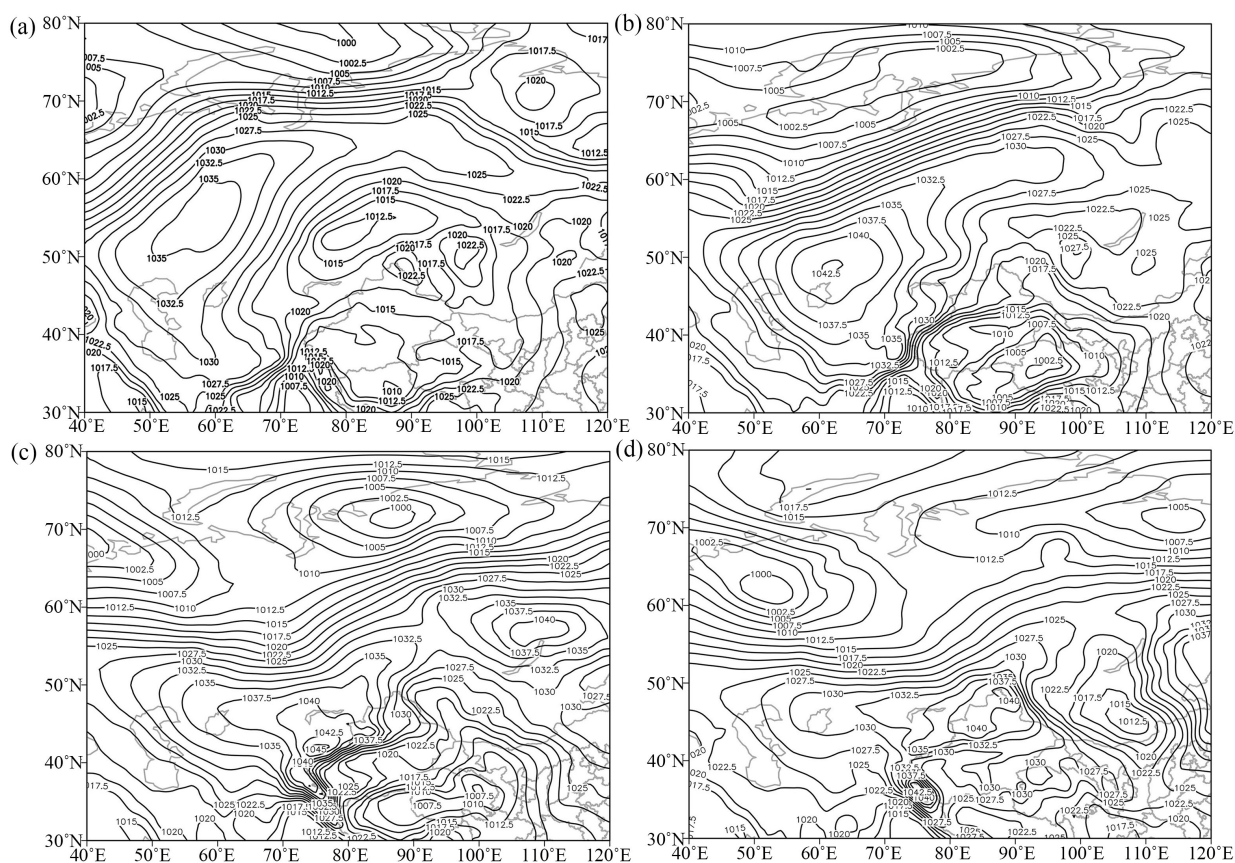


Figure 2. Sea level pressure field. (a) at 08:00 on 4 November; (b) at 08:00 on 5 November; (c) at 08:00 on 6 November; (d) at 08:00 on 7 November

图2. 海平面气压场。(a) 11月4日08:00; (b) 11月5日08:00; (c) 11月6日08:00; (d) 11月7日08:00

11月4日08:00 (图2(a)), 欧亚中高纬海平面气压场呈西高东低配置, 乌拉尔山至中亚地区为1035 hPa以上的冷高压主体, 高压中心位于 60°E 以西、 50°N 以北, 高压前沿等压线密集区位于 70°E 附近, 伊犁河谷($80^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{E}$, 43°N)受高压前偏东气流控制, 气压梯度较弱, 为冷空气南下积蓄能量; 同时中低纬存在低压系统, 为降水提供低层辐合条件。5日08:00 (图2(b)), 冷高压主体东移至 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{E}$ 之间, 中心强度增强至1042.5 hPa, 高压前沿等压线显著加密, 气压梯度达10 hPa/5个经距, 伊犁河谷处于冷高压前强气压梯度区, 偏北风显著增强, 冷空气大举南下, 触发河谷区域性大风、雨转雪及阶梯式降温, 冷

高压与地形狭管效应叠加, 放大了风口区域的阵风强度。6 日 08:00 (图 2(c)), 冷高压主体东移至 80°E 附近, 中心强度维持 1045 hPa, 伊犁河谷受冷高压主体控制, 气压梯度持续偏大, 冷高压下沉气流与地形抬升共同维持山区降雪, 全区气温降至过程最低, 寒潮天气达到鼎盛, 冷高压稳定维持使冷空气在河谷滞留, 延长了降雪与大风的影响时间。7 日 08:00 (图 2(d)), 冷高压主体东移至 90°E 以东, 中心强度减弱, 伊犁河谷受高压后部控制, 气压梯度显著减小, 偏北风转为偏西风, 风速大幅下降, 冷空气影响结束。

4. 诊断量

4.1. 24 小时变压及变温

11 月 5 日 08:00 (图 3(a)), 伊犁河谷(80°~85°E, 43°N)处于显著正变压、负变温中心前沿, 24 小时正变压达 10~15 hPa, 负变温中心强度-6℃, 强变压梯度与冷平流同步南下, 标志着寒潮冷空气大举入侵, 直接触发河谷雨转雪、区域性大风与阶梯式降温, 正变压的快速增强对应地面冷高压东移, 是大风天气的直接驱动因子; 11 月 6 日 08:00 (图 3(b)), 正变压、负变温中心东移至伊犁河谷上空, 24 小时正变压维持 10~15 hPa, 负变温中心强度达-8℃, 变温梯度显著增大, 全区降温达到过程峰值, 山区局地降温超 13℃, 正变压持续维持使冷高压稳定控制河谷, 配合地形抬升作用, 山区降雪与积雪深度达到极值, 风口区域强阵风引发风吹雪灾害; 11 月 7 日 08:00 (图 3(c)), 正变压、负变温中心东移出境, 伊犁河谷变压、变温梯度显著减弱, 24 小时正变压降至 5 hPa 以下, 负变温基本消失, 标志着冷空气影响结束, 气温逐步回升, 雨雪、大风天气趋于结束。

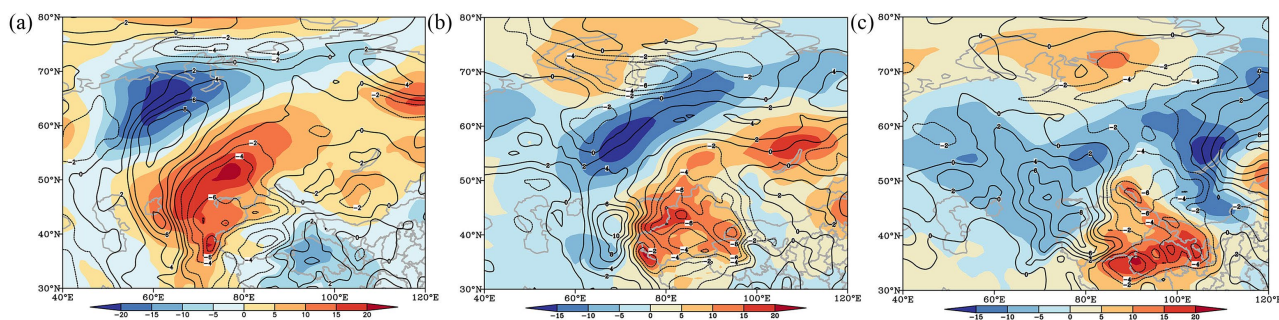


Figure 3. 24-hour pressure change (isoline) and temperature change (color). (a) 5 November at 08:00; (b) 6 November at 08:00; (c) 7 November at 08:00

图 3. 24 小时变压(等值线)及变温(填色)。(a) 11 月 5 日 08:00; (b) 11 月 6 日 08:00; (c) 11 月 7 日 08:00

4.2. 水汽通量散及水汽通量散度

11 月 4 日 08:00, 伊犁河谷(80°~85°E, 43°N)受偏西水汽通量控制, 河谷上游(70°E 附近)存在弱水汽辐合区, 水汽通量矢量呈东西向, 为降水前期水汽输送与积累阶段, 为后续雨雪天气储备水汽基础(图 4(a))。11 月 5 日 08:00, 水汽通量显著增强, 西南向水汽通量矢量深入伊犁河谷, 河谷上空形成强水汽辐合中心, 强水汽辐合与南下冷空气交汇, 形成冷垫抬升暖湿气流的结构, 是平原雨转雪、山区强降雪的核心水汽动力条件, 水汽通量的增强对应南支槽水汽输送的加强(图 4(b)), 11 月 6 日 08:00, 强水汽辐合中心东移至伊犁河谷东部, 西南方向水汽通量持续输送, 配合冷槽槽后西北气流与地形抬升作用, 维持山区持续性降雪, 累计降水量与积雪深度达到过程峰值(图 4(c)), 11 月 7 日 08:00, 水汽通量显著减弱, 伊犁河谷转为偏西气流控制, 水汽辐合基本消失, 转为弱辐散, 水汽输送中断, 降雪天气停止(图 4(d))。

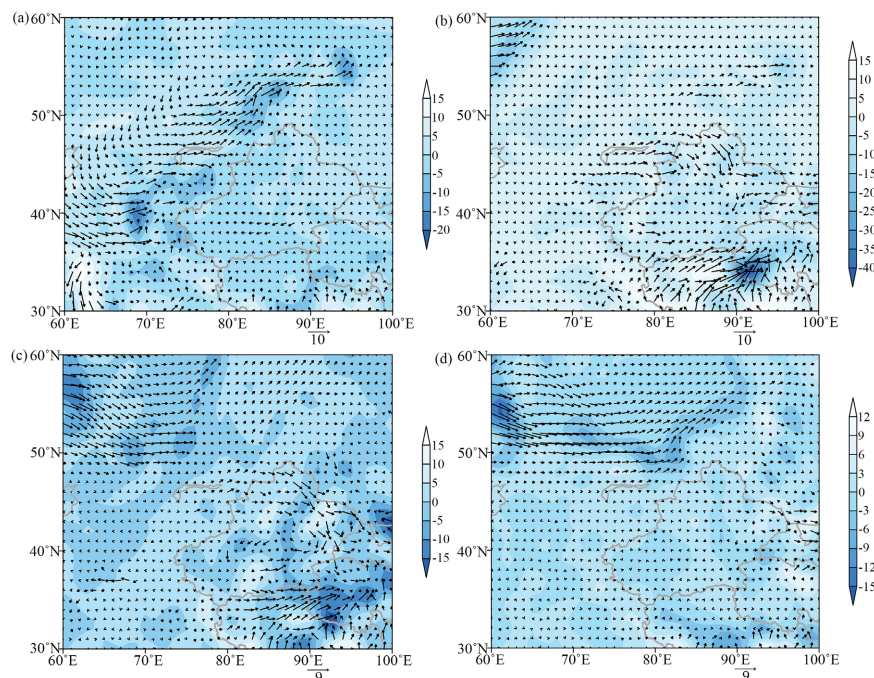


Figure 4. Water vapor flux divergence (fill color), water vapor flux (arrow). (a) at 08:00 on 4 November; (b) at 08:00 on 5 November; (c) at 08:00 on 6 November; (d) at 08:00 on 7 November
图 4. 水汽通量散度(填色)、水汽通量(箭头)。(a) 11 月 4 日 08:00; (b) 11 月 5 日 08:00; (c) 11 月 6 日 08:00; (d) 11 月 7 日 08:00

4.3. 500 hPa 温度平流及 850 hPa 假相当位温

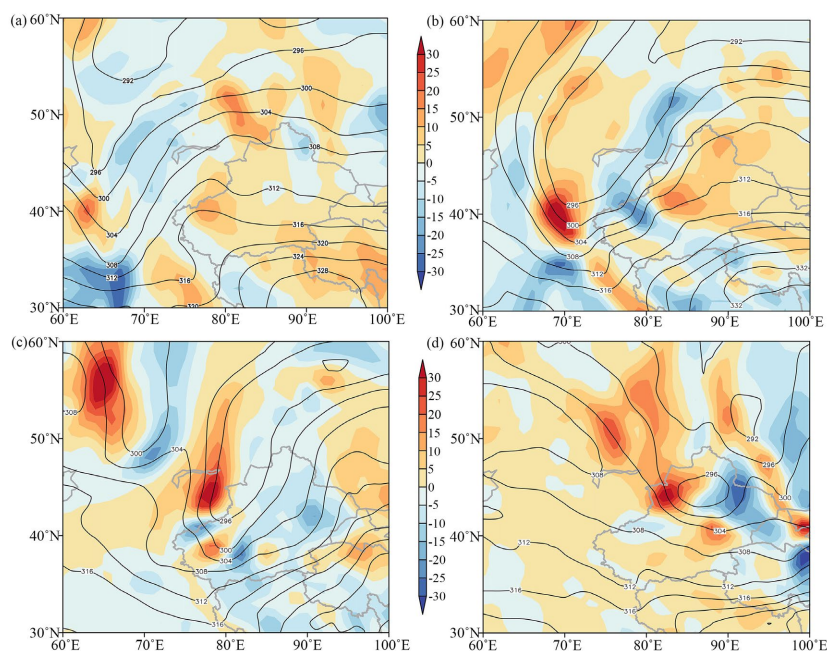


Figure 5. 500 hPa temperature advection (fill color), 850 hPa pseudo-equivalent potential temperature (isoline). (a) at 08:00 on 4 November; (b) at 08:00 on 5 November; (c) at 08:00 on 6 November; (d) at 08:00 on 7 November
图 5. 500 hPa 温度平流(填色)、850 hPa 假相当位温(等值线)。(a) 11 月 4 日 08:00; (b) 11 月 5 日 08:00; (c) 11 月 6 日 08:00; (d) 11 月 7 日 08:00

4日08:00伊犁河谷上空500 hPa为弱冷平流,为冷空气南下做前期铺垫,850 hPa θ_{se} 等值线呈纬向分布,中心值约308~312 K,河谷处于 θ_{se} 高能轴西侧,低层热力不稳定较弱,为后续降水与强对流提供能量前提图(图 5(a))。5日08:00 500 hPa 强冷平流中心快速东移至伊犁河谷上空,强冷平流与高空槽配置形成显著上升运动,为雨雪转化提供动力抬升,同事850 hPa θ_{se} 高能轴(312~316 K)西伸至伊犁河谷, θ_{se} 等值线密集,表征低层暖湿舌显著增强,直接触发平原雨转雨夹雪、山区强降雪及区域性大风(图 5(b)),6日08:00 500 hPa 强冷平流中心维持在伊犁河谷及以东区域,850 hPa θ_{se} 中心值维持312~316 K,热力不稳定与水汽供应持续,支撑山区持续性降雪,同时 θ_{se} 等值线梯度增大(图 5(c)),7日08:00 500 hPa 冷平流中心东移出境,伊犁河谷上空转为弱暖平流,垂直上升运动显著减弱,降温过程结束(图 5(d))。

4.4. 单站分析

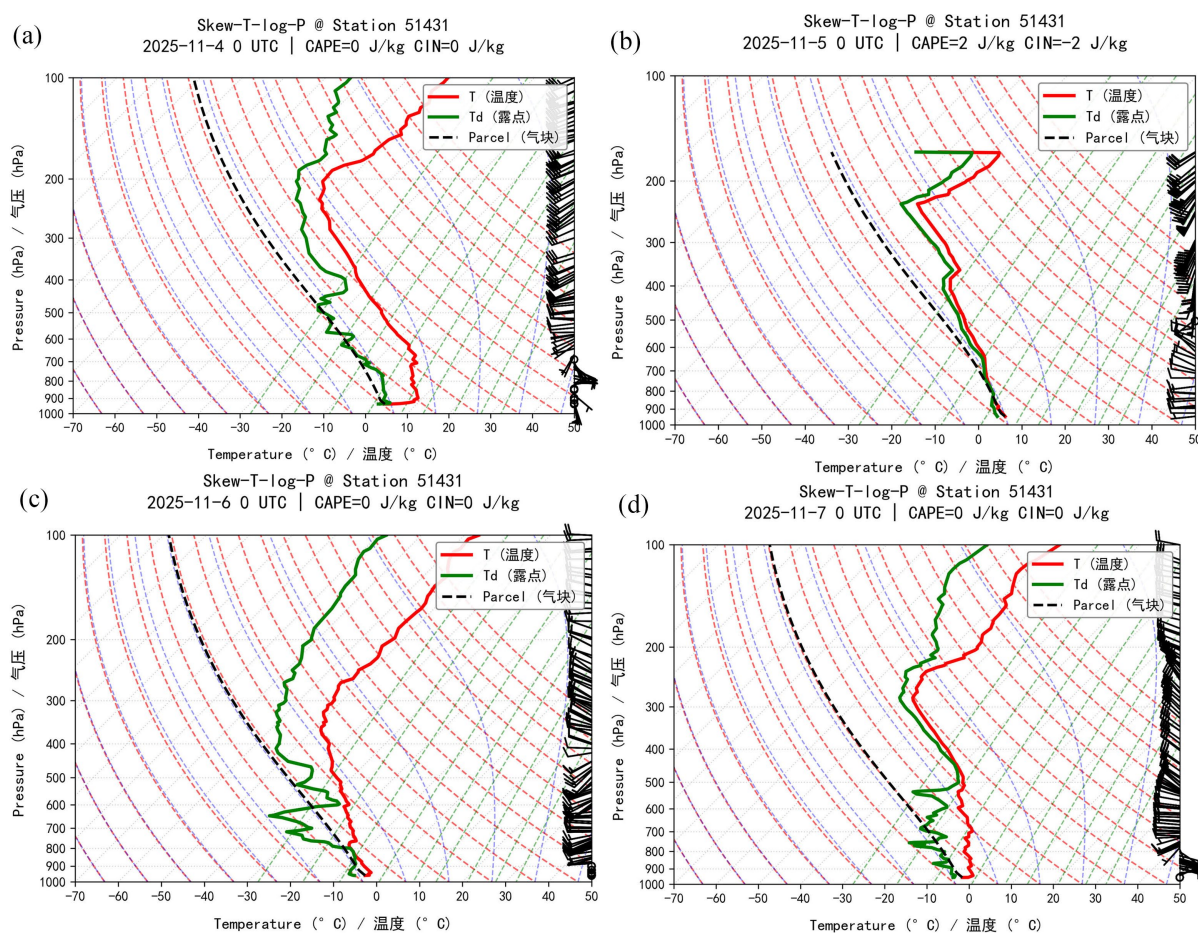


Figure 6. Yining sounding. (a) at 08:00 on 4 November; (b) at 08:00 on 5 November; (c) at 08:00 on 6 November; (d) at 08:00 on 7 November

图 6. 伊宁探空图。(a) 11月4日08:00; (b) 11月5日08:00; (c) 11月6日08:00; (d) 11月7日08:00

本次伊犁河谷寒潮雨雪过程种,探空曲线显示,近地面层(1000 hPa)气温约8°C、露点约6°C,温度露点差仅2°C,低层水汽接近饱和,为降水发生提供了充足的水汽条件。中低层(700~850 hPa)温度与露点差维持在3°C~5°C,湿度条件较好;中高层(500 hPa 以上)温度递减率接近干绝热。风场低层为偏东风,中高层(500 hPa 以上)转为西南风,风速随高度增大,呈现低层偏东暖湿气流、中高层西南气流的配置,有利于南支槽水汽向河谷输送(图 6(a)); 5日08:00 近地面层气温降至2°C、露点2°C,温度露点差为0,

低层完全饱和, 为降雪提供了关键的水汽与冷垫条件。中低层(700~500 hPa)温度快速下降, 冷平流显著增强, 中低层湿度维持饱和, 中高层由西南风转为强西北风, 风速增至 20 m/s 以上, 形成低层偏北冷平流、中高层西北急流的垂直结构, 动量下传效应显著增强, 直接触发河谷区域性大风与阶梯式降温, 同时冷垫抬升暖湿气流, 推动平原雨转雨夹雪、山区降雪爆发(图 6(b)); 6 日 08:00, 全层受冷空气控制, 近地面层气温降至 -4°C 、露点 -4°C , 低层持续饱和, 风场维持全层强西北风, 中高层风速维持在 20~24 m/s, 垂直风切变较弱但整体风速偏大(图 6(c)); 7 日 08:00, 近地面层气温回升至 2°C 、露点 2°C , 但中低层温度露点差显著增大, 湿度条件明显减弱, 低层转为偏西风, 垂直混合与动量下传效应消失, 冷平流影响基本结束(图 6(d))。

5. 结论

(1) 环流演变上, 本次过程的核心驱动系统为欧亚中高纬“两槽一脊”环流的调整, 乌拉尔山阻塞高压的维持与崩溃促使横槽转竖, 冷槽东移南下与南支槽水汽输送叠加, 构成了寒潮雨雪天气的关键环流配置, 完整呈现了秋冬转换期新疆北部寒潮的典型环流特征。

(2) 动力与热力条件上, 500 hPa 强冷平流提供降温与抬升动力, 850 hPa 高能假相当位温支撑热力与水汽供应, 地面冷高压与强气压梯度驱动大风爆发, 三者的时空协同是本次雨雪、大风、强降温复合型灾害的核心形成机制。

(3) 水汽条件上, 西南向水汽通量矢量的持续输送与伊犁河谷强水汽辐合中心的建立、维持与消散, 直接决定了降水的强度与持续时间, 其中 5 日 08 时强水汽辐合中心的形成, 是平原雨转雪、山区强降雪爆发的关键水汽信号。

(4) 局地层结上, 伊宁 4 日暖湿积蓄、5 日冷暖对峙、6 日冷层控制、7 日过程消散, 稳定度指数与风场动量下传特征, 为寒潮各阶段的精细化预报提供了直接的局地观测依据, 伊犁河谷喇叭口地形进一步放大了降雪强度与大风量级。

6. 讨论

(1) 本次伊犁河谷 2025 年 11 月 4~7 日寒潮降水过程, 在环流背景、关键影响系统和物理机制上, 与现有新疆及北疆寒潮相关研究结论具有较好的一致性, 同时也体现出明显的地域与季节特殊性。本次过程的独特性主要体现在三个方面。一是季节与相态特殊, 过程发生在秋冬转换初期, 前期气温偏高、低层暖湿条件充足, 导致平原地区出现明显雨转雨夹雪再转雪的相态变化, 与冬季纯降雪过程相比更为复杂。二是降温形态特殊, 本次过程以阶梯式、持续性降温为主, 并非一次性剧烈降温, 更符合秋冬交替季节寒潮的演变特征。三是地形放大效应突出, 伊犁河谷喇叭口地形对降雪的增幅作用、对风口阵风的增强作用更为显著, 风吹雪、道路结冰等次生灾害更突出, 与北疆其他地区寒潮存在明显差异。

(2) 在环流配置上, 本次过程以乌拉尔山阻塞高压建立与崩溃、中亚横槽转竖、高空冷槽东移南下为主要特征, 与北疆典型寒潮的环流演变规律一致, 均体现了中高纬大尺度环流调整对冷空气堆积与爆发的控制作用。同时, 南支槽提供稳定水汽输送、地面冷高压东移南下驱动大风与降温, 也与多数新疆强降雪寒潮过程的配置相符, 进一步证实了强冷空气与充足水汽耦合是新疆北部寒潮暴雪形成的共同条件。

(3) 在物理机制上, 本次过程的降温主要由高层强冷平流与强温度梯度造成, 降雪强度由水汽输送与水汽辐合持续时间决定, 区域性大风与局地强阵风则由高空动量下传和地形效应共同作用, 这些结论与已有寒潮诊断研究的核心观点基本吻合。假相当位温高能舌输送、低层冷垫形成、冷暖空气交汇抬升等热力动力结构, 也与国内针对西部山区雨雪寒潮过程的认识保持一致。

基金项目

中国气象局气象干部培训学院新疆分院教材建设项目(项目编号 2025JC01)。

参考文献

- [1] 史玉光. 中国气象灾害大典: 新疆卷[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 36-67.
- [2] 任宜勇. 新疆决策气象服务指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2006: 14-34.
- [3] 陈颖. 气候变化背景下新疆北部 2009/2010 年冬季雪灾[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(2): 104-109.
- [4] 杨莲梅, 刘雯. 新疆北部持续性暴雪过程成因分析[J]. 高原气象, 2016, 35(2): 507-519.
- [5] 龚道溢. 西伯利亚高压对亚洲大陆的气候影响分析[J]. 高原气象, 2002(1): 8-14.
- [6] 赵俊荣. 2008 年 4 月天山北坡一次强寒潮天气成因分析[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 54-58.
- [7] 李如琦, 唐治, 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.
- [8] 张书萍. 2009 年冬季新疆北部持续性暴雪的环流特征及其成因分析[J]. 大气科学, 2011, 35(5): 833-846.
- [9] 江远安, 尹宜舟, 樊静, 等. 1961-2016 年新疆单站不同等级冷空气过程气候特征及变化[J]. 冰川冻土, 2018, 40(3): 448-460.
- [10] 张太西, 江远安, 樊静, 等. 1961-2016 年北疆冷空气过程变化特征及其环流指数分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(5): 107-114.
- [11] 马丽云, 饶建, 孙晓娟, 等. 蒙古高压和极涡中期过程对 2010 年疆北持续性降雪的影响[J]. 高原气象, 2021, 40(2): 302-313.
- [12] 肉孜·阿基, 李如琦, 唐治. 2011 年初北疆强寒潮过程诊断分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(3): 7-12.
- [13] 张俊兰, 牟欢, 谢霞颖. 北疆寒潮天气分析及预报[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(6): 11-18.
- [14] 刘佳, 段兴奎, 叶文群. 低纬高原地区 2 次强寒潮过程对比分析[J]. 云南地理环境研究, 2018, 30(4): 70-78.
- [15] 秦剑, 琚建华, 谢明恩. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 107-117.
- [16] 索渺清, 丁一汇. 南支槽与孟加拉湾风暴结合对一次高原暴雪过程的影响[J]. 气象, 2014, 40(9): 1033-1047.
- [17] 闫瑞琪, 刘诗韵. 生态背景下“超级寒潮”个例分析[J]. 资源节约与环保, 2016(9): 224.
- [18] 毛炜峰, 张祖莲. 1951-2015 年乌鲁木齐市升温过程频数及强度气候特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(6): 11-18.
- [19] 白松竹, 博尔楠·哈不都拉, 谢秀琴. 气候变暖背景下阿勒泰地区寒潮活动变化特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(2): 387-394.