

卢西畅,肖玮,陈瑞敏.衡水市一次伴随降水的寒潮天气过程分析[J].陕西气象,2025(4):9-15.

文章编号:1006-4354(2025)04-0009-07

# 衡水市一次伴随降水的寒潮天气过程分析

卢西畅<sup>1,2</sup>,肖 玮<sup>2</sup>,陈瑞敏<sup>1,2</sup>

(1. 饶阳国家气候观象台,河北衡水 053900;2. 衡水市气象局,河北衡水 053000)

**摘 要:**利用地面观测、风廓线雷达数据和 ERA5 再分析资料,对 2024 年 10 月 18—20 日衡水市出现的一次寒潮天气过程进行分析。结果表明:此次为横槽转竖型寒潮天气过程,横槽位置偏北,与北上南支槽配合,气流经向度加大,有利于引导冷空气南下。冷平流、较强的辐射降温和前期较高气温的维持均导致此次寒潮降温幅度加大。较强气压梯度、变压梯度及动量下传是导致衡水市出现大范围大风的主要原因。此次寒潮天气伴随的降水过程分为两个阶段:第一阶段主要影响系统为 925 hPa 低涡切变线;第二阶段主要影响系统为 500 hPa 高空槽、700 hPa 和 850 hPa 低涡及地面气旋。

**关键词:**寒潮;环流形势;冷平流;冷高压

**中图分类号:**P458.122

**文献标识码:**A

寒潮天气过程是一种大规模的强冷空气活动过程,主要特点是剧烈降温和大风,有时还伴有雨、雪、雨凇或霜冻<sup>[1]</sup>。寒潮是冬半年影响我国的主要灾害性天气之一,强降温天气会造成人、畜、农作物冻害,由其引起的大风、暴雪及冻雨等灾害还可导致交通中断、电线结冰,对运输业、电力、农业以及人类日常活动和身体健康产生巨大影响<sup>[2-3]</sup>。

寒潮的本质是冷空气在源地不断堆积,而后在有利环流背景下向南爆发的天气过程。近年来已有许多学者在寒潮天气过程进行了研究分析,特别是在寒潮天气的冷空气源地和移动路径,冷空气的酝酿、积聚及爆发过程,前期天气系统和环流形势等方面<sup>[4-10]</sup>。对我国寒潮频次的年代际变化特征研究表明,1960—2021 年我国寒潮频次整体呈现下降趋势,而后转为上升趋势,由此可知近年来我国寒潮频次出现了明显的年代际转折<sup>[11]</sup>。

我国北方 3、10、11 月寒潮活动最为频繁,而

对于河北省来说 10 月下旬到 11 月上中旬出现寒潮的可能性最大<sup>[12-13]</sup>。衡水市位于河北省东南部平原地区,寒潮天气过程时有发生。研究寒潮天气过程,在提高预报水平的同时,还可以增强气象预报服务能力,积极发挥气象防灾减灾工作的第一道防线作用。因此,本研究从冷空气源地入手,着眼于环流背景和主要影响系统,对 2024 年 10 月 18—20 日出现在衡水市的一次寒潮天气过程进行分析,以揭示其形成机理,为此类天气过程的预报及防灾减灾工作提供参考和依据。

## 1 资料与方法

台站降水、风及气温等数据来自衡水市气象观测站(国家站、区域站)。位势高度场、风场等数据为 ERA5 再分析数据。地面冷高压、气旋及冷锋移动路径来源于国家气象中心 MICAPS4.5 平台。

根据中国气象局气象行业标准<sup>[14]</sup>,单站寒潮标准为:单站 24 h 气温降幅( $\Delta T_{24}$ ) $\geq 8$  °C 或单站

收稿日期:2025-01-03

作者简介:卢西畅(1999—),女,河北衡水人,硕士,助工,主要从事中短期天气预报及技术研究。

通讯作者:陈瑞敏(1968—),女,河北衡水人,学士,正高,主要从事中短期天气预报及技术研究。

基金项目:河北省气象局指导项目(23zc20)

48 h 气温降幅( $\Delta T_{48}$ ) $\geq 10$  °C 或单站 72 h 气温降幅( $\Delta T_{72}$ ) $\geq 12$  °C 且当日最低气温  $T_{\min} \leq 4$  °C (其中 48 h 和 72 h 内最低气温应连续下降)。

## 2 天气实况

本次寒潮过程中衡水市 11 个国家站达到寒潮标准。20 日最低气温为 0.4~3.9 °C, 2 站  $10$  °C $\leq \Delta T_{48} < 12$  °C, 5 站  $12$  °C $\leq \Delta T_{48} < 14$  °C, 4 站  $\Delta T_{48} \geq 14$  °C, 最大降幅为 14.4 °C。10 月 18—20 日衡水市 95 站(包含国家站和区域站)出现 6 级及以上大风, 最大风速达 15.5 m/s(饶阳大尹村站)。本次过程中 7 级大风( $13.9$  m/s $\leq$ 风速 $\leq 17.1$  m/s)主要出现在衡水市西部和北部地区(图 1), 且出现时间集中在 10 月 18 日 19—21 时。17 日 16 时—19 日 08 时, 衡水市出现降水过程(图 1), 以中雨到大雨量级为主, 其中衡水市南部降雨量相对较大, 最大降雨量在故城县军屯站, 为 40.0 mm。

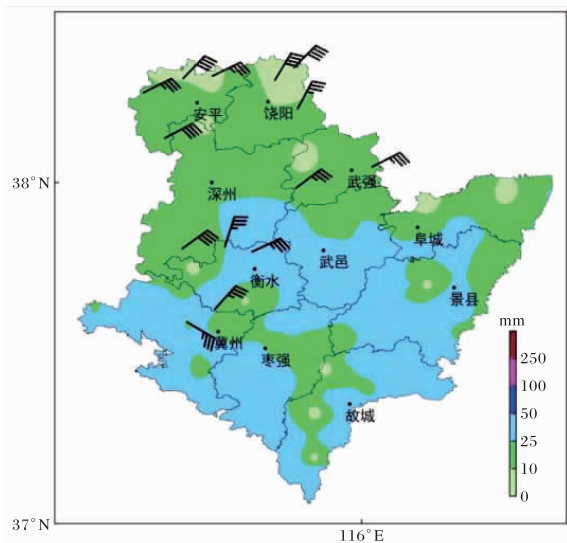


图 1 2024-10-18T19—21 衡水市 7 级以上大风及  
2024-10-17T16—19T08 降雨量实况(色斑)  
(审图号为 GS(2024)0650 号,下同)

## 3 环流背景

### 3.1 高空形势

10 月 11 日 08 时 500 hPa(图 2a)天气图上, 乌拉尔山附近和鄂霍茨克海有高压脊向极区发展, 挟持一个极涡形成倒  $\Omega$  流型<sup>[1]</sup>。11—14 日, 乌拉尔山附近暖脊不断北伸, 在脊的北边出现闭

合环流, 形成暖高压中心, 阻塞高压形成(图略)。之后随着阻塞高压的崩溃, 16 日 08 时位于 60°N 附近的横槽逐渐转竖东移(图略), 引导地面冷空气南下, 冷中心维持在一 40 °C。18 日 08 时(图 2b), 横槽转竖位于 120°E 附近, 同时南支槽东移北上至 115°E 附近, 衡水市受槽区控制。随着上述两支槽的东移, 衡水市逐渐转为槽后偏北气流控制, 受冷空气影响, 气温逐渐下降。此次过程中虽然横槽位置偏北, 但与北上的南支槽相配合, 使得引导气流经向度增加, 有利于引导冷空气南下, 使得衡水市气温显著下降。

### 3.2 地面形势

由图 3 可知, 此次寒潮冷空气源地为新地岛以东的洋面上, 冷空气路径为西北路径<sup>[11]</sup>。10 月 15 日 20 时, 位于新地岛东侧的高压中心强度为 1 025 hPa。随后冷空气经寒潮关键区东移南下并不断增强, 10 月 18 日 08 时冷高压移至贝加尔湖附近, 中心强度增强至 1 047.5 hPa。与此同时, 冷锋也南压至河北省北部地区, 地面气旋(1 010 hPa)东移北上至山东北部, 地面整体呈现西北高东南低的气压场形势, 以衡水为中心的三个纬距气压差为 7.5 hPa(图 4a)。18 日 20 时(图 4b), 随着气旋东移入海及冷锋的东移南压, 上述气压差进一步增大至 12.5 hPa, 衡水市风力增强。

## 4 降温、大风及降水成因

### 4.1 降温成因

4.1.1 前期气温 寒潮天气过程研究中发现, 除冷平流强度外, 前期较高气温的维持有利于后期降温幅度的增大<sup>[15-16]</sup>。10 月 16 日夜间, 衡水市转为 500 hPa 脊区控制, 17 日逐渐转为槽前西南气流控制, 受此影响 17 日夜间衡水市云量增多且产生降水。云量增多有利于吸收并反射更多的地面长波辐射, 加之降水过程中水汽会释放凝结潜热, 二者共同削弱了辐射降温的作用, 使得衡水地区最低气温维持在较高水平。

4.1.2 温度平流 18 日 04 时 850 hPa 冷涡位于俄罗斯东部地区, 强冷平流向东向南扩展至内蒙古与黑龙江交界处, 中心值为  $-20 \times 10^{-4}$  K/s(图 5a)。衡水市受低压(位于冀鲁交界处)后部

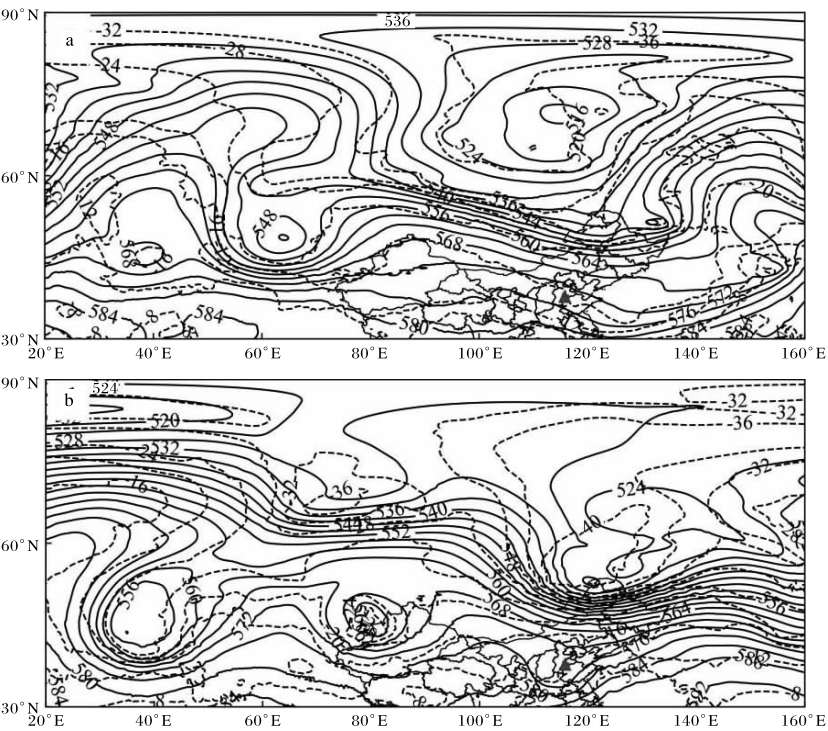
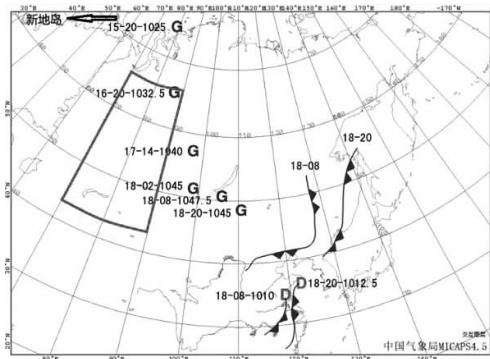


图 2 2024-10-11—18 500 hPa 高度场(实线;单位为 dagpm)和温度场(虚线;单位为℃)  
(a 11 日 08 时;b 18 日 08 时)(棕红色三角代表衡水市)



注: 15-20-1025 为 15 日 20 时高压中心气压为 1 025 hPa, 其他类似。

图 3 2024-10-15—18 地面冷高压、气旋及冷锋演变

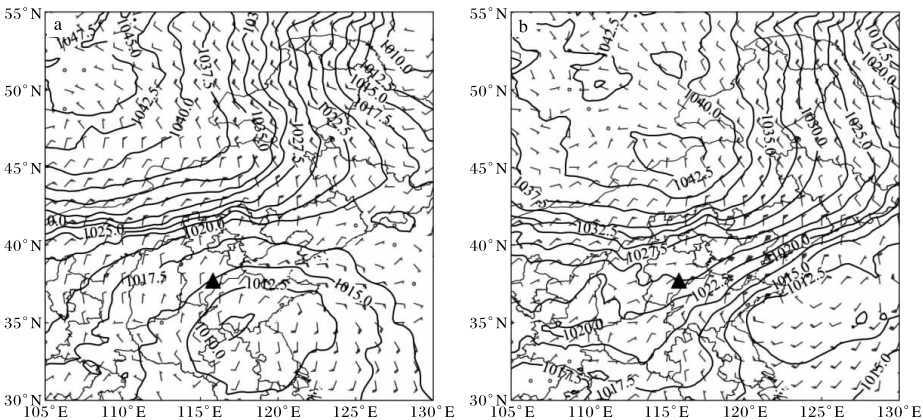


图 4 2024-10-18 海平面气压场(单位为 hPa)和 10 m 风场(a 08 时,b 20 时;黑色三角代表衡水)

弱的偏北气流控制,风力较小。18日08时(图5b),850 hPa冷平流继续南压至内蒙古中部地区。此时低压东移至山东北部,受此低压及俄罗斯东部冷涡的共同影响,衡水受偏北气流控制,风力加大,有利于冷空气进一步南下。18日夜间(图5c)850 hPa冷平流继续发展南压,位于河北

北部的强冷平流中心值最低可达 $-29 \times 10^{-4}$  K/s,同时低层925 hPa(图略)冷平流强度也有所增强。19日20时(图5d),衡水转为反气旋底部偏东气流控制,冷平流强度整体有所减弱。20日早晨最低气温降至 $4^{\circ}\text{C}$ 以下且48小时最低气温降幅超过 $10^{\circ}\text{C}$ ,部分站点降幅超过 $12^{\circ}\text{C}$ ,达到寒潮标准。

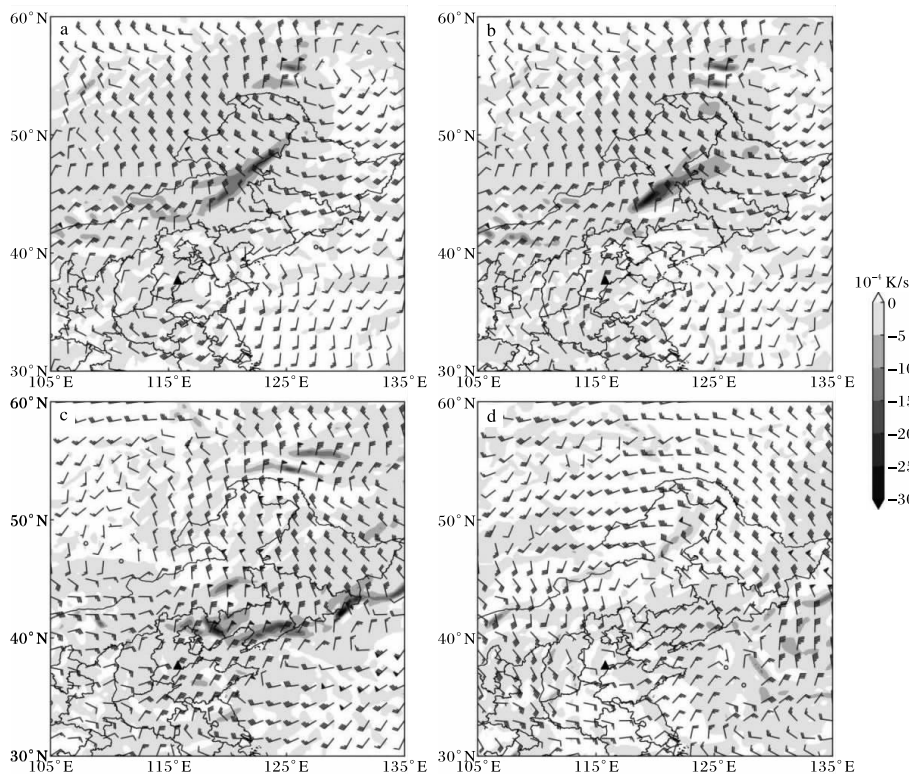


图5 2024-10-18—19 850 hPa 风场及温度平流(a 18日04时;b 18日08时;c 19日00时;d 19日20时)

4.1.3 辐射降温 辐射降温也有利于此次寒潮的形成。衡水市在冷空气入侵前出现暖区降水,随后随着冷空气的入侵,衡水市逐渐转晴。20日05时,衡水市500 hPa受弱脊控制,850 hPa受反气旋环流底部偏东气流控制,地面处于弱均压场中(图略),天空晴朗少云,风速较小,有利于夜间辐射降温,最低气温进一步下降。

#### 4.2 大风成因

温度平流与地面风场关联,强冷平流不仅会造成气温骤降,还会使地面正变压场、变压梯度和气压梯度增大,使得地面风场进一步发展<sup>[17-18]</sup>。18日14时,925 hPa冷平流中心南压至秦皇岛、渤海一带,14时后冷平流中心分裂,一部分冷空气快速南下。随着冷空气南下,3 h变压大值中心也不断向南调整,18日19时大值中心移至沧

州,此时位于衡水北部的大尹村站出现7级大风。结合图6可知,大尹村16—19时900 hPa以下冷

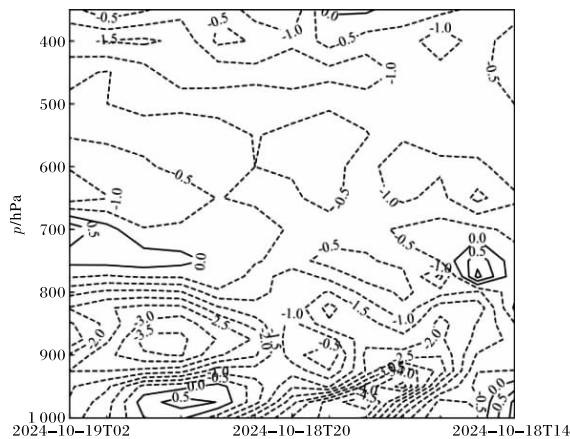


图6 2024-10-18T14—19T02 大尹村温度平流时间-高度图(单位为 $10^{-4}$  K/s)

平流强度逐渐加强。受其影响,距大尹村最近站点 3 h 变压增加至 4.9 hPa,其前部为变压梯度大值区,有利于变压风增强从而引发大风。20 时变压大值中心进一步南移至衡水东部,变压梯度进一步增大(两个经度变压差达到 1.8 hPa),此时衡水西部和北部地区更多站点出现 7 级大风(图略)。整体来看,低层较强的冷平流有利于变压梯度的增强,从而引起变压梯度风的增强。

由前文海平面气压场(图 4)的分析可知,受南下冷高压和北上气旋共同影响,河北省整体呈现西北高东南低的气压场形势,气压梯度也有所

增强,而较强的气压梯度容易产生较大的梯度风,有利于地面大风形成。

此外,地面大风的形成还与动量下传作用密切相关。由图 7a 可知,18 日 20:00—21:00 在 1 500 m 高度附近风速最大可至 20 m/s,中低层为东北风,且有较为明显的下沉运动,下沉运动速度最大可至 1.7 m/s(图 7b),动量向下传递,有利于地面大风的形成<sup>[19-20]</sup>。

整体来看,较强的气压梯度、变压梯度以及动量下传共同作用促使此次寒潮过程大风的出现。

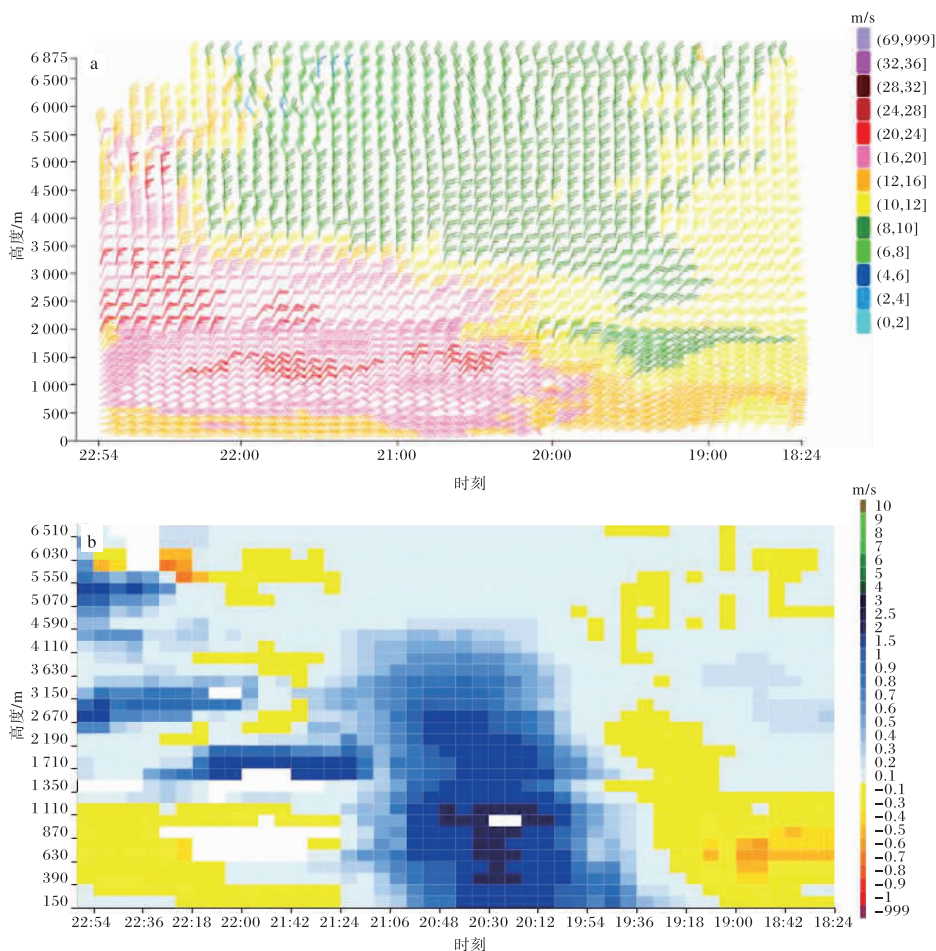


图 7 2024-10-18T18:24—22:54 饶阳站风廓线雷达垂直速度(a)和风场(b)时间-高度图

#### 4.3 降水成因

此次过程虽然横槽位置偏北,但与北上的南支槽配合,使得引导气流经向度增加,有利于引导冷空气南下。受南支槽北上影响,18 日夜间冷空气入侵前,衡水市产生明显降水过程。下面对冷空气入侵前的暖区降水进行成因分析。

此次降水过程主要分为两个阶段,第一阶段为 17 日下午到前半夜,衡水市西部和北部地区雨强较大(武邑站小时雨强最强,为 8.8 mm/h),持续时间短;第二阶段为 18 日早上到白天,衡水市中东部雨强较大(阜城站小时雨强最强为 4.9 mm/h;武邑站次强为 4.2 mm/h),持续时间长。

17日20时(图8a)500 hPa南支槽东移北上至河套以西,衡水市受槽前西南气流控制,有风速辐合,850 hPa河南西南部有一低涡发展,低涡前部偏南急流向河北输送水汽,925 hPa低涡位置与850 hPa基本一致,有伸到河北东南部的切变线,衡水市受低涡切变线影响,产生第一阶段降水。

充足的水汽输送是降水发生的必要条件。第一阶段降水过程中衡水市西部和北部为水汽辐合区(图略)。由图9可知,17日20时前后低层水汽通量散度值最低可至 $-100 \times 10^{-7} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 以下,水汽辐合较强。此外,该时段中低层(850~1 000 hPa)为上升运动,与武邑站最大小时雨强(8.8 mm/h)出现时间对应。整体来看,925 hPa

低涡切变线、低层(925 hPa以下)较强的水汽辐合及中低层(850~1 000 hPa)的上升运动是第一阶段武邑站降水产生的主要原因。

18日08时(图8b)500 hPa高空槽东移,衡水市处于槽区控制,700 hPa和850 hPa低涡东移发展至山东,同时地面气旋东移北上,衡水市受偏北气流控制。衡水市上空整层为水汽辐合区(图略)。进一步分析可知,第二段降水中低层(500~800 hPa)为水汽辐合,且对应较强的上升运动(图9)。整体来看500 hPa高空槽、700 hPa和850 hPa低涡、地面气旋、中低层(500~800 hPa)水汽辐合及上升运动是第二段武邑站降水产生的主要原因。

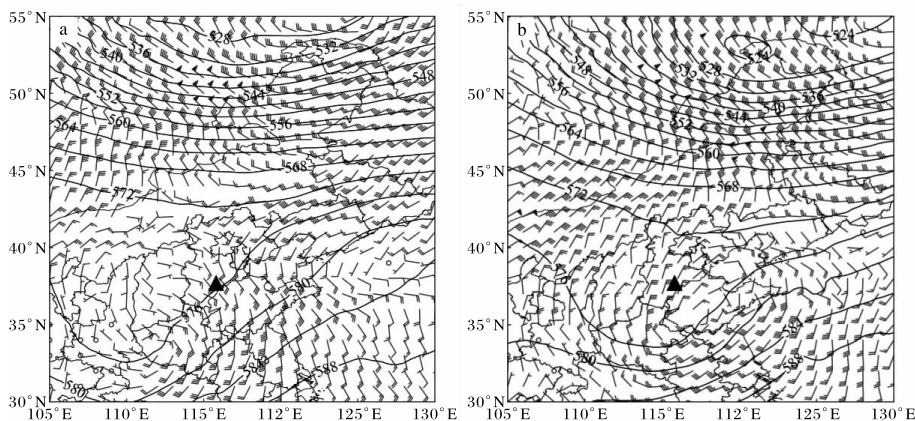


图8 2024-10-17—18 500 hPa高度场及850 hPa风场(a 17日20时;b 18日08时)

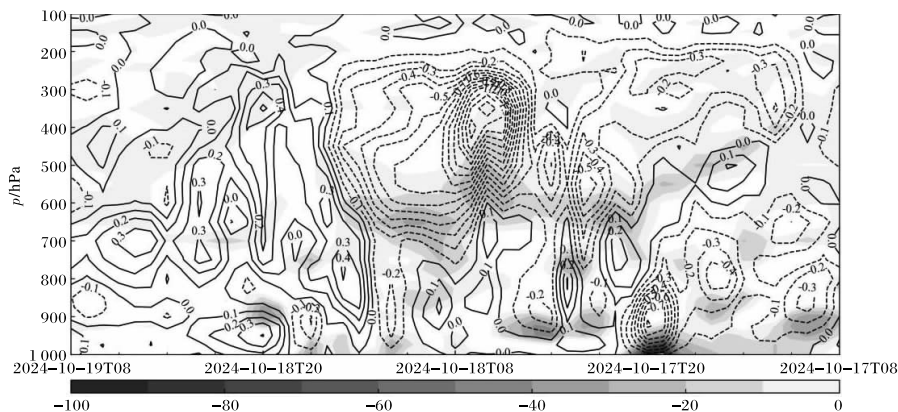


图9 2024-10-17T08—19T08 武邑站水汽通量散度(填色;单位为 $10^{-7} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ )和垂直速度(等值线;单位为 $\text{Pa}/\text{s}$ )时间-高度图

## 5 结论

(1)此次寒潮天气过程为横槽转竖东移型,具有寒潮发生的典型环流背景,包括中期倒 $\Omega$ 流型

的建立、阻塞高压的建立和崩溃、横槽转竖东移,此外还有北上南支槽配合,气流经向度增大,利于冷空气南下。

(2)冷空气源地和路径分别为新地岛以东的洋面和西北路径,500 hPa 冷中心强度和地面冷高压中心强度分别为 $-40^{\circ}\text{C}$ 和 1 047.5 hPa。较强的冷平流、辐射降温及前期较高气温的维持均会导致降温幅度增大。

(3)变压梯度和气压梯度的增强引起变压风和梯度风的增强,此外,中低层一致的东北风和明显的下沉运动,动量向下传递,均有利于地面大风的形成。

(4)本次降水过程主要分为两个时段:第一段降水主要影响系统为 925 hPa 低涡切变线,低层(925 hPa 以下)较强的水汽辐合及中低层(850~1 000 hPa)的上升运动提供水汽和动力条件;第二段降水主要影响系统为 500 hPa 高空槽、700 hPa 和 850 hPa 低涡及地面气旋,中低层(500~800 hPa)水汽辐合及上升运动提供水汽和动力条件。

#### 参考文献:

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 第四版. 北京:气象出版社,2010:266-267.
- [2] 姚学祥. 天气预报技术与方法[M]. 北京:气象出版社,2011:219-256.
- [3] 李红英,林纾,王云鹏,等. 1961-2017 年京津冀地区寒潮活动特征[J]. 干旱气象,2022,40(1):41-48.
- [4] 张林梅,庄晓翠,胡磊. 新疆阿勒泰地区一次强寒潮天气过程分析[J]. 干旱气象,2010,28(1):71-75.
- [5] 张培忠,陈光明. 影响中国寒潮冷高压的统计研究[J]. 气象学报,1999,57(4):493-501.
- [6] 谢超,桂海林,尤媛. 2024 年 1 月大气环流和天气分析[J]. 气象,2024,50(4):514-520.
- [7] 赵玉广,何丽华,张南,等. 河北省寒潮天气形势分析及预报[J]. 干旱气象,2012,30(1):94-99.
- [8] 杜莉丽,刘嘉慧敏,张黎,等. 陕西 2018 年 4 月强寒潮天气过程决策服务探讨[J]. 陕西气象,2019(5):53-56.
- [9] 李博渊,王定定,庄晓翠. 阿勒泰地区一次强寒潮天气成因分析[J]. 陕西气象,2015(6):1-6.
- [10] 陈豫英. 宁夏 2 次典型寒潮天气的对比分析[J]. 陕西气象,2004(2):4-6.
- [11] 胡宏博,黄艳艳,戴金,等. 近 11 年中国寒潮频发的机理分析[J]. 大气科学学报,2023,46(6):864-875.
- [12] 宋哲. 我国北方寒潮活动频次与北半球极涡异常的关系[D]. 昆明:云南大学,2015.
- [13] 《河北省天气预报手册》编写组. 河北省天气预报手册[M]. 北京:气象出版社,2017.
- [14] 中国气象局. 中华人民共和国气象行业标准—冷空气过程监测指标[S]. 2017.
- [15] 于波,李桑,黄富祥,等. 2016 年 1 月京津冀地区连续性寒潮事件对比分析[J]. 干旱气象,2019,37(6):954-963.
- [16] 王丹,张林梅. 阿勒泰地区一次强寒潮天气过程诊断分析[J]. 陕西气象,2017(2):7-11.
- [17] 牛若芸,乔林,陈涛,等. 2008 年 12 月 2—6 日寒潮天气过程分析[J]. 气象,2009,35(12):74-82.
- [18] 郑丽君,黄京平,马中元,等. 一次冷空气大风水平与垂直风场结构分析[J]. 江西科学,2020,38(3):353-361.
- [19] 刘畅,胡宁,李昱薇,等. 山东一次春季冷空气 10 级大风的天气成因[J]. 海洋气象学报,2024,44(1):52-64.
- [20] 何娟,曾清川,肖莎. 昭通一次持续性大风天气过程成因分析[J]. 陕西气象,2024(6):8-14.