

姬雪帅,杜晖,张曦丹,等.基于VDRAS资料探究河北中南部一次弓状强飚线的演变和机理[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(3):44-51.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.03.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



基于VDRAS资料探究河北中南部一次弓状强飚线的演变和机理

姬雪帅¹,杜晖^{2*},张曦丹¹,黄若男¹,郭宏¹,郭旭晖¹

(1.张家口市气象局,河北 张家口 075000;2.广东省气象公共安全技术支持中心,广东 广州 510641)

摘要:利用常规气象资料、ERA5再分析资料、北京VDRAS资料以及雷达资料,对2021年7月31日发生在河北中南部的一次弓状强飚线过程进行分析。结果表明:(1)此次飚线过程发生在冷涡的背景下,500 hPa 涡后的冷空气与 850 hPa 的暖脊叠加,建立了不稳定层结,在地面辐合线附近触发。(2)雷达回波由分散的对流单体合并加强,强弓形出现时,最大强度值超过 55 dBZ,存在径向速度大值区和中层径向辐合等特征,这些都预示地面大风的出现,而回波悬垂预示冰雹出现。(3)雷达反演的风场可以显示飚线的水平和垂直结构,能清楚地指示飚线的出流、入流以及辐合区,对指示飚线不同部位的发展趋势有重要指示意义。(4)地面风场辐合导致雷暴单体触发,雷暴单体在不稳定的大气层结中获得快速发展,发展过程中 0~3 km 的垂直风切变逐渐增强,低层形成冷池,热力不均匀区域扩大,沿着扰动温度梯度大值区与风场辐合区,新生对流向东向南传播,分散对流单体合并演变为飚线。(5)从飚线发展阶段的热动力结构分析中发现,由倾斜上升气流与下沉气流形成垂直环流,下沉气流增强时,冷池效应增强,低层环境垂直风切变也增强,环境条件的改变是飚线发展的结果,同时新的环境条件驱动飚线向前移动并发展加强。

关键词:弓状飚线;VDRAS;冷池;雷达回波;风场反演

中图分类号:P445

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2023)03-0044-08

飚线是一种中尺度对流系统,具有突然出现、移动速度快和演化迅速等特点。常伴有雷暴、短时强降雨、强风、冰雹、龙卷风等严重灾害性天气。对飚线的研究已成为大气科学中的一个重要课题^[1-4]。Ogura等^[5]利用美国国家强风暴实验室的资料对一次中纬度飚线进行了分析,得到了成熟飚线的热动力结构,分析了其维持发展的物理机制,发现飚线的结构特征,即云体内具有倾斜的气流,前侧为暖湿入流,后

侧为干冷空气的下沉气流。国外研究发现飚线产生的冷池与低层环境垂直风切变相互作用对飚线的发展十分重要。美国产生大范围大风事件的飚线多发生于 500 hPa 为西风气流的条件下,25%发生在西北气流环境下^[6-7]。国内在飚线的研究方面,飚线发生的天气背景以槽后、冷涡西南部和高空槽前为主,特别是冷涡是北方飚线产生的重要天气尺度系统之一^[8-11]。在飚线结构特征方面,利用观测资料、中尺度模式和多普勒雷达分析飚线动力学过程与结构演变已有很多研究^[12-18]。但飚线的触发和形成机制比较复杂,冷锋、切变线和海风锋等都有可能触发对流形成飚线^[19-21]。

夏季常有对流在华北平原地区突发产生,局地对流会在没有明显征兆的情况下突然形成。一直以来,局地对流触发机制的研究与预报是预报难点之

收稿日期:2021-12-20;修回日期:2022-05-09

基金项目:灾害天气国家重点实验室开放课题(2019LASW-B04);广东省气象局青年基金(GRMC2021Q09);张家口市气象局创新团队共同资助

作者简介:姬雪帅(1991—),男,工程师,主要从事短期短临预报工作。E-mail:1358744797@qq.com

通信作者:杜晖(1992—),男,工程师,主要从事雷电灾害机理研究。E-mail:duh17@izu.edu.cn

一。为了深入了解局地对流触发与发展的机理,本文选取发生在 2021 年 7 月 31 日的一次弓状强飚线过程,本次过程发生区域远离山区,不易受到地形抬升影响,同时伴有雷暴大风、冰雹等灾害性天气。灾害性强度在河北对流个例库中不算强,但是它的突发性、预报指标不明确却是华北平原地区局地突发对流的典型,预报员只依据天气尺度强迫和环境因素对流的触发与发展机制很难做出准确判断。本研究利用北京 VDRAS 资料、ERA5 再分析资料和多普勒雷达资料对飚线过程进行分析,研究分散的对流单体如何快速发展成有组织的飚线和飚线与环境大气之间的相互作用,从而加深对这类天气系统触发机制和发生发展规律的认识,以期为此类强对流天气预报预警提供参考。

1 资料介绍

欧洲中心提供的全球再分析资料(以下简称“ERA5”资料),时间间隔为 1 h,水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,该资料用于分析飚线发生的环流背景和物理量诊断。本文使用资料的时间均为北京时。

Variational Doppler Radar Analysis System(以下简称“VDRAS”)资料,该系统为北京城市气象研究院研发,通过快速刷新四维同化技术和三维数值云模式,实时同化京津冀地区多部新一代天气雷达资料(反射率因子和径向速度),同时融合京津冀区域 5 min 地面自动站观测资料和 BJ-RYC v2.0 数值模式结果,分析输出低层的动力场和热力场及与之相关的解释应用产品。其中,系统的三维云模式采用受温度冷却影响的暖云参数化方案,该资料为非静力模式输出资料。资料水平分辨率为 5 km,同化京津冀 6 部雷达:范围为 $550 \text{ km} \times 550 \text{ km}$,覆盖京津冀大部地区,垂直分辨率为 400 m,时间分辨率为 18 min,使用该资料可以分析飚线发展过程中的热力与动力结构。

沧州 S 波段多普勒雷达资料用于分析飚线的回波特征和风场反演特征。

2 天气实况、环流背景及环境特征

2021 年 7 月 31 日 20 时—8 月 1 日 02 时河北中南部出现了一次持续时间为 6 h 的飚线天气过程,飚线引发的强对流天气主要为雷暴大风,局部地区出现了冰雹天气。国家站加密资料显示,河北中南部先后有 11 个国家气象站出现了 17 m/s 以上的雷暴大风,最大风速出现在沧州市东光县,瞬时风速高达 28 m/s,衡水市景县出现了 0.5 cm 的冰雹。

7 月 31 日正值华北汛期,31 日 20 时 500 hPa 高空图上(图 1a)亚洲中高纬为两脊两槽,冷涡中心位于贝加尔湖以东 120°E 附近,冷中心 $<-16^{\circ}\text{C}$,华北地区为北涡南槽形势,河北位于冷涡东南部,有利于强对流天气的发生。冷涡后部的冷空气沿着西北气流下移,为河北地区提供了干冷的环境。850 hPa 高空图上(图 1b),河北中南部地区处于西南气流中,河北东南部与山东交界处有切变线配合暖舌发展。从层结特征来看,河北中南部地区 850 与 500 hPa 的温度差达 30°C ,高空干冷平流与低层暖湿平流相叠置有利于层结不稳定发展,与 850 hPa 切变线相配合,地面存在辐合线,有利于对流的触发。

7 月 31 日傍晚河北中南部存在强对流天气发生的动力、水汽和层结不稳定的条件。20 时探空显示(图 1c),北京地区的对流有效位能(CAPE)高达 $4\,264 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,对流抑制能量(CIN)仅为 $11.6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,850~700 hPa 存在干区,925 hPa 以下温度递减率接近于干绝热,500 与 850 hPa 温差达 33°C ,表明大气层结不稳定度很高。从风场的垂直分布可以看出,850 hPa 以下风随高度顺转,表明有暖平流,而 850~200 hPa 风随高度逆转,表明有冷平流,这种高低层配置使得大气层结不稳定度进一步加大,有利于对流触发后的快速发展。

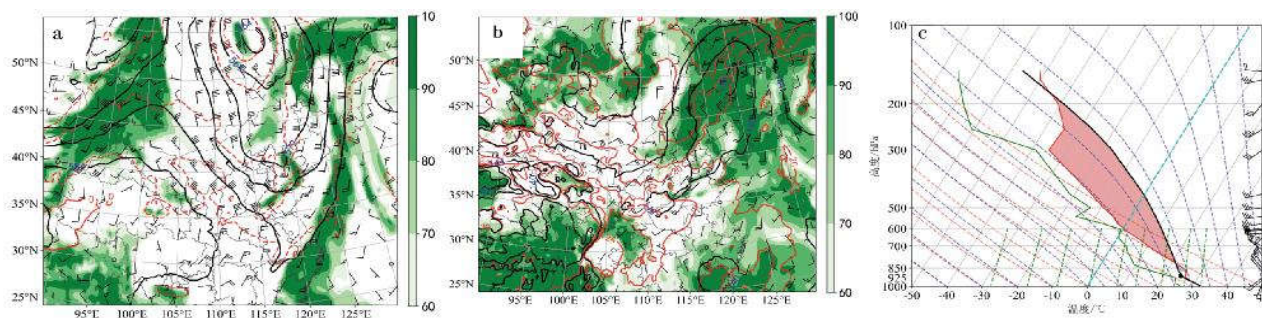


图 1 7 月 31 日 20 时 500 hPa(a)和 850 hPa(b)环流形势场和北京 20 时的探空图(c)
(a、b 中黑色线为高度场,单位:dagpm,红色线为温度场,单位: $^{\circ}\text{C}$,绿色线为相对湿度,单位:%)

3 雷达特征分析

3.1 飊线的雷达回波演变特征

7月31日19:30(图2a),分散性回波在沧州市多普勒雷达(SA雷达)测站西北方向30 km附近形成,多个雷暴单体呈东北—西南向线状排列。20:30(图2b)直线型带状回波已经形成并不断向东南方向移动,最大反射率因子达55 dBZ,飊线移动过程中不断有新对流单体生成,21:30(图2c)多块团状回波有合并趋势,回波的移动速度约为 $40\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,22:30(图2d)多块团状回波合并成为飊线,继续向东向南发展,形成典型弓形回波,弓形回波处于发展强盛阶段,尺度超过200 km,这一段时间内河北省的沧州、黄骅、海兴、孟村、盐山均出现 $>18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的瞬时大风,沧州20:39极大风达 $25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,23:30(图2e)弓形回波出现断裂,向东移动的一段移动加速,向南移动的回波继续保持向南移动,同时继续向西传播,弓形回波内镶嵌多个 $>55\text{ dBZ}$ 的超级单体,此时东光、阜城、吴桥均出现 $>18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的瞬时大风,景县出现0.5 cm的小冰雹;8月1日00:30(图2f)弓形回波强度逐渐减弱,飊线开始逐渐消亡。

3.2 飊线的雷达回波垂直剖面

31日21:24沧州市多普勒雷达反射率因子剖面(图3b,沿图3a红线位置剖面)显示强反射率因子质心向下及地,向上延伸至8 km以上,这种回波

特征表明对流单体内的强中心范围很大。从雷达径向速度垂直剖面(图3c)可看出,最显著的特征是4~6 km的中层径向速度辐合区($38.15^{\circ}\text{N}, 117.05^{\circ}\text{E}$),同时低层存在大风速核,出现了速度模糊,这些特征都表明地面大风的出现。飊线的南部出现冰雹和大风天气,31日22:00反射率因子剖面(图3e,沿着图3f红线位置剖面)显示存在弱回波区、中高层有回波悬垂以及有界弱回波区左侧的回波墙。回波悬垂位于弱回波区之上,强度为50~60 dBZ,从4 km一直延伸到8 km左右。弱回波区、回波悬垂呈现出从低层到高层向入流一侧倾斜的特征,这种高悬的强回波有利于冰雹的产生。雷达径向速度垂直剖面图中(图3f)在2~4 km存在速度模糊,低层存在大风速核,表明地面大风将会出现,景县22:12出现冰雹,22:38出现大风,风速为 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

3.3 飊线的雷达风场反演

利用多普勒雷达风场反演技术对此次飊线的风场进行反演,图4展示了飊线成熟阶段的水平和垂直结构与气流的分布。22:00在0.1 km反射率因子(图4a)呈显著弓形回波,大风速区位于弓形回波的前部,在弓形回波的前部有弱的阵风锋,出流和入流都很强,出流风速 $>20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,预示着地面大风的出现,此时雷达东侧的阵风锋正逐渐脱离母体,回波强度逐渐减弱,而雷达西侧的回波向南移动并向西传

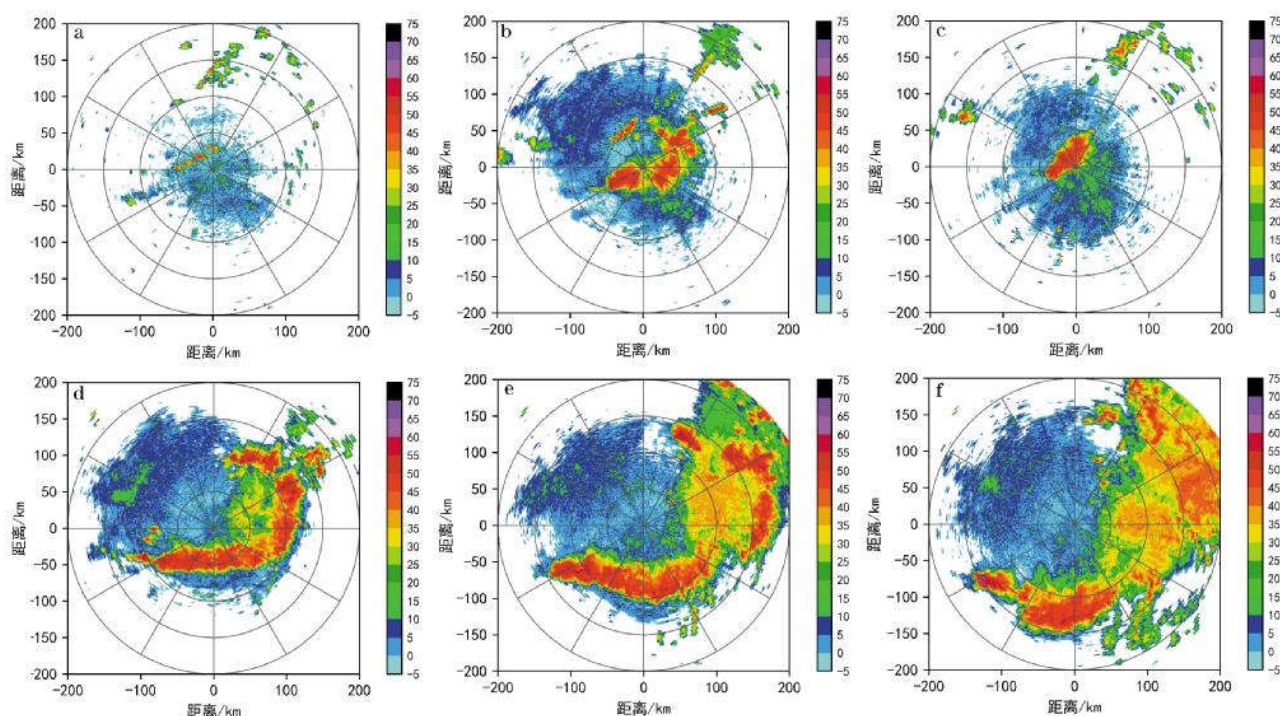


图2 7月31日19:30(a)、20:30(b)、21:30(c)、22:00(d)、22:30(e)和8月1日00:30(f)
沧州雷达0.5°反射率因子

播,强度仍在加强。垂直剖面(图 4b)显示飑线的对流风暴前部的辐合上升气流是倾斜的,60 dBZ 的反射率因子核心位于 6~8 km,后侧下沉气流及地后形成冷池密度流与前侧的入流形成强辐合,辐合区距离飑线中的强雷暴单体距离比较近,雷暴单体仍然处于发展阶段,出流的高度主要位于 4 km 以下,而入流高度伸展至 8 km,入流与出流的共同作用使得飑线继续向南发展。

4 飑线的触发及其发展机制

4.1 飑线的触发机制

不稳定的大气要受到抬升触发后才能形成深厚湿对流。31 日 19:20(图 5a)地面中尺度的辐合线为飑线初始对流的发展提供了触发条件。在 10 m 风场上承德有东南风和西北风地面辐合,20:00(图 5b)在地面风场上出现气旋性的闭合环流,形成了地面辐合中心,对流进一步发展。此次飑线天气的爆发是在边界层辐合线的触发下形成的。19:36(图 5c)200 m 风场上产生辐合,扰动温度梯度不明显,冷池效应尚未产生,此时处于对流的初始触发阶段;20:12(图 5d)风场的辐合强度加强,同时产生 5 °C 的扰动温度梯度,出现冷池效应,对流的强度逐渐加强。

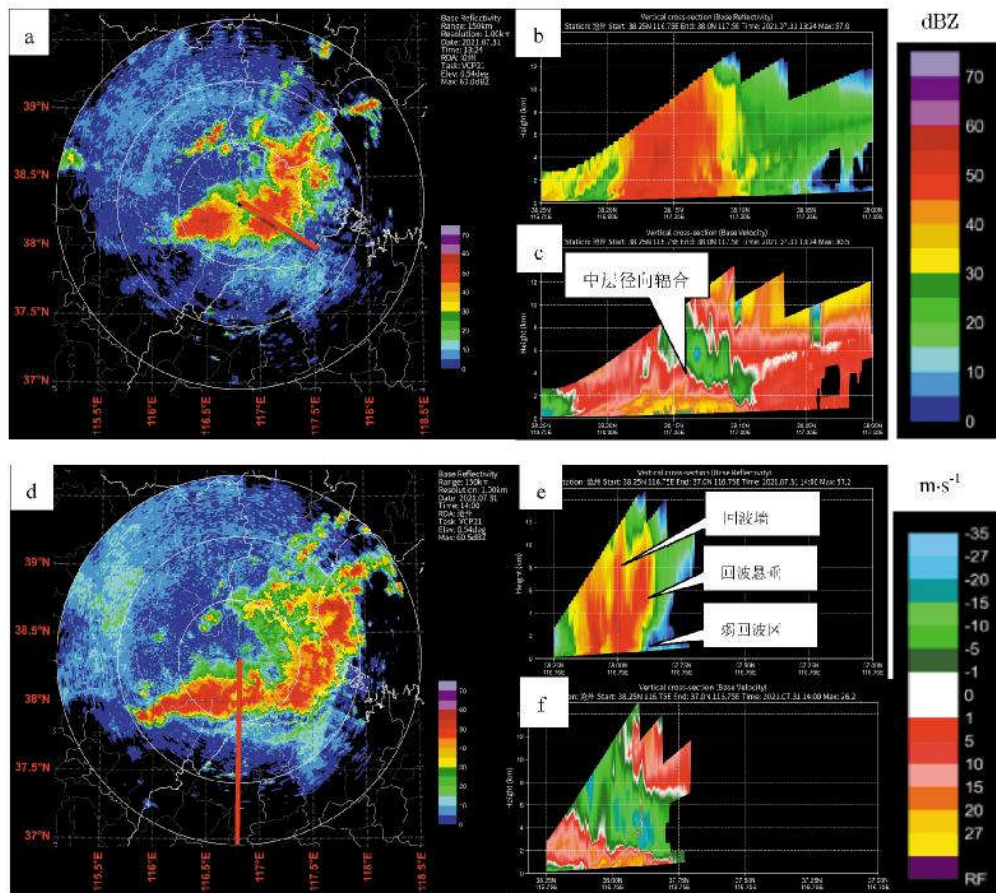


图 3 7 月 31 日 21:24(a,b,c)和 22:00(d,e,f)沧州雷达 0.5°反射率因子(a,d)和反射率因子(b,e)、径向速度(c,f)沿红线的垂直剖面

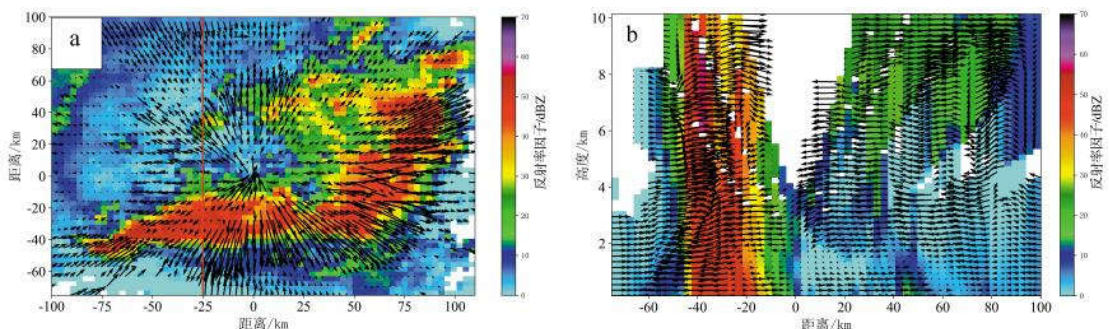


图 4 7 月 31 日 22:00 沧州雷达反射率因子与反演风场叠加(a)和沿红线的垂直剖面(b)

4.2 飊线的强对流发展机制

根据 RKW 理论^[22-23],低层环境垂直风切变和近地面冷池的相互作用是飊线发展维持的重要动力和热力条件,当近地面冷池出流造成的水平辐散和低层环境垂直风切变造成的水平辐合近似平衡时,对飊线的维持和发展最有利,且冷池的作用在雷暴后期更显著。

4.2.1 垂直风切变的变化

研究表明^[21-22],0~3 km 垂直风切变对于形成组织化程度较高的强飊线有重要影响。本次飊线形成前(图 6a),19:36VDRAS 资料计算的飊线生成地附近 0~3 km 垂直风切变大多 $<10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,风切变矢量方向为西南,与北京探空得到的垂直风切变大小基本一致,对飊线组织化的贡献不足。随着对流触发,

20:12(图 6b)0~3 km 垂直风切变显著增大,大值 $>20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,此时对流进入快速发展阶段,对飊线组织化的贡献明显加大。22:12 飊线发展阶段(图 6c),飊线前部垂直风切变 $>20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。由此可见,尽管初期环境垂直风切变不强,但是随着对流触发到飊线形成发展期,垂直风切变同步明显增强。

4.2.2 飊线的热动力结构分析

20:12 对流处于初生阶段,200 m 高度上(图 7a)出现弱冷池,扰动温度为 -3°C ,但扰动温度的梯度 $>5^\circ\text{C}/\text{km}$ (图 5d),导致对流单体向四周的温度梯度加大,此时风场上仍然存在强辐合上升运动不断发展。沿 116.75°E 作径向剖面(图 7b),上升气流与下沉气流均为斜升气流,最大下沉速度中心位于 1 km,为 $-1.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,最大上升速度中心位于 3.5 km,

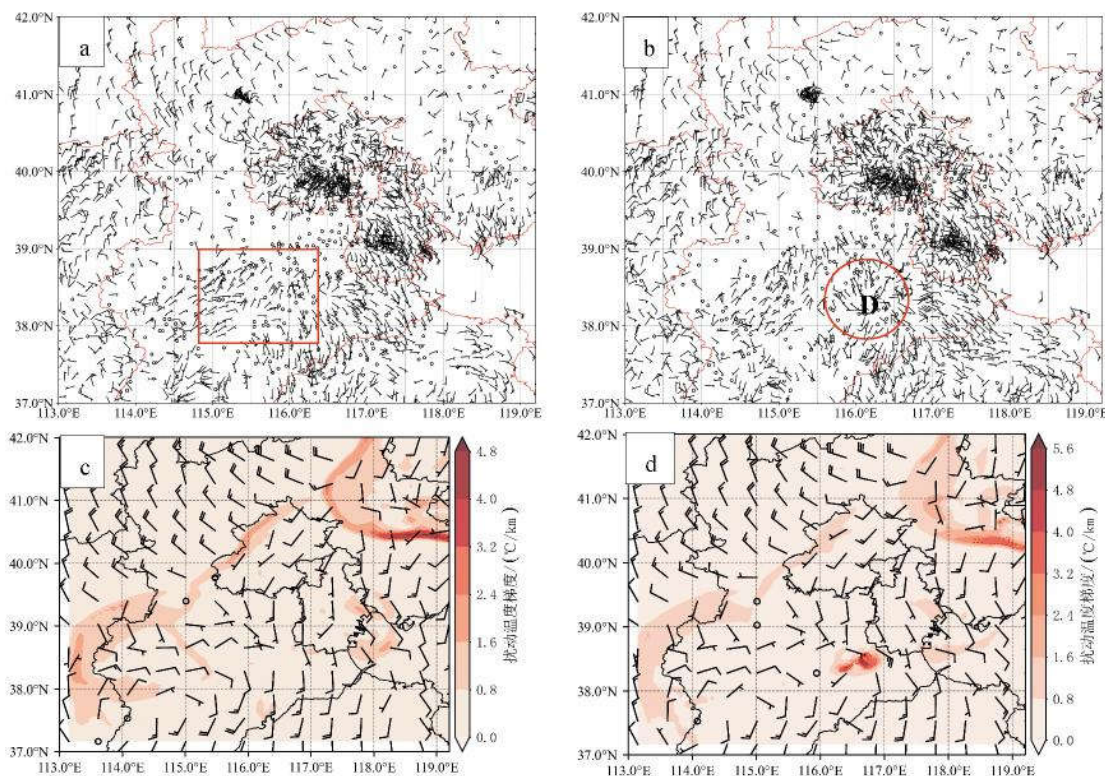


图5 7月31日19:20(a)和20:00(b)地面极大风、19:36(c)和20:12(d)200 m 高度风场和扰动温度梯度

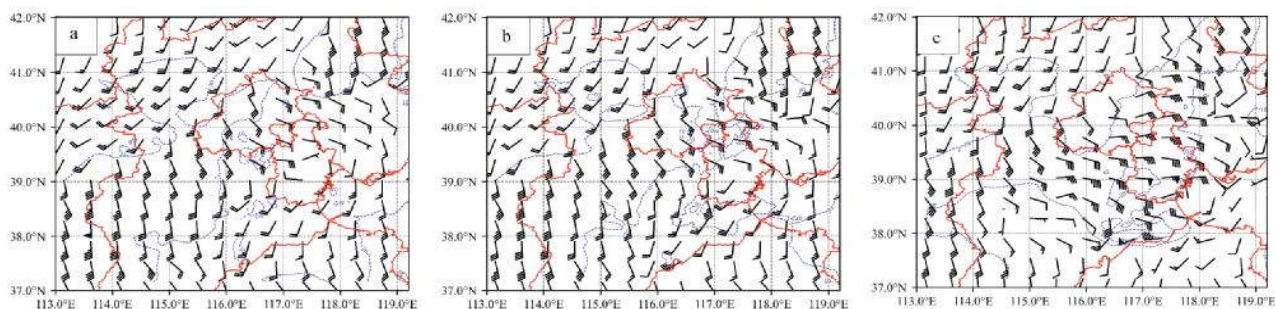


图6 7月31日19:36(a)、20:12(b)和22:12(c) VDRAS 资料的0~3 km 垂直风切变

为 $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 且正负速度中心接近于垂直。散度场负散度中心位于 500 m 以下, 为 $-1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 正散度中心位于 2.5 km , 为 $0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 表明高低层存在辐合, 中层存在辐散, 上升与下沉气流在 2.5 km 产生强辐散, 下沉气流与前侧暖湿气流辐合, 促进前侧上升运动发展。

22:12 对流处于发展阶段, 200 m 高度上 (图 7c) 冷池范围不断扩大, 强度加强, 扰动温度中心达 -6°C , 雷暴高压形成, 此时风场为反气旋式环流。沿 116.75°E 作径向剖面 (图 7d), 飚线前侧上升运动发展强烈, 最大上升速度达 $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 后侧下沉气流达 $1.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 形成了顺时针的垂直环流, 后侧下沉气流造成地面雷暴高压和冷池进一步加强。与上升运动区对应, 散度场上 1 km 以下为负散度区, 中心值达 $-1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 正散度中心位于 $3\sim 4 \text{ km}$, 中心值达 $0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 与下沉运动区对应, 散度场上 1 km 以下为正散度区, 中心值达 $0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 正散度中心位于 $2\sim 4 \text{ km}$, 中心值达 $-0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 散度场上的正负中心耦合, 使得对流加强, 这是一个正反馈的过程。

此次飚线的发展过程是在边界层触发后, 由倾斜上升气流与下沉气流形成垂直环流, 随着下沉气流增强, 冷池效应增强, 低层环境垂直风切变增强, 二者共同发挥作用, 使得飚线向南发展加强。

5 结论

此次飚线过程初始对流形成于高空冷涡底部、低层切变线和地面辐合线附近, 向东南运动过程中组织成强飚线影响河北中南部。初始阶段, 河北中南部地区垂直风切变较弱, 水汽条件较差, 但又存在高的不稳定能量, 对于对流能否触发以及对流发展的强度和形态变化在预报中存在较大的不确定性。通过多源资料的分析, 梳理了此次弓状飚线的形成、演变机制, 为今后此类天气的临近预报提供思考。

(1) 此次飚线发生在冷涡的背景下, 500 hPa 后的冷空气与 850 hPa 的暖脊叠加, 建立了不稳定层结, 在地面辐合线附近触发, 在向东向南移动过程中不断增强。

(2) 雷达回波由分散的对流单体合并加强, 强弓形出现时最大强度值超过 55 dBZ 、存在径向速度大值区和中层径向辐合等, 这些特征都预示地面大风的出现, 回波悬垂预示冰雹出现。

(3) 雷达反演的风场可以显示飚线的水平和垂直结构, 能指示飚线的出流、入流以及辐合区, 对指示飚线不同部位的发展趋势有重要指示意义。

(4) 地面风场局地辐合导致雷暴单体触发, 雷暴单体在不稳定的大气层结中获得快速发展, VDRAS 资料分析显示发展过程中 $0\sim 3 \text{ km}$ 的垂直风切变逐渐增强, 低层形成冷池, 热力不均匀区域扩大, 沿着扰动温度梯度大值区与风场辐合区, 新生对流向东

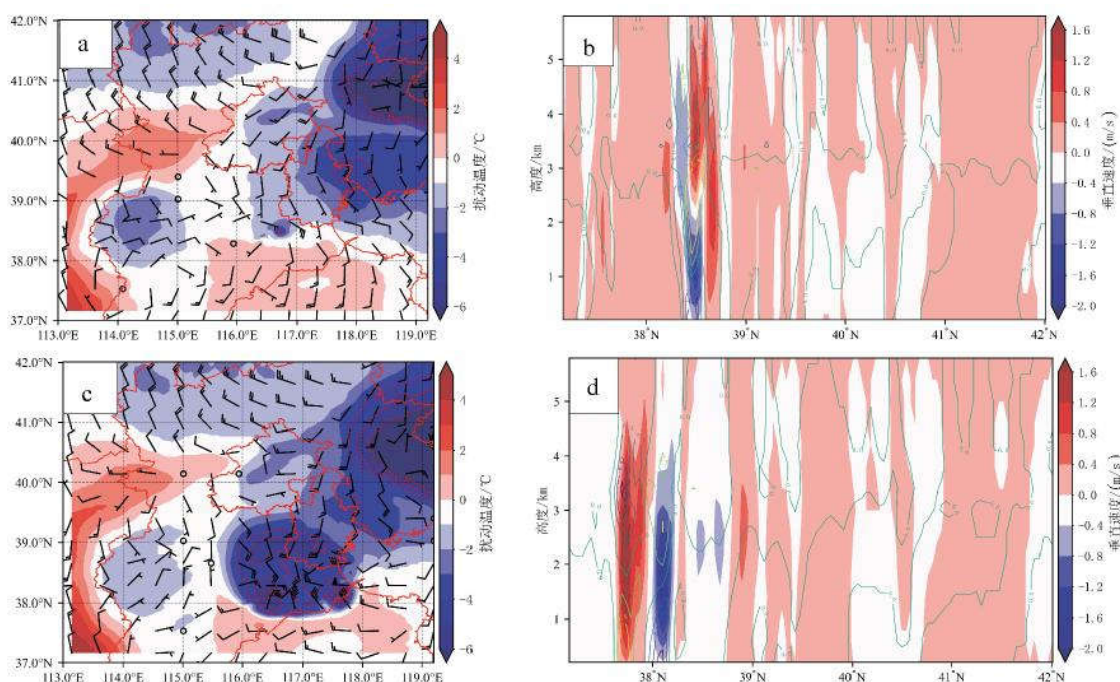


图 7 7月31日 20:12(a,b)和 22:12(c,d) 200 m 高度风场 (m/s) 和扰动温度 ($^\circ\text{C}$) (a,c) 以及沿 116.75°E 散度 (单位: 10^{-5} s^{-1}) 和垂直速度 (单位: m/s) 经向剖面 (b,d)

向南传播,分散对流单体合并演变为飑线。

(5)利用VDRAS 资料分析飑线发展阶段的热动力结构,倾斜上升气流与下沉气流形成垂直环流,下沉气流增强,冷池效应增强,低层环境垂直风切变也增强,环境条件的改变是飑线发展反馈的结果,同时新的环境条件驱动飑线向前移动与发展加强,VDRAS 资料的风切变和扰动温度变化可以指示飑线的发生发展变化。

参考文献:

- [1] VARBLE A, MORRISO H, ZIPSER E. Effects of under-resolved convective dynamics on the evolution of a squall line[J]. Monthly Weather Review, 2020, 148(1): 289–311.
- [2] WEN J, ZHAO K, HUANG H, et al. Evolution of microphysical structure of a subtropical squall line observed by a polarimetric radar and a disdrometer during OPACC in Eastern China[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2017, 122(15): 8033–8050.
- [3] WU C, LIU L, WEI M, et al. Statistics-based optimization of the polarimetric radar hydrometeor classification algorithm and its application for a squall line in South China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2018, 35(3): 296–316.
- [4] LU J, QIE X, JIANG R, et al. Lightning activity during convective cell mergers in a squall line and corresponding dynamical and thermodynamical characteristics [J]. Atmospheric Research, 2021, 256: 105555.
- [5] OGURA Y, LIOU M T. The structure of a midlatitude squall line: A case study [J]. J. Atmos. Sci., 1980, 37(3): 553–567.
- [6] MULHOLLAND J P, PETERS J M, MORRISON H. How does vertical wind shear influence entrainment in squall lines [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2021, 78(6): 1931–1946.
- [7] JOHN R H, HIRT W D. Derechos: widespread convectively induced wind-storms [J]. Wea. Forecasting, 1987, 2(1): 32–49.
- [8] 丁一汇, 李鸿洲, 章名立, 等. 我国飑线发生条件的研究 [J]. 大气科学, 1982, 6(1): 18–27.
- [9] 杨珊珊, 湛芸, 李晟祺, 等. 冷涡背景下飑线过程统计分析 [J]. 气象, 2016, 42(9): 1079–1089.
- [10] 张弛, 王咏青, 沈新勇, 等. 东北冷涡背景下飑线发展机制的理论分析和数值研究 [J]. 大气科学, 2019, 43(2): 361–371.
- [11] 罗琪, 郑永光, 陈敏. 2017 年北京北部一次罕见强弓状飑线过程演变和机理 [J]. 气象学报, 2019, 77(3): 371–386.
- [12] 张腾飞, 张杰, 张思豆, 等. 云南南支槽飑线雹暴中尺度特征及环境条件 [J]. 高原气象, 2018, 37(4): 958–969.
- [13] 雷蕾, 孙继松, 陈明轩, 等. 北京地区一次飑线的组织化过程及热动力结构特征 [J]. 大气科学, 2021, 45(2): 287–299.
- [14] 郑鹏飞, 黄健, 万齐林, 等. 一次华南海岸带台前飑线的结构特征与环境条件的观测研究 [J]. 热带气象学报, 2017, 33(6): 933–944.
- [15] 李曦. 2019 年 4 月 9 日四川东北部一次飑线大风的成因分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(4): 52–60.
- [16] 王周鹤, 赵建伟. 利用风廓线雷达资料分析大理机场飑线天气过程的风垂直变化特征 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(2): 75–80.
- [17] 段和平, 马中元, 湛芸, 等. 江西四次飑线雷达回波和风廓线产品特征分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(6): 75–82.
- [18] 张哲, 周玉淑, 邓国. 2013 年 7 月 31 日京津冀飑线过程的数值模拟与结构分析 [J]. 大气科学, 2016, 40(3): 528–540.
- [19] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展 [J]. 气象学报, 2012, 70(3): 311–337.
- [20] 郑永光, 田付友, 周康辉, 等. 雷暴大风与龙卷的预报预警和灾害现场调查 [J]. 气象科技进展, 2018, 8(2): 44–54.
- [21] 万夫敬, 孙继松, 孙敏, 梅婵娟, 杨凡. 山东半岛海风锋在一次飑线系统演变过程中的作用 [J]. 气象学报, 2021, 79(5): 717–731.
- [22] ROTUNNO R, KLEMP J B, WEISMAN M L. A theory for strong, long lived squall lines [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1988, 45(3): 463–485.
- [23] 李渝平, 农孟松, 梁维亮, 等. 基于 RKW 理论的广西一次飑线过程演变特征分析 [J]. 自然灾害学报, 2020, 29(2): 161–172.

Evolution and Development Mechanisms of an Arc-Shaped Strong Squall Line Occurring in the Center-south Part of Hebei Province Based on VDRAS Data

JI Xueshuai¹, DU Hui², ZHANG Xidan¹, HUANG Ruonan¹, GUO Hong¹, GUO Xuhui¹

(1.Zhangjiakou Meteorological Bureau, Zhangjiakou 075000, China;

2.Guangdong Technical Support Center of Meteorological Public Security, Guangzhou 510641, China)

Abstract Based on conventional meteorological data, ERA5 reanalysis data, Beijing VDRAS data and radar data, an arc-shaped strong squall line occurred in center-south part of Hebei province on July 31, 2021 was analyzed. It shows that: (1) The squall line occurred under the background of cold vortex, and the cold air behind the 500 hPa vortex superimposed with the 850 hPa warm ridge, which established unstable stratification and triggered near the ground convergence line. (2) The radar echo is strengthened by the combination of scattered convective cells, the maximum intensity value exceeds 55 dBZ when the strong bow appears, there is a region of large radial velocity and the middle layer of radial convergence, etc. These characteristics all indicate the appearance of strong wind on the ground, while the echo overhang indicates the appearance of hail. (3) The wind field retrieved by radar can show the horizontal and vertical structure of the squall line, and can clearly indicate the outflow, inflow and convergence area of the squall line, which is of great significance for indicating the development trend of different parts of the squall line. (4) The local convergence of the surface wind field led to the triggering of thunderstorm cells, and the thunderstorm cells developed rapidly in the unstable atmospheric stratification. During the development process, the vertical wind shear of 0–3 km gradually strengthened, the cold pool formed in the lower layer, and the thermal uneven area expanded. Along the large value area of the disturbance temperature gradient and the convergence area of the wind field, the new convection propagated eastward and southward, and the scattered convection cells merged and evolved into squall lines. (5) The wind field retrieved by radar can display the horizontal and vertical structure of the squall line, clearly indicate the outflow, inflow and convergence area of the squall line, and have important indicative significance to indicate the development trend of different parts of the squall line.

Key words arc-shaped; VDRAS; cold pool; radar echo; wind retrieved