

鲁西南一次暴雨过程特征和成因分析

陈艳丽

山东省菏泽市气象局, 山东 菏泽

收稿日期: 2024年6月14日; 录用日期: 2024年7月17日; 发布日期: 2024年7月24日

摘要

本文利用多种气象数据资料对2023年7月11~13日鲁西南地区一次暴雨过程的降水特征和成因进行分析, 进而得出鲁西南地区2023年7月11~13日暴雨过程的可能原因。研究表明, 这是一次副热带高压外围的暖湿气流和切变线共同影响下的强降水过程。副热带高压提供了不稳定能量和源源不断的水汽, 短波槽和低层切变线是动力条件, 造成了此次局地的大暴雨过程。中尺度模式预报对此次降水的极端性有很高的警示作用, 对于短时强降水的预报给予了很大的参考。暴雨极值中心位置和强度预报、小时极端强降水的预报预警能力还需要进一步地研究, 地形等是否对此次暴雨过程有影响仍需探究。

关键词

鲁西南, 暴雨, 特征, 成因

Analysis on the Characteristics and Causes of a Rainstorm in Southwest Shandong

Yanli Chen

Heze Meteorological Bureau of Shandong Province, Heze Shandong

Received: Jun. 14th, 2024; accepted: Jul. 17th, 2024; published: Jul. 24th, 2024

Abstract

The precipitation characteristics and causes of a rainstorm process in southwest Shandong on July 11~13, 2023 are analyzed by using a variety of meteorological data, and then the possible causes of the rainstorm process in southwest Shandong on July 11~13, 2023 are obtained. The research results indicate that this is a heavy precipitation process under the combined influence of warm and humid airflow and shear lines around the periphery of the subtropical high pressure. The subtropical high provides unstable energy and continuous water vapor. The short wave trough and low level shear line are dynamic conditions, which caused the local heavy rainstorm process. The

mesoscale model forecast has a high warning effect on the extreme nature of this precipitation and provides a great reference for short-term heavy rainfall forecasting. The prediction of the location and intensity of the extreme value center of rainstorm, and the prediction and early warning ability of hourly extreme heavy rainfall still need to be further studied, and whether topography has an impact on the rainstorm process still needs to be explored.

Keywords

Southwest Shandong, Rainstorm, Characteristics, Causes

Copyright © 2024 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

暴雨是多尺度天气系统相互作用的结果[1][2], 山东暴雨受东亚夏季风季节性北推的影响十分明显, 具有十分显著的特征。鲁西南地区位于山东西南部, 每年暴雨的总次数相对较少, 但是往往单次降雨强度大, 暴雨气象灾害对人民生命财产安全造成极大威胁。鲁西南暴雨过程出现的时间相对比较集中, 常出现在7~8月份, 且与地形的关系密切[3][4]。暴雨主要是由低涡、暖切变线和低槽冷锋等天气系统引发的, 最常见的环流形势是在长波槽前, 下游有高压脊, 可以使得上游的槽移动减慢或停滞, 这种东高西低的环流形势也是山东暴雨最基本的形势。2023年7月11~13日鲁西南地区的强降雨过程是发生在西太平洋副热带高压边缘的一次区域性大暴雨过程。对于暴雨的研究已经取得了一定的进展, 杨贵名等[5]指出气旋附近的强降水增强与冷空气的侵入关系密切, 并且出现在假相当位温线密集的地带。梁丰等[6]的研究也表明, 气旋暴雨的落区具有很强的不稳定性, 而且降水的分布具有不均匀性, 强降水中心主要与中尺度的对流云团有关。已经有许多的学者针对华北地区极端强降雨过程开展了相关研究[7][8], 不仅揭示了降水精细化的演变特征, 还指出高低空系统的耦合和低纬度系统的相互作用是造成暴雨过程的主要原因, 同时强降水与低涡的正反馈作用使得降雨能够长时间维持。

研究表明, 暴雨往往是在有利的大尺度天气背景下, 在大尺度动力、热力、水汽条件有利的情况下, 除了切变线、冷锋等系统可以触发中小尺度的对流从而形成暴雨外, 由风的垂直切变产生的水平涡度对大范围暴雨天气的形成也有重要的影响。2023年7月11~13日鲁西南地区西太平洋副热带高压边缘的一次区域性大暴雨过程的降雨特征和成因是本文主要研究的问题。

2. 资料和方法

本文利用地面自动气象观测站降水观测数据、高空地面观测数据、探空观测数据以及多普勒天气雷达数据等资料对2023年7月11~13日鲁西南地区这次暴雨过程的特征、环流形势和成因进行了详细的分析, 初步探讨了这次暴雨过程的可能成因, 旨在进一步提高对鲁西南暴雨天气过程的认识, 为业务降水精细化预报提供一定的理论依据。

3. 暴雨特征分析

受副高边缘暖湿气流和切变线共同影响, 7月11日下午至13日鲁西南地区出现大范围强降水, 多地出现暴雨部分地区出现大暴雨(图1)。其中, 鲁西南平均降水量62.5毫米, 降水量呈现南多北少特征,

最强降水时段位于 12 日白天至夜间，最大降水量 200.9 毫米，出现在曹县楼庄，小时降水量菏泽巨野营里最大为 89.2 毫米，出现在 12 日 17~18 时。

7 月 12 日 08 时至 13 日 08 时，鲁西南地区降水量最大值位于巨野章缝，达到 195.4 mm，普遍出现 7~10 级的阵风，其中，菏泽市定陶杜堂站最大达到 10 级(26.2 m/s)，出现在 7 月 11 日 19 时 41 分。全省 9 级以上的大风 8 个站，鲁西南地区占 4 个。

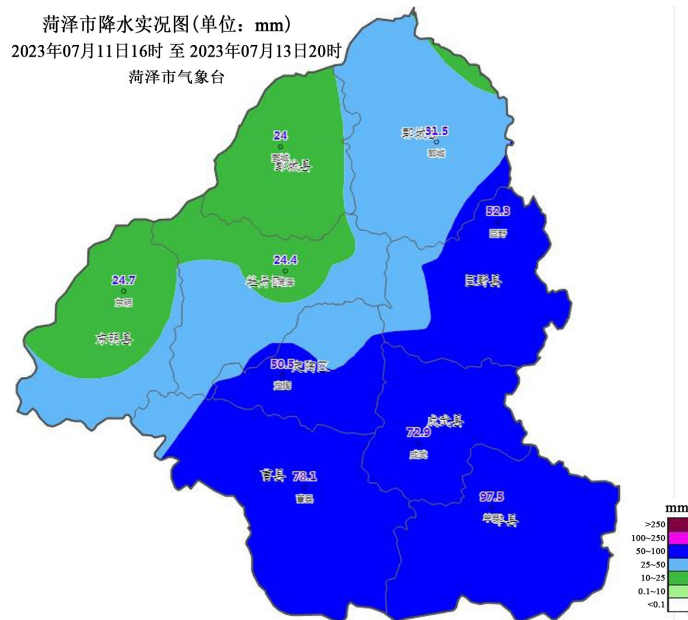


Figure 1. Precipitation map of southwest Shandong from July 11 to 13, 2023
图 1. 2023 年 7 月 11~13 日鲁西南降水实况图

此次降雨过程持续时间长，极端性强，累积雨量大，具有阶段性和持续性特点(图 2)。本次降水过程的阶段性非常强，且具有一定的持续性。从风场的演变可以看出具有间歇性，当有弱冷空气或者是气旋性环流过境时，分钟级降水就会突然增大；当风场变为南风时，降水会有短暂性的停歇。

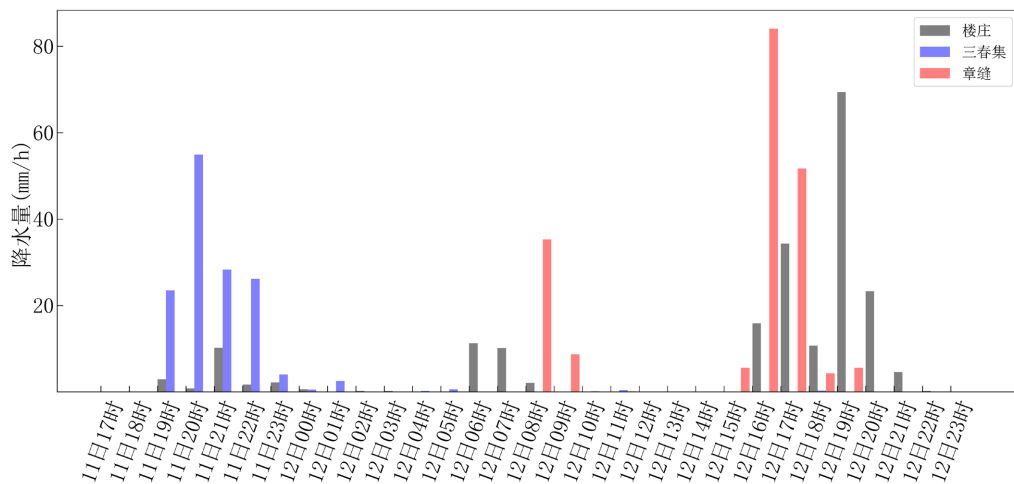


Figure 2. Time evolution of precipitation in Louzhuang, Sanchunji and Zhangfeng
图 2. 楼庄、三春集和章缝降水量时间演变

4. 暴雨天气过程成因分析

11日高纬度地区为两槽一脊的环流形势，西太平洋副热带高压位于海上稳定少动，阻碍了短波槽的快速东移，而高纬度高空槽后的弱冷空气不断南下，又提供了上升运动的动力条件(图3)。南支槽前西南地区到黄淮地区有西南急流，鲁西南地区处于西南急流北端，有明显的暖式切变线，受副高边缘西南暖湿气流和切变线影响，鲁西南将有一次明显降水过程。

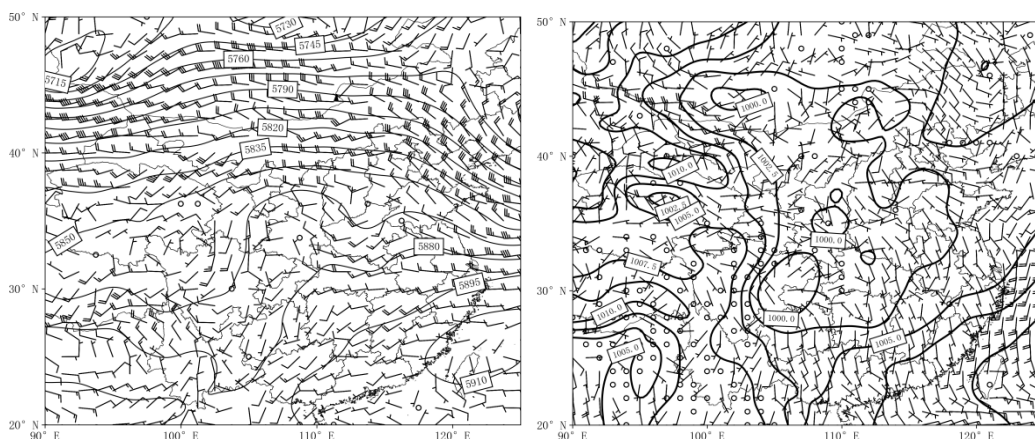


Figure 3. Weather situation at 21:00 500 hPa (left) and surface (right) on the 11th
图 3. 11 日 21 时 500 hPa (左)和地面(右)天气形势图

11日从 850 hPa 的图上可以看出，在山东的中部有暖湿切变线，副高外围的西南急流强，可以达到 12 m/s 以上，向山东源源不断地输送水汽。山东整体的比湿也在 12 g/kg 以上，水汽含量丰富。从 850 hPa 水汽通量和整层可降水量图可以看出，来自南海和太平洋的水汽源源不断向山东输送。不稳定能量充沛，CAPE2000 J/kg，K 指数基本 32 以上，850~500 温差在 26℃ 以上。200 hPa 高空急流抽吸作用，辐合抬升有利于不稳定层结的建立。12 日，500 hPa 有新的短波槽东移影响山东。850 hPa 比湿山东西部达到了 18 g/kg，切变线在山东中部建立，垂直上升运动明显，整层水汽通量散度增强，水汽辐合更为明显，整层水汽通量的大值区中心不断向东移动，形成强的辐合中心。

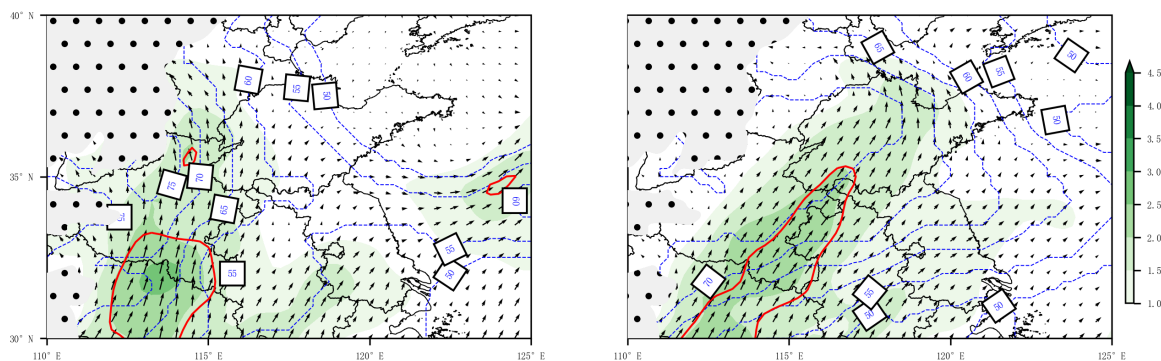


Figure 4. 850 hPa wind field (arrow), water vapor flux (colored, unit: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), and whole layer atmospheric precipitation (blue contour line, unit: mm), topographic distribution map (shaded) at 21:00 on July 11, 2023 (left) and 17:00 on July 12, 2023 (right). The red line in the figure represents the $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wind speed contour line

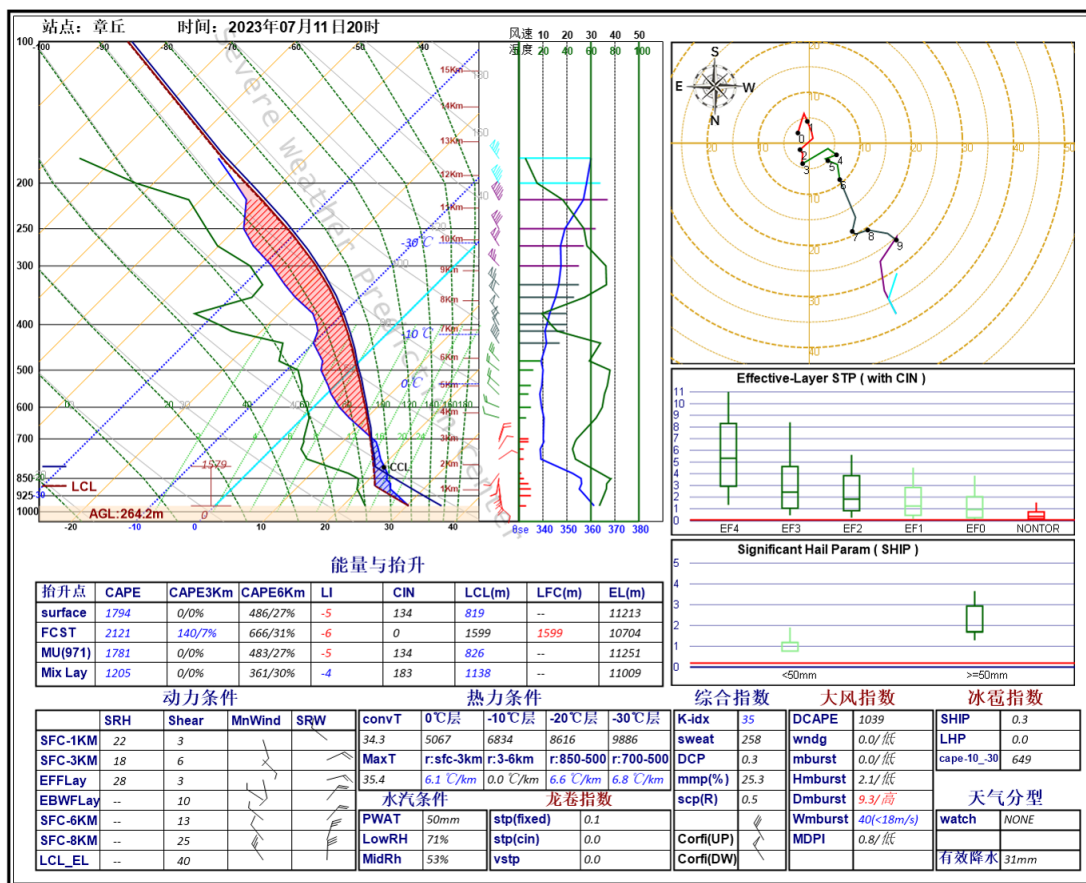
图 4. 2023 年 7 月 11 日 21 时(左)和 12 日 17 时(右) 850 hPa 风场(箭头)、水汽通量(填色, 单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)和整层大气可降水量(蓝色等值线, 单位: mm)、地形分布图(阴影), 图中红色线为 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速等值线

通过逐小时分析水汽通量和整层大气可降水量 PW (图 4), 11 日 08 时, 从西南到河南南部有西南低空急流, 对应从西南到黄淮地区 $1.5\sim 2.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽输送通量, 鲁南地区 PW 为 55 mm。11 日 09~18 时低空急流逐渐减弱, 由于西南气流持续向北输送水汽, 鲁西南地区 PW 持续增长, 至 11 日 17 时鲁西南地区 PW 增强至 60 mm。

11 日 17 时后西南低空急流再次发展, 至 11 日 21 时, 850 hPa 西南低空急流北抬至河南南部, 低空急流带对应有 $2.5\sim 3.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽通量, 鲁南地区 PW 增强至 65~70 mm。第一阶段降水结束后至 12 日第二阶段主要降水开始时, 西南低空急流及水汽通量仍有减弱和增强, 但鲁西南地区 PW 持续增长。12 日 17 时, 低空急流北抬至鲁西南地区, 鲁西南处于低空急流的北端左侧, 低空急流带内对应有 $2.5\sim 3.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽通量, PW 增强至 75 mm。水汽通量与低空风速有显著关联, 低空偏南气流和西南低空急流为降水提供了充足的水汽。

7 月 11 日 08 时, 从西南到黄淮地区有显著的西南气流, 对应从西南向河南的水汽输送通道。河南中部的暖式切变线附近有呈东西向带状分布的水汽通量辐合区。短波槽和切变线东移, 11 日 17 时, 第一阶段降水开始时, 切变线附近的整层水汽通量辐合强度大, 鲁西南处于水汽通量辐合大值区边缘。

11 日 21 时东明三春集出现最强降水时, 850 hPa 低空切变线消失, 转为偏南气流控制, 鲁西南地区西部水汽通量散度为负, 该时次降水主要集中在河南太行山脉前和鲁西南地区西部。12 日 17 时, 河南和河北交界地区形成低涡环流, 鲁西南处于低涡东南象限、暖切南部的低空急流带左侧, 沿低空急流鲁西南至河南东部有呈东北 - 西南向的水汽通量辐合带, 该时次鲁西南地区降水与水汽通量散度同样呈东北 - 西南向分布。整层水汽通量散度对本次过程的强降水区域指示意义较好。



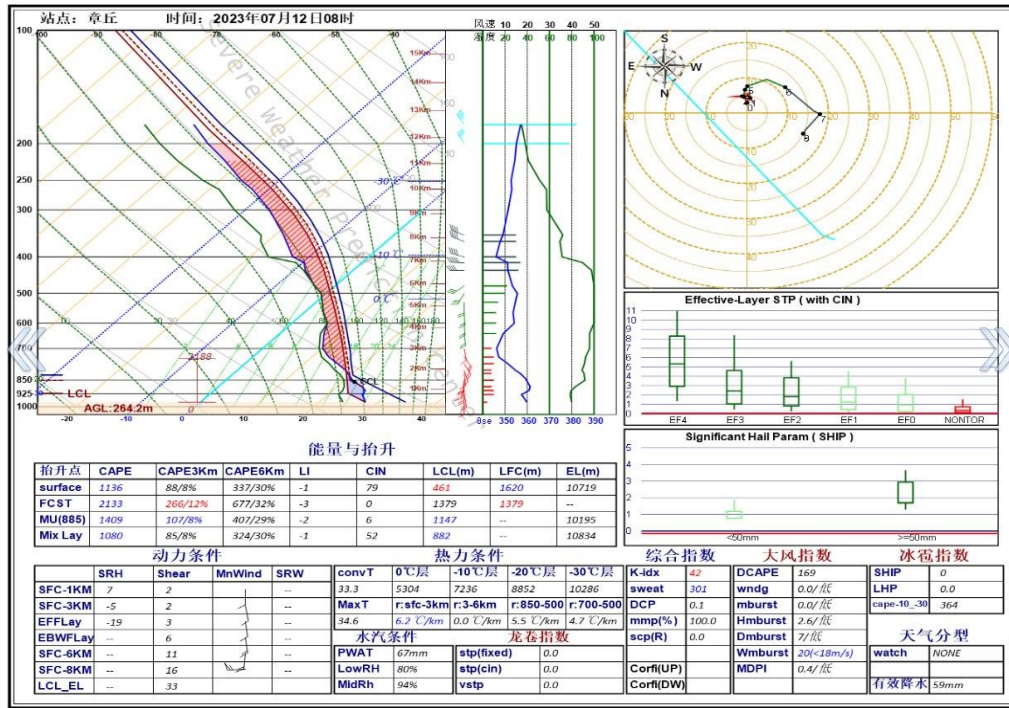


Figure 5. Zhangqiu T-lnP map at 20:00 on July 11, 2023 (up) and 08:00 on July 12, 2023 (down)
图 5. 2023 年 7 月 11 日 20 时(上)和 12 日 08 时(下)章丘 T-lnP 图

从 T-lnP 图(图 5)可以看到, 对流有效位能 CAPE 值非常大, 且呈现狭长型, 风向的垂直切变很强, 空气中的不稳定能量充足, 水汽含量很高, 有利于暴雨的发生。从雷达组合反射率的图中可以看出(图 6), 此次强降水过程中多积云对流活动, 且受到列车效应的影响, 局地出现了极端降水。水汽通量辐合大值区内有雷达降水回波后向传播和新生对流, 东北部和西南部回波最后合并为带状降水回波, 12 日 17 时边界层为偏南风, 850 和 700 hPa 为西南急流, 热成风方向为西南风, 向东移动且与低空急流和站点夹角较小, 且有一定的列车效应。

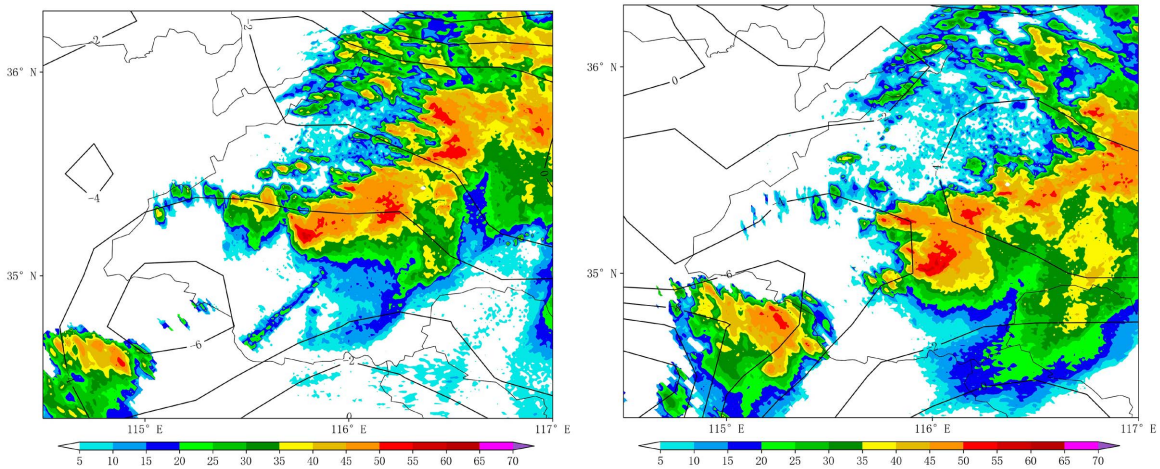


Figure 6. On July 12th at 17:00, the divergence of water vapor flux throughout the entire layer and the radar combined reflectivity factor from 16:00 to 17:00 (left), and the radar combined reflectivity factor from 17:00 to 18:00 (right)
图 6. 7 月 12 日 17 时整层水汽通量散度和 16 时~17 时雷达组合反射率因子(左)及 17 时~18 时雷达组合反射率因子(右)

5. 结论

这是一次副高边缘外围的暖湿气流和切变线共同影响下的区域性强降水过程。副高提供了不稳定能量和源源不断地水汽，短波槽和低层切变线是动力条件，造成了此次局地的大暴雨过程。降水过程主要分为两个阶段。第一阶段降水主要影响系统为 500 hPa 短波槽，第二阶段是出现低涡东南部低空急流带附近的暖区降水。

整层水汽通量散度对强降水区域有较好的指示意义，在沿低空急流的带状水汽通量辐合区内有雷达降水的后向传播和新生单体的快速发展，最后形成沿低空急流的带状降水回波，带状回波移动方向与低空急流夹角较小，从而形成列车效应。

中尺度模式预报对此次降水的极端性有很高的警示作用，对于短时强降水的预报给予了很大的参考。暴雨极值中心位置和强度预报、小时极端强降水的预报预警能力需要进一步研究，地形等是否对此次降水过程有影响仍需探究。

参考文献

- [1] 丁一汇, 李吉顺, 孙淑清, 等. 影响华北夏季暴雨的几类天气尺度系统分析[C]// 中国科学院. 中国科学院大气物理研究所集刊(第 9 号), 暴雨及强对流天气的研究: 1980 年卷. 北京: 科学出版社, 1980: 1-13.
- [2] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [3] 郝莹, 姚叶青, 等. 短时强降水的多尺度分析及临近预警[J]. 气象, 2012, 38(8): 903-912.
- [4] 张文龙, 崔晓鹏. 近 50a 华北暴雨研究主要进展[J]. 暴雨灾害, 2012, 31(4): 384-391.
- [5] 杨贵名, 毛冬艳, 姚秀萍. “强降水和黄海气旋”中的干侵入分析[J]. 高原气象, 2006, 25(1): 16-28.
- [6] 梁丰, 陶诗言, 张小玲. 华北地区一次黄河气旋发生发展时所引起的暴雨诊断分析[J]. 应用气象学报, 2006, 17(3): 257-265.
- [7] 陆婷婷, 崔晓鹏. 北京两次特大暴雨过程观测对比[J]. 大气科学, 2022, 46(1): 111-132.
- [8] 符娇兰, 马学款, 陈涛, 等. “16·7”华北极端强降水特征及天气学成因分析[J]. 气象, 2017, 43(5): 528-539.