

一次秋季暴雨天气成因分析

范俊红¹ 郭树军¹ 王世彬² 李 芸³

(1. 河北省气象局, 石家庄 050021; 2. 黄骅港水文气象站; 3. 山东省气象局)

提 要

利用常规气象资料、山东济南 WSR-98D 雷达资料等, 分析了 2003 年 10 月 9~12 日的高空环流形势、地面气压场、物理量场、单站降雨量随时间的演变、组合反射率与基本速度图等。结果表明: (1) 稳定的 500hPa 环流形势是造成暴雨的必要前提; (2) 暴雨区内的水汽供应主要是边界层内的水汽通量辐合造成的; (3) 地面中尺度气旋的徘徊打转使气旋北部长时间维持强烈辐合运动, 与高层辐散形成的“抽吸作用”, 造成暴雨区强烈的上升运动; (4) 沧州站每小时降水量的两个峰值分别与两支低空急流的交汇、地面中尺度气旋强烈发展时刻相对应。

关键词: 暴雨 低空急流 中尺度气旋 锋生作用 物理量场

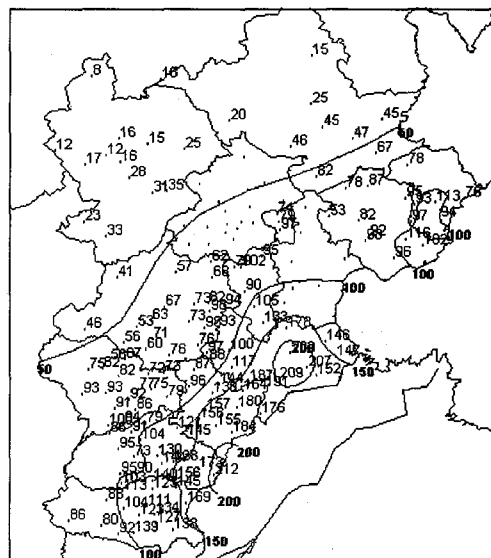
引 言

2003 年 10 月 9~12 日, 河北省出现了当年最强的一次降雨过程, 此次过程强度之大, 暴雨范围之广创历史同期极值。10 月 9 日 08 时~13 日 08 时(北京时, 下同)的雨量统计显示(图 1), 整个过程降水量有 70 个县市在 50~99mm 之间; 49 个县市雨量超过了 100mm; 4 个县市超过 200mm, 其中临西县雨量最大达 211.5mm。同时, 全省大部分地区还出现了 5~6 级偏北风, 渤海西部海面及沿海地区出现了 7~8 级东北风, 阵风达 10~11 级左右, 使渤海湾海面异常升高, 与天文高潮叠加, 10 月 10 日 16 时~12 日 08 时, 沧州沿海出现风暴潮。11 日 04 时 12 分, 黄骅港最高潮位达 569cm, 超过风暴潮成灾标准。泊头、献县、吴桥、孟村、青县、东光等县市均因强降水、大风、风暴潮而受灾, 损失严重, 对工农业生产和人民生活造成了一定影响。

1 降水过程简述

此次降雨过程分为三个阶段, 第一阶段为冷锋锋前降水, 发生在 9 日白天, 为暖区不稳定降水, 河北省大部分地区以雷雨或零星阵雨为主。

第二阶段为暴雨、大暴雨降水阶段, 是由



第三阶段降水是从11日夜间开始的,受 40°N 附近500hPa第二个短波槽前暖湿气流与低层偏东气流冷垫形成的高空暖锋降水结构影响^[1],降水又一次增幅,但降水强度较第二阶段小得多。

2 暴雨成因分析

2.1 稳定的高空环流形势

10月9~12日期间,乌拉尔山高压脊呈东北—西南走向,脊前吹东北风,与副高北沿的偏西气流形成横槽,横槽从贝加尔湖西伸到巴尔喀什湖附近。横槽中在萨彦岭附近维持一低压,配合 -36°C 的冷中心(9日08时500hPa冷中心强度为 -40°C);东亚中纬度地区环流平直;印缅地区为低槽控制;副高较常年偏强。从萨彦岭附近冷性低压中不断有冷空气沿 40°N 以北东移,遇长白山折向南、西南,经渤海侵入华北平原(以下简称回流冷空气);南支槽东移,槽前西南气流将暖湿空气不断地向北输送,为华北暴雨区提供了源源不断的水汽。500hPa环流形势稳定,使降水维持较长时间,从而使降水量在秋季达到暴雨、大暴雨的标准(图2)。从单站降水情况来看,沧州、邢台两站的降水均持续了两天左右。

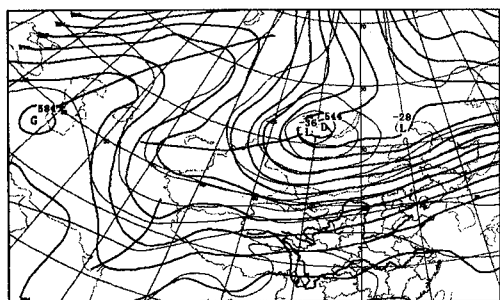


图2 2003年10月9日08时~12日08时的
500hPa平均高度、温度场
粗实线:高度场;细实线:温度场

2.2 低空急流

2.2.1 两支低空急流的建立及演变

10月9日20时700hPa上,从萨彦岭附近冷性低压底部的锋区渗透的冷空气沿河西走廊与南支槽前西南暖湿气流交绥,在四川西北部形成西南涡;同时副高偏强,其外围的312线在 32°N 附近西伸至 110°E 以西。随

着500hPa南支槽的东移,西南暖湿气流加强,西南涡东移北上,加上副高的阻挡,10日08时,西南涡与副高之间西南风逐渐加大,一支 $8\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南急流从四川东部,穿过重庆、陕西中南部、湖北西部、河南西部到河北南部。10日20时,700hPa图上,西南风急流加强东移、范围扩大,急流区穿过云南、贵州、湖南西部、湖北、河南、安徽北部、山东西部、河北中南部,并且在河北省中部到渤海有暖切变线生成,沿西南急流输送的水汽在切变线附近辐合。11日08时,700hPa高空图上,西南急流减弱东移, $12\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流带位于安徽、山东。

从地面到925hPa高空,在浙江省的北部、江苏省、山东省南部从9日20时开始为东南风控制,并且风速随时间逐渐加大,到10日20时,1000hPa的东南风风速加大到 $8\sim 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,形成东南风急流。从12日08时开始,由于冷空气南压,1000hPa的东南风逐渐减弱消失。

2.2.2 两支低空急流对水汽的输送

700hPa西南、1000hPa东南低空急流的建立使这次暴雨过程有两条水汽通道。从图3(a、b)可以看出,西南水汽通道中,9日20时~12日08时华北东南部暴雨区的 $850\sim 700\text{hPa}$ 平均水汽通量为 $(5\sim 7)\times 10^{-1}\text{g}\cdot(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})^{-1}$ 之间,平均水汽通量散度为 $(-2\sim -8)\times 10^{-7}\text{g}\cdot(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm}^{-1})^{-1}$ 之间;边界层内东南水汽通道中,9日20时~12日08时华北东南部暴雨区的 $1000\sim 925\text{hPa}$ 平均水汽通量为 $(5\sim 10)\times 10^{-1}\text{g}\cdot(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})^{-1}$ 之间,平均水汽通量散度为 $(-6\sim -12)\times 10^{-7}\text{g}\cdot(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm}^{-1})^{-1}$ 之间。由此可以看出,暴雨区内的水汽主要集中在边界层内,并且暴雨区与边界层内平均水汽通量辐合带走向一致,有很好的对应关系。所以说,边界层内东南风急流对暴雨的产生起了很大的作用,暴雨区内的水汽供应主要是边界层内的水汽通量辐合造成的^[2]。

2.2.3 两支低空急流的配合使降水量突增

当700hPa西南低空急流加强东移,与1000hPa东南低空急流的前端在10日20时

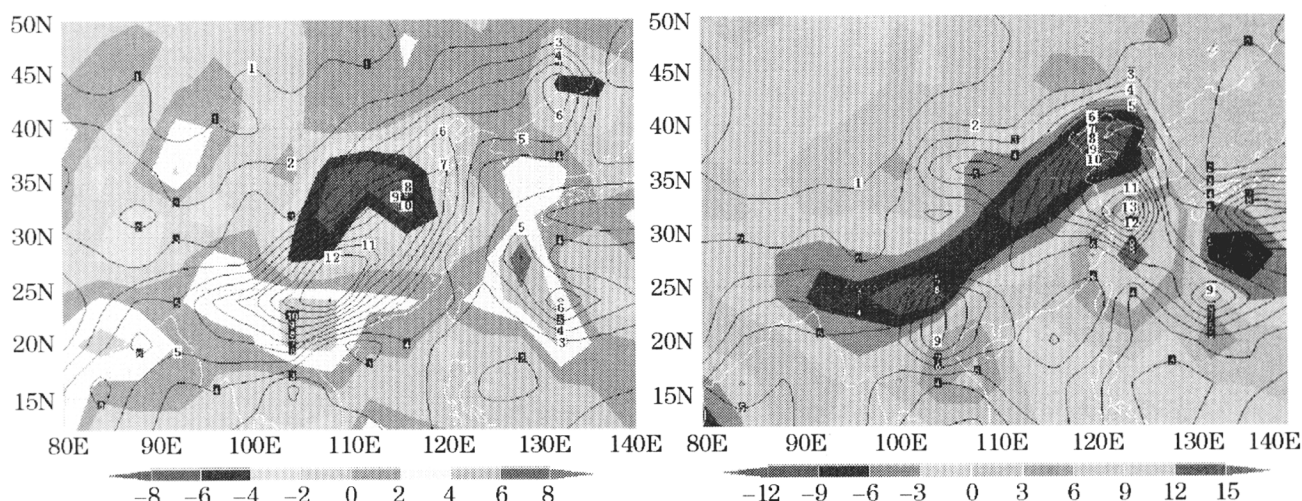


图3 2003年10月9日20时~12日08时850~700hPa平均水汽通量(等值线,单位: $10^{-1} \text{g} \cdot (\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})^{-1}$)和平均水汽通量散度(阴影区,单位: $10^{-7} \text{g} \cdot (\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})^{-1}$)(a)、1000~925hPa平均水汽通量和平均水汽通量散度(b)

交汇于华北东南部时,使华北东南部地区低层辐合运动加强,同时也加强了暴雨区的水汽输送,导致该地区夜间降水量突增,暴雨区发生在这两支急流交点的北侧。此时,沧州站每小时降雨量出现第一个峰值,10日19~20时,沧州站雨强为 $15.5 \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$,为整个暴雨过程中雨强最大值。

2.3 锋生作用

从1000hPa冷、暖平流的移动路径来看(图略),冷平流中心在 40°N 以北东移,受长白山阻挡,沿东北平原折向南下。11日08时,冷平流中心移至河北与辽宁的交界处,中心值为 $-20 \times 10^{-4} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$;由于低空急流对暖湿气流输送,位于山东半岛的暖平流中心逐渐加大,11日08时,暖平流中心值为 $20 \times 10^{-4} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 。冷暖平流的加强逼近,使得华北中南部地区南北向的位温梯度加大,产生锋生作用。900hPa以下即边界层内 $36 \sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间温度平流密集,边界层锋生作用比较强,而且暖气团沿冷气团向北爬升,加强了上升运动(图略)。

2.4 中尺度气旋

2.4.1 中尺度气旋的生成与发展

10日02时地面图上,日本高压西部的东南暖湿气流与河北南部的弱冷空气在河北东南部交汇形成倒槽。随着两支低空急流对暖湿气流输送的加强,暖平流加强。同时回流冷空气沿东北平原向西南侵入华北。11

日08时,由于边界层明显的锋生作用,使倒槽内有一地面中尺度气旋强烈发展。

11日08时,地面中尺度气旋在鲁西北生成,中心气压为997.9hPa,对应沧州每小时降水量的第二个峰值,11日07~08时,雨强为12.7mm。由于回流冷空气补充南侵,地面中尺度气旋进一步加强,11日14时发展最强,中心气压为995.2hPa,并且气旋中心南移至鲁西南。之后由于西南低空急流的东移减弱,中尺度气旋减弱东移,于12日08时从江苏北部东移入海(图略)。

由于中尺度气旋在山东境内徘徊打转,使得冀鲁交界处长时间维持较强的上升运动。从11日08时的散度场沿 116°E 高空剖面图(图略)可以看出,在 $35 \sim 38^{\circ}\text{N}$ 附近,925hPa有 $-30 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ 的辐合中心,而250hPa高空有 $45 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ 的辐散中心。从11日08时的上升速度沿 116°E 的高空剖面图(图略)可以看出,在 36°N 附近700~500hPa上升速度达到 $-50 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。中尺度气旋北部强烈辐合、高层辐散形成的“抽吸作用”造成强烈的上升运动,保证了较大的降雨强度。

2.4.2 雷达回波特征

从组合反射率图(图4a,封三)可以看出,此次降水的雷达回波主要为片状结构的层状云,层状云中夹杂着不稳定降水的小的块状回波,对应中尺度雨团,回波强度最大为

40~45dBz。10日下午到夜间,随着700hPa急流的发展东移,块状回波沿700hPa急流在河北省从西南向东北方向移动,强度加强、范围扩大。11日08时,随着地面中尺度气旋在鲁西北生成,块状结构的强回波主要分布在济南的北部(图4a,封三),之后块状回波沿500hPa气流向东北移动、强度减弱、范围缩小。

从2003年10月11日7时44分的基本速度图(图4d,封三)可以看出,在济南的东部和北部有一对正、负速度中心,强度较弱,对应地面中尺度气旋。11日12时10分的基本速度图(图4b,封三)中,在济南的南北方向有一对正负速度中心,并且在正速度中心的南部有大范围的负速度,说明有非常强的辐合。之后济南南部的负速度逆时针旋转与济南北部的负速度中心重合,正、负速度中心强度加大,说明地面中尺度气旋仍然存在,并且从11日22时24分的基本速度图(图4c,封三)中可以看出,零速度线呈S型说明有明显的暖平流。

3 结 语

(1)稳定的500 hPa高空环流形势使低空急流、低层切变、地面中尺度气旋维持时间较长,从而使降水持续时间长,达到暴雨、大暴雨的量级。

(2)两支低空急流的建立,使700~850

hPa西南风、边界层东南风形成两条水汽输送通道。暴雨区内的水汽供应主要是边界层内的水汽通量辐合造成的。同时两支低空急流的配合使降水量突增,对应沧州站每小时降水量的第一个峰值。

(3)强回流冷空气与西南暖湿气流相向而行,在边界层产生明显锋生作用,使地面槽内产生地面中尺度气旋。由于地面中尺度气旋在山东境内徘徊打转,使得冀鲁交界处长时间维持较强的上升运动,保证了大的降雨强度。使沧州站每小时降水量出现第二个峰值。

(4)由于暖湿气流偏强,所以这次过程与典型的华北地区回流降水^[4]在降水量级及降水中心位置有所不同。

致谢:感谢马瑞隽高工对本文的指导,感谢山东省气象局朱君鉴提供雷达资料。

参考文献

- 1 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等. 天气学原理与方法. 北京:气象出版社,2000:220~222,319~396.
- 2 游景炎,段英,游来光. 一次回流降水过程的中尺度分析. 云降水物理和人工增雨技术研究. 北京:气象出版社,1994:29~34.
- 3 游景炎. 渤海湾风暴潮的时空分布. 河北气象,1995,14(4):1~6.
- 4 景华,尤凤春,张迎新. 河北省回流降水天气特征和预报. 河北气象,1997,16(1):1~3.

Analysis of Synoptic Cause of a Heavy Rainfall Event in Autumn

Fan Junhong¹ Guo Shujun¹ Wang Shibin² Li Yun³

(1. Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang, 050021;

2. Huanghua harbor Hydro-meteorological station;

3. Shandong Meteorological Observatory)

Abstract

Based on the conventional meteorological data and WSR-98D radar data of Jinan, Shandong province, the upper air circulation, physics diagnostic field, the evolution of hourly precipitation with time, the base velocity and composite reflectivity, and so on are analyzed. The conclusions are as follows: (1) The stable upper air circulation at 500 hPa is the essential factor. (2) The convergence of vapor flux in the boundary layer is the source of water vapor. (3) The strong ascending motion is caused by "pumping" which is formed by strong convergence occurs in the north of the meso-scale cyclone and upper air divergence at high levels, (4) The meeting of two low-level jets makes the first hourly precipitation peak and the development intensively of meso-scale cyclone which makes the other hourly precipitation peak of Cangzhou station.

Key Words: low-level jet meso-scale cyclone frontogenesis

《一次秋季暴雨天气成因分析》附图

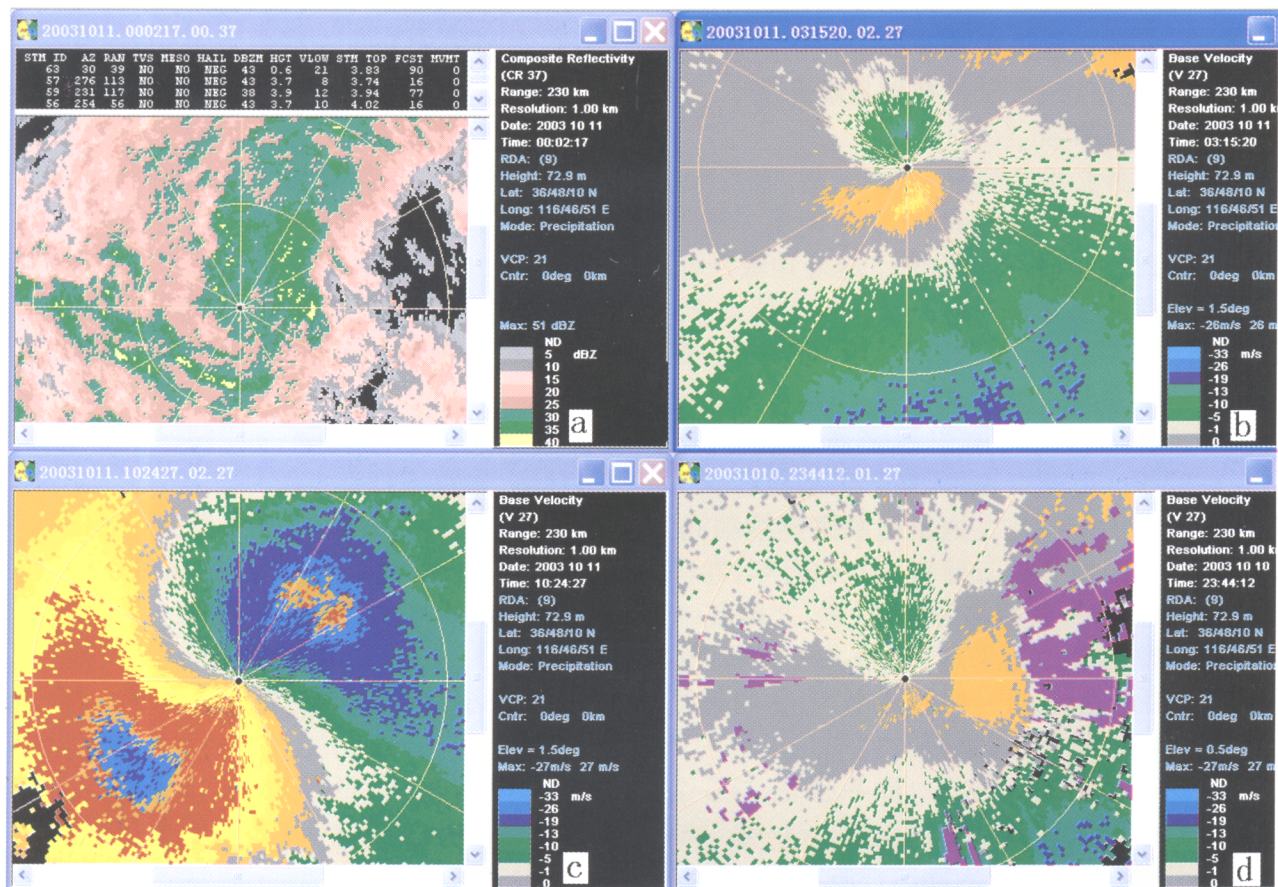


图 4 2003 年 10 月 11 日济南 WSR-98D 雷达组合反射率和速度回波