

# 鲁北一次前倾槽引发的局地暴雨成因浅析<sup>①</sup>

王凤娇 吴书君 蒋显红

冯桂力 陈文选

(山东滨州市气象局, 256612)

(山东省气象科学研究所)

## 提 要

通过对常规气象资料、卫星云图和多普勒雷达资料的分析,指出当高空槽超前于地面冷锋,在高空槽附近不稳定能量积累的背景下,生成的后向移动的中尺度系统,是造成鲁北 2000 年 7 月 22 日暴雨的原因。

关键词: 暴雨成因 低槽 冷锋 中尺度对流系统 雷达回波

## 引 言

低槽冷锋和气旋是造成山东暴雨的主要天气系统,尤其是小范围暴雨主要是低槽冷锋造成的<sup>[1]</sup>。2000 年 7 月 22 日凌晨到中午,黄河下游的鲁北地区出现了一次强雷雨天气过程,强降水集中在黄河两岸南北 40km、东西 300km 的狭窄地带,有 7 个站 6 小时降水量超过了 50mm,其中博兴、济阳超过了 100mm。柳林等<sup>[2]</sup>曾对中尺度复合体影响鲁西北地区,形成暴雨的环境物理场等特征进行过分析。本文利用常规气象资料、卫星云图和多普勒雷达资料分析了这次强降水过程的形成、发展,重点研究系统演变和移动的环境场条件,探讨此次暴雨天气过程产生的原因。

## 1 天气系统及环境场分析

### 1.1 高空和地面形势

在 7 月 21 日 08 时(北京时,下同) 500hPa 图上,副高位置偏北,控制了新疆以东 30~41°N 的广大地区,在德州到武汉附近有一竖槽,东北低涡中心位于漠河附近,其南部槽西伸到呼和浩特;中层有切变线,位于济南到兰州一带,中低层的东北低涡和槽较高层偏前约一个纬度,槽后冷空气较偏北,自南海到鲁北有西南急流,将水汽和能量输送到黄河下游地区。此时地面河套以东地区为鞍形场,冷锋从通辽经北京北部伸到东胜北部。

受移动缓慢的东北低涡的挤压,20 时华

北南部的 588 线南撤到济南附近,中高层的切变也减弱消失;移速较快的中高层槽的南段已过济南并超过低层槽,成为前倾槽(图 1),低层偏南急流则继续维持;地面冷锋刚过北京,强度已开始减弱。由于高空槽后有干冷平流侵入、低层冷锋前有暖湿平流输送,使得华北南部大气层结的不稳定度进一步加强,更利于强对流性天气的发生。从降水自

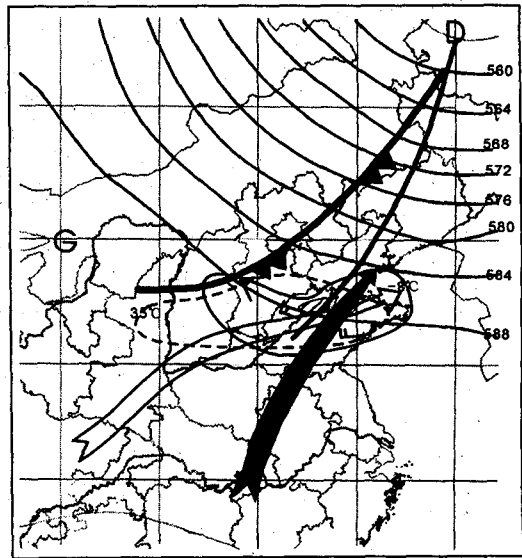


图 1 2000 年 7 月 21 日 20 时天气形势综合图  
实箭头:低空偏南急流,空箭头:850hPa 假相当位温极大轴,细实线区:850 与 500hPa 假相当位温差小值区,细虚线区:K 指数大值区

<sup>①</sup> 本文由上海区域气象中心集资基金资助课题“新一代多普勒天气雷达强对流天气预警技术研究”资助

记分析,鲁北的强降水出现在 02 时以后到 13 时的时段内,正是冷锋减弱逼近鲁北、弱冷空气在锋消后扩散南下影响黄河下游之前的时间。因此这是一次典型的低槽冷锋暴雨过程<sup>[1]</sup>。

### 1.2 不稳定层结

7月21日08时鲁北位于从四川经济南到成山头的高能舌中,济南500hPa的 $\theta_{se}$ 高达74.2℃,且自下而上随高度增加而减小,即500hPa以下均为不稳定层结。20时高空槽由后倾变为前倾,济南850hPa与500hPa的 $\theta_{se}$ 之差也由08时的-2.7℃减小到-10.7℃,位势不稳定度进一步加大,周边地区的层结也处于极不稳定状态(图1),极利于对流性天气的产生。到22日08时高空槽虽仍然前倾,但济南850hPa与500hPa的 $\theta_{se}$ 之差已增大到-5.1℃,说明随着降水的出现不稳定能量已经开始释放。

### 1.3 强高能平流

K指数是衡量大气中潜在能量多少的一种指标, $K > 20℃$ 就有出现雷暴的可能, $K > 35℃$ 即具备出现大片雷雨的条件<sup>[3]</sup>。济南21日08时K值已达30℃,随着高空槽的前倾、能量也在不断积累,到22日08时K值

升至37℃,且华北南部均为35℃以上的高能区(图1),说明该区域已积蓄了产生成片雷雨所需的较高潜能。随着弱冷空气的南移,地面辐合区也南压到鲁北地区,雷雨的出现和加强成为必然。

## 2 云图特征

从连续每小时一张的红外云图(下简称云图)分析,这次暴雨过程是一个中尺度对流系统(MCS)自东北向西南移而形成的。

### 2.1 MCS的生成背景

7月21日09时前,低槽冷锋云系呈东西带状,维持在我国40~42°N之间。09时32分云带开始缓慢南压并有所减弱,以中高云为主、结构较松散的低槽云系移动略快,从以低云为主的锋面云系中逐渐移出、转竖,到22日00时25分已完全覆盖山东,但山东各站均无降水;此时锋面云系开始接近鲁北,118°E以东多对流单体活动。

### 2.2 MCS的发展演变

锋面云系中01时32分在河北沧州南部生成的小亮点迅速增大向东南方向移动,与原在冀鲁及渤海湾交界处加强的云团逐渐靠近,到04时32分已合并增强、覆盖了整个黄河口地区(图2a),-68℃的最冷云顶位于上

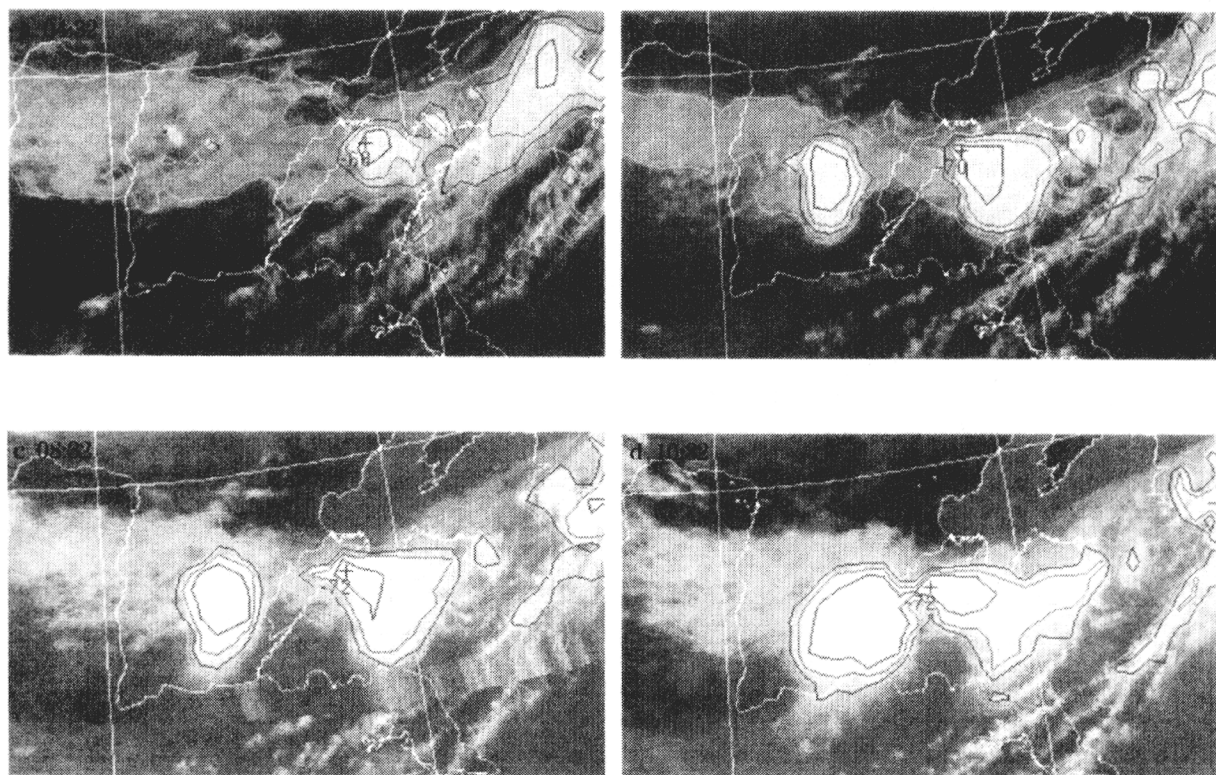


图2 2000年7月22日暴雨过程的红外云图

风方(西北方向);此时黄河口地区的降水已于两小时前先后开始,降水随着云团的发展增强。到07时33分逐渐扩大、西南移的云团云顶亮温  $TBB = -32^{\circ}\text{C}$  的面积已达  $6.1 \times 10^4 \text{km}^2$ 、 $TBB = -52^{\circ}\text{C}$  的面积也接近  $3.7 \times 10^4 \text{km}^2$ ,发展成为 MCS(图 2b),且出现云砧并向下风方扩散;此后 MCS 西侧的外流边界附近不断有小单体生成、并入 MCS 中(图 2c)。10时32分由山西中部生成的对流云团南压发展成的中尺度对流辐合体(MCC),与西南移的 MCS 逐渐靠近,两云团  $-50^{\circ}\text{C}$  云体已基本合并(图 2d),MCS 的云砧扩散到了成山头。以后 MCC 开始减弱、继续南移,MCS 仍缓慢西南移,但  $TBB = -72^{\circ}\text{C}$  的最冷云区由云体的西北侧逐渐移到西南方之后开始变暖,云砧逐渐与母体分离,MCS 开始减弱。13时32分,两减弱的云团基本融合, $TBB = -20^{\circ}\text{C}$  云体移过  $37^{\circ}\text{N}$ ,鲁北地区的降水陆续结束。

### 2.3 MCS 西南移成因分析

自 MCS 的母体在河北、山东与渤海交

界处生成后,其西侧不断有对流小单体生成与外流边界合并,进而与 MCS 母体合并(图 2c),最冷云顶一直位于 MCS 的上风方,云砧形成后就向下风方散去。这些云团结构特征与文献[4]所述的 MCS 后向传播系统一致。而鲁北上空在 22 日 08 时前后的较长一段时间内,北侧的等高线均较密集,500hPa 槽前倾、风速较小,850hPa 还有偏南急流输送到鲁北,使不稳定能量大量积累,形成了经黄河中游、鲁北到成山头的西南—东北走向的  $\theta_{se}$  极大轴。因此在这种环流形势特征(图 1)下,黄河口云团的西南侧极利于对流单体的生成、合并发展,进而形成了这次独特的沿  $\theta_{se}$  极大轴后向移动的路径。

### 3 多普勒雷达回波特征

多普勒天气雷达能够提供高密度、多层次的强度、速度信息,极大地弥补了探空资料时空上的不足,是监测中尺度对流系统最有效的工具之一。通过对这次局地暴雨过程滨州多普勒雷达资料分析看出,鲁北暴雨主要是由不断生消的中尺度系统造成。

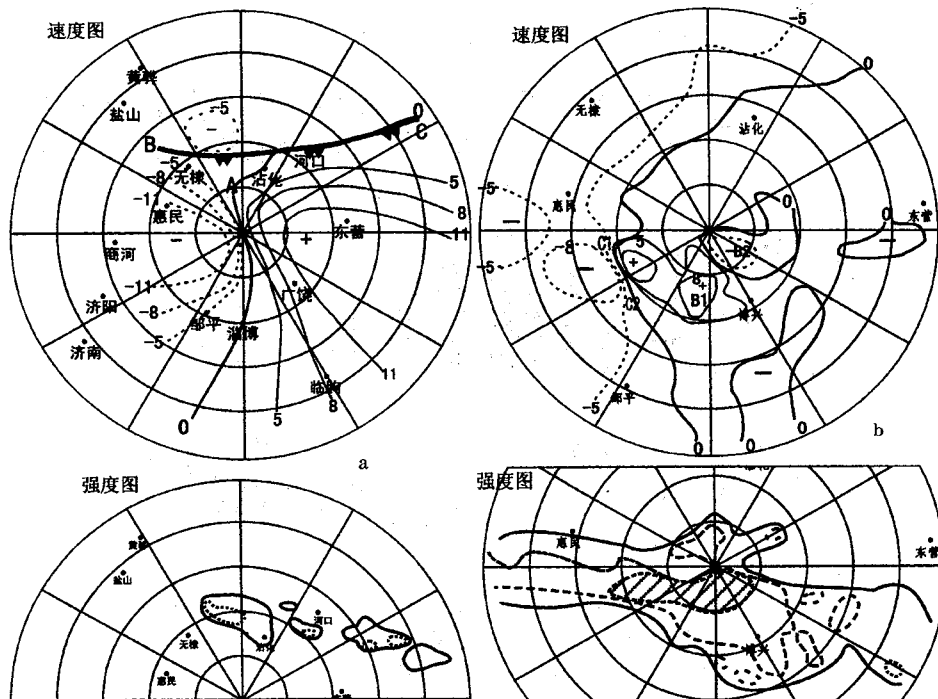


图3 2000年7月22日多普勒雷达图

a.02:24 仰角  $0.5^{\circ}$ ,每圈距离 30km;b.08:23 仰角  $0.0^{\circ}$ ,每圈距离 15km,强度图实线为 30dBz,虚线为 50dBz

### 3.1 锋面特征

从21日夜間开始的连续的回波强度图可以看出,在测站正北有东西带状降水回波向东南发展,回波以零散孤立云体为主。随着系统的南移,回波加强并连成片,首先造成了冀鲁交界地区的雷雨天气。22日02时24分(图3a)强度图上回波呈西北—东南走向,仍较分散的30dBz回波区中存在50dBz的孤立回波。速度图上降水云系回波与测站周围的晴空回波相连,可以清晰地看出东北—西南向的零速度线与通过测站的西北—东南向零速度线在距测站30km的A处形成折角。根据文献[5],说明B~C处有锋面存在。从连续几个时次的风场变化看:锋后西北气流较弱,而锋前偏南风速在逐渐减小、西风分量加大,表明锋面系统在减弱;但测站东北方原锋面处仍存在较强的风向切变,降水回波开始在这里加强。加强的回波向东南移先后影响了垦利、东营,两站均出现超过50mm的强降水。

### 3.2 风的垂直切变和辐合特征

分析07时11分的速度图(图略),可知风场结构已发生明显变化:在距测站15km、0.22km高度以下近地面层为东偏南风;自0.22km高度一直伸展到0.4km为西南风,风速随高度先增后减,在0.3km高度附近形成近地面急流轴;0.4km高度上空为西北风,风速随高度增加而增加。这样测站附近有三股气流交汇,风的垂直切变明显,形成强烈的辐合运动。这正是回波影响东营后虽减弱南压,但其后部却逐渐新生一条东西向窄带状回波并加强的原因。在测站240°方向还存在沿径向对称的正负速度极值区,其间的零速度线基本平行于距离圈,明显有气流辐合<sup>[5]</sup>。随着系统的发展加强,辐合向西南发展延伸(图3b),零速度线西南移到距测站30km的C1~C2处,正、负速度极值中心分别达 $8.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $11.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,辐合加强到极盛。此时,从强度图上可见回波加强向西南传播,主要回波位于测站东南和西南方,与辐合对应处有60dBz的强回波区。以后辐合开始逐渐减弱,仍继续引导降水回波西南移,直至150分钟后辐合才逐渐消失。

### 3.3 中尺度系统运动特征

从08时后连续几个时次的观测可以看出:图3b中原B1~B2处的速度极值区虽不大,但具有沿方位对称的中尺度气旋运动特征。随着系统的发展,B2处的负速度极值区加强到 $6.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而B1处的正速度极值区发展为 $10.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,两极值中心相距约18km,零速度线逆转与径线成 $40^\circ$ 交角,呈带有辐散性质的中尺度气旋运动特征<sup>[5]</sup>。与此对应,强度图上是60dBz以上的块状强回波。降水自记资料显示,此时在测站及其南部30km区域内,维持着每小时近40mm的强降水,而此范围内距地面的高度均小于100m,故推断近地面风场的辐散是由于强降水的拖曳作用造成的。速度图上这一风场运动特征缓慢向西南移,维持近两小时才逐渐变化为纯辐散系统。受这一中尺度系统影响,测站南部到博兴出现了大于90mm的强降水,成为这次暴雨的一个降水中心。

09时55分(图略),降水回波演变为东西块状,强回波集中在测站西南10km以外,测站及附近降水逐渐停止。但在 $240^\circ$ 58km处出现强度达65dBz的强回波区,速度图上风场表现出中尺度气旋性切变特征<sup>[5]</sup>:正负速度极值区沿方位对称、相距仅7km,但其正负速度较小,方位切变仅为 $0.003\text{s}^{-1}$ 。从该时次的立体扫描资料看,中尺度气旋性切变仅维持到3km左右的高度,可见此系统范围较小,但由于它的生成、维持、移动,在济阳及其东北部地区造成了此次暴雨另一个超过100mm的降水中心。

## 4 结论

这次暴雨过程是一次较典型的低槽冷锋暴雨过程,是当高空槽超前于低层槽及地面冷锋,在高空槽附近和地面冷锋之间有不稳定能量积累,冷锋减弱锋消,弱冷空气扩散南下的背景下,由在这一地区诱生的中尺度系统沿 $\theta_e$ 极大轴后向移动造成的。

从本例分析可知:综合分析常规气象资料、卫星云图和雷达回波资料是做好暴雨短期、短时预报行之有效的方法。

## 参考文献

- 曹刚锋等. 山东天气分析与预报. 北京: 气象出版社, 1988: 169.
- 柳林等. 鲁西北中尺度对流复合体环境场特征. 气象,

- 2000,26(11):40~44.
- 3 朱乾根等. 天气学原理和方法. 北京:气象出版社, 1983:345.
- 4 [英]巴德等编. 许健民等校译. 卫星与雷达图像在天气  
预报中的应用. 北京:科学出版社,1998:324.
- 5 胡明宝等. 多普勒天气雷达资料分析与应用. 北京:解放军出版社, 2000:115~118.

## On Forming Reason of Local Torrential Rain in Northern Shandong Province on July 22 2000

Wang Fengjiao Wu shujun Jiang Xianhong

(Binzhou Meteorological Bureau, Shandong Province 256612)

Feng Guili Chen Wenxuan

(Shandong Research Institute of Meteorology)

### Abstract

By analyzing the routine weather data, satellite cloud picture and Doppler radar data in the paper, the result shows that the main reason resulting in local torrential rain in Northern Shandong Province on July 22 2000 was that mesoscale convective systems, which formed under the condition of the aloft trough preceding the surface cold front and unstable energy accumulation in the vicinity of the aloft trough, moved backwards.

**Key Words:** torrential rain aloft trough cold front mesoscale convective system radar echo