

河南一次特大暴雨过程的中尺度特征分析

牛淑贞 张素芬 席世平 张一平

(河南省气象台, 郑州 450003)

提 要

利用郑州 714CD 多普勒天气雷达探测资料, 结合河南省地面逐时雨量、风场、郑州探空、省区域小图等资料, 对 2000 年 7 月 5~6 日发生在新乡、郑州、开封、许昌等地区的特大暴雨过程进行了成因分析, 揭示出此次特大暴雨过程具有典型的中尺度扰动及强对流特征。

关键词: 特大暴雨 中尺度特征 辐合线 强度场 多普勒速度场

1 过程概况

由于受高空低涡、低槽和地面入海高压后部偏东风及台风外围 SE 气流的共同影响, 2000 年 7 月 5~6 日河南省发生了一场大范围的连续性大暴雨、部分地区特大暴雨过程, 降水呈南北向带状分布, 特大暴雨主要发生在新乡、郑州、开封、许昌四地区。100mm 以上降水的站有 12 个, 200mm 以上降水的站有 7 个, 300mm 以上降水的站有 3 个, 最大暴雨中心在延津、原阳, 其过程降水量分别达 452.1mm 和 334.4mm。其中 1 小时、3 小时和 6 小时降水量最大值出现的时间、地点和雨量见表 1, 此次特大暴雨强度在该区域属历史罕见。

2 稳定度分析

此次特大暴雨中心在郑州附近, 为此利用郑州站探空资料计算了有关的物理量参数, 来分析此次特大暴雨过程产生前后的大气层结稳定度情况(见表 2)。由表 2 可见,

- ①自 4 日 20 时~6 日 08 时 $SI < 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\Delta\theta_{*} < 0^{\circ}\text{C}$ 、 $K \geq 35^{\circ}\text{C}$, 且在 5 日 08 时均达峰值, 说明郑州上空大气层结为位势不稳定。 K 最大值达 41°C 已具备降暴雨、特大暴雨的条件。
- ②高层湿度在 5 日 08 时最小, 20 时次之。中层湿度在 5 日 08、20 时达 9.59 g/kg 、 8.59 g/kg , 而低层湿度在 5 日 08、20 时达最大, 说明低层水汽充沛。这种上干冷下暖湿的不稳定层结有利于对流性特大暴雨的发生。

表 1 5 日~6 日 1、3、6 小时降水
最大值及时段、地点

时段	雨量	地点	时间
1 小时	93.8mm	原阳	5 日 17~18 时
	61.5mm	中牟	6 日 02~03 时
3 小时	174.0mm	延津	6 日 02~05 时
	140.2mm	中牟	6 日 02~05 时
6 小时	310.1mm	延津	5 日 23 时~6 日 05 时
	221.8mm	中牟	6 日 00~06 时

表 2 郑州站物理参数

时间 日、时	$SI/^{\circ}\text{C}$	$K/^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta_{*}(500-850)$ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta_{*}(500-700)$ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta_{*}(700-850)$ $^{\circ}\text{C}$	q_{500} $^{\circ}\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	q_{700} $^{\circ}\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	q_{850} $^{\circ}\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
4.08	1.0	37.0	7.2	0.8	6.4	5.68	10.60	12.58
4.20	-0.4	37.0	-1.2	-1.5	-2.7	4.88	9.59	13.42
5.08	-4.8	41.0	-18.1	-13.3	-4.8	0.18	9.59	15.25
5.20	-1.5	35.0	-10.0	-4.0	6.0	2.55	8.95	15.25
6.08	-1.3	36.0	-2.1	4.0	-6.1	4.18	8.95	14.30

3 中尺度雨团分析

此次过程主要集中在 5 日 13 时~6 日 11 时, 分析 1 小时降水 $R \geq 10\text{mm}$ 的雨团活

动可知, 此阶段主要有两个强降雨团在新乡和郑州、开封、许昌等地区活动, 造成了此地区的特大暴雨(图略)。

5日13时1号雨团在原阳生成并稳定维持到16时,后在新乡、原阳、延津等地维持并打转,6日05时后开始东移封丘、长垣等地,08时以后消失。2号雨团于5日20时在禹州、长葛生成维持,22时后开始北上新郑、中牟,并在中牟稳定维持到6日03时,然后返回长葛、禹州,于05时回到中牟,06时以后开始东移尉氏、通许、兰考、杞县等地,11时以后减弱消失,强降水结束。

1号、2号雨团分别在5日17~18时、6日02~03时最强,其强度为 $93.8\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $61.5\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,出现在原阳和中牟,其生命史达19和15小时。而新乡、原阳降水主要就集中在5日13时~6日01时,降水量达220.5mm和311.2mm;延津降水主要集中在5日18时~6日07时,雨量达438.2mm,且6日00~06时,降水量就达283.9mm,占过程降水量的1/2。可见,两雨团长时间在新乡、郑州、开封、许昌等地区活动,是造成此次特大暴雨过程的主要原因之一。

4 地面流场分析

5日14时地面流场上,京广线以东地区为SE风,京广线以西为NE或N风,中尺度辐合线位于内黄、滑县、延津、尉氏、鄢陵到上蔡、罗山一线,其后侧的新乡、延津为 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的NE风,而周围辉县、卫辉、长垣、开封分别为 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的NWN、N、SE、SE风,具有明显的风速风向辐合。对应14~15时,新乡、原阳降水达38.4mm、54.0mm。后该地风速风向辐合维持,使得新乡、原阳一直维持强降水。究其原因这是由于当地地形影响所致,使NE、SE气流遇到太行山阻挡后,发生气旋性弯曲,造成当地风速风向辐合而产生较强的上升运动。17时(图1),新乡的NE风加大到 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,而原阳转为 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的SE风,郑州维持 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的E风,使得新乡、原阳一带辐合达到最强,造成17~18时新乡、原阳的降水达23.3和93.8mm,其中原阳 $93.8\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 为此次过程中1小时降水峰值。可见,辐合线后侧强烈的风速风向辐合是造成当地对流性强降水的有利条件。随后至6日05时,新乡、延津等地的风速风向辐合依然存在,使得当地强降水继续维持,降水中心延津02~05时3小时雨量达174.0mm。6日02时(图2),在原中尺度辐合线后侧,密县、登封、

禹州、新郑一带有新辐合中心生成,受其影响,长葛从02~05时3小时降水量达130.8mm;而中牟从01~05时一直位于气旋性弯曲最大处,造成该地6日00~06时6小时达221.8mm的强降水。

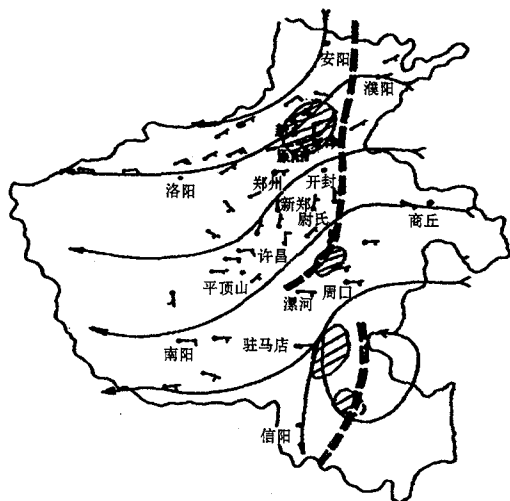


图1 2000年7月5日17时地面流场
(双虚线为中尺度辐合线,阴影区为17~18时 $R\geq 10.0\text{ mm}$ 的雨区)

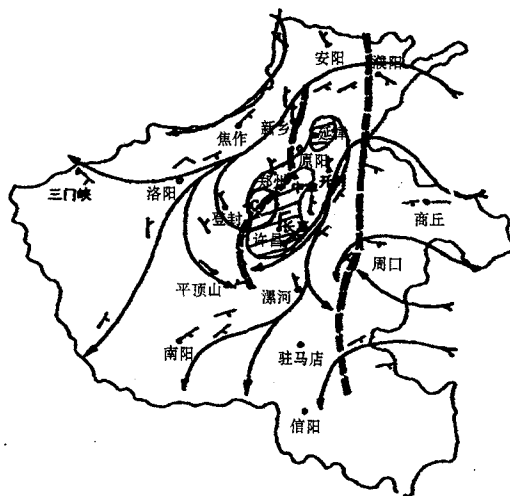


图2 2000年7月6日02时地面流场
(双虚线为中尺度辐合线,阴影区为02~03时 $R\geq 10.0\text{ mm}$ 的雨区)

可见,此次特大暴雨过程中,地面流场上始终维持一条南北向中尺度辐合线。而中尺度辐合线后侧生成的辐合中心、风速风向辐合区及气旋性弯曲最大处,均有利于产生强烈的辐合上升运动,造成强降水。不难看出,

中尺度辐合线及后侧的小尺度扰动是造成此次特大暴雨的关键。

5 温湿场和能量场分析

分析温度 T 场和温度露点差 $T - T_d$ 场可知, T 密集带和 $T - T_d \leq 2^\circ\text{C}$ 区域呈南北向带状分布(与中尺度辐合线位置吻合), 其东侧为暖区, 西侧为冷区, 两侧 T 梯度较大。5日14时, 新乡、延津、原阳、郑州、中牟等地为 $26\sim 27^\circ\text{C}$ 的暖舌控制, 林县、安阳为 23°C 的冷中心。随着冷空气的灌入, 17时, $22\sim 23^\circ\text{C}$ 的冷中心在新乡、延津等地维持, 周围为 $26\sim 28^\circ\text{C}$, 延津与长垣也有 5°C 之差(图略)。而 $T - T_d \leq 1^\circ\text{C}$ 的水汽饱和区也在新乡、延津、原阳等地, 加之地面流场上的中尺度辐合线又恰好叠加于此, 三重作用为此地产生强对流降水提供了有利的条件。23时后, 随着冷空气和水汽饱和区的向南扩散, 强降水落区也扩大到郑州、中牟、新郑、长葛、许昌、尉氏等地一带, 后随着 T 梯度的减小降水减弱消失。

分析能量场可知: 5日17时到6日05时的能量场上(图略), 新乡、延津、原阳一直维持 $60.0^\circ\text{C} \sim 61.1^\circ\text{C}$ 的低值中心(与此地冷中心重叠)。对应实况知, 未来3小时强降水均发生在能量低值中心及其前部能量梯度比较大的区域。

6 雷达回波分析

5日13:34测站NE部和原阳有 $43\sim 50\text{dBz}$ 强回波生成发展。14:55回波向NW方移动并与新乡、延津的回波汇合, 在新乡、原阳、延津等地发展为大片的 $43\sim 50\text{dBz}$ 强回波, 强中心 50dBz (原阳)、高度 10.47km 。同时在南部上蔡、汝南、正阳到信阳、罗山等地有 $40\sim 46\text{dBz}$ 对流回波生成并呈零散的南北向带。对应14~15时, 原阳、新乡、延津、信阳、罗山分别有 54.0mm 、 38.4mm 、 9.4mm 、 18.9mm 、 13.5mm 的降水; 15~16时新乡、原阳、上蔡、汝南有 14.1mm 、 29.8mm 、 14.8mm 、 62.2mm 的降水。16:57(图略)强回波中心正位于原阳, 强度达 54dBz 、高度 12.47km , $\geq 30\text{dBz}$ 和 $\geq 40\text{dBz}$ 的回波高度分别达 11.33km 、 9.3km 。对应多普勒速度场上, 0°PPI(V) 上新乡、延津存在 $-17.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风区, 原阳有3块 $3.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的逆风区。抬高 1° 仰角, 在新乡、原阳东

南部存在一条中尺度辐合线 EF ($22^\circ \sim 65^\circ$ 、 $30\sim 55\text{km}$), 其上有两个辐合系统 C、D 存在(图3)。对应17~18时, 原阳、新乡降水达 93.8mm 和 23.3mm 。而原阳1小时的降水量, 创此次过程1小时降水极大值。随后新乡、原阳、延津等地一直维持有中小尺度系统活动, 使得该地强降水回波一直维持。

19:45时上述强降水回波与新乡、原阳、延津的回波汇合发展。此外在中牟、新郑、密县新生一条 $48\sim 54\text{dBz}$ 小尺度对流单体组成的窄带状回波。20:16(图4)该窄带回波

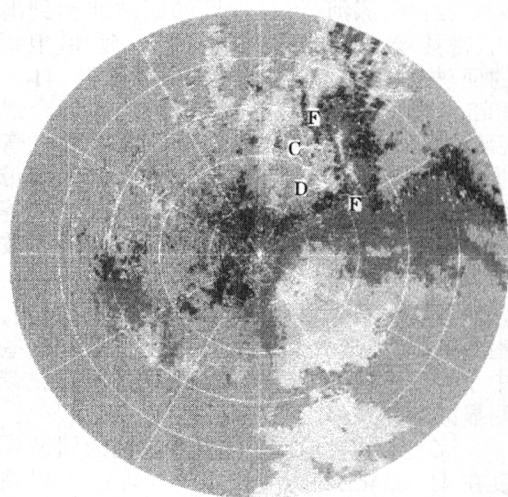


图3 2000年7月5日17:05 2°PPI(V) 示意图
(距离: 75km , 距标: $15\text{km}/\text{圈}$, C、D 分别为两个中尺度辐合系统。)

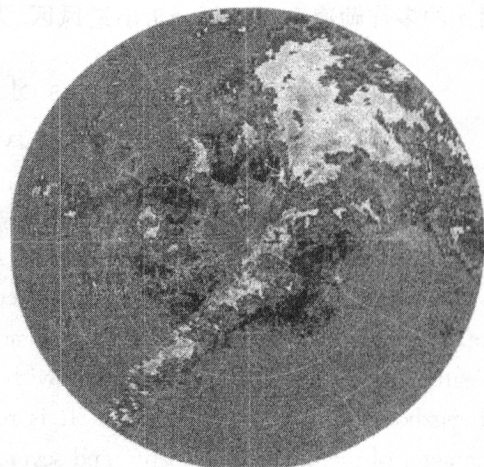


图4 2000年7月5日20:16 1°PPI(Z) 示意图
(距离: 75km , 距标: $15\text{km}/\text{圈}$, B“V”型顶端最强处)

NW 移影响测站,并与新乡、原阳的强回波相连发展,回波强中心在 B 处(正位于原阳),达 50dBz。而窄带上的回波强度仍维持 48~54dBz。对应多普勒速度场上,测站 NNE 部 4.6km 处出现一个 $-15.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风区(图略),测站 SSW 部 7.6km 处有 $+7.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的正速度区,二者之间在测站附近存在着较强的风速梯度。另外,在测站南部存在多个小逆风区,对应测站 45~48dBz 的强回波和郑州 22.7mm、新乡 47.3mm、原阳 45.7mm、延津 25.7mm 等强降水。

22:46,漯河、许昌地区的回波北抬到禹州、密县、新郑一带,与中牟、原阳、延津、卫辉的回波连成带状稳定维持,强度达 41~48dBz。6 日 02 时以后,由于中尺度辐合线后侧的辐合中心、风向风速辐合区、气旋性弯曲最大处等小尺度扰动,使得该降水回波带维持南北向带状,造成了后半夜原阳、中牟等地的强降水。6 日 07 时,41~43dBz 的回波带随中尺度辐合线东移到滑县、长垣、封丘、开封、尉氏、新郑一带,其后回波带北部减弱,南部维持,造成开封地区强降水。随着这些中小尺度系统的减弱消失,6 日 11 时回波带明显减弱并东移出河南省,强降水结束。

综上所述,此次特大暴雨过程的回波强度在 41~54dBz、高度在 10~14km,比以往暴雨回波的强度(30~40dBz)要强得多、高度(8km 左右)要高得多,呈典型的对流特征。多普勒速度场上,对流扰动比较明显,在同一时次的多普勒速度场上可分析出逆风区、大

风区、中尺度辐合系统等多种中小尺度系统在活动,它们与强回波中心和强降水区配合很好。这些中小尺度系统的活动和维持是造成此次强降水过程的主要原因之一。

7 结论

(1)此次特大暴雨过程主要有两个生命史达 19 和 15 小时的中尺度雨团活动,其中一个在新乡、原阳、延津,另一个在新郑、中牟、长葛。

(2)地面流场上一直稳定维持南北向的中尺度辐合线,该辐合线西侧为冷区,东侧为暖区,其恰好叠加在温度梯度密集带上。强降水出现在中尺度辐合线后侧的辐合中心处、风速风向辐合区及流线气旋弯曲最大处。

(3)特大暴雨中心出现在能量锋区后侧的低能中心及其前部、温度密集区后侧的冷区中心。

(4)稳定度参数 SI 、 K 、 $\Delta\theta$ 在当日 08 时均达极大值,大气层结为上干冷下暖湿的对流性不稳定层结,为此次特大暴雨提供了不稳定能量。

(5)此次特大暴雨过程的雷达回波强度一般在 40~50dBz 之间,最强达 54dBz,高度在 10~14km,具有典型的对流性特征。

(6)多普勒速度场上有逆风区、大风区、中尺度辐合系统、中小尺度气旋等多种中小尺度系统在活动,它们与强回波中心和强降水区配合很好,是造成此次强降水过程的主要原因之一。

Mesoscale Analysis of A Super Rainstorm Process on July 5th in 2000

Niu Shuzhen Zhang Sufen Xi Shiping Zhang Yiping

(The Meteorological Observatory of Henan Province, Zhengzhou 450003)

Abstract

Some causes of the super rainstorm occurred in Xinxiang, Zhengzhou, Kaifeng and Xuchang etc. from July 5th to July 6th in 2000 is analysed by using the observations of 714CD Doppler Weather Radar in Zhengzhou together with the hourly surface rainfall, wind data, soundings of Zhengzhou and area map of Henan. It is revealed that the super rainstorm process has typical character of mesoscale disturbance and severe convection.

Key Words: super rainstorm mesoscale character convergence line Doppler velocity field