

强对流风暴新一代雷达产品特征分析

牛淑贞¹ 鲍向东² 乔春贵¹ 康雯瑛³

(1. 河南省气象台 郑州 450003; 2. 河南省人工影响天气指挥中心; 3. 河南省气象学会)

提 要: 利用濮阳、三门峡新一代天气雷达产品,结合卫星、探空、天气图、地面雨量等资料对2006年6月25日发生在河南省北部、西部和中部的强对流风暴过程进行分析发现:(1)此次强对流风暴表现为多个处于不同发展阶段的强对流回波单体组成80~400km、宽40km的NE—SW向中 β 对流回波带即飑线;(2)强对流风暴在发展旺盛期间,其前沿有雷暴出流边界;(3)低层强NW风推动对流回波带向前发展成弓型带状回波;(4)在强对流风暴前侧,紧挨雷暴出流边界内侧产生了一条弧线窄带速度线,随着雷暴出流边界远离强对流风暴主体,该弧线窄带速度线也远离大片的速区,并逐渐消失;(5)不同性质的强对流天气,其基本反射率、回波顶高、垂直液态积分含水量时有差异。北部雷雨大风伴短时强降水的强对流天气,强中心基本反射率在53~63dBz,回波顶高9~14km,垂直液态积分含水量在38~48kg·m⁻¹之间;而西部中部的雷雨大风伴随局部冰雹和短时强降水的强对流天气,强中心基本反射率在53~65dBz,回波顶高度11~16km,对应垂直液态积分含水量在48~63kg·m⁻¹之间;(5)在强对流风暴发展旺盛时期一直有中气旋伴随,中气旋出现在强对流单体前侧或前侧的入流槽口处。强对流风暴的新一代雷达产品特征是强对流天气监测预警的重要参考依据。

关键词: 强对流风暴 飑线 弧线窄带速度线 雷暴出流边界 中气旋

Character Analysis on CINRADAR Products of Strong Convection Storm Weather in Henan Province

Niu Shuzhen¹ Bao Xiangdong² Qiao Chungui¹ Kang Wenying³

(1. Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003;
2. Henan Weather Modification Directing Center; 3. Henan Meteorological Society)

Abstract: CINRADAR Products of Puyang and Sanmenxia combined with data of satellite, radio-sounding, synoptic chart and rainfall station were used to analyze the process of the strong

资助项目:河南省重大科技攻关项目 0522030400,河南省气象局《河南省强对流风暴演变预报技术研究》Z200604 研究。

收稿日期:2007年8月31日; 修定稿日期:2008年6月1日

convective weather such as thunder rain as well as local hailstone happened in the north, west and middle of Henan on June 25, 2006. The conclusions are: (1) This strong convection storm showed that several cells for strong convection echo during different development stage consisted to meso- β convective echoes band namely squall line with 80~400km long, 40 km wide and in NE-SW direction. (2) During vigorously developing period of severe thunderstorm there was a thunderstorm outflow border. (3) In the low level strong north-west air flow forced the convective echoes band to grow and form the band echoes like bow shape. (4) There was a velocity line of arc shape short band medial the thunderstorm outflow border in front of the severe convective storm, this velocity line was far away from the area of blockbuster velocity and gradually disappeared with the outflow border away from the main body of strong convection storm. (5) The base reflectivity, echo top and vertical integral liquid water content of different type of severe thunderstorm had distinctions during the strong convection weather with different properties. Thunder wind with short-time strong rainfall weather had the base reflectivity in the strong center of 53~63dBz, echo top of 9~14km and vertical integral liquid water content of 38~48kg/m² in the north, while 53~65dBz base reflectivity, 11~16km echo top and 48~63kg/m² vertical integral liquid water content in the west and the middle region in Henan Province. (6) There always was mesocyclone during the vigorously developing stage of severe thunderstorm. Mesocyclone occurred in front of severe convection cell or foregoing inflow trough scoop. These CINRADAR products characters of severe convective storm are important reference basements in strong convection weather forecast and alarm.

Key Words: severe convective thunderstorm squall line velocity line of arc line short band
thunderstorm outflow border mesocyclone

引 言

强对流风暴主要产生雷雨大风、冰雹和短时强降水等强对流天气,是河南省主要灾害性天气之一,其来势猛、强度强、生命史短、危害大,每年发生频繁,给人民群众和工农业生产带来很大危害。2001年7月19日下午郑州市雷雨大风伴随着短时强降水和局地冰雹等强对流天气曾给人民群众的生命和财产造成很大损失,在全国造成很大影响;2004年6月22日晚8时的雷雨大风强对流天气造成黄河小浪底库区特大翻船事件,造成43人死亡。新一代天气雷达的投入业务应用,为做好强对流天气监测和预警服务提供可靠的现代化探测工具。依靠新一代天气雷达等

现代化探测手段,可以准确监测和预警强对流风暴,及时为公众服务,减少损失。

新一代天气雷达不但可以提供降水粒子对电磁波的基本反射率场,多普勒速度和谱宽场,而且它还具有丰富的产品,如基本反射率、组合反射率、回波定高度、垂直液态积分含水量、中气旋等^[1]。不同性质强对流天气,对应不同的雷达产品特征,它们在强对流天气监测预警中起到了很好的指示作用。近几年随着全国新一代天气雷达网的建设,新一代天气雷达在灾害性天气监测和预警方面发挥了重要的作用,国内在新一代天气雷达产品分析应用方面做了很多的探讨和分析,张沛源对新一代天气雷达在临近预报和灾害性天气警报中的应用作了详细的总结和论述^[2-3],张芳华^[4]等对2004年7月12日上海

飚线天气过程分析发现,处在干冷、下暖湿的不稳定大气层结中,对流层上层干冷空气的侵入和边界层暖湿气流强烈辐合是飚线天气的触发机制。飚线以断续线型与后续线型相结合的回波型式形成,在对流单体的右侧不断新生单体,最终连接成弓状回波带,产生雷雨大风等强对流天气;李云川^[5]等利用新一代天气雷达产品建立了河北省冰雹、大风、强降水识别指标;王华^[6]等对2005年北京两次城区强冰雹天气进行雷达回波分析发现,两次冰雹过程分别是有中- γ 和中- β 对流系统引起。张晰莹^[7]等对弱冰雹云结构特征进行分析表明,虽然弱冰雹云回波强度弱无典型雹云特征,但速度特征明显,具有明显的中尺度辐合辐散特征等等。这些总结和研究为雷达产品在强对流风暴监测和预警服务中的应用提供了宝贵的经验。但对每个省的强对流风暴,因其气候特征、地形特征不同,所以表现特征也有一定差异,所以作好本地新一代天气雷达产品的分析应用很重要也很必要。

飚线是一条活跃的雷暴线或窄带,是线状的中尺度对流系统,其水平尺度在150~300km,时间尺度在4~18小时,是一种破坏性最强和最大的中尺度天气系统,沿着飚线可以出现雷暴、大风、冰雹和龙卷等剧烈天气现象^[8]。河南省2006年6月25日发生在河南北部、西部和中部的以雷雨大风为主,局部伴随短时强降水冰雹的强对流风暴过程很具代表性,北部的强对流风暴和西部中部的强对流风暴发生在两对流云团内,受中尺度对流回波带飚线影响。为了了解河南省强对流风暴与强对流天气之间的关系,利用濮阳和三门峡新一代雷达产品,结合卫星、探空、天气等资料对其进行分析,意在总结强对流风暴在新一代雷达产品上的监测预警特征,为充分发挥新一代天气雷达监测预警中小尺度强对流天气的优越性和监测预警河南强对流

风暴提供依据。

1 过程概况和特点

受华北低涡扩散南下冷空气和下滑槽的影响,2006年6月25日下午到晚上,河南省安阳、鹤壁、濮阳、新乡、三门峡、洛阳、济源、郑州、许昌等地区出现了2006年首次全省大范围的雷雨大风、局部伴冰雹和短时强降水等强对流天气。本次强对流天气过程发生在两个时段和两个区域:(1)17—19时,河南北部安阳地区出现了 $20.0\sim 28.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风,局部乡镇伴随10~20mm短时强降水;鹤壁、新乡、濮阳三地区出现 $14.4\sim 18.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大风,局部乡镇伴随30~60mm的短时强降水。(2)19—23时,河南西部中部的三门峡、洛阳、焦作、郑州、许昌等地,出现了 $17.1\sim 32.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风,局部伴冰雹和10mm左右的短时强降水等强对流天气。

此次强对流天气过程很具特点,北部和西部、中部的强对流天气出现时间、强天气性质和强度都是有差异的,相同的都是以雷雨大风为主,发生在西北气流中,不同的是各自伴随的强天气有所区别,西部强对流伴有冰雹,最大瞬时风速 $32.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,比北部最大瞬时风速 $28.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大得多,但北部的局部最大1小时乡镇雨量(卫辉西部与新乡北部交界的乡镇王坟18—19时1小时降水达69.3mm)却比西部、中部大(1小时乡镇雨量在10~34mm,最大在20—21时焦作西部的一个乡镇1小时雨量34.6mm)。为此,利用高时空分布的新一代天气雷达产品分析二者存在的共性与异性特征,为今后做好短时强降水伴雷雨大风和雷雨大风伴局地冰雹的强对流天气监测预警提供帮助。

2 大尺度环流背景

25日08时,500hPa在 $42\sim 44^{\circ}\text{N}$ 有横

槽,此槽深厚,抬高到 200hPa 仍存在,山西到河南省黄河以北地区有明显冷平流,河南省处于一致 NW 气流里;700hPa 上横槽存在,河套底部陕西境内有下滑槽东南移;850hPa 北部山西河北境内有 NE 风与 SE 风切变线,地面有冷锋配合。地面流场上(图略),中尺度辐合线明显,温度梯度密集带随中尺度辐合线南压,20 时位于河南省民权、许昌到卢氏一线。

分析 25 日 08 时 24 小时变温(图略)知道:高层(500hPa)降温明显, -3°C 中心在郑州,低层(850hPa)增温明显, $+6^{\circ}\text{C}$ 中心在南阳,说明大气层结是上冷下暖的不稳定层结。

3 不稳定能量分析

分析郑州 25 日 08、20 时探空可知:郑州的 K 指数、 SI 、 $\theta_{se(500-850)}$ 分别由 25 日 08 时的 19°C 、 -0.8°C 、 -9.0°C ,到 20 时分别迅速增加到 31°C 、 -8.5°C 、 -18.5°C 。说明在 25 日 08 时大气层结已处于对流不稳定状态,20 时比 08 时更加不稳定,随着强对流天气的爆发(郑州地区 21:30—23:00 出现了雷雨大风和短时强降水的对流天气),26 日 08 时又分别下降到 28°C 、 -0.5°C 、 -5.0°C ,说明不稳定能量得到了释放。

4 卫星云图分析

分析 2006 年 6 月 25 日 15—23 时卫星云图发现,15 时在冷锋云带尾部前侧的不稳定区内河北南部与河南北部有对流云团 A 发展,三门峡西部的山西陕西交界有对流云团 B 生成发展;16 时 A 已逼近河南西北部, B 在山西与陕西交界处发展;17 时有一小对流云团在 A 前侧生成影响安阳地区(图 1a, 见彩页),随后向东南移与 A 合并影响河南北部地区,出现了雷雨大风、伴随局地强降水

的强对流天气,19 时移出河南到山东境内。西部对流云团 B 在 17—18 时发展并缓慢东南压,19 时逼近河南西部济源、三门峡、焦作等地区;20 时(图 1b, 见彩页)影响三门峡、洛阳、济源等地区,后继续东移先后影响郑州、开封、许昌等地区,出现雷雨大风局部伴冰雹和短时强降水等强对流天气,23 时减弱结束。

由于对流云团 B 明显比 A 强,所以产生的对流天气也比较强。可见,在实际业务值班中,要特别注意冷锋云带尾部前侧的对流云团生成和发展,强的对流天气常在此发生发展。

5 新一代天气雷达产品特征分析

5.1 北部强对流风暴雷达产品特征分析

濮阳位于河南省东北部,利用濮阳新一代雷达分析 25 日 17—19 时发生在河南北部安阳、鹤壁、新乡、濮阳等地的雷雨大风、局部伴短时强降水等强对流天气,其雷达产品特征分析如下:

5.1.1 基本反射率和回波顶高度分析

14 时产生在山西境内的强对流回波,发展成 NE—SW 向的中尺度对流回波带,向东南移动,回波带上有波动。16:21 开始逼近河南北部地区,已影响林县,回波继续发展东南移,回波强中心强度在 $55\sim 63\text{dBz}$,16:57 和 17:04 强中心均在林县东部达最强(63dBz),此后一直维持在 58dBz ,直到 19 时后回波东移出省。

其中对流回波带的北段由于低层比较强的 NW 风,在 17:52 发展成弓形带状回波区;由于后侧比较大的 NW 风,18:17 弓形带状回波向前弯曲更厉害,前侧产生明显的雷暴出流边界,北端的回波呈逗点螺旋状,最强回波中心在其逗点状的涡旋处;18:35 弓形

带状回波后侧弱回波区面积扩大,说明冷空气已下来影响面积增大;18:53 雷暴出流边界远离强对流风暴主体,预示着风暴将减弱(图 2,见彩页)。受其影响,安阳南部、新乡东北部在 17:51—19:00 出现的大风具有明显的辐散特征,且各站的大风均发生强对流回波带刚刚经过之后的弓形带状回波的后侧。位于对流回波带南端的新乡、卫辉等地强对流回波发展加强维持,在 18:17 达到 63dBz。影响的地方产生 $14.4\sim 16.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大风和局部 1 小时 $\geq 10\text{ mm}$ 强降水。

分析每 6 分钟回波顶高度产品可知:北部安阳等地强对流天气过程回波顶高度在 $9\sim 14\text{ km}$,16:57—8:35 回波顶高度发展最高达 14 km ,安阳地区的雷雨大风天气就出现在此时段内。

5.1.2 速度场特征分析

分析间隔 6 分钟的速度产品可知:(1)在北部雷雨大风强对流开始发生前 16:33,对应 $45\sim 58\text{ dBz}$ 的强回波区,速度场上有气旋性辐合区存在,此后一直维持;16:51 发展成一条 NE—SW 向的中尺度辐合线,维持到 18:05;整个安阳和濮阳地区处于气旋性辐合流场中。(2)测站低层(0.5 km)一直有很强 NW 风,18:11—18:41 测站 NW 和 SE 部的负正速度中心分别达 $-27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $+27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明低空有比较强的 NW 急流,且正位于中尺度强对流回波带后侧,使得强对流回波形成弓形带状回波;(3)速度场上,17:52 在带状回波带前沿生成一弧线窄带速度线,位于带状回波的前侧,可能是风暴前侧的出流造成的。在随后的间隔 6 分钟的两个时次,该弧线窄带速度线表现明显,且测站低层的 NW 风在加强(图 3,见彩页),随着雷暴出流边界远离对流风暴,弧线窄带速度线也逐

渐远离后面大片正速度区,18:53 时弧线窄带速度线后侧的大片正速度区中出现了一个负速度的逆风区(图 3d)。(4)对应强对流回波带南端的强回波带,速度场上不但有辐合区存在,还有逆风区存在,卫辉与新乡之间的负速度区中的正速度逆风区从 17:40 一直维持到 18:35,生命史达 55 分钟,18—19 时对应新乡东北部和卫辉的乡镇雨量有 $\geq 10\text{ mm}$ 以上降水,其中新乡东北部和卫辉西部有两个乡镇雨量达到 52.9 mm 和 62.3 mm 。再次验证了逆风区的出现和维持是产生局地强降水的一个比较有用的预报依据^[9]。

5.1.3 垂直液态含水量

影响北部的中尺度强对流回波带上,18:11 以前其上垂直液态含水量强中心在 $38\sim 48\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (图 4a),16:27 林县北垂直液态含水量由前一时刻的 $28\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 猛增加 $43\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,最强达到 $48\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,到 17:34 开始减弱,18:23 以后,由于安阳地区雷雨大风天气减弱,趋于结束,弧形回波带上的垂直液态积分含水量一直维持在 $13\sim 18\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。实况对应安阳地区的雷雨大风发生在 17:00—18:07,说明雷雨大风为主的强对流风暴垂直液态积分含水量要求不是很大,且在强对流风暴发生前半小时其垂直液态积分含水量就开始剧增,在强天气结束前半小时就迅速减弱,这为预警雷雨大风提供了依据。

从图 4b 可知,影响北部中尺度对流回波带南段的垂直液态含水量稳定维持在 $43\sim 58\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,17:52—18:36 时一直稳定维持在 $40\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上,对应 18—19 时在新乡北部和卫辉西部乡镇雨量有 $\geq 30\text{ mm}$ 的局地强降水和 $14\sim 18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风。可见维持较大的垂直液态含水量可产生比较大的降水。

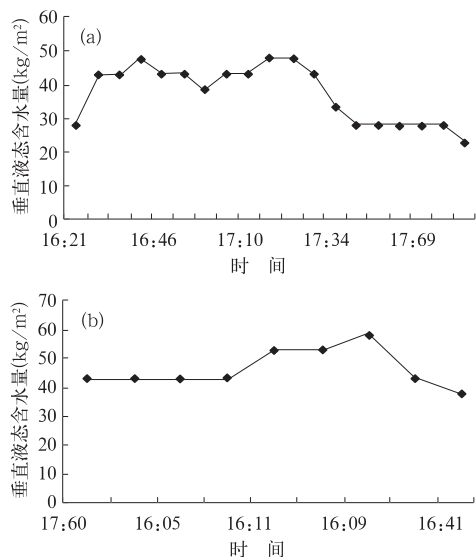


图4 2006年6月25日北部飑线回波带北段(a)和南段(b)最大垂直液态含水量演变

5.1.4 中气旋

中气旋产品是用来显示与三种方位切变类型的识别有关的信息,与基本反射率配合分析比较有用。分析可知在北部雷雨大风出现前23分钟,17:04在安阳市西南部出现一个三维相关切变,17:16开始在安阳地区出现2个中气旋,一直维持到18:11,对应安阳地区17:25—18:05出现了 $20.0 \sim 28.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 大风,中气旋提前9分钟出现;18:17和18:23无中气旋出现,到18:29和18:35又在安阳地区东北部和濮阳地区北部的内黄出现两个中气旋;这些中气旋均出现在 $\geq 45 \text{ dBz}$ 强回波区的前侧或前侧的入流槽口,只有极个别时出现在强回波区后侧的入流槽口出,弓形带状回波北端逗点状回波处的,且大多在逗点头部弯曲的沟前沿(图5,见彩页)。对应新乡地区 $14 \sim 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风和局地强降水,中气旋仅在18:41出现一次。说明中气旋一般是随着 $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的大风而出现的。

5.2 西部中部强对流风暴雷达产品特征分析

三门峡位于河南西部,利用三门峡新一

代雷达产品分析19时以后影响三门峡、洛阳、济源、郑州等地区的雷雨大风伴局地冰雹和短时强降水等强对流天气。

5.2.1 基本反射率、组合反射率和回波顶高度分析

基本反射率和组合反射率上,此次强对流风暴表现为典型中尺度对流回波带即飑线回波带,强度在 $53 \sim 65 (> 65) \text{ dBz}$,高度在 $14 \sim 16 \text{ km}$,比影响北部的对流回波带强和高,有冰雹产生的渑池、宜阳、洛宁、济源、沁阳、博爱等地,回波强度均达 60 dBz 以上(图略)。组合反射率上回波强度达 65 dBz ,对应渑池20:19雷雨大风和冰雹在20:13和20:25组合反射率上强度最强达 65 dBz ,对应宜阳降雹的组合反射率上的对流回波单体前侧出现入流缺口。

分析6分钟回波顶高度图可知:19:30强对流回波带位于山西境内时高度就达 $9 \sim 12 \text{ km}$,19:48回波带东南移到山西平陆与三门峡交界处,回波顶高度增加到 14 km ,随后到20:55回波顶高度一直维持在 14 km ,影响三门峡、济源、博爱、焦作、渑池等地;20:25—20:49回波高度一直维持 16 km ,20:55降到 14 km ;焦作等地回波高度在20:49也达到 16 km ,维持了6个时次;其余回波顶高度一直维持在 14 km ,到21:38降到 11 km 。可见对流比北部发展旺盛,所以产生的对流风暴比较强。

5.2.2 速度产品分析

强过程发生期间,速度图上一直有中尺度系统扰动,(图6,见彩页)是25日19:54—20:37三门峡雷达速度产品演变,从图6a可以看出19:54时测站低层零速度线转为反“S”弯曲,说明此时测站低层转为冷平流;20:13—20:37速度图上(图6b,c,d),在飑线回波带前沿明显存在中尺度辐合线、气旋性辐合系统和逆风区。说明中尺度系统的存在是强对流风暴产生、维持发展的必要条件^[10]。这些速度图上的特征,是监测预警强风暴的重要参考依据。

5.2.3 中气旋

虽然对应强对流回波和对流风暴发生期间有中气旋相对应,但对比速度场,其中气旋产品的虚警率高,且位置有偏差,这是今后在使用新一代天气雷达产品时要注意的问题。

5.2.4 垂直液态积分含水量

分析间隔 6 分钟的三门峡新一代雷达产品可知:影响西部、中部的雷雨大风伴局部冰雹和短时强降水天气时段内,对应的垂直液态积分含水量一直维持在 $28\sim 65\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间,强中心在 $53\sim 65\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间(图 7),且在强天气发生前半个小时开始剧增,结束前 1 个小时就开始锐减,且高于北部的垂直液态积分含水量数值。说明雷雨大风伴随冰雹和短时强降水的强对流天气所需要的水汽含量要比单纯的雷雨大风所需要的水汽含量高。

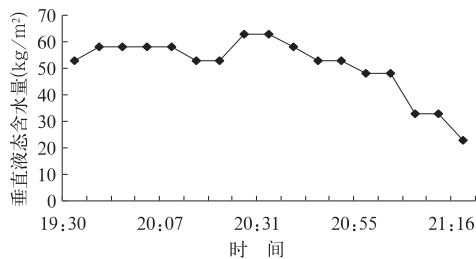


图 7 2006 年 6 月 25 日西部爬线回波带最大液态含水量演变

5.3 不同性质强对流天气雷达产品特征对比分析

为了分析不同性质的强对流天气在雷达产品上的区别,选取以下三站分析。

汤阴和安阳两站以大风为主,伴少量降水,为雷雨大风天气,其中汤阴 17:27—17:40 瞬时大风 $21.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,14—20 时降水 7mm;安阳 17:25—17:38 瞬时大风 $28.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,14—20 时降水 8mm。表 1 选取了两站 1.5° 基本反射率、回波顶高、垂直液态含水量及速度场特征等四个产品在雷雨大风发生前后的演变,可以看出:在雷雨大风发生前 3~5 分钟,基本反射率、回波顶高、垂直液态含水量三量均有跃增,汤阴和安阳的基本反射率分别由发生前的 13dBz、33dBz 猛增加到 48dBz、43dBz,回波顶高度在 11~14km,随着雷雨大风的发生,其回波顶高度迅速降低,垂直液态含水量也是在雷雨大风发生前后有一个跃增,随着雷雨大风的出现迅速减少,对应速度场上有辐合区、中气旋等特征出现。

卫辉以短时强降水为主,14—20 时降水 34.0mm,18:18 伴有 $14.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的瞬时大风,表 2 选取了卫辉站 1.5° 基本反射率、回波顶高、垂直液态含水量及速度场特征等四个

表 1 汤阴、安阳两站基本反射率(1.5°)、回波顶高、垂直液态含水量及速度场特征等与强天气对应关系

汤阴					安阳				
时间	强度 /dBz	顶高 /km	垂直液态含水量/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	速度场特征	时间	强度 /dBz	顶高 /km	垂直液态含水量/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	速度场特征
17:16	8		3		17:10	28	8	8	
17:22	13	11	8	17:16 鹤壁与汤阴交界处出现辐合区(展出	17:16	33	8	18	
17:28	48	11	18	现在负速度区),	17:22	43	14	43	17:22 速度场上出现辐合区
17:34	43	7	28	17:22 测站附近有辐合区(站处于负速度区),	17:28	53	8	43	(站处于负速度区)
17:40	38	7	8	中气旋	17:34	53	8	28	
17:46	23	7	3		17:40	48	8	13	
17:52	23	7	8		17:46	33	7	8	
					17:52	28	7	3	

表 2 卫辉站基本反射率(1.5°)、回波顶高、垂直液态含水量及速度场特征等与强天气对应关系

时间	强度 /dBz	顶高 /km	垂直液态含 水量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	速度场特征
17:46	0	10		
17:52	18	10	13	
17:59	53	10	23	
18:05	53	14	23	
18:11	48	10	28	17:46—18:05 和 18:11—19:18 逆风 区,生命史分别是 19 和 53 分钟; 18:11—18:29 有辐合区或 辐合线存在。
18:17	48	10	18	
18:23	48	10	18	
18:29	53	10	18	
18:35	43	10	13	
18:41	43	10	13	
18:47	28	10	13	
18:53	18	7	13	
19:00	8	7	13	

卫辉 18:18 大风 $14.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 14—20 时降水 34.0mm

产品在雷雨大风发生前后的演变。可以看出:在短时强降水和大风出现前 19 分钟,基本反射率由 18dBz 猛增到 53dBz,垂直液态含水量也由 $13 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 猛增到 $23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,最强时达 $43 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,回波顶高一直维持在 10km,只是在大风发生前 13 分钟猛增到 14km,速度图上有逆风区和辐合区、辐合线配合。

对比表 1 和表 2 可以看出,雷雨大风为主的强对流天气,其回波顶高发展比以短时强降水为主的强对流天气要高,前者在强天气发生后迅速降低且对应有中气旋,后者维持时间较长(与短时强降水发生时间比雷雨大风长有关),且对应有逆风区,但两者都可以有辐合区或辐合线出现。这些是区别两种强对流天气的特征,在今后的强对流天气监测和预警中应该注意。

5.4 北部与西部和中部强对流天气对比分析

(1) 西部中部的雷雨大风伴有冰雹,在强度上明显强于北部雷雨大风伴局部强降水无冰雹;

(2) 都呈 NE—SW 向中尺度对流回波带即飚线回波带,北部的回波强度在 53~58dBz、回波顶高度 9~12km,而西部、中部的回波强度都在 53~65dBz,回波顶高度 11~17km,明显强于北部的飚线回波带。

(3) 两者在风暴前侧都有雷暴出流边界,北部由于地面强 NW 风使得中尺度对流回波带北段形成近似弓形的带状回波,且其北段出现逗点状涡旋回波,并与中气旋对应。

(4) 速度场上测站低层均有强的 NW 风,中尺度辐合线、辐合系统、逆风区,西部中部的飚线回波带在其前侧对应出流边界有一弧线窄带速度线。

(5) 北部和西部、中部在强对流天气发生期间均伴有中气旋,中气旋出现在对流回波前侧入流槽口处,对应实况是雷雨大风。

(6) 影响西部中部的飚线回波带,其垂直液态含水量 $53 \sim 63 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,而北部以雷雨大风为主的飚线回波带北段垂直液态含水量 $43 \sim 58 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,以短时强降水为主的南段其垂直液态含水量为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。可见在垂直液态积分含水量上,表现为有降雹的明显高于无降雹的,以雷雨大风为主的明显低于以短时强降水为主的。

(7) 分析 VWP 产品可知:三门峡雷达的风廓线上风的垂直切变比濮阳的大,且底层高层的冷暖平流也比濮阳要明显得多,说明降雹天气比不降雹对流天气需要更大的垂直切变和不稳定能量。

6 结 论

(1) 此次强对流风暴的影响系统是高空深厚的横槽,地面是冷锋和中尺度辐合线,大气层结为上干下暖的不稳定层结,强对流风暴发生在冷锋云带尾部前侧的不稳定区内,是受冷锋尾部扩散下的冷空气和河套底部下滑槽东移所致。

(2) 不同性质的强对流天气,新一代雷达产品表现出不同特征,为监测预警强对流天气预警提供了重要参考依据。

(3) 飏线回波带上,在单体发展旺盛时有雷暴出流边界、前侧入流槽口等典型特征,对应的速度场上有中气旋、弧线窄带速度线、中尺度辐合线、辐合系统、逆风区等中尺度系统存在,雷暴出流边界与速度图上的弧线窄带速度线对应,随着雷暴出流边界远离强对流风暴主体,该弧线窄带速度线也远离大片的速度区,并逐渐消失。

(4) 在强对流风暴发展旺盛时期,均有中气旋对应,中气旋出现在对流回波前侧或前侧入流槽口处,早于大风出现,大风出现在强回波的后侧,这是一个比较有使用价值的监测预警指标。

(5) 雷雨大风为主的强对流天气,其回波顶高发展比以短时强降水为主的强对流天气要高,前者在强天气发生后迅速降低且有中气旋对应,后者维持时间较长(与短时强降水发生时间比雷雨大风长有关),且有逆风区对应,但两者都可以对应辐合区或辐合线。

参考文献

- [1] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社.
- [2] 张沛源,杨洪平,胡绍萍.新一代天气在临近预报和灾害性天气警报中的应用[J].气象,2008,34(1):3-11.
- [3] 张沛源,余志敏,王慕维.多普勒天气雷达资料在强天气短时预报中的应用[C].第十一届亚运会气象保障研究论文集[M].北京:气象出版社,1992:68-74.
- [4] 张芳华,张涛,周庆亮,等.2004年7月12日上海飏线天气过程分析[J].气象,2006,31(5):47-51.
- [5] 李云川,王福侠,裴宇杰,等.用CINRAD-SA雷达产品识别冰雹、大风和强降水[J].气象,2006,32(10):64-69.
- [6] 王华,孙继松,李津.2005年北京城区两次强冰雹天气的对比分析[J].气象,2007,33(2):49-55.
- [7] 张晰莹,张礼宝,安英玉,等.弱冰雹云雷达回波结构特征分析[J].气象,2008,34(2):38-42.
- [8] 陆汉城,杨国祥.中尺度天气学原理和预报[M].北京:气象出版社.
- [9] 张沛源,陈荣林.多普勒速度图上的暴雨判据研究[J].应用气象学报,1995,6(3):373-378.
- [10] 张杰.中小尺度天气学[M].北京:气象出版社,2006.

牛淑贞等：强对流风暴新一代雷达产品特征分析

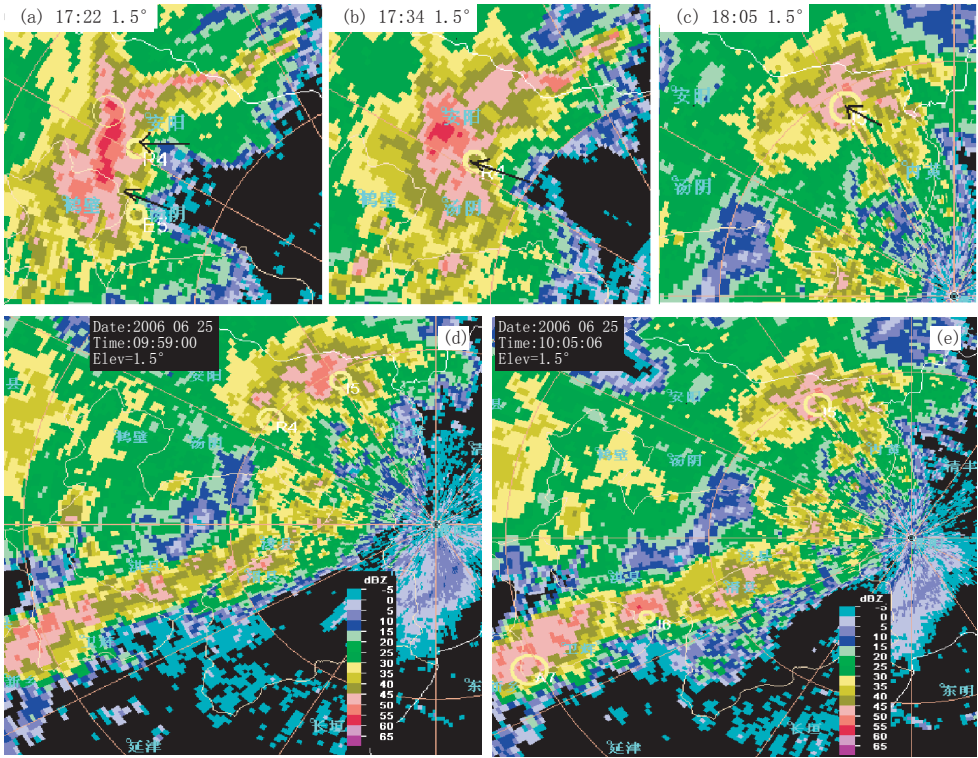


图5 2006年6月25日濮阳雷达基本反射率与中气旋产品叠加图
黄色圆圈为中气旋，黑色箭头所指为飊线回波带前侧入流槽口

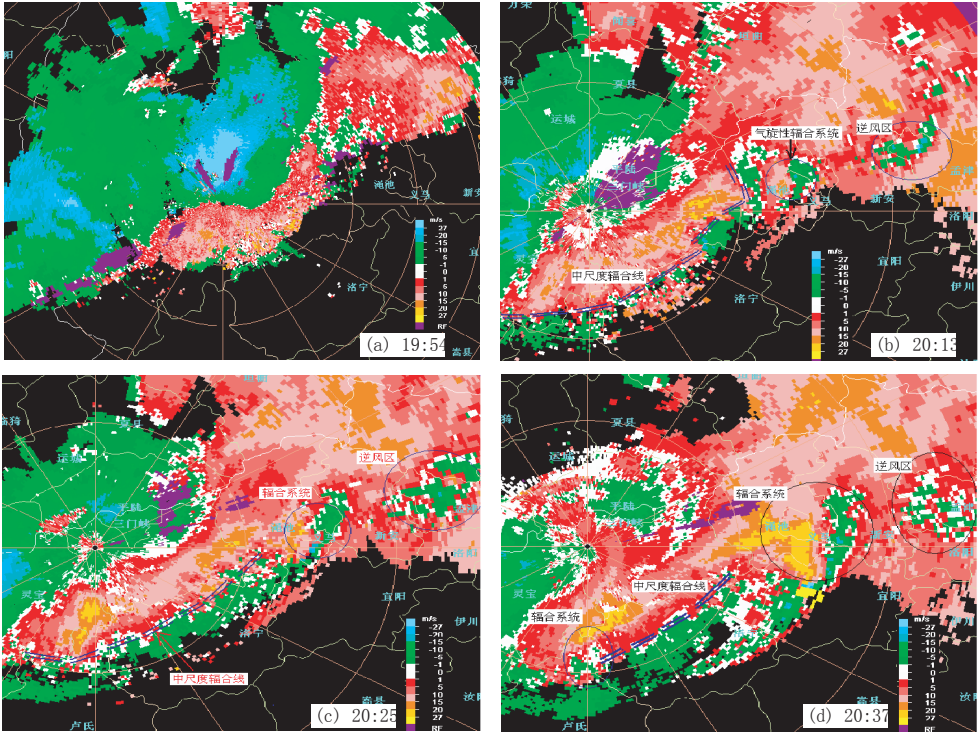


图6 2006年6月25日19:54-20:37三门峡雷达速度场

牛淑贞等：强对流风暴新一代雷达产品特征分析

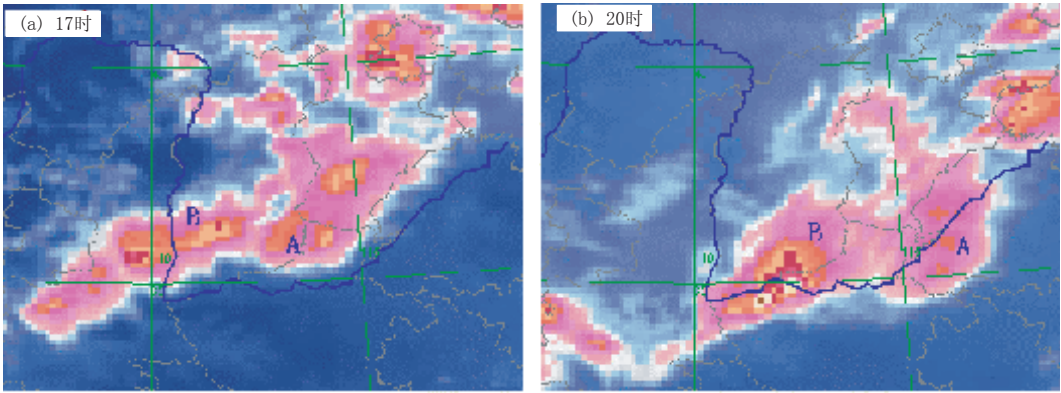


图 1 2006年6月25日影响河南的两个对流云团

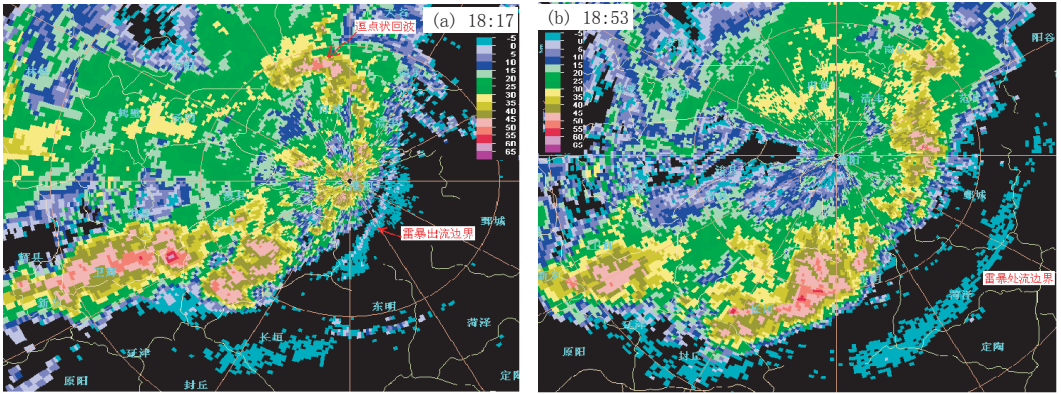


图 2 2006年6月25日基本发射率图上北部弓形带状回波和其前侧雷暴出流边界

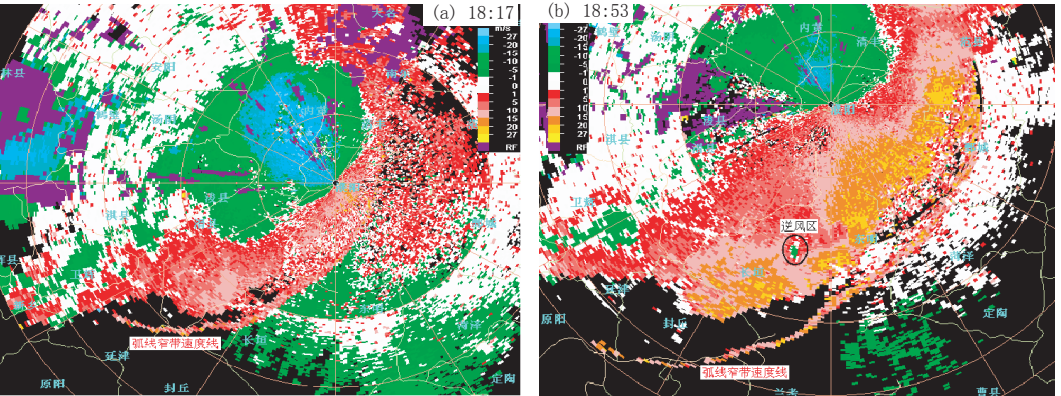


图 3 与图2对应的速度场上弧线窄带速度线和逆风区