

陕西中部一次下击暴流的多普勒 雷达回波特征

毕 旭¹ 罗 慧² 刘 勇³

(1. 陕西省榆林市气象台, 榆林 719000; 2. 陕西省防雷中心; 3. 陕西省气象台)

提 要: 利用西安多普勒雷达产品资料对 2006 年 6 月 25 日发生在陕西中部的一次下击暴流天气进行初步分析, 结果表明: 强单体合并加强形成弓状回波并产生了 $33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风天气; 弓状回波反射率因子核心 (60dBz) 的高度下降明显; 垂直液态水含量高达 $70 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$; 弓状回波中层辐合较强, 多普勒风场中层辐合区特征比较明显。

关键词: 下击暴流 弓状回波 中层辐合区

Doppler Radar Echo Features of a Downburst in Central Part of Shaanxi Province

Bi Xu¹ Luo Hui² Liu Yong³

(1. Yulin Meteorological Office, Shaanxi Province, 719000; 2. Shaanxi Provincial Lightning Protection Centre;
3. Shaanxi Province Meteorological Observatory)

Abstract: The downburst on June 25, 2006 in central part of Shaanxi Province was analyzed with Doppler radar data from Xi'an. The results show that the strong single cell is combined and enhanced to cause a bow echo, leading to the weather with strong wind $33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. The height of reflectivity factor core (60dBz) drops markedly. The vertical column liquid water content is $70 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. The convergence in the middle-level of the bow echo is relatively strong. The characteristics of convergence in the middle level of Doppler wind field can be seen clearly.

Key Words: downburst bow echo middle-level convergence zone

引 言

下击暴流是一种可以产生严重风灾的中

小尺度天气。通常下击暴流出现的时间短, 因此成为预报难点^[1-5]。2006 年 6 月 25 日 17:20—19:30(北京时, 下同), 陕西中部出现了强雷阵雨、大风、冰雹天气。19:04 大荔县

(34.9°N、109.9°E)1小时降水量17mm,同时伴有12级大风,最大风速 $33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,风向 290° ,突破了历史极值。大风造成大荔26个乡镇(镇)不同程度受灾,吹倒树木12000棵,损毁房屋4126间,因灾受伤50多人,死亡8人。本文应用多普勒雷达回波资料分析了发生在陕西省大荔县境内灾害性大风产生的原因,为今后类似的天气过程做出预报预警提供参考。

1 天气形势分析

2006年6月25日08时500hPa图上,中高纬度大环流形势为两槽一脊。贝加尔湖到巴尔喀什湖有一横槽,新疆为一弱脊,东亚大槽位置略偏西,在我国东北表现为一冷涡,陕西处在脊前西北气流当中。由于东北低涡的影响,陕西中空有干冷空气活动。700hPa上,在陕西北部—宁夏中部—甘肃南部有一切变线,切变线以南陕西北上空为不小于 13°C 的暖温度脊,脊线在 $35\sim 36^\circ\text{N}$ 之间呈东西向。850hPa上,陕西北部为一切变线,陕西中部处在切变线南部西南气流中。低层暖湿空气与中空的干冷空气叠加,有利于对流发生发展。

6月25日08时,陕西中部中层700hPa和850hPa水汽相对比较充沛,水汽通量为 $60\sim 80\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,500hPa比较干燥,水汽通量为 $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,这种上干下湿的结构对下击暴流有很大的增强作用。25日08时的850hPa θ_{se} 图上,有 $\theta_{\text{se}}\geq 60^\circ\text{C}$ 高能舌由南向北伸展到陕西中部,西安 $\Delta\theta_{\text{se}(500-850)}=-8.8^\circ\text{C}$,表明低层有较强的不稳定能量积聚。

2 地面自动站资料分析

地面自动站资料显示,25日15时前陕

西中部的地面风场没有明显的中尺度系统。16时距大荔站约31km处的华山站偏南风速变化明显,由15时的 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增加到 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明低层水汽条件得到加强,有利于强对流的发展。18时陕西中部大荔附近出现气旋性涡旋,导致二个不同方向的对流单体合并增强。19时左右在大荔产生下击暴流,10分钟导致地面气压升高6hPa,温度下降 13°C ,相对湿度由40%升高到90%,瞬时风速由 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 突增到 $33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,并且大风(不小于 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)维持了近14分钟。事后,有关人员灾情进行了调查,发现地面风是直线风,具有下击暴流风场特征。另外,从大荔、蒲城(在大荔西北方向34km处)地面自动气象站风场的变化情况来看,18时在蒲城(西风)、大荔之间呈气旋性辐合运动,19时大荔为西北风,蒲城为东南风,蒲城、大荔之间呈辐散状。蒲城偏东风维持到19:22,说明下击暴流的强度很强,持续时间较长。

3 多普勒雷达回波特征

3.1 组合反射率因子

6月25日14:18西安多普勒雷达组合反射率因子图显示陕西中部有对流云回波发生发展,此后回波在向东南移动的过程中逐渐加强,14:37强度超过50dBz,16:40零散的回波连接带状回波,呈NE-SW向,以相同的速度向东南方向移动。移动过程中始终有不小于50dBz的强回波存在,先后在经过地区产生冰雹、大风等强对流天气。18:31(图1a,见彩页),蒲城北部有一NW-SE向长约30km超过50dBz的强回波,在蒲城南部有一NE-SW向长约40km超过45dBz的强回波,这两处强回波在18:37开始合并(图1b,见彩页),连在一起的强回波前部边缘清晰、边缘曲率较大,反射率最大达60dBz以上,不小于50dBz的强回波面积较前明显增加。

18:43(图 1c,见彩页)连在一起的强回波合并后演变成为弓状回波(图 1c 中黑色箭头所指方向),移动迅速。18:55(图 1e,见彩页),弓状回波前缘到达大荔上空,曲率达到最大,回波强度达 60dBz。19:02(图 1f,见彩页)曲率明显较 18:55 变小,强度未变,19:04 在大荔造成风速 $33\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、风向 290° 的大风和直径 6mm 的冰雹天气。此后弓状回波继续向东南方向移动在大荔下游地区陆续造成一些灾害性天气。21:49 雷达回波明显减弱,45dBz 以上的强回波基本消失。

3.2 垂直剖面特征

下击暴流的形成是与雷暴云顶的上冲和崩溃紧密联系着的,从产生下击暴流对流云的回波强度垂直剖面图上可以发现这一特征。18:55 在大荔附近的强对流单体(图 2a,见彩页),云体高度为 12km,45dBz 高度为 10.5km,60dBz 回波高度达 8.5km。19:02 在大荔的强对流单体(图 2b,见彩页),云体高度为 12km,45dBz 高度为 10km,60dBz 高度达 6.5km。19:08 在大荔的强对流单体(图 2c,见彩页),云体高度为 12km,45dBz 回波高度为 9km,60dBz 回波高度达 5km。19:14 在大荔的强对流单体,云体高度为 12km,45dBz 回波高度为 8km,50dBz 高度达 4km。反射率因子核心(60dBz)的高度从产生下击暴流前的 8.5km 经过 3 个体扫时间下降到 4km,说明大荔大风的产生与雷暴云顶的上冲和崩溃紧密联系着。另外,从 19:02 的径向速度垂直剖面(图 2d,见彩页)上可以看出,对流云中低层都存在着辐合运动,在 4~5km 高度辐合最强,9km 以上则为辐散。综合灾情、地面风场特征、强单体平显、高显和径向速度特征,表明这次灾害性大风是一次下击暴流。

3.3 垂直液态水含量 VIL 特征

6 月 25 日 14:18 对流回波中垂直液态水

含量 VIL 最大值为 $5\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。强回波向东南方移动的过程中 VIL 值逐渐增加,15:38 开始出现 $\text{VIL}\geq 50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的回波,此后随着前述回波带向东南方向移动,回波带中不断有 $\text{VIL}\geq 50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的回波生消。在 18:31(图 3a,见彩页)大荔上游蒲城北方的 NW-SE 向的强回波 VIL 最大值达 $69\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。此后,随着蒲城上方的两块强回波的合并一直到 18:49(图 3b,见彩页)(经过雷达 3 个体扫时间)弓状回波中 VIL 最大值缓慢下降,但 VIL 最大值一直维持在 $55\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上,说明高空的水汽凝结后下降到地面的量较小。18:55(图 3c,见彩页)弓状回波中 VIL 值再次增大,VIL 值最大为 $70\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,说明两个强单体合并后,低层辐合加强,对流强度增大,对流云中的水滴含量和冰雹增多。经过一个体扫 6 分钟时间,19:02(图 3d,见彩页)VIL 最大值下降到 $54\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,19:08VIL 最大值进一步下降到 $47\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,且在 VIL 产品显示图上,VIL 值超过 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的面积仅有两个分散的象元。表明在 18:55 到 19:02 空中的水粒子和冰雹数量下降剧烈,对比 18:55 回波强度图分析,表明下击暴流已经产生了,大荔大风正是下击暴流到达地面后出流造成的。

3.4 风场特征分析

18:37(1.5° 仰角),合并后的强回波在蒲城上空东北方出现中层辐合区(图 4a,见彩页黑色箭头所指),负速度面积约 88.7km^2 (见表 1),该中层辐合区中负速度面积到 18:49 时(图 4b,见彩页)基本维持不变,19:55(图 4c,见彩页)负速度面积迅速增大,到 19:02(图 4d,见彩页)负速度面积开始减小,直到 19:26 后消失。18:37 中层辐合区最小负速度不小于 $-1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,18:43—19:26 最小负速度一直维持不小于 $-5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,见表 1。18:37 在 2.4° 、 3.4° 、 4.3° 仰角图上对应位置也有中层辐合区, 2.4° 仰角负速度

区面积约是 1.5° 仰角面积的 $1/4$, 3.4° 仰角负速度面积小于 2.4° , 4.3° 仰角负速度面积较 3.4° 的小一半以上(除 18:55 外), 在 18:55 这 3 个仰角负速度区面积也迅速增大, 19:02 均迅速减少, 且负速度面积减少明显, 2.4° 仰角的中层辐合区 19:14 后消失; 3.4° 、 4.3° 仰角图上中层辐合区到 19:02 后消失。综上所述, 中层辐合区范围面积在 18:37—18:49 变化较小, 18:49—18:55 分迅速增大,

18:55 后迅速减小, 在同一时次不同仰角上随着仰角增大维持时间缩短, 面积减小, 表明对流在 18:37—18:49 这段时间内一直维持较强水平, 18:49—18:55 合并后的单体迅速增强, 对应着 VIL 值的再次增大, 在 18:55 后中层辐合区面积由高到低迅速减少, 对应着强对流天气即本次天气过程中下击暴流的产生。

表 1 各仰角中层辐合区面积变化(单位: km^2)

仰角	18:37	18:43	18:49	18:55	19:02	19:08	19:14
1.5°	88.7	101.6	82.9	129.9	113.7	117.3	145.3
2.4°	24.0	24.0	44.8	74.9	67.0	27.9	17.4
3.4°	20.3	15.5	19.6	33.2	31.4	无	无
4.3°	0.8	8.5	9.0	31.8	10.8	无	6.7

在单体的雷达径向垂直剖面图(图略)显示, 18:43—18:55 前中层辐合区有一个增强(最大多普勒雷达径向正负速度差增大)且中心上升(最大多普勒雷达径向正负速度区上升)的一个过程, 对应着单体合并对流发展加强的过程, 18:55 后有一个减弱(最大多普勒雷达径向正负速度差减小)、下降过程(最大多普勒雷达径向正负速度区下降)。

4 结 语

(1) 高空冷涡后部的强冷空气与低空暖湿气流叠加为此次天气过程的发生发展提供了有利的背景。

(2) 强对流单体合并加强形成弓状回波后近 20 分钟在大荔产生强下击暴流, 造成地面强风。弓状回波强度达 60dBz , 高 12km 。

(3) 弓状回波反射率因子核心 (60dBz) 的高度从产生下击暴流前的 8.5km 经过 3 个体扫时间下降到 4km , 表明下击暴流与雷暴云顶的上冲和崩溃紧密相连。

(4) 弓状回波的垂直液态水含量 VIL 值在出现下击暴流前达到 $70\text{kg}\cdot\text{m}^2$, 出现下击暴流 6 分钟后迅速减小。

(5) 弓状回波垂直剖面的径向速度表明, 大风出现前中低层有比较强的辐合运动, 高层有较强的辐散运动。

(6) 这次过程中中层辐合区面积增加后维持了一段时间也预示着有强对流发生。

参 考 文 献

- [1] 廖晓农, 王 华, 石增云, 等. 北京地区雷暴大风日 θ_e 平均廓线特征[J]. 气象, 2004, 30(11): 35-37.
- [2] 陈力强, 周小珊, 杨 森. 一次强风暴的垂直环境特征数值模拟分析[J]. 气象, 2004, 30(9): 3-8.
- [3] 殷占福, 郑国光. 一次强风暴三维结构的观测分析[J]. 气象, 2006, 32(9): 11-16.
- [4] 李英, 舒智. 云南春季冰雹、大风天气的中尺度扰动特征[J]. 气象, 2000, 26(12): 16-19.
- [5] 俞小鼎, 张爱民, 郑媛媛, 等. 一次系列下击暴流事件的多普勒天气雷达分析[J]. 应用气象学报, 2006, 17(4): 384-393.

毕旭等：陕西中部一次下击暴流的多普勒雷达回波特征

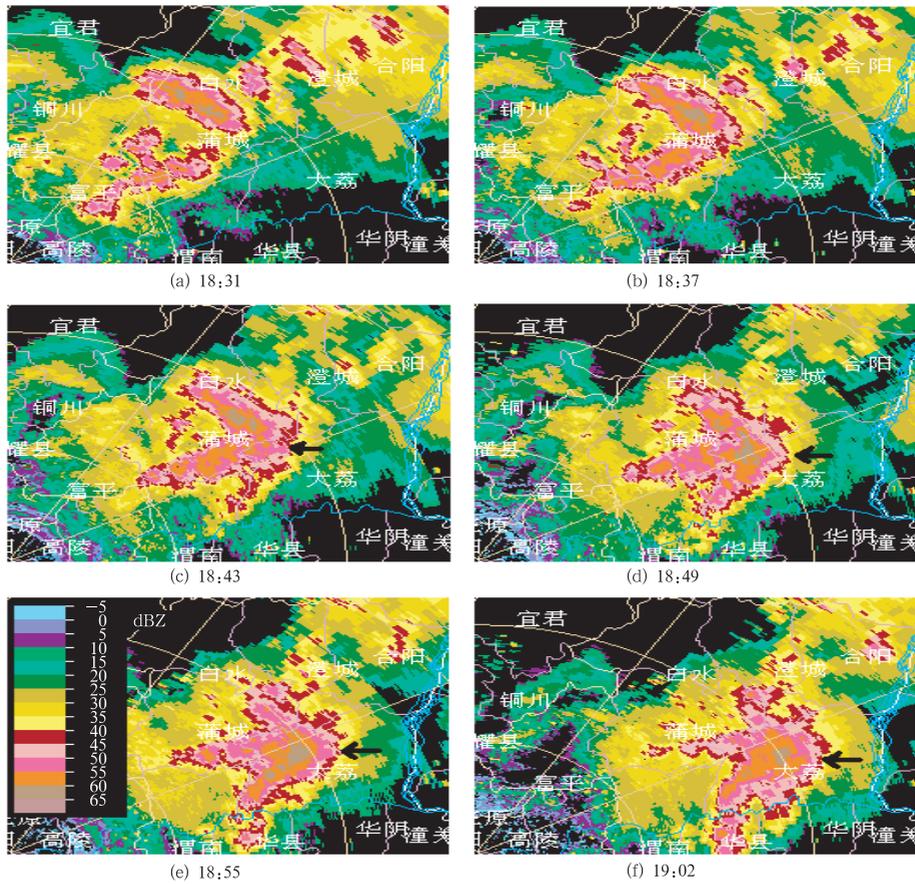


图1 2006年6月25日18:31—19:02组合反射率因子图

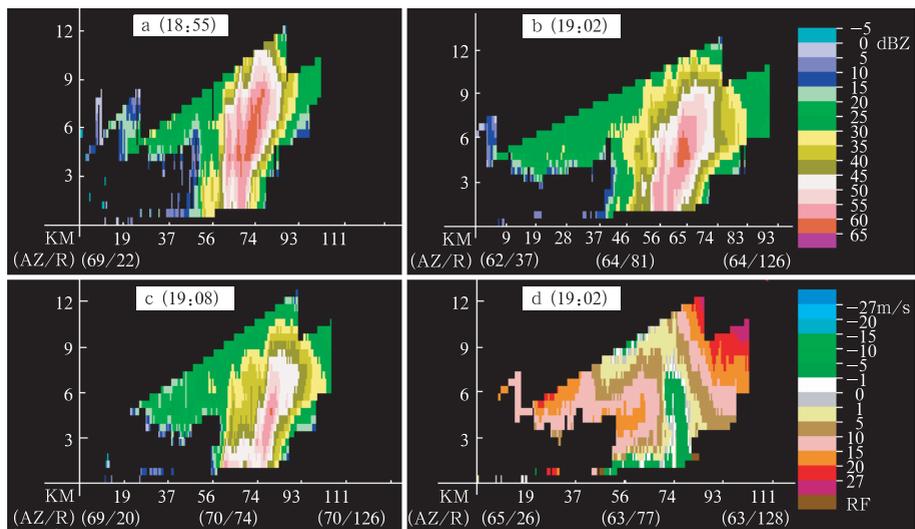


图2 2006年6月25日18:55—19:08垂直剖面图

毕旭等：陕西中部一次下击暴流的多普勒雷达回波特征

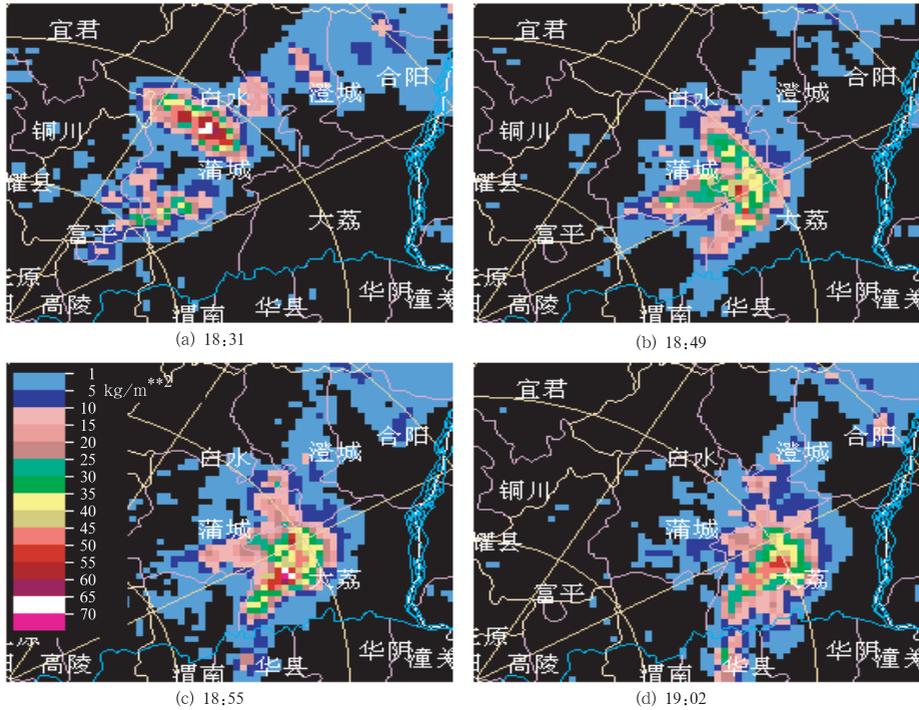


图3 2006年6月25日18:31—19:02 VIL图
圈距：50km

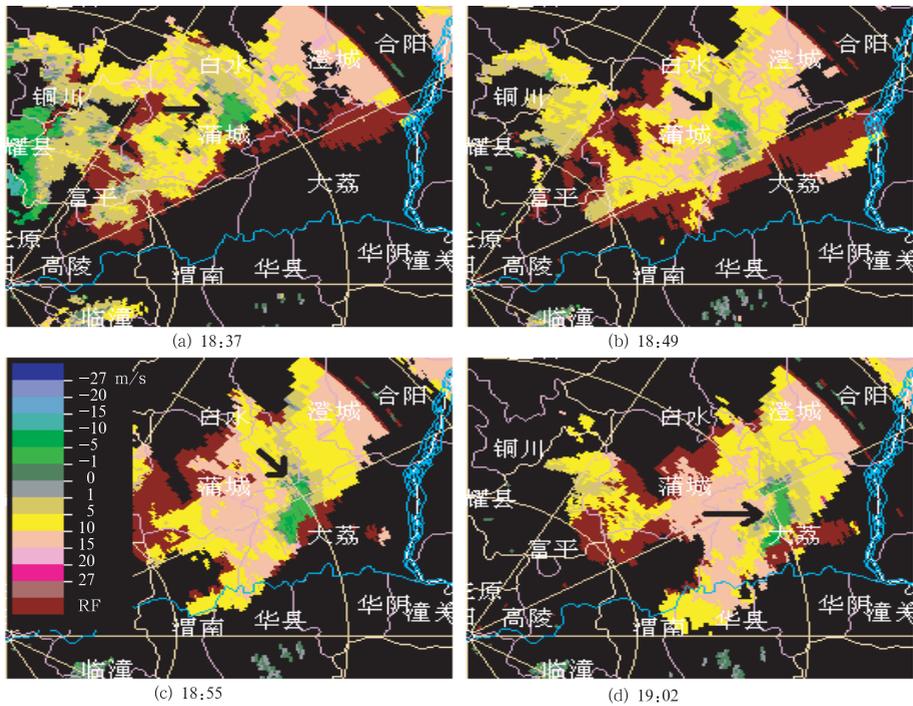


图4 2006年6月25日18:37—19:02 径向速度图
仰角：1.5°，圈距：50km