

28日02时~28日08时(图1),兰州、定西、渭源等站6h降水量超过15mm。

2 资料和方法

2.1 资料

2003年8月27~28日逐时自计降水记录、500hPa、700hPa高度场、兰州多普勒雷达强度、速度回波资料;

NCEP\NCAR资料:2003年8月27~28日逐日每6h再分析资料,水平网格为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,垂直17层1000、925、850、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10hPa的位势高度、纬向风分量和经向风分量,比湿 q 为垂直8层(1000~300hPa),地面气压 P_s 。

2.2 方法

P 坐标系中单位时间通过垂直于风向的底边为单位长度,高为整层大气柱的面积上的总水汽通量(垂直积分的水汽通量),计算公式如下:

$$qu = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} q \times u dp \quad (1)$$

$$qv = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} q \times v dp \quad (2)$$

$$Q = \frac{\partial qu}{\partial \cos \varphi \partial \lambda} + \frac{\partial qv}{a \partial \varphi} \quad (3)$$

水汽通量单位为 $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$,水汽通量散度单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, P_s 为地表面气压, p 取为300hPa, g 为重力加速度, a 为地球半径, φ 和 λ 分别为纬度和经度。

3 雷达回波特征

此次降水过程从27日20时开始,兰州站多普勒雷达从28日00时08分开始观测,每间隔7min观测一次。为了增加分析的可比性,本文利用体积扫描第3仰角层(2.0°)上的雷达回波进行分析,发现此次回波范围大,边界模糊不清,回波中存在少许对流性降水特征,是一次混合性降水过程,下面从回波强度和速度特征两方面进行讨论。

3.1 雷达强度回波特征

28日00时08分(图2a),100km距离圈除 $350^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 、 $50 \sim 100$ km范围内无回波外,其余地区均布满回波。回波分布均匀,无明显的整齐边界,强度在10~25dBz之间,其中有两块回波相对较强,一块位于兰州西面50km距离圈内,为一带状回波,强度约在35~40dBz(称为回波A),回波顶高3

~4km;另一块位于兰州南面 $170^{\circ} \sim 210^{\circ}$ 、 $30 \sim 80$ km(广河、康乐、和政一带),强度约为25~30dBz(称为回波B),回波顶高3km。与之对应,00时兰州和永靖的降水强度都比较大,1h降水量分别为11.5mm和13.5mm,而回波B所覆盖地区的降水量为2~5mm。

28日01时08分(图2b),回波A向北向东移至兰州北部和西部50km范围内,分散为一些点状回波,强度无明显变化,04时15分(图2d),回波A缓慢减弱并向北移至皋兰、白银附近,05时以后逐渐减弱消散了。另外01时08分(图2b),回波B在广河附近演变发展为一点状回波,强度增强为35~40dBz,回波顶高4~5km,预示着此处降水可能将会加大,01时该站降水(7.4mm)远大于周围站点证明了这一点,02时10分左右回波B减弱消散。

28日4时15分(图2d),定西附近对流加强,回波强度增加到30~35dBz,回波顶高在4km左右(称为回波C),04时该站降水较前3h明显加大,达8.0mm。05时后回波C强度减小,雨强也随之减弱。

28日5时01分(图2e),兰州北部10~30km处,发展形成回波强度为25~30dBz,回波顶高在3~4km左右的对流云团,并向南移动,预计兰州雨量将会增大。对应兰州市05时的降水量10.4mm,06时的降水量为3.4mm,此回波一直维持到06时40分(图2f)。28日11时后,回波明显减弱,此后甘肃省中部的降水以间歇性为主,强度减弱。

3.2 雷达速度回波特征

多普勒雷达除了能起到常规天气雷达的作用外,还可利用多普勒效应测定降水粒子的径向运动速度,并通过这种速度信息推断风速分布、冷暖平流、风场辐合与辐散等特征。

3.2.1 大尺度运动特征

从多普勒速度图上可以看到“0”速度线、回波范围大且边界模糊不清等特征,且“0”速度线在正速度区内有一个伸向负速度区的折角。50km范围内(图3a),风向为东南风,有水汽输送,负速度区范围明显大于正速度区,表明在测站周围50km范围内为辐合区;“0”速度线随着高度顺转,可知有暖平流,因此此次降水过程为一次暖平流与辐合相结合的过程。另外在 3.0° 仰角层的VPPI强度图上可以看到一个不闭合的强回波带,即零度层亮带。

3.2.2 中小尺度运动特征

逆风区是指在没有速度模糊存在的情况下,在

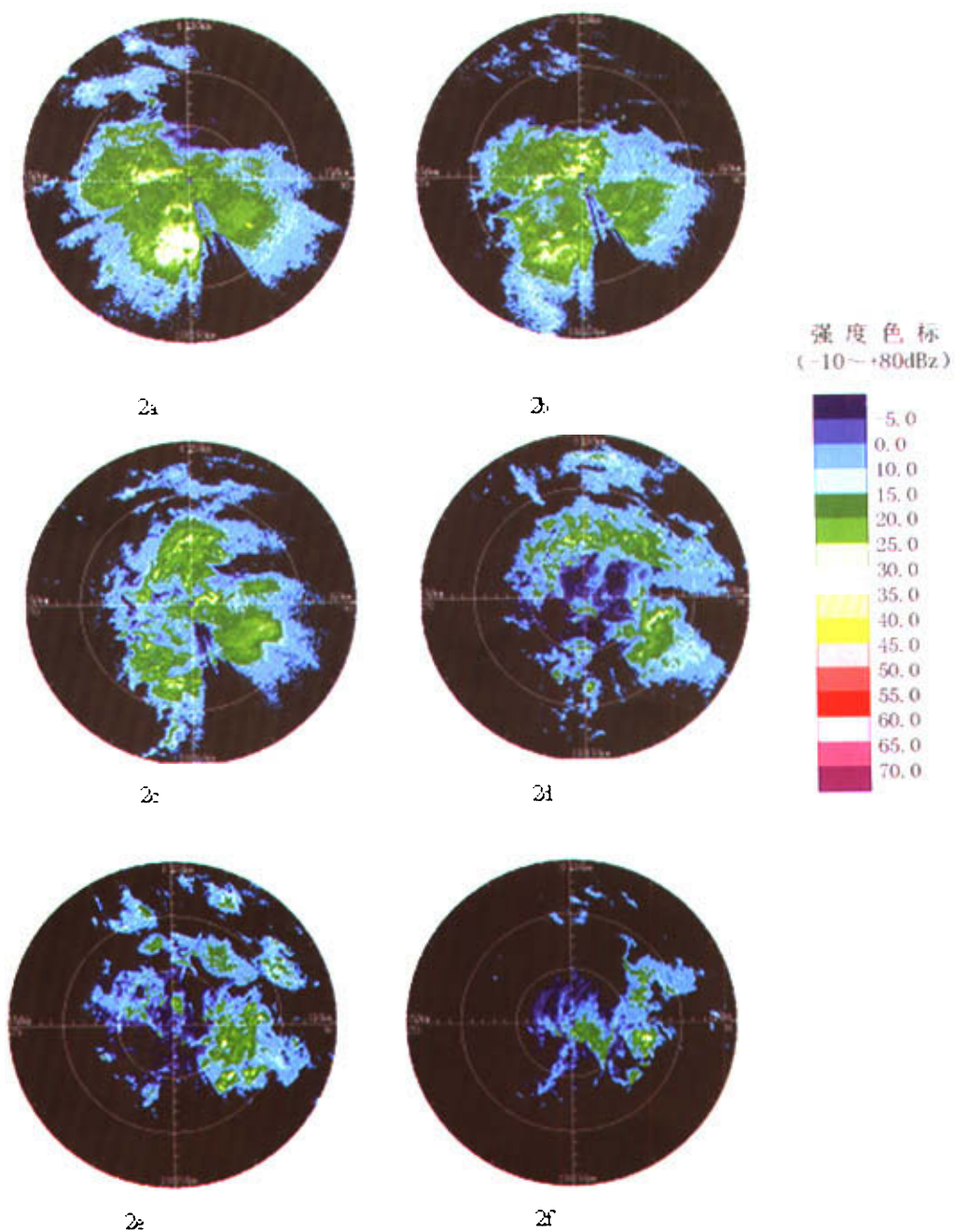


图2 雷达回波强度图

(2a:28日00时08分;2b:28日01时08分;2c:28日02时19分;
2d:28日04时15分;2e:28日05时01分;2f:28日06时40分)

Fig.2 Echo intensity of Doppler radar

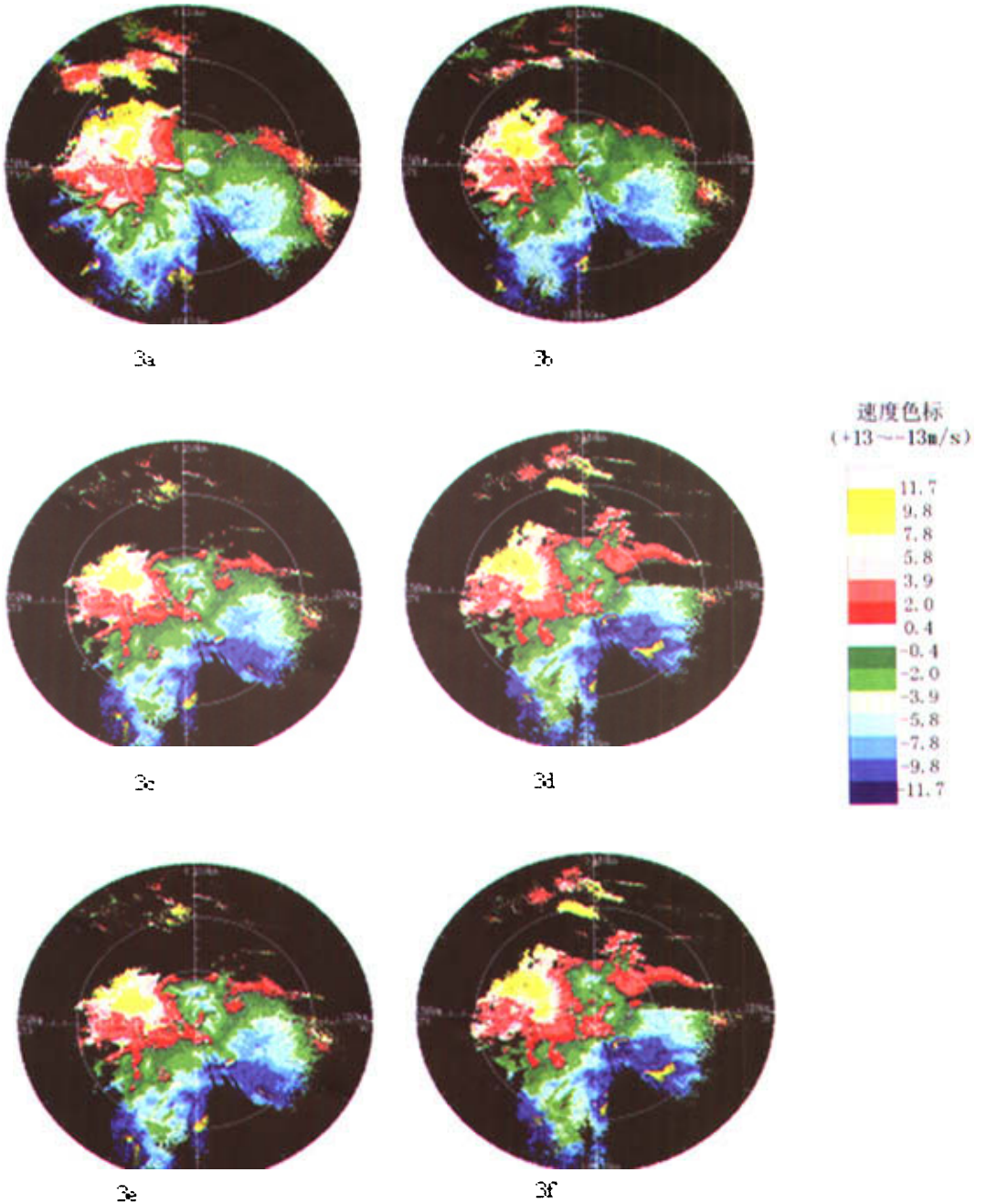


图3 雷达回波速度图
(3a:28日00时15分;3b:28日00时44分;3c:28日01时08分;
3d:28日01时29分;3e:28日02时26分;3f:28日03时31分)

Fig.3 Echo speed of Doppler radar

正速度区内包含负速度或负速度区内包含正速度,其一边为辐合区,另一边为辐散区,它是中尺度辐合辐散共轭系统风场在多普勒速度图上的表现形式,与强降水之间有很好的相关。在此次过程中前后出现了两块逆风区,第一块位于榆中附近负速度区范围内,从28日00时(图3a)开始维持了约50 min后,与测站偏西方逐渐向东扩展的正速度区合并(图3c);另一块逆风区位于广和附近(28日00时44分起图3b),属负速度区中的正速度区,对应于强度图上有35~40 dBz的强度中心,此逆风区在广河附近维持了40 min左右,同时受环境风场的影响略向西北移动,至28日01时29分(图3d)与正速度区合并。逆风区所到之处,降水强度均有所增加。

近距离风向风速的辐合辐散与强降水也存在着密切关系。28日02时在测站东南方50~100 km范围内出现了一大片的负速度中心,并出现速度模糊现象,速度中心达13~19 m/s(图3e),与之相对应的回波强度并不大,仅20 dBz,但此处为风速低层辐合高层辐散,有利于降水,从降水实况看,此后1~2 h内,定西、会宁出现了强降水(04时定西、会宁1 h降水量分别达8 mm、4.9 mm)。同样04时46分在测站北部20 km处出现的负速度中心也是造成兰州雨强加大(05时降水量达10.4 mm)的原因。

4 水汽输送特征

水汽输送及辐合是形成降水的必要条件,因此可以利用表征水汽输送大小和方向的水汽通量及其

散度场来分析此次过程水汽的变化特征。从水汽通量合成图上可以看到,此次过程空中水汽沿西风带和东南风2个方向输送,其中:

27日08时(图略),输送到降水区的水汽通量在6~10 kg/(m·s)之间,呈辐散状态,其西侧青藏高原有1个24 kg/(m·s)水汽通量大值中心;27日14时(图略),降水区水汽通量输送明显增加,达到10~15 kg/(m·s),除西北边界存在水汽通量的辐合,其它区域仍维持辐散,青藏高原水汽通量也比前一时次增大。27日20时开始(图略),青藏高原水汽通量无明显变化,但降水区水汽通量输送显著增加,与14时相比增加了10~15 kg/(m·s),此时水汽通量辐合区仍然位于降水区的西北边界,但辐合强度比前一时次大大加强。

28日02时(图略)开始,青藏高原水汽通量中心和降水区水汽通量中心合并,呈东北—西南走向分布;与27日20时相比,降水区存在大范围的水汽通量辐合,但强度比前一时次有所减弱;到28日08时(图4a~4b),合并后的水汽通量中心又分离,再次形成了青藏高原和降水区2个水汽通量中心,其中降水区水汽通量为10~14 kg/(m·s)。与之对应,6 h降水最大中心兰州(19.3 mm)、渭源(43.3 mm)均位于水汽通量大值中心区,而此时水汽通量的辐合也最强,降水中心区达到 $-30 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;28日14时(图略),降水区水汽通量中心仍然存在但降水区北部存在水汽通量的辐散,南部存在辐合,与之对应,6 h降水最大中心明显南移,降水量级减弱。

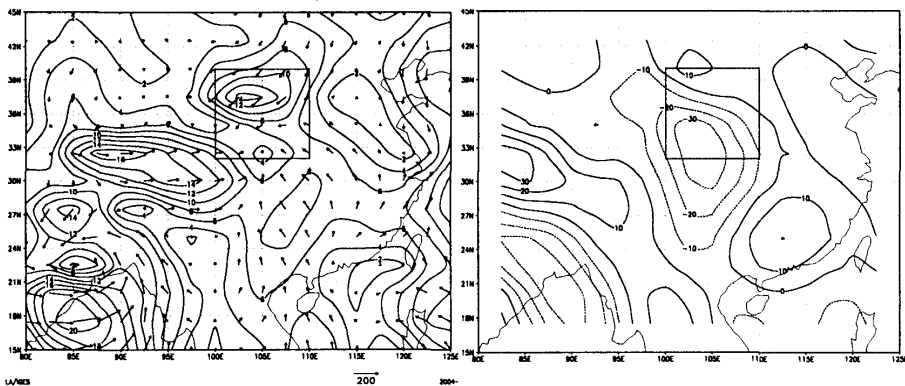


图4a 8月28日08时水汽通量合成场

图4b 8月28日08时水汽通量散度场

Fig. 4 The compound field of vapour flux at 08:00 on August 28 (a); the divergence field of vapour flux at 08:00 on August 28 (b)

5 结论

(1)零速度带在测站近距离两侧顺转程度不一致是暖平流和大尺度辐合运动的叠加造成的,这一结构为强降水的产生和维持提供了有利的水汽垂直输送和辐合上升运动。

(2)逆风区是中尺度辐合辐散共轭系统风场在多普勒速度图上的表现形式,与强降水之间有很好的相关,并且它的出现与滞后的强度演变和降水落区至少有 15~30 min 的提前量,最长可有 1~2 h 的提前量,可作为强降水识别及落区临近预报的重要判据之一。

(3)近距离风向风速的辐合辐散与强降水也存在着密切的关系。

(4)强水汽通量的输送为降水的产生和维持提供了充沛的水汽条件,但降水的区域和水汽通量的辐合密切相关,表现为若有强水汽通量输送的同时存在水汽通量的辐合,则降水集中、量级大;若降水

区有强的水汽通量输送但水汽通量的辐合不强或出现水汽通量的辐散,则不利于降水的发生。

多普勒雷达除了能起到常规天气雷达的作用外,还可利用多普勒效应测定降水粒子的径向运动速度,并通过这种速度信息推断风速分布、冷暖平流、风场辐合与辐散等特征。此外多普勒雷达还可以监测到中小尺度系统的发展演变,在暴雨等中小尺度强对流天气监测预警中具有不可替代的作用。

参考文献:

- [1] 胡明宝,高太长,汤达章.多普勒天气雷达资料分析与应用[M].北京:解放军出版社,2000.19-140.
- [2] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕.雷达气象学[M].北京:气象出版社,2001.280-355.
- [3] 蔡英,钱正安,宋敏红.华北和西北区干湿年间水汽场及东亚夏季风的对比分析[J].高原气象,2003,22(1):14-23.
- [4] 西北暴雨编写组.西北暴雨[M].北京:气象出版社,1992.1-164.

The Characteristic of Doppler Radar Echo and Vapor Flux in "8.28" Rainstorm

HUANG Yu-xia¹, WANG Bao-jian², WANG Xi-wen³, LIU Zhi-guo³

(1. Professional Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China;

2. Gansu Provincial Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China;

3. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Using the data of Doppler radar and reanalysis data of NECP/NCAR, the rainstorm process which occurred on August 27, 28 in 2003 in Gansu province was analyzed in this paper. The results show that the reason of veer degree of zero speed line differing from one side to the other side of the station was the big scale confluence adding on the warm advection, the structure offered advantageous vertical vapor transportation and confluence rising for producing and maintaining strong precipitation; upwind section and middle-small scale confluence (divergence) were in close connection with strong precipitation and that is an important index on precipitation prediction; the region and amount of precipitation have connection with the amount of vapor flux transportation and the degree of vapor confluence.

Key words: rainstorm; Doppler radar; vapor flux