

阵风锋在短时大风预报中的应用

李国翠¹ 郭卫红¹ 王丽荣¹ 李红艳²

(1. 河北省石家庄市气象局 050081; 2. 河北省气象培训中心)

提 要:应用石家庄及周边县(市)风自记、多普勒雷达等短时高频资料,对2005年5—8月石家庄出现的短时大风及其与阵风锋、对流降水关系进行统计,侧重分析了2005年6月17日强对流性雷雨云外围产生的阵风锋造成的雷雨大风过程。结果表明:阵风锋在雷达反射率因子图上表现为强对流回波前方近地层的条状或弧状弱窄带回波;在径向速度图上表现为风向、风速急剧变化的辐合带区域;速度图中的风辐合最强处与强度图中阵风锋回波位置相符,并且与风速演变曲线中的峰值有很好的对应;阵风锋移向和移速提前预示了主体对流回波传播方向、强对流天气的强弱以及短时大风的时空分布,从而为灾害性天气的短时及临近预报提供参考依据。

关键词:阵风锋 短时大风 辐合区 强对流

Application of Gust Front to Damage Wind Forecasting

Li Guocui¹ Guo Weihong¹ Wang Lirong¹ Li Hongyan²

(1. Shijiazhuang Meteorological office, Hebei Province 050081;
2. Meteorological Training Centre, Hebei Province)

Abstract: Based on the self-recording wind and Doppler radar data from May to August in 2005, a statistic analysis about the relation among the damage wind, gust fronts and convective precipitation is made. It shows that a gust front is associated with the line or arc shape echo in the reflectivity products, and convergence line in the velocity products, and the damage wind near the surface. Its moving direction and speed foreshow the convective echoes' spread direction, strength, and temporal-spatial distribution of the damage wind. It provides

a reference for the short range forecasting and the nowcasting.

Key Words: gust front damage wind convergence line severe convection

引言

雷暴前沿的出流辐合线达到一定的强度,就可称为阵风锋^[1]。根据 Uyeda Zrn-ic^[2]的定义:阵风锋要求一定的水平伸展长度(大于10km)和垂直于伸展方向上的风速水平切变值(大于 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$)。阵风锋回波多出现在夏季的下午到傍晚,多在边界层活动,以细长带状为多,因此也称为“窄带回波”。当它经过测站时,常伴有气压增高、气温降低和风向突变及风速急变。阵风锋通常不伴有降水发生(与雨带的主要区别之一),它是地面强风的前沿,在雷暴、外流边界、弓形回波、飚线强回波带的前沿均可探测到阵风锋窄带回波^[1,3]。近年来,阵风锋回波与灾害性大风的研究已成为短时临近预报的重点话题。刘娟等^[4]分析了阵风锋对雹暴系统的反馈作用,并探讨了阵风锋回波带在短时预报中的应用;张一平等^[5]找出了雷暴外流边界和郑州强对流天气的关系,并和无外流边界出现的强回波对郑州天气的影响进行了对比;至于阵风锋回波距离主体雷暴或测站的远近,戴建华等^[3]认为距离主体的远近表明主体的爆发强度,距离近表明爆发强烈。

大风是河北省主要的气象灾害之一,风灾常导致农作物倒伏,大树或树枝折断、广告牌刮倒,进而导致作物减产,伤害人及牲畜等。更为严重的是,突发性大风会对飞机的起飞或降落带来致命的威胁。冬、春季的系统性大风,预报人员能够比较准确的预报。但是,夏季强对流造成的雷雨大风,具有突发性、局地性、强度大、持续时间短等特点,是预报和防灾减灾的难点。为了寻找大风与阵风锋之间的关系,及时准确地预报

雷雨大风的起止时间和地点,本文利用石家庄及周边县(市)风自记、新乐雷达站的多普勒雷达资料,对2005年5—8月石家庄出现的短时大风进行了统计,侧重分析了6月17日强对流性雷雨云外围产生的两个阵风锋造成的雷雨大风过程,得出了一些有价值的结论,可供实际业务参考。

1 过程实况

2005年6月17日14时21分之前,天气晴好,大部分县(市)出现高温天气,市区最高气温为 37.1°C 。但到16时左右,石家庄地区自北向南,风力突然加大,无极(15时51分)、藁城(16时06分)、深泽(16时17分)和赵县(16时40分)先后出现了短时大风,阵风最大风速超过 $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,并伴有气压突升、湿度升高、温度降低等气象要素变化。石家庄在16时07分左右风力突增,最大阵风风速 $11.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,10分钟最大风速 $6.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。本来炎热的天气突然间凉爽了许多,自行车被刮倒,树枝折断,广告牌被掀的也时有发生。

通过对石家庄及周边县(市)气象站风自记分析,得到了无极、藁城、石家庄和赵县6月17日15时30分—17时30分每隔10分钟风速变化曲线(图1)。由图1看出,风速的变化曲线主要表现为一段时间内风速的突然上升,并且均有两个不同强度的峰值。如无极在15时30分—16时50分之间风速较大,两个峰值分别出现在15时50分—16时00分和16时20分—16时30分,10分钟风速极大值为 $12.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $13.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从大风出现时间分析,无极出现最早,藁城、石家庄次之,赵县最晚;从强度来讲,无极风力最强,石家庄最弱。

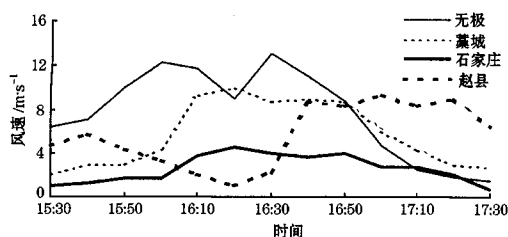


图1 无极、藁城、石家庄和赵县 2005 年 6 月 17 日 15 时 30 分—17 时 30 分每 10 分钟风速变化曲线

2 多普勒雷达资料分析

2.1 基本反射率因子演变分析

图 2 (见彩页) 为 14 时 55 分—16 时 45 分时段内间隔半小时左右 0.5° 仰角的基本反射率因子演变图, 从图中可看出, 14 时 55 分, 308° 、85km 处有半径约 5km, 中心强度约 40dBZ 的风暴对流单体生成, 同时位于阜平东部的孤立对流性块状回波向偏南方向移到 325° 、71km, 回波面积 $13 \times 8 \text{ km}^2$, 中心回波强度 50dBZ。在风暴前方行唐南部到新乐一带隐约可见一条弱而窄的线状回波 (阵风锋 1), 强度 10~20dBZ, 水平尺度长约 41km, 和风暴一起, 向偏南方向移动发展, 但阵风锋 1 移速明显比风暴快得多, 二者距离逐渐加大。由于东侧孤立对流回波南移速度较快, 到 15 时 40 分前后, 阜平东部的块状回波与其衔接, 阵风锋 1 长度有所加长, 15 时 31 分—15 时 44 分, 移到平山东南部—正定—无极—深泽西部一带, 呈圆弧状, 弧长约 100km, 东侧回波强度 10~15dBZ, 西侧稍强, 在 20dBZ 左右。15 时 56 分, 阵风锋 2 生成在风暴前方新乐北部—定州中部一带, 呈结构松散的线状弱回波, 长度和影响范围明显弱于阵风锋 1, 中心强度 15~20dBZ, 呈 SW—NE 向。16 时 08 分左右, 东西两个风暴单体连接合并, 对流回波呈 NW—SE—NE 向的带状回波, 中心强度 50dBZ, 南移缓慢。同时阵风锋 1

达到最强, 弧长增至 108km, 宽 2km, 位于风暴前方 54km 处, 回波带变得显著和完整, 回波强度为 15~20dBZ, 在 1.5° 仰角 PPI 图像上也可分辨, 垂直伸展高度约 1.5km, 主要影响平山南部—正定—无极; 阵风锋 2 南移到新乐南部, 长度 26km 左右, 结构较疏松, 回波强度维持。之后阵风锋 1 西段开始减弱, 弧状结构出现断续, 长度略有缩短, 影响井陘东部—石家庄—藁城—晋州和栾城等县 (市); 阵风锋 2 加强南移, 长度有所增加, 影响无极和藁城北部。16 时 32 分以后, 二者长度均有所加强, 回波强度维持在 10~20dBZ, 但结构变得松散, 主要影响元氏—赵县—辛集西部等东部县市, 阵风锋 1 于 17:00 左右移出石家庄境内, 阵风锋 2 于 17 时 28 分移出。

以上分析可以看出, 此次阵风锋回波具有以下特征: (1) 对流风暴的前方先后出现了两个线状或弧状阵风锋窄回波带, 回波强度 10~20dBZ; (2) 阵风锋回波带在 0.5° 仰角的反射率因子 PPI 图像上表现得较完整, 在距离雷达中心较近的地方, 1.5° 仰角也可看到, 但在 2.4° 以上仰角很少能够探测到, 这进一步说明阵风锋出现在近地面层; (3) 阵风锋 1 和阵风锋 2 移向与风暴系统传播方向基本一致, 阵风锋出现提前预示了风暴的移向。但移速差异很大, 阵风锋移动较快, 如阵风锋 1 平均移速为 $39 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右, 而风暴移动缓慢; (4) 阵风锋回波带所到之处的地面风速明显增大, 风速演变曲线中的峰值 (即大风出现时段) 与阵风锋影响时间有很好对应, 因此根据阵风锋移向和速度可以推断短时大风的时空分布。

2.2 风暴相对径向速度分析

17 日午后 (图略), 距离雷达中心 70km 的范围内, 在雷达的左上象限, 为扇形正速度区, 其余为负区, 之后正速度区域逐渐移向 SSE 方向。图 3 (见彩页) 为 14 时 55 分—16 时 58 分间隔半小时左右 0.5°

仰角的风暴相对径向速度图。可以看出, 14 时 55 分, 正速度区位于雷达中心正左方对称士 40° 的弧形区域, 中心速度 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 负速度值位于雷达下方, 最小负值 $-10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 位于雷达的正南方。随后系统逐渐向 SSE 方向移动, 中心最大正速度和正区面积也不断增大。15 时 31 分以后, $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的零散正速度点出现, 随后区域逐渐加大、密实, 在正速度区的前方对应阵风锋 1 的区域出现正速度大值区, 在最大正速度区到最小负速度区之间形成风向和风速的辐合带。15 时 56 分—16 时 32 分, 正速度中心增大到 $15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风速辐合加剧, 辐合区宽度在 30km 左右。16 时 32 分以后, 正中心最大速度减为 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 辐合带逐渐南移变窄。

以上分析可以明显看出: 此次阵风锋在径向速度图上主要表现为位于雷达中心左下象限的宽约几十公里正负速度的交界地带, 即风向和风速辐合带, 而位于正速度区大值

中心靠近负区处一辐合区内速度梯度最大区域影响时空范围与风速的大值段一致。

3 2005 年 5—8 月出现的短时大风统计及其与阵风锋关系

普查 2005 年 5—8 月石家庄出现的短时大风过程及对应的多普勒雷达资料, 得到短时大风及阵风锋资料统计结果见表 1 和表 2。从表中明显看出: 短时大风通常出现在午后到傍晚前后, 与雷雨、冰雹等对流天气一致; 16 次短时大风过程中, 共有 7 次出现阵风锋, 其余 9 次则无阵风锋出现。

3.1 有阵风锋出现时雷达回波特征及其与短时大风、降水的关系

在多普勒雷达回波特征上, 阵风锋表现出以下几个特征: (1) 一次对流天气过程中阵风锋出现个数可以不止一个, 如: 6 月 17

表 1 2005 年 5—8 月短时大风资料统计

日期	大风出现地点 (时间)	伴随天气现象	有无阵风锋
5 月 5 日	栾城 (08: 50)、正定 (14: 12)	中到大雨	无
5 月 10 日	井陘 (14: 07)	雷阵雨	无
5 月 21 日	新乐 (16: 28)、元氏 (16: 56)	雷阵雨	无
5 月 29 日	无极 (10: 42)	小雨	无
5 月 31 日	栾城 (18: 39)	零星雷阵雨	无
6 月 10 日	井陘 (16: 03)、元氏 (17: 02)、栾城 (16: 46)、赵县 (17: 07)、藁城 (16: 33)、无极 (16: 25)、深泽 (16: 37)、晋州 (16: 57)	雷阵雨、冰雹	无
6 月 17 日	行唐 (17: 11)、无极 (15: 51)、深泽 (16: 17)、赵县 (16: 40)、赞皇 (16: 44)、藁城 (16: 06)	雷阵雨	有
6 月 19 日	赞皇 (16: 06)、元氏 (16: 14)、高邑 (16: 31)、赵县 (16: 53)、栾城 (16: 12)	小到中雷阵雨	无
6 月 25 日	元氏 (18: 37)	阵雨	有
7 月 8 日	井陘 (18: 15)	零星雷阵雨	有
7 月 20 日	井陘 (17: 44)	雷阵雨	有
7 月 31 日	新乐、无极等前半夜 (夜间不观测)	强雷阵雨、冰雹、短时暴雨	有
8 月 1 日	赞皇 (17: 55)、元氏 (18: 24)、栾城 (18: 28)	雷阵雨、短时暴雨、冰雹	无
8 月 2 日	无极 (18: 51)、深泽 (19: 06)、赵县 (18: 21)	雷阵雨、短时暴雨	无
8 月 3 日	新乐 (13: 22)、藁城 (14: 14)	雷阵雨、短时暴雨	有
8 月 12 日	赵县 (18: 22)、藁城 (17: 19)、深泽 (17: 58)、晋州 (17: 47)、赞皇 (17: 28)、高邑 (16: 36)	雷阵雨、短时暴雨、多起雷击	有

表 2 2005 年 5—8 月阵风锋出现时资料统计及雷达特征

日期	个数	出现时段	最高 仰角	移动路径	移速及间距与 主体回波对比	反射率 因子特征	径向 速度特征
6 月 17 日	2	14: 55—17: 00 16: 00—17: 28	1.5° 1.5°	北→南	快/逐渐增大	回波带	正负速度交界、 负速度梯度大区
6 月 25 日	2	15: 11—19: 28 16: 43—18: 39	2.4° 0.5°	东南→西北	快/逐渐增大	层积混合 强块状回波	负速度线 无
7 月 8 日	1	18: 08—19: 53	1.5°	北→南	快/逐渐增大 中间移速快	回波带	正负速度交界、 正速度线
7 月 20 日	2	16: 43—18: 27 17: 56—20: 12	2.4° 2.4°	西北→东南 西南→东北	快/逐渐增大	强回波块	正负速度交界、 正速度线
7 月 31 日	1	21: 19—23: 10	2.4°	西北→东南	相当/<10km	鳗线	正负速度交界
8 月 3 日	1	12: 31—15: 28	2.4°	北→南	相当/<10km	层积混合回 波块	正负速度交界
8 月 12 日	1	17: 00—18: 25	0.5°	西南→东北	相当/<5km	强回波块	正负速度交界

日先后出现两个阵风锋，6 月 25 日和 7 月 20 日同时并存两个阵风锋；（2）阵风锋出现时段与短时大风基本一致；（3）在反射率因子 PPI 图像上，阵风锋表现为在强回波主体前方的一条细线状或弧状弱窄带状回波，回波强度通常小于 20dBz，个别可达 25~30dBz，如 6 月 25 日在阵风锋距雷达 30km 以内时，阵风锋窄带上出现了 25~30dBz 回波点；（4）块状回波、回波带和鳗线等强对流回波均可引发阵风锋；（5）阵风锋常出现在低仰角（如：0.5°仰角）雷达反射率因子产品上，即近地面层。但当阵风锋较强且距离雷达中心较近时，1.5°仰角和 2.4°仰角也可探测到。值得注意的是，如果近距离内低仰角地物杂波回波强度与阵风锋强度相当，阵风锋回波不易辨认，如 7 月 31 日 0.5°仰角；（6）在速度图上阵风锋对应正负速度交界、正负速度线（周围无速度回波时）或速度梯度大值前沿，即阵风锋位于辐合区内速度梯度最大区域。

为研究阵风锋、短时大风与对流降水的联系，将阵风锋与短时大风出现时间以及阵风锋与引发阵风锋主体回波的移动速度（或间距）进行对比分析。结果表明：阵风锋是地面强风的前沿，仅与地面短时大风或风速的大值段对应，降水通常由位于其后的对流回波产生，与阵风锋无直接关系；阵风锋相

对于主体回波的移动速度决定了强对流天气的强弱，或者说阵风锋距离雷达主体回波远近表明了主体回波影响的剧烈程度。当阵风锋移速明显比主体回波快，二者距离逐渐增大时，主体回波强度递减，造成的对流降水弱，强风持续时间短，如 6 月 17 日、25 日、7 月 8 日和 20 日；而当二者移速相近且距离较近时，主体回波强度不减，会造成强降水和风灾。如 7 月 31 日、8 月 3 日和 12 日，阵风锋从出现到消亡，与主体对流回波距离始终维持在 10km 以内，即二者移速移向一致，主体回波最大强度达 55~60dBz，三次过程均有 >20mm 短时暴雨出现，7 月 31 日还出现雹灾和风灾，8 月 12 日出现风灾和多起雷击事故。

3.2 无阵风锋出现时的雷达回波特征

无阵风锋出现时，短时大风通常与对流性天气相伴。在反射率因子 PPI 图像上，造成短时大风的雷达回波表现为块状、带状对流回波、弓形回波或大面积层积混合回波，与阵风锋造成的短时大风移动性相比，这些回波可以是原地生成发展的，也可以是移动性的。在径向速度图像上，表现为中气旋、辐合性气旋、逆风区、风辐合带或急流。如 5 月 5 日和 21 日在近地层出现土

$21\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的“牛眼”状低空急流,5月10日表现为正负速度风向辐合带,5月29日、8月1日和2日的辐合性气旋式环流,6月10日的中气旋。

4 小 结

(1) 阵风锋是地面强风的边缘,通常仅与短时大风或风速的大值段对应,不伴有雷雨、冰雹等对流性天气。当阵风锋出现时,有时天气晴好,受引发阵风锋的强对流回波影响,对流降水有可能出现在其后时段,且强度可大可小。

(2) 在反射率因子 PPI 图像上,阵风锋表现为在强回波主体前方的一条细线状或弧状弱窄带状回波,回波强度通常小于 20dBz 。阵风锋常出现在低仰角(如: 0.5° 仰角)雷达反射率因子产品上,即近地面层。但当阵风锋较强时, 1.5° 仰角和 2.4° 仰角也可探测到。对于距离雷达中心较近处,为了避免地物杂波的干扰,应根据连续体扫资料以及较高仰角产品综合判断是否存在阵风锋。

(3) 在径向速度 PPI 图像上,阵风锋主要表现为几公里到几十公里的风辐合带,而且是一个风向、风速急剧变化的区域,短时大风或风速的大值段对应风场辐合最强的前沿区域。

(4) 风速演变曲线中的峰值与雷达阵风

锋回波有很好的对应关系,根据阵风锋移向和速度可以推断短时大风或风速大值段的时空分布。大风的起止时间决定于阵风锋影响时间,风速的大小决定于阵风锋移速和强度,阵风锋出现可以提前预示对流风暴的移向。

(5) 阵风锋相对于主体回波的移动速度决定了强对流天气的强弱。当阵风锋移速明显比主体回波快,二者距离较远时,主体回波强度递减,强风持续时间短,造成的对流降水弱;而当二者移速相近且距离较近,主体回波强度不减时,会导致强降水、大风等灾害性天气。

参考文献

- 1 张培昌,杜秉玉,戴铁丕编著. 雷达气象学 [M]. 北京:气象出版社,2001:280-341,402-409,418.
- 2 H. Uyeda, D. S. Zrnice. Automatic detection of gust fronts [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1986, 3 (1): 36-50.
- 3 戴建华,徐秀芳,王坚捍. 用 WSR-88D 多普勒雷达资料分析上海的飑线 [C]. 中美强对流天气临近预报技术国际研讨会文集. 北京:气象出版社,2004:86-87.
- 4 刘娟,宋子忠,李金城. 一次强雹暴系统及其阵风锋的雷达回波研究 [J]. 气象,1994,22 (1): 13-17.
- 5 张一平,牛淑贞,席世平等. 雷暴外流边界与郑州强对流天气 [J]. 气象,2005,31 (8): 54-56.
- 6 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南等. 新一代天气雷达原理与应用讲义 [G]. 北京:中国气象局培训中心,2000.

李国翠等：阵风锋在短时大风预报中的应用

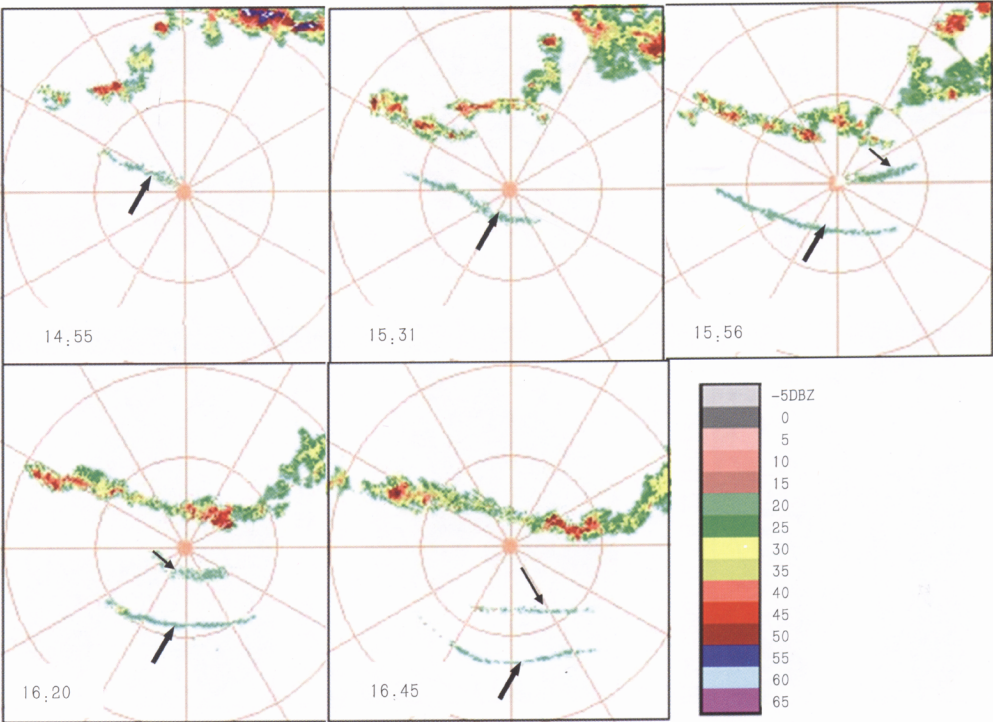


图2 2005年6月17日14时55分—16时45分 0.5°仰角基本反射率因子 (R19) 风暴和阵风锋回波带演变 每圈距离50km 粗箭头：阵风锋1；细箭头：阵风锋2

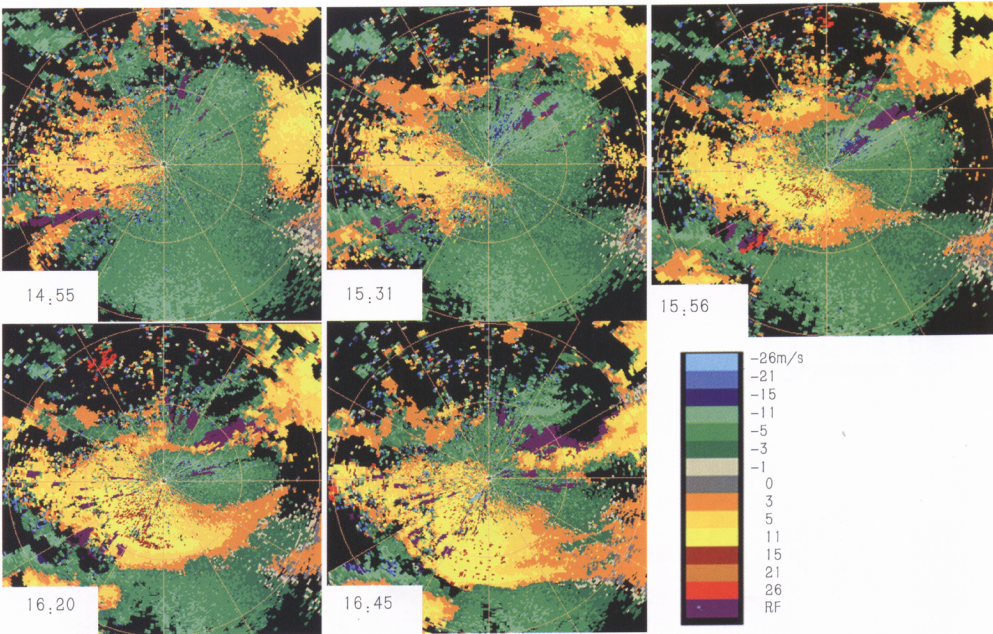


图3 2005年6月17日14时55分—16时45分 0.5°仰角风暴相对径向速度 (SRM56) 辐合带演变