

天津地区雷暴大风天气雷达产品特征分析

王彦^{1,2,3} 唐熠⁵ 赵金霞⁴ 刘广涛¹ 赵刚¹

- (1. 天津市气象台, 300074; 2. 北京城市气象研究所;
3. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室;
4. 天津滨海新区预警中心; 5. 广西桂林气象局)

提 要: 应用2002—2007年天津共46次雷暴大风天气过程的新一代天气雷达资料,并结合灾情报告和地面自动气象站资料,根据雷达基本反射率回波特征,影响渤海西部雷暴大风的雷达回波形态有以下四种类型:弓状回波、阵风锋、带状回波和零散椭圆状回波,其中弓状回波对应的雷暴大风天气最为强烈,特别是弓状回波的前部和顶端突起部分;同时弓状回波主体维持时间与雷暴大风维持时间基本一致。另外,应用垂直积分液态水含量产品(VIL)进行了统计分析。结果表明:当VIL值达到或超过 $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,随后VIL值的快速减小对于预警雷暴大风天气有指示意义,这种信息一般能够提前10分钟出现。此外,分析了雷暴大风的路径来源有四类:分别是北方路径有9次,西北路径占19次,西方路径14次和其他路径4次,其中北方路径带来的灾害相对严重。这些特征对预警渤海西部雷暴大风天气提供使用价值,同时也可提供其他地区参考使用。

关键词: 雷暴大风 新一代天气雷达资料 VIL产品特征

Statistical Characters of Doppler Weather Radar Data on Thunderstorms

Wang Yan^{1,2,3} Tang Yi⁵ Zhao Jinxia⁴ Liu Guangtao¹ Zhao Gang¹

- (1. Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074; 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences; 3. Institute Urban Meteorology of Beijing; 4. Binhai Meteorological Office; 5. Guilin Meteorological Observation of Guangxi)

Abstract: By using Doppler weather radar data on 46 thunderstorms from 2002 to 2007 in Tianjin and observing data of AWS, according to the echo characters on the data, there are four kinds of echo characters, including bow echo, gust, strip echo and isolated echo. Especially, bow echo can

资助项目: 天津市科委应用基础研究面上项目(07JCYBJC12800)、2007年度北京城市气象科学研究基金资助(UMRF200707)、中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室(2005LASW02)和公益行业项目(GY-HY200706004)共同资助

收稿日期: 2008年2月27日; 修定稿日期: 2008年11月24日

cause great losses. Meanwhile, the sources of thunderstorm have the following four aspects, including north path, northwest path, west path and others. The situation mentioned above can be applied for warning of thunderstorm in Bohai bay and others area.

Key Words: thunderstorm gale Doppler weather radar data VIL data character

引 言

环渤海具有重要战略地位,涉及到国家安全、航运、能源开发等关键内容,关系到国家的经济、文化、政治中心的安全,这些因素与气象条件密不可分^[1]。同时,渤海又是中国物质、能源最大的中转站;也是中国港口最密集的海区之一,海上交通异常繁忙,这需要准确优质的气象服务。另外,随着城市群的扩大,工业区和生活区布局是否合理也已成为气象部门面临新的挑战。而渤海西部是环渤海的重要组成部分。如何防御自然灾害,促进城市和谐发展,是环渤海气象部门的一项紧迫任务。

2002—2007年,渤海西部共产生了46次雷暴大风天气,造成直接经济损失约4亿元^[2],这种气象灾害已引起了社会各界的广泛关注。这种灾害的特点是持续时间短,影响范围小,但是破坏力极强。如何及早预警雷暴大风天气以便使相关部门采取措施防御这种灾害是目前急需解决的问题。

关于雷暴大风天气的临近预警技术,已有若干学者开展了一些相关的研究工作,为改善雷暴预警有一定的积极作用^[3-10]。但是,这些研究是针对天气个例进行分析的,不具有普遍性。本文选用2002—2007年渤海西部共46次雷暴大风天气过程,从影响系统、移动路径和雷达产品特征做了统计分析,总结了渤海西部雷暴大风的普遍规律,同时提取了它的典型特征,归纳了雷暴大风的短时临近预警指标,对预警雷暴大风天气有应用价值,同时也供其他地区参考应用。

1 资料选取

应用2002—2007年渤海西部天津地区共46次雷暴大风天气过程的天津塘沽新一代天气雷达(CINRAD/SA)强度和速度产品资料、液态累积含水量产品、与此相关的气象灾情数据和自动气象站资料。塘沽雷达一般采用VCP21模式获取资料。

2 天气背景和实况分布特征

据统计,渤海西部平均每年产生约8次雷暴大风天气过程。它主要受两类天气系统影响,一是高空低涡系统,共有17次过程,约占37%;二是高空槽,约占63%。

雷暴大风实况分布特征主要包括以下四个方面:一是持续时间短,平均持续时间约15分钟。据统计,持续时间最短的只有3分钟,是2005年6月13日汉沽的雷暴大风天气。持续时间最长是2007年7月9日在东丽区的一次冰雹和雷暴大风天气,持续时间长达40分钟。二是水平尺度小,局地性强。统计分析,雷暴大风的水平尺度一般为30~200km。天津地区分布的两个强雷暴中心:北部以蓟县为中心的强频率发生区,次之是东部的宁河。三是雷暴大风出现在15—20时段的频率达90%。四是破坏力强、灾害严重。据统计,46次雷暴大风天气共造成天津地区的直接经济损失约4亿元。

3 雷暴大风的新一代天气雷达产品统计特征

针对46次雷暴大风天气过程,根据收集

灾情实况,并结合雷达产品资料,将雷达强度产品特征和基本速度产品特征分为以下四类如图1(见彩页)。

3.1 弓状回波与雷暴大风

3.1.1 弓状回波速度产品特征

统计分析表明,有12次雷暴大风天气过程是由弓状回波造成的,弓状回波对应的雷暴大风造成的灾害最为严重。

弓状回波基本反射率产品的一般特征如图2所示(见彩页)。0.5°的PPI产品中,弓状回波一般为镶嵌在飢线回波中的对流单体,形状呈弓状,水平尺度维持在几十千米,强度一般为50~55dBz,回波前缘梯度很强,一般在5km范围内基本反射率强度从20增加到50dBz,并且边界十分光滑;有时到成熟阶段还能产生阵风锋。1.5°的PPI产品中,弓状回波强度也维持在50~55dBz,回波前缘梯度较强,一般在10km的范围内基本反射率强度从20增加到50dBz,但是弓状形状不如0.5°产品明显,回波面积范围也在缩小。同样能够看到阵风锋。再抬高仰角,回波则为椭圆状结构,一般会有羽毛状云砧现象。弓状回波主体维持时间与雷暴大风维持时间基本一致。

弓状回波基本速度产品的一般特征有三种。一是0.5°的PPI产品中,带状回波中出现速度大于 $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的入流速度区域,甚至有时会出现速度模糊。出现速度模糊区域范围一般与地面出现雷暴大风范围基本一致。出现这种特征意味着地面雷暴大风即将出现,它能提前3~5分钟探测到这种特征,这种特征对预警雷暴大风有指示作用。二是呈现中尺度气旋特征,它位于弓状回波的顶端或中间突起部分。三是呈现大于 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的辐合区域。上述统计分析的结果与王令^[10]研究北京地区雷暴的速度产品特征是一致的。

另外,将渤海西部的弓状回波与Fujita^[11]的弓状典型回波对比发现,两者弓状形状是相同的。但是前者弓状回波强度不如后者强,具体表现为前者弓状回波顶端存在气旋活动,但是尾端没有明显的反气旋活动,这与Fujita提出的顶端存在气旋,尾端存在反气旋是不同的。统计分析表明:弓状回波的顶部和中间突起部分对应的大风最为强烈,同时还伴有冰雹、雷电、强降水等。

3.1.2 个例分析

2004年6月22日20:00—21:40时天津地区5个区县先后遭受雷暴大风的袭击。使得电线杆被风吹倒在地,直径达30cm的大树连根拔起,风灾造成的损失惨重。

弓状回波强度产品的水平结构演变特征如图3所示(见彩页)。在0.5°仰角PPI产品上,早在18:26时(北京时,下同)探测西北方向大约150km处有强度为30dBz弱回波形成,在向东移动过程中逐渐加强,至19:51时发展到最强回波为55dBz的块状回波单体A(图3a);至20:03时发展为弓状回波A(图3b),弓状回波前部边界光滑,回波梯度强,5km距离内回波从20增至50dBz,顶部和中间向前突起部分最强均达55dBz,位于武清(图3b中的A);至20:27时弓状回波右前侧分离出阵风锋B(图3c),阵风锋强度很弱,只有15dBz,高度约为1.3km,宽度约5km,长度为50km,它与弓状回波保持一定距离向前移动;至20:39时弓状回波与阵风锋距离逐渐增大(图3d),强度也逐渐减弱;至20:57时(图3e),弓状主体减弱消散,阵风锋也已探测不到了。

取20:27时这一时刻0.5°、2.4°、6.0°、9.9°四个不同仰角分析雷暴的整体结构(图略)。基本强度产品上,低层约3km回波呈弓状,最强强度达55dBz。中层,40dBz的回波变为椭圆状,其宽度约为25km,回波最强为55dBz,最强回波出现在3~4km高度。

高层明显特征是下风方向扩展有明显的云砧现象。沿弓状主体剖面发现:回波顶高度为12km,回波宽度约为25km。

20:00—21:40时地面自西向东陆续有大风报告,其中20:00—20:40时大风最为强烈,与弓状回波维持时间基本相近。严重受灾的武清大良乡、宝坻牛家牌镇与弓状回波东移过程中顶部和向前突起部分基本吻合。这与弓状回波主体相互吻合。同时弓状回波维持期间,气象要素变化快,根据武清气象要素自记记录,具体表现在风速在4分钟内由 $2.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 迅速加大至 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;气温在10分钟内由 27°C 下降至 18°C 。

弓状回波的 1.5° 基本速度PPI产品特征(图略)。19:00时北京通县有两对速度为 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $-5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的弱涡旋形成;至19:51时这两对涡旋东移、合并加强为后部入流急流区域C,入流速度明显增大同时入流区域也明显增加,并出现速度模糊,方位/距离在 $310^{\circ}/80\text{km}$,在向东移动过程中辐合不断加强;至20:03时负速度继续维持速度模糊,正速度最大值为 $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,此时,抬高仰角,已发展为中尺度气旋,至20:39时,共探测到3次中尺度气旋;至20:57时辐合区明显减弱,中气旋也已消失。

同时结合基本强度产品分析:中尺度气旋位置与弓状向前突起部分基本重合,低仰角速度模糊区位于中尺度气旋后部。

由上可知,中尺度气旋一般与强对流天气相对应,并且低仰角速度模糊区对应于地面的强风,速度模糊区域范围与实况大风范围基本一致。

3.2 阵风锋与雷暴大风

统计有9次雷暴大风与阵风锋相对应。阵风锋产生大风的强度弱于弓状回波对应雷暴大风的强度,因而带来的灾害轻于弓状回波带来的灾害。

阵风锋的雷达回波强度产品特征(图3b处,见彩页)表现为:在 0.5° 的PPI产品中,阵风锋表现为强回波主体前部的一种窄带弱回波,一般呈弧状,强度维持在 $15\sim 25\text{dBz}$,宽度约 $3\sim 7\text{km}$,长度范围在 $30\sim 100\text{km}$,与回波主体保持最远距离约 50km ,生命史约 $1\sim 3$ 小时。它一般产生于强回波的强盛阶段。在 1.5° 以上的高仰角PPI产品中,阵风锋是探测不到的。这表明阵风锋呈现在近地层的窄带弧状弱回波。另外,王彦等^[1]还应用气象铁塔资料分析认为阵风锋的风速分布具有间歇性特点。但是,若阵风锋位于雷达中心距离较远处,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。

统计分析表明,弓状回波与阵风锋的距离远近与雷暴的强弱有关系,当两者距离较近时,雷暴强度较强,当距离较远时,雷暴强度也在逐渐减弱。这个结果与李国翠^[12]研究河北阵风锋的结果是一致的。阵风锋是地面强风的前沿,通常仅与大风的峰值对应,不伴有雷雨、冰雹等强对流天气。这个结果也与李国翠的^[12]研究结果是一致的。

3.3 带状回波与雷暴大风

有10次雷暴大风与带状回波相对应,产生雷暴大风灾害轻于弓状回波的灾害。

带状回波的雷达回波强度产品特征(图4,见彩页)为:它的 0.5° 的PPI产品基本反射率产品特征强度一般也维持在 $50\sim 55\text{dBz}$,回波梯度较为均匀,回波前缘梯度不如弓状回波强,一般为 10km 的范围内基本反射率强度从20增加到 50dBz ,并且边界也较为光滑。 3.4° 的PPI产品基本反射率产品特征为: $40\sim 50\text{dBz}$ 的回波呈带状分布,但较低层回波带较窄,无明显的梯度,也无光滑结构。 6.0° PPI产品基本反射率产品特征呈孤立的强度为 45dBz 左右的回波单体,无明显

的云砧现象。

3.4 椭圆状零散回波与雷暴大风

有9次雷暴大风天气与椭圆状零散回波与雷暴大风天气相对应。此类回波特征对应的雷暴大风灾害较轻。

基本强度产品。一般表现为强度达50dBz或以上的椭圆状零散回波。

基本速度特征,低层有速度在 $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的正负速度对出现,或者是呈现最大速度入流值为 $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的区域。

另外,有6次雷暴大风天气过程对应其他形态的雷达回波,留待以后做分析。

综合上述,渤海西部产生雷暴大风天气的回波形态有以下四种,包括弓状回波、阵风锋、带状回波、椭圆状零散回波等。其中弓状回波带来的雷暴大风天气灾害最为严重。

4 垂直积分液态水含量(VIL)与雷暴大风

4.1 VIL的计算原理和方法

VIL表示将反射率因子数据转换为等价的液态水值。假设所有反射率返回都是由液态水滴引起的经验导出公式:

$$M = 3.44 \times 10^{-3} Z^4$$

在雷达探测半径230km以内,对每一个仰角,在 $4\text{km}\times 4\text{km}$ 格点上求液态水混合比的导出值,然后再垂直叠加。式中, M 为垂直积分液态水含量($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), Z 为雷达反射率因子($\text{mm}^6\cdot\text{m}^{-3}$)。

4.2 个例分析

2007年7月18日08:30(北京时)出现了雷暴大风天气。这次雷暴天气过程使得天津武清农作物受灾,损失严重。

2007年7月18日垂直积分液态水含量(VIL)的连续演变分析(图略)表明,07:30—08:00VIL值持续维持在 $35\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的水平,

08:06时VIL值达到 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的高值,最大值达到了 $45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,08:12时VIL快速减小到 $35\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,减小幅度为 $10\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。约8:30时农作物被强风吹倒。VIL值的快速减小时间比地面雷暴大风出现的时间提前18分钟。

根据雷暴大风天气过程统计表明:雷暴大风产生前VIL持续维持高值水平,达到或超过 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的比例为90.3%。同时表明雷暴大风产生前VIL值有快速减小的趋势,减小幅度 $5\sim 15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。VIL减小趋势维持时间一般为2~3个体扫后,地面有雷暴大风出现。这表明:VIL值达到或超过 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 对预警雷暴大风有指示意义;VIL值快速减小意味着地面将出现灾害性大风,一般能够提前10分钟。

5 雷暴大风移动路径分析

依据产生的雷暴大风天气,将进入渤海西部的雷暴大风路径分为以下四类。

西北路径(如图5所示)占有次数最多,有19次过程。受高空低涡天气影响的占主导地位,此类回波的移动速度一般约为 $40\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,另外还受天气系统和回波强度等因素的限制。大风自西北向东南移动,首先影响北部,如武清、蓟县、宝坻,然后影响市区及东部地区等。这类天气产生的雷暴大风灾害较为严重。次之是西方路径,有14次天气过程。它受西来槽影响的居多,一般先进入西青、静海等地,移动速度一般也维持在 $40\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,这类天气灾害不如西北路径灾害严重。北方路径有9次过程,它带来的灾害相对严重。受高空冷涡影响占主导地位,是很容易被忽视的一类灾害天气,原因有两个:一是自北方下来的弱冷空气与渤海湾海风锋碰撞后产生雷暴天气,尺度小,灾害重。二是高空冷涡已移出天津,但是有回流天气,与海风锋碰撞同样能够产生雷暴天气。对于这类天气正在做进一步的研究工作。其他路

径有 4 次,为原地形成的雷暴天气。

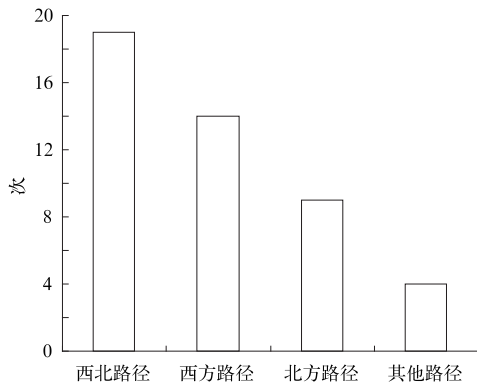


图 5 雷暴大风天气的路径类型

6 总结

(1) 雷暴大风天气主要受两类天气系统影响,高空低涡系统,占有约 37%;高空槽,约占 63%。这类天气持续时间短,水平尺度小,出现在 15—20 时的频率达 90%,破坏力强、灾害严重。

(2) 渤海西部雷暴大风天气有四种回波形态,包括弓状回波、阵风锋、带状回波、椭圆状零散回波。其中弓状回波带来的大风天气灾害最为严重。

(3) 雷暴大风产生前 VIL 持续维持高值水平,达到或超过 $40\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 的比例为 90.3%。同时表明雷暴大风产生前 VIL 值有快速减小的趋势,减小幅度 $5 \sim 15 \text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。VIL 减小趋势维持时间一般为 2~3 个体扫后,地面有雷暴大风出现。这表明:VIL 值达到或超过 $40\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 对预警雷暴大风有指示意义;VIL 值快速减小意味着地面将出现灾害性大风,一般能够提前 10 分钟。

(4) 雷暴大风移动路径有四种,其中西北路径占有次数最多,有 19 次过程;另外还有西方路径;北方路径和其他路径,其中北方路径带来的灾害相对严重。

参考文献

- [1] 环渤海气象灾害监测预警系统保渤海经济圈和谐发展[N]. 中国气象报, 2008. 1. 12.
- [2] 2002—2007 年天津地区气象灾情报告表.
- [3] 廖玉芳,俞小鼎,郭庆,等. 一次强对流系列风暴个例的多普勒天气雷达资料分析[J]. 应用气象学报, 2003, 14(6): 656-662.
- [4] 葛润生,姜海燕,彭红. 北京地区雹暴气流结构的研究[J]. 应用气象学报, 1998, 9(1): 1-7
- [5] 戴建华,徐秀芳,王坚捍. 用 WSR-88D 多普勒雷达资料分析上海的飊线. 中美强对流天气预报技术国际研讨会文集[C]. 北京:气象出版社, 2004, 86-87.
- [6] 王彦,吕江津,王庆元,等. 一次雷暴大风的中尺度结构特征分析[J]. 气象, 2006, 32(2), 32-36.
- [7] 王彦,李胜山,王庆元,等. 渤海湾海风锋雷达产品特征[J]. 气象, 2006, 32(12), 46-50.
- [8] 刘勇,王楠,刘黎平. 陕西两次阵风锋的多普勒雷达和自动气象站资料分析[J]. 高原气象, 2007, 26(2), 380-388.
- [9] 尹利云,许迎杰,张腾飞,等. 云南雷暴的时空分布特征[J]. 灾害学, 2007, 22(2), 87-92.
- [10] 王令,郑国光,康玉霞,等. 多普勒天气雷达径向速度图上的雹云特征[J]. 应用气象学报, 2006, 17(3), 281-287.
- [11] Fujita T T. Manual of downburst identification for NIMROD. SMRP Research Paper 156, University of Chicago, 1978, 104.
- [12] 李国翠,郭卫红,王丽荣,等. 阵风锋在短时大风预报中的应用[J]. 气象, 2006, 32(8), 36-41.

王彦等：天津地区雷暴大风天气雷达产品特征分析

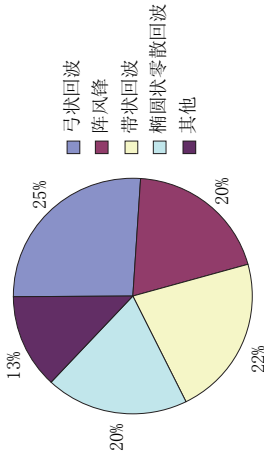


图 1 雷暴大风不同形态特征分布

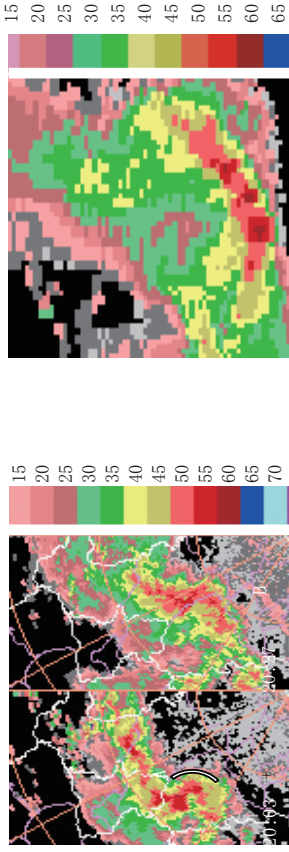


图 2 弓状回波和阵风锋强度图

图 4 带状回波强度图

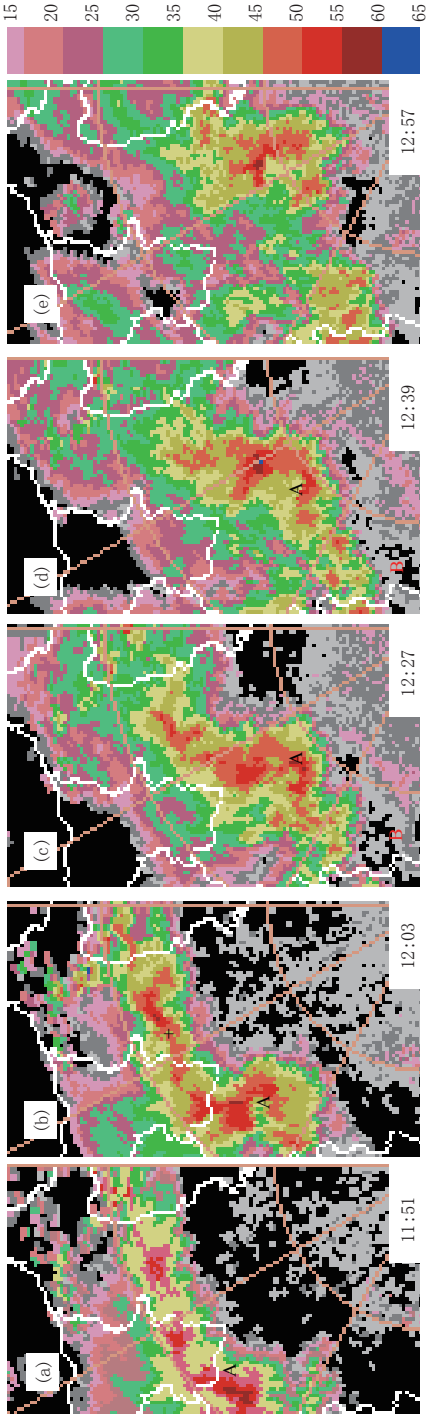


图 3 2004年6月22日0.5°仰角PPI强度产品中弓状回波演变图(圈距50km)