

用多普勒雷达对三次强对流 天气的短时预报对比分析

吕江津 刘一玮 王 彦

(天津市气象台, 300074)

提 要: 利用 2006 年 6 月 12 日夜間、7 月 12 日凌晨和 7 月 12 日夜間天津地区 3 次强对流降水过程的多普勒雷达产品资料,对比分析发现:在降水的开始和成熟阶段,多普勒雷达径向速度场的变化一般先于回波强度场的变化,在做降水短时预报时应重点关注多普勒雷达径向速度场的变化,同时还可参考 Auto-nowcaster 系统的预报结果,通过判断未来雷达回波的强度变化及移动方向,提高对强对流降水过程的短时预报准确率。

关键词: 多普勒雷达 强对流 短时预报

Comparative Analysis on Short-time Forecast of Three Strong Convection Weather Processes by Doppler Weather Radar

Lv Jiangjin Liu Yiwei Wang Yan

(Tianjin Meteorological Bureau, 300074)

Abstract: A comparative analysis is made with the application of the Doppler weather radar data of three strong convection precipitations at the night of June 12, in the wee hours and night of July 12, 2006 in Tianjin region. The results show that the change of the radial velocity field often precedes that of echo intensity field of Doppler weather radar during the beginning and mature stage of precipitation. It indicates that the effort on the short-time forecast of precipitation should be focused on the change of radial velocity field and also refer to the forecast outcome of Auto-nowcasting system. The accuracy in the short-time forecast of strong convection precipitation process can be improved through judging the intensity change and moving direction of radar echo.

Key Words: Doppler radar strong convection short-time forecast

引言

暴雨是天津夏季主要的气象灾害之一,每年的防洪抗灾是气象部门的重要任务,由于水资源的匮乏,一方面要防止洪涝灾害的发生,另一方面又要尽可能地保持水库蓄水,在关键时刻暴雨的短时预报显得非常重要。多年来,气象工作者为提高暴雨和强对流天气的预报水平做了大量的工作。陶诗言^[1]对暴雨的研究揭示出暴雨是在有利的大尺度天气形势背景下,由中尺度系统直接产生的。多普勒雷达能详尽地反映降水区发生、发展和演变的过程^[2-3]。但是如何将理论与实际预报工作相结合?在回波出现初期如何判断回波未来的变化趋势及对本地区的影响?本文将通过分析天津多普勒雷达探测产品,比较3次强对流降水过程探讨此问题。

2006年6月12日夜间、7月12日凌晨和7月12日夜间天津地区出现了3次降水过程。3次过程气象台都提前做出了雷阵雨天气的预报,并提醒部分地区有大风冰雹。7月12日夜间的雷阵雨过程临近预报比较成功,6月12日的临近预报基本报空了,7月12日凌晨的临近预报报迟了些。3次预报的成败反映了目前在临近预报上的技术水平。3次过程初期雷达回波相似,但结果不同,这表明在工作中只是简单的分析回波强度的特征并不能满足预报的需要,还应应用更多的雷达产品。比较3次过程的雷达回波特征,通过分析总结成败经验,有利于提高应用新一代雷达的

技术水平。

1 天气形势分析及实况

为了下文叙述简便将6月12日、7月12日凌晨、7月12日夜间三次降水过程分别用A、B、C过程来表示。

1.1 实况

A过程:6月12日19:10开始天津部分地区出现雷阵雨,降水主要出现在北部地区,最大雨量出现在蓟县,为3.8mm。

B过程:7月12日凌晨天津地区普降小到中雨。主要降水时段在7:00至10:00,过程雨量最大出现在大港,为23.4mm。从雷达所在塘沽气象站观测的逐小时雨量,8:00至9:00降水较强,1小时最大雨量为9.6mm。

C过程:7月12日夜间天津地区普降中雨。主要降水时段在19:00至24:00,过程雨量最大出现在大港,为24.1mm。从雷达所在塘沽气象站观测的逐小时雨量,22:00至23:00降水较强,1小时最大雨量为17.3mm。

1.2 天气形势分析

由图1可看出,3个过程都表现在700hPa有高空槽的影响,其中A过程在河套地区东部有一低槽,天津处于槽前明显的西南气流控制;B过程天津处于槽前西南气流区中;C过程仅有一浅槽相配合。进一步细致比较3次

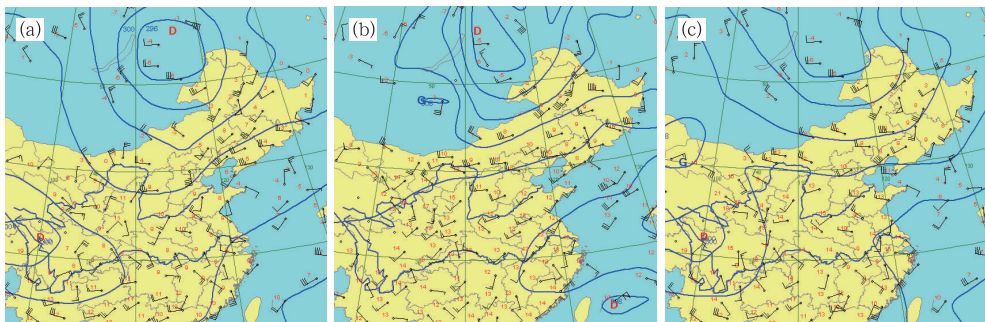


图1 2006年6月12日20时(a)、7月12日08时(b)、20时(c)700hPa高度场

过程的天气形势分析可以得出(图略):

A过程500hPa上的西风槽、对流层中低层的低涡切变线、地面冷锋是主要影响系统。但切变线偏北,850hPa存在风速的辐散为本次过程的不利条件。

B过程在降水发生之前或发生时,低层和边界层为东南风,中上层为强西南风,副高东退,低槽东移,冷暖空气交汇,同时中低层有深厚的暖平流,且辐合上升强,这种气流的垂直结构有利于产生较强的降水。

C过程中高层为西风槽前的西到西南气流,低层为冷锋前偏南气流,高低层系统配合较好,有利于水汽输送,产生降水。

2 多普勒雷达产品分析

雷达探测产品是短时临近预报的主要工具,特别是对强对流天气的影响时间、范围、强度等的预报,更要认真分析雷达探测产品。

2.1 基本反射率因子特征

2.1.1 A过程

从仰角 1.5° 的PPI雷达产品(图2,见彩页)可以看出,自6月12日16时开始,北京东北部出现东北—西南向雷达回波,回波呈窄带状,主体强度为20dBz。由于有850hPa河套东部切变线和地面冷锋配合,切变线附近的回波逐渐增强,其中北京附近的回波较强,最大基本反射率强度达到50dBz。回波主体向东南方向移动,19时30分回波移至天津蓟县,并逐渐扩展,到20时30分天津西北部地区出现降水,范围不断扩大,回波带断裂为南北两段,北部强回波主体主要维持在天津北部,回波强度梯度减小,强度在30dBz以上,中心强度达到45dBz。南部回波未影响到天津。21时带状回波变得松散、减弱,向东北方向移动,强度减小为25dBz,逐渐移出天津,只在天津北部产生微量降水。

2.1.2 B过程

从仰角 1.5° 的PPI雷达产品(图3,见彩

页)可以看出,自12日03时开始在北京不断有零散回波生成,并迅速发展成东北—西南向回波带,回波单体向北移动,回波带缓慢向东南移动,其中强度35dBz以上回波几乎占整个回波面积的一半,最大回波强度达到60dBz,随着带状回波不断东移,主体回波强度维持,60dBz回波范围略有增大。06时在蓟县至保定一线激发出强回波带,强回波带逐步影响天津地区,回波主体始终维持在35dBz以上,最强达到55dBz左右,并维持带状结构,天津地区自西北向东南出现强降水。10时回波逐渐减弱消失,并移出天津。

2.1.3 C过程

从仰角 1.5° 的PPI雷达产品(图4,见彩页)可以看出,12日18时开始北京地区出现片状多单体对流回波,最大回波强度为55dBz,10时30分易县、深泽一带出现零散回波,主体强度为20dBz。在移动过程中逐渐加强形成两条对流雨带向东南方向移动,其中易县、深泽一带出现零散回波,由分散的块状变为大范围片状并向南移动,未影响天津地区;而在北京形成的回波强,移动快,强回波面积迅速增大且维持时间长,20时回波影响天津北部地区,最大回波强度为55dBz,回波主体为35dBz。在影响天津过程中,回波维持带状,最大回波强度维持在55dBz,天津地区产生强降水。23时回波松散、减弱,天津地区降水逐渐结束。

2.1.4 3次过程雷达反射率因子比较

比较3次过程的雷达反射率产品可以发现雷达回波出现的方位、回波带移动的方向、速度基本相同,但在出现时的回波强度与移动时回波强度的变化有所不同,在天津地区产生的降水强度不同。

在回波发展阶段,3次过程均为回波单体向北移动,回波带缓慢向东南移动,回波基本呈带状。3次过程雷达回波的强度也有所不同,B、C过程回波主体始终维持在30dBz以上,B过程最大回波强度为60dBz,C过程最大回波强度为55dBz,A过程雷达回波强

度偏小,回波主体为维持 30dBz 以上,最强回波强度为 50dBz。在影响天津地区的过程中,B、C 过程雷达回波结构密集,回波主体始终维持在 30dBz,最大强度增强到 55dBz,产生降水较强。A 过程回波结构松散,回波主体强度明显减弱,由 35dBz 减弱为 30dBz,回波逐渐消散,只产生了微量降水。

2.2 垂直风廓线产品变化特征

分析风廓线资料可以在一定程度上揭示暴雨过程中垂直风场的结构。

暖平流产生上升运动,冷平流产生下沉运动。水汽的输送对降水很重要,西南风层越厚,水汽越充沛,越有利于降水。高空急流是产生高空辐散的机制之一,它的重要作用就是抽气作用,有利于上升气流的维持和加强^[4-6]。

2.2.1 A 过程

从图 5 可以看出 20 时 14 分在 2.7km 以下为暖平流,以上为冷平流,有利于降水的产生。到了 20 时 50 分西南风高度层抬升,3.4km 以下存在上升运动。20 时 56 分后平流变化不是很明显。21 时 20 分后低层为下沉气流,高层为上升气流。

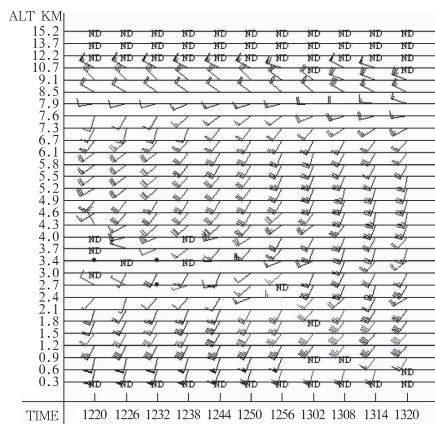


图 5 塘沽雷达站 2006 年 6 月 12 日逐时垂直风廓线产品

从整体环境风场来看,西南风层厚度较小,降水过程不明显。

2.2.2 B 过程

从图 6 可以看出 7 时 56 分至 8 时 27 分在 4.0km 的高度上有一零速度层,为西北风与西南风的切变层。切变层以下平流变化不很明显;切变层以上,风随高度顺转,有暖平流,产生上升运动,较强降水维持。大于 $12\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南风位于 4km 以上。9 时 16 分之后零速度层降低到 0.6km,为东北风与西北风的切变,9 时 28 分至 9 时 40 分时段内 4.0km 为冷平流结构,为下沉气流降水减弱。9 时 40 分至 10 时 04 分大于 $12\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南风层的厚度加大,为较弱降水维持时段。10 时 04 分后西北风层增厚,降水趋于结束。

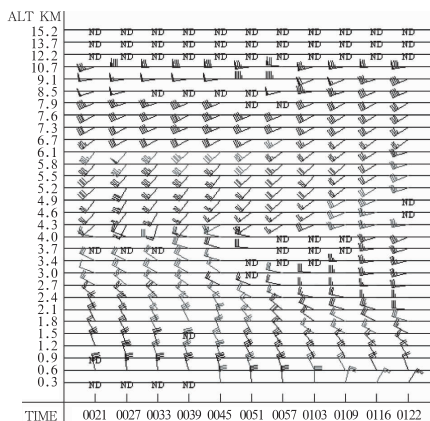


图 6 塘沽雷达站 2006 年 7 月 12 日凌晨逐时垂直风廓线产品

从整体环境风场来看,7 时 56 分之前西南风维持在 4.9~10.7km 之间,在 7 时 56 分至 8 时 53 分时段内 4.0~10.75km 均为西到西南风,与实况降水的加强和维持是一致的。

2.2.3 C 过程

从图 7 可以看出,3km 风随高度逆转,有冷平流,产生下沉运动,低层有冷空气入侵,3km 以上风随高度顺转,有暖平流。22 时 19 分至 22 时 43 分风速随高度增大,且大于 $12\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南风层增厚,表明存在很强的暖平流,产生的上升气流也很强,为降水提供了充沛的水汽条件。这与实况降水加强和维持是一致的。23 时 01 分以后西北风层增厚,下沉气流入侵,降水减弱。

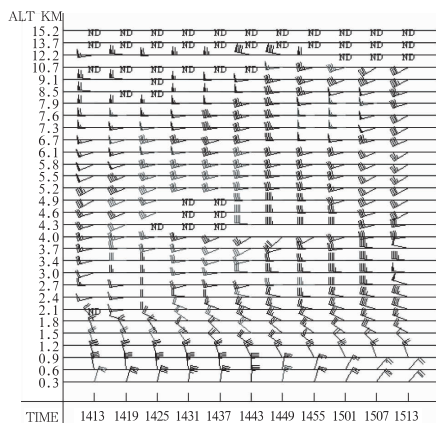


图7 塘沽雷达站 2006 年 7 月 12 日夜间逐时垂直风廓线产品

从整体环境风场来看,22 时 13 分之前,西南风在 2.4~6.7km 之间,之后到 22 时 43 分,2.7~9.1km 均为西南风,22 时 49 分后 3.4km 以下至 0.9km 逐渐转为西北风。与降水变化比较可见,随着西南风高度层的抬升,降水量加大,西南风高度层维持,较强降水维持,东北风向低层的侵入,说明暖湿气流逐渐被干空气取代,预示着降水逐渐结束。

2.2.4 3 次过程垂直风廓线产品比较

与 A 过程相比,B、C 两次过程存在较强的暖平流,产生的上升气流也比较强,配合西南气流输送的充沛水汽,出现了明显的降水过程。

2.3 多普勒平均径向速度产品分析

一些中小尺度系统在多普勒雷达径向速度图上都有很好的反映。在实际的多普勒速度图像的分析与应用中,往往是冷暖平流与大尺度辐合辐散运动的复合风场^[7-12]。

下面将降水过程分为降水形成、降水维持、降水消散 3 个阶段,探讨 3 次降水过程的径向速度 PPI 图像特征。在 0.5°、1.5°、2.4° 三个仰角中,1.5° 仰角能够清晰地反映 3 次降水过程的一些基本特征,故取 1.5° 仰角为代表加以分析。

2.3.1 A 过程

降水开始阶段(图 8a,见彩页):16 时在北京出现负速度区,负速度最大为 $15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

17 时出现 $0 \sim 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的正速度区,18 时正负速度增大,速度区范围扩展,负速度区大于正速度区,零速度线随高度顺转,有暖平流。由不同仰角正负径向速度值和面积大小可知,中低层存在较强的风向风速辐合,高层存在较弱的风向辐合。

降水维持阶段(图 8b,见彩页):18—19 时负速度维持 $15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,正速度维持 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,正负速度面积没有明显变化。在 0.5°、2.4° 仰角上负速度区及最大风速明显增大,降水维持。

降水消散阶段(图 8c,见彩页):19 时 44 分回波影响天津北部,最大负速度为 $-20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大正速度为 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,零速度线随高度先顺转后逆转,各高度层冷暖平流相间分布,辐合辐散不明显。12 时 38 分零速度线随高度逆转,正速度大于负速度,有冷平流和风速辐散,回波将减弱。在 2.4° 存在风向风速的辐合,中低层辐散,高层辐合,并有冷平流输送,不利于降水的维持,降水逐渐消散。

2.3.2 B 过程

降水开始阶段(图 9a,见彩页):12 日凌晨在北京至石家庄一线出现零散负速度区,风速 $0 \sim 20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,沧州附近的正速度区中有 $0 \sim 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的正速度区,即有逆风区存在,预示回波将增强。随后北京地区逐渐出现零散的正速度区,并伴有逆风区出现,回波增强。

降水维持阶段(图 9b,见彩页):12 日 04 时,正负速度增大,速度区范围扩展,但负速度增加比正速度明显,05 时 01 分负速度出现 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的色斑,正速度最大为 $15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,说明风速辐合加强,实况为北京出现强降水。06 时回波开始影响天津,负速度区面积逐渐大于正速度区面积,偏东风进一步增强。07 时正速度范围继续减小,天津地区主要为负速度区。在 2.4° 仰角上低层东北风,高层西南风,零线高度顺转。75km 内风向风速辐合、75km 外有风向的辐散,这有利于降水的维持。

降水消散阶段(图 9c,见彩页):08 时北部回波移出天津,天津东南部正速度增大,速度区

范围扩展,8时45分正速度区范围继续扩展,10时回波移出天津。

2.3.3 C过程

降水开始阶段(图10a,见彩页):12日17时在北京地区出现正负速度区,负速度风速 $0\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,正速度风速 $0\sim 5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,即有逆风区存在,预示回波将增强。随后北京地区正负速度增大,速度区范围扩展,但负速度增加比正速度明显,19时在易县、深泽一带出现负速度区,范围扩展。

降水维持阶段(图10b,见彩页):20时雷达速度图上可以看出,零速度线呈反S型,低层为偏南风,随高度增加逐渐转为东南风、偏东风、东北风,风向逐渐逆转,说明高空为冷平流。20时回波开始影响天津,负速度区面积逐渐大于正速度区面积,偏东风进一步增强。21时01分负速度出现 $27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的色斑,正速度最大为 $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,零速度线随高度顺转,主要为暖平流,偏东风的风速辐合加强。在 0.5° 仰角上负速度区范围明显大于正速度区范围,存在大尺度的辐合运动。在回波影响天津的过程中 2.4° 仰角正速度区逐渐大于负速度区,同时零线为反S型,有利于降水的维持。

降水消散阶段(图10c,见彩页):22时25分天津地区主要为负速度区,正速度区范围扩展,负速度区范围收缩。22时37分北部回波移出天津,天津东南部正速度增大,速度区范围扩展,低层为冷平流整层风速减小,降水逐渐减弱结束。

2.3.4 3次过程雷达平均径向速度产品比较

比较3次降水过程,在回波出现初期3次降水过程都存在相同距离圈负速度数值大于正速度数值,B、C两次降水过程都存在逆风区,未来回波将增强。

在回波影响天津过程中A过程有冷平流和风速辐散,回波减弱,在天津出现的降水较弱。B、C两次过程低层辐合高层辐散的配置,不断有暖平流从高空向低层输送,且回波移动速度较A过程慢,有利于较强降水的维持,在天津出现了较为明显的降水过程。

3 短时临近预报系统产品的比较

应用由中国气象局北京城市气象研究所和美国国家大气科学研究中心(NCAR)联合开发的对流天气临近预报系统(Auto-now-caster)可以分析雷暴的诸多特征,进行雷暴移动、增长和消亡的外推预报,通过反射率移动获得的风场的变化。预报员可以参考其预报结果,制作短时临近预报。该系统的缺陷是预报时效短,准确率不是很高。本文主要使用该系统的两种预报产品:

a、单体识别、追踪、分析和临近预报(TITAN)产品。TITAN适合于跟踪对流降水系统。本文使用30分钟的雷暴外推预报结果。图中对雷暴(回波强度大于等于 35dBz)的检测识别为黄绿色多边形,30分钟雷暴范围预报为紫色多边形。预报可参考该产品判断回波未来的移动方向和范围的变化。

b、CP_FinalState_30min_RadarsCover-Domain即雷暴增长率,为雷达回波强度未来30分钟预报。图中橙色色标表示未来回波加强,绿色色标表示回波强度维持,蓝色色标表示回波减弱。预报员可参考该产品来判断回波未来的强度变化。

通过参考上述两个产品就可以知道雷暴回波未来范围、强度的变化和移动方向。

3.1 A过程

从图11a(见彩页)中的雷暴外推预报结果图可以看出在未来30分钟北部的雷暴回波向东北方向移动,未来不会影响天津;中部回波比较松散,移向也为东北方向,但是减弱趋势,对天津影响不大,不会产生强降水;南部回波范围较大,但向偏南方移动,同样不会影响天津地区。由雷暴增长率图(图11b,见彩页)看出雷达回波主体强度维持,在天津产生降水。

将预报结论与实况做对比分析,雷暴范围预报与实况比较一致,但实况回波强度减

弱,回波主体强度由 35dBz 减弱为 30dBz,与强度预报回波强度未来将会维持差别较大。

3.2 B 过程

由图 12a(见彩页)中的雷暴外推预报结果图可以明显看出在未来 30 分钟雷暴回波带的移动方向均为东南方向,未来强回波主体范围增大,将影响天津,产生较强降水。由雷暴增长率图(图 12b,见彩页)看出雷达回波主体强度加强。

将预报与实况做比较,实况强回波主体范围在未来有所增大,回波主体强度增加,与预报结果比较一致。

3.3 C 过程

由雷暴外推预报结果(图 13a,见彩页)可以明显看出在未来 30 分钟雷达上北部和中部的雷暴回波向东南方向移动影响天津且回波范围明显增大。南部回波未来向东移动,强度维持,不会影响天津。由雷暴增长率图(图 13b,见彩页)看出北部和中部的雷暴回波主体强度增强,有利于在天津产生降水。

将预报与实况做比较,实况强回波主体范围在未来有所增大,回波主体强度增加,强回波主体移动方向与预报结果比较一致。

3.4 3 次过程短时临近预报系统产品的比较

比较三次过程短时临近预报系统产品可以看出 B、C 过程短时临近预报结果与实况比较一致,但预报时次不同也会产生较大的偏差,通过在实际的预报工作中的应用,发现 30 分钟短时临近外推预报具有一定的参考价值。

4 结语

据本文的 3 个个例分析,可得到如下初步结论。

(1) 在降水发生之前或发生时,低层和

边界层为东南风,中上层为强西南风,同时中低层有深厚的暖平流,且辐合上升强,这种气流的垂直结构有利于产生较强的降水。

(2) 在降水的开始和成熟阶段,多普勒雷达径向速度场的变化一般先于回波强度场的变化,在做降水短时预报时应重点关注多普勒雷达径向速度场的变化,来判断未来雷达回波的强度变化及移动方向。

(3) 结合应用短时临近预报系统的雷达回波外推预报产品,预报员可进一步判断强对流天气的变化和移向,来提高预报的准确率。

参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [2] 胡明宝,高太章,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.
- [3] 王彦,吕江津,王庆元. 一次雷暴大风的中尺度结构特征分析[J]. 气象,2006,32(2):75-80.
- [4] 丁一汇编著. 高等天气学[M]. 北京:气象出版社,1991:392-590.
- [5] 张京英,漆梁波,王庆华. 用雷达风廓线产品分析一次暴雨与高低空急流的关系[J]. 气象,2005,31(12):41-44.
- [6] 李津,王华. 北京城区一次大到暴雨的预报难点分析[J]. 气象,2006,32(2):92-97.
- [7] 夏文梅,张亚萍,汤达章. 暴雨多普勒天气雷达资料的分析[J]. 南京气象学报,2002,25(6):787-794.
- [8] 夏文梅,张亚萍,王凌震,等. 复合风场的单多普勒雷达速度特征[J]. 气象科学,2003,23(2):209-216.
- [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,1995,373-378.
- [10] 王丽荣,汤达章,张艳刚. 春季降水过程的多普勒天气雷达图像特征剖析[J]. 气象科技,2006,32(1):88-92.
- [11] 陶珣,汤达章,肖稳安,等. 改善 evad 技术求解散度的方法[J]. 应用气象学报,2005,16(2):205-212.
- [12] Lv Jiangjin, Zhang Fengqi, Jiang Zhihong. Analysis of Echo Characteristics of Doppler Velocity in a Rainstorm Event[c]. Proceedings of SPIE, 2006, 6301-36.

吕江津等：用多普勒雷达对三次强对流天气的短时预报对比分析

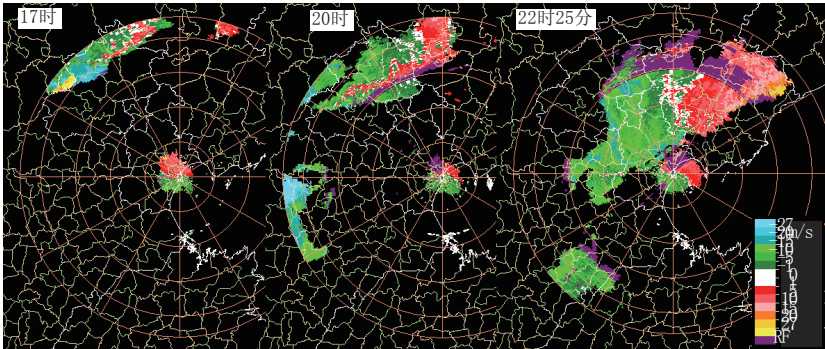


图 10 塘沽雷达站2006年7月12日夜间1.5°仰角径向速度图

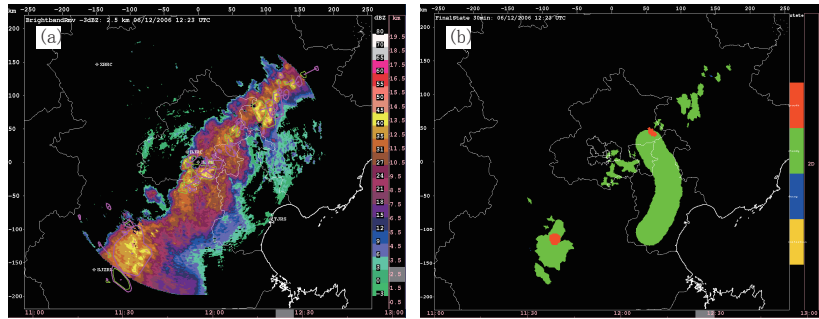


图 11 塘沽雷达站2006年6月12日预报图
(a) 雷暴外推预报, (b) 雷暴增长率

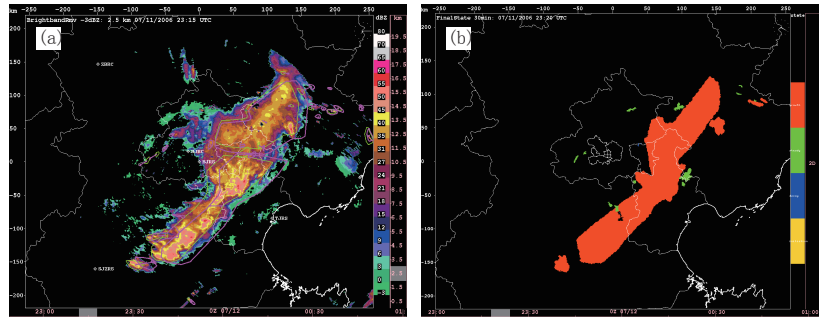


图 12 塘沽雷达站2006年7月12日凌晨预报图
(a) 雷暴外推预报, (b) 雷暴增长率

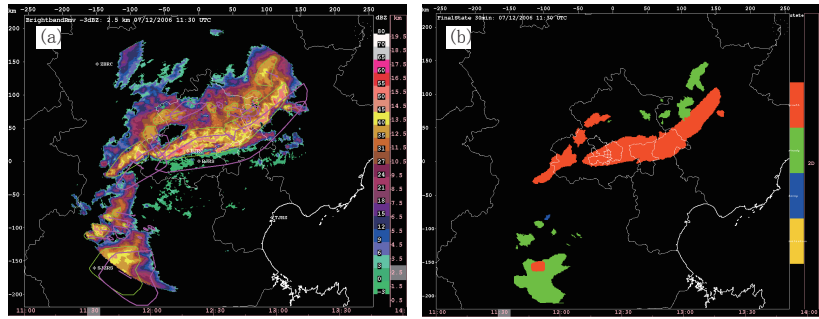


图 13 塘沽雷达站2006年6月12日夜间预报图
(a) 雷暴外推预报, (b) 雷暴增长率

吕江津等：用多普勒雷达对三次强对流天气的短时预报对比分析

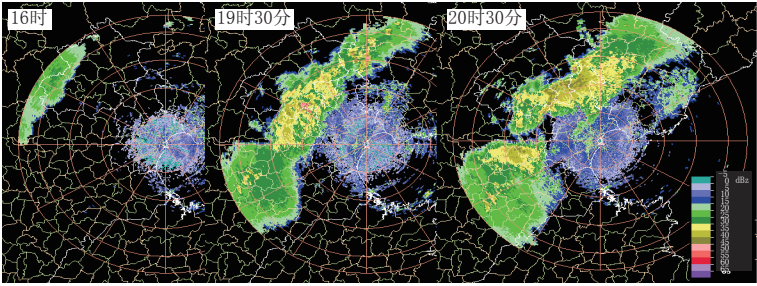


图 2 塘沽雷达站2006年6月12日1.5°仰角反射率产品

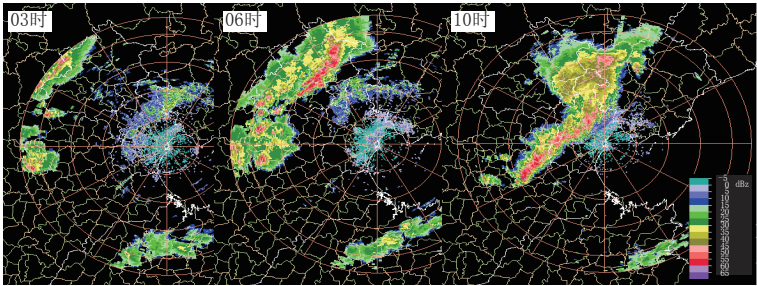


图 3 塘沽雷达站2006年7月12日凌晨1.5°仰角反射率产品

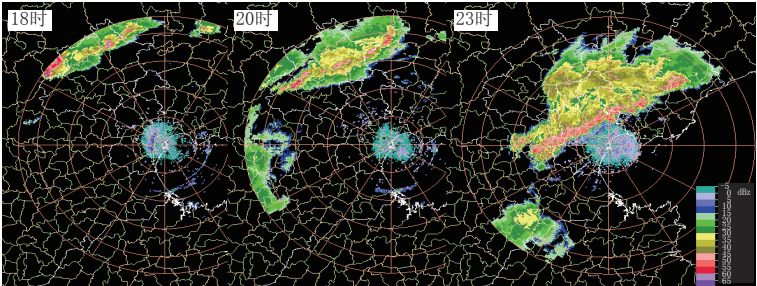


图 4 塘沽雷达站2006年7月12日夜间1.5°仰角反射率产品

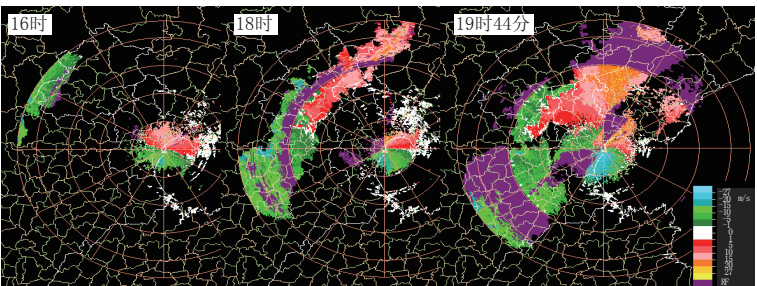


图 8 塘沽雷达站2006年6月12日1.5°仰角径向速度图

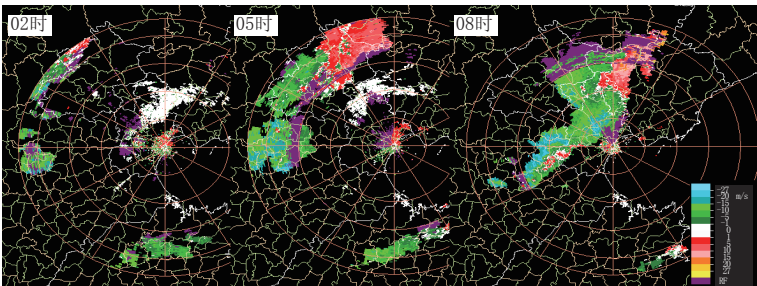


图 9 塘沽雷达站2006年7月12日凌晨1.5°仰角径向速度图