

# 一次大雪天气过程的多普勒雷达特征分析

东高红<sup>1</sup> 张志茹<sup>2</sup> 李胜山<sup>1</sup> 贾惠珍<sup>1</sup>

(1. 天津市气象台, 300074; 2. 天津市武清区气象局)

**提 要:** 利用常规天气资料、新一代多普勒天气雷达资料和改善的 EVAD 技术, 从影响系统、多普勒雷达回波特征及大气动力学角度, 详细分析了 2006 年 2 月 6 日出现在华北地区的大雪天气过程。结果表明: 500hPa 高空槽、850hPa“人”字型切变及地面气旋相配置是这次大雪天气过程的主要影响系统。在雷达有效探测范围内, 随着 0.7~1.1 km 高度上中尺度逆切变的出现和 4.8 km 高度上西南急流的建立并向低层扩展, 风场辐合明显加强, 辐合层加厚, 从而为强降雪的出现和维持提供了有利条件, 且中尺度逆切变和西南急流存在的时间与强降雪出现及维持的时间有很好的对应。另外冷锋过境时风场辐合再次加强使得较强降雪继续维持。同时用改善的 EVAD 技术计算了降雪不同阶段的大气平均散度和平均垂直速度。结果表明: 中尺度逆切变系统和冷锋的出现均对应着明显的辐合和上升, 辐合和上升又促使强降雪出现和维持, 因而从大气动力学角度进一步证实了中尺度逆切变和冷锋的存在及其与强降雪的对对应关系。

**关键词:** 大雪 多普勒雷达资料 中尺度逆切变 EVAD 技术

## The Doppler Weather Radar Analysis of a Heavy Snow Event

Dong Gaohong<sup>1</sup> Zhang Zhiru<sup>2</sup> Li Shengshan<sup>1</sup> Jia Huizhen<sup>1</sup>

(1. Tianjin Meteorological Observatory, 300074; 2. Wuqing Meteorological Office, Tianjin City)

**Abstract:** Based on the conventional and single-Doppler radar data, the heavy snow event occurred in the North China on 6th February 2006 has been analyzed. The results show that the major influencing system of this heavy snowfall is the well-matched configuration of the trough at 500hPa, the herringbone shear at 850hPa and the cyclone at surface. The Doppler radar data analyses show that the appearance of the meso-scale inverse shear at 0.7~1.1 km, as well as the establishment and downward stretch of the southwestern jet at 4.8km accelerated the wind convergence and thickening of the convergence layer, which provide favorable condition to the heavy snowfall. The timings of the meso-scale inverse shear and the southwestern jet correspond well to that of the

appearance and maintenance of the heavy snowfall. The cold front also affects the maintenance of the snowfall. We applied the improved EVAD technique to dynamically analyze the changes of the average divergence and vertical velocity at different snowfall periods. The results indicate that the appearances of the meso-scale inverse shear and the cold front correspond to the intense convergence and upward motion, which cause the occurrence and maintenance of the snowfall. These further confirm the existences of the meso-scale inverse shear and cold front, as well as their correspondence to the heavy snowfall.

**Key Words:** heavy snowfall Doppler radar data meso-scale inverse shear EVAD technique

## 引 言

雷达资料在分析暴雨、冰雹、雷雨大风等夏季灾害性天气方面发挥了重要作用,国内外气象学者应用多普勒雷达产品对产生暴雨、冰雹等灾害性天气的中小尺度系统特征进行了大量的分析研究<sup>[1-3]</sup>,形成了大量预报指标和概念模型,为预报员提供了丰富的理论指导。但是用多普勒雷达资料分析降雪过程的研究比较少,预报员缺少应用多普勒雷达资料进行降雪短时、临近预报的经验、方法和指标,因此加强雷达资料在降雪过程中的应用研究将有重要意义。

另一方面,随着经济社会的迅速发展,降雪对城市交通及高速公路运输造成的影响越来越大,大雪作为一种灾害性天气越来越受到社会各界的广泛关注。近几年随着多普勒天气雷达在我国中高纬地区的安装使用,一些气象工作者应用雷达资料对降雪过程进行了分析研究<sup>[4-6]</sup>。本文针对 2006 年 2 月 6 日发生在华北地区的一次大雪天气过程,应用

位于天津塘沽的 CINRAD-SA 型新一代多普勒雷达资料,结合天气实况,详细分析了雷达基本径向速度产品和基本反射率产品,探讨了该过程的中小尺度系统在多普勒雷达上的特征及其与降雪的对对应关系,并应用改善的 EVAD 技术从大气动力学角度定量分析了不同尺度系统对强降雪的影响及与强降雪的对对应关系。希望通过本研究为降雪的短时、临近预报提供一些有益的启示。

## 1 降水实况与天气形势

### 1.1 降水实况

2006 年 2 月 6 日华北地区出现明显降雪天气,其中华北东部地区普降大雪,是华北地区初春较大的一次降雪过程。特别是天津地区 13 个区县观测站有 11 个观测站 24 小时降雪量超过 5 毫米(见表 1),其中 6 日 08 时至 10 时(北京时,下同),天津静海观测站的两小时降雪量达到 3.6 mm,这种强度即使是在华北的冬季也并不多见。

表 1 2006 年 2 月 6 日天津各站降雪量(单位:mm)

时间	蓟县	宝坻	武清	静海	西青	市区	北辰	东丽	津南	大港	宁河	汉沽	塘沽
08 时前(降雪开始)	0.0	0.4	0.1	0.4	0.5	0.5	0.1	0.2	0.8	0.0	0.0	0.2	0.2
08—14 时(强降雪)	2.9	3.3	3.4	5.6	3.5	3.9	4.3	5.0	5.1	4.8	5.0	5.4	4.3
14—20 时(降雪维持)	2.0	3.7	1.1	0.3	0.1	1.0	1.8	0.9	1.3	1.0	3.5	2.9	1.0
20 时后(降雪消散)	0.0	0.4	无	无	0.0	0.1	0.0	0.3	1.0	0.4	0.1	0.6	0.7
降雪总量	4.9	7.8	4.6	6.3	4.1	5.5	6.2	6.4	8.2	6.2	8.6	9.1	6.2

## 1.2 天气形势

5日20时,500 hPa上空贝加尔湖以北有一冷涡,中纬度环流较平,110°E附近有一浅槽,华北上空为偏西风(图略),6日08时浅槽东移至113°E附近,槽区加深,冷空气沿槽后西北气流不断南压。在850hPa上空,5日20时在110°E以西有一小槽,山西—河北北部—内蒙东部有一东北风—西南风的切变,到6日08时小槽发展并东移至115°E附近,与加强南压至华北北部的切变相接、合并发展成为一“人”字型切变。相应地,地面图上有一倒槽系统不断发展北伸,其北端切断出一闭合低压并发展为地面气旋,到6日08时地面气旋移至华北东部地区,处在850hPa“人”字型切变东南方的暖区里。正是这种500 hPa高空槽、850 hPa“人”字形切变和地面气旋的相互配置,造成了此次大雪天气过程。

## 2 多普勒雷达特征

天津塘沽的CINRAD-SA型新一代多普勒天气雷达对此次大雪过程进行了全程跟踪观测,获取较完整的资料。探测时使用的是降水模式VCP21。仔细分析雷达的基本反射率和基本径向速度产品资料,不仅可以判断降雪过程的生消和不同降雪时段的强弱变化,而且通过连续跟踪整个降雪过程的基本径向速度图,可以分析出大尺度系统环流下中小尺度系统的特征及其与强降雪的对对应关系。下面从降雪的不同阶段对雷达回波资料进行详细分析。各阶段降雪量见表1(注:因冬季没有逐时降水量,只能用六小时降雪量近似代替)。

### 2.1 降雪开始阶段

从1.5°仰角径向速度图看出,6日01时

后雷达周围开始出现回波(图略),随时间推移回波范围不断扩大,三小时后到04时雷达站周围20km内为回波覆盖,且负速度回波面积大于正速度回波面积,环境风场出现弱的风场辐合特征,说明将有降水天气出现或降水将持续<sup>[7]</sup>。对应基本反射率图1.5°仰角上只在雷达周围37km内有一些非常弱的零散回波,强度仅-3 dBz,降低探测仰角(0.5°仰角)看到雷达周围70km内为超折射及杂波覆盖。实况显示01时后天津地区开始出现降雪,3小时降雪量为T量。这说明降雪初期云层低、云层中水粒子密度小、粒子的直径小,对雷达发射的电磁波的散射能力弱,这是由雷达探测能力造成的<sup>[8]</sup>。通过上述分析表明,降雪开始阶段虽然降水回波强度很小,但依据基本速度图上出现的弱的风场辐合特征,说明降雪天气将持续。

### 2.2 降雪加强、强降雪阶段

07:48时在1.5°仰角径向速度图上(图1a,见彩页),雷达周围100km范围被回波覆盖,近距离38km内零速度带随高度逆转为冷平流、38km外零速度带随高度顺转为暖平流,低层冷平流、高层暖平流,说明大气层结较稳定;同时雷达探测范围内同一圈层上最大负速度回波面积大于正速度回波面积且最大负速度值( $-12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )大于最大正速度值( $7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),风场表现为辐合,稳定的降水形势与辐合风场相叠加说明降雪将加强。08时后,38km以内(由测高公式知为1.2km高度)零速度带随高度出现不连续变化:在23km处(0.7km高度)零速度带出现明显的逆转折角、转折角度将近90°,23km以内零速度带近似直线呈西北—东南向、23~38km(0.7~1.2km高度)内零速度带为直线呈东北—西南向;对应2.4°仰角07:42开始在0.6~1.1km高度零速度带出现折转;而3.4°仰角07:24开始0.7~1.1km高度零

速度带出现折转。由雷达基本径向速度图生成原理可以推断出,风场在 0.7~1.1km 高度层出现一个西南风与东南风的中尺度切变,风向随高度逆转,因此称为“中尺度逆切变”。由测高公式知切变层厚度约为 0.4km,且较高仰角先观测到。图 1b(见彩页)为 09:25 时 1.5°仰角基本速度图,图中箭头所指为中尺度逆切变位置。另外,从 3.4°仰角基本径向速度图上看到 07:42 时后在 4.8km 高度出现  $-17\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的负速度最大值、正速度最大值为  $7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,表明西南急流建立,且随着其的建立、风场辐合明显加强。随时间推移,一小时后在 1.5°仰角基本速度图上在 3.4km 高度出现  $-17\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的负速度大值点、正速度最大值仍为  $7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,表明急流低层扩展,随之低层风场辐合也明显加强、辐合层加厚,而此时中尺度逆切变的特征最为明显(如图 2,见彩页)。且从图 2d 上明显看到雷达周围 100km 范围内完全被 5~15dBz 强度回波覆盖,其中镶嵌着多个强度为 30dBz 的强回波块,随着回波强度和强回波块面积的不断增大,回波顶高度也迅速伸展到 3~4km 高度。实况显示此时降雪强度最大,这种情况一直持续了近 3 个小时,其中 08 时至 10 时天津静海的两小时降雪量为 3.6mm,达到暴雪强度。10:50 时后 1.5°仰角上中尺度逆切变消失,速度图上负速度最大值由  $-17\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  减到  $-12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,西南急流减弱,相应地风场辐合减弱,此时零速度带随高度呈连续变化,强度图上 30dBz 的强回波块也减弱或消失。

上述分析表明,在雷达有效探测范围内,低层冷平流、高层暖平流的稳定降水形势与辐合风场相叠加,降雪将加强。随着 0.7~1.1km 高度上中尺度逆切变的出现和 4.8km 高度上西南急流的建立并向低层扩展,风场辐合明显加强、辐合层加厚,从而为强降雪的出现和维持提供了有利条件;且中尺度逆切

变和西南急流存在的时间与强降雪出现及维持的时间有很好的对应。

### 2.3 降雪维持阶段

11:50 时(图 1c,见彩页)径向速度图上雷达西北方零速度带随高度又出现不连续变化特征:雷达探测范围内在 50km 处出现明显折角:由 NW—SE 向折为近似 S—N 向,文献[9]表明这是冷锋锋面在多普勒雷达径向速度图上的特征表现。冷锋的南段,由于锋前后都是朝向雷达方向的径向速度,没有正负速度的过渡区,因而零速度带不存在,我们看到的只是冷锋的北段,图 1c(见彩页)上断线位置为根据实况画出的冷锋南段。随冷锋的南下,锋区轴向发生倾斜,由近 S—N 向转为 NE—SW 向,锋后较冷的负速度回波自西北向东南移来,与锋前自西南向雷达站移动的较暖湿的负速度回波合并发展,表现为最大负速度区面积不断扩大,风场辐合加强。对应基本反射率产品(图略)这段时间不断有强度为 25~30dBz 的中尺度回波块移来或发展合并,回波顶高度也一直维持在 3~4km 高度。实况显示这一阶段的降雪强度仍然较大。这说明随冷锋的移来,锋后冷空气与锋前暖湿空气在华北上空交汇,风场辐合再次加强,较强降雪持续。

### 2.4 降雪消散阶段

15:30 时冷锋正好压在雷达测站上空(图 1d,见彩页),此时零速度带出现断裂,锋面特征已不明显,但仍存在弱的风向风速的辐合,这种现象一直持续了近 3 个小时。18 时开始雷达周围 50km 外(1.5km 高度)出现风速辐散特征:最大负速度区( $-12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )面积转为小于最大正速度区( $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )面积,且随时间推移辐散向低层传播,19:55 后在雷达有效探测范围内从低层到高层为风速辐散,此时零速度带呈反“S”型,为冷平流,

冷平流加辐散,预示降雪将要结束。对应基本反射率图雷达观测范围内回波范围不断缩小,并逐渐向东南方向收缩,回波强度维持在20dBz以下,回波顶高度也由4km下降到2km高度。对应实况降雪已明显减弱、且自西向东降雪陆续结束。

综上所述,在雷达有效探测范围内低层冷平流、高层暖平流的稳定降水形势与辐合风场相叠加降雪将加强,冷平流与辐散风场相叠加降雪将减弱结束。随着0.7~1.1km高度上中尺度逆切变的出现和4.8km高度上西南急流的建立并向低层扩展,风场辐合明显加强,辐合层加厚,从而为强降雪的出现和维持提供了有利条件,且中尺度逆切变和西南急流存在的时间与强降雪出现及维持的时间有很好的对应。另外冷锋过境时风场辐合再次加强使得较强降雪继续维持。

### 3 应用风场资料分析降雪不同阶段中小尺度系统的特征

#### 3.1 雷达风廓线资料

连续观测雷达VWP产品看到(图略),随降雪的加强西南风层迅速加厚,风速增大,在低层1.2km以下风向随高度出现逆转有冷平流、风速随高度减小,1.2km以上风向随高度顺转有暖平流、风速随高度迅速增大,对流层高层存在着明显的西南急流。而且在08:37—09:07时、在0.6km~0.9km高度上风向随高度出现逆转,存在西南风与偏南风的弱切变,证实了中尺度逆切变的存在。13:23时以后冷暖平流不再明显,在2.1~3.0km高度上出现偏西风,并逐渐向西北风转变,先前一致的西南风层被切断,说明有冷空气从中层切入。随时间推移,西北风层迅速加厚并向上下扩展,到15:18时4.0km高度以下全被西北气流控制、下沉气流占主导。随后低层风向向北风转变,高层维持西北风,

风随高度逆转,有冷平流,同时低层北风风速加大,冷空气加速向下传递。风场的演变特征说明了冷锋的存在。

#### 3.2 自动气象站风场分析

从天津各自动站逐时风场演变(图3)看,7时前天津观测站为西南风,7—9时为南风,在10—11时测站出现南南东风向,说明9—11时地面风场出现弱的气旋性旋转,表现为辐合,从而验证了中尺度逆切变的存在。从12时开始地面风场出现顺转,由南风转为西南风,15时后转为西北风、风速也随之增大,说明冷锋过境,干冷空气随冷锋迅速向南扩散。另外01—14时在天津北部一直存在一南风与东风的暖切变,切变以南为辐合,南方较暖湿空气源源不断地向北输送,从而为此次强降雪提供了充足的水汽。

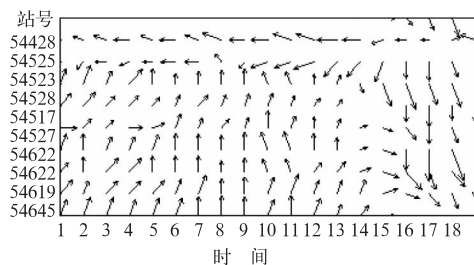


图3 2006年2月6日地面风场随时间的变化  
纵坐标按纬度从南到北排列

综上所述,从高空和地面风场资料随时间的演变也能分析出中尺度逆切变和冷锋的特征。

### 4 应用多普勒雷达资料对强降雪的动力分析

上述是从定性的角度分析了降雪过程中中小尺度系统在多普勒雷达上的特征及其与强降雪的对对应关系。下面应用改善的EVAD技术<sup>[10]</sup>从定量的角度分析降雪不同阶段大气的平均散度和平均垂直速度的变化

情况,以期找出中小尺度系统的动力学特征及其与强降雪的对对应关系。

#### 4.1 EVAD 技术方法简介

EVAD 技术<sup>[10]</sup>是应用多普勒雷达定量测量风场结构的一种改善的新算法,即假定在某一高度的平面上,水平散度和垂直速度在较小的高度间隔内不变。应用在此间隔内不同的仰角或不同距离的径向速度资料,得到多个水平散度和垂直速度值,然后应用 Thomas 等<sup>[11]</sup>提出的带有权重的最小二乘法分离水平散度,把散度信息提取出来,再利用连续方程对高度积分,得到各高度上的垂直速度。根据 EVAD 理论,在某一薄层内:

$$Y = \sum_{i=1}^2 p_i g_i$$

其中  $Y = 2a_1 / (r \cos \alpha)$ ,  $p_1 = D$ ,  $p_2 = w_p$ ,  $g_1 = 1$ ,  $g_2 = 2 \sin \alpha_1 / (r \cos \alpha)$ ,  $a_1$  为 Fourier 系数,  $D$  为平均水平散度,  $w_p$  垂直速度(定义垂直向上为正)。

Thomas 的权重系数为<sup>[12]</sup>:

$$\gamma_k = \frac{1}{\text{var}(Y_k) n_k} = \frac{r_k^2 \cos^2 \alpha_k}{4 \text{var}(a_1)_k n_k}$$

$\gamma_k$  为这一层内第  $k$  个距离的权重,  $n_k$  为这一水平层内第  $k$  距离圈所在仰角上的距离圈总数。

#### 4.2 降雪不同阶段的动力诊断分析

根据 EVAD 技术,利用天津塘沽多普勒天气雷达每 6 分钟一次的基数据资料,计算了该次降雪过程大气的平均散度( $D$ )和平均垂直速度( $w_p$ )。考虑到地物杂波以及回波缺口的影响,此次降雪过程计算  $D$  和  $w_p$  的水平范围取 10~35km。为进一步定量分析此次降雪过程中尺度逆切变系统和冷锋对降雪的影响及与降雪的对对应关系,下面只讨论降雪加强、强降雪和降雪持续这两个阶段大气的  $D$  和  $w_p$  的变化情况。图 4 和图 5 分别

为降雪较强时段大气平均散度和平均垂直速度的时间高度剖面图。

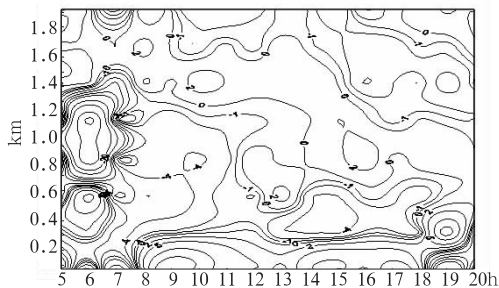


图 4 2006 年 2 月 6 日 05—20 时大气平均散度时间高度剖面图(单位:  $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ )

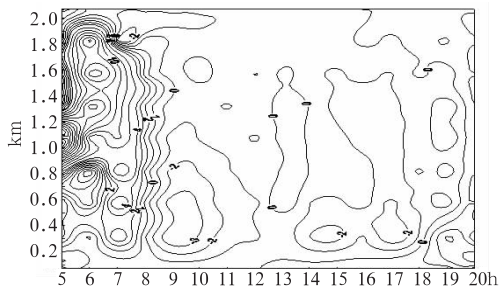


图 5 2006 年 2 月 6 日 05—20 时平均垂直速度时间高度剖面图(单位:  $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ )

正值表示上升、负值表示下沉

从图 4 可以看出 07 时前, 0.7~1.3km 高度出现强辐合, 最大辐合出现在 1.1km 高度上, 相对应图 5 中 0.8~2.0km 出现强上升区, 最大上升速度出现在 1.0km 高度, 此高度正是中尺度逆切变所在的高度。随后辐合区迅速向下延伸、辐合层加厚, 同时上升区高度下降、垂直上升区厚度加厚。到 11 时的四个小时中 0.3~1.3km 高度辐合一直存在, 1.0km 上的上升气流也维持, 1.0km 以下为弱的下沉气流区。实况显示这一时段降雪强度最大。以上说明中尺度逆切变的出现是与强的辐合上升、强降雪相对应的。从图中还看到冷锋过境前 12—13 时图 4 上 0.5km 高度以下为辐合、0.5~1.5km 高度出现弱的辐散, 随冷锋过境辐合区向上扩展、辐

合加强、辐合层厚度加厚。对应图5冷锋过境前0.5km高度以上为弱的上升区,冷锋过境上升区高度略有抬高、0.5km以下为弱的下沉气流。以上表明冷锋过境前,由于锋面抬升大气也出现了明显的辐合、上升,并对应着较强降雪持续。

通过上述分析,从大气动力学角度进一步证实了中尺度逆切变和冷锋的存在及其与强降雪的对对应关系。

## 5 小 结

从常规天气资料分析可以看出,500hPa高空槽、850hPa“人”字型切变及地面气旋相配置,是2006年2月6日华北地区大雪天气的主要影响系统。分析新一代多普勒雷达产品资料可以得到以下几点结论:

(1) 在雷达有效探测范围内低层冷平流、高层暖平流的稳定降水形势与辐合风场相叠加降雪将加强,冷平流与辐散风场相叠加降雪将减弱结束。随着0.7~1.1km高度上中尺度逆切变的出现和4.8km高度上西南急流的建立并向低层扩展,风场辐合明显加强,辐合层加厚,从而为强降雪的出现和维持提供了有利条件,且中尺度逆切变和西南急流存在的时间与强降雪出现及维持的时间有很好的对应。另外冷锋过境时风场辐合再次加强使得较强降雪继续维持。同时从风场资料随时间的演变也能分析出中尺度逆切变和冷锋的特征。

(2) 用改善的EVAD技术计算了降雪不同阶段的大气平均散度和平均垂直速度。结果表明:中尺度逆切变系统和冷锋的出现均对应着明显的辐合和上升,辐合和上升又促使强降雪出现和维持,因而从大气动力学角度进一步证实了中尺度逆切变和冷锋的存

在及其与强降雪的对对应关系。

(3) 在降雪的短时、临近预报中,应用新一代多普勒雷达常规产品的定性分析和应用改善的EVAD技术从动力学角度的定量分析相结合,能很好地分析出中小尺度系统的特征及其与强降雪的对对应关系,从而为降雪的短时、临近预报提供一些有益的指示。

**致谢:**非常感谢姚学祥博士的精心指导和多次修改。

## 参考文献

- [1] Amburn S A, Wolf P L. VIL density as a hail indicator[J]. Weather Forecasting, 1997, 12(2): 473-478.
- [2] 伍志方, 叶爱芬, 胡胜, 等. 中小尺度天气系统的多普勒统计特征[J]. 热带气象学报, 2004, 20(4): 391-400.
- [3] 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): 385-393.
- [4] 安新宇, 李毅, 史玉严, 等. 一次强降雪的雷达PPI速度图像分析[J]. 内蒙古气象, 2004, 4: 15-16.
- [5] 张晰莹, 张礼宝, 袁美英. 一次降雪过程的多普勒雷达探测分析[J]. 气象科技, 2003, 31(2): 179-182.
- [6] 梁卫芳, 刘珍芳, 江敦双, 等. 青岛一次中到大雪过程的综合分析[J]. 气象, 2006, 32(1): 89-94.
- [7] 夏文梅, 张亚萍, 汤达章, 等. 暴雨多普勒天气雷达资料的的分析[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(6): 787-794.
- [8] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 9-69.
- [9] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 气象出版社, 2006: 53-59.
- [10] 胡志群, 汤达章, 梁明珠, 等. 用改善的EVAD技术和变分法计算大气垂直速度[J]. 南京气象学院学报, 2005(3): 209-216.
- [11] Thomas M, Srivastava R C. An improved version of the extended velocity-azimuth display analysis of single-Doppler radar data[J]. J Atmos Oceanic Technol, 1991, 8(4): 453-456.
- [12] 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: 52-59.



# 东高红等：一次大雪天气过程的多普勒雷达特征分析

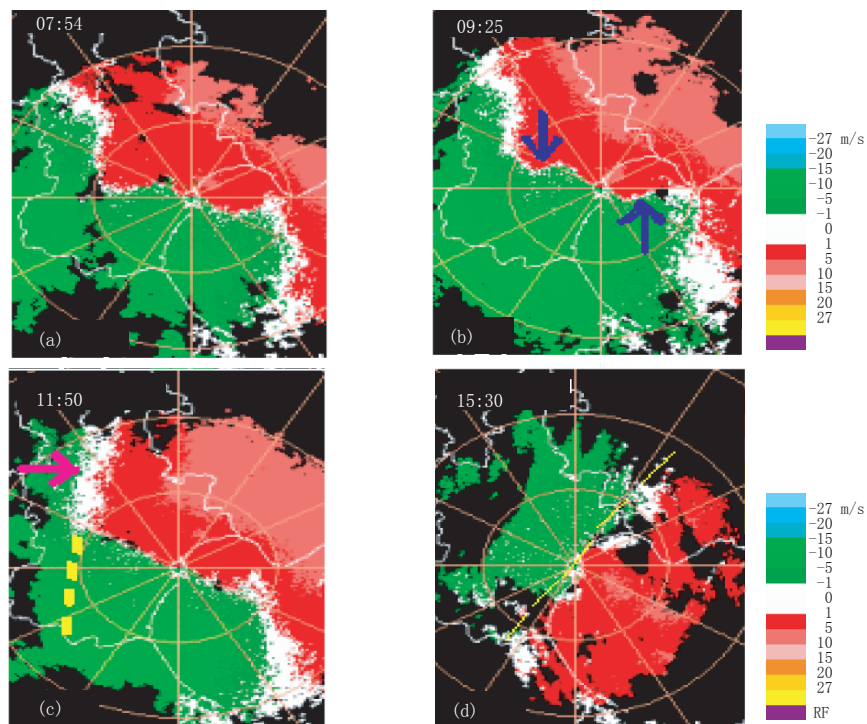


图1 2006年2月6日1.5°仰角速度图  
(b) 箭头所指为中尺度逆切变位置, (c) 箭头所指为冷锋锋面、断线为冷锋位置

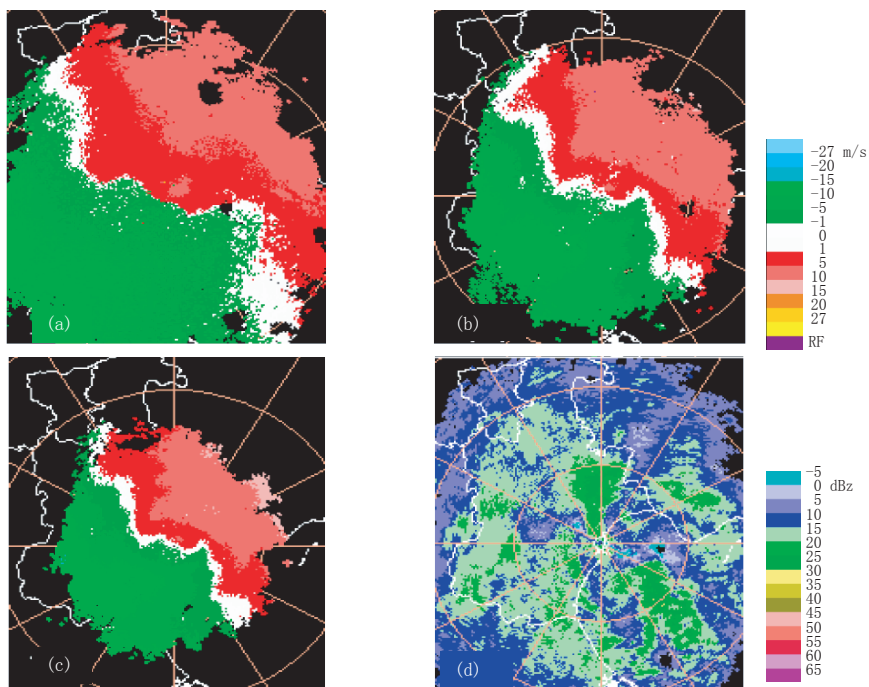


图2 2006年2月6日9:25不同仰角径向速度图和基本反射率图  
(a)、(b)、(c) 分别为1.5°、2.4°、3.4°仰角径向速度图, (d) 1.5°仰角基本反射率图