

# 用 CINRAD-SA 雷达产品识别 冰雹、大风和强降水

李云川<sup>1</sup> 王福侠<sup>2</sup> 裴宇杰<sup>2</sup> 刘晓霞<sup>2</sup>

(1. 河北省人工影响天气办公室, 石家庄 050021; 2. 河北省气象台)

**提 要:** 利用位于河北新乐的 CINRAD-SA 多普勒天气雷达(回波强度、回波顶高、速度回波、垂直积分液态含水量、组合反射率、冰雹指数、中气旋、风廓线等)产品,对发生在河北省中南部地区的冰雹、强风、大型降水天气过程进行了统计分析。从中得到了不同天气类型的多普勒雷达指标,为今后利用多普勒雷达识别各类天气提供参考依据。

**关键词:** 多普勒天气雷达 强对流天气 识别指标

## Products of CINRAD-SA Doppler Radar Applied to Different Typical Weather

Li Yunchuan<sup>1</sup> Wang Fuxia<sup>2</sup> Pei Yujie<sup>2</sup> Liu Xiaoxia<sup>2</sup>

(1. Weather Modification Office of Hebei Province, Shi jiazhuang 050021;  
2. Meteorological Observatory of Hebei Province)

**Abstract:** Based on the data of CINRAD Doppler Radar which located at Xinle of Hebei Province, the hail, strong wind and heavy rainfall weather events in mid-south Hebei in 2004 are statistically analyzed. The routine radar products, such as echo reflectivity, radial velocity, Vertically Integrated Liquid (VIL) Water, hail index, mesocyclone, velocity azimuth display wind profile, etc. are used in this statistics. The results show that hail's VIL value is larger than generic thunder storm's. At the same time, greater VIL value and longer sustaining will bring about greater diameter hail and larger effect area. It is the very useful index to indicate strong wind in mesocyclone products and the wind direction sudden change in

radial velocity products. A reference based on analyzing this type synoptic forecast with radar system in future is proposed.

**Key Words:** Doppler weather radar severe convective weather identification index

## 引 言

为了有效地监测预测强对流,我国从 1998 年开始进行新一代天气雷达监测网的建设<sup>[1]</sup>,对灾害性强对流天气的预测能力有了很大的提高,并在防灾减灾中发挥了积极的作用。广大气象工作者利用单站新一代天气雷达的一些基本监测图像及其分析产品对飏线、冰雹<sup>[2-4]</sup>、暴雨<sup>[5,6]</sup>、热带气旋<sup>[7]</sup>、中尺度气旋等灾害性天气监测、预警的研究,使防灾减灾能力有所增强。本文利用多普勒天气雷达产品,对 2004 年度中发生在河北省中南部地区的冰雹、强风天气过程进行了统计分析。

## 1 冰雹天气和雷雨天气的多普勒雷达产品分析

应用 2004 年河北省中南部地区出现 8 次冰雹天气和 1 次强风天气的多普勒雷达资料统计得到以下预报参考指标。

### 1.1 基本反射率

平面显示 PPI,从回波形状、回波尺度、回波移速分析统计中发现,冰雹天气多发生在回波形状呈块状和带状中,冰雹云成熟时期的回波尺度一般是  $25\text{km} \times 35\text{km}$ ,最大回波尺度达  $35\text{km} \times 45\text{km}$ ,回波强度在  $35\text{dBz}$  以上回波的范围。在冰雹云的发展初期,一般移动速度不快,当冰雹云发展成成熟时,回波移动速度会迅速加快<sup>[8]</sup>,且回波中心强度均达  $55 \sim 65\text{dBz}$  (在 8 次冰雹过程中,只有一次冰雹强度达  $70\text{dBz}$ )。另外,

回波主体右侧新生的回波,往往会出现强烈发展和增强,而位于回波主体移向左侧的回波则往往会出现减弱或消失。而雷雨天气的回波形状则多为零散的块状小回波,其边界也不光滑,当发展以后则多成为片状或大块状的回波块,弱回波的面积也比冰雹天气回波的面积大得多,而强回波中心的面积却比冰雹天气回波的面积小得多,即核小皮厚,有时在弱回波区中也会出现雷雨天气,但要求在弱回波区中的回波强度达  $20\text{dBz}$  以上。这里需指出的是雷雨天气回波块的面积小于  $10\text{km}^2$ ,强度大于  $30\text{dBz}$ 。

垂直高显 RHI (基本反射率  $1.5^\circ$  仰角)。在回波强度 RHI 图像上,冰雹云强中心回波的形成往往是从中空形成后,向上下迅速伸展,其回波强度一般在  $50 \sim 65\text{dBz}$  之间 (8/8),中心最大强度可达  $70\text{dBz}$  (1/8)。

回波顶高 ET。冰雹云的回波顶高一般都在  $11 \sim 15\text{km}$  之间 (8/8),最高可达  $19\text{km}$  (1/8)。当回波强度  $\geq 50\text{dBz}$ ,当回波顶高  $\geq 10\text{km}$  时,产生冰雹天气的几率要大的多。当回波顶超过  $14\text{km}$  时,则会出现冰雹直径为  $2\text{cm}$  的大冰雹。雷雨天气的回波顶高一般达  $6\text{km}$ ,在弱回波区中产生雷雨的回波顶高只需  $5\text{km}$ 。

### 1.2 垂直累积液态含水量 VIL

当冰雹天气出现时,VIL 值一般都在  $40 \sim 65\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  之间 (8/8),最大可达  $70\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (6/8),其高值维持时间也很长,如果  $VIL \geq 40\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  时,就有可能会产生冰雹天气。雷雨天气的 VIL 值一般在  $30\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

冰雹发展初期,  $VIL$  值呈跳跃性的增长, 这一现象说明冰雹云已在酝酿阶段, 低层不断有水汽向上输送, 使冰雹粒子在生长期能够碰并增长。当冰雹出现时  $VIL$  一般都比较 大, 且  $VIL$  值越大,  $VIL$  值越高, 维持时间越长, 则冰雹直径就越大, 降雹范围也越大。而雷雨天气的回波在发展阶段  $VIL$  值是呈逐渐增长<sup>[8]</sup>。利用这一特征, 结合其他产品可以提前发布冰雹的临近预报。

### 1.3 三体散射

当回波出现三体散射现象时, 则往往伴有直径 $\geq 30\text{mm}$ 的大冰雹出现。因此在日常值班工作中, 当出现回波强度 $\geq 65\text{dBz}$ 时, 值班员应特别关注对三体散射的监测。从 8 次冰雹统计中得到, 只有一次冰雹天气(2004 年 6 月 24 日)出现三体散射, 也就是冰雹直径最大, 天气最为剧烈的一次冰雹天气过程。

### 1.4 冰雹指数

从 2004 年河北中南部地区出现 8 次冰雹天气的实况统计得到, 河北省中南部地区的冰雹天气出现都与产品的实心三角相关, 也就是说, 当产品出现实心三角时都有冰雹天气相对应, 其正确率为 8/8, 没有漏报和空报。

### 1.5 中气旋 M

统计得到, 当产品有中气旋形成时, 则将会出现超级单体风暴。所以, 中气旋是表征超级单体风暴的重要指标之一。在 8 次冰雹实况中, 其中只有 3 次冰雹天气出现中气旋, 这 3 次冰雹天气均为强雹暴天气。其结论与上海中心气象台的邵玲玲的统计结论是一致的, 用超级单体来预报强风不会产生漏报现象, 但有时在没有超单体风暴时也会出

现强风。根据文献 [9] 统计, 26% 的中尺度强风实况并没有伴随 M 产品, 河北的统计为 33% 的中尺度强风实况没有伴随 M 产品, 这是由于大尺度的锋面移动或非气旋性弯曲和切变造成强风而不存在中小尺度的涡旋。因此, 对强风的预报正像文献 [9] 指出的那样, 还须注重中心底部高度较低的一些产品, 当环境条件有利时, 中高层的中气旋具有向下发展到 3km 高度以下的潜力, 这时需注意对强风的监测和预警。

## 2 冰雹天气实例

2004 年 6 月 20 日 15:38—16:50, 河北邯郸磁县、武安、峰峰、临漳 4 个县(市、区)的乡镇遭受特大风雹灾害, 冰雹最大直径为 8cm, 降雹时间为 30 分钟, 瞬时大风达 11 级, 平均降水量为 20mm, 涉及 4 县(市、区)40 个乡镇<sup>[6]</sup>。该过程是在冷涡后的西北气流下而形成, 其温度槽落后于高度槽, 中层冷平流势力较强。

### 2.1 多普勒雷达回波演变

图 1 (见彩页) 给出了 2004 年 6 月 20 日 13:33—16:11 的基本反射率, 从图 1a (见彩页) 中可看到箭头所指的小块状云体是过山的大片回波云区南端新生的小云块, 该云块 $>30\text{dBz}$ 的范围为 11km, 中心强度为 45dBz, 回波顶高 14.9km, 13:47 该云块迅速发展, 并与北部的大片回波云区相接(图略); 14:06 (图 1b, 见彩页),  $>30\text{dBz}$ 的回波呈 NNE—SSW 向, 且范围扩大为  $40 \times 20\text{km}^2$ , 两个中心强度均为 55dBz, 回波顶高 15.8km; 14:25 (图 1c, 见彩页), 该云块北部的回波迅速减弱, 中心强度为 40dBz, 而南部的回波云的强度中心仍为 55dBz, 中心范围扩大, 并形成团状云形, 另外在其云团的前侧出现了 V 型入流的槽

口, 这一现象表明了该风storm云团前侧有了明显的上升气流, 回波顶高维持不变 (15.8km, 14:19); 14:56 (图 1d, 见彩页), 北部的回波消失, 南部的回波云团由 NNE—SSW 向转向为 E—W 向, 范围为  $40 \times 18\text{km}^2$ , 回波顶高还是没变化 (15.8km); 15:39 (图 1e, 见彩页), 该云团东移到河北武安县的东部地区,  $>30\text{dBz}$  的云体为直径  $35\text{km}^2$  的圆形回波, 中心强度达  $65\text{dBz}$  (15:38 武安县城降冰雹), 回波顶高达 18.0km (15:41); 16:04 (图 1f, 见彩页)—16:50, 云团东南移到河北磁县, 云团中心回波强度达  $65\text{dBz}$ , 回波顶高达 18.6km, 14:11 时该回波顶达最高 19.2km, 该县的风雹灾害最为严重, 最大冰雹直径为 8cm, 风力达 11 级。17:00 风暴东南移出雷达观测的区域<sup>[10]</sup>。

## 2.2 径向速度场及中气旋分析

图 2 (见彩页) 是与图 1 时次相对应的一组雷达回波速度场, 并与中尺度气旋相叠加。从图 2 可看到, 14:25 前对应风storm云体的速度场中均看不到正速度, 到 14:56 (图 2c, 见彩页) 的速度场出现了正负速度, 但不对称, 15:39 图中的正负速度对称, 该层在武安县西部可分析出一涡旋, 对应该时次, 15:32 武安测站出现  $18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的西北大风和 15:38 的 8cm 冰雹天气。图 2d (见彩页) 中所标示的  $\bigcirc$  是仰角为  $1.5^\circ$  高度层上的涡旋分析, 但 M 产品并无发报, 直至 15:46—15:58, M 产品发报代号为 G 的中气旋出现。中气旋所经之地, 都相应出现了  $18 \sim 26\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的大风和冰雹天气。因此, 它的出现预示着对流风storm中强烈上升气流的小尺度涡旋与局地的强风和冰雹相联系。另外, 从速度场分析, 该气旋为气旋式旋转, 风storm的移向完全符合杨国祥等定义的右移风storm。

## 3 中尺度强风天气实例

2005 年 4 月 20 日石家庄民航机场受到强风的袭击, 最大风速达  $29.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 强沙尘致使能见度低于 200m; 其突发性和破坏性完全超出了预测。此次大风是由副冷锋快速生成而引起。

图 3 (见彩页) 给出的是 4 月 20 日 08:21—10:51 多普勒雷达径向速度图, 仰角为  $1.5^\circ$ 。从图中回波可清楚地看到, 本次过程是无降水的晴空回波速度图, 仅测站附近有速度值, 该过程为小尺度天气, 图 3a~c 的天气尺度只有 10km, 而图 3d~f 的天气尺度为 20km, 径向速度等值线呈放射状分布。08:21 (图 3a, 见彩页), 零速度带的形状呈弯向负速度的弓形, 有风向性辐散运动, 也就是说测站该时次大气为辐散运动, 实际风向为西南风; 09:10 (图 3b, 见彩页), 零速度带的形状逐渐由弓形逆转为南北向的直线形, 即该时次的实际风从雷达到屏幕显示边缘对应的高度都是均匀的西风, 且不随高度变化, 正负速度区的大小基本为均等的, 风向辐散性运动逐渐消失; 09:38 (图 3c, 见彩页), 零速度带的形状逆转呈弯向正速度区的弓形, 在负速度场中出现了大面积的速度模糊区, 负速度区域大于正速度区域, 出现风向性辐合, 说明该时次测站的大气运动为辐合运动, 风向由偏西风转为西北风, 按图中色标速度推算, 该时次的负速度风速达到了  $40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 风速也出现了辐合; 09:55 (图 3d, 见彩页), 零速度带形状的特征与图 3b 相同, 但直线呈东东北—西西南向, 风向性辐合现象不明显, 在零速度带两侧的正负速度区域中都出现了速度模糊, 负速度中的模糊区比正速度中的模糊区面积大一些, 风速性辐合更加明显, 说明该时次大气还存在辐合运动; 10:26 (图

3e, 见彩页), 零速度带的形状仍呈直线形, 但该时次的零速度带的两侧正负速度面积均等, 风向、风速性辐合均不明显, 零速度带两侧的正负速度模糊区也随之消失了; 10:51 (图 3f, 见彩页), 零速度带的形状呈弯向负速度的弓形, 负速度区小于正速度区, 出现风向性辐散, 且正速度区域中再次出现了速度模糊, 正速度区的风速明显大于负速度区的风速值, 风速性辐散也出现了, 大气运动转为辐散, 过程结束。

## 4 大范围强降水天气的多普勒雷达产品分析

### 4.1 基本反射率

本文规定强降水日为: 河北中南部地区降水量 $\geq 50\text{mm}$ , 并出现三个测站以上的降水为一个强降水日。2004 年河北省主要以冰雹天气为主, 大型的强降水过程个例较少, 因而文中所得到的指标还需大量的天气个例来证实。2004 年河北中南部地区出现强降水共有 4 次 (其中有 2003 年 10 月 10—12 日的一次强降水), 统计得到, 大范围强降水的尺度一般在  $150\sim 300\text{km}$  之间 (4/4), 回波强度为  $20\sim 30\text{dBz}$  (4/4), 强中心强度达  $40\text{dBz}$  (4/4) 以上, 回波形状呈均匀的片状结构, 一般移动速度都不快, 基本保持为稳定少动, 且维持时间必须在 5 小时以上。

在 RHI 图上大范围强降水的高度平均为  $5\sim 6\text{km}$ , 强中心高度为  $7\sim 8\text{km}$  (4/4), 最高达  $9\text{km}$  (3/4)。

### 4.2 径向速度

在径向速度图上, 大范围强降水的零速度线呈“S”分布。其分布对地面气旋顶部、倒槽顶部以及高空槽前西南气流、高空

冷涡及华北回流天气的指示性最好, 如果当高度场和地面气压场较弱时, 速度图上的反应不明显。

### 4.3 垂直风廓线 (VAD)

垂直风廓线 (VAD) 产品对大范围降水有很好的指示意义, 在降水初期低层和近地面层风向为东—东北风, 到中层风向顺转为西南风, 风向顺时针的旋转, 说明从低层到高层存在明显的暖平流, 这也是大尺度稳定性降水的条件之一; 当降水趋于结束时, 中高层的风向出现西北风, 因此当垂直风廓线产品在本地中高层出现风向变化时, 可以立即报降水结束。

## 5 小结

(1) 冰雹天气的垂直累积液态水含量  $VIL$  比一般的雷雨天气要大得多。当  $VIL$  值有明显的跃增时, 跃增在  $15\sim 35\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  之间, 可以提前发布冰雹的临近预报。而一般雷雨  $VIL$  值很小且变化不大。另外, 雷雨天气的雷达回波面积为零散的块状小回波, 边界不光滑, 当发展以后为片状或大块状的回波块, 弱回波的面积也比冰雹天气回波的面积大得多, 而强回波中心的面积却比冰雹天气回波的面积小得多。

(2) 强风的预警, 除对低层产品的运用外, 还要注意中气旋产品的发布和径向速度场的风向突变的观测。

(3) 华北大范围的强降水预报, 首先要注意径向速度低层偏东风的建立及维持时间, 其降水时间和强度都与偏东风的强弱及维持时间有关。

(4) 垂直风廓线产品是判断降水结束预报的好产品, 当在本地中高层出现风向变化时, 可以判断降水即将结束。另外径向风速在距离圈的外围出现了径向速度的不规整

时，也可以预报降水过程的结束。

### 参考文献

- 1 许小峰. 中国新一代多普勒天气雷达网的建设与技术应用 [J]. 中国工程科学, 2003, 5 (6): 7-14.
- 2 郭艳, 应冬梅, 刘冬梅. 江西“4.12”降雹过程的多普勒雷达资料分析 [J]. 气象, 2005, 31 (11): 47-51.
- 3 朱君鉴, 王令, 黄秀韶等. CINRAD/SA 中气旋产品与强对流天气 [J]. 气象, 2005, 31 (2): 38-42.
- 4 王令, 康玉霞, 焦热光等. 北京地区强对流雷达回波特征 [J]. 气象, 2004, 30 (7): 31-35.
- 5 肖艳姣, 张家国, 万蓉等. 切变线暴雨中尺度系统的多普勒雷达资料分析 [J]. 气象, 2005, 31 (2): 35-37.
- 6 陈秋萍, 黄东幸, 余建华等. 闽北前汛期短时强降水与雷达回波特征 [J]. 气象, 2001, 27 (8): 52-55.
- 7 钟卓约, 帅方红. 9914 号台风多普勒雷达资料分析 [J]. 气象, 2001, 27 (7): 41-44.
- 8 王福侠, 裴宇杰, 刘晓霞等. 冰雹天气的多普勒天气雷达产品应用总结 [R]. 2005, 成都全国雷达技术交流会.
- 9 邵玲玲, 孙婷, 邬锐等. 多普勒天气雷达产品-中气旋在强风预报中的应用研究 [J]. 气象, 2005, 31 (9): 34-38.
- 10 李云川, 王福侠, 张杏敏等. 2004 年两次对流风暴的多普勒雷达资料对比分析研究 [J]. 河北气象, 2004, (3).

# 李云川等：用 CINRAD-SA 雷达产品识别冰雹、大风和强降水

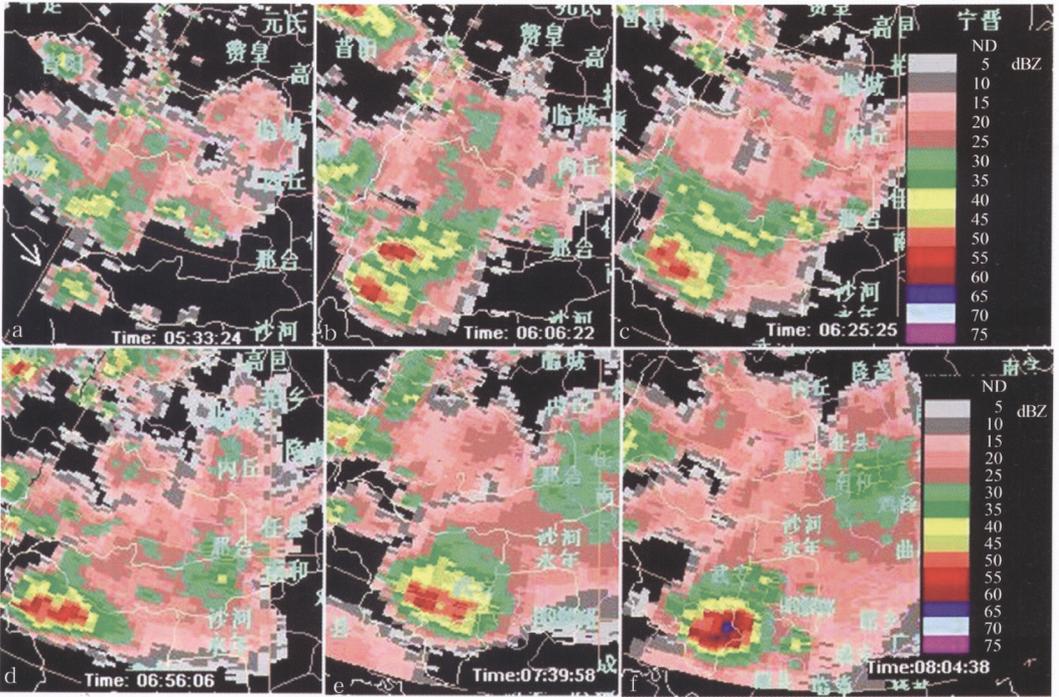


图1 2004年6月20日13:33—16:04的多普勒雷达基本反射率  
图中的时间为世界时，仰角1.5°

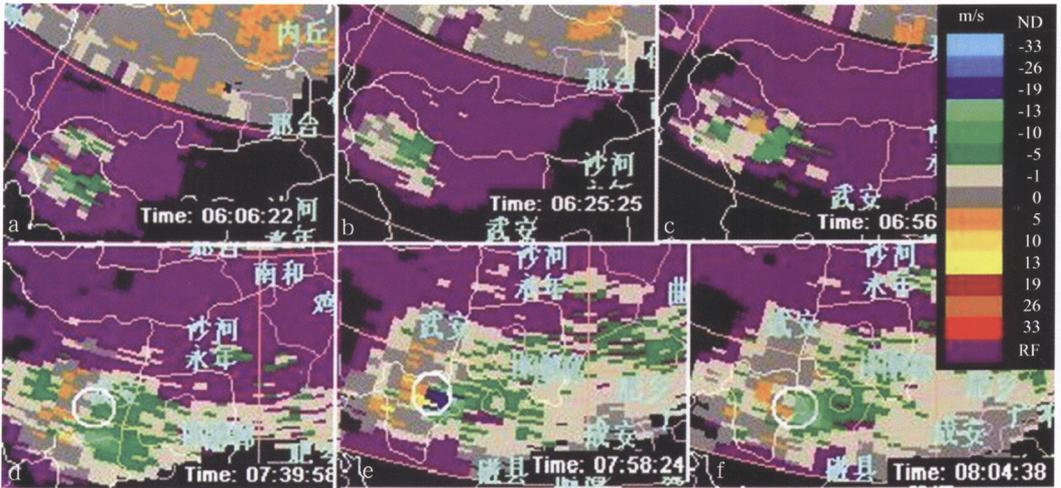


图2 2004年6月20日14:06—16:04雷达回波速度场和中气旋  
图中的时间为世界时，中气旋为白色圆圈，仰角1.5°

# 李云川等：用CINRAD-SA 雷达产品识别冰雹、大风和强降水

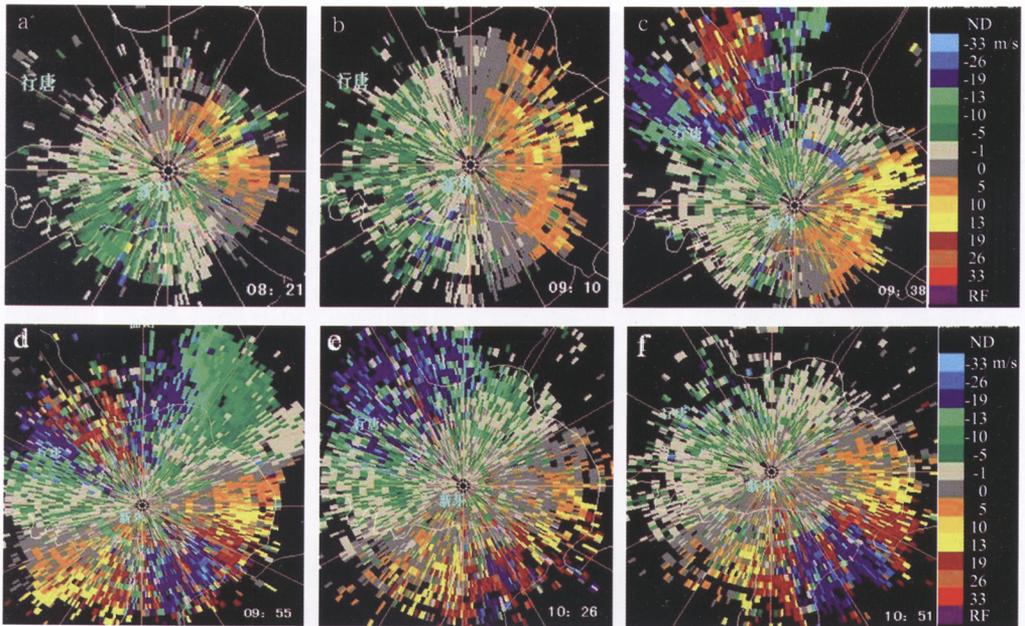


图3 2005年4月20日08:21—10:51多普勒雷达径向速度图  
仰角1.5°

# 罗建英等：2005年3月22日华南飑线的综合分析

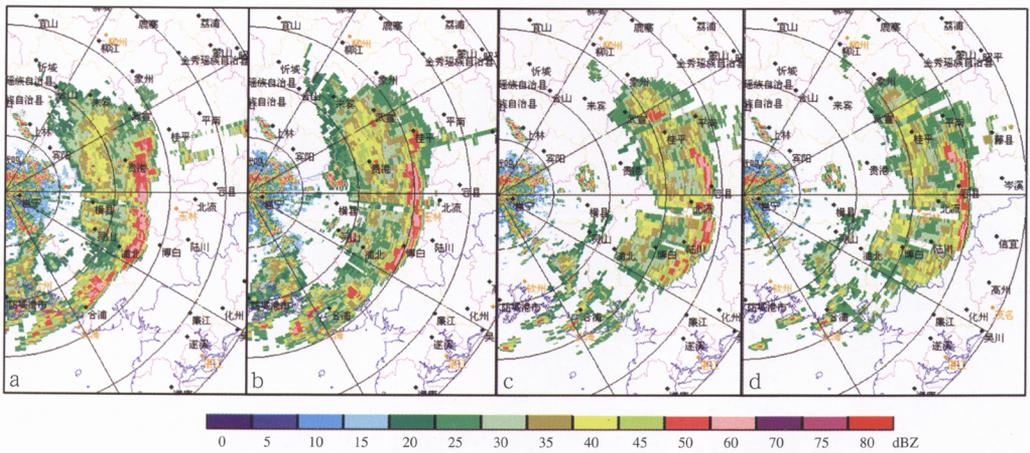


图2 2005年3月22日广西南宁714SD雷达组合图(单位: dBZ)

a-d分别为: 6:53; 7:18; 7:41; 7:50