

# 一次强飑线天气过程的新一代天气雷达 探测和临近预报

李向红 薛荣康 唐伍斌

(广西桂林市气象局, 541001)

**提 要:** 利用位于桂林的新一代天气雷达资料对2005年5月5日影响广西桂林的锋前强飑线过程进行了详细的分析。分析飑线整体演变和内部对流单体演变表明: 此飑线为后续线型和断续线型的结合。由镶嵌在飑线中的小尺度超级单体造成对流性大风。对流单体并入飑线前, 可发展为成熟的超级单体, 有TBSS和BWER等特征, 垂直累积液态水含量可达 $70\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , 造成局地大冰雹。可根据VIL值确定大多数强风暴位置和辨别带有大冰雹的风暴, 对强对流天气做临近预报。

**关键词:** 飑线 大风 冰雹 VIL 临近预报

## Detection and Nowcasting of a Severe Squall Line Event with CINRAD-SB

Li Xianghong Xue Rongkang Tang Wubin

(Guilin Meteorological Office, Guangxi Zhuang Autonomous Region 541001)

**Abstract:** Based on the new generation weather radar data in Guilin, a severe squall line event ahead of a front occurred in Guangxi on 5, May 2005 is analyzed to study the evolution of the squall and its convective cell. The results show that this squall line is a combination of follow-up type and consecutive type. The meso-scale convective cell in squall line causes severe convective wind. Before convective cell move into squall line, it can become a mature supercell with TBSS and BWER features. The vertical accumulated liquid water content can get  $70\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , and produce local great hail. Based on the VIL value, the location of most severe storm can be found and the heavy hailstorm can be identified, the nowcasting of severe

convective weather can be made.

**Key Words:** squall line severe wind hailstorm VIL nowcasting

## 引言

作为中尺度对流天气系统(MCS)三种形式之一,飏线是满足线状或窄带状MCS标准的中尺度对流天气系统。研究表明<sup>[1]</sup>,典型的飏线是一条规则活跃的风暴线,长宽比例至少为5:1,生命期只有几小时。镶嵌在飏线中的强雷暴常常引起局地地面风向突变,风速骤增,气压跃升,气温剧降,并伴有雷暴、冰雹、龙卷等灾害性天气<sup>[2]</sup>。雷达回波表现为多个强回波中心,当速度最大值与反射率最大值位置重叠时往往造成灾害性大风<sup>[3]</sup>。对飏线发展的环境场分析表明:地形的抬升作用、水体的分布往往有利飏线强烈发展<sup>[4]</sup>。灾害性风暴最有可能在通过低层反射率因子梯度、中层悬垂及飏线前沿上方的回波顶来识别的区域<sup>[5]</sup>。

观测事实表明:广西由于其独特的地理位置和地形特征,在初夏冷锋南压时往往容易形成飏线。2005年5月5日广西北部的桂林市自北向南出现了一次强飏线天气过程,通过对反射率和径向速度图分析可见飏线上有明显的中小尺度对流单体,这些对流单体造成了灾害性大风、龙卷、暴雨和局地大冰雹。本文应用位于桂林的新一代天气雷达产品分析了这次飏线的结构和演变特征,为广西初夏的强对流天气临近预报提供客观依据。

## 1 天气实况

2005年5月5日14—18时受地面冷空气和高层切变线的共同影响,桂林市自北向南出现了一次强飏线引起的灾害性天气过

程,龙胜、兴安、临桂、桂林4个站先后出现了大于 $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的雷雨大风天气,灌阳的文市出现了暴雨,洞井出现了龙卷,荔浦县有四个乡镇出现了高尔夫球大小的大冰雹。另外部分站还出现了强雷暴和对流性大雨。据桂林气候基准站观测,桂林本站大风风速在17时01分达到 $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,为阵风8级,伴有强雷暴和强降水,一小时雨量达26mm。飏线来临,各站的要素反映出突变特征,温度骤降,湿度剧升。以桂林站为例,大风期间桂林的气温由 $34.4^{\circ}\text{C}$ 下降到 $22^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度由45%突升到100%。强对流天气给桂林市的航空、道路、供电、商业、建筑和农业等部门都造成了巨大损失。据统计,此次飏线系统造成的强对流灾害的影响范围和强度是1986年以来最强的。

## 2 天气背景及云图分析

### 2.1 前期环境条件

2005年5月5日强飏线灾害性天气出现的前几天,桂林的部分县乡已遭受一些分散的对流性大雨天气和龙卷风袭击。3—4日受高压后部偏南低空急流加强影响,桂林中部和北部出现了局地大雨和大风,兴安县石坑村和黄家塘村遭遇百年不遇的龙卷袭击,龙卷风持续40分钟,强度为 $F_0$ 级,可见飏线前期为暖湿空气的能量聚集阶段,不稳定空气为强飏线灾害性天气提供了有利的条件。

从各种稳定性指数判断,从3日到5日不稳定性逐日增加,5日 $K$ 指数升到 $39^{\circ}\text{C}$ ,沙氏指数降到 $-4.0$ ,另外5日08:00的对流有效位能<sup>[6]</sup>达到了 $1148\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

另外,气温的急剧增高,为强对流天气提供了热力条件。5日15:00气温达到 $34.4^{\circ}\text{C}$ ,这是进入2005年以来最高的温度。

## 2.2 天气形势分析

高低层环流形势配置有利于深对流的发展,5日08时500hPa高原东部阶梯槽发展为深槽,北段快速东移过 $110^{\circ}\text{E}$ ,南段槽线压到贵阳(图1);由于北部高压逼近,850hPa冷式切变线压到贵阳与桂林之间,同时低空急流加强,桂林本站的西南风加大到 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图略),湿度增加, $T-T_d$ 减到 $1.2^{\circ}\text{C}$ ;地面冷锋南移迅速,5日08时冷锋位于贵州与四川交界,锋后高压为1020hPa,湖南到贵州为东西向的锋前低压辐合带;高空槽、切变线和地面低压辐合带几乎垂直,有利于激发深对流的产生。飑线生成于冷锋前沿的地面低压暖区中,所以为锋前飑线。

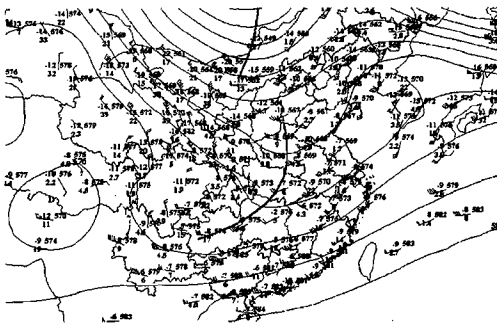


图1 2005年5月5日500hPa天气形势

## 2.3 风的垂直切变

从风矢量图(图2)分析,5日08:00从 $0.68\text{km}$ 到 $10.82\text{km}$ 高度风向随高度顺转,由南风转为东南风,从 $10.82\text{km}$ 到 $14.11\text{km}$ 高度风向随高度逆转,由东南风转为偏东风,到 $18.64\text{km}$ 转为微弱的偏西北风。可见在中低层为暖平流,高层为冷平

流,暖平流的厚度远高于冷平流。从 $10.82\text{km}$ 到 $14.11\text{km}$ 风速的切变值为 $4.56\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ,表示风速切变较强。

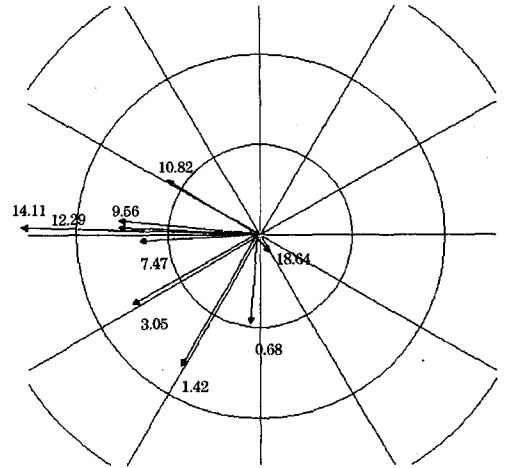


图2 2005年5月5日08时桂林站风矢高度图  
箭头旁数字为风所在高度,单位:km。箭头指向为风向。  
箭头至圆心的长度为风速,圈距为 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

从VAD(风廓线)图(略)看到,飑线影响前,风随高度迅速增大,到15:22从 $600\text{m}$ 高的 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南风增加到 $3.7\text{km}$ 的 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,表明飑线影响前桂林低层为一致西南风影响,有风速切变。 $1.5\sim 1.8\text{km}$ 高度从16:05到16:36由静风转北风,表明切变线此时过桂林; $600\text{m}$ 高度是16:12分转北风; $5.5\text{km}$ 高度是16:43分由西南风转西风,持续6个体扫,到17:14又转为西南风,表明500hPa此时过桂林。从16:05到17:14,高低层在一个多小时过桂林本站,可见系统移速快、影响时间短、对流性强。

由于螺旋度<sup>[7]</sup>反映了旋转和沿旋转轴方向上气流的强弱,定义为对流层低层一定厚度气层内风暴相对风矢和水平涡度矢的乘积,其数值越大越有利于风暴的发生。假定风暴的入流厚度为 $3\text{km}$ ,根据探空风计算

了相对风暴的螺旋度，计算出5日08:00的螺旋度值为 $240\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ，远远超出风暴的螺旋度临界值 $150\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。

## 2.4 卫星云图的分析

分析红外卫星云图演变，对流云团沿850hPa切变线和地面锋前低压辐合带发展，飏线形成时逐渐发展成一东北西南向的窄带状MCS标准的中尺度对流云带（图略）。据卫星云图分析，15:00到16:00一条由积状云组成的东北西南向窄带对流云带与地面锋前辐合区相配合，覆盖了桂林市的铁路沿线和中北部地区，水平方向长度与宽度的比例达到5:1以上；云顶温度低于 $-50^\circ\text{C}$ ，对流发展强烈，17:00到18:00对流云带逐渐由中部压到了桂林南部，并逐渐进入广西中部。云带的走向与锋面的走向一致。

## 3 多普勒天气雷达资料分析

### 3.1 飏线整体演变及结构

分析雷达反射率PPI资料表明，最初于10时左右在湖南境内有一些对流单体逐渐发展向南移动，12:00南移到距桂林本站北偏西方150km处，长度为120km，同时在主体回波前40km处有一弱回波（图略），可能为阵风锋。到13:00主体回波减弱，而前部弱回波发展并入主体，发展成一长250km的回波，即为飏线。此后这条飏线回波主体基本上是由北偏西向南偏东移动，与云带和冷锋的移向相一致，移速大约为 $45\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ，飏线整体在南移过桂林雷达站后，整体上仍然能维持它的东北西南向的走向，经6小时后移过桂林的南部，进入广西中部。分析飏线的结构可见飏线为一个个小尺度对流单体组成，图3a（见彩页）为5日15:16沿 $2.4^\circ$ 仰角反射率的PPI水

平分布，图3b（见彩页）为沿飏线对流云团A、B和C走向的剖面，可见飏线为一个个小尺度对流单体组成，反射率强度为50dBz。对应径向速度PPI图（图略）相应位置出现一条暖色和冷色相间的气旋性小涡旋组成的东偏北到西偏南向的长辐合带。另外从雷达中心沿 $315^\circ$ 方位角反射率的剖面图（图3c，见彩页）可见有较低的回波悬垂的存在。

### 3.2 飏线对流单体发展演变

从反射率的PPI图演变分析飏线的内部变化可见，组成飏线的对流单体并非一成不变。一方面飏线主体的西南端不断有新的小尺度对流单体发展、东移，当飏线整体向南移动时，对流单体逐渐弥合并入飏线使得飏线在南移的过程中得以加强，保持飏线强度的连续性；同时飏线主体上的对流单体会分裂、发展，保持飏线的强度。图3a（见彩页）中的云团A和B分别为13时于飏线西南侧几公里、十几公里处的小对流单体沿环境风（西南风）右侧 $15^\circ$ 东移发展，于14:08左右并入飏线，再次发展而来。云团C则为飏线西南小对流单体东移发展于15:10左右并入飏线，再次发展而来，云团D为飏线西南侧新生的小对流单体，它将于16:24并入飏线。另外，仔细分析云团A、B和C发现它们并非独立对流单体，B是两个小的对流单体，C是3个对流单体，事实上它们在生成的最初状态是独立对流单体，并入飏线后分裂。所以此飏线既为后续线形飏线，同时又为断续线型飏线。

对流单体在弥合进入飏线前发展很快，据统计一个小时可由20dBz发展到55dBz，范围加大（由1~2km发展到4~5km），这样的强度一直维持到并入飏线，弥合进入飏线后强度稍减为50dBz；分裂后再次发展。单体从生成到并入飏线要2个小时左右，移

速为  $20\sim 30\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ，单体在飚线中分裂发展、造成大风（如 A 造成龙胜大风）要半小时。

### 3.3 镶嵌在飚线中的对流单体径向速度特征

飚线主体中的对流单体 A（图 3a）曾于 14:30 左右于龙胜西北部分裂为 3 个更小尺度的对流小单体，其中有一位于飚线的前沿，发展为强风暴，造成了龙胜的大风。径向速度 PPI 图 14:45 于西北临近龙胜处（图 4a 中的小黄圈，见彩页）可看出在飚线的前沿有明显的正负速度对，范围约为  $4\text{km}\times 4\text{km}$ ，正负径向速度为  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，对称位于雷达径向的两侧，为一旋转的小尺度中气旋（小黄圈）镶嵌在带状飚线前沿，单体反射率强度达到了  $53\text{dBz}$ ，回波顶高达到  $1.4\text{km}$ ，垂直累积液态水含量并不高，最高只达到  $27\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ，14:48 龙胜站出现了  $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的强对流大风天气。

龙胜出现大风后，飚线中的对流单体沿飚线向东移动，单体在东移过程中遇到南北向的越城岭山脉，发展加强为尺度更大中气旋。15:41 单体发展为范围大约为  $9\text{km}\times 9\text{km}$ （图 4b 中的小黄圈，见彩页）中气旋，正负径向速度为  $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，单体的垂直累积液态水含量达到  $38\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ，单体高  $1.4\text{km}$ 。此时对流单体距兴安西偏北约  $40\text{km}$ ，半小时后兴安出现了大于  $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的大风天气。

此中气旋发展迅速可能与兴安西北面的越城岭山脉主峰猫儿山地形有关，猫儿山是华南的第一高峰，海拔  $2141\text{m}$ ，位于猫儿山东南侧的兴安华江镇常常是桂林暴雨的中心，由于飚线移近猫儿山这样高的低层边界，弱的中气旋逐渐发展成为超级单体风暴，造成兴安大风。桂林于 17:01 出现  $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的大风、一小时出现  $26\text{mm}$  的降

水，西郊出现小冰雹，由于临近桂林本站雷达，是雷达盲区，飚线反射率强度很弱，但从径向速度图可以看出飚线后部的入流很强，也许与入流急流在后部下沉有关。

### 3.4 飚线前部的冰雹超级单体

在飚线整体南压过程中，在飚线西南方生成的对流单体与飚线相距较远时，可能并不能很快并入飚线，而是沿环境风（西南风）的右侧向东移动，在并入飚线前，已发展为成熟的超级单体，造成局地冰雹。造成荔浦县的马岭等四个乡大冰雹就是一个对流单体在并入飚线前发展成了冰雹超级单体造成的。最初于 13:43 离荔浦西面约  $120\text{km}$  处的柳城县有一小弱对流单体，此单体边向东北方向移动，边发展，一小时后分裂为两个对流单体（图 3a 中的 E），一对流单体继续沿东北方向向临桂和桂林方向发展移动，于 16:36 并入飚线（图略），16:43 临桂出现了  $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的大风天气。可能是雷达盲区的原因，当时回波顶和垂直累计液态水含量数值都不高。另一对流单体以大约  $30\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  的速度偏离环境风（西南风）右侧  $20^\circ$  左右东移，于 16:36 东移到荔浦县城西偏北方约  $40\text{km}$  处，发展为冰雹超级单体，最强强度为  $60\text{dBz}$ ，面积发展为  $16\times 16\text{km}$ 。由于冰雹超级单体中包含有大的水汽凝结物对雷达波的非瑞利散射，在反射率因子 PPI 图上表现出三体散射长钉（TBSS）特征（图 5a，见彩页）， $2.4^\circ$  仰角反射率核心到了字末端有  $30\text{km}$  长；径向速度 PPI 图上，沿径向两侧出现风速的正负速度对，在低层表现为气旋性辐合（图 5b，见彩页），20 分钟后荔浦的茶城出现了冰雹报告。单体继续东移，17:01 反射率再次出现 TBSS 特征，15 分后荔浦的马岭再次出现了降雹的报告。图 5c（见彩页）为 16:36 反射率垂直剖面图， $40\text{dBz}$  的回波高度接近  $15\text{km}$ ， $60\text{dBz}$

的回波接近 10km, 反射率因子垂直剖面在 8km 以下的上升运动区出现了有界弱回波区 (BWER); 同时径向速度的剖面图上 (图 5d, 见彩页), 对应 5km 有一正负速度对, 表明中层的气旋性辐合明显。16:36 丁字回波特征维持了二个体扫, 17:01 丁字回波特征维持了三个体扫, 垂直累计液态水含量达到了  $70\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。18 时左右, 飏线主体到达后, 此超级单体并入飏线, 继续影响南面。

#### 4 关于飏线的临近预报

新一代天气雷达 (CINRAD-SA) 产品风暴单体识别与跟踪主要是 SCIT 算法, SCIT 算法由四个子功能组成: 风暴单体检、风暴单体质心、风暴单体跟踪和风暴位置预报<sup>[8]</sup>。

SCIT 算法按照一个径向接一个径向的顺序处理来自 WSR-88D 基数据的体扫反射率因子。三维风暴单体的识别是分阶段进行的, 首先是在径向反射率因子中识别“风暴段”, 一个风暴段定义为一段连续的、沿着一个径向的一系列距离库, 他们的反射率因子超过一个规定的阈值。当最后一个仰角扫描的段被处理完后, 在空间相邻的风暴段被结合成一个二维的分量。

当当前体扫的所有仰角扫描都处理完后, 这些分量按照质量的大小从小到大排列, 然后做垂直相关。分量的质量是该分量的等效液态水含量的一个估计。每一个确定的 3D 风暴单体由两个或更多个在相继仰角上的 2D 分量构成, 垂直相关的过程是一个叠代的过程, 从最低仰角开始。由于只用最强的 2D 分量来确定 3D 风暴单体, 最终产品实际是一个 3D 风暴单体质心。这些风暴单体按它们的基于单体的垂直累积液态水 (VIL) 值排列。

垂直累计液态水含量 (VIL) 表示的是将反射率因子数据转换成等价的液态水值, 并且假定反射率因子是完全由液态水反射得到 VIL 方程为:

$$M = 3.44 \times 10^{-3} Z^{4/7}$$

这里  $M$  为液态水含量,  $Z$  为雷达反射率因子, 从每个网格中导出值  $M$ , 然后再垂直积分得到 VIL。据文献 [8] 分析 VIL 有如下优点: 能确定大多数强风暴的位置; 一旦临界值确定, 可用于辨别带有大冰雹的风暴; 持续高的 VIL 值可能与超级单体有关。

风暴单体跟踪方法主要是对在两个相继体扫中识别的风暴单体进行时间相关处理以确定每一个被识别的风暴单体的路径。利用前一体扫单体质心的位置确定目前体扫中该单体的初猜位置。单体跟踪是计算当前与其所有可能匹配的旧单体的当前初猜位置的距离, 具有最小距离的匹配被认做与当前识别的单体时间上相关联, 认为是同一单体。

风暴单体位置预报是根据单体的运动向量直接外推得到的。单体运动向量的计算使用线性最小二乘拟合从风暴单体目前直到前 10 个体扫的位置。如果是新单体其移动预报算法处理采用下述二种之一: 1) 采用所有已被识别单体的平均移动; 2) 如果没有其它单体被确定, 则采用用户直接输入单体运动向量的方式。

目前桂林天气雷达 (SB 型), 用 VIL 来判断强对流天气是一个很好的指标。从图 3d 可以看出, VIL 值的大小能反映大多数对流风暴单体的位置。近两年桂林的强对流天气雷达资料统计表明: VIL 大于  $27\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  有可能出现对流性大风, VIL 持续大于  $48\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  可能与冰雹超级单体有关, 此次冰雹单体的 VIL 最高达到了  $70\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。经统计, 当 VIL 值稳定在一较高值 (一般为  $48\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , 此次为  $60\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) 和 VIL 突增 (如每小时增  $20\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ), 都

有可能出现降雹。另外反射率的三体散射长丁特征(TBSS)是大冰雹的充分条件,根据统计, TBSS 出现后 15 到 20 分钟开始降雹。

## 5 结 语

利用位于桂林的新一代天气雷达对 2005 年 5 月 5 日 14—18 时发生在桂林的一次典型飊线过程进行了详细的分析。

(1) 飊线天气过程的天气背景特征为: 风暴前期高温高能聚集; 风暴发生时中低层为暖平流, 高层为冷平流; 高空槽、切变线和地面低压辐合带几乎垂直, 有利于激发深对流的产生。飊线生成于冷锋前沿的地面低压带中, 为锋前飊线。

(2) 飊线整体是从距桂林北偏西方 150km 处往南偏东移动。飊线由一个个小尺度对流单体组成窄带回波。形成飊线的对流单体由飊线的西南端小对流单体生成、发展, 沿环境风(西南风)的右侧  $15^{\circ}$  左右移动, 逐渐弥合并入飊线, 所以为后续线形飊线, 同时对流单体在飊线中又分裂, 发展, 所以同时又为断续线型飊线。

(3) 龙胜大风是由飊线前沿小尺度超级单体造成, 从径向速度分析可见明显正负速度对。另外飊线中的中气旋遇到有利地形有可能得到发展, 造成了兴安大风。

(4) 荔浦的冰雹是飊线前部西南暖湿气流中的一个右移型超级单体风暴造成的, PPI 显示有 TBSS 特征, 垂直剖面有 BWER 特征, 径向速度 PPI 显示有相邻的正负速度对, 表明为中气旋。速度剖面有明显的中低层辐合和明显的上升运动特征。垂直累积液态水含量(VIL)最强为  $70\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

(5) 新一代天气雷达(CINRAD-SA)产品风暴单体识别与跟踪主要是 SCIT 算法。对于桂林 SB 型雷达, 目前对强对流天气临近预报可以考虑下面几个方面: 前期增温增能状况, 冷暖平流分布, 高低层天气系统配置, 特别要考虑飊线的整体移速(一般为  $45\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  左右)、飊线内部和前部对流单体的发展和移速(一般为  $20 \sim 30\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )。

(6) VIL 值能反映大多数对流风暴单体的位置, VIL 大于  $27\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  有可能出现对流性大风, VIL 大于  $48\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  可能与冰雹超级单体有关, VIL 持续维持高值或突增, 有可能出现大冰雹。反射率 TBSS 特征出现后一段时间(15 到 20 分钟)可能有大大冰雹产生。

## 参考文献

- 1 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2001: 363-385.
- 2 漆梁波, 陈永林. 一次长江三角洲飊线的综合分析 [J]. 应用气象学报, 2002, 15 (2): 162-163.
- 3 伍志方. CINRAD/SA 新一代天气雷达观测夏季热带飊线的特征分析 [J]. 气象, 2002, 29 (3): 39-40.
- 4 应冬梅, 郭艳. 江西省飊线的雷达回波特征分析 [J]. 气象, 2002, 27 (3): 43-44.
- 5 Moller, A. R. The Operational Recognition of Supercell Thunderstorm Environments and Storm Structures [J]. Weather Forecasting, 1994, 9: 327-347.
- 6 郑媛媛, 俞小鼎, 方翀等. 2003 年 7 月 8 日安徽系列龙卷的新一代天气雷达分析 [J]. 气象, 2004, 30 (1): 40-41.
- 7 章东华, 螺旋度——预报强风暴的风场参数 [J]. 气象, 1991, 19 (8): 46-48.
- 8 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南等. 新一代天气雷达原理与应用讲义(修订本) [M]. 中国气象局培训中心印制, 2000: 242-243.

# 李向红等：一次强飑线天气过程的新一代天气雷达探测和临近预报

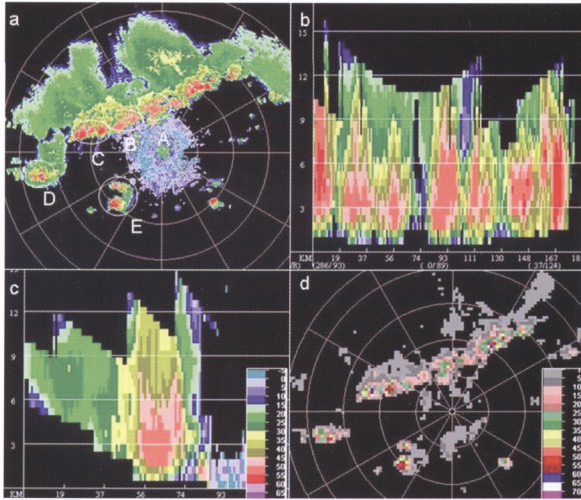


图3 2005年5月5日15:10基本反射率和垂直累计液态水含量分布  
a为2.4°仰角反射率的PPI水平分布, b为沿飑线对流云团A、B和C走向的剖面, c为从雷达中心沿方位角315°径向的反射率剖面, d为垂直累计液态水含量分布, 圈距: 50km

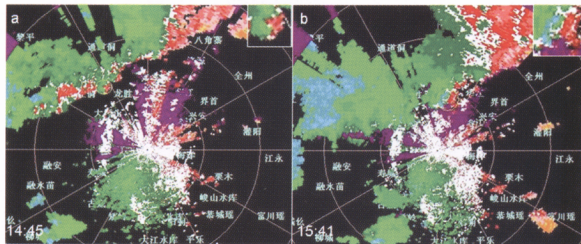


图4 2005年5月5日2.4°仰角径向速度PPI  
a为14:45, b为15:41, 右上方方框是对流单体的放大, 圈距: 50km

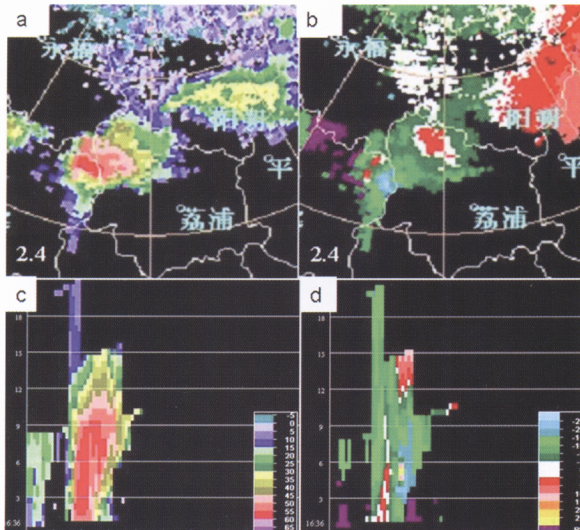


图5 2005年5月5日反射率和径向速度  
a为2.4°仰角反射率, b为2.4°仰角径向速度, c为反射率剖面, d为径向速度剖面