

# 一次飏线过程的雷达回波分析与数值模拟

慕熙昱<sup>1)</sup> 党人庆<sup>1)</sup> 陈秋萍<sup>2)</sup> 方德贤<sup>1)</sup> 葛文忠<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(南京大学中尺度灾害性天气教育部重点实验室, 南京 210093)

<sup>2)</sup>(福建省建阳市气象局, 建阳 354200)

## 摘 要

2003 年 4 月 12 日, 一条飏线袭击了江西、福建、浙江三省, 所到之处出现冰雹、大风等强烈天气, 这次过程强度高, 影响范围大, 三省交界及附近区域有二十多个测站出现冰雹、大风, 冰雹直径有的达 3 cm 以上, 最大风速达 32 m/s。该文利用建阳新一代天气雷达探测到的回波以及中尺度非静力数值模式(MM5)对这次过程进行数值模拟, 分析此次强对流过程。结果表明: 雷达回波显示出飏线的带状强回波, 线状回波上呈现波型特征; 在数值模拟结果中看到在系统发生的带状区域内有多个中尺度涡旋存在, 在飏线内有中尺度涡旋簇和弓形回波。

**关键词:** 强对流系统; 雷达回波; 弓形回波; 中层径向辐合; 中尺度涡旋

## 引 言

在春夏季节, 由对流产生的风(风暴)常会对生命财产造成重大的灾害。对于生命期较长和尺度较大的由对流引发的暴风称为 Derecho<sup>[1-2]</sup>, 它包括由中尺度对流系统引发的下击暴流群。它能产生灾难性的雷暴风, 长可达几百公里, 宽可超过 180 km, 大多数 Derecho 呈现为弓形回波<sup>[3]</sup>。1978 年, Fujita<sup>[4-5]</sup> 首先详细描述了弓形回波, 它们在雷达图上具有较高的反射率因子, 形状常呈弓形特征, 很容易识别。它的动力学特征包含回波前沿的强上升运动, 随后是一股强的下沉和辐散气流, 在地面呈现冷的出流。这种外流常伴有一股在低空或延伸到中空的强的后入流急流和弓形回波顶点后面的弱反射率因子区(即: 雷达回波的凹口)<sup>[6-7]</sup>。此外在低层到对流层的中层, 在弓形回波北部的末端和南部的终端呈现气旋性涡旋和反气旋性涡旋<sup>[8]</sup>。实际观测到的弓形回波水平范围从几十公里到几百公里<sup>[9]</sup>, 它们或者孤立发生, 或者嵌入飏线中发生, 生命期从几十分钟到几小时。Przybylinski 等在 1985 年对弓形回波进行了分类<sup>[10]</sup>。Przybylinski 在 1995 年对弓形回波的观测、数值模拟以及强对流天气的探测方法进行了研究<sup>[7]</sup>。

很多科研工作者曾经对强对流天气系统及伴随

它产生的弓形回波个例进行分析研究。张鸿发等<sup>[11]</sup>对我国平凉地区强对流钩状回波进行观测研究; Akos Horvath 等<sup>[12]</sup>对匈牙利夏季经常发生的强对流过程及其相关天气现象进行分析, 指出大部分的强雷暴都发生在中尺度对流系统中, 并且按照产生的机制对强对流系统进行分类; Rudolf Kaltenbock<sup>[13]</sup>研究了阿尔卑斯山脉对流系统的强度和以及地形、位置对强对流系统的影响。

Weisman 等<sup>[14]</sup>和 Trapp 等<sup>[15]</sup>用数值模式模拟强地面中尺度涡旋, 在某种情况可以模拟旋转单体直到灾害风产生。但是没有足够详细的观测去确认这种模拟的动力推断。Weisman 等用弓形回波的数值模拟研究重现了观测到的弓形回波现象的谱分布, 它的范围从因强的地面冷空气堆和沿着冷空气堆边缘气流的深度抬升而造成强单体形成的弓形线, 到具有回波龙头部分强气旋性涡旋和一定高度的后入流急流高度的有组织系统<sup>[8, 16]</sup>。LEWP(线回波的波型特征: line echo wave pattern)预示着可能出现一个低压区, 并有可能伴有灾害风和旋风。LEWP 中强的后向出流风对应的线回波向外凸出的部分, 这种在飏线中发生的线状回波上的波型结构也被认为是弓形回波(LEWPs)<sup>[17-18]</sup>。Nolan 等<sup>[19]</sup>利用 WRF 模式对 1998 年 6 月 29 日发生在美国佛蒙特的一次 Derecho 过程进行数值模拟, 对弓形回波前端和后端的气旋和反气旋性结构进行了分析。

2003年4月12日发生在江西、福建以及浙江地区的强对流过程是一次典型的强对流个例,它嵌套在大尺度的背景场中,对流云团不断在建阳西侧产生、加强,随环境流场由西向东移动,进而影响建阳附近地区。本文对这次过程的雷达回波分析时发现,回波前沿的形状与建阳西部的山势非常接近,这表明建阳西部的地形对这次对流系统的发生发展有明显的促进作用。从雷达观测上还发现了弓形回波这一典型的强对流天气系统。在径向速度图上观测到大范围负速度区包围着一个小的正速度区,分析发现这是中层径向辐合结构(MARC),而不是通常认为的气旋性结构。徐枝芳等<sup>[20]</sup>曾经利用数值模式的结果对发生在江淮流域的暴雨过程的两个 $\beta$ -中尺度气旋性涡旋的结构和演变进行分析,本文运用多普勒雷达资料以及数值模式的结果对这次强对流过程进行详细分析。

## 1 天气背景

中尺度系统的产生必然有适合它的大尺度背景,图1为2003年4月12日00:00(世界时,下同)850 hPa天气形势。强对流系统作用的区域位于500 hPa(图略)高度场槽前,并且槽后温度低,槽前温度高,可知有明显的冷平流注入槽内。在建阳地区500 hPa高空盛行稳定的西南气流。从图1看出,在建阳西部存在一条长度约10个经距的切变线;在地面(图略),建阳西侧也存在一条长约6~7

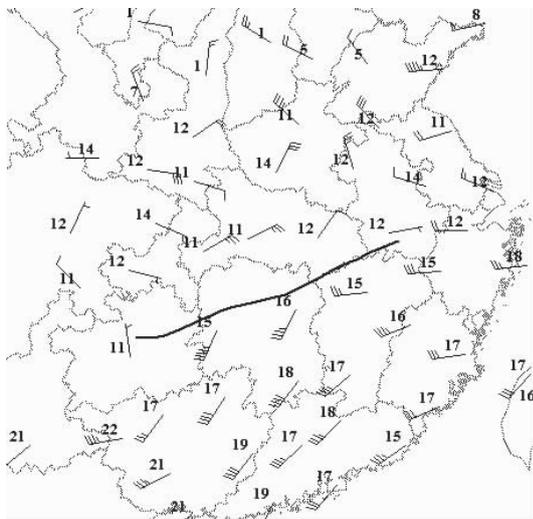


图1 2003年4月12日00:00 850 hPa天气形势图  
Fig. 1 Background surrounding situation at 850 hPa, 00:00, Apr 12, 2003

个经距的冷锋,说明本次天气系统是一个强大的系统。对流发生区域位于850 hPa切变线前,也刚好位于地面冷锋的前端;850 hPa切变线后方盛行东北气流,前方盛行西南气流,地面冷锋后盛行偏北气流,锋前盛行偏南气流,两支方向几乎截然相反的气流在此交汇,会产生强的切变。由背景场可见,建阳及附近地区有发生强对流的条件。

## 2 雷达回波分析

### 2.1 雷达回波分析

本文采用福建建阳新一代多普勒天气雷达(CINRAD)9层体扫模式观测到的资料。从2003年4月12日05:30开始,仰角为 $1.5^\circ$ 的雷达回波图(如彩图2所示)上可以看到,08:00之前为弓形回波生成的阶段,也就是整个过程的发展阶段,在这一段时间里,回波由开始的几个小单体逐渐加强,很快发展起来,后面发展形成的单体与它连接,形成一个长度约400 km的强对流复合体。

2003年4月12日05:30(彩图2所示)位于雷达西北方向200 km距离的一块回波(图中红色方框表示区域,定义为第一块回波)还很弱,大部分回波强度低于20 dBz,只有中心强度达到33~37 dBz。雷达正北方向距离中心120 km左右的回波(图中紫色方框表示的区域,定义为第二块回波)强度比较大,回波中出现大面积强度超过25 dBz的回波,中心强度达到37~41 dBz。这时两块回波之间还有几十公里的距离。在第一块回波的西南方向还有两块强度比较大的回波(图中黑色方框表示的区域,定义为第三块回波)。图3为随后整个过程的回波前沿位置示意图。2003年4月12日05:54第一块回波已经发展加强,回波面积增大,回波强度也增大;第二块回波的面积和强度都减弱。两块回波之间的距离已经很小。第三块回波也已经移到第一块回波的边缘。此时三块回波已几乎形成一个整体。06:32,第二块回波已经接近消散,原来的第一块和第三块回波已经发展合并成一个强对流单体,回波边缘整齐,中心强度达到50 dBz。在雷达中心的西边200 km处又出现两块中心强度达到37~41 dBz的强回波块。07:02,在雷达正北方向的回波边缘更整齐,强中心的面积增大。雷达西边的两块对流性回波已经连成一片,面积增大。07:33,建阳西边和北边的回波已经连起来成一个强对流复合体,整体向东移

动。在回波前边边缘整体,回波强度达到 55 dBz,并且可以看出,此时的强中心回波由倾斜状态(东北—西南向)变成南北方向,此时可以看到线状回波的波型特征,在其中还能看到弓形回波。随后,飑线上其他部分也形成或发展出强单体,至 07:58 在建阳西北 70~80 km 处沿东北西南方向,可以看到三个相对独立的强度达 50~55 dBz 的弓形回波。至 08:34,可以看到此时回波又倾斜呈东北—西南向,呈逗点形状。在持续 4 h 后,弓形回波趋于消散,呈普通的强对流系统影响建阳地区。

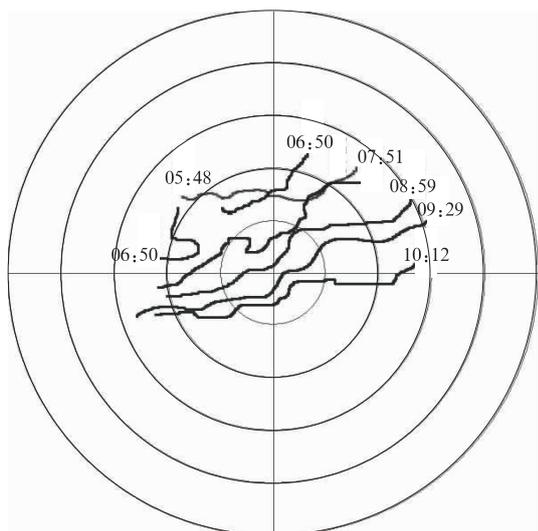


图3 2003年4月12日05:48—10:12建阳雷达1.5°仰角回波前沿示意图(距离每圈100 km)  
Fig. 3 The frontal of 1.5° elevation PPI reflectivity from 05:48 to 10:12 (the range is 100 km)

大量雷达观测和研究表明,回波高、中、低层在相应平面上的位置如何配置也非常重要。对比分析彩图 4a 和彩图 4b 可以看出,在低仰角反射率因子图(彩图 4a)中,方框内的强度明显低于彩图 4b 中,并且同等强度的回波范围要小。即中层的回波强度明显高于低层回波强度。这也是强对流天气的一个特征。

## 2.2 MARC 结构分析

Schmocher 等<sup>[21]</sup>发现对流线翼(下风方向),在反射率因子场形成弓形之前常有中高高度径向风辐合标记 MARC 出现,随后在地面出现激烈的直线风流出流。MARC 的概念模型就是当雷达探测到中层大气上升气流和下沉气流的交汇区时,在径向速度上会出现一种正负速度不连续的结构,这种结构搭

配和气旋性系统相似。在 2003 年 4 月 12 日 08:15 径向速度图(如彩图 5a)中看到在方框内存在正负速度不连续区,但是在这个区域里看不出明显的正负速度中心,不存在经典蓝金模型的径向速度场结构。从雷达中心到该处径向做垂直剖面,得到彩图 6a 和彩图 6b(130 km 处为雷达中心)。从彩图 6a 上看到在 37 km 处高度 3 到 6 km 之间有一个强回波中心,对应于彩图 6b 在同一区域,在大片的负速度区中存在一个正的速度区,这与 MARC 的概念模型是一致的:在对流发生比较强的地方,中层存在上升气流和下沉气流交汇区,如果雷达观测时某个仰角刚好通过这个交汇区,在径向速度图或者速度剖面上会表现为大范围的正速度(负速度)区内有一个小范围的负速度(正速度)区存在。这种结构与张沛源等<sup>[22]</sup>提出的逆风区的概念非常相似。彩图 4 和彩图 5a 中的方框是同一个区域,从 MARC 的分析结果看,这里有明显的中层径向辐合,其中上升气流将大粒子带到中层形成强回波,与彩图 4 的观测结果一致。

## 3 线状回波的波型特征分析

Weisman 的研究展示了在一个飑线系统中出现一系列弓形回波的现象<sup>[14]</sup>。在本次过程中也观测到了对流系统上同时出现多个弓形回波的现象。07:55,在建阳正北方向距离雷达中心 100 km 处有一个强度达到 65 dBz 的强对流单体存在,其后单体随系统向东移动并且发展增大,08:03 这个单体已经发展成南北方向,后部出现明显的凹口,有弓形回波的特征。08:15,这个弓形回波南北长度超过 50 km,东西方向宽度超过 10 km。随后整个系统向东继续移动,08:58,该弓形回波消散成普通的强对流系统。

07:32, 290°方位角 140 km 处有 3 个小的对流单体呈南北向排列,长度约 30 km。07:50,可以看到 3 个单体发展连成一个南北方向长度约 50 多公里的强回波带。08:03,这个回波带南端延伸发展,在回波带的中间位置有强回波向前突出,呈弱弓状结构,弓顶回波强度达到 60 dBz。此后弓形回波的长度逐渐变长,宽度逐渐加宽,方向由南北逐渐倾斜成东北西南方向。彩图 7 显示了在 08:15 对流系统中同时存在的两个弓形回波。A, B 分别表示两个弓形回波的弓顶,两个黑色的箭头表示弓形回波的后向入流造成的凹口。

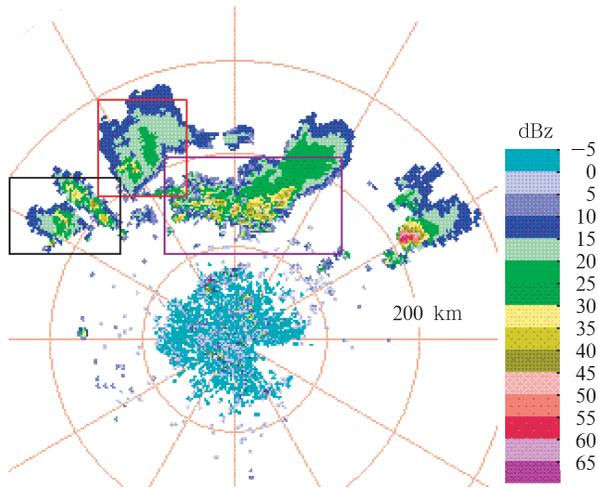


图2 2003年4月12日05:30建阳雷达  
反射率因子图  
(距离每圈: 100 km, 仰角: 1.5°)  
Fig.2 Radar reflectivity of Jianyang,  
05:30, Apr 12, 2003  
(the range is 100 km, the elevation is 1.5°)

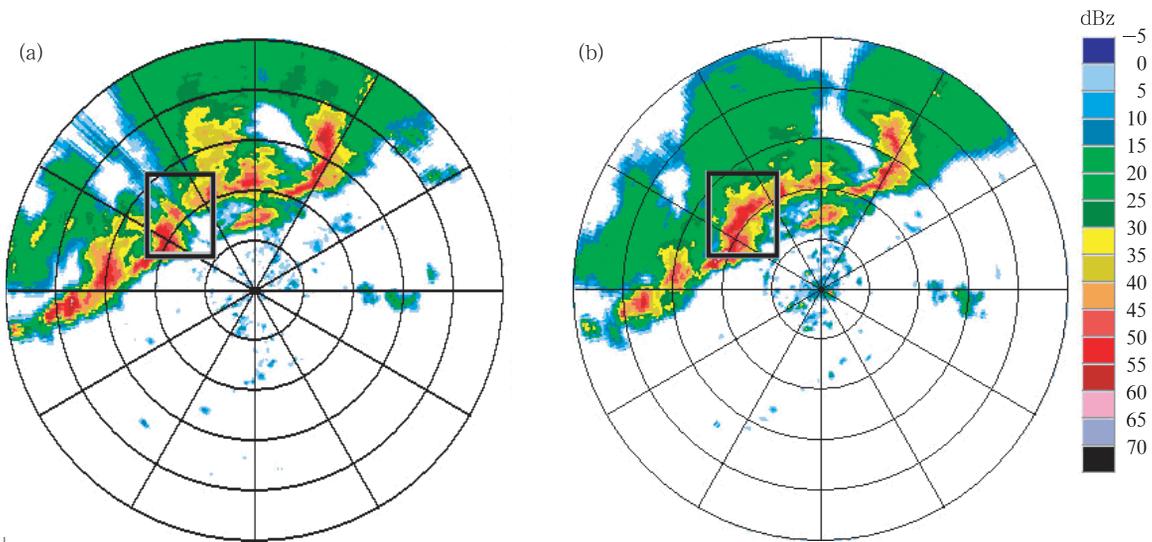


图4 2003年04月12日08:15 建阳雷达反射率因子图 (距离每圈: 40km)  
(a) 1.5° 仰角, (b) 2.4° 仰角  
Fig.4 Radar reflectivity of Jianyang, 08:15, Apr 12, 2003 (the range is 40 km)  
(a) 1.5° elevation, (b) 2.4° elevation

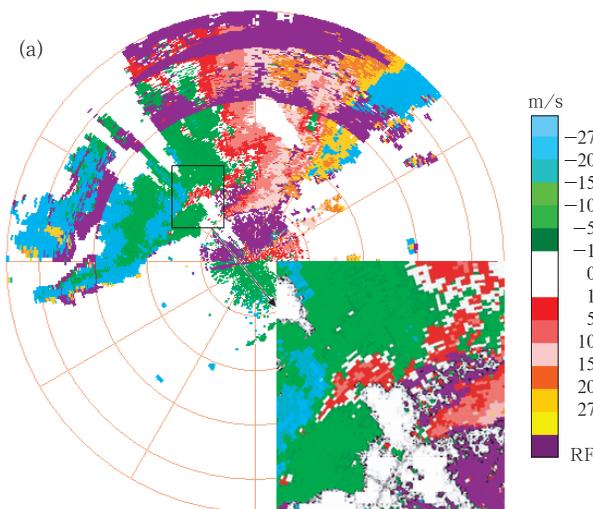


图5 2003年04月12日08:15 建阳  
雷达1.5°仰角径向速度图  
(距离每圈: 50 km, 最外圈: 30 km)  
Fig.5 Radar PPI velocity at 1.5° elevation  
in Jianyang, 08:15, Apr 12, 2003  
(the range is 50 km, the outermost circle is 30 km)

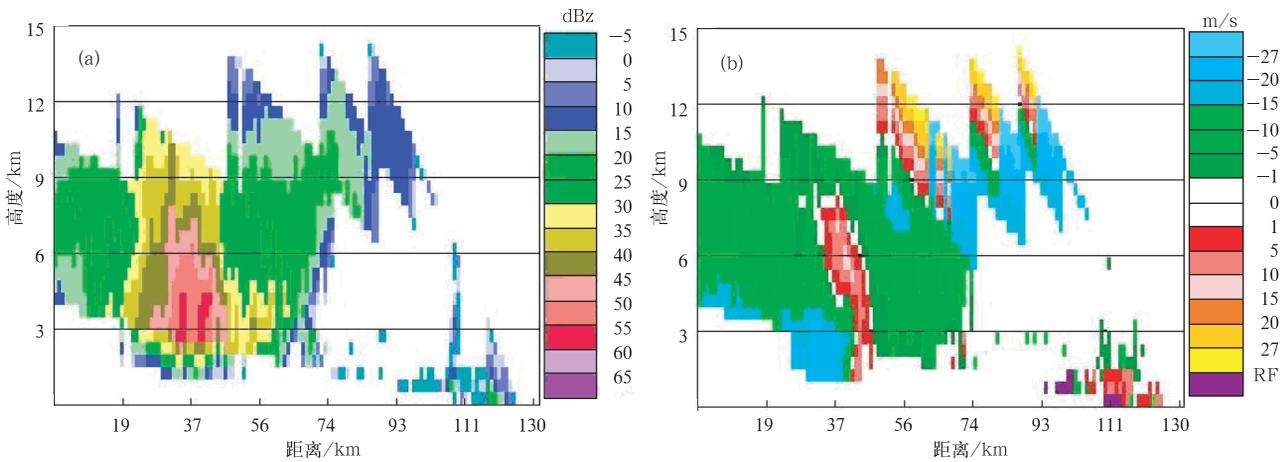


图6 2003年4月12日08:15建阳雷达313°方位角, 125.9 km的垂直剖面

(a) 反射率因子剖面, (b) 径向速度剖面

Fig.6 Cross section at 313° elevation of Jianyang Radar, 125.9 km, 08:15, Apr 12, 2003

(a)reflectivity cross section, (b) velocity cross section

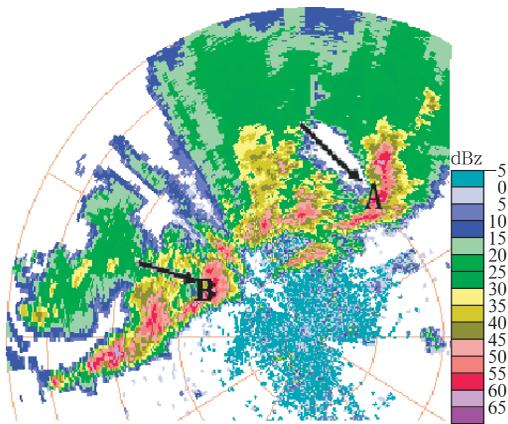


图7 2003年4月12日08:15建阳

雷达1.5°仰角反射率因子图

(距离每圈: 50 km, 最外圈: 30 km)

Fig.7 Radar reflectivity at 1.5° elevation of Jianyang, 08:15, Apr 12, 2003

(the range is 50 km, the outermost circle is 30 km)

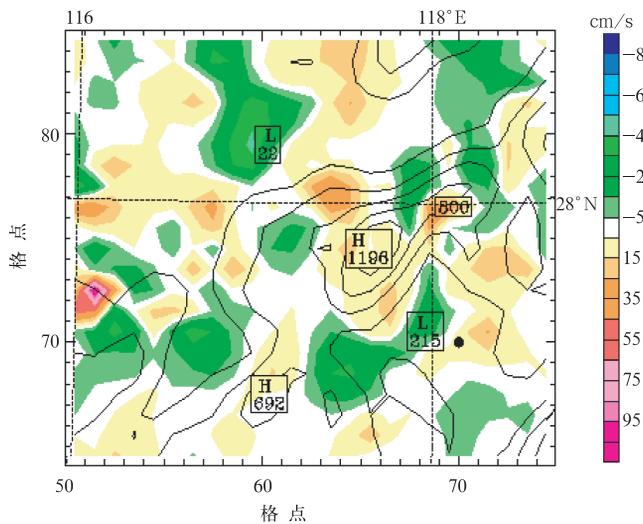


图8 2003年4月12日06:00 500 hPa上升速度差异场分布图 (黑色等值线表示地形高度, 单位: m)

Fig.8 Difference of vertical velocity distribution at 500 hPa, 06:00, Apr 12, 2003

(black lines indicate altitude, unit:m)

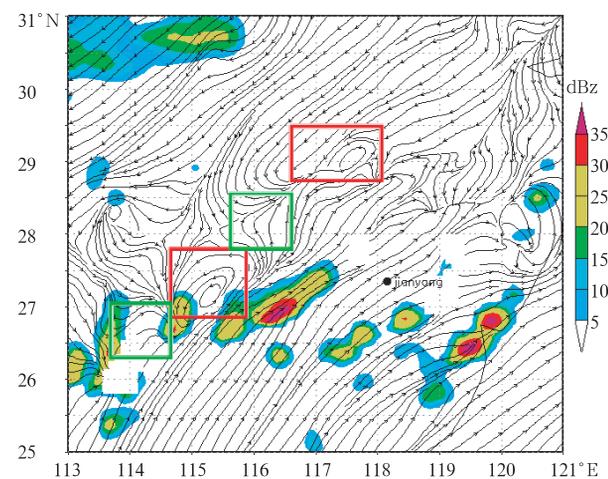


图9 2003年4月12日10:00模式模拟900 hPa流场

(图中彩色阴影为反射率因子, 单位: dBz, 红色框内为气旋性结构, 绿色框内为反气旋性结构)

Fig.9 Model simulated stream at 900 hPa, 10:00, Apr 12, 2003

(shading areas indicate radar reflectivity, unit: dBz; structure in red pane is cyclonic and the one in green is anti-cyclonic)

## 4 数值模式模拟结果分析

本研究采用中尺度非静力数值模式 MM5V3, 模式水平方向均采用二重双向嵌套网格, 粗网格区域格距为 33 km, 格点数为  $77 \times 77$ ; 细网格区域格距为 11 km, 格点数为  $136 \times 136$ 。垂直方向采用  $\sigma$  坐标, 模拟中取不等距的 23 层。网格中心位于建阳(27.35°N, 118.15°E)。初始场采用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  逐 12 h 再分析资料。在云物理方案中采用混合冰相, 积云对流参数化方案采用 Kuo 方案, 行星边界层参数化方案采用 Blackadar 高分辨率方案, 大气辐射参数化方案采用 Dudhia 的云辐射方案, 模式积分时间为 24 h。

### 4.1 地形的影响

孙建华等<sup>[29]</sup>研究发现中尺度地形对大尺度的雨带影响不是很大, 但是喇叭口地形对中尺度系统的发生发展有一定的影响。地形对天气系统的影响主要在于山脉迎风坡的强迫抬升作用、喇叭口地形的强迫辐合作用, 即产生、增强中尺度系统等。建阳地区四面环山, 西部有两座山, 北边山高 1196 m, 南边山高 750 m, 为一喇叭口地形。当东北气流南下, 灌入喇叭口, 受地形强迫抬升和喇叭口辐合的双重影响, 容易产生或加强对流系统, 高空盛行西风, 带至下游, 受地形抬升影响, 系统增强, 影响建阳地区。这也可以解释为什么不断有强对流中心在建阳西边产生或维持。

在对比分析雷达回波和建阳附近地形时发现, 回波形状与建阳西边的山势极为相似, 可以判断地形对本次过程有阻挡抬升作用。为了分析地形对本次个例的影响, 做一个关于地形的敏感试验。在敏感试验中以建阳为中心,  $25^\circ \sim 30^\circ \text{N}$ ,  $115^\circ \sim 120^\circ \text{E}$  的区域内地形高度设置为 0, 其他条件不变, 并用控制试验的结果与敏感试验的结果进行对比分析。

彩图 8 是 06:00 500 hPa 高度有山地与没有山地的上升速度差异场的分布图。由彩图 8 看到, 在建阳西北山区的迎风坡一直到山顶都有非常明显的上升速度区, 在建阳西边 100 km 处的喇叭口地形顶端也有非常明显的上升速度区, 这说明了建阳西部的山区使得经过的气流抬升, 喇叭口地形使得气流辐合上升, 这都促进了对流系统的发生发展。

### 4.2 流场分析

从模拟结果的 24 h 流场(图略)来看, 对流系统处于东北气流和西南气流共同影响下, 因此在长度

大约 400 km 的系统内有多个中尺度涡旋。从雷达回波演变来看, 这个过程是由北边和西边的两块回波发展、合并产生的, 从 07:58—08:40 的反射率因子图上都可以清楚地看到北边和西北分别有一个弓形回波在维持。这种在一个对流系统中存在多个弓形回波的结构在文献[14]中也有分析。本文对建阳个例模拟的流场结果如图彩 9 所示, 从彩图 9 看出在建阳西北存在一条由多个气旋性和反气旋性涡旋组成的涡旋簇, 这种结果与文献[14]非常相似。

## 5 结 论

本研究分析了 2003 年 4 月 12 日出现在江西、浙江、福建三省的一次飊线过程雷达回波的波型特征, 并且对雷达观测到的 MARC 等特征进行了分析, 得出以下结论:

1) 本文用实测初始场模拟得到的中尺度涡旋簇在飊线上有多个气旋和反气旋性涡旋。

2) 数值模拟中, 有山地与没有山地对于 500 hPa 上升速度有明显的差异, 这表明地形对中尺度系统的发生发展有明显的影 响, 特别是迎风坡和喇叭口地形经常会产生新的单体或者加强已经存在的单体。

3) 在雷达径向速度上观测到在大范围负速度区中有一个小的正速度区, 这是 MARC 结构, 而不是通常认为的气旋性结构。

致 谢: 本文雷达资料由福建省建阳市气象局提供, 在此表示诚挚的谢意。

## 参 考 文 献

- [1] Robert H J, William D H. Derechos: Widespread convectively induced windstorms. *Wea Forecasting*, 1987, 2:32-49.
- [2] <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?p=1&query=derecho>.
- [3] <http://vortex.weather.brockport.edu/~rochette/meso-presentations/Derechoes.ppt>.
- [4] Fujita T T. Manual of Downburst Identification for Project NIMROD. Department of Geophysical Sciences, University of Chicago, Satellite and Mesometeorology Research Paper, 1978, 156, 104.
- [5] Fujita T T, Fernando C. An analysis of three weather-related aircraft accidents. *Bull Amer Meteor Soc*, 1978, 58(11): 1164-1181.
- [6] Burgess D W, Bradley F S. Doppler Radar Observations of a Bow Echo Associated with a Longtrack Severe Windstorm. Preprints, 16th Conf on Severe Local Storms, Amer Meteor

- Soc, 1993: 203-208.
- [7] Przybylinski R W. The bow echo: observations, numerical simulations, and severe weather detection method. *Wea Forecasting*, 1995, 10: 203-218.
- [8] Weisman M L. The genesis of severe, long-lived bow echos. *J Atmos Sci*, 1993, 50: 645-670.
- [9] Kilmowski B A, Przybylinski R W, Schmocker G K, et al. Observation of the Formation and Early Evolution of Bow Echoes. Preprints, 20th Conf on Severe Local Storms, Orlando, FL, Amer Meteor Soc, 2000: 44-47.
- [10] Przybylinski R W, DeCaire. Radar Signatures Associated with the Derecho, One Type of Mesoscale Convective System. Preprints, 14th Conf on Severe Local Storms, Indianapolis, IN, American Meteorology Society, 1985: 461-465.
- [11] 张鸿发, 龚乃虎, 贾维, 等. 平凉地区强对流钩状回波特征的观测研究. *大气科学*, 1997, 21(3): 401-412.
- [12] Akos H, Istvan G. Severe Convective storms and associated phenomena in Hungary. *Atmosphere Research*, 2001, 56: 127-146.
- [13] Rudolf Katlenbo ck. The outbreak of severe storms along convergence lines northeast of the Alps. Case study of the 3 August 2001 mesoscale convective system with a pronounced bow echo. *Atmospheric Research*, 2004, 70: 55-75.
- [14] Weisman M L, Trapp R J. Low-level mesovortices within squall lines and bow echoes. Part I: Overview and dependence on environmental shear. *Mon Wea Rev*, 2003, 131: 2779-2803.
- [15] Trapp R J, Weisman M L. Low-level mesovortices within squall lines and bow echos. Part II: Their genesis and implications. *Mon Wea Rev*, 2003, 131: 2804-2823.
- [16] Weisman M L, Davis C A. Mechanisms for the generation of mesoscale vortices within quasi-linear convective systems. *J Atmos Sci*, 1998, 55: 2603-2622.
- [17] <http://www.skywarn.ampr.org/radar3.htm>.
- [18] Xue Ming, Dan Dawson. Bright Bands, Bow Echoes and Mesoscale Convective Complexes. <http://twister.ou.edu/MM2005/Chapter3.5.ppt>.
- [19] Nolan T A, Justin M A, Lyndon S, et al. Rornadogenesis within Quasi-linear Convective Systems. Part II: Preliminary WRF Simulation Results of the 29 June 1998 Derecho. 21st Conf on Severe Local Storms. <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/46939.pdf>.
- [20] 徐枝芳, 党人庆, 葛文忠. 两个中尺度气旋性涡旋合并的数值模拟. *气候与环境研究*, 2001, 6(2): 173-179.
- [21] Schmocher G K, Przybylinski R W, Lin Y J. Forecasting the Initial Onset of Damaging Downburst Winds Associated with a Mesoscale Convective System (MCS) Using the Mid-altitude Radial Convergence (MARC) Signature. Preprints, 15th Conf on Weather Analysis and Forecasting, Norfolk, VA. Amer Meteor Soc, 1996: 306-311.
- [22] 张沛源, 陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究. *应用气象学报*, 1995, 6(3): 373-378.
- [23] 孙建华, 赵思维. 华南“94·6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究 II. 物理过程、环境场以及地形对中尺度对流系统的作用. *大气科学*, 2002, 26(5): 633-646.

## Radar Data Analysis and Numerical Simulation of a Squall Line

Mu Xiyu<sup>1)</sup> Dang Renqing<sup>1)</sup> Chen Qiuping<sup>2)</sup> Fang Dexian<sup>1)</sup> Ge Wenzhong<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Key Laboratory of Mesoscale Weather in Nanjing University, Ministry of Education, Nanjing 210093)

<sup>2)</sup>(Jianyang Weather Bureau, Fujian Province, Jianyang 354200)

### Abstract

A squall line attacks Jiangxi, Zhejiang and Fujian provinces on April, 12 2003. The severe convective system leads to heavy damage, producing wind gust as large as 32 m/s, 30 mm diameter large hails in the affected area. This process is observed by the CINRAD in Jianyang City. The whole process of this convective system, including the initial stage, the developing stage, the mature stage and the dissipating stage, is analyzed. Many convective structures are observed in the process. At the location of the strong updraft, base reflectivity observed by mid-level elevation is stronger than the low-level and the high-level. This structure is called weak echo area. Corresponding to weak echo, there is a positive velocity area with a large negative velocity area in the mid-level. This structure is judged as mesoscale vortex sometimes by WSR-98D PUP. In fact, this phenomenon means the convergence in the target area, which is known as MARC (mid-level radial convergence). Strong line echoes are observed in squall line by radar. It is well

known that bow echoes that develop within a squall line are referred to as line echo wave patterns. In order to analyze the interior structure of the convective system, mesoscale numerical model (MM5V3) is used to simulate this process. In the control numerical simulation, reanalysis NCEP data( $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ) is used as the initial conditions. Radar observation data and simulation result are used to analyze the structure and the evolution. Numerical simulation result confirms that the convective system takes place at the meeting of the northeaster and the southwester. There are many convective vortices and super cells within the 400 km system. Bow echoes appear near the vortices. There are obvious cyclones at the forehead of the line echo and divergence at the tail. Weisman indicates that in a mature bow echo cyclonic and anticyclonic vortices develop north and south respectively, in the channel of rear-to-front flow. These results resemble Weisman's study about squall lines in American. In the period from 0758UTC to 0840UTC, there are respective bow echoes in the north and west, seen from the reflectivity PPI. These results confirm that there are segments of mesoscale vortices and bow echoes in squall lines. Jianyang city is to the east of Wuyi Mountain, and there is a bell-mouthed mountain to the west of Jianyang city, so the influence of the topography should be considered. In order to do that, a sensitive numerical simulation is designed. In the sensitive numerical simulation, the altitude of the mountains near Jianyang is factitiously set equal to the ground. The results of the control and sensitive numerical simulation are compared. It shows that the uplifted velocity in 500 hPa level of control simulation is greater than the velocity of sensitive simulation, and the uplifted area accords with the strong reflectivity echo. These results refer that the windward mountain and bell-mouthed mountain can trigger new convective cells or enhance existing ones.

**Key words:** convective system; radar observation; bow echoes; MARC; mesoscale vortex; topography

\*\*\*\*\*

## 欢迎订阅《应用气象学报》

《应用气象学报》是由中国气象科学研究院、国家气象中心、国家卫星气象中心、国家气候中心、国家气象信息中心和中国气象局大气探测技术中心联合主办的大气科学技术与应用研究的综合性学术期刊。《应用气象学报》将向您提供有关我国大气科学领域内研究和应用成果的最新论文、资料、方法等大量信息,内容包括气象预报、卫星气象、农业气象、海洋气象、航空气象、环境气象、人工影响天气、应用气象、大气探测、遥感技术以及计算机应用技术等学科;还向您介绍国内外现代科技的最新理论与新技术在大气科学中应用的研究论文及信息。主要栏目有论著、短论、专题评述、业务系统、学术论坛、研究简报、书刊评介等。本刊被《中文核心要目总览》确认为大气科学(气象学)类核心期刊,并已首批入选“中国科学引文数据库”(CSCD),中国科学技术期刊文摘(CSTA)国家数据库(英文版)收录的刊源名单,并被美国气象学会“气象与地球天体物理学文摘”(MGA)和美国国际科学应用协会(SAIC)以及中国科学文摘(英文版)等多种文摘摘录。本刊还首批入选“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。《应用气象学报》面向广大的气象科研、业务技术人员、在校有关专业的研究生、大专院校师生等专业人员。

《应用气象学报》为双月刊,逢双月出版,可以随时汇款订阅或购买(户名:中国气象科学研究院,账号:6510005052610086013,开户行:北京建设银行白石桥支行)。2007年6期(每期定价30.00元),总订价180.00元(含邮资)。

订阅地址:北京市中关村南大街46号,中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部;邮政编码:100081。

联系电话:(010) 68407086,68408638。E-mail地址:yyqxxb@cma.gov.cn,yyqxxb@163.com。