

# 一次中- $\beta$ 尺度局地大暴雨 对流系统的雷达回波特征

冯晋勤 童以长 罗小金

(福建省龙岩市气象局, 364000)

**提 要:** 利用新一代天气雷达产品对2006年6月18日永定一次中- $\beta$ 尺度大暴雨对流系统的雷达回波特征进行分析,探讨短时大暴雨的回波特征。结果表明:有利的大尺度环流、充足的水汽条件和较强的上升运动是产生强降水有利的天气背景。新一代天气雷达资料分析表明,强降水是由局地发展的对流回波加强合并产生的;中低层冷平流的入侵触发了强对流的产生,对流单体有明显的典型的液态强降水系统特征;逆风区及良好的垂直运动使对流单体发展加强,强降水区域尺度较大,与回波移向一致产生“列车效应”,同时系统移动较慢,导致了强降水的持续。

**关键词:** 液态强降水 逆风区 列车效应

## CINRAD Radar Echo Features of a Mesoscale- $\beta$ Local Heavy Rainfall Convective System

Feng Jinqin Tong Yichang Luo Xiaojin

(Longyan Meteorological Office, Fujian Province 364000)

**Abstract:** Radar echo feature of a heavy rainfall event is discussed on the basis of analyzing NEXRAD products during the mesoscale- $\beta$  heavy rainfall convective system event in June 18th, 2006 occurred in Yongding City. Conclusion is drawn as follows: large-scale circulation, ample water vapor and stronger ascending movement are advantageous weather background of severe rainfall. The results of show that severe rainfall is led by local convective echoes strengthening and integrating; lower-middle layer cold advection triggers the strong convection. And convective cells show typical features of severe precipitation system. Converse wind region and good vertical movement strengthens the development of convective cells. The server larger-scale rainfall area moves along the same direction as echoes do, which cause so-called “train domino effect”. Furthermore, system moves slowly, which helps severe rainfall continue.

**Key Words:** liquid severe precipitation converse wind region train domino effect

## 引 言

短时强降水作为一种中小尺度天气系统,往往因其突发和局地性强等特点,预报难度大。新一代天气雷达由于能实时监测天气系统,提供丰富的产品,对中小尺度系统的监测有其不可替代的优势,通过分析其中的回波特征,可以对产生强降水的回波特征进行总结。近年来,广大气象工作者应用新一代天气雷达对短时强降水天气进行了大量的研究<sup>[1-5]</sup>,文献[1-2]对短时强降水个例进行回波特征分析,文献[3-5]对短时强降水的回波特征进行总结,从中得出的结论对短时临近预报具有很好的指导参考作用。

2006 年 6 月 18 日 4—10 时(北京时,下同)永定出现了短时大暴雨天气,其中抚市镇 6—7 时 1 小时降雨 124mm;坎市镇 5—7 时 2 小时降雨 113mm;永定城区 7—10 时 3 小时降雨 133mm。降水突发性强、强度大、时空分布不均历史上罕见的。本文通过新一代天气雷达产品结合区域自动站网资料对这次过程的回波特征进行分析,探讨短时大暴雨的回波特征,以期增加对短时大暴雨天气的认识,提高短时临近预报准确率。

## 1 大尺度天气系统

2006 年 6 月 17 日高空 500hPa 中高纬为两槽一脊。在中纬 110°E 附近有一大陆高压加强向南扩,同时西太平洋副高处于加强西伸向北扩状态。到 18 日 08 时大陆高压和西太平洋副高两高之间有一低槽形成,位于福州、华安、永定、梅州一线,永定正处于槽线附近。低空 18 日 08 时 850hPa 有一低涡切变线位于遵义、怀化、抚州、邵武、福鼎一线,永定处于低层暖切变南侧的西南气流中,伴有风向和风速的辐合。这种高层有低槽和低

空为暖切南侧的风向风速辐合的天气形势有利于强天气的形成。

从物理量上分析,6 月 18 日 08 时的 850hPa 比湿场可以看出,从江西到福建省中西部地区有一比湿  $\geq 12\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的湿舌区,为此次暴雨提供了充足的水汽。从下风方附近的厦门站的探空资料(图略)分析,18 日 08 时 K 指数为  $36^\circ\text{C}$ ,925hPa 到 850hPa 风随高度逆转有冷平流,925hPa 到 500hPa 风随高度顺转有暖平流,0~6km 垂直风切变为  $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,对流有效位能 CAPE 为  $1264\text{J} \cdot \text{kg}$ ,暖云厚度达 5km,说明永定上空的大气处于不稳定状态,其对流有效位能和垂直风切变都为中等强度,但暖云厚度厚,有利于高降水效率的产生<sup>[6]</sup>。在 850hPa 以上永定上空为一强上升运动区。同时分析 18 日 08 时 925hPa 24 小时变温可以看出,江西到福建一带有  $0 \sim -2^\circ\text{C}$  的负变温区,说明永定上空已具备了水汽、不稳定层结和动力条件,同时有弱冷空气从低层入侵,加剧了大气层结的不稳定,触发强降水天气的产生。

## 2 新一代天气雷达回波演变过程

此次过程,5~7 时强降水集中在永定的中北部,水平尺度在 50km 左右,7—10 时强降水则南移到永定的中南部,系统水平尺度在 70km 左右,前一次的降水强度明显大于后一次,从系统的水平尺度看都属于中- $\beta$  尺度。因此,我们定义此次过程为中- $\beta$  尺度大暴雨,在分析中我们分为两个时段。

18 日 03 时局地对流回波在山脉的迎风坡上发展东移,4 时左右永定北部回波开始发展向东北方向移动,以零散的块状回波为主,与东北面局地对流回波合并加强成大的块状回波。后北面回波减弱,南面回波继续加强,5 时后回波明显南压,在翻越山脉后进入海拔 400m 以下的低洼地带,回波呈明显

加强趋势,45dBz 强回波范围增大,同时在永定的西南面不断有回波生成并入,5 时 40 分在坎市、抚市一带的高层(5.1km 处)形成强中心达 63dBz 的块状回波,回波顶高从 8km 突增到 14km,垂直液态含水量也增大到  $30 \sim 35 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,速度图上中低层逆风区明显加强南扩,说明中低层存在辐合区在增强,高层则表现为一辐散区。到 6 时 04 分回波发展到最强盛时期,风暴结构紧密,60dBz 以上的强回波向低层扩展,强中心集中在低层入流口,回波顶高增长到 16km,垂直液态含水量达  $35 \sim 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,造成 6 时到 6 时 30 分坎市 46mm、抚市 66mm 的降水。6 时 46 分后回波结构变得较松散,强中心范围明显减小,7 时后回波减弱南压。

6 时 34 分在回波移动方向的右前方不断有新单体生成,北面回波在南压过程中逐渐并入右前方的单体中,7 时回波逐渐向西南方向移动,在永定城区逐渐形成一强中心,其西北面不断有回波并入使强中心维持,速度图上低层为一辐合区,在中层有  $10 \sim 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  明显带状强入流,高层为明显的出流区。8 时左右逐渐形成一东西向的带状回波,强中心达 55dBz 以上,回波顶高增长到 16km,垂直液态含水量达  $35 \sim 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,永定城区和陈东乡附近形成两个强降水中心。此时,永定中北部回波已明显减弱,中北部的强降水也随之减弱。8 时 30 分左右上杭南部回波发展并沿汀江河谷移入永定,在永定城区附近再次形成一长条状强回波带,强中心达 50dBz 以上,回波顶高达 11km,使得城区降水进一步维持。7—10 时永定城区降水量达 133.2mm。10 时强带状回波开始断裂,永定回波强度明显减弱,强中心只有 35dBz,降水减弱,此次强降水过程结束。

### 3 产生强降水的回波特征

#### 3.1 中低层冷平流入侵触发对流单体产生

在天气系统分析中提到低层有弱冷空气入侵,通过雷达风廓线产品也得到了验证。从风廓线资料可以看出,雷达站从 18 日 05 时 28 分开始先于 3.0km 高度以下风随高度逆转,说明低层为冷平流,3.0km 以上风随高顺转,说明高层为暖平流。随着冷空气的入侵与暖湿气流相互作用,本站的回波得到加强发展并出现了强降水。到 6 时 22 分风随高度逆转扩展到 4.0km 高度(图 1),从回波上看,强降水也进一步南扩引发了永定大暴雨的产生,可以认为是随着冷空气向南侵入,强降水进一步向南伸展。同时需要指出的是福建前汛期暴雨实验研究曾表明<sup>[7]</sup>,弱冷锋移动路径和速度受福建地形影响显著,在此次过程中,冷空气进入永定的西南方向开口的喇叭口地形后,与西南暖湿气流相互作用,使得回波移入该地区后强烈发展,从而引发了短时大暴雨的产生。

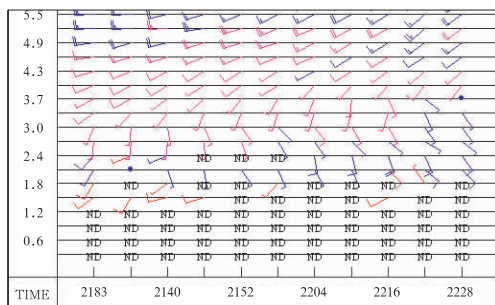


图 1 2006 年 6 月 18 日 5 时 28 分到 6 时 28 分风廓线图

在此次过程中,风廓线进一步揭示了低层冷空气的入侵触发了此次中尺度暴雨系统,同时该产品比常规资料(08 时)提前了近 3 小时,在预报中可以起到提前预警作用。

### 3.2 对流单体为典型液态强降水对流系统

造成局地强降水通常是由中小尺度对流系统产生的,分析永定中北部抚市一带的强降水对流单体(图 2)可以看出,在发展阶段,回波强度快速增长,5 时 28 分到 5 时 40 分强回波中心最大值处于中高层 5km,回波强度由 55dBz 增长到 63dBz,回波顶高最大值由 8km 增长到 14km,实况此时降水开始逐渐增强,5 时 30 分到 6 时雨量 15mm。6 时 04 分对流单体进入强盛时期,60dBz 以上的强回波中心向低层扩展,6 时 10 分 0.5 度仰角强回波值达 63dBz,回波顶高增长到 16km,垂直液态含水量增长到  $35 \sim 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ,随后到 6 时 52 分低层一直维持着 55dBz 以上的强回波中心,实况从 6 时开始雨势明显加强,6—7 时雨量 124mm。6 时 46 分后高层强回波中心明显减弱,随后低层强中心也开始减弱,45dBz 以上的强回波范围明显缩小,6 时 52 分后回波顶高从 14km 降低到 11km,此后对流单体进入减弱阶段,7 时 30 分后低层强回波中心减弱到 43dBz,回波顶高降低到 9km,降水强度也明显减弱,7 时 30 分到 8 时雨量 11mm。在风暴强盛阶段,风暴相对速度图(图 3,见彩页)表现出低层为辐合,中层为气旋性旋转,高层则为辐散,有利于对流发展持续,在其高反射率因子的前侧存在一“V”字型缺口,表明有强的入流进入上升气流中。从剖面图(图 4,见彩页)可以看出,回波强中心下存在一弱回

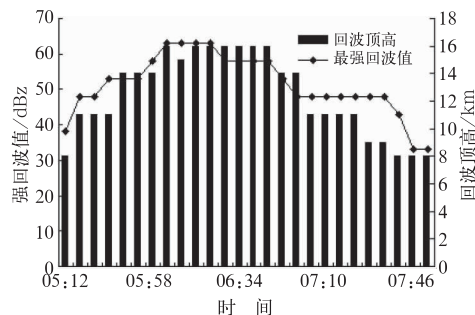


图 2 抚市镇回波强度时间—高度演变特征图

波区,同时,其高度都在 4000m 以下,在当天  $0^{\circ}\text{C}$  层(约 5000m)以下,并且呈现出单体风暴顶越高,最大反射率因子所在的位置也就越低,二者基本呈反位相变化趋势,垂直液态含水量小于  $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,因此该系统是一典型的液态强降水对流系统,未出现降雹天气<sup>[1]</sup>。

### 3.3 逆风区、良好的垂直运动使对流单体发展加强

从速度图(图略)分析,可以看出,在这次过程中从低层( $0.5^{\circ}$  仰角)到高层( $19.9^{\circ}$  仰角)“逆风区”(负速度区中叠加正速度区)表现得都很明显,持续了近 4 小时。在发展和强盛阶段中低层( $0.5^{\circ}$  到  $6.0^{\circ}$  仰角)“逆风区”随强回波一起不断向南扩,低层“逆风区”速度值和范围明显大于中层( $4.3^{\circ}$  到  $6.0^{\circ}$  仰角),高层( $9.9^{\circ}$  到  $19.9^{\circ}$  仰角)在抚市一带逐渐生成“逆风区”,速度和范围不断加大。有资料证明,在逆风区处有中尺度辐合辐散共轭系统风场存在<sup>[8]</sup>,有利于对流的发展。逆风区进入强回波区后,使得回波进一步发展、加强,产生强烈降水。而在减弱阶段,不同层次表现的形式不尽相同,低层向西南扩展,暴雨区被负速度区覆盖,但中层“逆风区”范围减弱并向北缩,高层向南扩展,暴雨区也被负速度区覆盖,从低层到高层“逆风区”减弱消失。在风暴成熟阶段,从 6 时 04 分沿低层入流方向所做的径向速度垂直剖面图(图 5,见彩页)可以看出:在风暴单体的前方为低层入流,前方的高层为出流,后方中低层出现了出流,说明在单体内,上升气流从前方低层流入,然后倾斜上升,至高层流出,下沉气流则从云后中低层流出,这是成熟阶段雷暴单体的典型流场。该现象一直持续到 6 时 28 分。中南面强降水则表现为低层辐合,中层强入流,高层出流也表现得非常明显,说明对流单体的垂直运动配合好,使得强降水持续时间长,产生了短时大暴雨。

### 3.4 列车效应使强降水维持

用组合反射率等值线产品分析 45dBz 以上强回波区面积及其回波的移动方向,可以看出,5 时 28 分开始永定中北部陆续被东南移的 45dBz 以上强回波区面积覆盖(图 6,见彩页),6 时开始(图 6,见彩页)在其西面不断有 45dBz 的强回波注入,形成了一与回波走向一致的近东西向的长带状回波维持。该现象持续到 7 时 30 分左右。该对流系统在维持过程中缓慢东移南压,7 时 30 分以后永定城区附近被南压的 45dBz 以上强回波区覆盖(图 6,见彩页),8 时 30 分强回波范围有所减弱,但随后西部又不断有强回波区移入(图 6,见彩页),使得永定城区强回波区再次加强,强降水得到进一步维持。从以上分析可以看出,这次过程的对流系统大于 45dBz 的强降水区域尺度较大、走向与回波移向一致并依次移入同一地点,产生“列车效应”,同时系统移动较慢,导致了强降水的持续。

### 4 强降水减弱的回波特征分析

这次强降水过程,虽然强度强,但强降水都集中在 1~3 小时之间,集中时段非常明显,随后降水强度明显减弱。这是对流降水的一个显著特征。从回波上分析可以看出,大于 45dBz 的强回波区出现分裂消散并明显南压,速度图中逆风区开始消散,垂直积分液态含水量减少到  $5\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,强降水也随之减弱。

### 5 结论

分析表明,此次强降水过程是在有利的天气条件下,由对流单体形成的强降水过程。

(1) 此次过程是在高层有低槽和低空为

暖切南侧的风向风速辐合有利的天气尺度环流背景下产生的。18 日 08 时永定上空大气处于不稳定状态,同时具备了充足的水汽条件和较强的上升运动,在弱冷空气的触发下产生了强降水天气。

(2) 强降水是由局地发展的对流回波加强合并产生的;从结构上看,对流单体是典型的液态强降水对流系统;中低层冷平流的入侵及当地特有的喇叭口地形使得对流回波强烈发展,逆风区及良好的垂直上升运动使对流单体发展加强,强降水区域尺度较大、走向与回波移向一致并依次移入同一地点,产生“列车效应”,同时系统移动较慢,导致了强降水的持续。

(3) 强回波区出现分裂消散并明显南压,速度图中逆风区开始消散,垂直积分液态含水量减少到  $5\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,强降水也随之减弱。

### 参考文献

- [1] 陈明轩,俞小鼎,谭晓光,等. 北京 2004 年“7.10”突发性对流强降水的雷达回波特征分析[J]. 应用气象学报,2006,17(3):333-345.
- [2] 伍志方,易爱民,叶爱芬,等. 广州短时大暴雨多普勒特征和成因分析[J]. 气象科技,2006,34(4):455-459.
- [3] 应冬梅,许爱华,黄祖辉. 江西冰雹、大风和短时强降水的多普勒天气雷达产品的对比分析[J]. 气象,2007,33(3):48-53.
- [4] 王改利,刘黎平. 多普勒雷达资料在暴雨临近预报中的应用[J]. 气象,2005,31(10):12-15.
- [5] 王彦,吕江津,周海光,等. 暴雨的多普勒天气雷达速度辐合风场特征[J]. 气象,2008,34(3):63-68.
- [6] 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]. 北京:气象出版社,2006:171.
- [7] 叶榕生,林仙祥,黄一品. 福建省重要天气分析和预报[M]. 北京:气象出版社,1989:85.
- [8] 刘洪恩. 单多普勒天气雷达在暴雨临近预报中的应用[J]. 气象,2001,27(12):17-25.

## 冯晋勤等：一次中-b尺度局地大暴雨对流系统的雷达回波特征

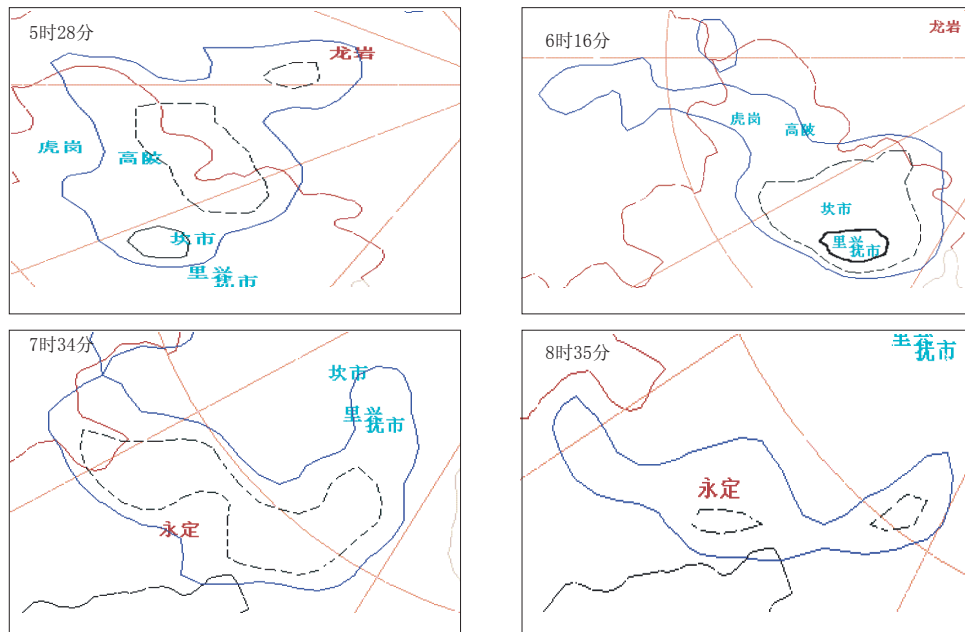


图6 组合反射率等值线图  
(蓝色实线45dBz、黑色虚线50dBz、黑色粗线55dBz, 红色曲线为县界和极射网格线, 距离圈为50km)

冯晋勤等：一次中-b尺度局地大暴雨对流系统的雷达回波特征

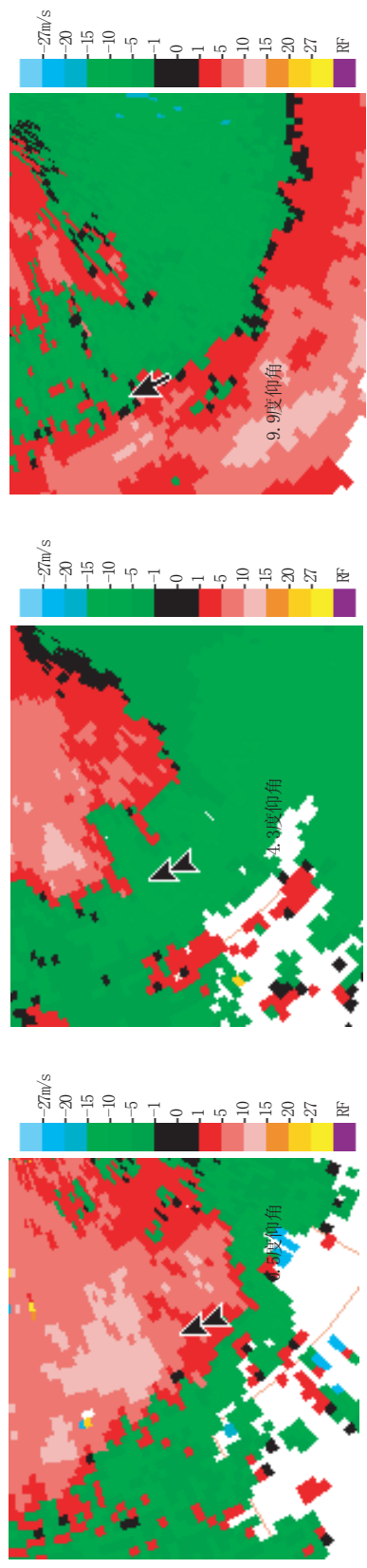


图 3 2006年6月18日风暴相对速度图 (图中箭头表示不同高度的同一地点)

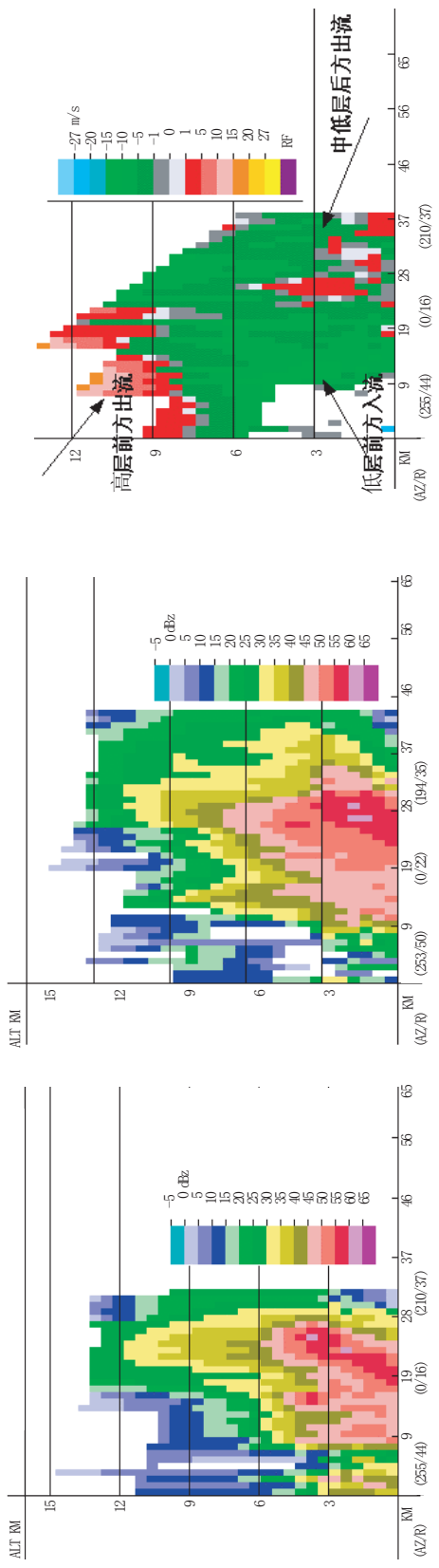


图 4 2006年6月18日6时04分和6时10分对流单体剖面图

图 5 2006年6月18日6时04分径向速度垂直剖面图