

# 梅雨锋引发的“03.7”特大暴雨雷达回波分析

黄小玉<sup>1,2</sup> 姚 蓉<sup>2</sup> 叶成志<sup>2</sup> 陈 媛<sup>2</sup> 曾向红<sup>2</sup> 杨秀文<sup>2</sup>

(1. 湖南省减灾防灾重点实验室,长沙 410007; 2. 湖南省气象局)

**提 要:** 利用常德雷达站多普勒天气雷达资料及其它资料分析了2003年7月7—11日特大暴雨天气过程的天气形势、雷达回波特征及中小尺度系统。雷达回波经历了初始、积层混合云、带状回波、积层混合云减弱消失阶段。回波单体始终自西南向东北方向移动,回波整体先由西北向东南,后北抬并移出湖南。降水回波属于低质心降水回波,“列车效应”是造成特大暴雨的主要回波特征,“列车效应”由有组织的中- $\gamma$ 尺度回波单体不断生消形成。多普勒速度图上,短时出现了“逆风区”等回波特征,由对流层中层不连续中小尺度大风核造成有组织的次级环流,可能是“列车效应”形成和维持的主要原因。谱宽图上,谱宽值各层十分均匀,表明强降水长时间维持的主要原因在于上下层环境风始终处于稳定状态。

**关键词:** 特大暴雨 雷达资料 梅雨锋

## Analysis on Doppler Radar Data of “03.7” Super Heavy Rain Caused by Meiyu-front

Huang Xiaoyu<sup>1,2</sup> Yao Rong<sup>2</sup> Ye Chengzhi<sup>2</sup> Chen Yuan<sup>2</sup> Zeng Xianghong<sup>2</sup> Yang Xiuwen<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Hunan Province for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation, Changsha 410007;  
2. Hunan Meteorological Bureau)

**Abstract:** Using the Doppler radar data in Changde, Hunan Province and other conventional meteorological and radar data, the synoptic situation and meso-scale system features of a super heavy rain in Hunan province caused by Meiyu-front were analyzed. Results show that, the echoes experienced the stages of initial genesis, merging, helix band, merging, weakening and decay. The echo-cells moved from southwest to northeast all the time, but the full echoes moved from northwest to southeast firstly, then moved out from north of Hunan province. The center of echo is low. The train effect is the major character of this event. Even though the inverse wind regions in the imagery of velocity, the well organized secondary circulation caused by discontinuous meso-

scale jet-core at the middle level of troposphere may be the main reason to form and sustain the train effect. The spectral width is very homogeneous at all levels. This indicates that the stable jet at middle level is the major reason of the long duration of the event.

**Key Words:** super heavy rain radar data meiyu-front

## 引 言

梅雨锋是夏季风期间东亚地区主要的降水系统,既是丰富的水资源,也常引发洪涝灾害<sup>[1]</sup>。梅雨锋暴雨是在有利的天气尺度背景条件下,不同尺度系统以及它们的相互作用<sup>[2-4]</sup>的结果,其结构复杂,且具多样性。中尺度对流系统(MCS)是暴雨的直接影响系统。国内外许多学者利用雷达资料分析了梅雨锋暴雨的回波结构及特征<sup>[5-18]</sup>。1990年代以来,一些学者利用多种监测资料,尤其是利用雷达、卫星资料,结合中尺度数值模式诊断分析,发现梅雨锋是由大尺度、天气尺度、中- $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 尺度相互作用的结果,并分析了各种尺度系统的动力、热力、演变等特征<sup>[19-25]</sup>。目前对中- $\alpha$ 尺度、中- $\beta$ 尺度对流系统的研究较多,而中- $\gamma$ 尺度对流体的组织结构、发生发展以及它们同中- $\alpha$ 尺度、中- $\beta$ 尺度对流系统之间的相互作用仍需进一步研究。

2003年7月7日至11日受梅雨锋影响,湘西北出现了特大暴雨过程,造成了严重的灾害损失。本文主要利用多普勒天气雷达资料,分析这次过程的回波特征,分析中- $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 尺度相互作用、回波结构特征及中小尺度天气系统的成因。

## 1 过程概况

2003年7月7日开始,受西风带低槽、中低层切变线及梅雨锋共同影响,湘西北地区出现持续3天的大暴雨至特大暴雨天气。降雨主要集中在澧水流域和沅水支流西水流

域,包括张家界、常德、湘西自治州及怀化北部地区。7日08:00至11日08:00,包括水文站在内全省降雨201站,其中83站累计雨量超过50mm,63站超过100mm,42站在200mm以上,最大降雨为张家界站623.1mm。暴雨中心最大日降雨达到455.5mm,刷新了湖南省历史纪录(图1)。

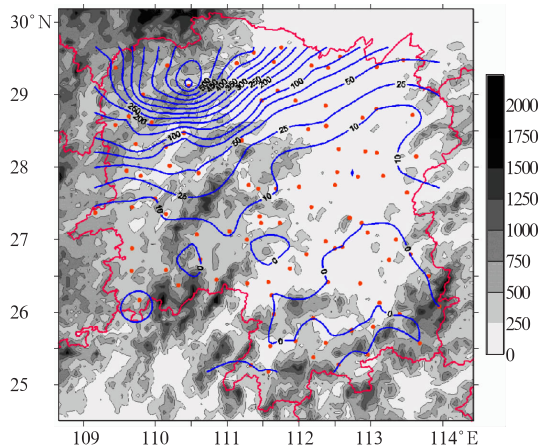


图1 2003年7月7日08:00至11日08:00降水总量(单位:mm)  
阴影为地形高度

由于暴雨相对集中、强度大、范围广,致使山洪爆发,泥石流、山体滑坡相继发生,大小溪河洪水猛涨,造成极其严重的人员伤亡和财产损失。过程造成全省因灾死亡39人,直接经济损失59亿元。

## 2 大尺度环流形势演变

7月上旬末期,中高纬为两槽一脊形势,乌拉尔山与贝加尔湖地区之间为高压脊区,其两侧为低压槽区。副热带高压7日开始加

强北抬西伸,脊线位于  $25^{\circ}\text{N}$  附近,5880 等位势线北界位于  $30^{\circ}\text{N}$  以南。副高西北侧强盛的西南暖湿气流向湘西北输送了充沛的水汽和不稳定能量。位于贝加尔湖以东的低压槽尾部延伸到江淮地区,它所带来的偏西气流与西南暖湿气流之间构成一范围宽广的气流汇合区,有利于梅雨锋的建立并维持。8 日 08:00,500hPa 高原东部低槽东移至湘西北地区。由于副高稳定,中低层华东沿海为高压坝区,低槽切变和地面锋面难以南压,5—6 日停留在湘中一带的中低层切变随着副高的增强北抬至湘北。另外,7 日 20:00 开始,700 和 850hPa 图上,湘西北存在一条宽且强的西南急流带,8 日 08:00,芷江和长沙西南急流突然增强,分别达到  $22,20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,急流的左侧有西南低涡发展并沿江淮切变线移动,这种形势一直稳定维持到 10 日 20:00。显然,切变线的稳定维持与切变线上扰动低涡的形成和发展是造成此次强降水的重要天气系统。地面图上,7 日 17:00 西南地区有低压形成,23:00 该低压东移至湘西北,并出现风切变。8 日 08:00,随着高空槽后带下的小股冷空气进入低压槽内,锋面在湘西北新生。10 日 20:00,副高继续西伸北抬,5880 等位势线的北界达到  $34^{\circ}\text{N}$  附近,西南气流随之伸展到长江以北地区,切变线和锋面也北抬至湖北境内,湘西北的强降水过程结束。

图 1 中阴影为地形高度,湘西北为山区,强降水带下垫面为澧水流域,这次过程关于地形与下垫面对降水的增幅作用叶成志<sup>[26]</sup>、周雨华<sup>[27]</sup>已作详细分析。

8 日 20:00, $T\text{-Log}p$  图上位于湘西北的恩施站具有弱的垂直风切变和较小的不稳定层结,CAPE 值分别为  $-940.4\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,9 日 08 时后都为稳定层结,但上下层湿度大。说明这次暴雨过程较冰雹等强对流天气过程发生的环境不稳定能量小得多。

### 3 雷达回波分析

“03.7”天气过程对湖南的影响主要位于西北部,长沙雷达距湘西北较远,只能观测回波的高层结构。常德雷达对这次过程进行了较为理想的全程观测,故使用常德雷达资料进行分析。

#### 3.1 反射率因子分析

利用常德多普勒雷达产品,对“03.7”造成的湘东南强降水过程的多普勒雷达回波演变特征进行分析,结果表明,在整个降水过程中,回波演变主要经历了以下几个阶段:

##### 3.1.1 初始、积层混合云降水回波阶段

7 日 20:00 湘北有孤立的弱回波生成,主要以层状云回波为主,回波受西风引导气流作用,自西南向东北方向移动,并不断发展加强。8 日 01:00 转为积层混合云降水回波,05:00 回波范围最大,湘北全部为积层混合云降水回波所覆盖。由于范围大,影响时间长,一些地区出现了强降水。8 日 08:00 后,回波开始缓慢南压,因低空急流强盛,回波南侧南压速度缓慢,呈准静止状态,而北侧回波南移速度较快,大范围的积层混合云降水回波逐渐演变成带状降水回波。17:00 后带状回波逐渐减弱,雷达观测范围基本无降水回波,第一次强降水过程结束。

##### 3.1.2 带状回波阶段

8 日 21:00,湘西北有层状云回波生成,张家界附近隐约有带状回波出现。22:30 后位于张家界附近的强对流回波带形成,回波的形状为倒“L”型,平均回波强度为  $35\text{dBz}$ (图 2a,见彩页)。张家界附近有一条大于  $45\text{dBz}$  的强对流回波带。PPI 图上为一条中- $\beta$  尺度强回波带,最大回波强度为  $52\text{dBz}$ 。沿回波带作垂直剖面(图 2b,见彩页),强回波带回波顶参差不齐,回波带由 8 个中- $\gamma$  尺

度风暴单体组成, A、B 两个单体处于新生阶段, C、D、E 三个单体处于成熟阶段, 而 F 单体正处于减弱阶段, G、H 单体处于衰亡阶段。根据探空资料, 当日  $0^{\circ}\text{C}$  层高度位于 5.5km, 大于 45dBz 的回波位于  $0^{\circ}\text{C}$  层以下, 因此属于低质心回波。由于上风方不断有回波生成, 下风方减弱、衰亡, 回波有组织地排列, 从而形成“列车效应”。可见这条长时间维持的中- $\beta$  尺度回波带是由有组织的中- $\gamma$  尺度多单体风暴组成。带状回波一直持续到 9 日 11:00(图 3, 见彩页), 导致张家界连续 12h 雨强超过  $10\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图 4), 8 日 23:00 至 9 日 11:00 降水量达 396mm(图 2a), 因而有组织的多单体风暴活动形成的“列车效应”是张家界这一特大暴雨中心形成的主要原因。之后带状回波逐渐消失, 回波范围扩大, 逐渐演变成积层混合云降水回波。

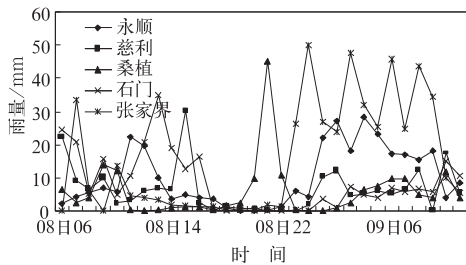


图 4 2003 年 7 月 8—9 日逐小时雨量图

### 3.1.3 混合、减弱回波阶段

9 日 11:00 后, 带状回波逐渐消失, 回波范围扩大, 又逐渐演变成 NE-SW 或 E-W 走向的积层混合性回波(图略)。宽广的层状云降水回波具有多个中尺度对流回波带(区), 强度在 35dBz 以上, 强中心值一般在 45~50dBz 之间。强中尺度对流回波带的后部常有中尺度回波增强区<sup>[9]</sup>出现; 垂直剖面图上(图略), 强中尺度对流回波带(区)内由强度均匀的回波单体组成, 大于 35dBz 的强回波在 5km 以下。回波顶整齐, 大部分为 6~8km, 少有超过 10km。11 日 02:00 后, 低空

急流随着副热带高压增强而增强, 降水北抬移出湖南。

### 3.2 速度场分析

“03.7”西风带特大暴雨过程中, 多普勒径向 PPI 图零速度线始终为 NW—SE 向, 出现一对“牛眼”速度特征, 说明过程前后一直受西风系统控制, 并且西南急流旺盛。

分析造成“列车效应”的地面与高空资料, 带状回波位于地面弱辐合线上, 中低层低空急流的左测, 切变线附近。分析 8 日 12:00 至 9 日 11:00“列车效应”造成了湘西北长时间强降水的速度回波特征。各层速度图上, 一对“牛眼”的低空急流速度特征一直维持, 强降水带位于低空急流的左测约 70km 处, 带状回波的径向图上, 偶尔出现“逆风区”、辐合线, 但持续的时间不长。

为分析强降水的中小尺度特征, 沿风向作垂直剖面。多普勒径向速度只是在雷达径向向上的投影, 实际风速大于或等于多普勒径向风速。分析单体内的速度场特征, 对流层中低层速度的大值区造成的辐合、辐散很可能是造成强降水的主要原因。

这次过程中, 强对流回波带的 PPI 图上, 沿同一直线分别作强度、多普勒径向速度及谱宽的垂直剖面图。可以清楚地看到, 多普勒速度剖面图上, 对流层中下层中速度大于  $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的中- $\gamma$  尺度“大风核”与强回波单体相对应(图 5b 与图 5c, 见彩页), 反射率强度图上 A、B、C 三个强中- $\gamma$  尺度单体, 对应速度图上也出现了三个中- $\gamma$  尺度大风核。由于大风核的存在, 在“大风核”的一侧形成辐合, 而另一侧为辐散, 因而造成中小尺度次级垂直环流。并且这些次级环流有规则的排列, 与强回波单体的位置具有很好的对应关系。当回波强度较弱, 回波顶降低, “大风核”消失(图 6b、图 6c, 见彩页)。因此这些中- $\gamma$

尺度“大风核”可能是中- $\gamma$  尺度回波单体形成与维持的主要原因,最终形成长时间的“列车效应”。

### 3.3 谱宽分析

谱宽资料虽然是多普勒天气雷达的基数据产品,但在业务实际中应用较少。谱宽是标量,使用垂直剖面比径向速度更为方便。

“03.7”过程中的剖面图上(图 5d、图 6d,见彩页),各层谱宽十分均匀,强回波带上的垂直剖面图,谱宽值为  $2\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而回波减弱后,谱宽值只有  $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。表明稳定、强盛的西南气流是强降水产生的主要原因。

## 4 小结

(1) “03.7”天气过程主要受高空西风带低槽、中低层切变线及地面弱冷空气共同影响,造成湘西北暴雨、大暴雨及特大暴雨过程。地形、下垫面对降水的增幅作用明显。

(2) “03.7”过程中雷达回波经历了初始、积层混合云发展、带状回波、积层混合云、减弱消失阶段。但回波始终由西南向东北方向移动。回波属于低质心回波。“列车效应”是造成特大暴雨的主要回波特征。

(3) 多普勒速度图上,短时出现了“逆风区”等回波特征,但中层中- $\gamma$  尺度大风核造成有组织的次级环流,可能是“列车效应”形成和维持的主要原因。

(4) 在谱宽图上,各层谱宽均匀,表明稳定、强盛的西南气流是强降水产生的主要原因。

## 参考文献

[1] 斯公望. 东亚梅雨锋暴雨研究进展[J]. 地球科学进展, 1994, 9(2): 11-17.  
[2] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.

225.  
[3] Akiyama T. Large synoptic and mesoscale variations of the Baiu front during July 1982. Part II: Frontal structure and disturbances[J]. J. Meteor. Soc. Japan, 1990, 68(5): 557-574.  
[4] Akiyama T. Large synoptic and mesoscale variations of the Baiu front during July 1982. Part III: Space-time scale and structure of frontal disturbances[J]. J. Meteor. Soc. Japan, 1990, 68(6): 705-727.  
[5] Jou J D, Deng S M. A preliminary study of convective frontal rainband during TAMEX[A]. TAMEX Scientific Workshop, preprints. 1989: 82-89.  
[6] Chen T J, Kuo Y M. The scientific results of TAMEX[C]. preprint, International Conference on Mesoscale Meteorology and TAMEX, 1991: 7-15.  
[7] 杜秉玉. 湘中地区 4—6 月对流性暴雨的雷达回波特征[J]. 南京气象学院学报, 1979, 2(1): 61-67.  
[8] 杜秉玉, 夏家虎. 梅雨期暴雨中强雷达回波的中尺度组织化[J]. 南京气象学院学报, 1983, 6(2): 222-229.  
[9] 杜秉玉. 梅雨期暴雨的雷达回波特征[J]. 南京气象学院学报. 1985, 8(3): 306-315.  
[10] 杜秉玉, 陈钟荣, 张卫青. 梅雨锋暴雨的 Doppler 雷达观测研究: 边界层中尺度涡旋系统[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(2): 201-207.  
[11] 杜秉玉, 陈钟荣, 张卫青. 梅雨锋暴雨的 Doppler 雷达观测研究: 中尺度对流回波系统的结构特征[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(1): 47-55.  
[12] 张沛源, 陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 373-378.  
[13] 黄小玉, 陈媛, 顾松山, 等. 湖南地区暴雨的分类及回波特征分析[J]. 南京气象学院学报, 2006, 26(5): 635-643.  
[14] 周雨华, 黄小玉, 黎祖贤, 等. 副高边缘暴雨的多普勒雷达回波特征[J]. 气象, 2006, 32(1): 12-17.  
[15] 黄小玉, 顾松山, 周雨华, 等. 岳阳市特大暴雨雷达产品分析及预报服务[J]. 气象, 2005, 31(3): 73-76.  
[16] 张腾飞, 张杰, 郭荣芬. 一条中尺度雨带的多普勒雷达回波特征及环境条件分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(1): 70-77.  
[17] 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.  
[18] 朱敏华, 姜有山, 周红根. 两次暴雨过程的多普勒天

- 气雷达资料对比分析[J]. 气象科学, 2005, 25(1): 71-78.
- [19] Moteki Q, Uyeda H, Masesaka T, et al. Structure and development of two merged rainbands observed over the East China Sea during X - BAIU - 99. Parts II: Meso-scale structure and build-up process of convergence in the Baiu frontal region[J]. J. Meteor. Soc. Japan, 2004, 82(1): 45-65.
- [20] Yamada H, Gang B, Reddy K I. Three-dimensional structure of fl mesoscale convective system in a baiu-frontal depression generated in the downstream region of the Yangtze River[J]. J. Meteor. Soc. Japan, 2003, 81(5): 1243-1271.
- [21] 贝耐芳, 赵思雄. 1998 年“二度梅”期间突发强降雨系统的中尺度分析[J]. 大气科学, 2002, 26(4): 526-540.
- [22] 孙建华, 张小玲, 齐琳琳, 等. 2002 年 6 月 20-24 日梅雨锋中尺度对流系统发生发展分析[J]. 气象学报, 2004, 62(4): 423-438.
- [23] 赵思雄, 陶祖钰, 孙建华, 等. 长江流域梅雨锋暴雨机理的分析研究[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 281.
- [24] 刘黎平, 阮征, 覃丹宇. 长江流域梅雨锋暴雨过程的中尺度结构个例分析[J]. 中国科学(D 辑), 2004, 34(12): 1193-1201.
- [25] 孙晶, 楼小凤, 胡志晋. 梅雨期暴雨个例模拟及其中小尺度结构特征分析研究[J]. 大气科学, 2007, 31(1): 1-18.
- [26] 叶成志, 潘志祥, 刘志雄, 等. “03.7”湘西北特大致洪暴雨的触发机制数值研究[J]. 应用气象学报, 2007, 18(4): 468-477.
- [27] 周雨华, 黄培兵, 刘兵, 等. 2003 年 7 月上旬张家界特大暴雨山洪分析[J]. 气象, 2004, 30(10): 17-22.
- [28] 郑秀云, 王建捷, 何金海, 等. 2003 年 7 月淮河流域暴雨中- $\beta$ 尺度特征的观测分析[J]. 气象, 2006, 32(1): 36-43.
- [29] 邓波, 顾清源, 罗菊芳. 攀西地区“7.7”暴雨雷达回波演变特征剖析[J]. 气象, 2007, 33(9): 64-68.
- [30] 王楠, 刘勇, 郭大梅. 用多普勒雷达资料对一次区域性暴雨的中尺度分析[J]. 气象, 2006, 33(8): 29-34.



# 黄小玉等：梅雨锋引发的“03.7”特大暴雨雷达回波分析

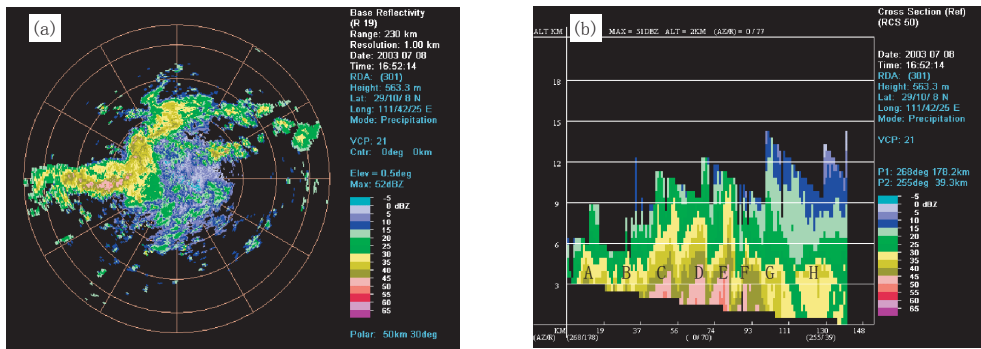


图2 2003年7月9日00:52雷达回波图

a: 0.5°PPI反射率因子, b: 垂直剖面图 (P1:268°, 178.2km, P2:255°, 393km)

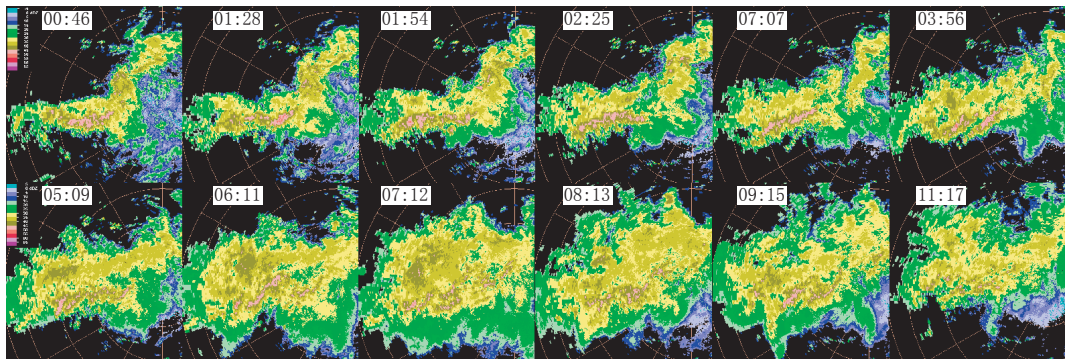


图3 2003年7月9日带状回波形成的“列车效应”(0.5°)

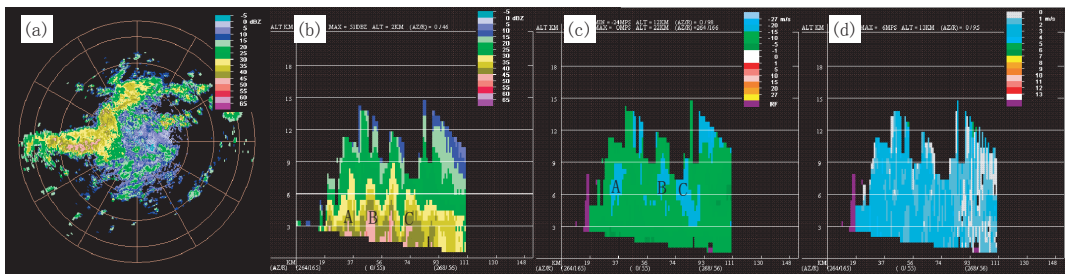


图5 2003年7月9日00:46垂直剖面图 (P1:264°, 165.8km, P2:268°, 55.9km)

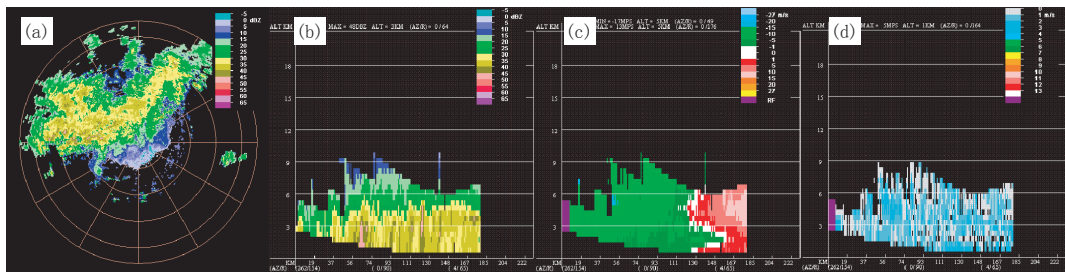


图6 2003年7月9日11:17垂直剖面图 (P1:262°, 154.5km, P2:4°, 64.1km)