

文章编号: 1000-2022(2006)05-0635-09

湖南地区暴雨的分类及回波特征分析

黄小玉^{1,2}, 陈媛², 顾松山¹, 周雨华²,
陈章法¹, 于华英¹, 夏正龙²

(1. 南京信息工程大学 电子工程系, 江苏 南京 210044; 2 湖南省气象局, 湖南 长沙 410007)

摘要: 利用 2002—2004 年 5—7 月 15 次伴有低空急流暴雨天气过程的常规观测资料, 分析了湖南汛期伴有低空急流的西风带暴雨过程。结果表明, 湖南汛期暴雨可以分成低槽暴雨和切变线暴雨两类, 切变线暴雨又可分为冷式切变线暴雨和暖式切变线暴雨; 不同类型暴雨的雷达回波结构和特征具有明显的区别。
关键词: 暴雨; 多普勒天气雷达; 分类; 回波特征
中图分类号: P458.121.1 **文献标识码:** A

Classification and Radar Echo Features of
Rain-Storms in Hunan

HUANG Xiao-yu^{1,2}, CHEN Yuan², GU Song-shan¹, ZHOU Yu-hua²,
CHEN Zhang-fa¹, YU Hua-ying¹, XIA Zheng-long²

(1. Department of Electronic and Engineering, NUIST, Nanjing 210044, China
2. Hunan Provincial Meteorological Bureau, Changsha 410007, China)

Abstract According to different weather patterns, the large-scale rain-storms accompanied with low-level jets in Hunan Province from May to July (flood season) in 2002—2004 are divided into two categories of trough and shear line rain-storms while the latter includes warm and cold shear line rainstorms. And their radar echo features are investigated. It is shown that there were different echo structures and characters in different weather pattern rain-storms.
Key words rain-storm; Doppler radar; storm classification; echo feature

0 引言

为了更好地利用雷达回波资料, 国外气象科学者从不同的角度对雷达回波进行了分类。Steiner 等^[1]和 Kessinger 等^[2]用模糊算法将雷达回波分成

晴空回波、地物杂波和降水回波; Biggerstaff 等^[3]为了提高雷达定量测量降水的精度, 将回波分成层状云降水回波和对流云降水回波。以上是根据回波的特征进行分类。
Jou 等^[4]和 Chen 等^[5]对 TAMEX (Taiwan Area

收稿日期: 2004-12-24 改回日期: 2005-10-31
基金项目: 湖南省气象局重点研究项目“高质量雷达、卫星、雨量计及闪电定位资料在定量估算降水及暴雨预报中的应用研究”
作者简介: 黄小玉 (1969-), 女, 湖南江华人, 副高级工程师, 硕士, 研究方向: 气象资料的分析应用, hxyly@126.com.

Mesoscale Experiment)期间 Doppler雷达多次加密观测获得的中尺度降水系统的分析表明,在台湾地区,梅雨期产生强降水的中尺度对流回波系统的结构特征是:强雷达反射率因子在 45 dBZ以上,中尺度回波带有扰动;回波带(区)内有新的对流单体形成,对流单体有时呈多单体风暴的演变特征;在 Doppler风场特征方面,有强风切变辐合和形变、深厚的积云对流和旋转环境。

杜秉玉等^[6-8]在 20 世纪 80 年代用常规数字天气雷达研究了湘中强对流天气和梅雨锋的雷达回波特征,结果表明:产生暴雨的中尺度对流回波系统主要有中尺度对流回波带、雷暴群(弥合型回波)和多条回波带等。杜秉玉等^[9-10]在 90 年代第一次利用多普勒天气雷达观测资料,分析了梅雨锋暴雨的边界层中尺度涡旋系统和 中尺度对流回波系统的结构和特征,发现中尺度对流回波带(区)还可以分成 3 种;提出了梅雨锋内弱低层辐合条件下的暴雨对流回波的中尺度回波增强区(MEER)概念;在 Doppler 水平风场中有明显的气旋性切变。刘洪恩^[11]利用 C 单多普勒天气雷达资料,分析了暴雨过程中的中尺度系统:低空急流、暖平流、暖切变、冷切变、逆风区的雷达回波特征。郭林等^[12]对福建的短时暴雨按天气形势进行分类,初步分析了不同天气形势下短时暴雨的雷达回波特征。

常规观测能提供各种气象要素资料,但时空分辨率低,而天气雷达能获得降水云系的回波强度、多普勒径向速度及谱宽资料,时空分辨率高,但不能提供常规气象要素。本文研究的主要目的是从天气图中找出降水影响系统,根据不同的天气形势大致确定降水云系雷达回波的结构、特征及演变;同时,利用雷达回波产品反推当时的天气形势,使常规资料和雷达资料互补,以期对湖南乃至长江中下游短时暴雨的识别及预报有一定的指导作用。

1 资料和方法

选取 2002—2004 年 5—7 月 15 次伴有低空急流暴雨天气过程的常规观测资料和雷达产品资料(基本反射率、风暴相对径向速度、反射率垂直剖面图等),重点分析了 9 次暴雨过程。9 次暴雨过程低空急流的位置、强度、走向及暴雨的分布见表 1,共有 37 个时次的高空观测、3 000 多个雷达体扫资料。

伴有低空急流暴雨过程的降水持续时间长、分布均匀,易形成成片暴雨。这 9 次过程中,雷达观测的范围内都出现了 10 站以上的暴雨。没有低空急流的暴雨过程,常在高温、高湿的条件下形成强对流性降水,降水持续时间短、降水分布不均匀。

表 1 低空急流的位置、强度、走向及暴雨分布

Table 1 Location, intensity and direction of low-level jet and the distribution of rain storms

天气过程时段	850 hPa低空急流					850 hPa影响系统	暴雨分布
	时刻	急流	位置	强度 $I/(m/s)$	走向		
2002-05-12T20:00— 13T20:00	12T20:00	无				湘北暖切	24 h 共有 39 站暴雨 (其中 11 站大暴雨)
	13T08:00	有	长沙	20	E-W	湘北暖切	
	13T20:00	有	南昌	22	NE-SW	南北向低槽	
2002-06-27T08:00— 28T20:00	27T08:00	有	芷江	18	NE-SW	长江以北暖切	06-27T08:00—28T08:00 共有 23 站暴雨 (其中 5 站大暴雨)
	27T20:00	有	南昌	16	E-W	湘北冷切	
	28T08:00	有	南昌	14	E-W	湘北冷切	
	28T20:00	无				湘北暖切	
2003-06-23T08:00— 25T08:00	23T08:00	有	长沙	20	ENE-W SW	湘西北弱冷切	23T08:00—24T08:00 湘西北 2 站暴雨
	23T20:00	有	芷江	14	ENE-W SW	湘西北风速辐合	
	24T08:00	有	芷江	20	ENE-W SW	湘北暖切	24T08:00—25T08:00 湘北 16 站暴雨 (其中 3 站大暴雨)
	24T20:00	有	长沙	14	E-W	湘北暖切	
	25T08:00	有	芷江	20	E-W	湘北暖切	
2003-06-26T08:00— 27T08:00	26T08:00	有	长沙	20	NNE-SSW	低槽	湘中、湘南共有 17 站暴雨 (其中 3 站大暴雨)
	26T20:00	有	长沙	16	NNE-SSW	低槽	
	27T08:00	有	南昌	20	ENE-W SW	湘南冷切	

续表							
天气过程	850 hPa低空急流					850 hPa影响系统	暴雨分布
	时间	急流	位置	强度 I (m /s)	走向		
2003-07-07T08: 00— 09T20: 00	07T08: 00	有	桂林	16	ENE-W SW	湘北风速辐合	07T08: 00— 08T08: 00湘西北
	07T20: 00	有	长沙	12	E-W	湘北风速辐合	7 站暴雨 (其中 2 站大暴雨)
	08T08: 00	有	芷江	20	ENE-W SW	湘西北冷切	08T08: 00— 09T08: 00湘西北
	08T20: 00	有	武汉	20	NE-SW	湘北低槽	10 站暴雨 (其中 6 站大暴雨)
	09T08: 00	有	长沙	18	ENE-W SW	湘西北暖切	08T08: 00— 09T08: 00
	09T20: 00	有	长沙	12	NE-SW	湘西北暖切	11 站暴雨 (其中 9 站大暴雨)
2004-05-11T20: 00— 12T20: 00	11T20: 00	有	长沙	14	ENE-W SW	湘西北暖切	湘中、湘南 30 站暴雨 (其中 4 站大暴雨)
	12T08: 00	有	桂林	20	ENE-W SW	湘南冷切	
	12T20: 00	有	赣州	14	NE-SW	湘南冷切	
2004-05-14T20: 00— 15T20: 00	14T20: 00	无				湘北暖切	湘中、湘南 22 站暴雨 (其中 1 站大暴雨)
	15T08: 00	有	桂林	16	NNE-SSW	湘南冷切	
	15T20: 00	无				湘南冷切	
2004-06-22T20: 00— 23T20: 00	22T20: 00	无					湘北 15 站暴雨 (其中 6 站大暴雨)
	23T08: 00	有	芷江	20	NE-SW	湘北暖切	
	23T20: 00	有	芷江	16	NNE-SSW	湘西低槽	
2004-07-17T08: 00— 20T20: 00	17T08: 00	有	芷江	20	NE-SW	省内无槽、无切变	17T20: 00— 18T20T 湘北、湘西 20 站暴雨 (其中 11 站大暴雨)
	17T20: 00	有	长沙	16	NE-SW	暖切	
	18T08: 00	有	芷江	20	NNE-SSW	湘西低槽	
	18T20: 00	有	芷江	16	NNE-SSW	湘西北暖切	18T20: 00— 19T20: 00 19 站暴雨
	19T08: 00	有	长沙	18	NNE-SSW	低槽	(其中 8 站大暴雨)
	19T20: 00	有	武汉	20	NNE-SSW	湘北风速辐合	19T20: 00— 20T20: 00
	20T08: 00	有	长沙	20	NNE-SSW	省内无槽、无切变	湘西 11 站暴雨 (其中 2 站大暴雨)
	20T20: 00	有	宜昌	18	NNE-SSW	省内无槽、无切变	

2 基于天气形势的暴雨分类

将暴雨天气过程的雷达回波资料与相对应时段的 500 hPa、700 hPa、850 hPa 及地面资料综合分析发现, 用 850 hPa 的形势对暴雨分类比较理想。图 1h、d 上都存在一条明显的南北向低槽, 在雷达回波图 (图 1a、c) 上, 与低槽对应的是一条近似南北向的回波带。图 1f、h 上都有冷式切变线, 与之对应的是东西向的带状回波 (图 1a、g)。图 1j 切变位于湘北, 属于南移类型, 图 1i 是北抬型切变线, 尽管切变线的移动方向不同, 但都属于暖式切变线, 图 1i 和图 1k 属于同一回波类型。分析其他几次暴雨过程, 也能得到类似的结果。以上分析表明: 在 850 hPa 天气图上, 低槽、暖式切变线和冷式切变线所产生的暴雨的回波特征大不相同, 因此认为, 基于 850 hPa 的影响系统对暴雨的回波分类比较合理。

按 850 hPa 形势将暴雨过程分成两类: 低槽暴雨、切变线暴雨, 其中切变线暴雨又分为暖式切变线暴雨和冷式切变线暴雨, 暖式切变线暴雨又分为北抬型暴雨和南移型暴雨。

由于低空急流的位置、强度、走向的变化及 850 hPa 西南低涡的位置不同, 850 hPa 图上影响湖南的切变线、低槽会相互转化, 因此一次暴雨过程并不一定始终属于同一暴雨类型。据表 1 统计, 暖式切变线暴雨次数最多, 为 14 次, 冷式切变线暴雨和低槽暴雨次数较少, 分别为 8 次和 7 次。

3 暴雨的雷达回波特征

各类暴雨回波的基本特征见表 2。

3.1 低槽暴雨的回波结构和特征

分析 500 多个体扫的回波资料 (图 2a-c), 发现低槽暴雨具有以下回波结构和特征:

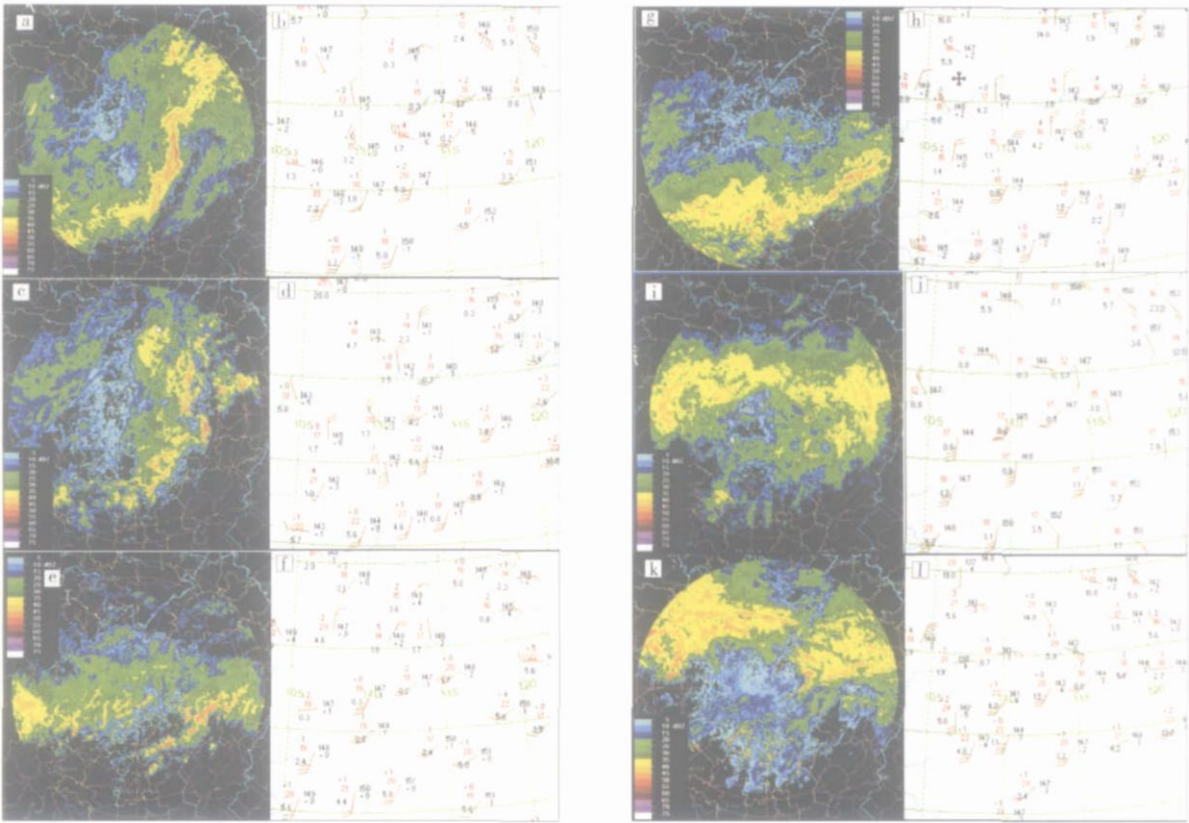


图 1 0.5°仰角的雷达反射率因子(a c e g i k)和 850 hPa天气图(b d f h j l)

a 2002-05-13T20 01 b 2002-05-13T20 00 c 2003-06-26T19 59 d 2003-06-26T20 00
e f 2002-06-28T08 00 g 2004-05-12T08 05 h 2004-05-12T08 00
i j 2002-05-13T08 00 k 2003-06-24T20 05 l 2003-06-24T20 00

Fig 1 Reflectivity of 0.5° elevation(a c e g i k) and 850 hPa synoptic charts(h d f h j l)

a 20 01 on May 13, 2002 h 20 00 on May 13, 2002 c 19 59 on June 26, 2003 d 20 00 on June 26, 2003
e f 08 00 on June 28, 2002 g 08 05 on May 12, 2004 h 08 00 on May 12, 2004 i j 08 00 on May 13, 2002
k 20 05 on June 24, 2003 l 20 00 on June 24, 2003

表 2 各类暴雨回波的基本特征

Table 2 Echo characteristics of various rain storms

	低槽暴雨	冷式切变线暴雨	暖式切变线暴雨
PPI特征	S-N 或 NNE-SSW 向的带状回波; 强中尺度对流回波带的强度大于 35 dBZ, 强中心在 50 dBZ以上	E-W 或 ENE-W SW 向的积层混合性带状回波 或弥合型回波;中间常有一条或多条 强度大于 35 dBZ的强中尺度对流回波带, 较低槽暴雨的强度弱,回波范围大	NE-SW 或 EW 走向的 积层混合性带状回波, 有时为块状,回波均匀
RHI特征	有时单体具有“穹窿”; 回波顶参差不齐	单体回波顶参差不齐, 但回波顶平均高度较低槽暴雨低	单体回波顶较整齐
回波演变	回波向东移动;移速快	回波主要以南移为主	移动缓慢
对应天气现象	强降水、雷暴、 雷雨大风等强对流天气	地面常伴有雷阵雨天气	长时间强降水, 有时也伴有雷阵雨
对应降水量级	短时降水强度大,降水分布不均匀, 不能形成成片暴雨	降水效率较高, 能造成成片的暴雨和大暴雨	降水效率最高, 常造成成片的暴雨和大暴雨

- (1)回波常为 S-N 或 NNE-SSW 向的带状回波,回波的前沿有一条强度大于 35 dBZ 的强中尺度对流回波带,强中心在 50 dBZ 以上,常有雷暴天气出现,回波沿偏东方向快速移动。
- (2)强中尺度对流带上由多个强度大于 35 dBZ

的对流单体组成,各单体的强度区别很大,一般单体的强中心在 5 km 以下,回波中心值为 40 dBZ 左右,回波顶高为 8~10 km,但也有少数强对流单体发展旺盛,强中心大于 50 dBZ,对流层中下层存在“穹窿”,回波顶高达到 14 km 左右,易形成雷雨大风等

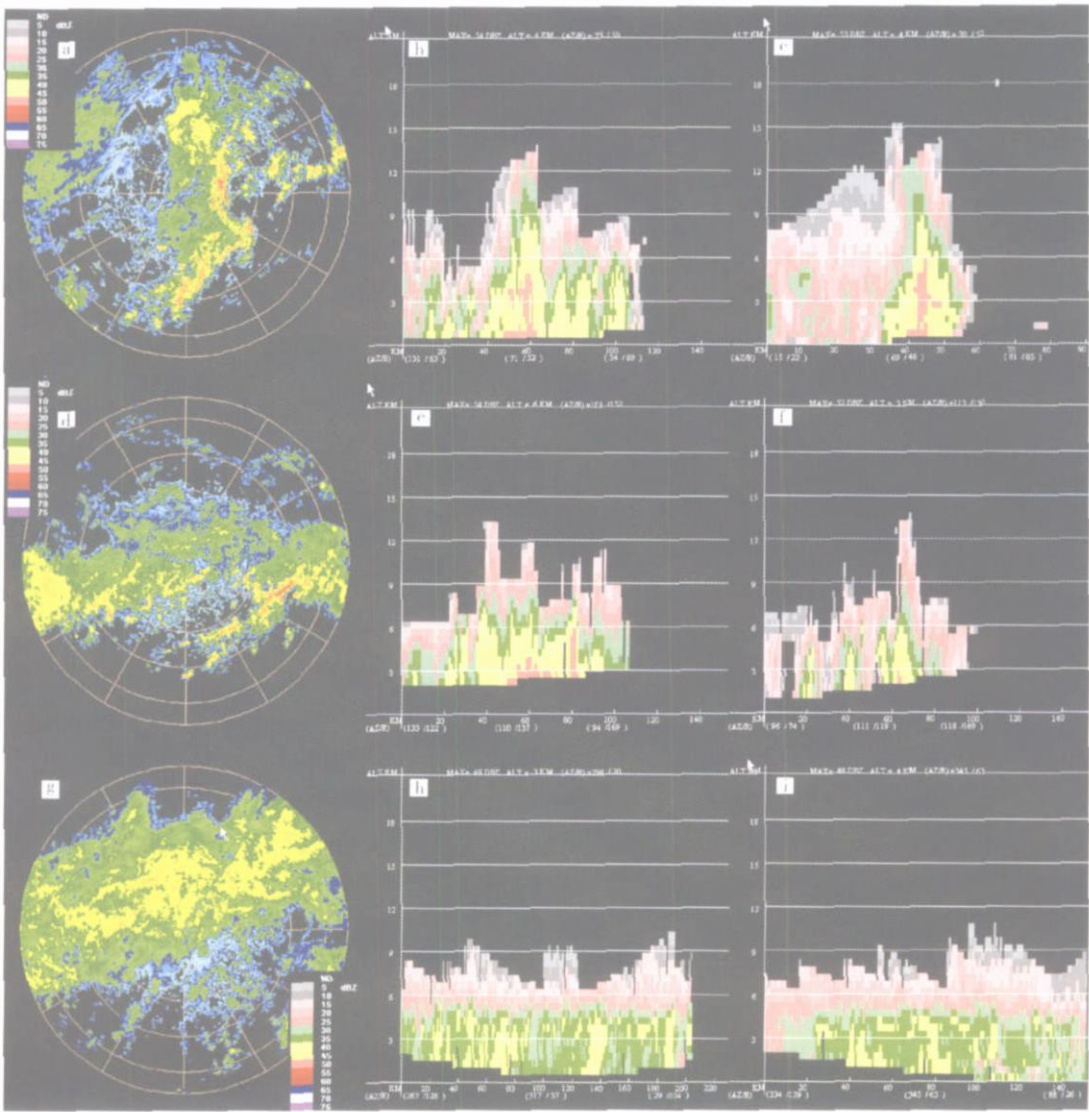


图 2 2003-06-26T19:13(a), 2002-06-28T08:17(d), 2002-05-13T12:16(g) 的反射率图(仰角 0.5°) 及相应与反射率图中强中尺度对流回波带走向一致(h P_1 (131°, 63 km), P_2 (34°, 89 km); e P_1 (133°, 122 km), P_2 (96°, 169 km); h P_1 (267°, 128 km), P_2 (29°, 104 km)) 和垂直(c P_1 (15°, 22 km), P_2 (81°, 85 km); f P_1 (96°, 74 km), P_2 (118°, 169 km); i P_1 (334°, 139 km), P_2 (88°, 26 km)) 的剖面图

Fig 2 Distributions of reflectivity(0.5° elevation) at 19:13 on June 26, 2003(a), 08:17 on June 28, 2002(d), and 12:16 on May 13, 2002(g), and corresponding vertical cross-sections of reflectivity(h, e, h) along the intense mesoscale convection echo band shown in a(P_1 (131°, 63 km), P_2 (34°, 89 km)), d(P_1 (133°, 122 km), P_2 (96°, 169 km)), g(P_1 (267°, 128 km), P_2 (29°, 104 km)) and vertical cross-sections of reflectivity(c, f, i) across the intense mesoscale convection echo band shown in a(P_1 (15°, 22 km), P_2 (81°, 85 km)), d(P_1 (96°, 74 km), P_2 (118°, 169 km)), g(P_1 (334°, 139 km), P_2 (88°, 26 km))

强对流天气。

(3)与强中尺度对流带垂直的区域由多个单体所组成,但只有强中尺度对流带上回波单体最强,在回波移动方向的后部是一些强度很弱的层状云降水回波,回波移动方向的前部回波梯度较大,而其后方回波梯度较小。

(4)图 3a中雷达观测范围普降中到大雨,降水量大于 50 mm 有 10 站,其中 3 站大于 100 mm,暴雨都出现在测站的南部。26 日 08—20 时的降水量图(图略)上没有出现一站的暴雨,而在 20 时以后,850 hPa 图上由低槽转为冷式切变线。26 日 20 时—27 日 08 时的降水图(图略)上,8 站的降水量超过 50 mm,其中 3 站的降水量大于 100 mm。从 2002 年 5 月 12 日 20 时—13 日 20 时的雨量图(图 3c)上也可以看出,雷达南侧的降水明显小于北侧的降水,湘北是暖式切变线降水,而湘南是低槽降水。

综合分析可见:尽管低槽暴雨的回波强度高,对流旺盛,短时雨强大,也易形成雷雨大风等强对流天气,但是中尺度对流回波带的宽度窄,移动速度快,降水不均匀,总降水量不大,难以形成成片暴雨。

3 2 冷式切变线暴雨的回波结构和特征

冷式切变线暴雨过程共有 600 个多个体扫资料(图 2d-f)。冷式切变线暴雨具有以下回波结构和特征:

(1)回波为 E-W 或 ENE-W SW 向的积层混合性带状回波或弥合型回波,中间常有一条或多条强度大于 35 dBZ 的强中尺度对流回波带,也常出现 50 dBZ 以上的强中心,但较低槽暴雨的对流强度

弱,回波范围大。回波单体向偏东或东北方向移动,但回波带总体向东南方向移动。回波的移动速度与西南急流的风速大小、后侧的偏北风大小及地形有很大的关系。2002 年 6 月 27 日 20 时—28 日 20 时的冷式切变线暴雨过程在雷达北部持续的时间比南部的时间长,而 2003 年 6 月 26 日 20 时—27 日 08 时的冷式切变线暴雨过程,由于低空急流及南岭山脉的阻挡作用,强降水在湘南持续了 9 h 出现了成片的暴雨和大暴雨。

(2)强中尺度对流回波带上的回波结构和特征与低槽暴雨的结构类似,同样是由多个对流单体组成,大于 35 dBZ 的强回波在 5 km 以下,回波顶高参差不齐,强对流的高度和强度明显小于低槽暴雨,在最强单体的中低层没有“穹窿”,地面常伴有雷阵雨天气。

(3)与强中尺度对流回波带相垂直的南北区域,同样由强度不同的对流单体组成,因此常可以观测到强度大小不一的多条强中尺度对流回波带。

(4)图 3b中共有 8 站暴雨,3 站大暴雨。冷式切变线回波带降水效率较高,能造成成片的暴雨和大暴雨。

3 3 暖式切变线暴雨的回波结构和特征

5—7 月暖式切变线暴雨过程较多,共有 1 200 个体扫资料。北抬型和南压型暴雨只是移动方向不同,其回波的结构和特征基本相似(图 2g-h):

(1)回波为 NE-SW 或 E-W 走向的积层混合性带状回波,有时为块状。宽广的层状云降水回波区内有多个中尺度对流回波带(区),强度在 35 dBZ 以上,强中心值一般小于 50 dBZ,在强中尺度对流

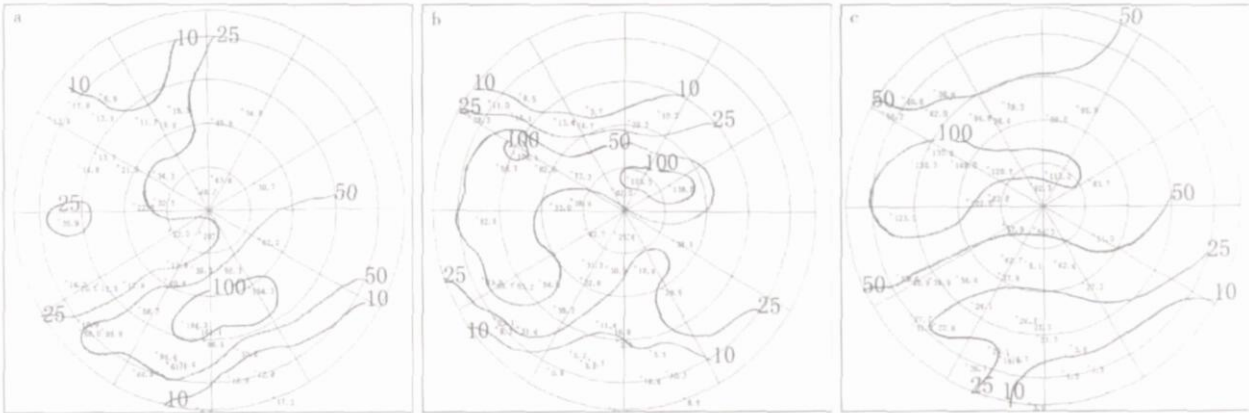


图 3 24 h 雨量

a 2003-06-26T08—27T08 b 2002-06-27T20—28T20 c 2002-05-12T20—13T20

Fig 3 24-hour precipitation

a 08 00 26 h—08 00 27 th June 2003 b 20 00 27 th—20 00 28 th June 2002 c 20 00 12 th—20 00 13 th M ay 2002

回波带的后部常有中尺度回波增强区^[10]。暖式切变线暴雨的移动和副热带高压、低空急流有很大的关系: 6月中旬以前, 副热带高压脊线位置偏南, 低空急流随副热带高压减弱而减弱, 降水回波缓慢向东南移动; 6月中旬以后, 副热带高压脊线位置偏北, 低空急流随着副热带高压增强而增强, 降水北抬。

(2)在强中尺度对流回波带(区)内由强度较均匀的回波单体组成, 大于 35 dBZ 的强回波在 5 km 以下。回波顶较整齐, 大部分在 6~8 km, 少有超过 10 km。与低槽和冷式切变线暴雨相比, 对流强度最弱, 有时也伴有雷阵雨天气, 但很少出现强雷暴天气。

(3)与低槽和冷式切变线暴雨不同, 与强中尺度对流回波带(区)相垂直的区域同样具有强中尺度对流回波带(区)相同的回波结构和特征。说明在强中尺度对流回波带(区)中有许多结构紧密、强度相同的对流单体。

(4)无论是北抬型或南移型暴雨, 由于其范围广, 回波均匀, 移动缓慢, 降水效率最高, 是导致洪涝灾害的主要暴雨过程。例如 2002 年 5 月 12 日 20 时—13 日 20 时, 24 h 降水量在湘中以北 18 站大于 50 mm, 其中 7 站大于 100 mm(图 3c), 从每时的雨量实况来看, 降水主要在 13 日 14 时以前, 即暖式切变线影响的时段。其他几次过程也同样出现了成片的暴雨和大暴雨。

4 多普勒径向速度特征

根据湖南 3 a 来数十次暴雨过程的每个体扫的多普勒速度图分析发现, 对于长沙、常德雷达, 综合应用 0 5°、2 4°、4 3° 3 个仰角的风暴相对平均径向速度 PPI 图, 有利于分析暴雨的中尺度天气系统及暴雨的移向和移速, 因为 0 5°(50~100 km 范围内)仰角的 PPI 图所在的高度为对流层中下层, 有利于分析中尺度对流辐合线、逆风区^[13]、低空急流、冷暖平流等系统; 2 4°(50~100 km 范围内)仰角的 PPI 图上基本上为对流层中层所在的高度, 可以用来确定对流层中层的风向和风速, 对回波演变预报有重要的指导作用; 4 3°(50~100 km 范围内)仰角的图上为对流层高层的高度, 可以确定高空风的演变情况。

(1)低槽暴雨的多普勒径向速度特征

低槽暴雨过程主要具有以下速度特征(图 4): 与强中尺度对流回波带相对应的区域, 在低层

(0 5°)常有逆风区和气旋性辐合线, 对流十分旺盛; 而在中层(2 4°)0 速度线常为南北走向, 表明中层为偏西风, 回波向东移动, 风速越大, 移动速度越快; 在 4 km 以上的高度存在风速大于 $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、面积十几到几百 km^2 的大风区域, 定义其为大风核。根据大量的观测事实, 它与暴雨有很好的对应关系, 在高层(4 km 以上), 与强中尺度对流回波带相对应的区域有大风核出现, 大风核能造成强烈的辐散, 高空的抽吸作用也有利于对流加强和维持。

(2)冷式切变线暴雨的多普勒径向速度特征

冷式切变线暴雨(图 5)出现在雷达的北侧时, 低层(0 5°)速度图上常为明显的冷锋回波特征, 即 0 速度线出现近 90°的折角, 在锋面附近常有逆风区出现; 当强中尺度回波带压过雷达站时, 0 速度线为反“S”型, 即冷平流。在中层(2 4°)0 速度线常为 SE-NW 走向, 高层常有大风核存在。

(3)暖式切变线暴雨的多普勒径向速度特征

暖式切变线暴雨(图 6)主要是在稳定的暖平流环境中, 由水平、垂直方向辐合辐散不很强的中尺度系统(因为在强对流天气过程中常有中气旋辐合)直接造成。切变线暴雨的速度场具有以下特征: 0 速度区常表现为“S”型, 为稳定的暖平流降水; 切变线暴雨的速度图上常伴有一对“牛眼”的低空急流, 暴雨主要出现在正负速度中心连线的左侧、速度梯度最大的地方, 正负极值中心如果沿径向发展加强, 降水回波北抬速度加快; 正负速度中心如果沿任意方位发展, 回波就合并加强。与另两种暴雨相比, 切变线暴雨的速度图上也常能分析出逆风区, 但出现的频率较少, 中层 0 速度线一般为 SE-NW 向, 高层也常出现大风核。

5 结论

(1)按 850 hPa 的形势将伴有低空急流的西风带暴雨分成低槽暴雨和切变线暴雨, 其中切变线暴雨又分成冷式切变线暴雨和暖式切变线暴雨。暖式切变线暴雨分为北抬型和南移型暴雨。

(2)低槽暴雨具有 S-N 或 NNE-SSW 向较窄的对流回波带特征, 快速向偏东方向移动, 能造成短时雷雨大风、暴雨等强对流天气; 冷式切变线暴雨一般为 NE-SW 或 E-W 向的积层混合性带状回波, 一般向东南方向移动, 在强中尺度对流回波带上常伴有雷阵雨天气; 暖式切变线暴雨常为大范围的积层性混合性带状或块状回波, 强中心值较前两类暴雨小, 但回波均匀、范围大, 降水效率最高。

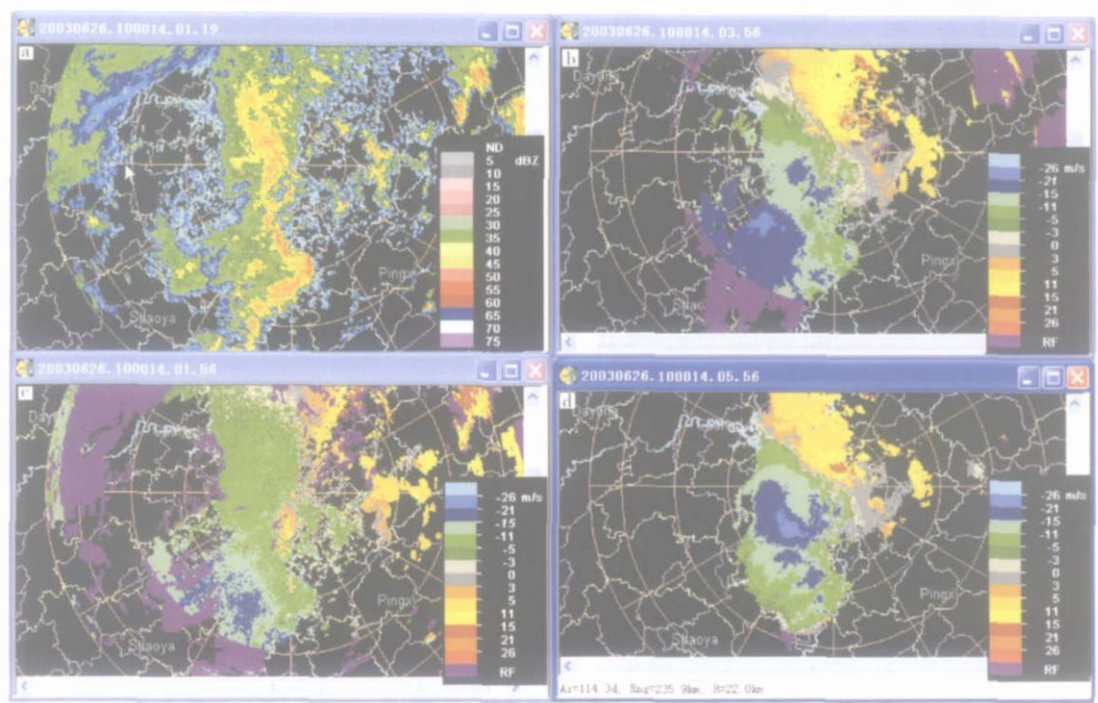


图 4 2003年 6月 26日 18时 00分反射率 (α 0.5°) 及分别为 0.5° (b)、 2.4° (c)和 4.3° (d)仰角的风暴相对平均径向速度图

Fig 4 Reflectivity of radar echo (α 0.5° elevation) and mean radial velocity relative to the storm on 0.5° (b), 2.4° (c) and 4.3° (d) elevation at 18 00 on June 26, 2003

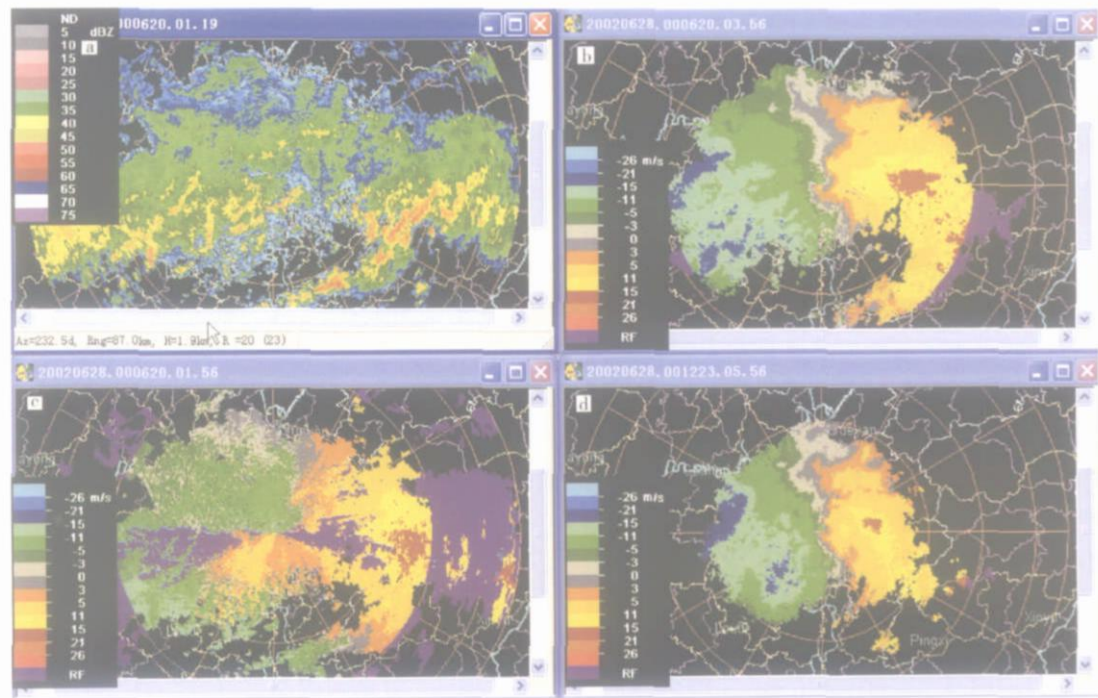


图 5 2002年 6月 28日 08时 06分反射率 (α 0.5°) 及分别为 0.5° (b)、 2.4° (c)和 4.3° (d)仰角的风暴相对平均径向速度图

Fig 5 Reflectivity of radar echo (α 0.5° elevation) and mean radial velocity relative to the storm on 0.5° (b), 2.4° (c) and 4.3° (d) elevation at 08 06 on June 28, 2002

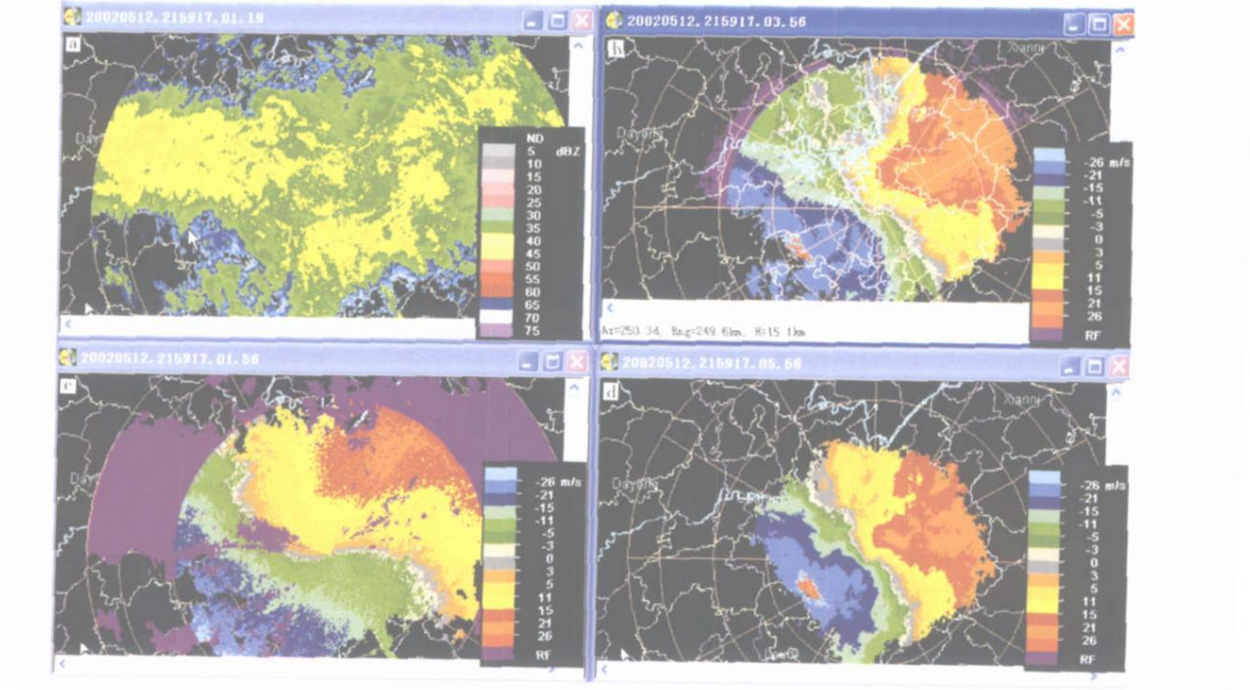


图 6 2002 年 5 月 13 日 05 时 59 分反射率 (a 0.5°) 及分别为 0.5° (b)、2.4° (c) 和 4.3° (d) 仰角的风暴相对平均径向速度图

Fig 6 Reflectivity of radar echo (a 0.5° elevation) and mean radial velocity relative to the storm on 0.5° (b), 2.4° (c) and 4.3° (d) elevation at 05:59 on May 13 2002

(3)在速度图上,低槽暴雨常与中尺度辐合线或逆风区相对应;冷式切变线暴雨出现在雷达的北侧时,常表现为冷锋回波特征,在南侧为冷平流降水;暖式切变线暴雨在低层为暖平流,在高层主要表现为速度区的合并。

参考文献:

[1] SteinerM, Smith JA Use of three-dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of non-precipitating echoes in radar data[J]. J Atmos Oceanic Technol 2002, 19(5): 673-686.

[2] Kessinger C, Ellis S, Van Andel J The radar echo classifier: A fuzzy logic algorithm for the WSR-88D [R]. Preprints-CD, 3rd Conference on Artificial Applications to the Environmental Science, American Meteorological Society, 2003: 9-13.

[3] Biggerstaff M, Listman S A An improved scheme for convective / stratiform echo classification using radar reflectivity [J]. J Appl Meteor 2000, 39(12): 2129-2150.

[4] Jou JD, Deng SM. A preliminary study of convective frontal rain-band during TAM EX [M]. TAM EX Scientific Workshop pre-prints 1989: 82-89.

[5] Chen T, J Kuo Y M. The scientific results ofTAM EX[M]. International Conference on Mesoscale Meteorology and TAM EX, preprint 1991: 7-15

[6] 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.

[7] 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

[8] 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

[9] 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

[10] 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.

[11] 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, 2002, 27(12): 17-22

[12] 郭林, 陈礼斌, 施碧霞, 等. 闽南地区短时区域暴雨的天气及多普勒雷达资料概念模型 [J]. 气象, 2003, 29(5): 41-45.

[13] 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.