

副高边缘暴雨的多普勒雷达回波特征

周雨华 黄小玉 黎祖贤 吴贤云 夏正龙

(湖南省气象台, 长沙 410007)

提 要: 利用常规观测资料和多普勒雷达探测资料, 对2003~2004年湖南省4次副高边缘暴雨的天气形势和雷达回波特征进行了分析研究。结果表明: 4次暴雨过程的副高位置适当, 高空有低槽, 中低层有低空急流和低涡切变线, 地面上有冷锋。在基本反射率图上, 低槽暴雨有S—N向的窄带回波特征、冷式切变线暴雨有准W—E向的积层回波特征、暖式切变线有NE—SW向的积层回波特征, 但每一次暴雨过程不尽相同。在多普勒速度图上常出现低空急流、冷暖平流、冷锋、逆风区以及高层大风核等特征, 并常是几种特征同时出现, 有利于强降水产生。

关键词: 副高边缘暴雨 影响天气系统 多普勒雷达回波特征

Analysis of Doppler Radar Echo Feature of Heavy Rain Events at the Edge of West Pacific Subtropical High

Zhou Yuhua Huang Xiaoyu Li Zuxian Wu Xianyun Xia Zhenglong

(Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410007)

Abstract: Based on the routine observation data and the Doppler weather radar data, the synoptic patterns and radar echo features of four heavy rainfall events at the edge of western Pacific subtropical high in Hunan from 2003 to 2004 are analyzed. It shows that the position of the western Pacific subtropical high, the upper-trough, the southwest jet stream, low vortex, shear line and cold front in surface are responsible for precipitation. In base reflectivity picture, the heavy rainfall of warm shear line, the heavy rainfall of cold shear line and heavy rainfall of trough are characteristic by narrow band echo feature from south to north, cumulostratus echo feature from west to east approximately and cumulostratus echo feature

from northeast to southwest respectively. In Doppler radial velocity picture, there are low-level jet, cold (warm) advection, cold front, adverse wind region, the upper strong wind core feature and so on. When several features appear at the same time, the heavy rainfall event will likely appear.

Key Words: heavy rainfall event the edge of western Pacific subtropical high radar echo

引言

暴雨是出现在一定的大尺度环流形势下,由各种尺度天气系统相互作用的产物。对于各种天气过程的天气雷达回波特征,国内气象专家进行了深入细致的研究,并取得了可喜的成果。杜秉玉等人80年代研究了湘中强对流天气和梅雨锋暴雨的雷达回波特征^[1~3];在90年代又利用多普勒天气雷达探测资料,研究了梅雨锋暴雨的边界层中尺度涡旋系统和中小尺度对流回波系统的结构和特征^[4,5]。刘洪恩利用C波段多普勒天气雷达资料,分析了暴雨过程中的中尺度系统的雷达回波特征^[6]。夏文梅等人分析研究了低空急流的单多普勒速度特征^[7]。郭林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^[8]。

副高边缘的暴雨预报是天气预报服务中疑难问题之一。为了进一步揭示和认识这类暴雨的活动规律,本文针对2003~2004年湖南省4次强度最大的副高边缘暴雨天气过程,重点分析雷达回波探测资料,探讨副高边缘暴雨的雷达回波特征。

1 4次副高边缘暴雨过程的环流形势特征

选取了2003年6月23~27日、7月7~10日和2004年6月23~24日、7月17~21日共4次副高边缘的暴雨过程,分析它们的环流形势和天气过程特征。其共同特

点概述如下:

(1) 在110~120°E,西太平洋副热带高压脊线位于19~22°N,西脊点在105~115°E。处于副高边缘地区的湖南省出现暴雨。

(2) 地面图上均有冷锋活动。在2003年7月7~10日和2004年6月23~24日两次过程中,南下的冷锋在湖南境内产生锋生,雨势增强。

(3) 500hPa上在高原东部有西风槽移出,相应700hPa和850hPa上有低涡切变线,其南侧均建立一支低空西南急流,急流中心位于115°E以西。

不同之处:

(1) 2003年7月7~10日的过程副高最强,湘西北处于副高边缘地区,故降水范围小,暴雨和大暴雨局限于湘西北几个地、县。2003年6月24~27日副高有一次减弱过程,因此这是一次从北向南发展的全省性暴雨过程。其余两次暴雨的范围介于以上两次过程之间。

(2) 2003年7月7~10日和2004年6月23~24日的过程,副高较为稳定,降水影响天气系统停滞少动,则雨带稳定、雨强大。

(3) 4次暴雨过程虽都有低空西南急流伴随,但急流强度和走向不同。2003年两次过程和2004年6月23~24日过程低空急流轴位于芷江到长沙一线,强降水主要分布在它们以北地区。2004年7月17~21日的暴雨过程低空急流接近N—S向,急流轴从桂林、长沙到汉口一线,强降雨带主要在湘西,与前3次暴雨过程明显不同。值得一提

的是, 2003 年 7 月 7~10 日暴雨过程的低空西南急流最强, 水汽辐合亦最强, 张家界 7 月 9 日降雨量达 455.5mm, 7~9 日三天的总降雨量 619.7mm, 均创湖南省降水纪录。

2 影响天气系统的多普勒雷达回波特征

2.1 强度回波特征 (PPI 和 RHI)

据大量的观测事实发现, 850hPa 上的影响天气系统与降水回波的形状、特征有很好的对应关系。暖式切变线、冷式切变线和低槽所对应的回波特征各不相同。上述 4 次暴雨天气过程中暴雨的影响天气系统和对应暴雨时段如表 1 所示。暖式切变线产生暴雨最多, 冷式切变线暴雨其次, 低槽暴雨最少。

三类暴雨型的多普勒雷达回波特征分别

是:

2.1.1 暖式切变线降水回波结构和特征

回波大致呈 NE—SW 或 W—E 走向的积层混合性带状回波, 有时也为块状 (图 1a, 见彩色附页)。在宽广的层状云降水回波中具有多个中尺度对流回波带, 强度在 35dBz 以上, 强中心值一般小于 50dBz, 在强中尺度对流回波带的后部常有中尺度回波增强区出现。回波顶整齐, 大部分在 6~8km, 少数超过 10km。暖式切变线暴雨的移动和副热带高压、低空急流有很大关系。在 6 月中旬以前, 副高脊线位置偏南, 低空急流随着暴雨开始后逐渐减弱, 降水回波缓慢向南向东移动; 6 月中旬以后副高脊线位置偏北, 低空急流随着副热带高压的增强而增强, 降水北抬, 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, 降水率最高, 是导致洪涝灾害的主要暴雨型。

表 1 850hPa 暴雨影响天气系统和暴雨时段统计

影响系统	暖式切变线	冷式切变线	低槽
暴雨时段	2003 年 6 月 24 日 08 时~25 日 08 时	2004 年 7 月 19 日 15~20 时	2004 年 7 月 17 日 08~21 时
	2003 年 7 月 7 日 20 时~8 日 08 时	2003 年 7 月 8 日 08 时~9 日 08 时	2003 年 6 月 26 日 08~20 时
	2003 年 7 月 9 日 08 时~10 日 08 时	2003 年 6 月 26 日 20 时~27 日 08 时	2004 年 7 月 18 日 15 时~19 日 15 时
	2004 年 6 月 23 日 05~15 时		

2.1.2 冷式切变线降水回波结构和特征

在 PPI 图 (图 1b, 见彩色附页) 上, 回波为 W—E 向或 ENE—WSW 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 35dBz 的强中尺度对流回波带, 也常出现 50dBz 以上的强中心, 但较低槽暴雨的对流强度弱, 回波的范围大。回波顶高参差不齐。各回波单体向偏东或东北方向移动, 但在回波带的东南侧不断有新的回波单体生成, 而在其西北侧有单体消亡, 因此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

偏北风的大小及地形有很大关系。例如在 2003 年 6 月 26 日 20 时至 27 日 08 时的冷式切变线暴雨过程中, 由于低空急流强和南岭山脉的阻挡作用, 暴雨和大暴雨在湘南持续了 9 个小时。

2.1.3 低槽降水回波结构和特征

在基本反射率 PPI 图 (图 1c, 见彩色附页) 上, 回波呈南北向的带状回波, 在回波的前沿有一条强度大于 35dBz 的强中尺度对流回波带, 强中心在 50dBz 以上, 一般单体的强中心在 5km 以下, 回波顶高在 8~10km, 个别单体在对流层中下层存在“穹

隆”和回波墙,在地面常有雷暴天气出现,回波向偏东方向移动,速度很快,移速每小时 $50\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右。这种类型的降水强度最大。

2.2 径向速度回波特征

在副高边缘暴雨过程的多普勒雷达径向

速度图上可清楚分析出低空急流、冷锋、气旋性辐合线等暴雨影响天气系统以及逆风区, 4km 以上的“大风核”等暴雨典型的回波特征,可了解冷暖平流与暴雨落区的关系和影响天气系统有利配置对于降水所起的增幅作用。4 次暴雨过程速度图上的主要影响系统和回波特征见表 2。

表 2 4 次暴雨过程速度图上的主要影响系统和回波特征

天气过程	主要影响系统及回波特征
2003 年 6 月 24 日 08 时~27 日 08 时	低空急流、逆风区、气旋性辐合线、冷锋、大风核
2003 年 7 月 7 日 08 时~9 日 20 时	低空急流、逆风区、大风核
2004 年 6 月 22 日 20 时~23 日 20 时	低空急流、气旋性辐合线、逆风区、大风核
2004 年 7 月 17 日 20 时~20 日 08 时	低空急流、逆风区、大风核

2.2.1 低空急流

在 4 次暴雨过程中的多普勒速度图、相对风暴径向速度图以及 VAD 风廓线图上,当低空急流位于雷达站的西北侧,在多普勒速度、相对风暴径向速度 PPI 图上常观测不到一对“牛眼”状的低空急流多普勒速度特征,由于强降水常出现在低空急流轴的左侧,在雷达附近少有的降水粒子,缺少观测的载体,但有时当低空急流离雷达站较近时,则可观测到低空急流的回波特征。当低空急流轴穿过雷达测站时,一对类似“牛眼”的速度特征关于圆点对称,在雷达观测的低仰角 (0.5°) 的速度图上,风向随高度顺转,零速度线呈“S”型,强降水出现在雷达站的西部和北部的湘西、湘北。当低空急流位于雷达站的东南侧,在速度图上雷达站北部常有冷平流,在低仰角的速度图上为反“S”型,在雷达站东南部有一条 SE—NE 向的零速度线,在其两侧有一对“牛眼”速度区,其中连线即为低空急流轴线,强降水出现在轴线左侧、即雷达站南侧。在 4 次暴雨过程中,除 2003 年 6 月 26 日 20 时低空急流逐渐南撤减弱、零速度线呈反“S”型,为冷平流外,其它过程的低空急

流逐渐加强,降水北抬后逐渐移出湖南省,过程结束。表明在 6~7 月副高边缘的暴雨过程是以副高加强、中低层急流北抬、强降雨自南向北发展为主要演变过程。

2.2.2 冷锋

在 4 次暴雨天气过程中地面图上与暴雨相伴的有冷锋或静止锋。在多普勒速度图上能显示冷锋的速度特征,仅强度和位置有所变化(图 2,见彩色附页)。当冷锋位于雷达站西北侧并刚过雷达站时,零速度线为一折角,但总体上呈“S”型,即为暖平流。特征比较明显的时段有 2003 年 6 月 24 日 23 时至 25 日 02 时、2004 年 7 月 17 日 19~21 时、2004 年 7 月 20 日 03~06 时即为此特征。当冷锋南压过雷达站时,其速度特征比较复杂,在零速度线的南段有一明显折角。零速度线北段常为反“S”型冷平流,如 2003 年 6 月 26 日 21 时至 27 日 04 时,多普勒速度图上冷锋该特征最为显著。

2.2.3 逆风区

逆风区与暴雨的关系,张沛源等^[9]进行了较为深入的研究。逆风区出现 1 小时后一般都有短时暴雨出现,常能观测到雷阵雨天气。此 4 次暴雨过程中都出现了逆风区,持

续时间十几分钟到几小时。逆风区的高度在不同的天气过程中有较大差异,最低为1~2km,有时在6km。如2003年7月8日20时至9日08时,0.5°、2.4°、4.3°三层的风暴相对平均径向速度图都出现了逆风区(图3,见彩色附页),并维持了十几个小时。

2.2.4 高层大风核特征

在4km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 的大风区域定义为大风核,它与暴雨有很好的对应关系。据此,分析4次暴雨过程的多普勒速度图发现与暴雨对应区域在4km以上高度存在“大风核”。高层大风核出现的频率比逆风锋区大得多,每次暴雨过程都有大风核的速度回波特征。图4(见彩色附页)是高层大风核一实例,与强降水回波带对应的速度图上,在低层(仰角为0.5°)不能分析中小尺度天气系统,而在高层(仰角为2.4°、4.3°)却存在与强降水回波带走向一致的大风核,2003年7月8日20时至9日08时张家界的特大暴雨过程除了有逆风区外,张家界上空始终持续有大风核。大风核能形成强烈的风速辐散、辐合,高空抽吸作用有利于中低空气流辐合上升,强降水持续。

2.2.5 气旋性辐合线

在回波强度图上为NE—SW向的窄带回波时,对应多普勒速度图上常为一条NE—SW向零速度线,靠近雷达一侧为正速度区,远离雷达站为负速度区,正负速度中心相距几十至几百km,与中 γ 尺度辐合性气旋的正负速度中心位置与强度有很大区别,这条零速度线即为中尺度气旋性辐合线,属于中 α 尺度系统,分别出现在2003年6月24日08时至27日08时和2004年6月22日20时至23日20时暴雨过程中。

总之,4次副高边缘的暴雨通常是多种尺度天气系统共同影响的结果,均出现了低空急流和逆风区,逆风区在低空急流的左

侧;2003年6月26日的暴雨过程中,大风核与低空急流并存,低空急流带来丰沛水汽及形成较大垂直风切变,高层大风核造成高空气流的强辐散。2003年7月8日20时至9日20时的强暴雨是由低空急流、大风核、逆风区共同作用所致,2003年7月8日20时至9日8时的12小时降水量高达349mm、24小时日降水量达455.5mm,均破历史纪录(图5,见彩色附页)。

3 小结

(1)在4次副高边缘暴雨天气形势图上,110~120°E副高脊线位于19~22°N;高空有低槽,中低层有低空急流、低涡切变线、地面有冷锋,在这些天气系统的共同作用下产生强降雨。

(2)4次暴雨过程在基本反射率图上,低槽暴雨显示南北向的窄带回波特征、冷式切变线暴雨为准东西向的积层回波特征,暖式切变线为NE—SW向的积层回波特征,每一次暴雨过程不尽相同。其中低槽暴雨的雨强最强,常伴有雷雨大风等强对流天气;冷式切变线暴雨以雷阵雨天气为主;暖式切变线暴雨频次最高,回波强度均匀、范围广,常出现成片暴雨和大暴雨。

(3)在多普勒速度图上,常出现的天气系统是低空急流、暖平流、冷锋、逆风区及高层大风核等。暴雨的产生经常是几种天气系统同时出现并共同作用造成。

参考文献

- 1 杜秉玉. 湘中地区4~6月对流性暴雨的雷达回波特征. 南京气象学院学报, 1979, 2(1): 61~67.
- 2 杜秉玉, 夏家虎. 梅雨期暴雨中强雷达回波的中尺度组织化. 南京气象学院学报, 1983, 6(2): 222~229.
- 3 杜秉玉. 梅雨期暴雨的雷达回波特征. 南京气象学院学报, 1985, 8(3): 306~315.

- 4 杜秉玉, 陈钟荣, 张卫星等. 梅雨锋暴雨的 Doppler 雷达观测研究: 边界层中尺度涡旋系统. 南京气象学院学报, 1998, 21 (2): 201~207/
- 5 杜秉玉, 陈钟荣, 张卫星等. 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. 南京气象学院学报, 1998, 22 (1): 47~55.
- 6 刘洪恩. 单多普勒天气雷达在暴雨临近预报中的应用. 气象, 2002, 27 (12): 17~22.
- 7 夏文梅, 王凌震, 张亚萍等. 低空急流的单多普勒速度特征. 南京气象学院学报, 2003, 26 (4): 489~495.
- 8 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. 气象, 2003, 29 (5): 41~45.
- 9 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.