

文章编号:1004-9045(2008)04-0326-04

# 暴雨多普勒天气雷达回波特征分析及临近预警

张家国,王 珏,周金莲,岳 阳

(武汉中心气象台,武汉 430074)

**摘 要:**对近几年来武汉雷达所观测的典型低涡、梅雨锋暴雨天气过程进行了多普勒雷达观测分析,总结了  $\beta$  中尺度暴雨回波系统的基本特征和强降水与诸多因素的关系。分析指出,在短时预报业务中,暴雨回波的识别和预警关键是从整体上要抓住  $\beta$  中尺度暴雨回波系统发生发展的特征,而不是孤立地研究一个对流单体的演变。

**关键词:**暴雨;天气雷达;回波特征;临近预报

**中图分类号:**P412.2 **文献标识码:**A

## 1 引言

Browning 指出<sup>[1]</sup>,近代天气预报技术的重大改进除得益于数值天气预报的进展外,其余则应归功于以雷达和卫星为主的遥感观测技术的进展。建立以天气雷达、气象卫星等探测资料为基础的综合分析工作站系统,进行实时监测、追踪、分析,是提高短时灾害天气预警水平的途径。近 20 年来,国内外气象工作者一直在广泛开展针对短时对流灾害性天气预警系统的研究开发工作,并取得长足进展。如英国 80 年代的 FRONTIERS 系统、90 年代的 NIMROD 系统和 21 世纪的 GANDOLF 系统<sup>[2-3]</sup>。美国在 20 世纪 90 年代完成多普勒天气雷达 WSR-88D 布网之后,立即着手以雷达探测为基础的强风暴临近预报系统的研究,如美国国家大气研究中心(NCAR)研究开发了临近预报系统 ANC 系统等<sup>[4]</sup>。这些系统的特点主要体现在探测资料的多元化,监测、预报产品的客观化,探测信息、数值预报信息在降水预报、强天气识别上的有机结合等。这些系统的研究开发为短时强天气预警业务的开展起到很好的平台作用。

在业务工作中,对于灾害性天气预警的决策,这些系统并不能完全代替预报员这个主体。预报员综合分析各种探测资料、短时预警的各种客观产品,并以  $\beta$  中尺度、风暴尺度对流系统物理概念模型等为基础,

采用经验识别和外推,仍然是目前开展暴雨强对流天气的临近预警业务的主要途径。因此,预报员根据雷达观测如何识别暴雨回波、确定降雨量对暴雨预警十分重要。降雨量是雨强对时间的积分,一个降水系统能否产生暴雨,与降水回波强度、尺度大小、移动状况及传播特性等多种因素有关,不少学者对此进行了研究<sup>[5-8]</sup>。由于  $\beta$  中尺度暴雨回波系统分析的复杂性,本文利用湖北省多普勒雷达观测到的暴雨天气过程,同时结合以前的相关研究,重点研究低涡、梅雨锋  $\beta$  中尺度暴雨回波系统的一些基本特征,并就利用新一代多普勒天气雷达产品如何在暴雨回波分析方面进行扼要阐述,为暴雨临近预警提供参考。

## 2 $\beta$ 中尺度暴雨回波基本特征

### 2.1 暴雨回波的形态、强度、结构特征

暴雨是一种中尺度现象,它是由组织化中尺度对流系统产生的。雷达观测的反射率因子在一定程度上能够反映中尺度系统的活动。因此,从雷达观测上,对暴雨回波基本特征的认识有助于暴雨  $\beta$  中尺度系统的监测预警。就暴雨回波的形态、强度、结构特征而言,以往研究很多<sup>[9]</sup>。根据对 2003—2004 年夏季 6—8 月武汉多普勒天气雷达(CINNA/SA)观测的 9 次暴雨过程回波特征分析,归纳出湖北省暴雨回波的形态、强度等基本特征(表 1)。

表 1 暴雨回波的形态、强度等基本特征

回波形态	尺度/km	强度/dBz	高度/km	40 dBz 以上强度高度/km	速度特征	VIL/(kg·m <sup>-2</sup> )
带状	100~250	35~50	10	7	辐合线	10~25
团状	70~100	35~50	12	8	气旋	10~25
平行带	50~150	35~50	9	7	辐合线	10~20

收稿日期:2007-08-26;定稿日期:2007-11-28

基金项目:中国气象局重点项目“长江中游气象水文预报与服务系统建设项目(CMATG2006Z08)”资助

作者简介:张家国,男,1964 年生,高级工程师,从事短时天气预报技术研究。Email:wuhanjiaguo@sina.com

在暴雨回波的形态上,暴雨回波主要表现为:(1) $\beta$ 中尺度的带状暴雨回波,主要有三种构成形式(图略):一是由单体构成的带状,二是由回波团构成的带状,三是由单体、回波团混合构成的带状;(2) $\beta$ 中尺度的团状暴雨回波,其中包括密实性团状暴雨回波和离散型团状暴雨回波;(3)多条平行带。

在暴雨回波的水平结构上,观测发现低涡、梅雨锋暴雨回波具有多尺度特征,较大的 $\beta$ 中尺度回波团或带内,常镶嵌着若干较小的 $\gamma$ 中尺度的对流单体或较小的 $\beta$ 中尺度对流回波团。事实上,在卫星云图上,一个暴雨云团下包含一个或几个 $\beta$ 中尺度回波的对流回波系统。不同尺度的回波生命史有很大差异,如较大的 $\beta$ 中尺度有较长的生命史,而镶嵌其中的若干较小的 $\gamma$ 中尺度的对流单体生命史短。

因此,在业务工作中,需引起注意的是暴雨回波的识别和临近预报关键要抓住较大的 $\beta$ 中尺度回波系统的活动,从整体上把握 $\beta$ 中尺度暴雨回波系统的发生发展过程,而不是从局部来分析研究一个对流单体的演变。但是,对于线状中尺度对流系统来说,预报员容易形成“ $\beta$ 中尺度”的概念,对于非线状中尺度对流系统,如“杂乱”分布的对流单体组成的对流系统,人们常常会忽视它们的组织化系统的特征。

在暴雨回波的垂直结构上,与冰雹、雷雨大风不同的是,低涡、梅雨锋降水多为层积混合性降水,对流回波顶高不高,强回波集中在对流层中下层。这种结构的差异说明,产生冰雹、雷雨大风的强风暴强烈的上升运动多到达对流层中高层,而产生暴雨的强对流上升运动集中在中下层。

## 2.2 暴雨回波系统的走向、移动与持续性强降水的关系

降雨量是雨强对时间的积分。因此,暴雨回波要有一定的强度和尺度。下面从分析降水回波系统的取向、移动的特征来分析它是否可能产生持续性强降水。以 Doswell 给出的暴雨回波的走向、移动与降水的关系图来定性讨论暴雨回波降水的特点<sup>[9]</sup>(图 1)。以带状暴雨回波为例,持续性强降水除与回波带的强度、尺度、移动速度有关外,还与回波带上的单体或回波团的移动与回波带的夹角有关,夹角越小强降水持续时间越长。图 1a 两者夹角几乎为  $90^\circ$ ,强降水持续时间短,暴雨多为单峰型;图 1b 夹角较小,强降水持续时间长,暴雨多为多峰型;图 1c 除夹角小外且有层状云降水;图 1d 夹角基本为零,多个强单体的强降水回波经过同一地区,有人形象地称为火车型。据近几年武汉多普勒天气雷达资料分析表明:梅雨锋暴雨特别是大暴雨或特大暴雨多为 c、d 型。

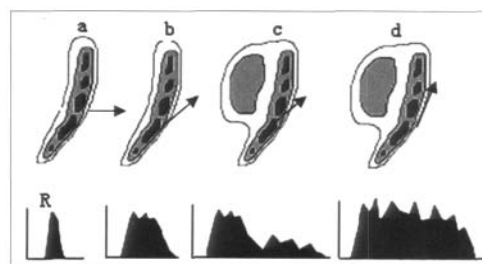


图 1 对流回波带走向与对流单体移动之间的关系  
(图上、下方分别为反射率、降水量随时间变化分布的示意图)

## 2.3 单体移动、传播与暴雨回波系统移动的关系

前文已提到,产生暴雨的 $\beta$ 中尺度的对流回波系统由若干对流风暴单体构成,与风暴尺度系统相似, $\beta$ 中尺度对流回波系统的移动与对流单体的移动、传播有密切关系,前者是后两者的矢量之和<sup>[9]</sup>。单体的移动一般随大气中风暴承载层的平均风移动,对流单体的传播也就是新生单体的位置 and 变化一般是与对流系统与周围环境相互作用有关,一个对流系统所形成的外流边界与边界层暖湿气流交汇的地方,若形成强烈的边界层辐合就可能形成新的对流单体。

下面给出风暴移动、传播与中尺度对流暴雨回波系统移动关系的一个例子。图 2 是 2007 年 4 月 21 日 20 时 30 分和 21 时雷达观测到组合反射率图。20 时 30 分,在松滋、公安及南部有一个由多个风暴尺度的对流单体组成的中尺度对流回波系统(椭圆 A),系统中的对流单体在对流层偏西南风的引导下向东北偏东方向移动  $C_c$ ,在对流回波系统的南段的前侧有新生对流单体 a 生成;21 时,A 与 a 合并形成中尺度对流暴雨回波系统 B,并在回波系统的南段的前侧又有新生对流单体 b 生成。显然,新生对流单体的位置是向东南变化的,即向东南方向传播  $P_s$ ,单体移矢  $C_c$  和传播矢量  $P_s$  的矢量和  $C_c$  决定了中尺度对流暴雨回波系统向东南偏东方向移动。示意图说明了三者的矢量关系。这个中尺度对流暴雨回波系统经过的地区出现了暴雨、局部大暴雨天气。

上面分析可以看出,风暴的传播对暴雨回波系统的移动起到至关重要的作用。在实际业务中,预报员在分析回波时往往容易忽视风暴传播的作用,导致暴雨短时预警预报等方面的失误。在雷达回波图上,观察对流单体的移动十分简单,但分析对流的传播,或未来新生对流单体的位置则比较复杂。一般认为最主要的是确定中尺度对流系统在边界层所形成的雷暴外流以及边界层暖湿气流的活动,它们两者汇合的地方就是未来单体新生的位置,通过新生单体位置的变化可以大概估计单体的传播速度,由此预测中尺度对流系统的移动和发生发展过程。

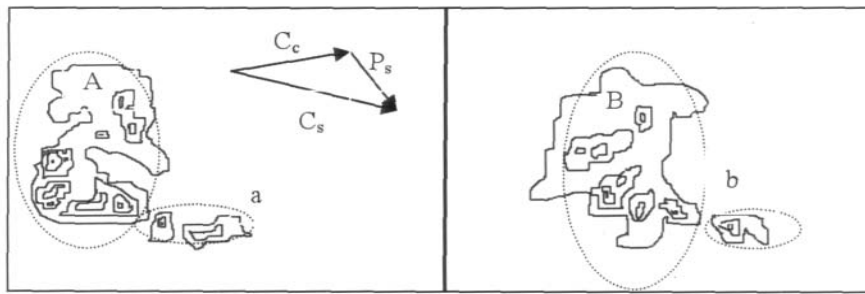


图 2 2007 年 4 月 21 日一个暴雨回波系统的移动与对流单体的移动、传播的关系  
(左边为 20 时 30 分,右边为 21 时)

## 2.4 VIL 产品在暴雨分析中的应用

垂直积分液态水含量 VIL (Vertically Integrated Liquid water content) 的值是单位面积气柱内的液态水总量, VIL 与强对流回波的强度及伸展的高度有关, 是一个反映风暴三维特征的物理量。统计表明(表 1), 梅雨锋对流性暴雨回波对应的 VIL 大多在  $10 \text{ kg/m}^2$  以上, 有时可能更大一些。层状云降水 VIL 一般在  $5 \text{ kg/m}^2$  以下, 在有  $0^\circ$  层亮带的地方 VIL 可能在  $5 \text{ kg/m}^2$  以上。因此, VIL 大于  $10 \text{ kg/m}^2$  一般反映雷暴的活动。应用 VIL 应注意以下四点: 一是不同季节用 VIL 识别强天气的阈值不同, 同类型的天气 VIL 春季要比夏季小; 二是由于雷达探测静锥区和地球曲率的影响, 近距离 VIL 可能低估, 在远距离可能低估或高估; 三是若在云体强烈倾斜的时候, VIL 偏小; 四是 VIL、反射率因子要一起应用, 尽量避免对强降水回波的误判。为便于比较, 这里给出暴雨、冰雹和雷雨大风回波 VIL 的判别标准:

暴雨: VIL 大于或等于  $10 \text{ kg/m}^2$ 。

雷雨大风: VIL 大于或等于  $25 \text{ kg/m}^2$ 。

冰雹: VIL 大于或等于  $35 \text{ kg/m}^2$ 。

## 3 多普勒雷达速度分析

多普勒天气雷达不仅能探测到反映降水强度的反射率因子, 而且能探测到反映大气风场特征的径向速度、谱宽等。利用多普勒天气雷达资料特别是径向速度资料分析和识别冷锋、辐合线、低空急流等天气系统的存在及发生发展过程无疑对暴雨等强对流天气的监测和短时预报有重要意义。由于多普勒天气雷达是在锥面上扫描观测, 而且仅能测量到实际风在径向上的投影的大小, 因此, 由速度图分析天气系统时必须了解雷达的观测模式、资料所处的高度等一系列参数。例如, 许多近地面的中尺度的辐合系统仅仅可以从低仰角来分析, 当仰角太高时, 由于风垂直切变的存在也会出现类似于辐合线特征的虚假现象。限于速度分析的复杂性, 这里不再详述。

## 4 暴雨回波发生发展的雷达观测分析

中尺度对流系统发生发展的物理过程十分复杂。对于预报员而言, 如何利用雷达观测分析暴雨回波的发生发展过程, 显然是十分困难。这里仅给出一些经验供参考: (1) 暴雨回波易在弱回波区域边缘发生。这类似于卫星云图上强对流在云区和晴空区交界的地方发生发展一样, 一般降水区域可以看成是一个冷区, 无降水区特别是在西南暖湿气流活动的无降水区可以看成是一个暖区, 交界处则可以看成是一个中尺度锋面。由于下垫面的太阳辐射加热的差异, 在午后, 中尺度锋面会出现锋生加强的过程, 此时在交界处有中尺度的对流系统发生发展; (2) 暴雨回波易在两个或多个回波系统汇合的地方加强, 这主要源于近地面不同来向的气流汇合导致边界层辐合的加强; (3) 暴雨回波易在强的暴雨云团减弱阶段的上游方向发生。 (4) 对流单体群发展旺盛, 并逐渐汇合的时候, 可能有暴雨回波系统发展, 如果有对流回波出现, 但长时间对流回波发展不旺盛, 暴雨回波产生的可能性不大; (5) 暴雨回波移入前期对流活动的区域时一般减弱; (6) 暴雨回波出现断裂、分散或雨区变宽等预示暴雨回波的减弱。

## 5 结论

(1) 与相对孤立的强风暴单体不同, 低涡、梅雨锋暴雨回波在雷达回波形态上具有多尺度特征。暴雨回波的识别和临近预报关键要抓住较大的  $\beta$  中尺度回波系统的活动, 从整体上把握  $\beta$  中尺度暴雨回波系统的活动, 而不是从局部来看待一个对流单体的演变。

(2) 风暴移动、传播与暴雨回波系统移动的关系。产生暴雨的中尺度的对流回波系统由若干对流风暴单体构成的, 与风暴尺度系统相似, 暴雨中尺度对流回波系统的移动与对流风暴单体的移动、单体的传播方向有密切关系。在雷达回波图上, 观察对流单体的移动十分简单, 最主要的是确定中尺度对流系统在边

界层所形成的雷暴外流以及边界层暖湿气流的的活动,它们两者汇合的地方就是未来单体新生的位置。

(3)暴雨回波系统的走向、移动与降水的关系。降水是雨强对时间的积分,暴雨回波要有一定的强度和尺度。对于带状暴雨回波而言,强降水持续时间长短与回波带上的单体或回波团的移动与回波带的夹角有关,夹角越小强降水持续时间长。

徐双柱研究员对该文提出了宝贵意见,谨致谢意!

#### 参考文献:

- [1] Browning K A. Developments in observational system for weather forecasting[J]. Meteor Appl, 1994(1):3-21.
- [2] Golding B W. Nimrod: A system for generating automated very short range forecasts[J]. Meteor Appl, 1998: 51-16.
- [3] Hand W H. An object-oriented technique for nowcasting heavy shower and thunderstorms[J]. Meteor Appl, 1996, 3:31-41.
- [4] Mueller C, Saxon T, Roberts R, et al. NCAR Auto-Nowcast System [J]. Weather and Forecasting, 2003, 18: 545-561.
- [5] Doswell III C A, Brooks H E, Maddox R A. flash flood forecasting: an ingredients-based methodology[J]. Weather and forecasting, 1996, 11: 560-570.
- [6] 张家国, 吴翠红, 王珏, 等. 一次冷锋大暴雨过程的多普勒雷达观测分析[J]. 应用气象学报, 2006, 17(2): 225-231.
- [7] 张家国, 廖移山. “98.7”鄂东连续特大暴雨的中尺度分析[J]. 气象科学, 2001, 21(2):169-177.
- [8] 肖艳姣, 张家国, 万蓉, 等. 切变线暴雨中尺度系统的多普勒雷达资料分析[J]. 气象, 2006, 31(2):35-37.
- [9] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 429-463.

## Doppler Radar Echo Analysis for Rainstorm Nowcasting

ZHANG Jia-guo, WANG Jue, ZHOU Jin-lian, YUE Yang

(Wuhan Central Weather Observatory, Wuhan 430074)

**Abstract:** This paper consists of the analysis of typical vortex and Mei-yu front rainstorm echo observed by Wuhan Doppler radar in recent years and the conclusion of the echo basic characters of meso- $\beta$  rainstorm system as well as the correlations of heavy rain to several factors. The key point to identify and warn rainstorm is to pay more attention to the meso- $\beta$  system features of rainfall echo entirely from system genesis to development, rather than to research one convective cell's evolution separately.

**Key words:** Rainstorm; Weather radar; Echo feature; Nowcasting

## 长江中游气象灾害防御工作会议在湖北黄冈召开

2008年9月23—24日,长江中游气象灾害防御工作会议在湖北黄冈召开,来自安徽、江西、河南、湖南、重庆、陕西、湖北等七省(市)气象局分管副局长、监测网络处、科技减灾处领导和湖北省有关直属单位负责人共计28人参加了会议。

本次会议旨在进一步贯彻落实中央、国务院领导关于气象防灾减灾的一系列指示精神,执行中国气象局《七大江河流域气象服务办法》和武汉区域气象中心《长江中游灾害性天气联防办法(试行)》,加强长江中游灾害性天气联防工作,增强长江中游气象灾害防御能力。会上,武汉区域气象中心作了题为“加强协作联防,努力提高气象防灾减灾能力”的工作报告;各省(市)交流了2006年以来的长江中游气象灾害防御工作情况及灾害防御规划编制工作开展情况。会议深入探讨了联防工作中存在的问题、需求和工作设想,讨论通过了《长江中游流域气象服务实施细则》,对《暴雨年鉴》编撰实施方案进行了深入的讨论。最后,湖北省气象局柯怡明副局长强调六点意见:一是各省按照本次会议精神,进一步完善长江中游流域灾害性天气联防工作机制;二是围绕长江中游整体灾害防御联防要求,加强长江中游流域气象灾害监测工作;三是进一步加大资料共享工作,提高探测资料利用效率;四是努力提高预测预报准确率,加大天气联防力度。五是加强科技联合攻关,增强灾害防御科技支撑。六是加强协作,进一步促进工作总结和交流。

报道/湖北省气象局业务处