

切变线暴雨中尺度系统的 多普勒雷达资料分析^①

肖艳姣¹ 张家国¹ 万蓉² 李中华³

(1. 武汉中心气象台, 武汉 430074; 2. 武汉暴雨研究所; 3. 湖北气象技术装备中心)

提 要

2002年7月22~23日, 长江中游地区出现了大范围暴雨过程, 这次暴雨过程是在有利的大尺度环流背景下, 由中 α 尺度切变线上的几个中 β 尺度系统直接导致的。利用雷达拼图以及雷达多普勒速度等资料分析了这次切变线暴雨过程, 得到了一些有价值的结果。

关键词: 切变线 暴雨 中尺度 雷达拼图 多普勒速度

引 言

众所周知, 暴雨是在有利的大尺度天气形势背景下, 由中尺度系统直接产生的。长江中游地区是著名的暴雨多发地, 以前多以常规气象资料、气象卫星和测雨雷达等资料对暴雨过程的中尺度系统结构进行研究, 取得了若干有意义的成果^[1~3]。但是, 中尺度时空观测资料的不足使我们对于长江中游暴雨中尺度系统的认识还不够深入。多普勒天气雷达是探测暴雨中尺度系统非常有效的遥感工具, 为研究长江中游暴雨中尺度系统提供了丰富的信息。

2002年7月22~23日, 湖南北部至鄂东北出现了大范围暴雨天气过程。宜昌、常德S波段和荆州C波段多普勒天气雷达对这次暴雨过程进行了每6min一次立体扫描的跟踪观测, 取得了大量的探测数据。为了更加完整地研究这次大范围的暴雨天气过程, 首先, 对上述三部多普勒天气雷达和武汉WSR-81S测雨雷达的反射率因子进行拼图; 另外, 应用TVAD方法进行了单多普勒雷达水平风场反演; 在此基础上, 结合多普勒径向速度场以及加密观测逐时雨量等对这次暴雨过程的中尺度系统结构和特征进行了分析。

1 暴雨时空分布特征

2002年7月22日08时~23日08时, 湖南北部—鄂东北普降暴雨—大暴雨, 大暴雨主要集中在荆州及其西南部和湖南北部。以每小时大于或等于10mm为强降水标准, 这次暴雨过程主要集中在两个时段: 一是22日13~19时; 二是23日00时至23日07时, 第二个时段的降水量和降水强度大于第一个时段。

2 雷达回波演变及其中尺度特征

10min一次的雷达拼图能详尽地描述和追踪这次暴雨过程降水系统的发生、发展和演变历程。由于不同雷达在观测同一降水云体时, 其回波强度可能有差异, 在拼图之前, 对各雷达同一时次的回波强度图进行了对比分析, 同时也与地面逐时雨量进行了对比分析, 发现荆州雷达回波强度偏弱5dBz左右, 常德雷达回波强度偏强10dBz左右。因此, 在拼图时把荆州雷达观测值整体加上了5dBz, 把常德雷达观测值整体减去了10dBz, 各雷达的重叠区域取其中最大值。

从拼图中可看出这次暴雨过程共有三条雨带, 两个时段的强降水都是两条雨带汇合加强的结果。第一条雨带最初出现在湖南北

^① 本文得到湖北省科技厅课题“长江中游中尺度灾害性天气形成机理及预测方法研究”的支持

部与湖北交界处,缓慢北抬东移,见图 1a(封二),该雨带上的中尺度强回波团在荆州西南生成后向偏东方向移动。第二条雨带是湖北西部的波状云系向东传播与第一条雨带的西段汇合后形成的,见图 1b(封二)。14 时前后,该雨带上的中尺度强回波团位于大庸—五峰之间,并逐渐加强沿切变线向东北方向移动,19 时前后,强回波团逐渐减弱,仅在切变线上维持较强的窄带回波,至此,第一时段的强降水结束。把第二条雨带称为切变线雨带。第三条雨带是 18:30 分左右在常德东南方由多个对流单体各自发展相连成线而形成的,称之为对流雨带,见图 1b(封二)。该雨带北抬与不断向南延伸的原切变线雨带相遇后,分裂成东西两个强回波团,见图 1c(封二),东边的雨团在东移过程中很快减弱,西边的雨团转向向东北方向移动,于 23 日 00 时在荆州附近减弱。00 时 40 分,当西南低空急流向公安靠近时,公安西南强风速辐合区内有狭窄对流带在减弱的对流云团北侧生成,这可能是对流云团附近的积云线发展形成的,该狭窄对流带发展加强移向荆州,形成长 60km 的强回波短带(称为 A)。切变线雨带与减弱的对流雨带的西段汇合后重新组织发展,03 时 10 分左右,在荆州西南方向的边界层强辐合区形成多个长 60~80km 的强回波短带(称为 B、C),见图 1d(封二)。短带回波沿切变线向东北方向移动或移出强辐合区后逐渐减弱,生命史约 3~4 小时,这一串强回波短带带来了第二个时段的间歇性强降水。

3 雷达径向速度图分析

多普勒天气雷达能得到降水质点相对于雷达的平均径向速度,虽然径向速度并不表征降水流场分布,但从径向速度分布图中可提取中尺度系统某些特征信息。7 月 22~23 日的两个强降水发生时段内,常德、荆州多普勒天气雷达探测到强降水区附近存在中尺度低空急流、切变线、中 β 尺度辐合线、径向速度相对大值区和逆风区等特征。

3.1 中尺度低空急流

分析常德多普勒雷达径向速度场发现,从 22 日 08~16 时,一直有一条东北—西南

向的中尺度低空急流经过常德,在此期间,第一条雨带上一直维持较强降水。16 时之后,正负速度中心速度明显减弱,第一条雨带上的降水也随之减弱,这可能是因为:常德东南方对流雨带的形成,像一面墙,阻隔了南部暖湿气流的北上,导致中尺度低空急流减弱。21 时前后,切变线雨带与对流雨带汇合后,云墙开始崩溃,暖湿气流又长驱直入,中尺度西南低空急流又开始发展北伸,从华南地区向长江中游地区源源不断地输送暖湿气流,并且在长江中游地区有很强的辐合,正是这种与中尺度西南低空急流最北端的空气辐合相关的强水汽辐合促使了对流系统的发展,因此,当中尺度西南低空急流的北端靠近荆州西南时,对应的雷达回波强度图上,在急流轴的左侧形成了多个强回波短带。

3.2 切变线和中 β 尺度辐合线

分析荆州多普勒雷达径向速度场发现,在整个暴雨过程中都有一条长度大于 200km 的风速不连续线——切变线,呈东北—西南向从荆州附近通过,其西北侧为东北风,东南侧为西南风。切变线雨带上强回波短带 B、C 的形成与低层切变线上的扰动——中 β 尺度辐合线的形成有密切关系,而扰动的产生则与切变线南侧的中尺度西南低空急流的发展北伸有关,下面以第二个时段的强降水为例来说明。图 2(封二)是 02 时 29 分至 05 时 59 分仰角为 0.5° 的荆州多普勒雷达径向速度和强回波短带 B、C 的演变图。由图可见,02 时 29 分,在荆州西南 130km 处的零速度线走向与雷达径向有一夹角,远离雷达一侧为朝向雷达的负速度区,靠近雷达一侧为远离雷达的正速度区,这说明该处有一条中 β 尺度辐合线,辐合区的存在构成低层气流辐合产生上升运动,有利于对流回波的产生和发展,02 时 59 分,对应的强度图上,在辐合线上有强回波短带 C 生成。与此同时,在荆州西偏北方向 40km 处也有一条中 β 尺度辐合线形成,相应的强度图上,位于荆州西南方 40km 处的几小块回波也发展加强形成强回波短带 B。这两条中 β 尺度辐合线一直维持并向东北方向移动,强回波短带 B、C 也随之移动。06 时之后,强降水导致了切变线北

侧的东北风加大,切变线上的扰动逐渐减弱,切变线雨带上的降水强度也随之减弱。

3.3 径向速度相对大值区和逆风区

多普勒径向速度图上,某一区域的速度值比其周围所有像素点的速度值都大,我们把该区域定义为径向速度相对大值区。在没有速度模糊和距离折叠的情况下,在正、负速度区内出现反向多普勒径向速度区时,此反向速度区被定义为逆风区^[4]。在强降水时段,荆州多普勒雷达观测到,在强回波移动路径的前侧常有一个径向速度相对大值区,在其后侧常有逆风区。图3(封二)为23日01时29分至03时59分径向速度相对大值区、逆风区和强回波演变图。从图中可看出,在01时29分的径向速度图上,在荆州西边80km处的小块强回波移动路径的前侧有一个远离雷达的径向速度相对大值区,径向速度大小为 $7\sim 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,在其后侧出现了朝向雷达的逆风区。径向速度相对大值区内有水汽辐合、质量辐合或较强的上升运动,逆风区内有下沉运动,这两个反向速度中心构成了一侧为辐合区,另一侧为辐散区的垂直环流,有利于对流单体的维持、发展。在随后的一小时,该回波逐渐发展、加强形成短带回波B,短带回波B和径向速度相对大值区、逆风区一起沿切变线向东北方向移动,03时29分,短带回波B发展到最旺盛阶段,03时59分,逆风区消失,垂直环流被破坏,短带回波B开始衰弱。

4 风矢量图分析

利用TVAD方法^[5],从荆州多普勒雷达径向速度场反演出水平风矢量场,有利于分析与降水密切相关的中小尺度流场。图4是7月23日03时59分的水平风矢量场,从图中可看出,在荆州西南方向的切变线南侧有大的西南风辐合,在荆州附近,低层为偏北风、东北风和东南风构成的汇合流场,有利于降水的维持、发展;在荆州西南100km处的流场有明显的气旋性弯曲,这正好与强度图上的强回波短带位置对应。

5 结语

(1)这次暴雨过程共有三条雨带,两个时段的强降水都是两条雨带汇合加强的结果。

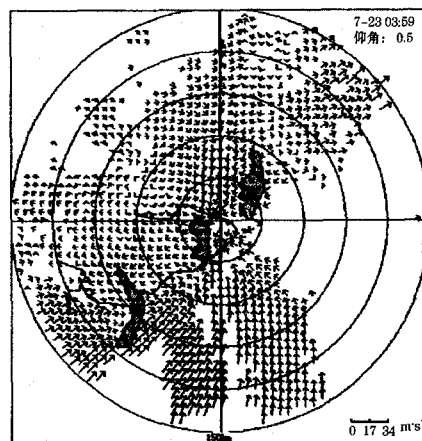


图4 2002年7月23日03时59分荆州多普勒雷达反演水平风矢量图

(2)低层中尺度切变线上的扰动与地面降水加强有密切的关系。在中 α 尺度切变线上因扰动产生的中 β 尺度辐合线附近往往有中 β 尺度回波团出现,辐合线比回波团的形成至少提前半小时;扰动的产生则与切变线两侧中 β 尺度的风场加强有关;而风场的加强可能与多种因素有关,其中中尺度强风区的接近和切变线附近强降水的形成是两个主要原因。

(3)中尺度强回波团在荆州西南生成,刚好位于边界层强辐合区上,径向速度相对大值区和逆风区并存,构成了一对垂直环流,有利于强回波云团的维持、发展。

(4)多普勒天气雷达在中小尺度天气系统探测中起着重要作用,有利于我们分析常规天气图中难以发现的中小尺度系统,同时还能连续跟踪它的演变和及时发现强天气在多普勒径向速度图上的特征信息。

参考文献

- 1 陶诗言. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1986.
- 2 张丙臣. 长江中下游梅雨锋暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1990.
- 3 张家国等. “98.7”鄂东连续特大暴雨的中尺度分析(一). 气象科学, 2001, 21(2): 169~178.
- 4 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, (3).
- 5 N. Takahashi et. al. A Method to Discribe the Fluctuation and Discontinuity of Horizontal Wind Fields by a Single Doppler Radar. 25th International Conference on Radar Meteorology, 642—646(1991).

Mesoanalyses of Shear Line Heavy Rain with Doppler Radar Observations

Xiao Yanjiao¹ Zhang Jiaguo¹ Wan Rong² Li Zhonghua³

(1. Wuhan Center Meteorological Observatory, 430074; 2. Wuhan Research Institute of Heavy Rain, CMA;

3. Hubei Meteorological Technology Equipment Center)

Abstract

A large extent heavy rain process occurred over the Changjiang River basin during 22—23 July 2002 . The event was caused by several meso- β -scale convective systems in a meso- α -scale shear line under large-scale weather situation. By analysis of the event with radar composite image and Doppler velocity data, several significant conclusions are obtained.

Key Words: shear line heavy rain meso-scale radar composite image Doppler velocity

《切变线暴雨中尺度系统的多普勒雷达资料分析》附图

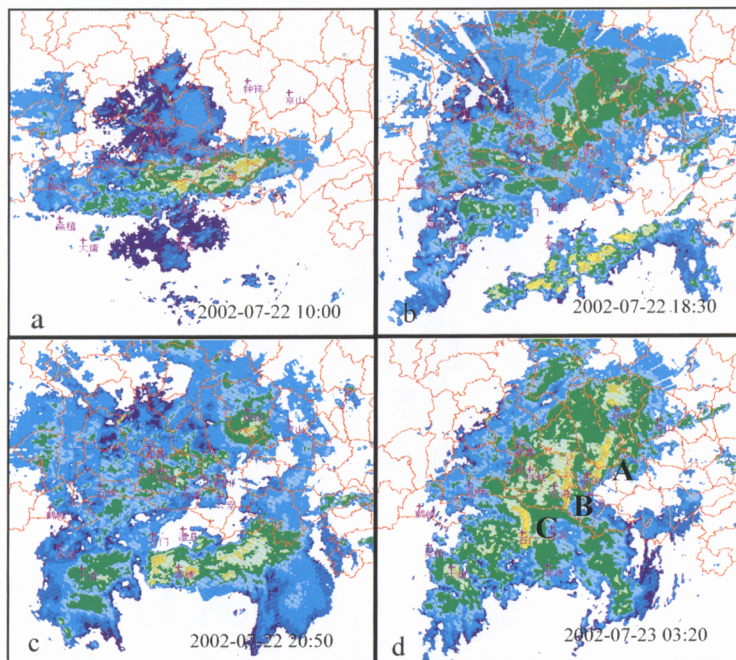
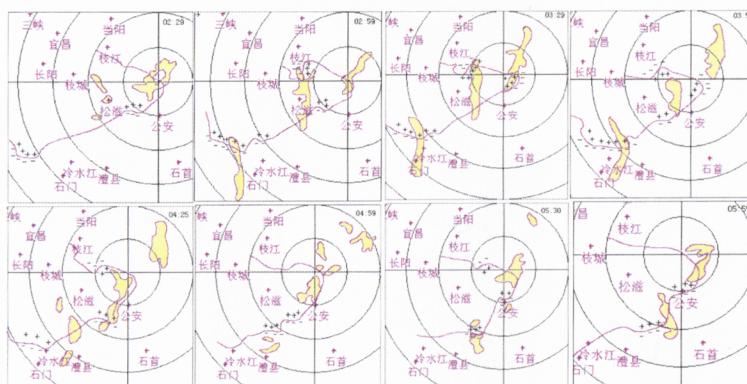
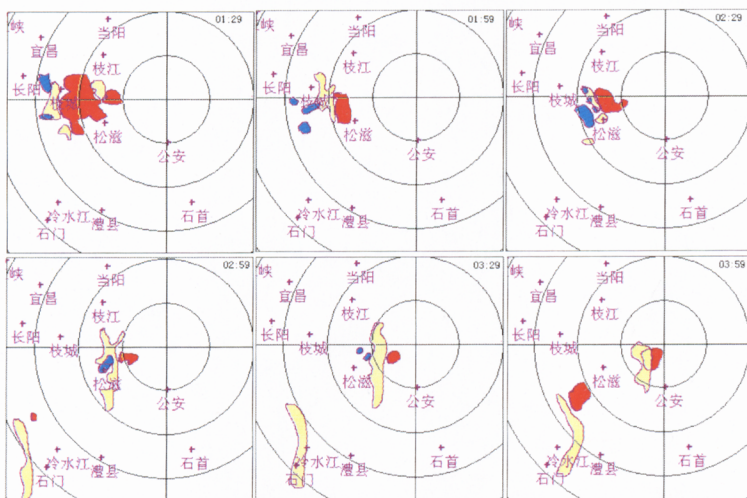


图1 2002年7月22日宜昌、荆州、常德和武汉雷达反射率因子拼图



■ 反射率 (>35dBz) — 零速度线 + 相对雷达流出 - 相对雷达流入

图2 2002年7月23日径向速度和强回波短带演变图



■ 反射率 (>35dBz) ■ 逆风区 ■ 径向速度相对大值区 (>7m·s⁻¹)

图3 2002年7月23日径向速度相对大值区、逆风区和强回波演变图