

王立华,尹恒,姚道强,等.鄂西北一次局地大暴雨过程的多普勒雷达回波分析.暴雨灾害,2009,28(3):246-250.

鄂西北一次局地大暴雨过程的多普勒雷达回波分析

王立华,尹恒,姚道强,夏金

(湖北省十堰市气象局,十堰 442000)

摘要:利用常规观测资料和自动站、加密雨量站、多普勒雷达等资料,对 2007 年 8 月 9 日凌晨鄂西北郧西县马安乡一次局地大暴雨天气进行了分析,重点分析了此次过程的多普勒天气雷达观测资料。结果表明:降水回波由非强风暴对流单体向强风暴对流单体演变造成马安大暴雨;地形作用、回波合并效应使对流发生发展,回波少动使降水维持;中小尺度系统活动频繁,使对流加强,降水持续、升级;主要降水由一强风暴对流单体造成,并有中气旋出现,中气旋直接引发强暴雨;垂直积分液态水含量变化可为判断风暴发展和风暴降水提供有效信息;中气旋、逆风区等中小尺度结构特征对强风暴及暴雨预报有很好的指示作用;反射率因子、平均径向速度、综合切变等产品对强天气现象的识别以及在暴雨分析预报中具有实用意义。

关键词:大暴雨;雷达资料;强风暴;中小尺度系统;中气旋

中图分类号:P458.1*21.1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2008)03-0246-05

1 引言

暴雨是在有利的大尺度环流形势下,由中小尺度系统直接产生的^[1]。常规天气资料因受降水观测时空密度的限制,在暴雨分析、研究中存在一定局限,而天气雷达探测资料具有高时空分辨率特点,能细致反映降水区的详细情况^[2]。近些年来,随着我国新一代天气雷达网建立和完善,天气雷达资料在暴雨监测分析与预报预警中得到了广泛应用^[3-10],并总结出了一些有意义的特征和结论。

十堰多普勒天气雷达(CINRAD/SB)自 2007 年 2 月投入业务运行以来,在探测中小尺度系统方面发挥了不可替代的作用,弥补了常规天气图资料的不足。2007 年 8 月 9 日凌晨,鄂西北郧西县马安乡发生一次局地大暴雨。大暴雨致使山洪暴发,河水猛涨,部分房屋倒塌、农田被毁,供电、交通、通讯一度中断,马安关水库出现漫坝,水库下游 1.7 万群众连夜紧急转移,属于一次高影响天气过程。对此次天气过程,预报人员利用十堰 CINRAD/SB 进行了跟踪监测,并对影响区开展了警报服务,取得了较为明显的社会效益和经济效益。为了揭示有关雷达产品资料对强风暴等强天气现象的识别以及对暴雨分析预报的意义,本文利用常规观测资料和自动站、加密雨量站以及反射率因子、平均径向速度、中气旋(M)、垂直积分液态水含量(VIL)、综合切变(CS)等资料,对马安乡局地大暴雨天气过程的中小尺度系统进行了分析,以期今后局地暴雨天气预报提供一些有益依据。

2 降水时空分布与环流背景

自动雨量站资料显示,此次过程的强降水区位于郧西县马安、香口一带,主要降水集中在马安,且达到暴雨量级;马安大暴雨发生时间集中在 2007 年 8 月 9 日 00—08 时(北京时,下同),其过程降水量 217.9 mm,其中 05:38 至 06:27 马安降水量达 116.5 mm,最大雨强 78.5 mm·h⁻¹。从马安自动雨量站 9 日 00—08 时逐时降水量变化图上可见(图 1),最大雨强出现在 05—07 时(第二阶段降水),次大雨强出现在 02—04 时(第一阶段降水);从时间尺度上看,此次强降水显然是在中小尺度系统影响下发生的。

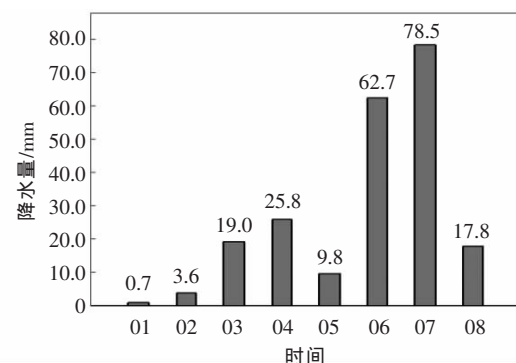


图 1 2007 年 8 月 9 日 00—08 时马安自动雨量站逐时降水量(单位: mm)

马安大暴雨发生前,西太平洋副热带高压(以下简称副高)逐渐增强北抬,8 月 8 日 20 时,500 hPa 上副高已西伸到汉江上游(图略),呈东西向带状分布,副高脊线北抬到 31°N 附近,588 dagpm 控制整个湖北,马

收稿日期:2009-01-10;定稿日期:2009-04-02

作者简介:王立华,男,1971 年生,工程师,主要从事天气预报及大气探测技术研究。E-mail: lihua_714@163.com

安处于副高内缘,西风带从河套西部到青藏高原东侧有一低槽东移南压。8日08时,700 hPa在33°N附近104°—115°E有一纬向切变存在,华北冷空气随切变北侧的东北风气流流入切变区域;同时,地面到850 hPa暖湿空气增强北推。8日20时,925 hPa低压倒槽由四川盆地向东北方向延伸到鄂西北西部,马安位于倒槽的槽线上。温度层结呈现如下变化:8日20时,500 hPa在31°N以北为降温区,其南则为增温区;700 hPa 24小时0℃等变温线在33°N附近,850 hPa 24小时0℃等变温线在42°N附近,对流层中层降温,低层增温,使降水区对流不稳定增强。温度层结变化与环流形势场一致,反映出郟西马安大暴雨前期对流层中层有冷空气侵入。地面图上(图略),8日20时在豫西有一减弱的小股冷空气即将影响鄂西北地区,而兰州到西安之间的东北—西南向冷锋正缓慢东移南压,8日22时位于冷锋前的陕南到鄂西北西部的中尺度低压发展旺盛;9日01—05时的马安降水是由豫西南弱冷空气与中低层切变线造成的,05—07时的强降水则是由郟西到安康一带的暖低压发展为完整的中尺度暖低压并与其上空的高空低涡环流配合触发而形成。受冷空气挤压,9日08时500 hPa低槽减弱北收,700 hPa人字形切变北抬到34°N附近,有利于中小尺度强对流发展的条件逐渐消失。

3 多普勒天气雷达资料分析

3.1 反射率因子分析

与马安大暴雨两个集中降水时间段相对应,将马安大暴雨过程的雷达回波演变过程分为两个阶段。第一阶段是8月9日00:00—04:00,对应上述第一阶段降水;第二阶段是8月9日04:00—08:00,对应上述第二阶段降水。

3.1.1 第一阶段回波演变

图2给出8月9日00:01—03:04不同时间1.5°仰角反射率因子图。分析图2发现,00:01(图2a),马安之南有一孤立的对流回波发展(回波1),马安以东郟县境内有局地发展的对流回波(回波2),马安以西的陕西境内有东北—西南向的由大尺度天气系统引起的混合型回波(系统回波),回波1、回波2面积分别为130 km²、180 km²左右,系统回波由于超出雷达探测范围,其尺度无法确定;00:26,回波1发展增强,向马安方向移动,到达马安附近基本停滞,马安自动雨量站分钟资料显示开始有降水;00:38(图2b),停滞于马安附近的回波1中心强度达到50 dBz;回波2从00:01一直向西偏北方向移动,其移动速度快,强度不超过45 dBz;到01:02(图2c),回波2移到马安一带与回波1合并且

停止移动,面积为540 km²左右,合并后的回波在马安附近原地发展,马安自动站雨量资料显示,01:00—02:00时合并回波在马安产生3.6 mm降水;系统回波从00:01一直缓慢东移,到02:03(图2d),其前沿接近马安,与马安局地发展的回波合并,马安降水强度增大,02:00—03:00一小时降水19.0 mm,同时马安东南的十堰境内有对流单体(回波3)向马安快速趋近,强度在45 dBz以下;02:34(图2e),系统回波的前沿有与系统回波主体脱离的趋势;03:04(图2f),系统回波的前沿与主体基本分离,回波3的合并加入使马安回波有所加强(50 dBz左右),并维持近一小时,降水25.8 mm。

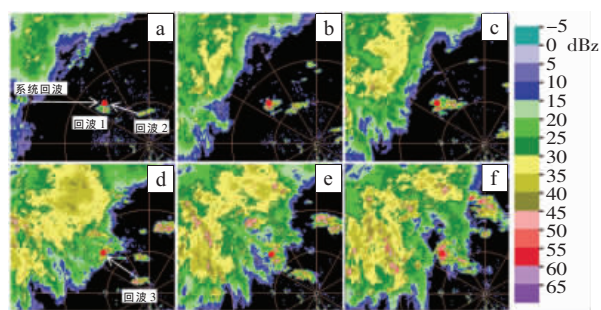


图2 2007年8月9日00:01—03:04不同时刻1.5°仰角雷达反射率因子图
a、b、c、d、e、f对应时间分别为00:01、00:38、01:02、02:03、02:34、03:04,每圈距离50 km,箭头所指为回波移动方向,圆点所示为马安

由以上分析可知,这一阶段马安降水回波演变主要表现为几块不同回波因移向、移速不同作辐合运动先后合并。文献[2]指出,合并意味着能量的集中和辐合上升范围扩大。实测表明,合并后回波范围得到迅速扩展,降水量由每小时3.6 mm逐渐递增至25.8 mm,使降水明显增幅。

另外,马安地处喇叭口地形(图3),对这一阶段降水回波演变和降水增幅起到一定作用。文献[1]指出,喇叭口地形对对流产生影响的有利条件要求流入谷地气流的风向与开口方向一致。从这一阶段的常规天气图和多普勒天气雷达径向速度图上可见(图略),鄂

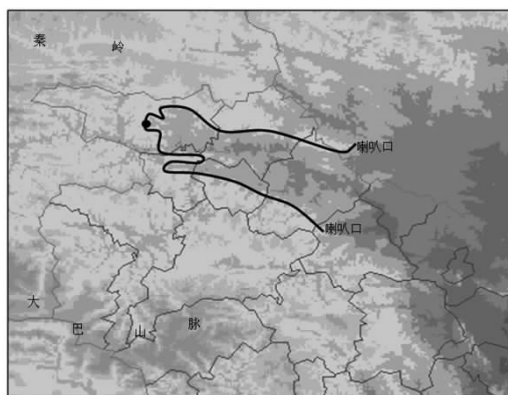


图3 湖北省十堰市地形图(圆点所示为马安位置)

西北地区对流层低层为 ESE 气流,刚好可通过喇叭口进入谷地;马安一带始终有对流活动维持,喇叭地形迎风坡对气流的抬升作用利于对流发展;在地形阻挡作用的影响下,上述回波 1、回波 2、回波 3 移到马安基本停滞。

3.1.2 第二阶段回波特征

9 日 04:05, 上述系统回波主体移至马安一带,与马安原地发展的对流回波合并,造成马安一带水汽和能量更大范围的集中。事实上,风暴追踪信息提示 03:47 有识别号为 F4 的风暴单体在马安附近生成,其强度为 50 dBz;04:05, 单体回波强度达到 58 dBz,之后风暴进入发展成熟阶段。图 4 给出 05:55 F4 号风暴不同仰角反射率因子图和反射率因子垂直剖面图。

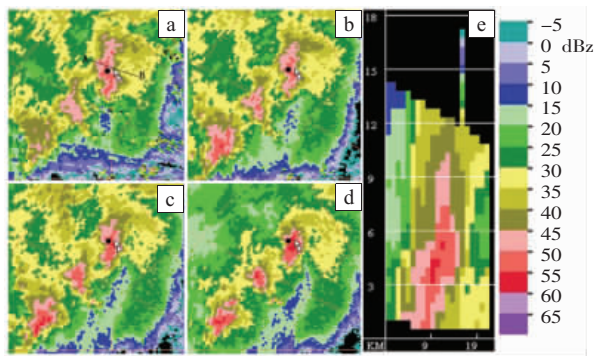


图 4 2007 年 8 月 9 日 05:55 不同仰角反射率因子图和反射率因子垂直剖面图

a, b, c, d 对应仰角分别为 0.5°、1.5°、2.4°、3.4°, 双箭头所指为同一位置,每圈距离 50 km, e 为垂直剖面图, 线段 A—B 标示剖面位置,圆点所示为马安

从 4 幅反射率因子图上可看到,由低空到高空反射率因子大值区向东南方倾斜(以双箭头所指的位置为参考),这种倾斜结构表明风暴为强对流风暴,低层入流来自风暴东南方,风暴的高反射率因子区从低到高向入流一侧倾斜,风暴顶位于低层反射率因子高梯度区之上;从反射率因子垂直剖面图上可见,低层弱回波区和中高层的悬垂回波结构表现为典型的强风暴特征;从结构上看,风暴单体回波结构紧凑且呈块状,核心强度为 57 dBz。马安自动站雨量资料显示,05:00—06:00 一小时雨量为 62.7 mm,马安普通对流单体演变为强风暴对流单体造成降水剧烈增幅。

3.2 速度产品分析

马安大暴雨由前后两个集中降水时段构成,均属对流性降水性质。因此,基于速度产品的分析,重点考虑其中小尺度特征。

3.2.1 中小尺度结构特征

图 5 给出 9 日 04:54、05:55 的 1.5°仰角平均径向速度图。从中可见,在此次大暴雨过程的速度图上,速度场呈现一些典型的中小尺度结构特征。

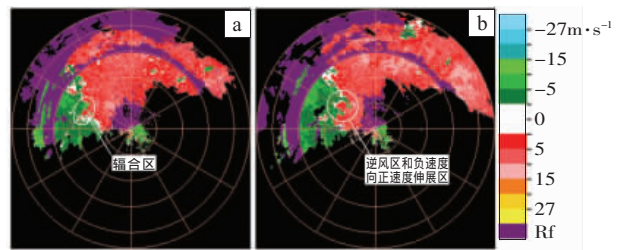


图 5 2007 年 8 月 9 日 04:54 (a)、05:55 (b)的 1.5°仰角径向速度图(每圈距离 50 km)

图 5a 为 04:54 径向速度图,从中看出,零速度线随高度增加发生大角度偏转,在马安偏西呈现折角弯曲,近雷达一侧为正速度,远雷达一侧为负速度,“远负近正”说明折角弯曲零速度线附近存在一条中小尺度辐合线,与地面逐小时观测风场一致。在大范围风场中存在中小尺度辐合系统有利于局地暴雨的形成,低层的辐合区(带)对应着后期强降水,在随后 1 小时,马安降水量为 62.7 mm。

分析 05:55 径向速度图可知(图 5b),零速度线出现不规则弯曲,在马安及附近区域出现负速度向正速度区伸展,说明马安一带有中小尺度系统活动,负速度靠近马安一带,说明辐合很强,此时马安回波强度达 55 dBz 以上,顶高 12 km 以上。实际上负速度向正速度区伸展的现象在 04:24 的 0.5°仰角速度图上已出现(图略),后来逐渐出现在高仰角图上,马安中气旋在此期间生成,风暴发展达到强盛。大暴雨前的水汽通量图上(图略),陕西中部和四川盆地各有一高湿区,其东移过程中逐步靠近并交汇于鄂西北西部,强降水雨团出现在地面中尺度低压东南侧(图略),与雷达中小尺度辐合线相一致。

3.2.2 逆风区

多普勒雷达速度图上,在没有速度模糊和距离折叠的情况下,正、负速度区内出现反向速度区时,此反向速度区被定义为逆风区^[14]。此次暴雨过程中多次出现逆风区,马安一带逆风区出现在 04:05,首先在 0.5°仰角速度图上出现,以后逐渐在高仰角速度图上出现。当多个仰角速度图上出现逆风区时,表明系统加强,雨强将加大;另外,马安逆风区出现时间比集中降水出现时间提前近 1 小时,说明逆风区可作为暴雨预报指标,并有一定的时间提前量。图 5b 时间为 05:55,从 0.5°~4.3°仰角的径向速度图上看,马安一带都存在逆风区,厚度达到 5 km;逆风区一侧为辐合,一侧为辐散,在其厚度区间存在垂直风切变,辐合气流强;逆风区是垂直环流的一种表现,说明上升和下沉气流共存,低层丰富水汽向上输送产生凝结而形成降水,这对暴雨的维持与加强十分有利。随后 1 h,马安降水量达 78.5 mm。

3.2.3 中气旋

中气旋是与强风暴中的上升气流和后侧下沉气流紧密相联的小尺度涡旋,该涡旋满足一定的切变、

垂直伸展和持续性判据^[12]。此次天气过程中,十堰雷达探测到了马安大暴雨风暴单体中的中气旋结构。图 6 给出中气旋阶段风暴单体的平均径向速度。

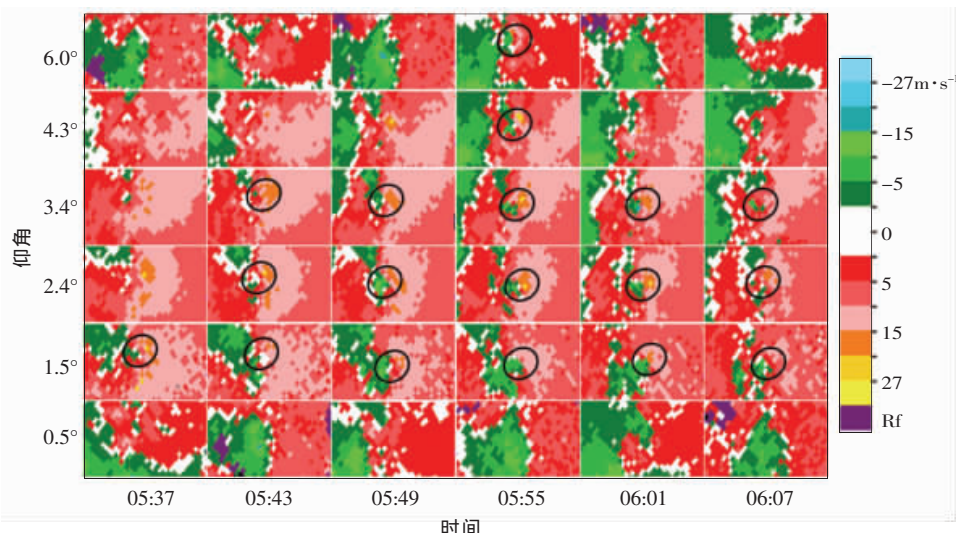


图 6 2007 年 8 月 9 日马安大暴雨风暴单体中的中气旋阶段风暴径向速度图 (椭圆表示正负速度对位置)

从图 6 中可见,9 日 05:37 在 1.5°仰角径向速度图上出现正负速度对,之后正负速度对不断向上发展,旋转速度增大;05:49 在 2.4°仰角径向速度图上出现发展对称的中气旋,雷达系统持续 3 个体扫给出中气旋提示。由此看出,中气旋发展阶段气旋环流先在低层生成,后向中高层逐渐发展。05:55 中气旋发展成熟,对应 3.4°仰角速度场,有一正负速度中心基本呈方位对称的气旋结构,正速度为 $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,负速度为 $-12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,核区直径为 4.4 km,转动速度为 $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,中心位于雷达西北,方位 315° ,离雷达 67 km,属中等强度中气旋。从 05:55 体积扫描资料可分析出中气旋结构: 1.5°、2.4°仰角径向速度分布结构为辐合性气旋;3.4°、4.3°、6.0°仰角径向速度分布结构为纯气旋结构;从风暴速度场垂直剖面图(图略)可分析出高层径向速度分布结构为辐散结构。这说明风暴低层为辐合性气旋运动,中层为纯气旋运动,高层则以辐散为主。这种高低空配置,非常有利于上升气流维持,使得低层暖湿空气得以向上输送,风暴发展旺盛。06:07 之后,雷达系统没有给出马安一带有中气旋的提示,但之后径向速度 PPI 产品显示,马安风暴单体中的旋转运动仍然存在。对比分析中气旋阶段及其同期马安每分钟雨量,05:37 中气旋正负速度对出现时,分钟雨量有明显跃升,从 0.5 mm 猛增到 2 mm 以上;05:55 中气旋成熟时,分钟雨量达到 3.3 mm,之后除偶尔在 2 mm 以下外,一直在 2 mm 以上波动,极值达 3.6 mm;06:26 中气旋消失,分钟雨量逐步下行,处于 1 mm 以下。这说明正是由于中气旋的生成、维持,在马安造成了一个

降水极大峰值,05:38—06:37 降水量达 116.5 mm。

3.3 垂直积分液态含水量产品分析

图 7 给出的是此次马安大暴雨过程回波演变第二阶段垂直积分液态含水量(V_{II})的最大值随时间变化。

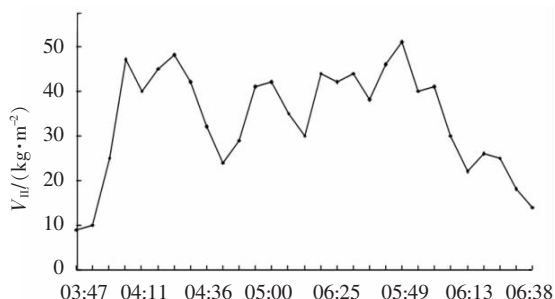


图 7 2007 年 8 月 9 日最大垂直积分液态含水量 (V_{II} , 单位 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) 的时间变化

分析图 7 发现, V_{II} 最大值有两次跃增, 第一次跃增发生在系统回波主体与马安局地发展的对流回波合并过程中, V_{II} 最大值由 $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 增至 $47 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 其增幅在回波演变第二阶段最大, 说明系统回波主体与马安局地发展的对流回波合并使更大范围的水汽和能量集中到马安一带, 产生马安大暴雨的 F4 号强风暴单体此时生成; 第二次跃增发生在中气旋生成过程中, V_{II} 最大值由 $38 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 增至 $51 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, V_{II} 最大值达到回波演变第二阶段中的极值, 证明中气旋生成时, 其低层强烈的辐合上升气流使风暴中的水汽得到集中输送, 风暴加强, 引起马安降水升级。

3.4 综合切变产品分析

综合切变(CS)是平均径向速度的径向和方位角方向的切变的合成, 可用来识别与阵风锋、风切变线、下

击暴雨及中尺度旋转现象有关的低层风切变^[13]。此次过程中,马安大暴雨风暴单体中存在中气旋的时段,综合切变产品图像(图略)显示马安一带有明显的切变值相对较大区域存在。9日05:37,在风暴单体出现中气旋结构,马安一带最大切变值达到 $45 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$,切变值超过 $30 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 的区域呈现弧形弯曲特征;05:49、05:55、06:01连续三个体扫时间,为中气旋发展成熟阶段,对应的综合切变产品图上马安一带最大切变值达到 $65 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$,切变值超过 $30 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 的区域呈现环状特征;06:26,中气旋消失,马安一带基本无切变存在。由以上分析可见,切变值变化与中气旋演变同步,说明在日常预报工作中,综合切变产品被用来识别强风暴等强天气现象具有实用意义。

4 结论

(1)马安降水回波经历了一个由非强风暴对流单体向强风暴对流单体演变的过程,使降水逐步加强为大暴雨,表现出两个集中降水阶段。地形作用有利于对流的发生、发展并阻挡降水回波移动,回波合并效应使对流生命史延长,降水增幅。中小尺度系统活动频繁,使对流加强,降水持续,其在多普勒天气雷达速度产品中表现为零速度线大折角偏转、负速度向正速度区伸展、逆风区等特征。

(2)马安一带逆风区出现时间比其集中降水提前近1h,逆风区可作为暴雨预报指标,并有一定的时间提前量,多个仰角速度图上出现逆风区,指示系统加强、雨强加大。

(3)马安主要降水由一强风暴对流单体造成,强风

暴中出现中气旋(中等强度),中气旋直接引发强暴雨,中气旋活动阶段与强暴雨时段吻合。

(4)强风暴垂直积分液态水含量最大值出现两次跃增,与风暴发展和风暴降水时间相对应。

(5)综合切变等产品资料在强风暴等强天气现象识别以及暴雨分析预报中具有实用意义。

参考文献:

- [1] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:13-24,25-32.
- [2] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕.雷达气象学[M].北京:气象出版社,2001:388-389,427-463.
- [3] 席世平,牛淑贞.1998-07-21多单体风暴过程分析[J].河南气象,2001,24(1):12-14.
- [4] 周雨华,黄小玉,黎祖贤,等.副高边缘的多普勒雷达回波特征[J].气象,2006,32(1):12-17.
- [5] 刘平,刘九玲.新一代天气雷达在濮阳特大暴雨过程中的应用[J].河南气象,2006,29(3):39-40.
- [6] 张一平,牛淑贞,王金莲,等.两次大暴雨的新一代雷达产品和闪电特征分析[J].气象与环境科学,2009,32(1):63-67.
- [7] 尹忠海,刘应军,黎祖贤,等.湘中“6.26”雷雨大风过程的多普勒雷达产品分析[J].暴雨灾害,2007,26(4):319-322.
- [8] 郑秀云,王建捷,何金海,等.2003年7月淮河流域暴雨中- β 尺度特征的观测分析[J].气象,2006,32(1):36-43.
- [9] 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,2007,33(8):29-34.
- [10] 张家国,王珏,周金莲,等.暴雨多普勒天气雷达回波特征分析及临近预警[J].暴雨灾害,2008,27(4):326-329.
- [11] 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.
- [12] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006:116-122.
- [13] 胡明宝,高太长,汤达章.多普勒天气雷达资料分析与应用[M].北京:解放军出版社,2000:150-159.

Analysis on Doppler Radar Echo of Local Severe Storm Weather over the Northwest of Hubei

WANG Li-hua, YIN Heng, YAO Dao-qiang, XIA Jin

(Shiyan Meteorological Bureau of Hubei Province, Shiyan 442000)

Abstract: An analysis for the local rainstorm which occurred at the Ma'an township of Yunxi county on 9 August 2007 is performed with the conventional observation data, the rainfall data of automatic precipitation stations, the intensive observations, the Doppler-Radar data and etc. The results indicate that the development of precipitation echo from the general convective cell to severe convective cell results in the rainstorm in Ma'an. Topographic effects and cell combination triggers make the convection occurred and developed, nevertheless cell seldom moving makes the rainfall continuous. The frequent movements of the meso- and micro-scale system makes the convection reinforced and the rainfall continued and even upgraded. The main rainfall is caused by a severe convective cell with an occurrence of mid-cyclone, and the mid-cyclone results directly in the severe rainstorm. The variations of vertically integrated liquid can be taken as an effective criterion of the development and precipitation of rainstorm. Meso- and micro-scale structural features of mid-cyclone and weak echo area have significant indications for the severe storm and rainstorm forecast. The products such as radar reflectivity factors, mean radial velocity, integrated shear and so on have a practical significance in the severe weather identifying and the rainstorm forecast.

Key words: Rainstorm; Radar data; Severe storm; Meso- and micro-scale system; Mid-cyclone