

岳阳市特大暴雨雷达产品分析及预报服务

黄小玉¹ 顾松山¹ 周雨华² 潘志祥² 王 飞² 欧阳红²

(1. 南京信息工程大学, 210044; 2. 湖南省气象局)

提 要

利用多普勒天气雷达产品结合其它气象资料,对岳阳市一次局地特大暴雨的个例回波特征及成因进行了较为细致的分析,并简要介绍了这次过程的短时预报服务情况。

关键词: 雷达产品 暴雨 分析 预报服务

引 言

20世纪60年代后,天气雷达的发展进入了一个新的时代——多普勒天气雷达时代。自从多普勒天气雷达投入业务运行以来,利用多普勒天气雷达资料结合常规资料,对龙卷、冰雹、下击暴流等中尺度灾害性天气系统的形成机理、物理成因及短时预报方法进行了较为深入细致的分析研究,大大提高了对短时灾害性天气的跟踪、监测、预警(预报)能力。

80年代末,国内对多普勒天气雷达资料应用开展了较多的研究,有些研究成果已在气象业务中试用。张沛源在1990年根据多普勒天气雷达的观测事实,提出了在多普勒速度图上识别暴雨的判据;王炜、杜秉玉等人用数值预报产品结合多普勒天气雷达资料研

制了冰雹甚短时客观预报系统;马青云、李泽椿等人开展单部多普勒天气雷达风场反演及其在数值预报中的应用试验。总的来讲,国内的天气雷达已经开始进入多普勒天气雷达时代,但由于雷达观测的时间不长,样本太少,许多工作还有待于进一步深入研究。本文对长江中下游梅雨锋上的一次局地性特大暴雨天气过程的多普勒雷达回波特征进行了比较细致的分析与研究,希望对短时暴雨的预报具有一定的参考作用。

1 雨情灾情

2002年7月21日08时至22日08时(北京时,下同),岳阳市范围内普降大到暴雨、局部特大暴雨。其中岳阳市区降雨量达234.7mm,云溪区293mm、城陵矶215mm、湘阴123.6mm、平江黄旗段117mm、汨罗

101.1mm。岳阳市21日20时至22日08时雨量达211.5mm,其间有两次强降水,第一次出现在7月22日01时至02时10分,降雨量为50mm;第二次出现在22日04时40分至07时10分,降雨量为134mm,其中22日06~07时1小时雨量达100mm。此次过程中岳阳市24小时、12小时、1小时降水量均突破当地历史极值。

受特大暴雨影响,岳阳市云溪区、岳阳楼区受灾严重。云溪区境内京广铁路出现两段路基被冲垮,造成京广铁路22日上午7~9时中断通车2小时。该区7个乡镇61个村遭到了不同程度的灾害。据不完全统计,此次洪涝灾害造成岳阳市的直接经济损失上亿元人民币。

2 天气形势分析

7月21日08时500hPa天气图上,信阳、宜昌、芷江一线有一低槽,20时,该低槽加深并东移到武汉、岳阳、长沙一线(武汉位于槽前西南风 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,长沙处于槽后西北西风 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。08时、20时700、850hPa切变线均稳定在芷江、长沙、南昌一线。20时850hPa切变线辐合增强,切变线南侧的芷江、长沙分别为 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南风,切变线北侧的宜昌、武汉分别为 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东北风。925hPa图上,08时、20时切变线也稳定在湘北,风速由08时的 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增强到20时 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,为湘东北暴雨的产生提供了天气学条件(以上图均略)。

湖南省区域小图上的流场分布则可用来解释暴雨为什么会出现在湘东北。21日14时地面湖南省区域小图上(图略),岳阳站东南东风 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,临湘东风 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,湘阴南南西风 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,在岳阳与湘阴之间有一条中小尺度的风切变。17时(图略)岳阳东南风由14时的 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增至 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,南县由14时 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南风转为 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东北风,沅江吹南风 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,岳阳、沅江、南县有一个小的辐合流场。大暴雨区出现在岳阳、汨罗、湘阴到平江一带,这与中尺度雨带主要产生在中尺度低压的东南象限相吻合^[1]。

3 雷达回波分析

由于受时空分辨率的限制,利用天气图和各种物理量资料只能确定强降水大致出现的时间、落区和强度。卫星云图每小时一次,

对于岳阳这种1小时降雨量达100mm的局地性强降水,也难以分析和准确预报。但利用长沙多普勒天气雷达产品资料可以有效地分析这次特大暴雨的雷达回波特征及中小尺度天气系统^[2]。

3.1 回波特征分析

选用7月21日20时至22日08时的基本反射率(0.5° 、 1.5° 、 2.5° 、 3.5° 四个仰角)、合成反射率、回波顶高、垂直累积液态含水量以及反射率的垂直剖面(RHI)几种产品,结合岳阳对应时次的降水自记资料,综合分析这次强降水的雷达回波特征。

在合成反射率和基本反射率图上,从21日20时开始,在岳阳市西南部的南洞庭湖不断有降水回波生成,并向东北方向快速移动,形成一条宽约十几公里、长为100公里左右、呈东北—西南向的带状回波,带状回波的形成主要与湘北地面存在切变线有关。回波刚开始形成时,由于强度较弱、移速很快,降水也不明显。23时38分,南洞庭湖有对流单体生成,合成反射率强中心达45dBz,范围较窄,宽度约为10km。向东北方向移动的同时强度有所加强,23时50分强回波移至岳阳市区,岳阳市上空的合成反射率图上强回波强度为45dBz,回波顶高由上一个体扫的6km上升为9km,垂直累积液态含水量(VIL)加大,对照降水自记资料,降水有所加大,岳阳市上空的对流开始加强,出现了20分钟6mm的雨强。22日01时22分(图1a,见封三),岳阳市区的合成反射率回波强度达50dBz,顶高为11km,达到了对流层顶,VIL值为 $15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,液态含水量增加。在接下来的1小时里,带状回波在沿长江向东北方向移动的同时,回波强度在岳阳上空不断发展加强,强度值一直维持在45~54dBz之间、云顶高度大于10km,VIL值也在 $10\sim 15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间(见表1),属于持续性的对流降水回波,从降水实况看,01时20分~02时20分,岳阳出现了45mm的强降水。02时29分后强回波移出岳阳市,南洞庭湖没有回波生成,雷达回波图和天气实况都一致表明第一次强降水停止。

04时41分,岳阳附近回波加强,南洞庭湖上空又有新的对流单体产生,VIL值增大,回波顶升高,第二次强降水开始。第二次强

表1 7月22日00时38分至02时38分岳阳上空的合成反射率(CR)、回波顶高(ET)、液态水含量(VIL)

时间	CR /dBz	ET /km	VIL /kg·m ⁻²	时间	CR /dBz	ET /km	VIL /kg·m ⁻²
00:38	40	6	5	01:46	45	11	15
00:44	41	8	10	01:52	46	12	12
00:50	45	8	8	01:58	54	12	15
00:56	46	8	9	02:04	50	12	11
01:22	50	11	15	02:10	40	9	9
01:28	52	12	13	02:16	35	9	9
01:34	45	12	12	02:23	25	6	9
01:40	47	12	15				

降水又分为两个阶段:04时41分~05时35分为第一阶段,该段合成反射率的强度、回波顶高、VIL值分别在35~40dBz、6~7km、6~10kg·m⁻²之间,相对而言,对流发展不是很旺盛,为层状云降水回波,岳阳实况观测记录为连续性中雨,由于降水持续了整整1小时,故也出现了雨强为20mm/小时的强降水;第二阶段,05时41分~07时30分(图2a,见封三),回波加强,在临湘和岳阳之间形成一条宽度仅为10km、长为100km的强回波带,岳阳处于回波的强中心,06时30分回波发展最强,合成反射率强度达57dBz,回波顶高为12km,VIL为24kg·m⁻²,随后强度稍有减弱,但至07时12分,各个体扫的合成反射率的强度值仍然大于50dBz,回波顶高大于10km,VIL值在10~20kg·m⁻²。反射率的RHI图上,虽然没有出现强风暴回波(冰雹、龙卷)特征的穹窿或弱回波区,但可以看出,岳阳处于强回波区,6km以下的强度值都大于45dBz。由表1和表2还可以看出,第二阶段,回波强度、VIL都明显大于第一次强降水,说明第二次强降水对流发展更加旺盛。以上分析表明,由于强回波在岳阳持续了1个多小时,因而岳阳这段时间出现了130mm的特大暴雨。之后强回波向东北方向移动的同时,强度逐渐减弱,岳阳特大暴雨过程结束。

从两时段强降雨的回波分析可以看出,与强降水相对应的合成反射率的回波强度大于40dBz、回波顶高大于10km、VIL值大于15kg·m⁻²,因此利用以上3种产品及持续时间可以较好地预报短时强降水的有无。

3.2 多普勒风场资料的应用

21日08时26分,仰角为0.5°、2.5°的风暴相对径向速度图上,零速度线方位角大致

表2 7月22日05时17分至07时36分岳阳上空的合成反射率(CR)、回波顶高(ET)、液态水含量(VIL)

时间	CR /dBz	ET /km	VIL /kg·m ⁻²	时间	CR /dBz	ET /km	VIL /kg·m ⁻²
05:17	35	3	5	06:30	57	12	24
05:23	40	6	6	06:36	54	12	20
05:29	35	6	5	06:42	50	13	21
05:35	40	6	10	06:48	51	13	14
05:41	45	9	13	06:54	51	12	18
05:47	50	9	16	07:00	53	11	19
05:53	48	12	14	07:06	53	10	17
05:59	45	12	14	07:12	50	10	21
06:06	50	5	14	07:18	40	7	11
06:12	52	9	14	07:24	30	6	7
06:18	52	9	14	07:30	25	6	5
06:24	53	12	17	07:36	28	5	4

位于145°和315°,可以确定在雷达有效探测范围内的环境场从低层到高空均为一致的SW风,在约2000m的高度上还存在一支低空西南急流。4小时后,在南县、华容一带零速度线呈90°折转,即出现了一条东北—西南向的零速度带与原来的零速度线垂直,从而可以判断华容、南县、汉寿一线存在一支高空锋区,在锋前为西南风,在锋后高空为西北风,此时低空急流仍然存在^[2]。随着锋区的南压,降水回波不断向东南方向移动。19时许,冷锋过长沙测站。由于冷锋势力较弱,在南压的过程中不断减弱变性,锋区过站后,雷达测站以北高空又转为西南风,低空急流重新形成。22时14分,冷锋在湘东南减弱消失,雷达观测范围内高空又转为西南风,低空急流的最大风速为16m·s⁻¹。VAD垂直风廓线图上,雷达站上空于11时16分5km以上转为西北风,22时49分又转为一致的西南风,在此期间,1.5km以下高空SW风一直维持在12m·s⁻¹以上,与风暴相对径向速度图上分析的高空锋区过境及低空急流的存在相吻合。21日23时至22日08时,由于低空急流加强,风速大于12m·s⁻¹,22日00时08分,低空急流的最大风速达24m·s⁻¹,辐合偏北,强降水移出岳阳。

总体分析风暴相对径向速度图,可以确定大的环流背景^[1],如上述的槽前西南风、冷暖平流及低空急流等,但暴雨是由中小尺度天气系统所直接造成的。岳阳出现的两时段强降水,在速度场上都存在中尺度气旋性辐合线。

22日00时56分,0.5°仰角的风暴相对

速度图上,岳阳上空为 $5 \sim 11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的正径向速度,往北正径向速度减小,在其西北部约 10km 处存在一条东北—西南向的零速度线,长约 60~70km,零速度线的北部无回波,负速度不明显,但由于正速度的梯度较大,因此零速度带处即为气旋性辐合线,另外,在岳阳北部 1~2km 处,还有两个相邻方位距离库正、负速度差为 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的小尺度辐合线。 2.5° 仰角图上,因岳阳高度较高,但辐合线仍然隐约可见,此时对流单体开始形成。01 时 46 分(图 1b,见封三),辐合线南压至岳阳上空,岳阳处于强回波中心,降水加大;02 时 35 分,气旋性辐合线往东北移出岳阳市,降水减弱。在气旋性辐合线影响岳阳期间,在辐合线上可以分析尺度更小、强度较强的辐合线和气旋性旋转,受其影响,岳阳出现持续近 1 小时的对流性降水。因此岳阳第一次强降水主要是由中小尺度的气旋性辐合线引起的。

第二次强降水主要影响系统也是中尺度气旋性辐合线。04 时 35 分,岳阳西北部约 5km 处有气旋性辐合线生成,长为 60~70km 左右,仍然为东北—西南向,这次气旋性辐合线在岳阳上空准静止达 2 小时左右。05 时 20 分起,零速度线附近的正径向速度梯度增加,岳阳附近的小尺度辐合、气旋出现更加频繁,不断有新对流单体生成、发展,使得岳阳成为强回波中心。06 时 30 分(图 2b,见封三),正速度梯度最大,以至于在 06 时 30 分至 40 分出现了每 10 分钟近 20mm 的强降水。随后,零速度线附近的正速度梯度缓慢减小,辐合线北推,07 时 30 分,岳阳上空由辐合变成为辐散,降水结束。

4 预报服务

在这次局地性的特大暴雨的服务过程中,多普勒天气雷达发挥了重要作用。由于

降水范围小、强度大,中期和短期只能预报出大致的降水起始时间、落区和强度和强度。而多普勒天气雷达能提供高时空分辨率的产品资料,能有效地对这类强对流降水进行监测和预警。7 月 22 日 01 时和 06 时,省台值班员认真分析雷达产品,根据降水回波特征,确定为对流性强降水,两次准确、及时作出短时警报:岳阳境内及北部短时有大到暴雨或暴雨,并通过电话主动通知了省防汛指挥部和岳阳市气象局,使特大暴雨造成的损失减小到最低限度,取得了明显的社会效益。

5 小结

(1) 高空低槽、中低层和地面切变线及西南暖湿气流为岳阳强降水提供了有利的动力、水汽条件。

(2) 利用多普勒天气雷达产品可以有效地分析对流性强降水的回波特征。带状回波有利于产生暴雨和大暴雨。当合成反射率的强度大于 40dBz、回波顶高大于 10km、VIL 值大于 $15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,并持续时间长达 20 分钟以上,考虑有短时暴雨出现。

(3) 岳阳的特大暴雨是由中尺度的气旋性辐合线所直接引起的,多普勒天气雷达所提供的高时空分辨率产品对这次过程进行了全程监测和预报服务,取得了满意的服务效果。

参考文献

- 1 丁一汇. 高等天气学. 北京:气象出版社,467.
- 2 胡明宝,高太长,汤达章. 多普勒天气雷达资料分析与应用. 北京:解放军出版社,2000,1:90~119.
- 3 姚祖庆,杨引明. 上海“98.7.23”大暴雨环境场及多普勒雷达资料的分析. 气象,1999,25(5):28~33.
- 4 徐双柱. “98.7”武汉市特大暴雨的中尺度分析. 气象,2002,28(7):54~57.

Analysis and Forecast Service of a Heavy Rainfall with Radar Products in Yueyang, Hunan Province

Huang Xiaoyu¹ Gu Songshan¹ Zhou Yuhua² Pan Zhixiang² Wang Fei² Ouyang Hong²
(Nanjing University of Information Science & Technology, 210044; 2. Hunan Meteorological Observatory)

Abstract

An analysis of the echo characteristics and the cause of formation of a local heavy rainfall in Yueyang, Hunan Province is made with the Doppler radar data and other meteorological data. And the short-term forecast and service of the event are reviewed.

Key Words: radar echo heavy rainfall short-term forecast and service

《岳阳市特大暴雨雷达产品分析及预报服务》附图

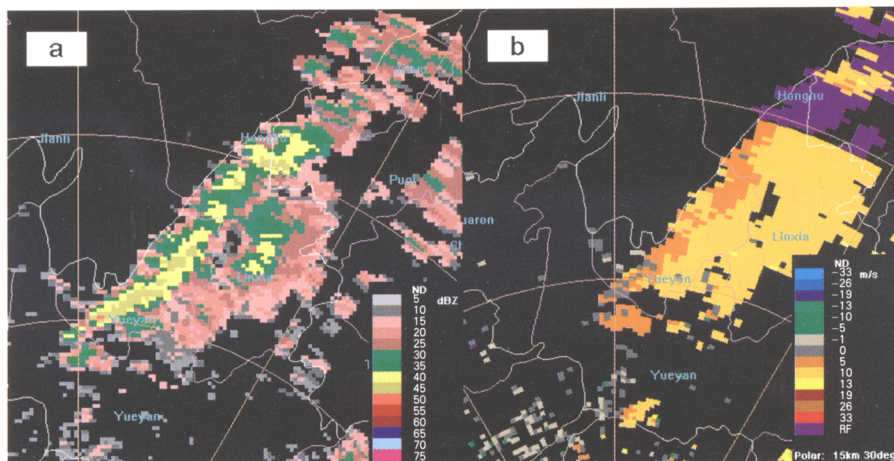


图2 a、22日01时46分合成反射率图 b、22日01时46分风暴相对速度图(0.5°仰角)

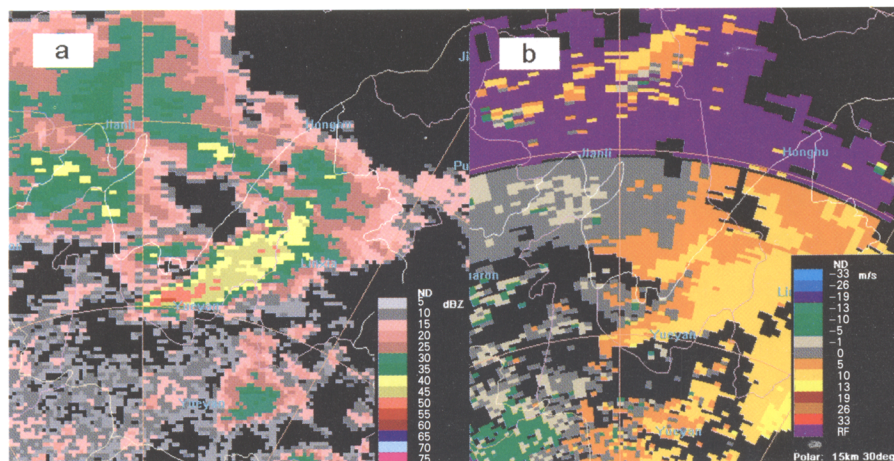


图3 a、22日06时30分合成反射率图 b、22日06时30分风暴相对速度图(0.5°仰角)