

王珏,张家国,王佑兵,等.鄂东地区雷雨大风多普勒天气雷达回波特征[J].暴雨灾害,2009,28(2):143-146.

鄂东地区雷雨大风多普勒天气雷达回波特征

王 珏¹,张家国¹,王佑兵²,毛以伟¹

(1.武汉中心气象台,武汉 430074;2.湖北省随州市气象局,随州 441300)

摘 要:使用多普勒雷达速度场等资料,对 2004—2005 年发生在武汉附近五次灾害性大风过程进行了分析,同时,利用雷达风廓线产品(VWP)计算的 0~1、0~3 km 的风垂直切变和风暴相对螺旋度(SRH)等物理量,分析了低层环境风垂直切变与中气旋存在的关系。结果表明:(1)多普勒雷达速度图上灾害性大风有两个基本的特征:一是存在于相对孤立的风暴内的小尺度大风核,下击暴流尺度相近,是下击暴流在地面附近的反映;二是弓状回波后的大风区或尾入流急流。(2)强的低层垂直风切变下,风暴相对螺旋度较大,在强风暴发展过程中,强风暴伴随有中气旋的存在,天气也较剧烈。(3)多起下击暴流过程发生时回波顶、强回波中心高度下降,表明风暴减弱的开始是下击暴流开始形成的显著特征。

关键词:雷雨大风;多普勒速度;风切变;风暴相对螺旋度;中气旋

中图分类号:P412.2 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)02-0143-04

1 引言

对流风暴属中小尺度的天气系统,常产生强烈的雷电和灾害性大风天气,我国学者一般称之为雷雨大风。实际上,雷雨大风是龙卷风和下击暴流引起的大风等几类大风天气的总称。由于中小尺度对流系统的尺度小、局地性强、生命史短等特点,长期以来,人们主要是在天气雷达、卫星等监测的基础上开展强天气预警服务工作,并在相当长的一段时间里,常规天气雷达观测发挥了重要作用。在利用常规天气雷达观测开展强天气预警服务方面,人们主要是充分利用了常规雷达观测的基本反射率、回波形态学特征以及风暴尺度和中尺度对流系统物理概念模型等来识别冰雹、雷雨大风等强对流天气^[1]。比如,较多应用于强天气识别的弓状回波、钩状回波、回波穹窿等回波形态学特征及超级单体、多单体和飑线物理模型等。较之常规天气雷达,新一代多普勒天气雷达功能更加强大,不仅具有常规雷达的功能,而且可以观测大气运动的多普勒速度,为监测预报雷雨大风、大风的量级提供了更多的探测资料,分析利用这些资料将会大大提高灾害性天气的预警能力^[2-5]。本文重点从分析多普勒天气雷达基本速度出发,研究了五次雷雨大风天气过程的反射率和速度场等特征,同时,利用雷达风廓线产品(VWP)计算的 0~1、0~3 km 的风垂直切变和风暴相对螺旋度(SRH)等物理量,分析了环境风垂直切变条件与中气旋存在的关系,总结了应用多普勒雷达速度信息

分析雷雨大风天气的一些特征。

2 资料选取

选取 2004—2005 年鄂东地区五次雷雨大风过程武汉新一代天气雷达观测资料,对照气象部门观测台站灾情调查及当地媒体有关报道,对雷雨大风天气的多普勒雷达的反射率、速度特征进行分析。考虑到地球曲率的影响,在远距离的地方,雷达波束上抬,雷达无法观测到天气系统低层风场特征,所选取的五次雷雨大风过程(分别用 V1-V5 表示)均发生在武汉新一代天气雷达 100 km 观测范围内(图 1)。



图 1 五次雷雨大风天气过程灾情发生位置
(内圈为 50 km,第二圈为 100 km)

由于有些报道无法确定具体时间、地点(如 V4),在分析中以报道时间前后一小时以内出现最强回波

收稿日期:2008-04-10;定稿日期:2008-09-23

基金项目:中国气象局新技术推广项目(CMATG2007M19)、武汉区域气象中心科技发展基金重点项目(QY-Z-200806)共同资助

作者简介:王珏,女,1976 年生,高级工程师,从事短时天气预报技术研究。Email: hbwjue@163.com

(或速度场切变最大)的时间、地点为准,表 1 中同时给出了影响天气系统、新一代天气雷达提供的中气

旋、组合反射率、回波顶高、基本速度等产品及回波移动速度的基本情况。

表 1 5 次天气个例的影响系统及雷达回波特征

标号	时间	地点	影响天气系统	中气旋	最大回波强度 (dBz)	回波顶高 (km)	最大径向速度 (m/s)	移动速度 (km/h)
V1	2004-07-07T21	新洲	低层波动、地面冷空气	无	55	9	-25	30
V2	2004-07-09T21	江夏	中低层暖切变	无	60	15	-33	50
V3	2005-04-29T18	新洲	中低层暖切变	无	55	12	17	45
V4	2005-05-16T22	孝感、黄陂等	冷槽、中低层切变线	中气旋族	60	18	-24	60
V5	2005-07-29T18	黄陂	低层弱切变	无	55	16	17	45

这五次天气都是在中低层有切变或波动天气背景下发展的对流性回波,回波强度均在 55 dBz 以上,回波顶高达 9 km 以上,回波移动速度 30 km/h 以上,但只有一次过程出现中气旋指标,在回波形态上出现弓状回波。从基本回波形态不易判断大风天气的发生。

3 基本速度图上雷雨大风的一些特征

3.1 小尺度的大风核

Fujita 等人把在地面上或地面附近形成 17.9 m/s 以上的灾害性风的向外暴发的强下沉气流称为下击暴流。它是一股很强的从风暴云下方向冲出,到近地面附近呈直线向下辐散的气流。下击暴流的尺度很小,持续时间很短。大量观测事实研究表明,下击暴流按尺度可分为两种:(1)微下击暴流:水平辐散尺度小于 4 km,持续时间 2~10 min;(2)宏下击暴流:水平辐散尺度大于等于 4 km,持续时间 5~20 min,简称下击暴流^⑥。选用个例中有四次(V1、V2、V3、V5)雷雨大风过程均是由孤立发展的强风暴产生的,分析发现,在地面大风发生过程中,均观测到风暴高度下降、多普勒速度图上尺度较小的大风区逐渐形成并及地的过程。这里大风区我们称之为大风核,与 Fujita 等人定义的下击暴流尺度相近,是下击暴流在地面附近的反映。下面重点分析个例 V2 在多普勒速度场上的一些特征。

2004 年 7 月 9 日晚,受中低层暖切变线影响,一个强对流风暴在江夏产生了两个下击暴流,给当地造成了极大的破坏。20 时左右,在赤壁生成的对流回波快速向东北方向移动,在其移动方向左侧不断有新的回波生成并与之合并。按照回波移动方向每隔 6 min 连接雷达中心和回波中心做反射率和径向速度的剖面观察风暴顶和大风核高度的变化(图 2)。

根据图 2 可知,20:59 分强风暴回波顶高已发展至 12 km 以上,且在强回波中心后侧开始有大风核出现,高度大约在 3 km 左右;21:05 分空中出现强回波核,强度达到 61 dBz,与之对应位置大风核的高度达

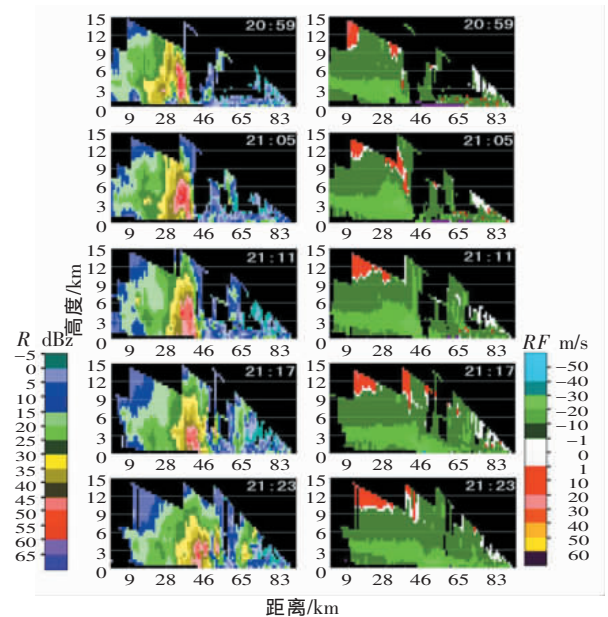


图 2 回波沿径向基本反射率 R(左)和基本速度 V(右)剖面图 (图像右下为雷达所在位置)

到 5 km(最高);21:11 分强风暴回波顶高 14 km,大风核随着强回波核的下落向下延伸且较强回波核略偏前,这时的风暴顶已成下降趋势;21:17 分大风核在强回波前方及地且径向速度达 33 m/s,强风暴回波顶高在 10 km 左右;21:23 分强风暴回波顶高降低到 9 km,强度也由 55 dBz 减弱为 45 dBz。

从速度图(图 3)上看,21 时 11—17 分高低层的大风核十分明显,2 500 m、1 500 m 和 600 m 高度上大风核的中心距雷达分别为 50 km、46 km、44 km。所以从空间上看下击暴流向下略向前倾斜。大风核的面积垂直分布在下击暴流发展阶段和消亡阶段演变特征不同。21:11 分下击暴流产生初期中层开始有大风核,向下面积逐渐减小,2 500 m、1 500 m 和 600 m 高度上大风核直径分别为 8 km、6 km 和 5 km。发展到成熟阶段,中层变化较小,地面大风核面积增大,17 分地面大风核直径达 8 km(图 3 蓝色圆圈内)。后期,大风核先从地面消失,21:30 分,2 500 m 高度上仍有大风核存在,但 1 500 m 和 600 m 高度上就只有一个较

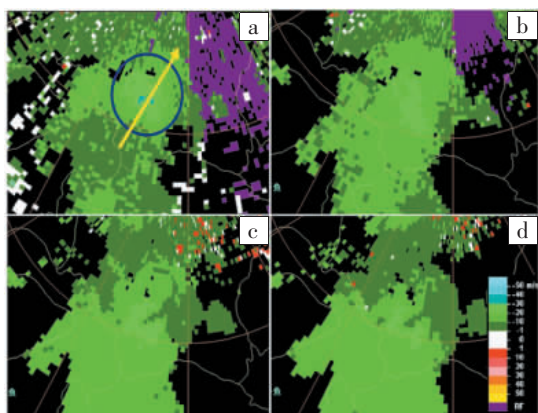


图 3 2004 年 7 月 9 日 21:17 分 0.5°(a)、1.5°(b)、2.4°(c)、3.4°(d)仰角
(黄色箭头表示风暴移动方向)

为散乱的大风区了。因此,利用高层首先出现大风核的特征可以争取下击暴流的预警时间。

3.2 与弓状回波相伴随的大风区

弓状回波是最初人们用雷达基本反射率识别雷雨大风一个很好的回波态特征,实际上雷达观测到弓状回波出现时地面大风已经开始了。因此,用基本反射率形态特征预报雷雨大风的预警时间很有限。

2005 年 5 月 16 日(V4)的过程就是一个弓形回波的典型例子。5 月 16 日受高空 500 hPa 冷槽东移和中低层切变线以及低空急流加强影响,湖北省东部自西向东出现了一次以暴雨、雷雨大风为主的爬线强对流天气过程。这次爬线天气过程造成了 6 个县市出现了 17 m/s 以上的大风,其中红安县最大风速达 26 m/s,黄陂等地还发生了龙卷风天气,同时 8 个县市 6 小时内降水量在 50 mm 以上。20:30 分武汉多普勒雷达观测到在江汉平原潜江、监利北部一带开始出现零星的、范围不大的对流单体,对流单体形成的位置正处在中低层切变线的南侧,西南急流的北侧,对流单体较分散,在引导气流作用下,对流单体自西南向东北移动,在移动过程中回波单体不断生消代谢、调整和合并,发展迅速,范围逐步扩大;到 21:12 分左右,已在天门、潜江一带形成了一人字形回波带,回波中心强度超过 50 dBz,顶高超过 12 km,同时,对流回波西南段异常活跃,不断有新的对流单体新生移进补充,在

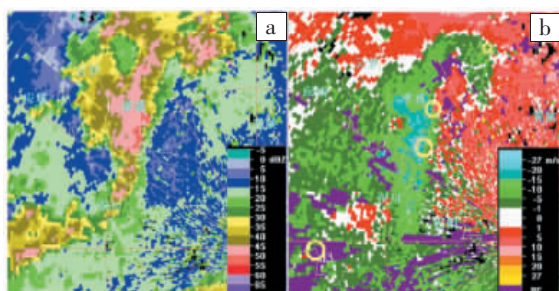


图 4 2005 年 5 月 16 日 22:25 分基本反射率(a)和
基本速度(b)图(0.5°仰角;黄色圆圈为叠加中尺度气旋产品)

运动中向回波区前部聚集;22:25 分回波带已形成了一条波动明显的线性强回波带,回波带长约 300 km,回波带的前沿结构紧密,同时在回波带上出现了由 4 个中气旋组成的气旋族,此时孝感一带也出现强降雨、大风天气(图 4)。此后回波带以 60 km/h 左右的速度向东快速移动,23:01 分回波带东段回波形态已成圆弧形的,有一个旋转的头部弓状回波,回波带在接近东部大别山时减弱。

4 垂直风切变、相对风暴螺旋度

2005 年 5 月 16 日雷雨大风过程出现了 4 个中气旋组成的气旋族,而其它几个过程没有识别出中气旋。研究表明^[8],中气旋的发展往往与中等到强垂直风切变下发展的强风暴有密切关系。利用 6 分钟一次的新一代天气雷达风廓线产品,选取强天气发生前 1 小时和后半小时的资料,计算 0~1、0~3 km 垂直风切变和 0~1、0~3 km 风暴相对螺旋度(SRH),进一步证实了强垂直风切变与中气旋发展的关系。

4.1 垂直风切变的计算

垂直风切变是指水平方向的风速随高度的变化^[8]。在给定的层次中,切变风矢是高层和底层风矢量之差。其计算公式如下:

$$\Delta V = \vec{V}_{top} - \vec{V}_{bot} \quad (1)$$

4.2 相对风暴螺旋度(SRH)

相对风暴螺旋度反映了一定气层厚度内环境风场的旋转程度和输入到对流体内部环境涡度的多少,其量值反映了旋转运动方向的强弱^[8-9]。公式如下:

$$SRH = \int_0^h k \cdot (V - C) \frac{dV}{dz} dz \quad (2)$$

其中 k 是垂直单位矢量; C 是风暴移速; h 是风暴入流厚度。计算风暴移速 C 时采用 Davies 和 Johns 1993 年提出的一种修正预报方法,即:若 0~6 km 平均风速小于 15 m/s,以平均风速的 75%、风向右方 30°作为风暴移速 C ;否则以平均风速的 85%、风向右方 20°作为 C 带入公式计算。由于单时次雷达风廓线产品的风速、风向值可能变化很大,计算时对该时次前一小时的资料逐次求得 0~6 km 平均风,然后将平均值作为 C 带入计算。如果从风廓线产品中获得的场场资料少于该层资料总数的一半时,计算值为 0。计算结果见表 2。

分析以上结果,可以看出强天气发生时 0~1 km 垂直风切变最大值(V4)可达 16.33 s^{-1} ;0~3 km 垂直风切变值则要大多,最大值(V4)可达 23.06 s^{-1} ;0~1 km 风暴相对螺旋度值变化明显,有 2 次过程(V2, V4)

表 2 VWP 垂直风廓线反演产品

天气过程 编号	0~1 km 垂直切变/s ⁻¹		0~3 km 垂直切变/s ⁻¹		0~1 km SRH/ (m ² ·s ⁻²)		0~3 km SRH/ (m ² ·s ⁻²)	
	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值
V1	3.39	0.57	5.18	2.18	5.30	1.06	26.42	4.11
V2	11.34	6.42	12.70	7.26	62.71	28.89	76.91	8.89
V3	6.44	3.23	10.42	7.12	16.33	-8.90	114.19	9.56
V4	16.33	14.99	23.06	20.43	113.05	47.72	238.60	192.53
V5	4.36	0.90	6.48	3.57	7.63	-4.82	4.24	1.34

SRH 的值超过 50 m²·s⁻²;0~3 km 风暴相对螺旋度值则有 2 次过程 (V3,V4)SRH 的值超过 100 m²·s⁻²。垂直风切变、风暴相对螺旋度无论最大值还是平均值过程 V4 均最大,而 V4 正是出现中气旋族的过程。

5 结论

利用 2004—2005 年发生在武汉附近五次灾害性大风天气过程的多普勒雷达速度场等资料,对造成雷雨大风的多普勒雷达速度场进行了分析。同时,利用雷达反演的风垂直廓线产品 VWP 计算了大风过程每 6 分钟间隔的 0~1、0~3 km 的垂直风切变和风暴相对螺旋度,对环境风垂直切变条件与中气旋存在的关系进行了分析。结果表明:

(1) 多普勒雷达速度图上灾害性大风有两个基本的特征:一是存在于相对孤立的风暴内的小尺度大风核,与 Fujita 等人定义的下击暴流尺度相近,是下击暴流在地面附近的反映;二是弓状回波后的大风区或尾入流急流。强垂直切变环境中发展起来的强风暴如超级单体等伴有中气旋。

(2) 强的低层垂直风切变下,风暴相对螺旋度较大,在强风暴发展过程中,强风暴伴随有中气旋的存在,天气也较剧烈。当然,也进一步说明了中气旋的存

在,与大的垂直风切变有密切关系。

(3) 多起下击暴流过程发生时回波顶、强回波中心高度下降,表明风暴减弱的开始是下击暴流开始形成的显著特征。

参考文献:

- [1] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M].北京:气象出版社,2001: 356-362.
- [2] 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.
- [3] 崔讲学,张家国,王仁乔,等.武汉一次下击暴流天气成因分析[J].暴雨灾害,2007,26(4):369-371.
- [4] 张家国,廖移山,李德俊,等.“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.
- [5] 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.
- [6] 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,2006:314.
- [7] Johnson J T, MacKeen P L,Witt A,et al. The storm cell identification and tracking algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm [J]. Wea Forecasting,1998,13: 263-276.
- [8] 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,2006:109-120.
- [9] 王丽荣,胡志群,匡顺四.应用雷达产品计算风暴相对螺旋度[J].气象,2006,32(4):45-51.

Characters of Doppler Radar Velocity on Intense Gust in the East of Hubei Province

WANG Jue¹, ZHANG Jia-guo¹, WANG You-bin², MAO Yi-wei¹

(1.Wuhan Central Meteorological Observatory ,Wuhan 430074; 2. Suizhou Meteorology Office, Suizhou 441300)

Abstract: Using Doppler radar velocity field data the analyses were conducted on five gust processes happened near Wuhan from 2004 to 2005, and also on the relation between low-level wind vertical shear and mesocyclone using wind vertical shear and Storm Relative Helicity (SRH), which got from the calculation of VAD Wind Profile (VWP) products. There are two characters of intense gust on the Doppler radar velocity map: one is the relatively isolated race pit with the small-scale, the other is the tail income race at the back of bow echo. The mesocyclone appeared in the strong storm is developed in the strong wind uprightiness shear surroundings. As the characters showing, the start of storm trailed off, the height of the top and the strong center of echo falling down indicates the downburst begin.

Key words: Tornado; Doppler radar velocity; Wind shear; SRH; Cyclone