

江西冰雹、大风与短时强降水的多普勒 雷达产品的对比分析

应冬梅¹ 许爱华¹ 黄祖辉²

(1. 江西省气象台, 南昌 330046; 2. 南昌市气象局)

提 要: 为发挥多普勒天气雷达监测和预警冰雹、雷雨大风、短时强降水等强对流天气的作用, 制作出精细化的临近和短时预报, 选取了江西 8 次典型的强对流天气过程, 从 7 个方面对冰雹大风和短时强降水两类强对流天气的多普勒天气雷达回波特征进行对比分析。结果表明: 江西省冰雹、雷雨大风过程 45~55dBz 强回波平均高度为 12.4km, 达到或超过 -25℃ 层的高度, 比短时强降水回波高 5.6km。弱回波区(WER)或有界弱回波区(BWER)、三体散射长钉、持续高垂直积分液态水含量、中气旋、下湿上干或强风垂直切变特征等都是冰雹天气的典型特征。而相对平均径向速度图上“S”型暖平流及表现强低空急流的“牛眼”、深厚的湿度层等, 则是短时强降水的主要特征, 这些特征可为两类强对流天气短时临近预报提供预报参考。

关键词: 多普勒雷达回波 冰雹 大风 短时强降水

A Comparative Analysis of Doppler Radar Products in Hail, Gale and Short-time Heavy Rainfall in Jiangxi

Yin Dongmei¹ Xu Aihua¹ Huang Zuhui²

(1. Jiangxi Meteorological Observatory, Nanchang 330046;
2. Jiangxi Nanchang Meteorological Office)

Abstract: To fully apply Doppler radar data in detecting and warning the convective weather events such as hail, intense gust and short-time heavy rainfall with thunderstorm and high resolution now-casting, 8 typical events featured by intensive convection are selected for a comparative analysis of the echo features of hail and intense gust and short-time heavy rainfall with the particular emphasis on the differences between the echo features of hail and intense gust and short-

资助项目: 江西省科技厅《江西突发性强风暴天气监测和预警研究》、中国气象局预报员专项《江西省强对流天气预警技术研究》、江西省气象局《江西突发性强对流天气预报研究》

收稿日期: 2006 年 9 月 5 日; 修定稿日期: 2007 年 1 月 15 日

time heavy rainfall from seven aspects. The results show that the average echo height with reflectivity from 45 to 55dBz is 12.5km high when the hail or gust with thunderstorm occurs. It reaches or even exceeds the height of the layer with the temperature of -25°C and is 5.6km higher than that of the short-time heavy rainfall. As for hail, the typical echo characters include WER (Weak Echo Region) or BWER (Boundary WER), TBSS (Three-Body Scatter Spider), sustaining high VIL, high humidity in lower layer and low humidity in high layer, mesocyclone and strong vertical wind shear. On the other hand, when the short-time heavy rainfall occurs, the typical echo characters corresponding to Doppler radar products as SRM (storm-relative map) velocity include warm advection S-shaped, low-layer airflow shaped like the eyes of cattle and the thick layer of humidity. Those characters can provide some valuable references to nowcasting convective weather of two types of hail and shortly heavy rainfall.

Key Words: Doppler radar echo hail gust short-time heavy rainfall

引言

冰雹、雷雨大风、短时强降水($\geq 30\text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)等强对流天气是由中小尺度天气系统造成的,其发生发展突发性和局地性强,预报难度大。近几年来,随着我国新一代多普勒天气雷达观测网的建立和业务化运行,多普勒雷达资料已广泛应于暴雨、强对流天气的监测分析和短时临近预报。文献[1—6]详细分析了发生在我国不同地区的典型超级风暴单体发生发展的演变过程及其显著的结构特征,可以帮助预报员正确识别、判断超级风暴单体。文献[7—9]结合不同的天气形势和多普勒雷达探测信息建立了一些预报概念模型。文献[10—11]将多普勒资料进行降水强度客观定量估测试验和应用。以上分析研究工作非常有利于我们揭示强对流天气发生发展的特点和成因,提高对强对流天气监测和预报能力及定量降水预报水平。

春夏季节,我国南方常会出现两种不同类型的强对流天气:一种是冰雹、雷雨大风为主;另一种是以短时强降水($\geq 30\text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)为主,有时还伴有雷雨大风天气,通常是致洪

暴雨。在短时临近预报中,要区别以上两种强对流天气,判断未来的天气是以冰雹、大风天气还是致洪暴雨天气为主,做出精细化的短时临近预报是一个难点。然而,国内有关这方面的分析研究工作开展较少。本文选了8个有完整资料的个例进行对比分析,找出了区别上述两种类型强对流天气的指标,为短时临近预报提供了实用参考标准。

1 资料选取和研究方法

1.1 资料选取

在江西省南昌多普勒雷达的探测范围内(全省除赣南外,均在雷达的探测范围内),选取了2002、2003、2005、2006年4年中8次南昌多普勒雷达探测到的较为典型的强对流过程进行对比分析,这8次过程天气实况见表1。

1.2 研究方法

本文主要利用多普勒天气雷达探测到有关强对流天气的产品和南昌探空资料,对冰雹、雷雨大风过程和短时强降水过程回波产品特征进行对比分析。各种产品的时间取强

表 1 8 次强对流天气过程实况

过程日期	出现时间	强对流天气类型/站次			
		冰雹 (最大直径/mm)	雷雨大风 (瞬时最大风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	强降水 (最大 1 小时降水/mm)	$R_{24} \geq 50\text{mm}$ ($\geq 100\text{mm}$ 站数)
20020407	17—24 时	5(24)	16(24)	1	
20030412	09—22 时	6(30)	9(30)	8(33)	14(1)
20050430	14—22 时	2(20)	12(25)	1	2
20060411	15—21 时	6(50)	8(21)	8(33)	10(7)
20030506	14—次日 05 时		18(40)	16(34)	14
20050422	13—23 时		5(19)	10(38)	20(4)
20050516	02—14 时			3(34)	16(1)
20060525	14—次日 08 时			9(35)	18(8)

注:2002—2006 年江西省共出现了 30 次冰雹天气过程,既产生强雹也产生强降水的个例有 8 次,占冰雹天气的 26.7%

天气开始前 30 分钟到 1 个小时直到强天气结束的资料。

2 不同类型强对流天气过程多普勒雷达回波产品对比分析

从国内外观测资料可知,强对流天气的雷达回波特征常常强度强,回波顶高,上升气流特别强,在回波形态上也常有显著特征。如在 PPI 图上,钩状回波、弓形回波、三体散射长钉(TBSS)、有界弱回波区(BWER)或弱回波区(WER)、中气旋、TVS 龙卷涡旋特征等。在 RHI 图上,有回波墙、穹窿、悬垂体。由于我国地域辽阔,不同地区各种强对流天气的回波特征是否有上述特征? 一些参数量值又主要在怎样一个值域? 以下从 7 个方面进行分析。

2.1 回波强度最大值所在高度分析

我们选用组合反射率(CR)最大值所在地进行回波垂直剖面分析。统计分析表明,45~55dBz 回波平均高度,冰雹云为 12.5km,短时强降水云体为 6.9 km,前者高出 5.6km。56~65dBz 的回波平均高度,冰雹云为 10.0km,短时强降水云体为 5.3km,

前者高出 4.7km。66~75dBz 回波平均高度,冰雹云为 8.1km,4 次短时强降水过程只有 1 次回波强度超过 66dBz,高度 4.0km。强回波平均顶高明显高于短时强降水云体。冰雹云的回波强度最大值也明显大于短时强降水云体。

2.2 弱回波区(WER)或有界弱回波区(BWER)分析

文献[12]指出,具有宽阔的弱回波区(WER)或有界弱回波区(BWER),特别是当它们上方存在强反射率因子核的风暴最有利于大冰雹的发生。文中分析的 4 次冰雹过程的冰雹直径都大于 20mm,最大直径 50mm。分析 4 次冰雹云发展过程后,上述结论进一步得到验证。从图 1(见彩页)可看出,4 次冰雹过程的 RHI 图上,有回波墙、穹窿、悬垂体和宽阔的弱回波区(WER)或有界弱回波区(BWER),上方又都存在强反射率因子。在 2002 年 4 月 7 日 23 时、2005 年 4 月 30 日 14:12 和 2006 年 4 月 11 日 16:49 都存在有界弱回波区(BWER),2003 年 4 月 12 日 14:43 为宽阔的弱回波区。图 1 中 4 次短时强降水过程的 RHI 图上,强度明显弱于冰雹云回波,没有穹窿、悬垂体和弱回波区或有界弱回波区结构。

2.3 强回波顶对应的温度分析

文献[12]指出,当强回波区位于-20℃等温线高度之上时,对强降雹的潜势贡献最大。WSR—88D 新的冰雹算法中判断大冰雹(通常将降落到地面的直径超过 2cm 的冰雹称为大冰雹)的主要判据是检验-20℃高度以上有无超过 45dBz 的反射率因子。为

此,我们查阅了 8 次的强对流天气过程当天南昌站的探空曲线获取的 0℃、-20℃、-25℃高度,并与强回波顶高进行对比,形成表 2。从表 2 中 4 次冰雹云 45~55dBz 强回波的高度都位于-25℃高度之上,而 4 次短时强降水天气过程 45~55dBz 强回波高度都位于-20℃高度之下。

表 2 南昌站探空站 0℃、-20℃、-25℃的高度与冰雹过程不同强度的回波达到的高度

时间	特征温度层平均高度/m				强回波平均顶高/km		
	0℃	-20℃	-25℃		45~55dBz	56~65dBz	66~75dBz
07 时	4539	7370	8162	冰雹	12.4	9.5	7.9
19 时	4389	7526	8350	强降水	6.8	5.0	

2.4 垂直积分液态含水量(VIL)对比分析

垂直积分液态含水量 VIL 产品是判别冰雹等灾害性天气的有效工具之一。根据美国 Oklahoma 的统计,5 月份出现大冰雹的垂直积分液态含水量的阈值为 55kg·m⁻²,6、7 和 8 月份的相应阈值为 65kg·m⁻²。

通过分析冰雹、雷雨大风、短时强降水发生前(30~60 分钟)VIL 变化,并计算平均值(见表 3),我们发现:4 次冰雹强对流天气过程,在降雹前 1~1.5h VIL 在不断地升值或维持高值,降雹前的 30~40 分钟 VIL 更是跃增,

达到过程最大值后,地面降雹,降雹后 VIL 减小。当 VIL 持续大则对应超级单体回波。同时,从表 3 中可以看出,就平均而言,VIL 值以冰雹为最大、雷雨大风次之、短时强降水最小。冰雹的 VIL 的平均值在 58~67kg·m⁻²之间变化,最大值达 80kg·m⁻²。雷雨大风的 VIL 平均值在 44~52kg·m⁻²之间变化,最大达 68kg·m⁻²。而短时强降水的 VIL 平均值在 28~42kg·m⁻²之间变化,最大值达 45kg·m⁻²。雷雨大风和短时强降水相伴出现的 VIL 平均值在 44~47kg·m⁻²之间变化,最大达 66 kg·m⁻²。

表 3 冰雹与强降水过程 VIL 平均值

冰雹过程 VIL/kg·m ⁻²			短时强降水过程 VIL/kg·m ⁻²		
时间	平均值	最大	时间	平均值	最大
20020407 17:04—23:18	67	80	20030506 13:03—10:28	52(大风)	68
20030412 08:49—18:15	58	73	20030506 13:03—19:30	47(风雨)	60
20030412 08:49—10:51	35(雨)	43	20030506 19:06—00:41	32(雨)	43
20030412 10:51—13:54	44 风雨	66	20050422 13:04—23:03	32	45
20050430 13:05—15:50	62	80	20050516 06:00—08:55	34	43
20060411 15:30—17:31	75	80	20060525 16:02—21:48	28	42

2.5 风廓线(VWP)产品的对比分析

强对流天气的发生发展和一定厚度的湿

层结构状况、不稳定层结和环境风垂直风切变有关。环境水平风向风速的垂直切变大小往往和形成风暴的强弱密切相关。从 VWP

产品分析发现,冰雹过程与短时强降水过程的水汽层结和风垂直切变分布有差异。一类是在冰雹过程的风廓线图上(图略),低层为湿西南气流,中、高层为干层,上干下湿有利于冰雹天气的形成。2005年4月30日14时、2006年4月11日过程属这一类,而2002年4月7日、2003年4月12日2次过程风廓线的分布相似,对流层有明显的风向和风速切变,2.4 km以下风随高度顺转明显,中高空气有强盛西南风和湿层,5500m都为 $\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南急流。这样的强风垂直切变同样有利冰雹天气的发生低层又若有切变,更利于冰雹强对流天气迅猛发展。在短时强降水的风廓线图上(图略),湿层深厚,即对流层中低层都很潮湿,从低层到高层为一致的西南气流,或风向顺转,风速随高度递增,1500~3000m上空风速 $12 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 西南急流,有利于形成强降水。

2.6 冰雹三体散射回波分析

由文献[3,13]可知,三体散射长钉回波对应的是大冰雹,这4次冰雹强对流天气有3次(20020407 19:58、20030412 14:43、20060411 14:44)出现了三体散射长钉(图2,见彩页),在降雹前5~52分钟出现三体散射长钉,出现三体散射长钉的都是较大冰雹,冰雹直径都大于等于20mm,最大冰雹直径50mm。20050430 14:12三体散射长钉特征不明显。由此可见,三体散射长钉是判断大冰雹的充分条件,也是一个预报大冰雹很有用的指标,但不是必要条件,而短时强降水过程则没有三体散射长钉回波。

2.7 相对平均径向速度场的比较分析

中气旋是与对流风暴的上升气流紧密相关的小尺度涡旋^[13-14]。根据定义,中气旋常见出现在超级单体风暴中。在4次冰雹过程中,降雹前30~60分钟内风暴相对平均径向

速度场中都有中气旋存在(图3,见彩页),中气旋产品也识别出中气旋存在。4次短时强降水的风暴平均径向速度场零速度线均通过南昌测站,其中3次过程有清晰“S”形速度场,都有表现强低空急流的“牛眼”(见图4);同时,在2003年5月6日过程中可见有急流核移动,在急流核经过的地方都出现了雷雨大风和短时强降水,小急流核产生雷雨大风天气,而面积稍大的急流核则产生短时强降水天气。

3 风暴顶辐散分析

风暴顶辐散是风暴中强上升气流密切相关的小尺度特征,它提供了上升气流强度的一个度量,与大冰雹尺寸相关连,并且是风暴强度变化的一个早期指示。4次冰雹强对流过程有3次有明显风暴顶辐散(图5,见彩页),2003年4月12日15:38风暴顶辐散不明显,这可能与超级单体风暴距雷达站150 km以外有关。4次短时强降水过程的风暴顶都没有辐散。

4 总结与讨论

通过以上对比分析,江西省冰雹、雷雨大风过程和短时强降水过程的多普勒雷达产品有显著差异,主要表现在以下几方面:

(1) 冰雹云回波强中心最大值高于其它强对流天气。冰雹云的45~55dBz和56~65dBz强回波平均高度高于短时强降水云体5.6和5.3km。45~55dBz的反射率因子高度是否达到 -25°C 高度之上对预报南方大冰雹天气有较好的指示作用。

(2) 降冰雹时VIL值最大,产生雷雨大风时VIL次之,产生短时强降水VIL值最小。江西4—5月降冰雹时VIL阈值为 $58 \sim 67 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,略高于美国同期阈值。

(3) 具有宽阔的弱回波区(WER)或有界弱回波区(BWER),特别是当它们上方存在强反射率因子核的风暴最有利产生大冰雹。

(4) 相对平均径向速度图上,降雹前30~60分钟内有中气旋存在,强降水过程具有“S”型暖平流特征,且有表现强低空急流的“牛眼”。

(5) 风廓线(VWP)产品图上,冰雹过程风廓线呈现下湿上干或强风垂直切变特征。短时强降水过程对流层中低层湿度大,低空急流更强盛。

(6) 大冰雹过程多数存在辐散顶,但有时检验风暴顶辐散甚为困难,必须使用适当的仰角对风暴顶取样。

总之,冰雹、雷雨大风、和短时强降水天气在多普勒雷达回波特征上有异同,当灾害天气来临时,要善于分析各回波产品细微的变化,以便做出正确的短时临近预报。

参考文献

- [1] 伍志方,张春良,张沛源. 一次强对流天气的多普勒特征分析[J]. 高原气象,2001,20(2):202-207.
- [2] 郑媛媛,俞小鼎,方翀. 一次典型超级单体风暴的多普勒雷达观测分析[J]. 气象学报,2004,62(3):317-327.
- [3] 郭燕,殷冬梅,刘冬梅. 江西“4.12”降雹过程多普勒雷达资料分析[J]. 气象,2005,31(11):47-51.
- [4] 应冬梅,许爱华,支树林. 2次大范围强对流天气过程的势和雷达回波对比分析[J]. 江西气象科技,2003,26(2):10-13.
- [5] 陈秋萍,黄东幸,余建华,等. 闽北前汛期短时强降水与雷达回波特征[J]. 气象,2001,27(8):52-55.
- [6] 应冬梅,郭艳. 江西省一次强对流天气的多普勒天气雷达产品分析[J]. 江西气象科技,2003,26(3):20-22.
- [7] 郭林,陈礼斌,施碧霞. 闽南地区短时区域暴雨的天气及多普勒雷达资料概念模型[J]. 气象,2003,29(5):41-45.
- [8] 周雨华,黄小玉,黎祖贤. 副高边缘暴雨的多普勒雷达特征[J]. 气象,2006,32(1)8:12-16.
- [9] 康玉霞,焦热光. 北京地区强对流天气雷达回波特征[J]. 气象,2004,30(7):31-36.
- [10] 王建林,刘黎平,曹俊武. 双线偏振多普勒雷达估算降水方法的比较[J]. 气象,2005,31(8):25-30.
- [11] 王改利,刘黎平. 多普勒雷达资料在暴雨临近预报中的应用[J]. 气象,2005,31(10):12-15.
- [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.
- [13] 朱君鉴,王令,黄秀韶. CINRAD/SA中气旋产品与强对流天气[J]. 气象,2005,31(2):38-42.
- [14] 邵玲玲,孙婷,邹锐. 多普勒天气雷达产品中气旋在强风预报中的应用研究[J]. 气象,2005,31(9):34-48.

应冬梅等：江西冰雹、大风与短时强降水的多普勒雷达产品的对比分析

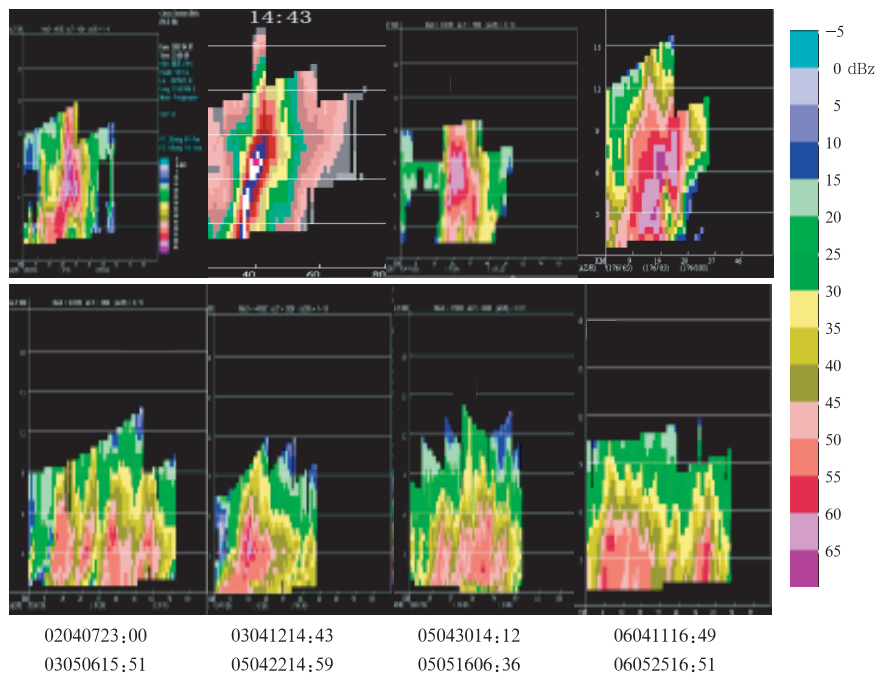


图1 8次天气过程的RHI图

上图冰雹过程、下图为短时强降水过程，图中每根线间隔3km；
时间为北京时，时间顺序为年、月、日、时、分，均用两位数表示

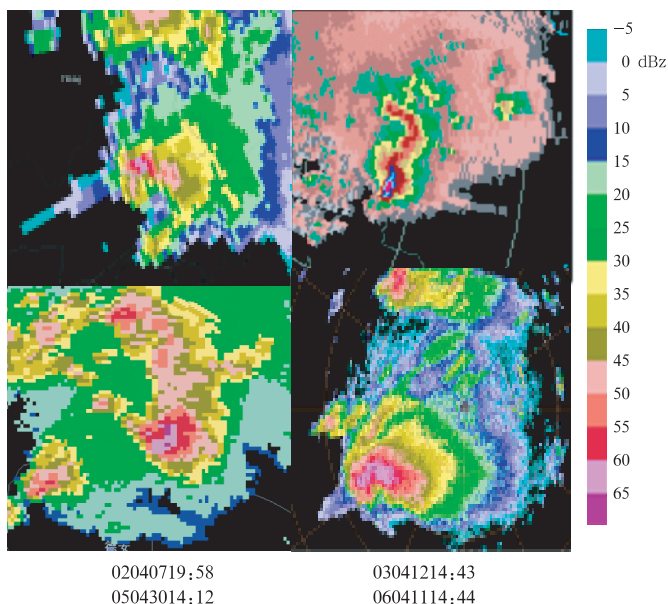


图2 冰雹三体散射回波PPI图
说明同图1

应冬梅等：江西冰雹、大风与短时强降水的多普勒雷达产品的对比分析

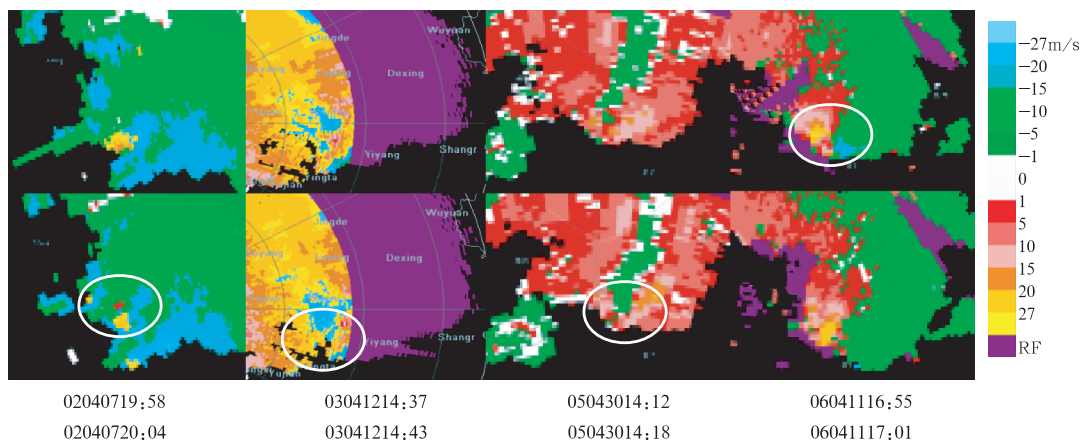


图3 冰雹天气过程的相对平均径向速度SRM图
说明同图1

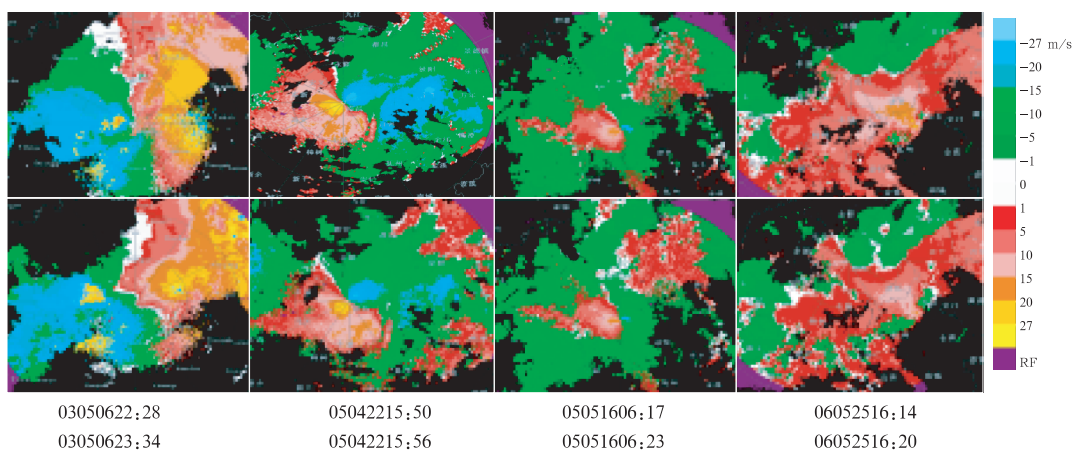


图4 短时强降水天气过程的相对平均径向速度SRM
说明同图1

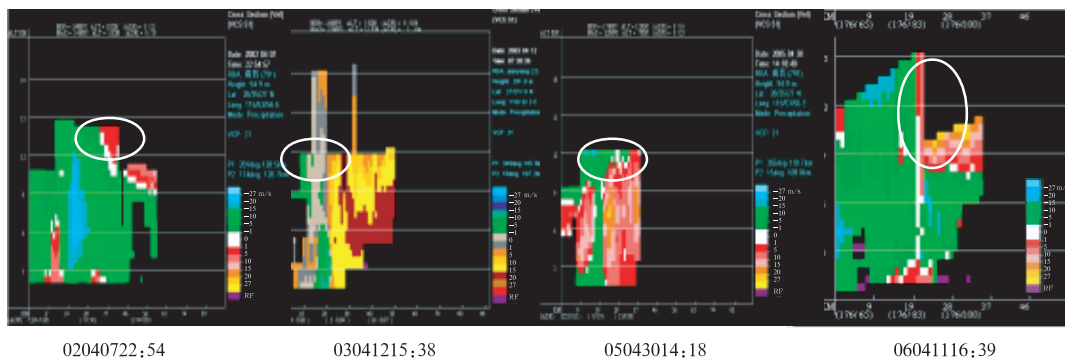


图5 冰雹天气过程平均径向速度(SRM)剖面图
说明同图1