

李德俊,唐仁茂,熊守权,等. 强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警[J]. 气象,2011,37(4):474-480.

强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警^{*1}

李德俊^{1,2} 唐仁茂² 熊守权³ 柳 草⁴
向玉春² 袁正腾² 王慧娟² 韩 琦⁴

1 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074

2 湖北省人工影响天气办公室, 武汉 430074

3 湖北省恩施州气象局, 恩施 445000

4 武汉中心气象台, 武汉 430074

提 要: 利用恩施多普勒雷达和常规分析资料,详细对比分析了 2007—2008 年发生在恩施山区强冰雹和短时强降水天气过程中的雷达产品特征。在此基础上,找出了适合恩施山区强冰雹和短时强降水天气的雷达临近预警指标:选取负温区回波厚度 ≥ 7 km、CR 强中心回波强度 ≥ 55 dBz、强回波梯度 ≥ 15 dBz \cdot km⁻¹、45 dBz 强回波伸展高度 ≥ 7.5 km、累积液态含水量(VIL)密度 ≥ 3.2 g \cdot m⁻³和雷达风廓线 1.8~6.1 km 风垂直切变均值 $\geq 2.3 \times 10^{-3}$ s⁻¹作为强冰雹临近预警指标;当满足组合反射率(CR)强中心回波强度、VIL 密度、40 dBz 强回波伸展高度和雷达风廓线(VWP)上 1.8~6.1 km 风垂直切变值达 43.0 dBz,1.1 g \cdot m⁻³,7.0 km 和 1.9×10^{-3} s⁻¹,可以考虑该站点及附近地区进入短时强降水临近预警状态,并利用 2009 年发生的强冰雹和短时强降水天气过程检验了这些临近预警指标性能。

关键词: 强冰雹, 短时强降水, 对比分析, 临近预警指标

Radar Features and Nowcasting of Severe Hail and Short-Time Heavy Rainfall

LI Dejun^{1,2} TANG Renmao² XIONG Shouquan³ LIU Cao⁴
XIANG Yuchun² YUAN Zhengteng² WANG Huijuan² Han Qi⁴

1 Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074

2 Weather Modification Office of Hubei Province, Wuhan 430074

3 Enshi Meteorological Office of Hubei Province, Enshi 445000

4 Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074

Abstract: Using Enshi Doppler radar and MICAPS data, the radar product characteristics are conducted by the comparative analysis between severe hail and short-time heavy rainfall occurring in the Enshi mountain area during 2007 to 2008. On this basis, some radar nowcasting indicators of severe hail and short-time heavy rainfall are found and chosen which are suitable for the Enshi mountain area: the thickness of the negative temperature region echo ≥ 7 km, CR strong central echo reflectivity ≥ 55 dBz, strong echo gradient ≥ 15 dBz \cdot km⁻¹, 45 dBz strong echo height ≥ 7.5 km, VIL density ≥ 3.2 g \cdot m⁻³, and VWP shear means $\geq 2.3 \times 10^{-3}$ s⁻¹ are selected as nowcasting indicators of approaching severe hail; while the strong central echo reflectivity, VIL density, 40 dBz strong echo height and wind profiler radar on the VWP shear means (1.8—6.1 km) are 43.7 dBz, 1.1 g \cdot m⁻³, 7.0 km and 1.9×10^{-3} s⁻¹, the nowcasting status of short-time heavy rainfall to the site and the surrounding areas is very appropriate. Finally, the severe hail and short-time heavy rainfall events occurring in 2009 are adopted to test the performance of these nowcasting indicators.

Key words: severe hail, short-time heavy rainfall, comparative analysis, nowcasting indicators

* 2009 年度湖北省气象局科技发展基金项目(2009Q02)和 2010 年度华中区域气象中心科技发展基金重点项目(QY-Z-201008)共同资助
2010 年 3 月 10 日收稿; 2010 年 7 月 16 日收修定稿
第一作者:李德俊,主要从事雷达资料分析和应用工作. Email:esldj@163.com

引 言

随着气候变化的影响,强冰雹(冰雹直径 ≥ 20 mm)和短时强降水(1 小时降雨量 ≥ 30 mm)等强对流灾害性天气频发。近些年来,为了对它们进行实时监测、追踪、分析和临近预警,国内外气象工作者一直在广泛开展针对短时对流灾害性天气预警系统的研究开发工作,如中国气象局的 SWAN、北京和上海的短临系统、澳大利亚气象局的 SETPS 系统、香港天文台的 SWIRLS 系统以及 NCAR 的临近预报系统、ANC 系统等多种以雷达探测为基础的强风暴临近预报系统^[1]。这些系统的研究开发为短时强天气预警业务的开展起到很好的平台作用。但在实际业务工作中,预报员综合分析各种探测资料和短时预警的各种客观产品,认真分析客观预报与主观预报的最佳结合点,采用经验识别和外推,仍然是目前开展强对流天气的临近预警业务的主要途径^[2]。因此,预报员如何根据雷达探测资料识别强对流天气回波、准确确定落区及强度对强对流天气的预报和临近预警十分重要,不少学者对此进行了研究^[3-17]。恩施地形类似于一个倒置的喇叭口,东北西三面均有较高的山脉,中南部是海拔相对较低的河谷地区(图 1),特殊的地形犹如一个“地形辐合器”,当有天气系统影响时,往往会进一步发展加强,产生强对流天气,本地的强冰雹和短时强降水出现也较频繁,引起的灾害也最为严重。

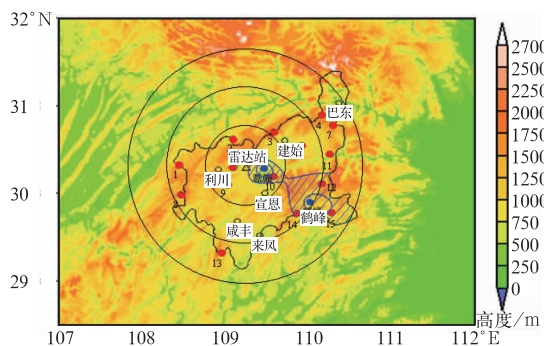


图 1 恩施山区冰雹源地和短时强降水多发区示意图

● 为冰雹源地;斜线为短时强降水多发地

Fig. 1 The hail sources and the areas prone to short-time heavy rainfall in Enshi mountains

● marks hail source; slant prone to short-time heavy rainfall

本文分别统计了 2007—2008 年发生在恩施山区有完整资料的 7 次强冰雹和 8 次短时强降水天气

过程的基本速度、反射率因子、VIL 和 VIL 密度以及雷达风廓线 VWP 进行了对比分析,找出了区别上述两类强对流天气的雷达临近预警指标,为本地短时临近预警提供了实用参考标准。

1 资料和天气过程环境参数

1.1 资料

收集了 2007—2008 年在恩施山区发生的 7 次强冰雹(冰雹直径 ≥ 20.0 mm)天气过程和 8 次短时强降水(1 小时降水量 ≥ 30.0 mm)天气过程的多普勒雷达资料及气象站降水资料。这 15 次天气过程分别见表 1 和表 2。

表 1 2007—2008 年恩施强冰雹天气过程统计

Table 1 Severe hail statistics in Enshi area from 2007 to 2008

编号	最强冰雹直径/mm	起止时间	回波移动路径	发生地点
20070414	22.5(19:06)	18:42—19:12	由西北部移入,右移	建始等地
20070503	25.0(04:45)	04:27—05:15	由西北部移入,右移	巴东等地
20080512	30.0(16:57)	16:09—17:52	由西北部移入,右移	咸丰等地
20080710	20.0(20:10)	20:10—21:10	由北部移入,右移	利川等地
20080711	27.5(15:37)	15:31—15:55	由北部移入,右移	来凤等地
20080727	20.0(13:30)	13:30—13:36	由西南部移入,右移	利川等地
	20.0(16:27)	16:27—17:21	由西南部移入,右移	巴东等地
20080728	20.0(16:11)	16:09—16:23	由东南部移入,右移	咸丰等地

表 2 2007—2008 年恩施短时强降水过程统计

Table 2 Short-time heavy rainfall statistics in Enshi area from 2007 to 2008

编号	雨量 /mm · h ⁻¹	发生时间 /BT	回波移动路径	发生地
20070524	57.2	03:00	由西南向东北移动	来凤
	33.9	02:00	由西南向东北移动	鹤峰
20070620	33.3	01:00	由西南向东北移动	恩施
20070709	30.8	17:00	东移南压	恩施
20080419	34.9	03:00	由西南向东北移动	恩施
20080527	31.5	21:00	东移南压	恩施
	33.8	23:00	东移南压	鹤峰
20080704	44.6	7 月 4 日 21:00	由西南向东北移动	恩施
	49.7	7 月 5 日 01:00	由西南向东北移动	利川
20080815	36.1	05:00	由西南向东北移动	鹤峰
	41.6	07:00	由西南向东北移动	恩施
20080829	30.0	02:00	由西南向东北移动	恩施

1.2 天气过程环境参数

为了详细反映天气过程环境参数变化特征,分别统计出了 700~500 hPa 温差,地面露点、850 hPa 露点,地面温度露点差、850 hPa 温度露点差和 700 hPa 温度露

点差,地面至6 km高度(地面以上6 km)风矢量差以及0 °C和-20 °C层海拔高度和0 °C层到地面高度这10个环境参数,分别记为 $T_{700-500}$ (°C)、 $T_{d地面}$ (°C)、 T_{d850} (°C)、 $T - T_{d地面}$ (°C)、 $T - T_{d850}$ (°C)、 $T - T_{d700}$ (°C)、 $V_{0-6 km}$ ($m \cdot s^{-1}$)、 H_0 (km)、 H_{-20} (km)和 $\Delta H_{0-地面}$ (km)(统计表略)。可以看出,强冰雹天气的10个环境参数平均值分别为16.75 °C、18.13 °C、4.25 °C、13.75 °C、5.09 °C、6.14 °C、15.38 $m \cdot s^{-1}$ 、4.53 km、7.63 km和3.78 km,而短时强降水分别为14.63 °C、21.38 °C、1.63 °C、17.50 °C、1.35 °C、1.58 °C、10.88 $m \cdot s^{-1}$ 、5.05 km、8.60 km和4.51 km。通过比较,前者由低层至高层温差大、地面至6 km高度风矢量差大,而地面温度露点差值较小、0 °C和-20 °C层海拔高度和0 °C

层到地面高度较低等特点。

2 雷达特征对比分析

对强冰雹天气和短时强降水的雷达回波等特征进行了详细分析(详细见表3和表4)。表3分别对雷达径向速度特征、回波形态、回波中心强度、回波梯度、回波顶高与0 °C高度的差($ET - H_0$)、45 dBz强回波伸展的高度($H_{45 dBz}$)和VIL密度(D_{VIL})这7个参数进行了统计,表4分别对反射率因子平显特征、回波中心强度、回波顶高、40 dBz强回波伸展的高度($H_{40 dBz}$)VIL和VIL密度(D_{VIL})这6个参数进行了统计。

表 3 2007—2008 年恩施强冰雹参数变化特征

Table 3 Characteristics of severe hail parameters in Enshi from 2007 to 2008

编号	回波形态	回波中心强度 /dBz	回波梯度 /dBz · km ⁻¹	($ET - H_0$) /km	$H_{45 dBz}$ /km	VIL /kg · m ⁻²	D_{VIL} /g · m ⁻³
20070414	带状回波波动,钩状,V形槽口	60~68	20	10.3	11	40~52	3.7~5.1
20070503	带状回波波动,V形槽口	55~65	15	9.4	10	43~55	3.4~4.2
20080512	带状回波波动,钩状,V形槽口	69~73	25	9.1	9	24~42	3.5~5.1
20080710	带状回波波动,V形槽口	55~64	20	7	10	32~46	3.5~4.5
20080711	块状单体,钩状,TBSS,V形槽口	63~69	24	10	11	33~50	3.5~4.2
20080727	块状单体,TBSS,V形槽口	57~65	21	9	11	33~50	3.6~5.6
20080728	块状单体,钩状,V形槽口	63~66	23	7	10	27~38	3.5~3.8

表 4 2007—2008 年恩施短时强降水参数变化特征

Table 4 Characteristics of short-time heavy rainfall parameters in Enshi from 2007 to 2008

编号	反射率因子平显特征	回波中心强度 /dBz	ET /km	强回波高度 (≥40 dBz)/km	VIL /kg · m ⁻²	D_{VIL} /g · m ⁻³
20070524	宽带状、零度量带	38~48	8~11	9	8~18	1.0~1.6
20070620	宽带状	33~48	8~9	6	8~13	1.0~1.4
20070709	涡带状	33~51	8~9	7	6~13	0.8~1.4
20080419	弓状	40~48	8~9	7	8~10	1.0~1.1
20080527	弓状	38~55	6~11	7	8~25	1.3~2.3
20080704	宽带状、零度量带	33~48	6~10	7	5~10	0.8~1.0
20080815	涡旋、零度量带	30~53	7~10	7	6~13	0.9~1.3
20080829	涡旋	30~48	6~10	7	6~10	0.8~1.3

2.1 反射率因子对比分析

按照1.2节分析标准以强冰雹和短时强对流两类主要强对流天气进行对比分析。从表3可见,反射率因子平面位置显示器(PPI)特征:产生强冰雹的回波以带状回波波动、钩状和块状单体为主,分别出现了5、5和3次,伴随有三体散射现象(TBSS)仅出现了1次,发生强冰雹时均有V形槽口出现,前侧V形槽口通常表明强的入流气流进入上升气流,这种强烈的上升气流非常有利于雹胚成长为强冰

雹,从基本反射率因子产品图上可见明显的V形槽口,强回波中心附近梯度比较大,回波呈倾斜状态。如2008年5月12日发生在宣恩境内的一次直径达30 mm的冰雹过程,16:57,0.5°~6.0°回波图上均出现了TBSS、V型槽口,在不足2 km距离内,反射率值从45 dBz跃升到70 dBz,其梯度达25 dBz · km⁻¹(图2);2008年7月11日发生在来凤境内强冰雹过程,15:37强回波向偏南方向倾斜,右后侧出现V型槽口,不足2 km距离内,反射率值从45 dBz跃升到69 dBz,其梯度达24 dBz · km⁻¹(图3)。恩施

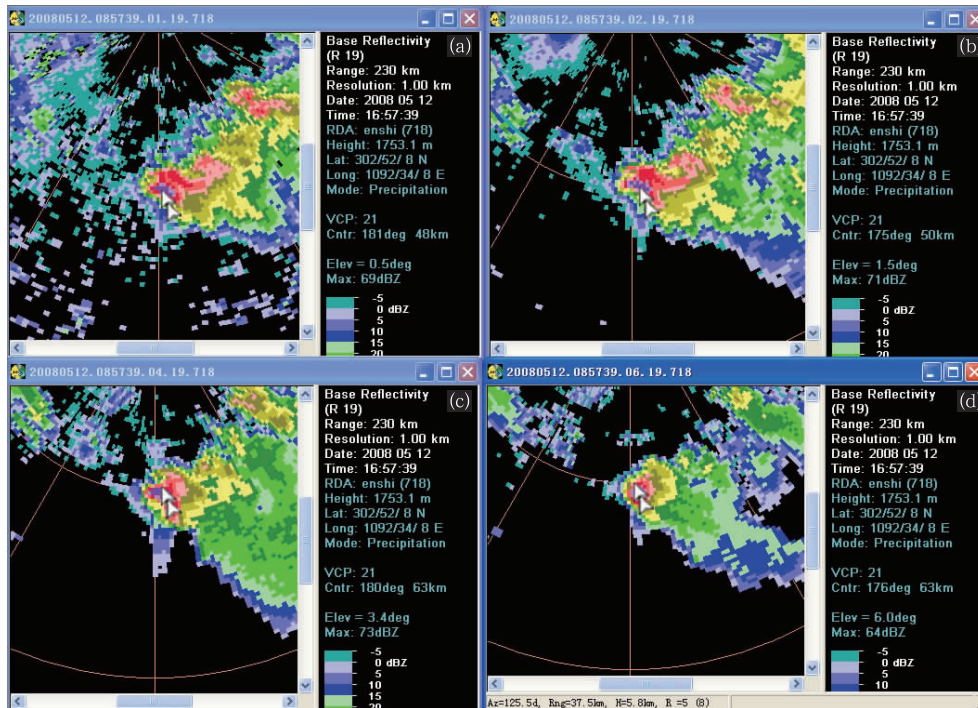


图 2 2008 年 5 月 12 日 16:57 不同仰角反射率因子图
(a) 0.5°; (b) 1.5°; (c) 3.4°; (d) 6.0°

Fig. 2 Radar reflectivity at 16:57 BT 12 May 2008, at elevations
(a) 0.5°, (b) 1.5°, (c) 3.4°, and (d) 6.0°

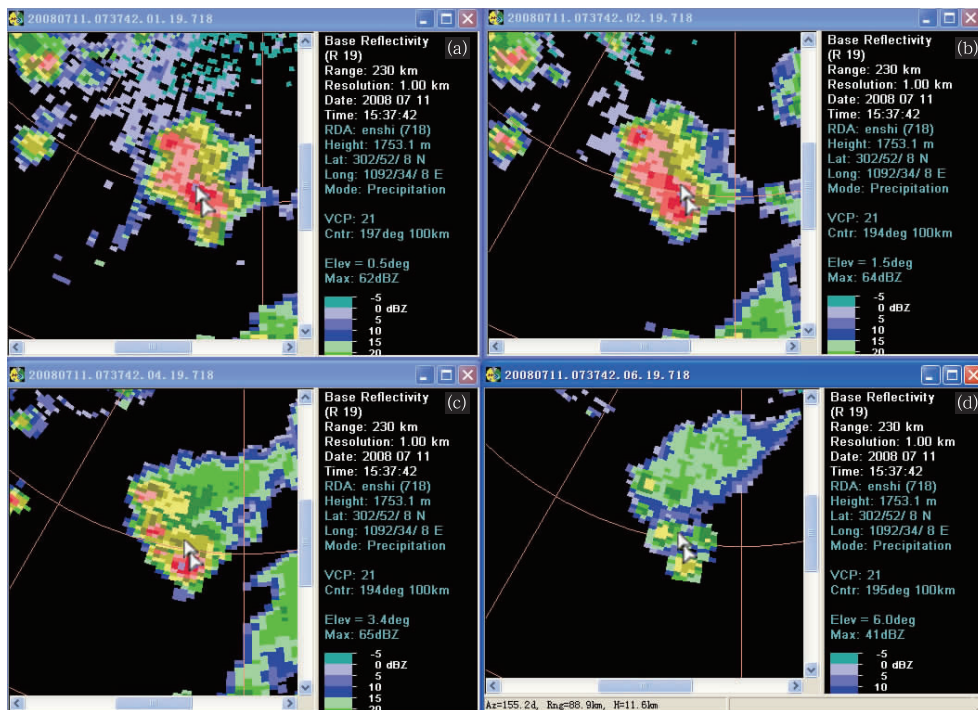


图 3 2008 年 7 月 11 日 15:37 不同仰角反射率因子图
(a) 0.5°; (b) 1.5°; (c) 3.4°; (d) 6.0°

Fig. 3 Radar reflectivity at 15:37 BT 11 July 2008, at elevations
(a) 0.5°, (b) 1.5°, (c) 3.4°, and (d) 6.0°

境内的冰雹过程从几分钟到几小时不等,维持时间长,影响地域较广,很难把握。在此时间段内,由于局地产生降雪使得强单体内强度迅速下降、回波的

传播移动和不可忽视的地形影响等原因,造成基本反射率产品上强度波动很大,有时在几分钟内可以有 20 dBz 左右的较大变幅,利用实时回波来判断降

雹过程的持续时间是不合适的,这也是反射率因子产品在使用上的局限。相比之下,短时强降水以带状居多,宽带状和涡带状一起出现 4 次,弓状和涡旋回波各出现 2 次,伴随零度量带出现 3 次(表 4)。反射率因子距离高度显示器(RHI)特征:发生强冰雹时常呈强回波悬垂,并有有界弱回波(BWER)和弱回波(WER),旁瓣假回波和回波墙出现,45 dBz 强回波伸展高度比较高,平均为 9.0 km 左右;而短时强降水则是粗壮的中下部,形似矮胖子,40 dBz 强回波伸展不高,平均在 7.0 km 左右。

2.2 VIL 和 VIL 密度对比分析

从表 5 可以看出,恩施山区发生强冰雹时,VIL 一般为 24~52 kg·m⁻²,降雹前跃增现象表现比较明显,一般降雹前的 1~3 个体扫期间有一次或两次跃增过程,跃升量为 9~16 kg·m⁻²。而发生短时

强降水时,VIL 的值一般为 5~13 kg·m⁻²,少数偶尔达到 25 kg·m⁻²,比较稳定,没有跃增现象发生(表 6)。可能由于 VIL 容易受季节、强回波倾斜、回波移速过大、雷达扫描策略原因而导致雷达探测不到真实的风暴顶或风暴底以及恩施山区复杂地形等这些因素的影响下,导致本地 VIL 值偏小,如 2008 年 7 月 28 日 16:09—16:23 强冰雹过程在其整个生命史中都未超过 VIL 冰雹预警指标(45 kg·m⁻²),恩施山区发生 8 次短时强降水时 VIL 的变化范围 5~25 kg·m⁻²,多数在 5~13 kg·m⁻² 范围内变化,如果以湖北暴雨判别标准(VIL≥10 kg·m⁻²)来临近预警的话,有好几次过程要漏报。因此需要引入 VIL 密度概念($D_{VIL} = VIL/H$,单位为 g·m⁻³)。从表 3 和表 4 可以看出,强冰雹 VIL 密度范围为 3.6~5.6 g·m⁻³,平均值为 4.2 g·m⁻³,而短时强降水的 D_{VIL} 密度要小很多,为 0.8~2.3 g·m⁻³,平

表 5 强冰雹预警指标性能检验效果

Table 5 The performance of the severe hail nowcasting indicators test results

编号	最强冰雹直径 /mm	起止时间	地点	ET-H ₀ /km	回波中心强度 /dBz	回波梯度 /dBz·km ⁻¹	H _{45 dBz} /km	D _{VIL} /g·m ⁻³	VWP 切变 /s ⁻¹	预警
20090321	22.5(18;30)	18:06—19:19	咸丰	7.0	67	24.0	10.2	3.3~5.2	2.4~3.7	√
	22.5(19;55)	18:36—20:56	利川	7.8	70	26.0	9.5	3.3~4.9	2.4~3.7	√
	32.5(01;24)	00:41—02:12	鹤峰	8.3	70	24.5	9.7	3.7~5.0	2.3~4.2	√
	15.0(20;07)	18:36—19:25	恩施	5.8	61	20.0	8.5	3.0~4.1	2.4~3.7	√
	17.5(00;47)	00:17—01:05	宣恩	6.8	66	14.5	9.2	3.8~4.6	2.3~4.2	√
	15.0(01;18)	00:53—01:24		7.3	63	13.5	9.0	2.7~4.4	2.3~4.2	√

表 6 短时强降水预警指标性能检验效果

Table 6 Tests on the performance of the short-time heavy rainfall nowcasting indicators

编号	雨量/ mm·h ⁻¹	时间	地点	CR/ dBz	D _{VIL} / g·m ⁻³	H _{45dBz} / km	VWP 切变/ ×10 ⁻³ s ⁻¹	预警
20090512	33.2	11:00	恩施	43.7	1.1	7.3	3.2	√
20090620	41.6	11:00	咸丰	43.8	1.2	10.2	3.5	√
	56.6	12:00	鹤峰	48.7	1.1	9.4	3.3	√
20090629	53.9	13:00	鹤峰	45.3	1.1	7.6	2.4	√
	36.8	14:00	鹤峰	43.8	1.3	8.0	3.0	√
20090630	31.2	00:00	咸丰	42.6	0.9	6.5	3.3	×
20090712	40.1	01:00	鹤峰	45.2	1.1	8.2	1.9	√
20090829	39.3	15:00	咸丰	44.4	1.0	9.0	1.7	×
	34.5	03:00	利川	44.4	1.1	8.5	3.3	√
20090920	32.9	06:00	鹤峰	44.0	1.3	8.0	3.5	√
	30.4	07:00	咸丰	44.1	1.1	8.2	2.3	√

均值为 1.1 g·m⁻³,不及冰雹的 27%。

2.3 风廓线(VWP)对比分析

很多观测事实和研究指出,对流天气都产生在一

定强度的水平风随高度变化的风场中,适当的水平风的垂直切变有利于风暴的加强和较久的维持时间。通过雷达风廓线来计算风垂直切变,由于恩施雷达海拔较高(1751.9 m),近似取 1.8~6.1 km 的风垂直切变,需要说明的是,有时强冰雹天气过程降雹前 6.1 km 处的值为无数据(No Data, ND),处理时一般选取 6.1 km 附近且离 6.1 km 最近的值代替。分别计算了发生强冰雹和短时强降水时的风垂直切变值,发现这 8 次强冰雹天气风垂直切变的平均值可达 $2.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上,当 6.1 km 高度为偏北风,风垂直切变值较大,可达 $2.8 \times 10^{-3} \sim 3.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (图 4a),而当 6.1 km 高度为偏南风时,切变值较小,仅为 $0.9 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (图 4b);对短时强降水来说平均值可达 $1.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,当 6.1 km 为西南风,低层为偏北风,风垂直切变值可达 $4.2 \times 10^{-3} \sim 4.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (图 4c),当整层为西南风时,风垂直切变较小(图 4d)。

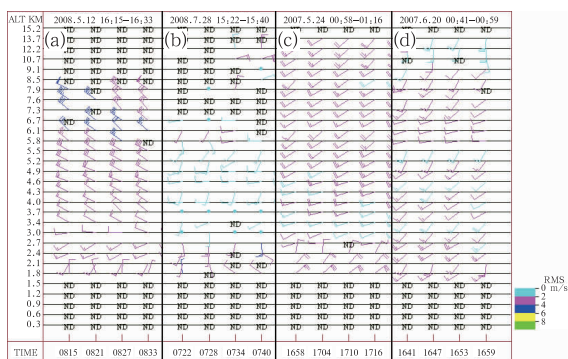


图 4 雷达风廓线变化特点

(a) 2008 年 5 月 12 日 16:15—16:33; (b) 2008 年 7 月 28 日 15:22—15:40; (c) 2007 年 5 月 24 日 00:58—01:16; (d) 2007 年 6 月 20 日 00:41—00:59

Fig. 4 Variations of the radar wind profilers during (a) 16:15—16:33 BT 12 May 2008, (b) 15:22—15:40 BT 28 July 2008, (c) 00:58—01:16 BT 24 May 2007, and (d) 00:41—00:59 BT 20 June 2007

3 临近预警

3.1 强冰雹临近预警指标

根据上述分析和雷达产品特征变化特点,选取负温区回波厚度、强中心回波强度、强回波梯度、45 dBz强回波伸展高度、VIL 密度和雷达风廓线 1.8~6.1 km 风垂直切变作为预警的统计指标。考虑到预警一个提前量,具体如下:

- (1) 负温区回波厚度 $(ET-H_0) \geq 7$ km;
- (2) CR 强中心回波强度 ≥ 55 dBz;
- (3) 强回波梯度 ≥ 15 dBz \cdot km⁻¹, 基础值 40~45 dBz;
- (4) 45 dBz 强回波伸展高度 $(H_{45\text{ dBz}}) \geq 7.5$ km;
- (5) VIL 密度 $(D_{VIL}) \geq 3.2$ g \cdot m⁻³;
- (6) VWP 上 1.8~6.1 km 风垂直切变值 (VWP 切变) $\geq 2.3 \times 10^{-3}$ s⁻¹。

为了检验这些预警指标的性能,定义 POD 为探测概率, FAR 为误报率, CSI 为临界成功率, X 为报对的次数, Y 为漏报次数, Z 为空报次数, 其中 $POD = X / (X + Y)$, $FAR = Z / (X + Z)$, $CSI = X / (X + Y + Z)$, 以下类同。对 2009 年发生的一次强冰雹过程有 6 块冰雹云 [6 个地方下了冰雹, 含一般冰雹 (10 mm $\leq D < 20$ mm)] 和强冰雹 (≥ 20 mm)), 符合上述强冰雹判据的有 3 个, 实况强冰雹 3 次, 无一漏报和空报, 根据上述评分标准得到对应的 POD 和 CSI 均为 100%、FAR 为 0。可以看出, 通过以上 6 个预警指标可以很好地识别恩施强冰雹天气过程。

但在实际使用中要配合天气形势背景和雷达径向速度等其他产品来一起使用。为了详细说明这些参数演变趋势与降雹发生时间对应关系, 选了 20090321 个例 N7 风暴单体 (生消时间: 00:35—01:30; 影响时间: 00:53—01:24; 降雹持续时间: 31 分钟) 特征演变趋势, 可以看出降雹前 18 分钟这 5 个参数分别为 5.4×10^{-3} , 43×10^{-3} , 8.0×10^{-3} , 4.6×10^{-3} , 0.47×10^{-3} , 2.79×10^{-3} , 降雹前 12 分钟分别为 5.10×10^{-3} , 48.00×10^{-3} , 12.00×10^{-3} , 5.30×10^{-3} , 1.08×10^{-3} , 2.56×10^{-3} , 相比降雹前一个体扫和降雹时 CR、强回波梯度、45 dBz 强回波伸展高度和 VIL 密度增加很快, 分别从 43×10^{-3} 、 8.0×10^{-3} 、 4.6×10^{-3} 、 0.47×10^{-3} 增加到 59×10^{-3} 、 20×10^{-3} 、 8.3×10^{-3} 和 4.41×10^{-3} (见图 5a)。

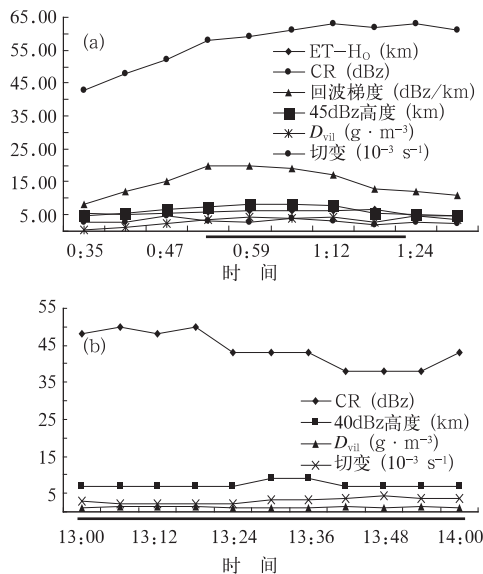


图 5 (a)20090321 个例 N7 风暴单体特征演变趋势; (b)20090629 个例 13—14 时雷达特征演变趋势

粗实线为冰雹、短时强降水发生时间

Fig. 5 (a) The evolution trend of N7 storm cell features in the 20090321 case; (b) The evolution trend of radar features in the 20090629 case

horizontal thick solid lines stand for the occurrence time of the hail and short-time heavy rainfall

3.2 短时强降水临近预警指标

短时强降水发生时有突发性和偶然性的特点, 对它的临近预警和精细化预报一直是个难点。经过统计发现恩施山区发生的这 8 次短时强降水反射率因子、VIL 密度、40 dBz 强回波伸展高度和雷达风廓线

VWP 上 1.8~6.1 km 风垂直切变平均值分别为 43.7 dBz, $1.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 7.0 km 和 $1.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。如果满足天气尺度辐合特征(槽、低涡和切变)和站点附近满足雷达基本速度上有辐合特征(中尺度辐合线、逆风区或气旋式辐合等),同时满足反射率因子、VIL 密度和 40 dBz 强回波伸展高度和雷达风廓线 VWP 上 1.8~6.1 km 风垂直切变平均值达 43.7 dBz, $1.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 7.0 km 和 $1.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 可以考虑该站点及附近地区进行短时强降水临近预警状态。7 个例 11 次短时强降水,符合上述判据有 9 个,漏报 2 次,无一空报,根据评分标准得到对应的 POD 为 81.8%, FAR 为 0, CSI 为 81.8%。分析漏报原因,这 2 次漏报发生在恩施西南部咸丰县。2 次 VIL 密度均小于 $1.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,同时 1 次 VWP 切变不满足 $1.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 的条件,1 次回波较弱,CR 强中心回波小于 43.7 dBz 和 40 dBz 强回波伸展高度小于 7.0 km。可能主要是咸丰地势较低(海拔高度 777 m),离雷达站 70 km,利用雷达测高公式,采用仰角 0.5° 的话,雷达探测不到咸丰地面以上至 1.8 km 高度处的回波,导致这些值偏小。今后可以考虑根据恩施山区地形起伏特点进行分区分析,采用差别化预警效果可能会更好。为了详细说明这些参数演变趋势与短时强降水发生时间对应关系,选了 20090629 个例鹤峰上空 14 时这些雷达特征演变趋势,可以发现反射率因子、VIL 密度、40 dBz 强回波伸展高度和雷达风廓线 VWP 上 1.8~6.1 km 风垂直切变变化范围为 38~50 dBz, $1.0 \sim 1.63 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 7.0~9.0 km, $2.33 \times 10^{-3} \sim 4.19 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 平均值分别为 43.8 dBz, $1.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 8.0 km, $3.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。

4 结 论

(1) 根据详细分析数据,选取负温区回波厚度 $\geq 7 \text{ km}$ 、CR 强中心回波强度 $\geq 55 \text{ dBz}$ 、强回波梯度 $\geq 15 \text{ dBz} \cdot \text{km}^{-1}$ 、45 dBz 强回波伸展高度 $\geq 7.5 \text{ km}$ 、VIL 密度 $\geq 3.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和雷达风廓线 1.8~6.1 km 风垂直切变均值 $\geq 2.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 作为强冰雹临近预警指标,并利用“09.3”鄂西南冰雹强对流天气对其性能进行了检验,其成功概率和临界成功指数均为 100%。

(2) 如果满足天气尺度辐合特征(槽、低涡和切

变)和站点附近满足雷达基本速度上有辐合特征(中尺度辐合线、逆风区或气旋式辐合等),同时满足反射率因子、VIL 密度、40 dBz 强回波伸展高度和雷达风廓线 VWP 上 1.8~6.1 km 风垂直切变平均值达 43.7 dBz, $1.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 7.0 km 和 $1.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 可以考虑该站点及附近地区进行短时强降水临近预警状态,并利用 2009 年恩施山区发生的 11 次短时强降水对其性能进行了检验,其成功概率和临界成功指数均为 81.8%。

参考文献

- [1] Mueller C, Saxon T, Roberts R, et al. NCAR Auto-Nowcast System[J]. Weather and Forecasting, 2003, 18: 545-561.
- [2] 章国材. 预报员在未来天气预报中的作用探讨[J]. 气象, 2005, 30(7): 8-11.
- [3] 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.
- [4] 郑媛媛, 俞小鼎, 方翀, 等. 一次典型超级单体风暴的多普勒天气雷达观测分析[J]. 气象学报, 2004, 62(3): 317-328.
- [5] 吴剑坤, 俞小鼎. 强冰雹天气的多普勒天气雷达探测与预警技术综述[J]. 干旱气象, 2009, 27(3): 197-206.
- [6] 俞小鼎, 王迎春, 陈明轩. 新一代天气雷达与强对流天气预警[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 456-464.
- [7] 段丽, 卜素芬, 俞小鼎. 用 SA 雷达产品对京西三次局地暴雨落区形成的精细分析[J]. 气象, 2009, 35(3): 21-28.
- [8] 应冬梅, 许爱华, 黄祖辉. 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[J]. 气象, 2007, 33(3): 48-53.
- [9] 任敏, 陈焱, 璩英. 安徽暴雨落区与一些物理量关系的统计分析[J]. 气象, 2006, 32(4): 40-44.
- [10] 蔡晓云, 宛霞, 郭虎. 北京地区对流云天气闪电特征及短时预报[J]. 气象, 2003, 29(8): 16-21.
- [11] 伍志方, 叶爱芬, 胡胜, 等. 中小尺度天气系统的多普勒统计特征[J]. 热带气象学报, 2004, 20(4): 391-400.
- [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] 曾小团, 梁巧倩, 农孟松, 等. 交叉相关算法在强对流天气临近预报中的应用[J]. 气象, 2010, 36(1): 31-40.
- [14] 张一平, 王新敏, 牛淑贞, 等. 河南省强雷暴地闪活动与雷达回波的关系探讨[J]. 气象, 2010, 36(2): 54-61.
- [15] 漆梁波, 陈雷. 上海局地强对流天气及临近预报要点[J]. 气象, 2009, 35(9): 11-17.
- [16] 刘兵, 戴泽军, 胡振菊, 等. 张家界多个例降雹过程对比分析[J]. 气象, 2009, 35(7): 23-32.
- [17] 张沛源, 杨洪平, 胡绍萍. 新一代天气雷达在临近预报和灾害性天气警报中的应用[J]. 气象, 2008, 34(1): 3-11.