

重庆地区强对流天气雷达回波统计特征^①

江玉华^{1,2} 丁明星² 陈 群² 刘婷婷²

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 重庆市气象局气象台)

提 要

对过去 22 年(1982~2003)间重庆市发生的中尺度强对流天气雷达资料进行分类统计, 研究中尺度强对流天气过程及其天气雷达回波特征, 寻找重庆市中尺度强对流天气的运动规律, 建立天气雷达回波资料库, 将中尺度强对流天气过程雷达回波资料, 按天气类型分类研究, 结果表明: ①重庆市中尺度强对流系统在时空分布上具有明显的不均匀性; ②涡旋状回波是暴雨的显著特征; ③冰雹回波以块状为主; ④强雷雨大风回波的特征具有带状或弓型。

关键词: 中尺度 强对流天气 回波特征

引 言

暴雨、冰雹、强雷雨大风等天气均与中尺度强对流系统密切相关, 用常规天气观测网很难捕捉到。自从第二次世界大战发明雷达, 被气象学家用于天气监测以来, 天气雷达以其更精细的时、空分辨率, 成为研究中尺度强对流天气的有利设备^[1]。随着科学技术的快速发展, 雷达设备有了显著的改变, 但是雷达测量降水的不确定性依然存在, 目前计算机图像识别技术还远远不能达到人工识别的水平, 雷达回波图像中所包含的天气信息还没有完全被气象学家释义^[2]。天气雷达资料在天气预报和气象研究中的应用一直都是世界气象工作者关注的焦点^[3,4]。Reuter, G. W.^[5](1990)在南非研究了 9 个产生强降水的风暴雷达资料; Schmid, W.^[6,7](1992)研究瑞士 209 个冰雹单体雷达回波, 得出了“瑞士型”冰雹单体特征; Chaudhry 等人^[8](1996)用统计学方法研究由雷达观测的热带对流风暴; Fraile 等人^[9](2001)对西班牙西北部在冰雹日内 224 个强风暴的雷达参数, 用超过 700 个自愿观测者提供的分辨冰雹云降水信息, 区分降雹风暴和非降雹风暴以及

风暴的类型, 探索用 RHI 确定降水时间。近年山东^[10]、江西^[11]、福建^[12]、甘肃^[13]、广东^[14]、北京^[15]等地的气象科技人员, 也对当地获取的天气雷达资料进行了分析研究, 得出了强对流天气在当地的演变规律, 这些工作明显提高了当地短时灾害性天气的监测、预报能力。

将 1979 年重庆市天气雷达建站以来, 正常业务(1982)工作后获取的资料进行了统计分类, 特别是对中尺度强对流天气进行了较细化分析, 得出了在重庆出现的强对流天气雷达回波特征。将整理后的天气雷达回波资料全部用光盘保存; 建立了重庆市中尺度强对流天气雷达分析系统(含资料库), 该系统的建立, 明显提高了重庆天气雷达资料在预报业务中的利用率, 增强了强对流天气的监测、预报能力。在大范围暴雨天气监测、预报过程中, 在人工防雹和久旱转雨等人工影响天气工作中都发挥了关键作用, 为重庆市公益气象服务、专业气象服务、人工影响天气、防雷、防洪减灾等提供更密集、精细、准确、及时的短时预报产品, 取得了显著的社会经济效益。

① 本文得到国家自然科学基金(40275001)和重庆市科委课题(2001-6897)资助

1 天气过程的划分标准及资料库

研究个例:以天气雷达站(陈家坪)为中心,半径为200km范围内,重庆辖区出现的6站以上暴雨(日雨量50mm以上)、3站以上冰雹、5站以上强雷雨大风(瞬间风力大于 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 并伴有雷雨)。

1982~2003年中,符合研究条件的暴雨61例;冰雹36例;强雷雨大风27例。其中冰雹和强雷雨大风同时出现的天气有8例;暴雨、冰雹、强雷雨大风三种强对流天气在同一过程中出现有2例。

1982~1987年天气雷达波长3cm,1988~2003年为5.6cm,两种类型天气雷达回波强度均用雷达反射率因子(单位:dBz)表示。

分别整理暴雨、冰雹、强雷雨大风三类中尺度强对流天气产生时对应的降水实况、受灾损失情况、雷达回波资料;按暴雨、冰雹、强雷雨大风天气分类,按气象区站号和时间序列建立天气实况、受灾损失情况、雷达回波图像资料库。将统计分析研究结果制成图表,建立图表库。共整理分析“中尺度强对流天气”过程个例124;其中暴雨569站次,冰雹152站次,强雷雨大风190站次。

2 中尺度强对流天气统计特征

2.1 年分布特征

1982~2003年,冰雹、暴雨、强雷雨大风三种强对流天气,每年出现次数不等。按降水分类统计,冰雹平均出现频率为1.64次/年,最高5次/年,最少无;暴雨天气平均出现频率为2.77次/年,最高7次/年,最少无;强雷雨大风,最高出现4次/年,最少无,平均出现频率为1.27次/年,详见图1。

2.2 月分布特征

降雹在春末夏初呈单峰型;强雷雨大风在初夏和盛夏为双峰型;暴雨天气则呈正态分布。冰雹出现在每年4~8月,主要集中在4~5月,占总数的85%,在这一时段,冰雹发生的范围广,强度强,灾害大;强雷雨大风出现在4~5月、7月,以5月居多;暴雨开始期在5月上旬,9月中旬结束,主要是5~7月占总数77%,大范围暴雨、大暴雨等强降水

主要出现在6~8月。见表1。

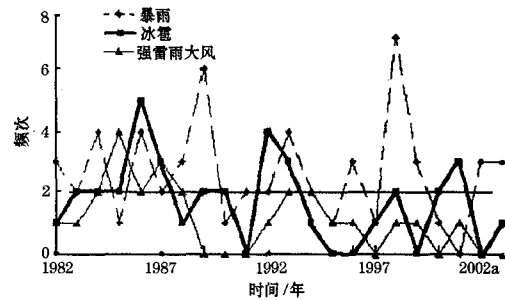


图1 暴雨、冰雹、强雷雨大风年分布

表1 暴雨、冰雹、强雷雨大风月分布

月	大范围暴雨	冰雹	强雷雨大风
4	0	61	41
5	106	59	62
6	171	7	9
7	157	14	60
8	106	11	18
9	29	0	0
合计	569	152	190
备注	6站以上	3站以上	5站以上

2.3 日变化特征

冰雹、强雷雨大风的日变化表现为双峰型,即以傍晚和夜间为多发时段。冰雹天气多出现在下午17~20时,19时达到最高峰,夜间以凌晨00~02时为多;强雷雨大风下午16~19时和夜间00~03时为多发时段,下午16时达极大值;暴雨天气多开始于傍晚和夜间,以夜间为多,详见图2。

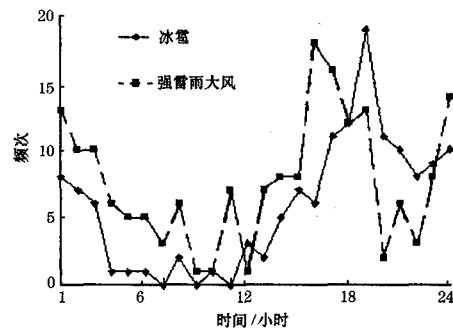


图2 冰雹、强雷雨大风时分布

就统计个例而言,冰雹、强雷雨大风、暴雨的高发区均在西部,其中冰雹的高发区在璧山、永川;强雷雨大风的高发区在沙坪坝和大足;暴雨的高发区在北碚、合川。重庆是山城,山河纵横,高峰和丘陵交错,地形十分复

杂,分析地形对冰雹、强雷雨大风、暴雨等强对流天气的发生、发展的影响非常困难。

3 中尺度强对流天气雷达回波特征

中尺度强对流天气雷达回波主要特征:首先其来向主要是西部,即正西(W)、西南(WS)、西北(WN),占总数的 77.68%;其次,PPI 上块状占第一位,达 39.3%,第二位是带状,占 25.9%,第三位是涡旋状,占 16.1%;最后,RHI 上柱状回波占绝对优势,达 75.9%^[16]。

表 3 回波区移动方向

	W-E	WS-NE	WN-ES	N-S	S-N	EN-WS	ES-WN	W-ES	W-EN	其它
暴雨	13	19	13	2	1	0	0	3	0	7
冰雹	6	5	6	0	0	1	3	1	6	8
雷暴	1	3	8	0	0	2	3	3	4	3

冰雹回波初始位置,西部(W,WS,WN)占 66.67%;比暴雨所占比例少了 20 个百分点,其位于东部的回波比例明显增加,达 22.22%,这是冰雹初始回波特点,也是在监测、预报中不能忽视东部强对流回波的主要原因。

强雷雨大风回波初始位置,西部(W,WS,WN)占 74.07%;位于东部的回波达 18.52%,比暴雨少,比冰雹多,位于测站东部的强对流回波,是产生风雹的源地之一。

从表 3 可见,暴雨回波主要是自西向东(W,SW,NW)移动,占总数的 78.69%,回波的平均移动速度 $10\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。自西南向东移动的回波占第一位,和暴雨个例中的 84% 与西南涡^[17]天气系统有关。

冰雹回波自西(W,NW,SW)向东移占总数的 66.67%,自东(E,SE,NE)向西移占 11.11%,回波平均移速 $25\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,最大移速 $35\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

强雷雨大风回波自西北向东南移居首,自东向西移占总数的 18.51%。回波平均的移动速度 $31\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,最大移速 $40\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在中尺度强对流天气监测、短时预报中,要重视回波移动方向和移动速度,它是预报成败的重要因素之一。

3.2 雷达回波在 PPI 上特征

3.1 雷达初始回波位置及回波区移向移速

暴雨回波初始位置,西部(W,WS,WN)占 86.88%,特别是西南来向的回波在西部来向中占第一位,这是暴雨回波初始位置一个明显特点(详见表 2,表 3)。

表 2 雷达初始回波位置

	W	WS	WN	N	S	EN	ES	E	Z(中)
暴雨	15	21	17	4	1	1	0	0	3
冰雹	15	4	5	3	1	2	6	0	0
雷暴	9	3	8	1	0	2	2	1	0

3.2.1 暴雨回波特征

暴雨回波可分为对流型、混合型、稳定型三类^[18]。对流型占总数的 29.51%,混合型占 60.66%,稳定型占 8.2%。对流型暴雨降雨持续时间平均 12 小时,混合型降雨持续时间平均 16 小时,稳定型降雨持续时间平均 23 小时。混合型是重庆暴雨的主要类型,中尺度强对流系统出现在大范围暴雨天气过程中占约 90%。

暴雨回波在 PPI 上以块絮状和涡旋状为主。块絮状是对流与稳定相混合所产生的降水回波,回波表现为强回波核嵌在片状回波中,水平尺度一般几十至上百公里,回波边缘似棉絮状;涡旋状回波是由块或块絮状回波旋转运动产生,八成以上与中尺度低涡相伴,如西南涡等。在暴雨回波中块絮状回波居第一位,涡旋状回波^[18]为第二位,块状列第三(详见表 4)。产生大范围暴雨、大暴雨的雷达回波均是块絮状、涡旋状回波,在实际业务监测、预报中需注意识别这两类回波。见图 3a(封二)。

3.2.2 冰雹回波特征

冰雹回波在 PPI 上以块状回波占第一位,强度梯度大,回波结构密实;高度高,回波范围小,一般几至几十公里;V 型缺口回波占第二位。造成灾害大、范围广的冰雹天气,多

表4 雷达PPI回波特征

	块状	带状	涡旋状	絮状	“人”字形	“V”形缺口	钩状	指状	弧形缺口
暴雨	6	13	18	19	1	0	1	0	0
冰雹	15	3	0	1	2	6	0	1	1
雷暴	1	14	2	0	1	1	0	0	0
风雹	2	5	0	0	2	1	1	0	0

是由发展剧烈的块状回波合并增长形成的V型缺口、带状、钩状、指状、带状特征回波造成,多同冷空气活动和局地加热相关。如1986年5月20日和1993年4月14日均为典型的钩状、指状回波,产生了剧烈强对流天气。因此在实际工作中,要注重结构密实、强度梯度大、高度高的块回波,密切监视、识别回波特征及时发布预报、警报。见图3b(封二)。

3.2.3 强雷雨大风回波特征

PPI上,强雷雨大风回波的主要特征是带状。带状回波是由大小不等的强对流单体排列而成的,可由强对流核组合成长达数百公里的窄带,前沿比较整齐,或由多条短带复合形成的人字型回波,也会出现类似弓形^[19]的回波,它们多由快速移动的冷锋和副热带高压造成。在业务工作中应注意监测带状和弓形回波的形成发展。见图3c(封二)。

3.3 雷达回波在RHI上的特征

3.3.1 暴雨回波特征

暴雨回波垂直结构主要是柱状回波和零度层亮带相伴出现(详见表5),这种特征常与混合型暴雨天气相伴,单纯零度层亮带回波垂直结构次之。冰雹、强雷雨大风、暴雨三种天气在同一天气过程出现过两次,是先有冰雹、强雷雨大风、后产生暴雨;在RHI上具有柱状演变为柱状伴有0℃层亮带的特征。暴雨回波先由强度强,高度高的柱状回波演变为柱状与零度层亮带同时存在的混合型回波结构。柱状与零度层亮带相伴为暴雨回波

表5 RHI雷达回波特征

天气	柱状	柱状+0℃亮带	0℃亮带	悬挂状	纺锤状
暴雨	48	45	7	0	0
冰雹	19	1	0	6	3
雷暴	17	0	0	0	0
风雹	8	0	0	2	0

识别的一个显著特征。见图4a(封二)。

3.3.2 冰雹回波特征

RHI上冰雹回波以结构密实,强度梯度大,高度高的柱状回波为主,悬挂、纺锤状回波是强雹回波的显著特征,对在PPI上的V型缺口、钩状、指状回波处取垂直剖面,可观测到悬挂回波和弱回波区,这是识别强雹回波的有效指标,在实际工作中要加强对强度梯度大的回波部位进行剖面观测。详见图4b(封二)。

3.3.3 强雷雨大风回波特征

RHI强雷雨大风回波以柱状回波为主,表现为多柱状回波,结构比较密实、强度梯度较大、回波高大,呈多单体特征。见图4c(封二)。

4 结束语

(1)冰雹主要集中在4~6月之间,以4月下旬至5月上旬为多;强雷雨大风出现在4~6月、7~8月,以7月下旬居多;大范围暴雨多发生于5~9月,主要集中在6~8月。

(2)冰雹日变化具有单峰型,发生时间多在19时,强雷雨大风日变化是双峰型,多在16~19时和00~03时;暴雨多发生在夜间。

(3)地理分布:三种强对流天气都是西部多于东部,可能与雷达站位于西部有关。

(4)冰雹回波初始位置和移动方向是西部多于东部,其中以正西部居多,自西向东北移占第一位;自东向西移占第二位。PPI回波形态特征以块状居多,强雹具有钩状、指状、V型缺口特征,在RHI上回波多为柱状,有悬挂回波及弱回波区。

(5)强雷雨大风回波来向以西部居多,西北来向占第一位,移向以自西北向东南移居首;从东向西移的回波占到总数的16%。回波特征以带状、弓状、柱状为主。

(6)暴雨回波具有对流型、混合型、稳定型三类;PPI上回波特征有块絮状、涡旋状、块状、絮状,以块絮状、涡旋状为主;RHI上柱状加零度层亮带是暴雨回波明显特征;回波多来自西部,其中西南在西部中占第一位,移向以西南向东北移居多。

(7)冰雹、强雷雨大风、暴雨在同一天气过程中出现,是重庆降雹的一个显著特征,有必要对其形成机理进行深入研究。

参考文献

- 1 张培昌,杜秉玉,戴铁丕等.雷达气象学.北京:气象出版社,2001,1~4.
- 2 M.J.巴德等编,卢乃锰等译.卫星与雷达图像在天气预报中的应用.北京:科学出版社,1998,43~59.
- 3 R.A.Anthes. 宾州/NCAR中尺度模式在天气、中尺度气象和气候研究中应用情况.气象科技,1994,22(3):40~47.
- 4 薛纪善.美国天气预报技术的发展.气象,1998,24(11):3~7.
- 5 Reuter, G. W. Radar observations of precipitation production in thunderstorms, *Atmosphere-Ocean*, 1990, 28(2): 216~229.
- 6 Schmid, W. The prediction of hail. Part I: Radar quantities of hail intensity, *Atmospheric Research*, 1992, 28(1): 49~69.
- 7 Schmid, W., The prediction of hail. Part II: The movement of hail cells, *Atmospheric Research*, 1992, 28(1): 71~91.
- 8 Chaudhry. Fazal H., Andrade Filho. Alceu G., Calheiros. Roberto V., Statistics on tropical convective storms observed by radar, *Atmospheric Research*, 1996, 42(1~4): 217~227.
- 9 Fraile. R., Castro. A., Sanchez. J. L., et. al., Noteworthy C-band radar parameters of storms on hail days in northwestern Spain, *Atmospheric Research*, 2001, 59~60: 41~61.
- 10 刁秀广,谢考现.山东省强对流天气雷达回波气候特征.气象,1999,25(8):39~42.
- 11 应冬梅,郭艳.江西省飑线的雷达回波特征分析.气象,2001,27(03):42~45.
- 12 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.气象,2001,27(8):52~55.
- 13 张鸿发,龚乃虎等.平凉地区强对流钩状回波特征的观测研究.大气科学,1997,17(3):401~412.
- 14 蒋汝庚.龙卷型强风暴—1995年4月9日洪奇沥龙卷剖析.应用气象学报,1997,8(4):492~497.
- 15 王令,康玉霞,焦热光等.北京地区强对流天气雷达回波特征.气象,2004,30(7):31~35.
- 16 戴铁丕,张培昌,詹煜.雷达气候学.北京:气象出版社,1995:94~107.
- 17 卢敬华.西南低涡概论.北京:气象出版社,1986:30~61.
- 18 江玉华.西南涡大一暴雨雷达回波特征.气象,1991,17(10):35~38.
- 19 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南等.新一代天气雷达原理与应用讲义.教材,2000:236~240.

Statistic Analysis of Radar Echoes of Severe Convective Weather in Chongqing

Jiang Yuhua^{1,2} Ding Mingxing² Chen Qun² Liu Tingting²

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; 2 Chongqing Meteorological Observatory)

Abstract

Based on the weather radar data of Chongqing Municipality from 1982 to 2003, a statistical analysis of the climatic characteristics of the radar echoes of the various types of the meso-scale severe convective weather, such as heavy rainfall, hail, thunderstorm. It shows that (1) the spatial-temporal distribution of the echoes of the events is uneven. (2) The vortex echo is the primary characteristic of the heavy rainfall events, which may be related to the terrain of the Sichuan Basin and the southwest vortex. (3) The hail echo is the main agglomeration. (4) The thunderstorm echo is characterized as striation and bow-shaped.

Key Words: radar echo convection heavy rain meso-scale

《重庆地区强对流天气雷达回波统计特征研究》附图

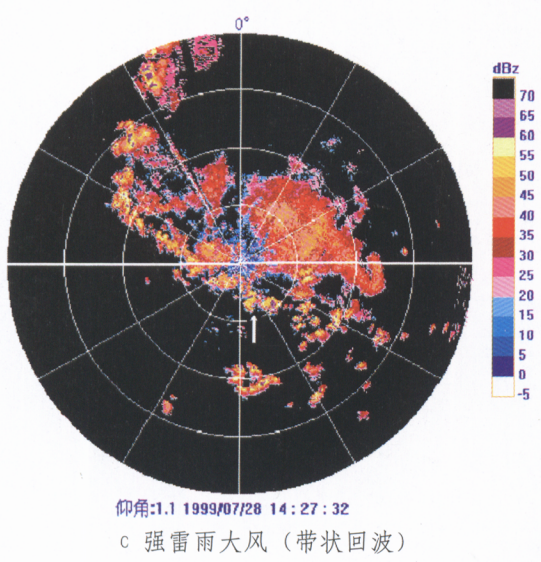
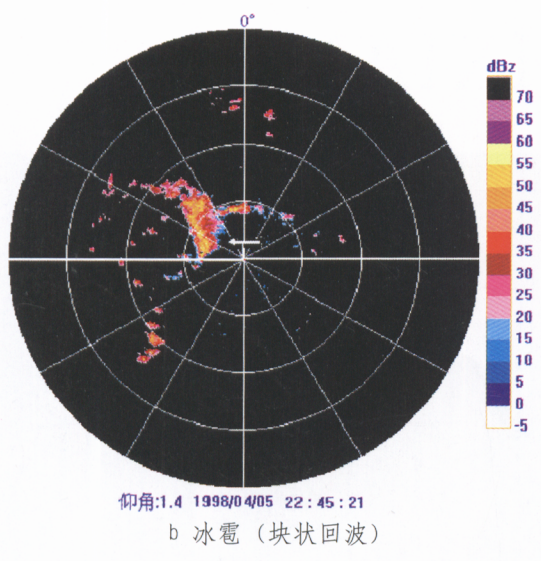
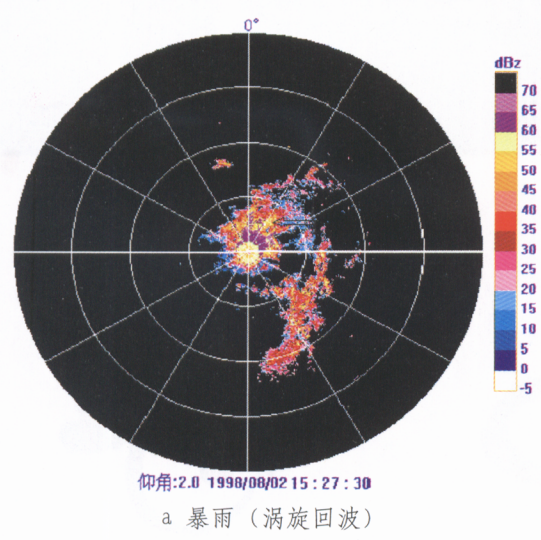
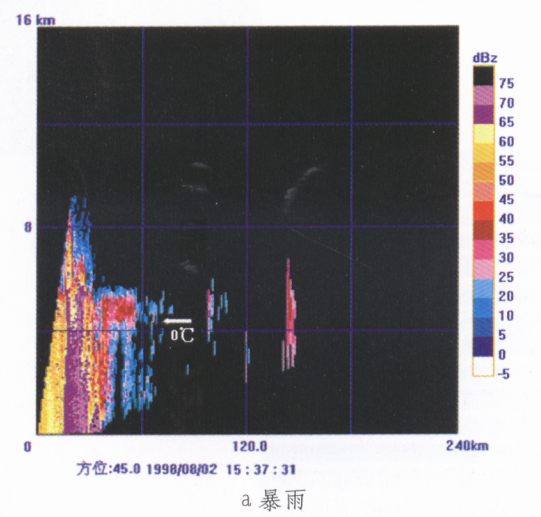
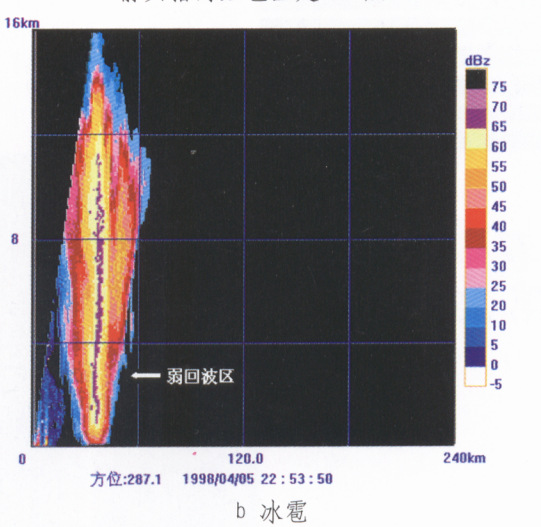


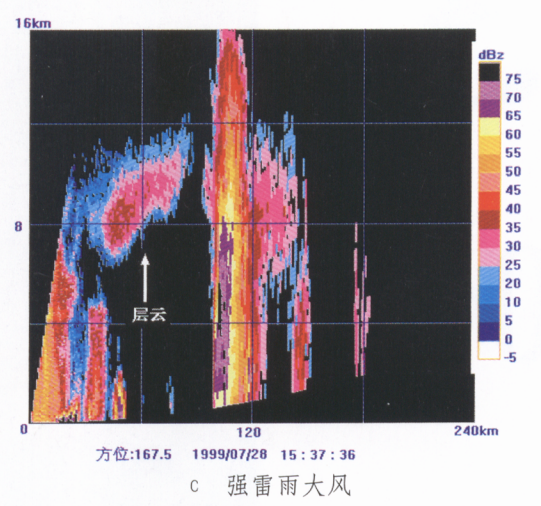
图3 暴雨、冰雹、强雷雨大风PPI回波特征
(每圈60km, 0° 为正北, 箭头所指为RHI部位)



紫色强回波区为柱状6km,
箭头指的红色区是0℃层5km



紫色强区(11km)为垂线状,
回波为单柱状16km



紫色强回波区8km,
多个柱状,最高超16km,伴有层云

图4 暴雨、冰雹、强雷雨大风RHI上回波特征
(水平240km, 垂直16km)