

一次多单体风暴和弓形回波过程的多普勒雷达探测特征研究

Research on Multicells Storm and Bow Echo with Doppler Radar Detection

裴丽丝/PEI Li-si

浙江省气象台, 杭州 310017

Meteorological Observatory of Zhejiang Province, Hangzhou 310017, China

[摘要] 2006年5月8-9日, 受中低层切变线和地面低压倒槽影响, 浙江省西部及中北部地区出现了大范围的暴雨和地面大风天气。根据宁波和温州2部WSR-88D天气雷达提供的产品分析发现, 8日08时至9日13时的大暴雨过程主要表现为3次多单体风暴的生成、发展加强和减弱消亡过程; 9日16时至23时浙中地区自西向东出现的短时暴雨和地面大风天气是一次典型的弓形回波过境影响过程。

[关键词] 多普勒雷达; 多单体风暴; 弓形回波

[中图分类号] P442

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)09-0013-04

Abstract: Due to the effect of the low-level wind-shear line and surface depression, a heavy precipitation and strong gust wind process happened in the western, middle and northern parts of Zhejiang province on May 8-9, 2006. In this paper the process is analyzed by means of two Doppler radars located in Ningbo and Wenzhou city. The initiation and maintaining of 3 Multicells Storms produced the heavy rainfall from 8 o'clock May 8 to 13 o'clock the next day. The short-time heavy rain and severe highwind swept over the middle part of Zhejiang province from west to east at 16-23 o'clock May 9 is in good agreement with a bow echo.

Key Words: Doppler radar; multicells storm; bow echo

CLC Number: P442

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)09-0013-04

1 引言

中小尺度的灾害性天气, 例如局地强暴雨、冰雹龙卷、雷暴大风等, 往往因为其突发性强、范围小、局地性强等因素, 不容易被大尺度的常规气象观测网所捕捉。但是它们又极易引发山洪、泥石流等次生灾害, 对人民群众生命、财产安全造成重大威胁。WSR-88D雷达以其强大的探测能力和丰富的产品有力地支持了灾害性强对流天气的探测、预报和预警^[1]。在此基础上, 随着雷达布点的逐步加密, 双多普勒雷达探测也越来越广泛地投入到业务使用中。在这次强对流天气过程中, 宁波和温州的2部雷达从2个探测方向给出了比较详尽和完整的各类产品。结合浙江省中尺度自动雨量站的实测资料, 我们分析了多单体风暴和弓形回波生成、发展、减弱、衰亡的生命史, 研究其回波特征, 总结出这些特征对于强对流天气具有的指示和预报意义。多普勒速度产品及其一些衍生产品对于我们进一步认识对流性云团的三维结构具有重大的意义。

2 过程概况

2.1 实况天气

据中尺度自动站资料统计, 2006年8日08时至9日08时, 共有4个站出现100 mm以上降水, 最大为梓桐145.1 mm; 36个站降水在50 mm以上。全省共4个站点出现17 m/s以上的大风, 过程极大风速为18.8 m/s; 9日08时-10日08时, 13个站点降水

量大于50 mm, 最大为界首岛69.9 mm, 过程极大风速为衢州25.8 m/s, 共有25个站点出现17 m/s以上地面大风, 其中有10个站风速大于20 m/s, 2个站风速大于24 m/s。

2.2 天气形势分析

8日08时至10日08时, 浙江省一直位于500 hPa高空槽前的西南气流中。9日08时至20时, 在湖北东部、安徽南部、湖南、江西、浙江中北部及闽北地区出现了明显的高空急流。700 hPa和850 hPa上空于8日08时至9日20时也存在着一支低空急流, 这为暴雨的发生提供了充足的水汽条件^[2-3]。

从8日08时的850 hPa高度场可见, 在日本海上空有一个闭合的高压中心, 整个黄海区域上空为一致的偏东气流。云南境内存在一个低涡系统, 低涡切变线向东从云南中部延伸至浙江北部。该切变位于高空槽前的西南气流中, 因此得到维持和发展。同时随着日本海高压的减弱和缓慢东移, 该切变线逐渐北抬。9日08时切变线位于浙北和苏南交界, 并且在南京附近出现一个闭合的辐合区。与此同时, 8日08-20时, 500 hPa安徽、江苏两省中部存在一明显的西南风与偏东风的暖式切变。浙江位于该暖切南部强盛的西南气流中, 从地面图上来看, 处于稳定维持的地面低压倒槽中。这是8日发生强降水的主要原因。

9日, 500 hPa高空槽逐渐北抬收缩, 20时槽底位于湖北境内。浙江上游地区出现高空急流, 有5站出现20 m/s以上西南大风, 最大风速为24 m/s, 且存在向东北方向的动量传输; 至20时,

收稿日期: 2006-07-29

作者简介: 裴丽丝, 女, 杭州市艮山西路73号浙江省气象台, 助理工程师, 主要从事雷达应用及短时预报; E-mail: peilisi@163.com

共有 4 站风速在 20 m/s 以上, 最大风速出现在杭州, 为 24 m/s。850 hPa 和 700 hPa 的急流风速也有所增强, 切变线北抬明显, 浙江处于切变南侧的西南急流中, 地面低压中心位于贵州, 继续东移, 低压倒槽位于贵州、湖南、江西、浙江一线。

2.3 大气层结稳定度分析

从表 1 中的数值看, S 全部为负值, 而 K 指数也很大。说明不稳定能量很大。这对于浙西与浙中地区这两日的强降水有一定的指示意义。

表 1 5 月 8 日 08 时-5 月 9 日 20 时衢州探空站
S 指数和 K 指数演变情况

Tbl. 1 The evolution of index S and K in Quzhou
observatory during May 8-9

衢州	5 月 8 日 08 时	5 月 8 日 20 时	5 月 9 日 08 时	5 月 9 日 20 时
S()	-3.0	-1.1	-3.3	-0.5
K()	39	38	41	34

3 多普勒雷达资料分析

3.1 3 个多单体风暴影响过程(5 月 8 日 09 时-9 日 13 时)

8 日的大暴雨过程从反射率因子上看为大尺度的、典型的积层混合型降水回波。发展强盛的回波单体水平尺度可达 100 km 以上, 回波强度一般为 10~45 dbz, 以 30~50 km 的速度向东北偏东方向移动。

对强降水起主要作用的是 3 个多单体强风暴^[4]的消演变过程。8 日 09 时-19 时生成于金衢盆地的一次多单体风暴的发展、加强、减弱和消亡的过程, 我们称之为风暴 A, 该风暴以 30 km/h 的速度向东北偏东方向移动, 影响衢州、金华、杭州、宁波及绍兴地区。8 日 18-21 时在浙赣边境发展起来的多单体风暴, 我们称之为风暴 B, 该风暴也以 30 km/h 的速度向偏东方向移动, 其新生风暴向南侧发展, 影响衢州、金华及丽水北部地区。

风暴 C 的主体云团生成于安徽南部, 并于 8 日 23 时开始自安徽黄山向偏东方向以 50 km/h 的速度移入浙西。受其影响, 9 日 00 时浙西开始出现暴雨天气。在东移的过程中, 其后侧不断有新的对流云团生成、发展、加强, 以致形成一个尺度的积层混合型降水回波, 在其南端入流一侧逐渐生成风暴核序列。该对流云团至 13 时才消亡。其南侧入流边界附近的强对流单体系列带来了多个单站的短时特大暴雨。雨强最大的是 9 日 01-02 时, 建德站实测 1 h 降水 48.2 mm, 其西侧的石林站 39.7 mm, 界首岛 25.7 mm。

宁波和温州的多普勒雷达较好地记录了这 3 个完整的历史。分析表明主要有以下特征。

1) 多普勒速度场上中低层的暖平流特征。(图略)

2) 中等到强的垂直风切变环境。分析宁波和温州 2 站的 VWP 产品, 发现 8 日 08 时至 9 日 00 时, 从低层到高层一直存在着中等到强的垂直风切变。在强烈多单体风暴云体下层的风速较小, 约为 4~6 m/s。这是和产生超级单体风暴的大气环流条件主要的区别之一^[5]。

3) 从风暴 A 的反射率因子产品上可以看出, 它是由处于不同发展阶段的单体风暴核序列组成的, 且在沿阵风锋的辐合最强处不断有新单体生成, 新生单体的发展具有较好的组织。风暴 B 尺度较小、生命史较短, 主要蕴含了 3~4 个强对流单体。

4) 在风暴发展的旺盛时期可见清晰的 V 型前侧入流槽口, 径向速度图上沿入流一侧可观测到与多个单体风暴核序列相对应的气旋性辐合流场。(图 1)

5) 在速度场上出现了数量较多的逆风区^[6], 对应着强度场上回波的发展与增强。这些逆风区有的在空间位置上落后于回波强

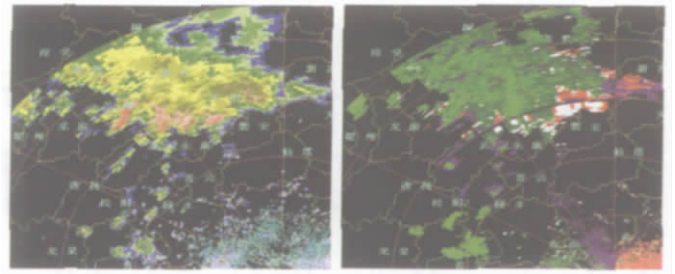


图 1 多单体风暴的强度场和平均径向速度场

Fig. 1 The average radial velocity fields and intensity fields of multicells storm

中心主体, 处于新生单体一侧, 有利于多单体风暴不断得到补充和加强, 因此维持时间较长。

6) 中层辐散流场对于降水的减弱有较好的指示性。8 日 18 时 28-59 分, 速度场上金华和绍兴境内一个被正速度区包围的负速度逆风区渐渐发展扩大, 最后在距离温州雷达站 140 km 处约 3.3 km 高空形成一条明显的东西向 0 速度不连续线。揭示了这一区域内有明显的风场辐散。强度场上与之相对应的是回波强度的迅速减弱, 回波强中心消失, 主体衰亡。

7) 风暴 A 的移向与其和宁波雷达连线的夹角较小, 因此在其发展过程中, 风暴相对径向速度图上可以清晰地看见一条西北东南向的大尺度风速不连续区(辐合区)。新生单体总是沿着外流边界出现周期性发展, 并且具有较好的组织结构。

8) 宁波雷达的风暴相对径向速度产品上可以清晰地看见对流云体的入流边界和出流边界(图 2)。

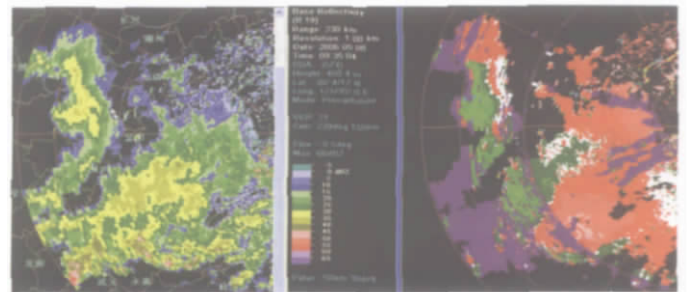


图 2 径向速度产品上清晰的入流边界

Fig. 2 The clear inflow boundary in the radial velocity map

9) 风暴 B 中的强对流单体具有高的 VIL 值, 8 日 19 时 47 分 VILmax=62 kg/m²。高 VIL 值是否骤升骤降是识别暴雨和冰雹的重要依据。在这次过程中该高 VIL 值有一定的持续性, 并未骤然升降, 实况证明未出现冰雹, 但是有短时暴雨相对应。

10) 风暴中发展强盛的多个强对流单体与当日地面的强降水相对应。

3.2 弓形回波演变过程(5 月 9 日 16-23 时)

9 日 16 时, 温州 460 km 的强度图上观测到在江西境内有一块超级单体风暴。该风暴位于一块大尺度积雨云回波的前侧, 在 7~9 km 的高度层上维持了半个小时左右的 70 dbz 以上的强反射率。在此过程中, 该回波强中心开始分裂并向两端发展, 渐渐弯曲成弓形^[7]。有研究表明, 弓形回波通常是由孤立风暴诱发的下击暴流激发而产生的。9 日 17 时, 该弓形回波朝向东北方向以 60 km/h 移动开始进入衢州地区。

9 日 17 时 29 分, 该弓形回波从中部开始分裂, 我们称北侧的弓形回波为弓形回波 1。分裂后南侧的强单体回波结构组织零

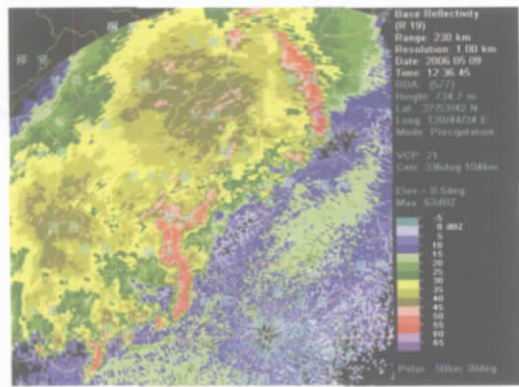


图3 两组弓形回波的反射率因子图

Fig. 3 The intensity reflectivity map of two bow echoes

散。与此相对应,它所处的大尺度积雨云回波也开始缓慢分裂。18时05分,一直紧随这块积雨云回波之后的对流云团开始合并进它的后部,其前侧的对流小单体慢慢和之前分裂出的南侧尾部小单体对接,并经过对流运动相互增强,于19时35分形成了组织较完整的弓形回波2。此时,这个大尺度的积雨云回波演变为含有2个风暴核心的多单体风暴结构,在其前侧形成2条弓形回波(图3)。此后回波继续向东北方向移动,移速很快,仍为60 km/h。但弓形回波2的组织结构开始渐渐涣散,于20时18分开始重新组织排列;20时24分重新形成弓形;21时36分至22时00分发展旺盛,之后开始慢慢减弱,22时40分左右消亡(见表2)。弓形回波1的发展比较稳定。

表2 两组弓形回波的演变史
Tbl. 2 The evolution of two bow echoes

演变过程	发展期	强盛期	减弱期	消亡期
弓形回波1	——17:29	17:29-20:24	20:24-21:18	21:18之后
弓形回波2	17:29-19:17	19:17-19:41	19:41-20:00	22:32之后迅速消亡
	20:00-20:24	20:24-21:00	21:00-22:32	

表3 弓形回波造成的短时强降水和过程极大风速
Tbl. 3 One-hour precipitation and maximum gust caused by the bow echo

时段	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23
1 h降水最大值(mm)	18.8	28.1	28.8	26.2	28.5	36.4	16.1
过程极大风速(m/s)	14.3	25.8	20.1	24.1	22.0	20.1	17.9

分析发现该弓形回波具有以下特征。

1) 径向速度图上位于弓形回波前侧的速度不连续区(辐合区)对应于弓形回波的入流边界。

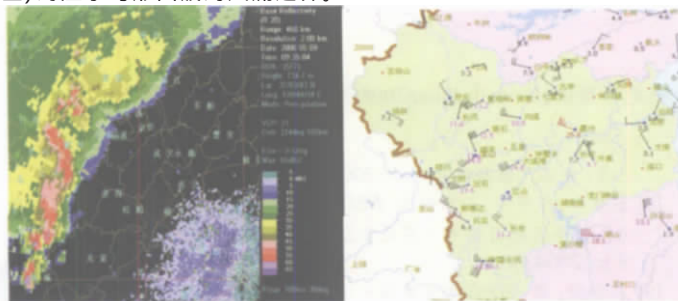


图4 弓形回波与地面大风有很好的对应

Fig. 4 The bow echo is in good agreement with the surface severe wind

2) 最强的风发生在弓形回波的顶部,也就是凹状回波移动最快的部分。并且在弓形回波前侧可见弱回波出流回波线。它与主体接近平行,强度在15 dBZ以下。它位于出流的最前沿,是降水拖曳和蒸发冷却产生的冷空气堆与环境暖湿空气的边界,也是地面强风的前沿。弱回波出流边界是系统主体强度的重要标志之一,它的出现表明主体处于系统强盛阶段后的爆发期^[9]。边界清晰,距离主体近,说明爆发强烈。17-21时,这4h的出流边界清晰,结构紧密,且与主体基本保持同速前进,在出流边界附近出现了地面强风。从图4中可以看出,弱出流边界压在湖山站上,衢州站对应弓形回波的顶部。这一时段衢州出现25.8 m/s的西北大风。

3) 在弓形回波前进方向距离主体10 km左右有相应的阵风锋窄带回波。它一般对应于风暴相对径向速度图上的风速不连续区(辐合区)。它与主体的相对距离标志着主体的增强和减弱^[9](图略)。

4) 在环境场暖湿的条件下,结构紧密发展旺盛的弓形回波在弓形顶部的最凹处、弓形前侧的入流槽口及逗点状、钩状回波区容易产生中气旋,使弓形回波发展增强,激发强降水。强降水集中在弓形回波中部最凹处的强反射率因子区(图略)。

5) 该弓形回波的入流一侧存在高反射率因子梯度区,其后侧存在弱回波通道,表明存在强的下沉后侧入流急流,属于容易激发强降水的弓形回波。

6) 弓形回波过境影响造成的地面大风有急增急降的特征。对应阵风锋的前部,有一大片静风区,这是阵风锋来临的重要特征。

4 结论

1) 中等至强的垂直风切变环境通常导致多单体风暴的产生和发展,这种多单体风暴通常由处于不同发展阶段的单体风暴核序列组成,且在有利于风暴生成的一侧不断新生(通常沿阵风锋的辐合最强处)。新生单体的发展具有较好的组织。

2) 多单体风暴中的单个单体的移动方向与其气层内平均气流方向一致,而整体风暴的运动通常偏离单个风暴的运动方向。这是由于新生单体沿外流边界出现周期性发展而引起的。

3) 多单体风暴由于不断有新生单体的补充和发展,老单体的减弱消散等新陈代谢过程,因此维持时间较长。一旦新单体停止产生和并入,多单体风暴就趋于灭亡。

4) 强烈的多单体风暴一般是在中到强的垂直风切变情况下发展起来的。另外,强烈多单体风暴中云下气层风速较小,一般小于8 m/s。这可能是和产生超级单体的大气环境条件主要的区别之一。

5) 成熟阶段单体的雷达回波强度结构特征与其他单体特征之间有明显区别。

6) 弓形回波是指快速移动的、凹状的(向下风向看)、与灾害性的下击暴流相联系的低层回波。

7) 最强的风发生在弓形回波的顶部,也就是凹状回波移动最快的部分。

8) 带有附加反射率因子特征的特殊弓形回波具有更强的发生灾害性天气的潜力,在这次过程中表现为入流一侧的高反射率因子梯度和后侧的弱回波通道。

参考文献(References)

- [1] 戴建华. WSR-88D多普勒天气雷达资料分析、应用和开发》课题技术报告[R]. 2000.
- [2] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1992.
- [3] 孙淑清. 低空急流及其暴雨关系 [C]//大连暴雨会议文集. 长春: 吉林

0604 号强热带风暴“碧丽斯”演变特征及灾害成因初步研究

Primary Research of the Evolvement Characteristics and Disaster Reasons of Strong Tropical Storm BILIS (0604)

周丽峰/ZHOU Li-feng

陕西省气象台, 西安 710015

Meteorological Observatory of Shaanxi Province, Xi'an 710015, China

[摘要] 0604 号强热带风暴“碧丽斯”是一个怪异的热带气旋, 具有“偏心结构”, 外围风速远大于中心附近、登陆后残留低压长时间维持、登陆西行过程中引发华南和江南南部地区持续强降水等特点, 强降水给南方六省(区)造成重大灾害。分析表明, 风暴中心与北侧副热带高压之间的强气压梯度造成外围更大的梯度风, 华南和江南南部地区持续性强降水是风暴残留低压与外围螺旋云带、季风云涌相互作用所致; 而小流域洪水、泥石流等灾害正是由于持续性强降水所造成的。

[关键词] 热带气旋; 演变特征; 灾害; 成因分析

[中图分类号] P444

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)09-0016-05

Abstract: The strong typical storm BILIS (0604) is a oddball typical cyclone. Its structure is eccentricity, and the wind speed in its periphery is greater than that in its center. The storm persisted for a long time after landfall, and it gave birth to heavy rain for a long time in southern China and the southern Yangtze River basin, which produces severe disasters in six provinces. The analysis finds that the greater pressure gradient between the storm center and its northern subtropical pressure, the stronger gradient wind in the storm's periphery. The durative rainstorm in southern China and the southern Yangtze River basin in longer period is the action production one another among remnant low pressure, twist cloud zone and monsoon cloud surge; moreover, it is the heavy rainfall that caused the disasters, such as flood, mud-rock flow, landslide of the mountains, falling and the downthrow of the earth etc. in some smaller valleys.

Key Words: typical cyclone; evolvement characteristics; disaster; reasons analysis

CLC Number: P444

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)09-0016-05

1 引言

2004-2005 年东南沿海地区受到热带气旋的严重影响, 带来的强降水和大风造成了严重灾害。这些热带气旋的演变也很有特点, 如 0407 号“蒲公英”建国后在浙江登陆最早记录; 0428 号“南玛都”创浙江最晚受影响记录。2004 年 7 个热带气旋影响影响最多记录, 0418 号“艾利”登陆福建沿海后, 沿海岸线折向西南移动; 0414 号“云娜”和 0515 号“卡努”在浙江大陈站分

别创造 58.7 m/s 和 59.5 m/s 最大风记录; 0514 号“泰利”深入内陆与西风带系统结合, 在庐山、大别山区产生强降水。2005 年在南海和西太平洋生成的热带气旋总数偏少, 却有 5 个登陆闽、浙, 它们的共同特点就是带来强降水^[1-2], 很值得关注^[3-5]。

2006 年 5 月至 8 月上旬, 热带气旋活动同样很有特点。“珍珠”于 5 月 9 日生成, 18 日登陆广东, 初台生成时间虽较常年偏迟, 却创造建国后登陆大陆的最早记录;

“碧丽斯”、“格美”登陆后西行, 在华南和江南南部造成强降水。热带气旋登陆大陆比例偏高, 至 8 月上旬生成的 9 个热带气旋中, 有 6 个登陆。造成严重影响的“碧丽斯”至登陆仍未加强为台风; “派比安”只用不到 2 d 就从一个热带低压发展成为台风; “桑美”从 8 月 8 日 23 时起仅用 21 h 风速就由 35 m/s 增强到 60 m/s, 这些都与特定的环流背景密切相关。

“碧丽斯”的强度与路径演变、风力及

收稿日期: 2006-08-13

作者简介: 周丽峰, 女, 陕西省气象台, 高级工程师, 主要从事天气分析研究与预报; E-mail: lifeng2008@sohu.com

人民出版社, 1980: 40-46.

[4] 胡明宝, 高太长, 汤达章. 多普勒天气雷达资料分析与应用[M]. 北京: 解放军出版社, 2000: 180-185.

[5] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊延南, 等. 新一代天气雷达原理与应用讲义[M]. 北京: 中国气象局培训中心, 2000: 165.

[6] 张沛源, 陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 373-378.

[7] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊延南, 等. 新一代天气雷达原理与应用讲义[M].

北京: 中国气象局培训中心, 2000: 236-240.

[8] 戴建华, 徐秀芳, 王坚捍. 用 WSR-88D 多普勒雷达资料分析上海的飑线[C]//中美强对流天气临近预报技术国际研讨会文集. 北京: 气象出版社, 2004: 86.

[9] 郑媛媛, 等. 2002 年两次强对流天气多普勒雷达资料分析和临近预报[C]//中美强对流天气临近预报技术国际研讨会文集. 北京: 气象出版社, 2004: 85.

(责任编辑 黄永明)