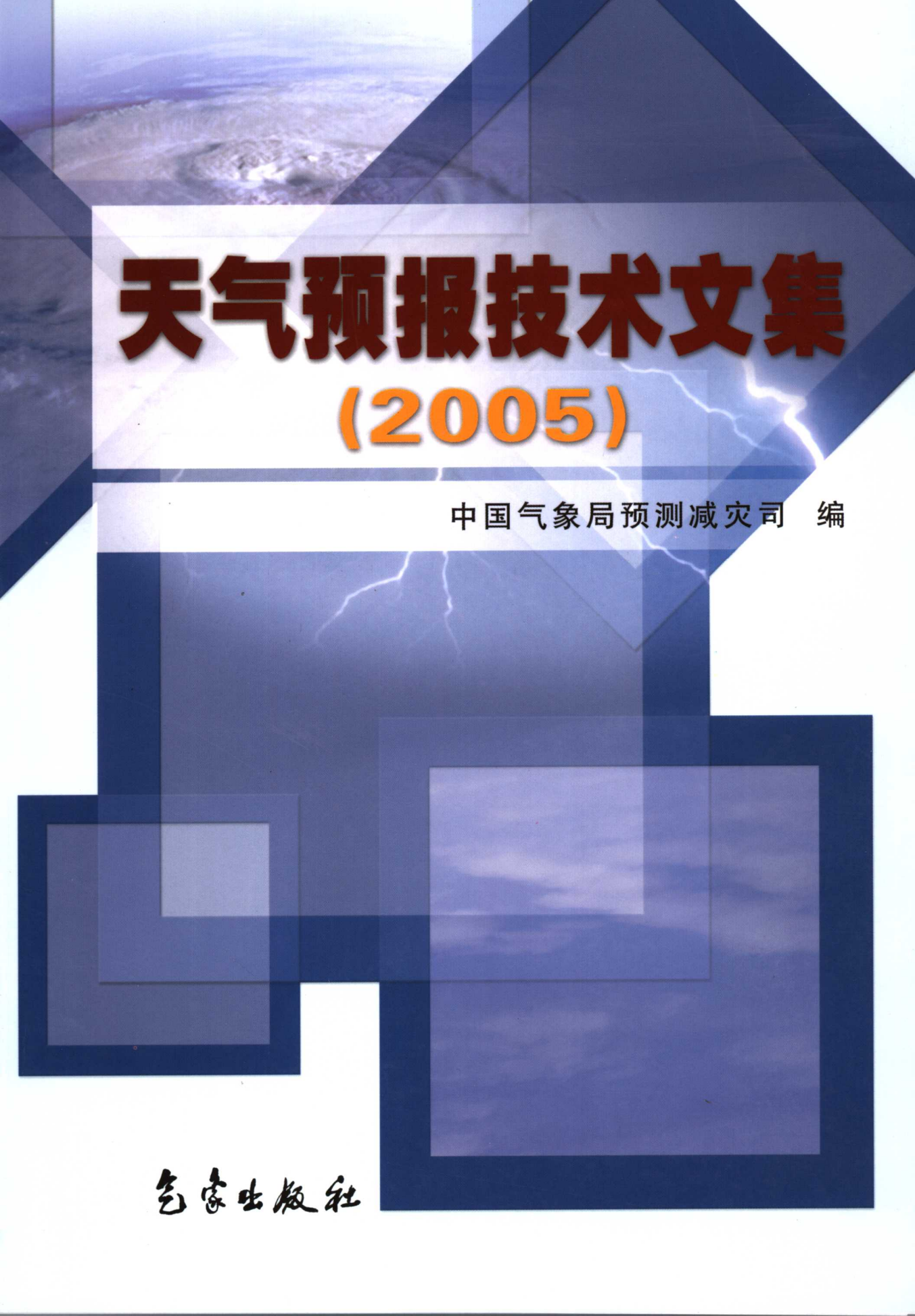




天气预报技术文集 (2005)

中国气象局预测减灾司 编

气象出版社

天气预报技术文集

(2005)

中国气象局预测减灾司 编

气象出版社

内容简介

本书收入了 2005 年在福州市召开的“2004 年全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会”上交流的文章 58 篇,内容涉及到台风、暴雨、冰雹、地质气象灾害等灾害性天气过程的个例分析和总结,以及数值产品的解释和应用、卫星资料产品的应用,和各地新增的新一代多普勒天气雷达资料的分析应用等新增业务的内容。

该书可供气象、水文、水利、航空等部门从事天气预报的科技人员和相关院校及相关科研单位的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

天气预报技术文集. 2005/中国气象局预测减灾司编.

北京:气象出版社,2005. 10

ISBN 7-5029-4054-5

I. 天… II. 中… III. 天气预报-文集

IV. P45-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 118809 号

出版者:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

邮 编: 100081

E-mail: qxcbs@263.net

电 话: 总编室: 010-68407112 发行部: 010-62175925

责任编辑: 张锐锐 俞卫平

终 审: 袁信轩

封面设计: 王 伟

印刷者: 北京金瀑印刷有限责任公司

装订者: 三河市海龙装订厂

发行者: 气象出版社

开 本: 787×1092 1/16 印 张: 19.5 字 数: 496 千字

版 次: 2005 年 11 月第一版 2005 年 11 月第一次印刷

书 号: ISBN 7-5029-4054-5/P · 1462

印 数: 1~1000

定 价: 56.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

编者的话

中国气象局预测减灾司和国家气象中心于 2005 年 3 月 9~11 日在福建省福州市召开了“2004 年全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会”。会议共收到全国各地气象部门、民航、部队、水文等单位各种来稿共计 300 余篇,经过会议专家小组的认真评审,从中筛选了 58 篇编入本书。

由于水平有限,难免疏漏,请读者指正并提出宝贵意见。

中国气象局预测减灾司

2005 年 10 月

目 录

编者的话

第一部分 热带气旋、暴雨

新一代天气雷达在 RANANIM 台风中尺度结构分析中的应用	薛根元 赵 放 冀春晓(1)
“040712”强飑线天气过程分析和龙卷强度级别判定	邵玲玲 黄宁立 郭锐 陈亚敏(5)
“030708”泥石流暴雨的中尺度分析	徐双柱 金琪 肖艳娇 李俊(11)
“云娜”台风登陆加强过程的数值模拟与机理初探	叶成志 潘志祥 许爱华 程锐(16)
“04.06”湘西北特大暴雨形成机理分析	刘志雄 叶成志 李耦周 戴泽军 陈勇(21)
2004 年 7 月 18~21 日暴雨过程的中尺度对流云团特征	赵金彪 刘万杰 何振伟(27)
2004 年 9 月 14 日暴雨成因及雷达回波特征分析	滕岩 任钟冬 张昊(31)
040822 上海市一次暴雨过程的 GPS 可降水量特征分析	姚建群(36)
0418 号台风“艾利”登陆地点的分析与探讨	林秀斌 柯小青 蒋玉云(42)
伴有低空急流暴雨的 Doppler 雷达回波分类及特征分析	黄小玉 顾松山 陈章法 于华英 周雨华 夏正龙(46)
强台风“云娜”重大灾害特征及其评估	施素芬 赵利刚(52)
德令哈地区“2004. 8. 13”大雨天气诊断分析	张增文 苟日多杰(58)
登陆孟湾风暴结构演变特征数值模拟研究	许美玲 张秀年 段旭(61)
多普勒雷达对春季强降水过程的动力学诊断	王丽荣 汤达章 胡志群 张艳刚(66)
两次冷空气影响天津雷阵雨天气过程的对比分析	卢焕珍(71)
辽宁省 2004 年汛期降水特点及暴雨成因分析	孙欣 韩江文 蒋大凯(77)
云娜台风加强及特大暴雨过程的多普勒速度场特征研究	裴丽丝(83)

第二部分 强对流天气分析预报

2004 年黄淮一次突发性特大暴雨天气动力学诊断分析	林建 康志明 郭文华 杨克明(87)
“9. 3”四川盆地东北部大暴雨天气过程浅析	王春国 肖红茹 谌贵珣(97)
2004 年 6 月中下旬安徽省三次暴雨过程的大气低频振荡背景	陈晓红 张娇(101)
“7. 10”北京局地暴雨多普勒雷达分析	丁青兰 秦勇(107)
2004 年 6 月郑州地区几次华北冷涡造成强对流天气的对比分析	梁钰 张一平 鲁坦(112)
冰雹天气的临近订正预报方法研究及业务应用	樊晓春 王若升 董彦雄 陈应元 王妍(117)
东南沿海地区强对流暴雨的多普勒雷达特征识别	陈子昂 夏秋萍(122)

河北省 2004 年冰雹天气回顾与分析	范俊红 裴宇杰 李云川(127)
黄土高原一次冷涡飑线天气的综合分析与数值模拟	侯建忠 王繁强 方建刚 李平(132)
基于 GPS/ P_{wv} 资料的上海地区 2004 年一次夏末暴雨的水汽输送分析	杨露华 叶其欣 邬锐 黄宁立 徐秀芳(136)
基于多普勒雷达产品的突发强对流天气监测预警系统研究与应用	郑媛媛 李劲 方 翀(141)
宁夏一次强对流天气成因分析与雷达回波统计特征	纪晓玲 刘庆军 刘建军 沈阳 孔维娜(146)
运用决策树做浙东沿海地区强对流天气的短时预报	夏秋萍 黄翔 陈子昂 李彤(150)
上海“040712”飑线过程的中小尺度特征分析.....	杨引明 陈永林 甘惠泉(156)
厦门及其邻近地区强对流的雷达回波气候特征分析.....	陈绍伟(162)
一次春季强冰雹天气过程分析.....	叶爱芬 伍志方 肖伟军 温晶 程元慧(168)
应用三维冰雹云模式制作河北省 11 地市冰雹预报 ..	李江波 王福霞 买文明 王宏(173)

第三部分 预报技术

论气象类滑坡灾害的预报原理和方法.....	姜海泉(178)
晋城市致洪暴雨落区预报系统.....	刘强军(184)
多普勒天气雷达产品的零速度线在短时降水预报中的应用研究.....	何玉科 王荣基(189)
K 近邻非参数回归云预报技术及其应用	赵瑞星 肖仁春 滕军(193)
基于 SVM 的大(暴)雪预报方法应用研究	韩经纬 祁伏裕 康玲 胡英华 宋桂英 石少宏(198)
江苏省重要天气监测处理系统的研制	赵凯 沈树勤 濮梅娟 王卫芳 魏建苏 张备(204)
三峡水库蓄水后坝区气象要素变化特点及短期预报对策浅析	居志刚 熊红梅 仇苏宁(207)
武汉市深层地温变化特征及其在汛期降水趋势预报中的应用	张翠荣 王康 张本正(211)
载人航天发射场和主着陆场高空风、浅层风特征与预报研究	马佳 梅娜 刘善亮(216)
北京地区春季冷锋型雷暴发生条件的合成和对比分析.....	申红喜 李秀连 梁爱民(225)

第四部分 其他灾害性天气

一次侵袭华北强沙尘暴天气过程的诊断研究.....	张高英 赵思雄 孙建华(232)
江西 2004 年汛期降水特少高、中、低纬环流特征分析	尹洁 林毅(243)
用支持向量机方法预报舟山沿海突发性冷空气大风.....	陈淑琴 张荫廉 唐跃(247)
用事件概率回归方法预报咸阳机场辐射雾的消散.....	高洁 刘端次 靳英燕(252)
东北区大范围强暴雪天气的动力机制分析.....	胡中明(256)
2004 年内蒙古东部农区异常干旱影响因子分析	马清霞 格日勒 吴向东 王星辰(259)

Marr 小波在海南月预报中的应用	杨馥祯 吴胜安(263)
北京地区 2004 年 12 月 16 日降雪天气过程分析和预报研究	马环宇 里巍(266)
鹤壁市地质灾害气象预报预警系统	
..... 周官辉 新冰凌 郭魁英 杜滨鹤 孙日丁 芦阿咪 王国斌 牛红伟(272)	
吉林省中部地区沙尘天气统计预报模型的建立.....	王宁 杨雪艳(276)
溃变理论在西北干旱区暴雨天气预报中的应用初探	王江 (280)
热带气旋对上海强梅雨的影响分析.....	陈永林 曹晓岗(284)
一次台风来临前微龙卷的过程分析.....	何彩芬 胡春蕾 全彩峰(290)
云南雨季开始期与热带 OLR 的联系	黄玮 刘瑜(295)

第一部分 热带气旋、暴雨

新一代天气雷达在 RANANIM 台风中尺度结构分析中的应用

薛根元

赵 放

冀春晓

(浙江省气象局, 杭州 310002)(温州市气象局, 温州 325000)(浙江省气科所, 杭州 310017)

摘 要

台风中尺度结构变化对其强度变化有着直接影响。本文应用新一代天气雷达(CINRAD-SA)资料对 RANANIM 台风进行了三维风场反演产品的分析, 并使用 GBVTD (Ground-Based Velocity Track Display method) 方法, 通过对极大风速半径和眼壁回波变化的分析, 初步揭示了台风云娜登陆时其内部的三维环流中尺度结构特征。

关键词: 新一代天气雷达 台风登陆 风场反演 回波特征

1 引言

应用新一代雷达对登陆后台风的结构变化以及回波分析的研究目前尚少见。包澄澜等^[1]、陈联寿^[2]研究指出, 台风中尺度结构变化对其强度突变有着直接影响。

RANANIM 台风 2004 年 8 月 12 日 20 时在温岭市石塘镇登陆, 台风登陆后在温州经过乐清、永嘉县持续时间达 4 个小时。浙江沿海海面出现 12 级以上的大风。其中台州地区、温州和宁波的部分地区达风力 12 级以上, 有 11 个站超过了 40 m/s, 最大为大陈的 58.7 m/s, 其次为三角塘 46.4 m/s。降水主要集中在台风登陆后的 12 日 20 时~13 日 05 时。从 2004 年 8 月 11 日 20 时~14 日 20 时的过程累计雨量(自动气象观测站)全省有 35 个测站出现了 200 mm 以上的降水量, 300 mm 以上的降水有 17 个测站, 其中雨量最大为黄岩的沙埠 454 mm, 其次为仙居的朱溪 453 mm, 温岭的坞根 436 mm。另据水文站的资料统计, 温州市的礅头 24 小时降雨量达到了 874.7 mm。

2 台风中心定位与最大风速半径的确定

台风中心定位与最大风速半径确定的方法, 采用了 Zhou Z D, Zheng X M 提出的 Wood and Brown 改进方法(简称 GBVAD 方法)。因此, 不直接使用多普勒径向速度场本身作为分析的对象, 而是使用雷达观测体积内每一多普勒水平径向速度值(V_r)与观测点至雷达中心距离

(D)的乘积,所得到新参数场($V_r \times D$)作为分析的对象。由($V_r \times D$)场的极大值与极小值的位置可快速确定台风中心的位置与估计最大风速半径的大小。其中,台风中心即为此二极值相对应的中点,而最大风速半径即为此二极值相对距离的一半。

由 $V_r \times D/R_d$ 的极小值与极大值,再取得平均环境风速及风向并假设 $V_r \approx 0$,即可估计最大风速半径上主环流速度(V_T),其中 R_d 为台风中心至雷达的距离。

3 台风强度结构

密切关注台风强度结构特征的变化有利于对台风移动路径、风雨灾害、强度变化的预测。

RANANIM 台风登陆前强度结构具有如下特征:①有明显的圆形无回波“台风眼”,眼区直径 50~55 km(自下到上),形状保持稳定。眼壁环形呈闭合环状,强度 60 dBz 以上,高度在 12~15 km。②眼壁外螺旋回波范围 700 km 以上(更远处探测受到仰角限制),强度 45 dBz 以上,大部分回波顶在 7~9 km,强度强的螺旋状回波带的高度达 15 km 以上。螺旋状回波带结构严密、汇集在眼壁上,强度向上过滤 30 dBz 后可见到呈“9”型分布的强主体结构(图 1)。登陆后,其螺旋云带一度加宽、变厚,眼区附近的云带间隙逐渐消失,台风眼几何形状由圆到不规则,直到最后被“填塞”,而回波的强度在登陆过程中呈现出稳定少变的特点。

回波显示出该台风具有强度强、范围广、旋转快、结构严密、雨带厚等强台风的结构特征。

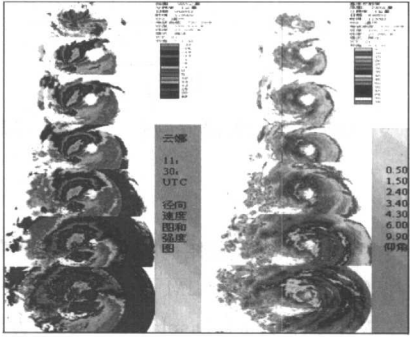


图 1 2004 年 08 月 12 日 11:30:22UTC 径向速度图和强度图(0.50,1.50,2.40,3.40,4.30,6.00,9.90 仰角)

4 中尺度环流

4.1 谱宽分析

在台风由海上登陆过程中,由于受到地形阻挡和摩擦效应的双重影响,登陆台风的前半部眼壁首先受到地形的影响,谱宽首先在低层(高度 2.5 km 以下)快速增大,接着台风登陆的前半部眼壁的高层(高度 5 km 以上)谱宽也急剧增大。随着台风眼区整体的登陆“上岸”,眼壁后半部谱宽亦由低层到高层开始快速变大。图 2 为 2004 年 08 月 12 日 11:42:29 UTC 谱宽垂直剖面产品。在 3~5 km 高度层上气流保持均匀,呈现稳定的低谱宽,说明云娜登陆前后其中层环流相对稳定。这种稳定的中层环流是云娜登陆后继续维持的主要内因。

4.2 中尺度环流结构

台风登陆时,台风的前部到稍偏右的范围旋转环流切向方向在 1.5~4 km 高度上,出现了 49 m/s(已接近两次折叠的极值)的极大风速区。从 2004 年 08 月 12 日 10:00UTC 至 12:30UTC 的回波分析可见,台风最大风速半径因受地形等因素影响开始变小。在 2 km 的高度上,切向

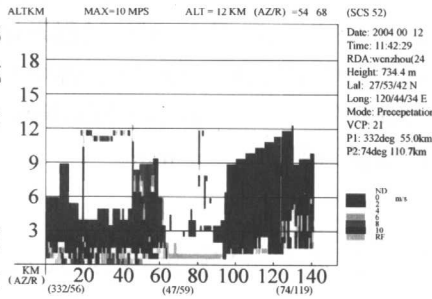


图 2 2004 年 08 月 12 日 11:42:29 UTC 台风眼区谱宽垂直剖面

风速达 49 m/s 的风速半径由 81 km 减到 53 km。台风上下层的中心位置偏差也由小变大。在 12:00UTC 至 22:00UTC 台风中心登陆后向南压时,低层中心已进入雁荡山区,由于受到地形作用的影响,台风低层移速变慢,4 km 中心位置较 8 km 中心位置更为西南,偏离程度超过 12 km。由于台风登陆后下边界地形对整层台风环流影响不同,造成上下层移动的差异,当台风中心移速最小时,台风最大风速半径由减小转变为增大,高低层分离程度明显。将速度回波与强度回波作对比分析发现,强回波平均半径与最大风速半径变化也基本一致。

本文采用简单共轭法 (Simple adjoint method) 对网格点资料进行三维风场反演的研究。结合 GBVAD 计算分析表明,在低层最大风速半径以内风速含有向外的分量,最大风速半径以外风速含有向内的分量,在高层正好相反。Marks 和 Houze 认为这类台风的环流形式,可使台风产生足够的动能以抵抗摩擦产生的消耗。在 4 km 高度离中心约 41 km 处有最大的上升运动区,位于最大风速半径附近。在 8 km 高度离中心 60 km 附近有最大下沉区,并有明显辐散。而在台风的前部和台风中心右侧的强风区域,强的上升气流则一直延续到了 8 km 或更高的高度上。图 3 给出了雷达反演 2004 年 08 月 12 日 12:24UTC 至 12:30UTC 时段 4 km 高度上的三维流场。

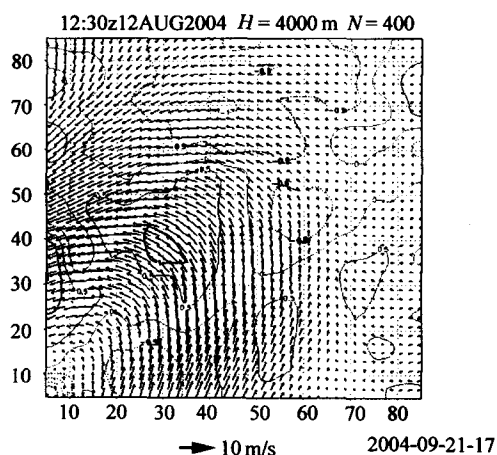


图 3 2004 年 08 月 12 日 12:30UTC 风场反演

4.3 眼壁变化

登陆前,眼壁内为无回波区,眼壁最大高度在 14 km 以上。当台风中心自温岭经过玉环半岛时,眼区从低层开始有回波“填塞”,“眼”的直径快速变小,眼壁前半部高度重心有所降低,眼壁的强回波厚度增大并出现明显的向前倾斜。台风眼在台风登陆后的一个小时里逐渐由清晰变模糊直到完全被“填塞”。

5 小结

台风 RANANIM 具有以下一些回波特征:

(1) 登陆时,眼壁速度谱宽急剧变化,从到达陆地的前部的低层起到高层增大,随后是后半部由低层到高层增大。在 3 km 高度附近,谱宽较为稳定,径向速度分布较为一致。

(2) 台风眼在海上时,眼壁在 8 km 高度以下基本垂直,在 8 km 高度以上“眼”的直径明显增大。登陆时,受到下垫面作用,眼壁向前或向右前方倾斜,台风“眼”内回波由低层向高层“填塞”。台风眼“填塞”后,台风环流重又加强,使得强回波主体(>30 dBz)仍可保持眼壁轮廓并能持续相当一段时间。

(3) 在迎风坡,台风中层最大风速半径明显减小,环流强度迅速减弱;在背风坡,台风环流又再次加强,地形的作用可以使得台风上下层环流中心发生分离。

(4) 轴对称径向风场在低层最大风速半径以内有向外的分量、最大风速半径以外有向内的分量,6 km 以上正好相反。相对最大切向风速出现在台风移动正前方(或稍向右偏)1~2 km 高度,最大风速半径附近为强烈的上升运动区。

(5)强降水集中在台风的右前侧,强降水落区有明显的“眼”的形状。受地形作用时,当台风环流与山脉迎风坡有法向分量时,引起气流的抬升使降水有明显的加强;当台风环流吹向喇叭口地形时亦使降水大为加强。

参考文献

- [1]包澄澜,王喜年,解思梅等.1992.海洋灾害及其预报.北京:海洋出版社
- [2]陈联寿.1990. TC 科学讨论会技术总结. TC 科学讨论会文集.北京:气象出版社,1~7

“040712”强飑线天气过程 分析和龙卷强度级别判定

邵玲玲 黄宁立 邬 锐 陈亚敏

(上海中心气象台,上海 200030)

摘 要

本文利用 WSR-88D 多普勒天气雷达的连续探测资料,对 2004 年 7 月 12 日影响上海地区的强飑线天气过程进行了研究。通过飑线回波带的组成、移动、变化等分析了这次飑线系统的发展演变过程及其雷达回波特征,重点讨论了飑线与前方线状回波的交汇在飑线发展加强和弓状回波形成中的作用,并指出弱线状回波的存在是由温度和风的不连续而引起的。文中还提出利用多普勒雷达产品——中气旋的最大流入流出速度计算中气旋旋转速度,可对龙卷强度等级做出判定,并与实况灾情信息判定结果进行了比较。

关键词: 飑线 分析 龙卷强度

1 引言

2004 年 7 月 12 日傍晚,上海地区经历了一次强飑线的侵袭,全市出现了较大范围的 8~11 级大风,闵行区华漕镇还发生了龙卷。严重的风灾造成多处建筑物损毁,导致 7 人死亡、多人受伤,是当年上海地区影响最大的一次强对流灾害性天气。

飑线是上海地区较为常见的强对流天气,它是一种带状、发展深厚的中尺度对流系统,常常引起灾害性强风和局地暴雨,有时还会产生冰雹甚至龙卷^[1]。对于飑线系统,国内外有过很多研究,包括其发生发展的天气形势条件、飑线的热力和动力结构以及常规天气雷达回波特征等^[2]。近年来,在国内多普勒天气雷达得到广泛应用的情况下,如何运用多普勒天气雷达的多种产品,特别是速度场资料及其衍生产品,对飑线系统的回波和流场结构、演变特征进行分析,并提出相应的临近预报思路是非常有意义的探讨。本文首先利用上海地区稠密的自动气象站网资料和雷达回波分布特征对影响天气系统的性质进行了认定,指出这是一次较为典型的强飑线天气过程;并分析了产生这次系统的天气形势背景;同时使用上海多普勒天气雷达的连续探测资料,着重探讨了飑线前方晴空弱线状回波的交汇对飑线发展加强的作用和产生灾害性强风直接相联系的弓状回波的形成;并利用多普勒雷达产品——中气旋和实况灾情信息,对这次过程所产生的龙卷天气进行了强度判定,以期对今后预测飑线系统的灾害有所帮助。

2 一次强飑线天气过程

2004 年 7 月 12 日下午,上海的 WSR-88D 多普勒天气雷达在距测站以西 200 km 附近观测到一条带状的对流性回波系统,由多组对流回波单体组成,水平尺度达 200 km 以上,有规

则地自西向东移动,从回波系统进入上海雷达探测范围到东移入海减弱消散,持续时间超过 10 h。在这条强雷暴回波带影响上海地区时,产生了大范围的 8~11 级雷雨大风,并在闵行区的华漕镇出现龙卷风。由于这条强雷暴回波带移速快,过程累积降水量不是很大,仅崇明跃进农场达到大雨程度,降水量为 28.4 mm,其他大部分地区为小到中雨。根据获取的资料分析,表明这条带状回波是由气旋冷锋的弱冷空气触发产生的,并在上海地区进一步发展加强,过境时出现了风向突变、风速急增、气压骤升、气温陡降等现象,图 1 为青浦商塌站在飊线过境前后的气象要素变化图,根据要素变化特征,可以确认这是一次典型的冷锋强飊线天气系统。

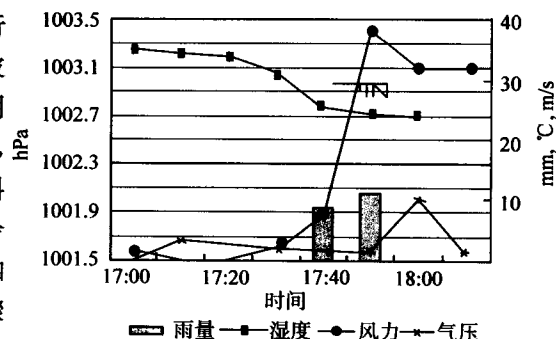


图 1 2004 年 7 月 12 日飊线过境前后青浦商塌站实测气象要素的变化

3 产生飊线的天气形势背景

2004 年 7 月 12 日正处于梅雨季节结束时段,当天副热带高压加强西伸,长江下游地区处于副高的西北侧,在深厚的西南暖湿气流控制下。同时,西北方有冷空气南下,12 日 08 时 700 hPa 图上,高空槽位于苏皖北部一带,并伴有弱的降温,850 hPa 图上槽前有一支明显的西南风急流,风速超过 20 m/s 且 700 hPa 槽超前于 850 hPa 槽,形成前倾槽形势。地面图上,冷锋附近的南京及以西地区有大片的降水区,并伴有局部雷阵雨天气。当天中午起,冷锋前的长江三角洲中东部地区普遍升温至 35 °C 以上,而南京及以西地区由于浅层冷空气的侵袭温度仅为 26 °C 左右,锋面附近的降温区与长江三角洲中东部地区的高温区之间温度梯度达 0.8 °C/10 km,形成了很强的锋区。在飊线前方存在一个向北伸展的中尺度暖舌,同时,此间还伴有西南风和偏西风之间的弱切变。这种背景条件为飊线系统的发展加强提供了有利的环境条件。

4 飊线的雷达回波特征分析

4.1 飊线回波带的组成

这次飊线回波带是在弱冷锋前的暖区内形成、发展的,因此其对流运动不是完全集中在一个狭窄的带上,而是在一个有一定宽度的区域内。在雷达上表现为由生命史处于不同阶段的四组强回波单体组成,将其自北向南依次定为 A、B、C、D 四组对流回波团或短带,A 组在下午影响苏北地区,B 组午后影响崇明,C 组傍晚影响上海地区、D 组在上半夜影响浙北。由于单部雷达有限的探测视野范围,当上海本地雷达观测到飊线回波带时,其带上三组对流单体的回波强度、高度已达到了一定的程度,根据现有资料无法分析整条回波带的初始形成过程,但可以观测到 D 组对流回波带的形成。图 2 为探测半径为 460 km 的雷达反射率因子图,可见 15 时在飊线回波带南端的皖南山区,先是局地产生一些零星的对流回波单体,然后逐渐增多增强,弥合成对流回波短带,并随着飊线回波带整体东移,当其进入长江三角洲南部位势更加不稳定的区域时,进一步发展增长,形成晚上影响浙北的强飊线回波带。

4.2 飚线回波带的移动

通常,高空引导气流决定了对流风暴单体的移动方向。本次飚线回波带上的单体也是沿高空西南气流向东北方向移动的,如果仅仅依据单体移动进行简单外推,往往会产生影响区域的预报误差,因为飚线南部不断有新生回波产生后并入飚线系统,而北部的 A 组和 B 组短带入海后逐渐消亡,导致飚线整体基本向偏东方向移动。同时,分析 C 组短带,由于移入不稳定区域后强烈发展,并存在着新老单体的交汇与合并,在其移动过程中有比较明显的传播现象。

4.3 飚线回波带的发展演变

这次飚线回波带在其途经的江苏、浙江、安徽等省都产生了不同程度的大风天气,而为什么影响上海时产生的气象灾害相对来说更严重呢?这是因为飚线回波带上的 C 组强对流短带过境时,在本地发展加强,形成了人字形回波、弓状回波、中气旋等典型的强对流天气的回波特征,下面就 C 组强对流短带的发展演变过程进行详细讨论。

(1)晴空弱线状回波的交汇发展作用

12 日下午,在强飚线回波带前方,位于上海以西的青浦、嘉定、闵行到苏州之间一直存在着多条弱的线状回波(见图 2),这些弱线状回波呈东北西南走向,停滞少动,对应地面无降水,并一直持续到强天气的爆发。当天下午,由于浅层冷空气的侵袭,长三角中东部地区产生了很强的锋区,锋面附近的降温与长江三角洲地区的高温区之间形成很大的温度梯度,使上海及周边地区一直维持一个向北伸展的中尺度暖舌,同时还伴有西南风和偏西风之间的弱切变。由于温度和风的不连续面造成折射指数的突变,从而激发产生了非降水性质的弱线状回波^[1]。17 时 19 分,当强飚线到达太湖附近时,位于太湖以南的局部强对流回波发展旺盛,并在经过苏州附近时,产生了 9 级以上的雷雨大风,当强对流回波向东北方向快速移动时,其下泻冷出流对前方盛行西南气流的辐合抬升作用又产生了弧状弱回波带(图 2d),与本地一直维持的弱线状回波三者交汇,进一步迅速发展,形成了人字形回波,同时还出现 LEWP(线状回波波动型),这是典型的强对流天气的特征回波。

(2)弓状回波的形成

这次强飚线上 C 组短带的发展过程中,比较特殊的是在出现人字形回波带后,由于其南侧新生单体的迅速发展,人字形回波又快速演变为嵌在 LEWP 中的弓状回波(见图 2d)。图中为弓状回波出现前 10 min 的径向速度图,可见弓状回波前沿存在明显的辐合,对应回波最强处有 $>20\sim 30\text{ m/s}$ 的径向入流。弓状回波的整体移动速度超过 60 km/h ,说明这次弓状回波

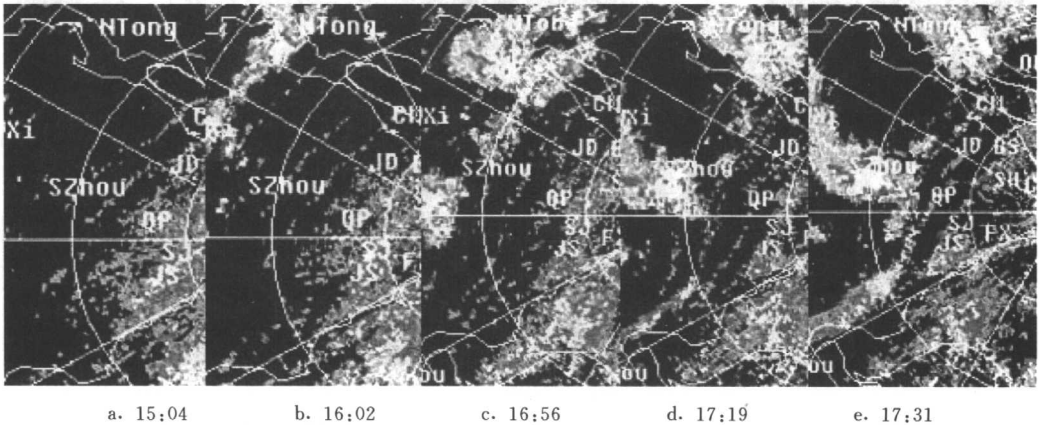


图 2 弱线状回波交汇发展

的发生是由于高空强西南气流引起的,因为发展强烈的对流云内部的下沉气流携带了高空大的动量下传,并且伴随着回波的进一步发展加强,形成弓状回波。而弓状回波往往与地面的破坏性直线风(下击暴流)相伴^[3]。因此,在其快速移动过程中造成了上海地区大范围的灾害性强风。

4.4 龙卷母云的建立和中气旋生成

龙卷母云是产生龙卷的小尺度天气系统,是灾害性天气中发展最猛烈的对流风暴。在人字形回波带交汇处的顶部,由于强烈的辐合作用,快速发展为一个特强回波单体,17:37 以后其强度达 60 dBz 以上,高度发展到 17~18 km,形成龙卷母云。分析 17 时 54 分的相对风暴速度图可以发现,在回波带的弯曲处有一对正负速度中心,计算其旋转速度 V_r 达到 18 m/s,此时的最大正速度中心与最大负速度中心间的距离为 2 km,切变值为 $11 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,在中气旋产品中显示为一个细的黄圈,表示为三维切变,即两个以上的二维特征垂直地相关,但是其对称的二维特征少于两个^[4]。就在中气旋影响的闵行、青浦等地产生了龙卷、大风天气之后随着龙卷母云快速向东北方向移动,在其影响的上海北部地区出现了多站局地大风天气。

5 龙卷的强度判定

5.1 利用旋转速度判断

在多普勒天气雷达软件系统提供的众多产品中,中气旋产品反映的是与对流风暴中强上升气流密切相关的小尺度涡旋,美国国家强风暴实验室引入这一概念用于预报龙卷等灾害性天气。它是一个 WSR-88D 雷达使用过程中出现的概念而不是某一种可凭肉眼辨别出来的天气系统,在我们的使用过程中,往往发现中气旋和局地强风的关联也很紧密^[3]。当 C 组短带到达上海及其以西地区时,上海的多普勒天气雷达识别出多个中气旋。分析此时段的风暴相对速度图产品(见图 3),可以发现有一对很清晰的 γ -中尺度的正负速度中心,表示此时涡旋回波的切变强度、上升气流强度和发展持续时间都已达到了产生局地强风的可能性。根据中气旋算法,我们通过记录中气旋出现位置上的风暴相对最大流入($|V_{in}|$)与最大流出($|V_{out}|$)速度,并计算该中气旋的旋转速度 V_r ,如对 17:08 和 17:13 的风暴相对速度进行计算,可得到:

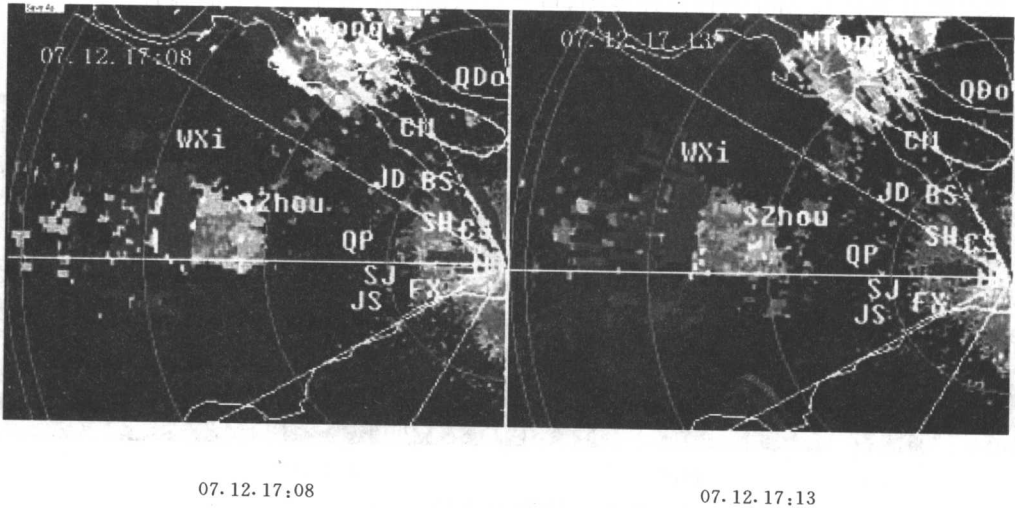


图3 中尺度气旋

$$V_r = (|V_{in}| + |V_{out}|)/2 = (|-26| + |45|)/2 = 35.5(\text{n mile/h}) = 17.8 \text{ m/s}$$

此时中气旋的位置距测站 120 km,同时结合该时刻中气旋文本产品中的径向方位值,并参考美国国家强风暴实验室提供的中气旋识别的旋转速度和距离判据进行判断,发现这次产生龙卷的中气旋强度为中等中气旋^[4]。我们曾经利用本地 6 年的雷达资料统计了 93 个中气旋个例,得到上海地区多以弱切变和弱中气旋为主的统计事实,占中气旋总数的 78.5%,而中等中气旋和强中气旋则分别只占总数的 9.6%和 11.8%^[3]。根据美国国家强风暴实验室的统计,满足中气旋标准的涡旋中,有 30%的可能会引起龙卷,但是在产生局地灾害性强风的记录中,却是 90%与中气旋有关^[4]。由于这次过程没有识别出龙卷涡旋特征产品(WSR-88D 的另一产品),因此根据雷达资料分析,这次龙卷属中等强度的龙卷灾害性天气过程。

5.2 利用灾情实况判断

根据目前的气象观测手段,极难甚至是无法测到龙卷的实际风速,上海和山东等地在对大量龙卷调查统计的基础上,参照美国的藤田-皮尔森强度分类法,由龙卷经过路径上的灾情来对龙卷强度定级^[5]。根据这次龙卷天气的灾情实况分析,青浦、闵行的灾情都比较严重,特别是直接受龙卷影响的闵行华漕镇,建筑物损坏数百间(主要是屋顶),树木折断 60 多棵,且倒伏方向不一。另外还存在行进中的汽车方向偏离的现象,这不是一般的雷雨大风能造成的损害,多为龙卷和下击暴流产生的灾害现象。按照上海龙卷风强度分级标准,并参照美国的藤田-皮尔森强度分类标准(见表 1),这次灾情的地面灾害特征符合中灾风(中等龙卷)的强度,即属于最大风速范围为 33~49 m/s 的 F1 级龙卷,和多普勒雷达观测计算的龙卷强度完全吻合。

表 1 上海龙卷风强度分级标准(截取至 F2 级)

风力等级	风的名称	相当风速(m/s)	地物征象
F0	轻灾风	18~32	损烟囱、断树枝、倒浅根树、毁广告牌
F1	中灾风	33~49	掀屋顶、倒活动房、行进中车辆方向偏离
F2	大灾风	50~69	刮飞屋顶、断或拔大树、物体飞扬

6 飏线的短时预警

(1) 盛夏期较大范围的强对流天气一般都与冷空气活动相联系。因此,不但要注意中高层冷空气侵入副高边缘,还要关注这种地面弱冷空气产生的强锋区导致的强对流天气,以便进行展望预报。

(2) 飏线在雷达回波中的表现形式通常定义为由强的对流单体组成的狭长回波带,然而这种回波外形特征在许多降水系统中都会出现,如冷锋、切变线等。因此飏线回波带的早期认定要充分应用雷达资料,进行回波系统的生消演变分析,注意回波特征的变化,做好强对流系统的早期判别和影响区域的预报。

(3) 夏季,要特别注意局地温度和风的不连续面所形成的弱线状非降水雷达回波的存在,此处往往是地面辐合和温度梯度导致的不稳定区域,有利于强对流系统的发展加强。

(4) 多普勒天气雷达具有强大的软件处理功能,提供了 70 多种产品,在各种强天气预报中应该充分利用,尤其是速度场及其衍生产品,如相对风暴速度场、中气旋等在局地强风和龙卷风的预报中作用显著。

参考文献

- [1]张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 2001. 雷达气象学. 北京:气象出版社,341,420~421
- [2]杨国祥. 1983. 中小尺度天气学. 北京:气象出版社,67~83
- [3]邵玲玲等. 2005. 中气旋在强风预报中的应用. 北京:气象出版社
- [4]OTB,OSF,WSR-88D OPERATIONS COURSE. 1997. 5. 8-122-128,9-15-20
- [5]薛德强. 2002. 山东半岛龙卷风的风险度分析. 大气科学研究与应用,23:78~80