

文章编号: 2096-1618(2018)06-0606-06

江苏龙卷观测预警试验基地雷达网设计

周红根¹, 李昭春², 孙强³, 朱毅¹, 刘俊⁴, 高振翔⁵

(1. 江苏省气象探测中心, 江苏 南京 210009; 2. 海南省气象探测中心, 海南 海口 570100; 3. 盐城市气象局, 江苏 盐城 224600; 4. 泰州市气象局, 江苏 泰州 224600; 5. 宿迁市气象局, 江苏 宿迁 223800)

摘要:龙卷具有空间尺度小、生命史短、突发性强、破坏力大等特点,是强对流中致灾性最强的天气现象之一,尤其目前绝大多数的气象探测设备和探测系统都无法有效监测、追踪龙卷的发生发展和消亡。目前中国龙卷观测主要依靠新一代天气雷达网,由于雷达网间距大,扫描模式固定,对龙卷等小尺度天气系统监测能力有限。苏北平原特殊的地形和气候条件,是中国龙卷发生最多的地区之一,江苏在龙卷易发地区建设雷达网,开展龙卷观测预警试验,探测龙卷形成过程中的精细化垂直结构,研究龙卷形成过程与规律,提升龙卷等强对流灾害性天气过程的预报和预警时效,促进龙卷观测、预报和预警的业务化发展。

关键词:龙卷观测; 预警试验; 雷达网; 双偏振

中图分类号: P445⁺. 1

文献标志码: A

doi: 10. 16836/j. cnki. jcuit. 2018. 06. 002

0 引言

中国从20世纪80年代开始对龙卷风进行研究分析,这一时期基本停留在灾害的描述,包括灾情、灾害现场特征、龙卷风路径推测等,进入20世纪90年代后,气象工作者开展了大量的龙卷风天气气候分析^[1-12]。范雯杰、冯佳玮等^[13-14]研究了大量的龙卷风个例和中国及区域龙卷风的气候特征,获得珍贵的观测资料。通过分析得到龙卷风活动规律、产生条件、物理量场等要素。初步得出中国龙卷风的时空分布特征(图1),苏北平原地区,长江口三角洲、鲁西南、豫东等平原、湖沼区以及雷州半岛等地都是龙卷风的易发区。

江苏水网众多,地形条件和天气气候条件有利于龙卷的形成和发展。据统计,过去50年,就中国地级市辖区而言,强龙卷记录次数最多的前三城市均来自江苏,分别是盐城、南通和泰州。而江苏则成为强龙卷第一发生大省。江苏省国民经济发达,人口密度大,交通纵横,城市化水平高,龙卷发生所造成的灾害损失和人员伤亡不断增大^[15-21]。尤其近15年来,龙卷发生次数呈下降趋势,但因龙卷导致的人员伤亡、建筑物毁损等生命财产损失呈现越发严重态势。2016年6月23日江苏省盐城市阜宁县遭遇的EF4级龙卷以及雷暴大风、冰雹等强对流天气,造成当地99人死亡,875人伤病、直接经济损失49亿元的特大灾害^[22-24];

2003年7月19日,淮安由龙卷造成直接经济损失4.16亿元;2006年7月3日,盐城多县遭龙卷袭击,造成直接经济损失5203.9万元,死亡5人;2007年7月3日,F2级龙卷袭击江苏扬州高邮地区,7人死亡,19人重伤,直接经济损失过亿元等。可见,龙卷尽管发生概率低、尺度小、生命史短,但破坏力极大。

由于龙卷等中小尺度强对流天气系统属于小概率事件,其时间、空间随机性较强,尤其目前绝大多数的气象探测设备和探测系统都无法有效监测、追踪龙卷的发生发展。因此,对龙卷等中小尺度强对流灾害性天气的内部结构、演变情况知之较少,制约了其预报预警技术。所以,中国龙卷业务化发展一直没有进入业务系列,仅停留在研究分析的层面。随着双偏振、相控阵技术在中国天气雷达中的应用,江苏在龙卷易发地区建设雷达网,开展龙卷精细化的观测预警试验,获取龙卷风暴的精细化垂直结构,研究龙卷形成过程与规律,提升龙卷等强对流灾害性天气过程的预报和预警时效,促进龙卷观测、预报和预警的业务化发展。

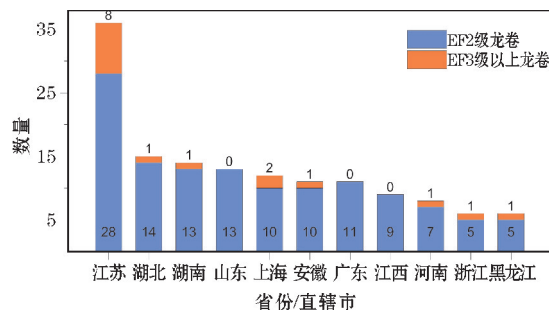


图1 1961-2010年记录强龙卷数量最多的11省(市)分布^[13]

收稿日期: 2018-10-26

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFC1506100、2018yfc1506102);江苏省气象局科研基金资助项目(KM201808)

1 江苏龙卷观测预警试验基地雷达网概述

在政府和公众对于突发性强对流灾害天气的预报预警和服务需求不断增加的时代背景下,中国气象局在《现代气象预报业务发展规划(2016–2020)》(气发[2016]1号)中明确提出了“探索发展龙卷临近预警业务”的发展任务;中国气象局综合观测司2017年要求江苏在盐城地区开展大风等强对流天气协同观测试验工作(气测函2017(47)文),2018年下达了在江苏苏北等地开展大风、强对流协同观测试验任务。《中国气象局预报司关于开展龙卷监测预警试验业务的通知》(气预函[2016]57号)等要求,2017年–2019年要在江苏试点开展龙卷监测预警试验。国家发展改革委批复的《气象雷达发展专项规划(2017–2020年)》(发改农经[2017]832号)文:苏皖平原、珠江三角洲、长江三角洲和江汉平原等地区龙卷风、强对流时有发生,如江苏阜宁龙卷风、湖北监利沉船事故等,给国民经济造成重大损失,在上述地区建设25部左右X波段局地雷达,开展重点区域X波段天气雷达局域组网业务观测,补充新一代天气雷达的观测盲区,中国气象局安排在江苏苏北投资建设2部X波段双偏振雷达。另外江苏省气象事业发展“十三五”规划——科技创新工程中安排在苏北建设四部龙卷协同观测试验雷达。

建设江苏龙卷观测预警试验基地雷达网,主要目标是形成可复制可推广的监测龙卷等强对流灾害性天气系统的协同观测业务应用示范系统,包括以下几个方面:

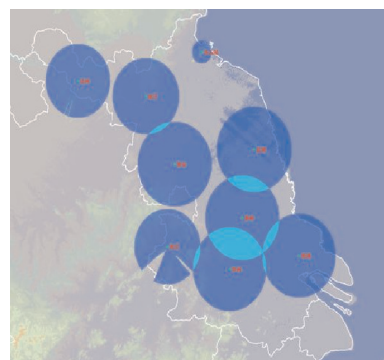
(1)建设X波段和C波段天气雷达网对江苏省业务天气雷达网苏北地区低层探测盲区进行有效的补充(图2),提升雷达网对龙卷等中小尺度强对流天气的边界层探测能力。

(2)建设监测龙卷的X波段和C波段天气雷达试验网,用来对龙卷等中小尺度强对流灾害性天气发生、发展、消亡过程的气象条件进行有效地监测和试验性研究;研究适合龙卷风观测的快速协同自适应扫描策略;形成龙卷等强对流灾害性天气协同观测业务运行系统。

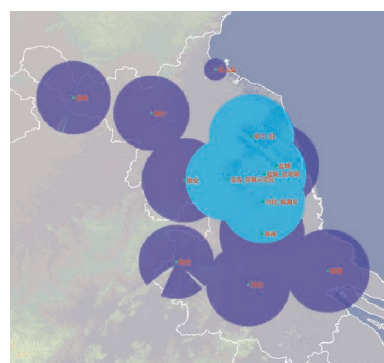
(3)根据X波段和C波段雷达试验网观测到龙卷资料,分析龙卷形成过程中内部流场、精细化垂直结构与环境场的关系、演变趋势,研究龙卷形成过程与规律,提升龙卷等强对流灾害性天气过程的预报和预警时效,促进龙卷观测、预报和预警的业务化发展,提出龙卷观测和预警的标准化业务流程及相关运行规章制度。

(4)利用雷达试验网探测资料结合卫星和其他地面设备等多源探测资料,研究反演大气真实状态的三维气象要素实况场的方法,进行龙卷等中小尺度强对流天气结构分析和气象要素预警试验。

(5)提出针对龙卷等强对流灾害性天气探测的装备和建站需求和龙卷观测和预警的业务推广建议。



(a) 江苏新一代天气雷达网



(b) 江苏新一代天气雷达与待建X波段雷达网

图2 待建X波段雷达网与江苏省新一代天气雷达网750 m高度层覆盖能力

2 江苏龙卷观测预警试验基地雷达网布局方案

江苏龙卷观测预警试验基地建设一个龙卷试验雷达监测网(图3)。在省气象台和省信息中心布设龙卷等强对流灾害性天气协同观测业务运行系统,包括建设一个雷达协同控制中心,完成资料处理与数据共享、产品生成与显示、数据融合、天气预警等。

2.1 江苏龙卷观测预警试验基地雷达网

龙卷试验雷达监测网一期分别在阜宁、宝应、兴化、盐城4个地区建设4部X波段双偏振雷达。二期在高邮建设1部C波段相控阵天气雷达。完成选址、频率测试、雷达塔楼、辅助设施、通信网络、防雷等配套设施建设。



图3 江苏省国家级龙卷观测预警试验基地雷达网布局图

2.2 协同观测业务运行系统

2.2.1 协同控制中心

协同控制中心,主要完成对雷达控制、数据收集与处理等,包括协同控制中心软硬件系统的建设。协同控制中心软件主要包括数据收集与处理、目标区域识别、扫描策略生成和适应性扫描控制等软件模块。协同控制中心硬件主要包括:在省信息中心布设相关服务器、网络设备、通信链路等建设。通信链路建设采用有线网络,通过固定 IP 接入互联网,从而实现协同控制中心与各雷达节点之间命令与数据传输。

2.2.2 产品显示

在省气象台对雷达产品进行生成与显示及处理,主要包括单站各类雷达产品显示、雷达拼图产品显示、数据融合、天气预警等。

3 江苏龙卷观测预警试验基地雷达网技术指标

3.1 雷达网技术要求

江苏龙卷观测预警试验基地雷达网,雷达站建设间隔为50~60 km,实现地面(0~2 km高度的有效探测。各站点分布及相互之间的距离如图3所示。

X波段雷达安装采用铁塔和设备方舱结合的方式进行,雷达铁塔的设计应考虑设备承重及运行时产生的谐振频率等问题;材料采用钢型材,塔顶设计有雷达天线座及天线罩安装接口,铁塔高度按周边遮挡情况确定;在塔顶四周设有安全护栏以防人员设备坠落,雷达铁塔爬梯设计有安全防护措施。C波段雷达采用塔楼结构。

3.2 试验网雷达性能要求

龙卷试验基地雷达在性能上应满足以下5个主要方面的需求:

- (1)高时空分辨率。在中小尺度强对流灾害性天气中,龙卷的尺度最小,其时间尺度一般为5 min ~ 1 h,空间尺度为20 m ~ 1 km,为能实现龙卷的有效探测,对选取雷达在距离和方位上分辨率提出较高的要求。高距离分辨率:为提高距离分辨率,采用脉冲压缩技术,发射信号波形时宽选用40 us,带宽选用5 MHz,经过脉冲压缩后,实际距离分辨率为30 m,可满足龙卷等中小尺度强对流天气探测的距离分辨率要求。高方位分辨率:采用0.5°的波束宽度,在30 km处方位分辨率为262 m,在信号处理中确保一定累积点数,的情况下,在方位上采用滑窗累积,可使方位分辨率优于130 m,可有效提高雷暴等强对流天气的探测概率。
- (2)双偏振探测能力。采用双偏振技术体制,能

够获取气象目标的相态,分析得到水凝物等类型。

(3)提高不模糊速度测量范围。为提高系统最大不模糊测速范围,采用较高的脉冲重复频率,同时配合基于统计的速度退模糊方法进行测速范围的扩展,满足龙卷大风等测速范围的要求。

(4)协同观测能力。龙卷等中小尺度强对流灾害性天气的移动速度快,尺度小,需在发现其产生特征之后,自适应协同控制多部雷达针对不同位置采用不同的工作模式进行扫描等。

(5)精细化探测能力。C 波段相控阵雷达可在 1.5 min 内完成 15 层体扫的探测能力。

3.3 协同观测业务运行系统

(1)协同观测指标。雷达时间同步误差: $\leq 10\text{ ms}$ (采用 GPS 网络校时);目标识别时间: $\leq 10\text{ s}$;雷达组网产品更新时间: $\leq 60\text{ s}$ (4 部雷达 16 层 60° 扇扫); $\leq 120\text{ s}$ (4 部雷达 16 层体扫); $\leq 90\text{ s}$ (相控阵雷达 15 层体扫)。

(2)数据共享指标。按照网络带宽 20 Mb 计算,数据共享的指标如下:雷达数据传输到协同控制中心的时间 $\leq 60\text{ s}$;雷达产品共享到用户终端时间 $\leq 60\text{ s}$;组网资料共享到用户终端时间: $\leq 120\text{ s}$;

(3)数据融合指标。在多雷达组网的基础上,实现地面观测、微波辐射计、风廓线雷达、气象卫星数据的融合。采用距离权重插值得到网格点值,然后对气温、气压、风的关系采用三维变分进行约束,对垂直水汽分布采用一维变分进行约束等,具体指标为:组网资料的空间分布率: $\leq 100\text{ m}$ (30 km 以内), $\leq 200\text{ m}$ (60 km 以内);资料融合更新时间: $\leq 10\text{ min}$;融合资料的水平分辨率: 100 m;融合资料的垂直分辨率: (0 ~ 3000 m 100 m); 3000 ~ 5000 m 200 m); 5000 ~ 10000 m 500 m; 10000 ~ 30000 m 1000 m。

4 江苏龙卷观测预警试验基地雷达网协同观测技术

4.1 雷达协同控制中心

试验雷达根据预设的模式进行自由扫描,预设的扫描模式以 60 km 和 90 km 体扫模式,用于监测雷达覆

盖区域范围内可能发生的潜在天气现象;各雷达完成扫描后,形成最新的观测数据;所有雷达的数据经收集后,进行组网拼图;运用气象分析算法,对这些观测数据进行分析计算,以确定目标区域及各自的权重系数;识别出的目标区域特征信息将统一送至控制中心,根据用户事先设定的策略,制定各部雷达下一步相应的扫描模式;控制中心指定的这些扫描模式,将发送至各部雷达,控制各部雷达进行适应性扫描。扫描完成后的数据再次进行目标区域识别,并制定新的扫描策略,控制各部雷达进行适应性扫描。通过控制中心可实现多部雷达在同一时刻对同一目标进行精细化扫描,快速获取灾害性天气系统的三维结构和矢量风场;可实现对龙卷等中小尺度强对流天气的完整捕捉,全方位扫描和跟踪预警。

4.2 协同自适应的扫描策略

雷达扫描模式分为多个模式。典型模式 1 为警戒(低仰角)+多仰角扇扫(高仰角)组合扫描模式。

最优的扫描策略在每个扫描周期开始时传送给雷达,扫描周期内根据区域内雷达的分布情况,自适应分配低仰角快速扫描雷达和多仰角精细化垂直结构扇扫雷达。根据观测的天气结构特征,分配雷达完成感兴趣区域的适应性扇形扫描,对一个或多个重要的气象目标进行探测。扇形扫描分为窄扇扫(扫描角度小于 90°)和宽扇扫(扫描角度大于 180°),包含 24 个仰角信息。使用扇扫时,由于时间限制,雷达在感兴趣区域内降低转速,在感兴趣区域外进入静默模式提高转速。扇扫的方位和宽度需覆盖由气象决策与控制系统所决定,扇扫包含的仰角个数随扇扫的宽度变化。典型模式 2 为警戒(低仰角)+多仰角扇扫(高仰角)+RHI 组合扫描模式。龙卷风精细化探测中,需要获取 RHI 扫描对龙卷风的结构进行研究。执行 RHI 扫描挑战之一在于如何确定雷暴的扫描方位,在气象决策与控制系统设定探测目标优先级最高处做 RHI 扫描。

5 结束语

建设龙卷观测预警试验基地雷达网,在江苏苏北平原地区组织针对龙卷等强对流灾害性天气过程开展协同观测,利用多部雷达自适应组网观测,融合地面观

测、风廓线雷达、气象卫星等资料为龙卷等强对流天气的监测、预报和预警提供技术手段。为更精确探测龙卷等中小尺度强对流天气系统,了解其内部结构,演变趋势,提升龙卷等强对流灾害性天气过程的预报和预警时效,促进龙卷观测、预报和预警的业务化发展。

参考文献:

- [1] 李兆慧,王东海,麦雪湖,等. 2015年10月4日佛山龙卷过程的观测分析[J]. 气象学报,2017(4):288-313.
- [2] 李彩玲,杨宇声,郑启康,等. 一次台风暴雨中的龙卷风天气[J]. 广东气象,2007(3):26-29.
- [3] 黄先香,炎利军,王硕甫,等. 佛山市龙卷风活动的特征及环流背景分析[J]. 广东气象,2014(3):20-24.
- [4] 俞小鼎,郑媛媛,廖玉芳,等. 一次伴随强烈龙卷的强降水超级单体风暴研究[J]. 大气科学,2008(3):508-522.
- [5] 姚叶青,俞小鼎,郝莹,等. 两次强龙卷过程的环境背景场和多普勒雷达资料的对比分析[J]. 热带气象学报,2007(5):483-490.
- [6] 朱江山,刘娟,边智,等. 一次龙卷生成中风暴单体合并和涡旋特征的雷达观测研究[J]. 气象,2015,41(2):182-191.
- [7] 王毅,郑媛媛,张晓美,等. 夏季安徽槽前形势下龙卷和非龙卷型强对流天气的环境条件对比研究[J]. 气象,2012,38(12):1473-1481.
- [8] 王宁,王婷婷,张硕,等. 东北冷涡背景下一次龙卷过程的观测分析[J]. 应用气象学报,2014(4):463-469.
- [9] 朱小燕,薛秋芳. 中尺度涡旋的雷达探测和分析[J]. 应用气象学报,2004(1):119-125.
- [10] 何彩芬,姚秀萍,胡春蕾,等. 一次台风前部龙卷的多普勒天气雷达分析[J]. 应用气象学报,2006(3):370-375.
- [11] 张晰莹,吴迎旭,张礼宝. 利用卫星、雷达资料分析龙卷发生的环境条件[J]. 气象,2013(6):728-737.
- [12] 赵亮. 龙卷过程中雷达合成切变产品的分析[J]. 成都信息工程大学学报,2017(3):269-275.
- [13] 范雯杰,俞小鼎. 中国龙卷的时空分布特征[J]. 气象,2015,41(7):793-805.
- [14] 冯佳玮,闵锦忠,庄潇然. 中国龙卷时空分布及其环境物理量特征[J]. 热带气象学报,2017(4):530-539.
- [15] 钱维宏,梁卓轩,金荣花,等. 扰动变量在强对流天气分析和模式评估中的应用——以苏北里下河地区引发龙卷的扰动系统为例[J]. 气象,2017,43(2):166-180.
- [16] 蒋义芳,吴海英,沈树勤,等. 0808号台风凤凰前部龙卷的环境场和雷达回波分析[J]. 气象,2009,35(4):68-75.
- [17] 曾明剑,吴海英,王晓峰,等. 梅雨期龙卷环境条件与典型龙卷对流风暴结构特征分析[J]. 气象,2016,42(3):280-293.
- [18] 郑媛媛,张备,王啸华,等. 台风龙卷的环境背景和雷达回波结构分析[J]. 气象,2015,41(8):942-952.
- [19] 曹治强,方宗义,方翔. 2007年7月皖苏北部龙卷风初步分析[J]. 气象,2008,34(7):15-19.
- [20] 刘娟,朱君鉴,魏德斌,等. 070703天长超级单体龙卷的多普勒雷达典型特征[J]. 气象,2008,35(10):32-39.
- [21] 俞小鼎,郑媛媛,张爱民,等. 安徽一次强烈龙卷的多普勒天气雷达分析[J]. 高原气象,2006(5):914-924.
- [22] 郑永光,朱文剑,姚聘,等. 风速等级标准与2016年6月23日阜宁龙卷强度估计[J]. 气象,2016,42(11):1289-1303.
- [23] 张小玲,杨波,朱文剑,等. 2016年6月23日江苏阜宁EF4级龙卷天气分析[J]. 气象,2016,42(11):1304-1314.
- [24] 顾瑜,孙即霖,楚合涛. 2016年6月江苏阜宁一次超强龙卷的特征分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2018(2).

Radon Network Construction of Tornado Observation and Early Warning Test base in Jiangsu Province

ZHOU Hong-gen¹, LI Zhao-chun², SUN Qiang³, ZHU Yi¹, LIU Jun⁴, GAO Zhen-xiang⁵

(1. Jiangsu Meteorological Observation Center, Nanjing 210009, China; 2. Hainan Meteorological Observation Center, Haikou 570100, China; 3. Yancheng Meteorological bureau, Yancheng 224600, China; 4. Taizhou Meteorological bureau, Taizhou 224600, China; 5. Suqian Meteorological bureau, Suqian 223800, China)

Abstract: The tornado has the characteristics of small spatial scale, short life history and great destructive power. The tornado is one of the most violent convective weather phenomena. At present, most meteorological detection equipment and detection systems are unable to effectively monitor and track the occurrence and extinction of tornadoes. China's tornado observation mainly relies on the new generation weather radar network. , the monitoring capability of small-scale weather systems is limited due to the large distance between the radar network and the fixed scanning mode. The northern Jiangsu Plain has special topography and climatic conditions, and it is one of the areas where the tornado occurred most in China. Construct a radar network in the Jiangsu area where the tornado is frequently developed, carry out the tornado observation and early warning test, detect the refined vertical structure in the formation of the tornado, study the formation process of the tornado, improve the prediction of the severe convective severe weather process, promote the operational development of tornado observation, forecasting and early warning.

Keywords: tornado observation; early warning test; radar network; dual polarization