

强天气综合报警追踪平台功能设计及龙卷预警中的应用

王啸华¹ 郑媛媛² 濮梅娟³ 宗培书¹ 禹梁玉¹

(1 江苏省气象台, 南京 210008; 2 江苏省气象科学研究所, 南京 210009; 3 江苏省气象局, 南京 210008)

摘要: 江苏省气象台通过建设强天气综合报警追踪平台 (Sever Weather Alert and Track Comprehensive platform, SWATCH), 将省市县三级气象台强对流预警的业务分工、业务流程、资料处理和预报技术进行了集成应用和软件化表达。通过SWATCH实现了多源资料显示应用、强对流天气客观识别和客观外推、省市县三级预警快速制作和实时联动、省市县三级业务行为记录分析等强天气综合报警追踪关键技术。同时, SWATCH整合处理当前短临业务中常用的PUP、SWAN等业务系统中风暴识别和外推相关的核心产品, 是结合江苏实际业务需求和业务场景的一次众创型省级业务平台试验。2015年开始SWATCH成为江苏省省市县三级气象台强对流预警主业务平台, 在2016年6月23日阜宁龙卷风等重大突发灾害天气的预警过程中发挥重要作用。

关键词: 强天气综合报警追踪, 强天气识别, 联动预警, 阜宁龙卷

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.03.005

Design of the Sever Weather Alert and Track Comprehensive Platform and Application in Tornado Warning

Wang Xiaohua¹, Zheng Yuanyuan², Pu Meijuan³, Zong Peishu¹, Yu Liangyu¹

(1 Jiangsu Provincial Observatory, Nanjing 210008 2 Jiangsu Institute of Meteorological Sciences, Nanjing 210009

3 Jiangsu Meteorological Bureau, Nanjing 210008)

Abstract: The Sever Weather Alert and Track Comprehensive platform (SWATCH) is constructed by integrating the assignments and processes of meteorological operations, and the data processing and forecasting technology of the strong convective early-warning among the observatories at three levels of the province, cities and counties in Jiangsu. The SWATCH is demonstrated by the vital technology of alerting and tracking severe weather, such as application and display of multi-source observation data, objectively identification and extrapolation of severe convective weather, rapid production and real-time linkage among three-level early-warnings in the province, cities, and counties. At the same time, SWATCH integrates the core products related to storm identification and extrapolation in PUP and SWAN which are commonly used in nowcasting. It is a breakthrough in the provincial-level operational platform that combines actual operational needs and operational scenarios in Jiangsu. Since 2015, SWATCH has become the main business platform for the strong convection weather warning at three-level meteorological stations in cities and counties in Jiangsu Province. And it has played an important role in operations on the early warning process of major sudden catastrophic weather, such as the Funing tornado on June 23 2016.

Keywords: sever weather alert and track comprehensive, identification of severe weather, linkage alerting, Funing tornado

0 引言

强对流预警是现代天气业务的一个重要方面, 2012年北京721特大暴雨、2015年湖北东方之星沉船

事件、2016年6月23日盐城阜宁EF4龙卷风等极端突发灾害天气带来重大的人员伤亡和社会财产损失。在强天气预警过程中, 预报员借助短临预报系统浏览分析最新观测资料, 提取强对流风暴信息, 制作发布强对流预警信息, 短临预报系统发挥着基础性的作用。国内应用较多的系统包括国家气象中心牵头研发的SWAN、广东省气象局的SWIFT、深圳市气象局的PONDS、上海市气象局NOCAWS、湖北省气象局的MYNOWS等短临预报系统。另外国家卫星气象中心

收稿日期: 2017年11月28日; 修回日期: 2018年3月8日

第一作者: 王啸华 (1981—), Email: njbocai@163.com

通信作者: 郑媛媛 (1963—), Email: zhengyy63@sina.com

资助信息: 华东区域气象科技协同创新基金合作项目

(QYHZ201605); 公益性行业科研专项

(GYHY201406004)

开发的SWAP、敏视雷达有限公司的PUP、中国气象科学院研发的雷电信息处理系统分别是应用卫星、雷达和雷电资料预警强对流的专业平台^[1-4]。另一方面，当前国、省、市、县四级预报员都监测预警强对流天气，强天气业务预警过程中各级预报员的职责和分工还没有完全清晰，各地的情况也有较大差别。江苏省气象局2011年承担了天气业务省市县三级分工试点工作，2016年承担了强对流天气预警业务试点工作，根据江苏强对流预警需求特点调整了业务分工和业务流程，建设强天气综合报警追踪平台（Sever Weather Alert and Track Comprehensive Platform, SWATCH）。平台应用WEBGIS技术，实现多源资料显示应用、强对流天气客观识别和客观外推、省市县三级预警快速制作和实时联动、省市县三级业务行为记录分析等功能。SWATCH在2016年6月23日阜宁龙卷风等重大突发灾害天气的预警过程中发挥重要作用。

1 平台主要功能模块和结构关系

SWATCH 平台由多源资料采集处理模块、强对流分类识别和临近外推模块、主客观预警产品库、省市县三级预警交互制作模块、主界面框架模块、行为记录模块等6个功能模块组成（图1）。该平台快速处理多源观测资料，提取强对流风暴信息；集成暴雨雨团、径向大风速度区、冰雹、龙卷等客观识别算法和SCIT^[5]（The Strom Cell Identification and Tracking）、TITAN^[6]（Thunderstrom Identification Tracking Analysis and Nowcasting）、TREC^[7]（Tracking Radar Echoes by Correlation）等客观外推算法，实现强对流天气的分类识别和临近外推；识别和外推结果结合地理信息自动生成客观预警信息，并进行报警。平台主界面基于网络版MICAPS技术框架^[8-9]，采用WEBGIS技术，面向江苏省市县三级气象台预报员，为各级预报员提供精细、及时的报警信息和便捷的主观分析工具，根据业务分工和流程，省市县级预报员可以参考客观报警信息进行灾害性天气预警快速制作。市县级预报员

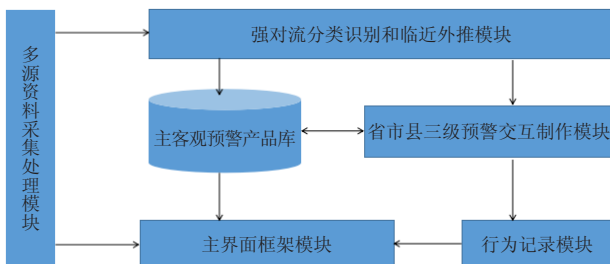


图1 SWATCH平台功能模块结构关系图
Fig. 1 Function module structure of the SWATCH

可确认、修改上级指导预警信息并通过平台向上级反馈，实现省市县三级预警快速制作、实时联动和省市县三级业务行为记录分析等功能。

2 多源资料采集处理

快速处理雷达、自动站、卫星、闪电定位仪、GPS、风廓线、探空等观测资料和SWAN系统产品、INCA^[10-11]（奥地利国家气象局发展的一种融合多种资料的综合分析临近预报：Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis）预报产品等。处理结果直接供用户通过主用户界面浏览，同时为强对流分类识别模块集成的算法提供基础数据（表1）。

表1 多源资料信息表
Table 1 The multi-source data

资料类型	资料属性	提取信息
雷达	江苏和周边15部雷达，6 min一次PUP产品	反射率、径向速度、风暴结构、风暴追踪产品、冰雹指数、中气旋、龙卷涡旋特征
自动站	江苏省内1882站5 min一次，周边省份5400站10 min一次数据	雨量、瞬时极大风、气压、露点、地面物理量
卫星	30 min一次风云卫星数据	红外、可见光、TBB数据
闪电	10 min一次全国闪电数据	闪电密度
探空	江苏和周边8个探空站数据	探空物理量
SWAN	6 min一次客观输出产品	冰雹识别产品、QPE、QPF、TREC风场、TITAN产品
INCA数值预报	逐10 min滚动未来2 h逐10 min降水预报	雨量

3 强对流分类识别和临近外推

强对流分类识别和临近外推模块本地化集成应用了SWAN系统和江苏省气象局强对流创新团队研制的分类强对流客观识别算法，判别短时强降水、雷雨大风、冰雹、龙卷等4类灾害天气（表2）。识别结果通过客观外推算法，结合地理信息，形成精细化的临近预警信息。识别和外推结果一方面进入主客观预警产品库，供用户通过主界面框架浏览应用，另一方面进入省市县三级预警交互制作模块，提醒值班预报员，同时为快速制作发布主观临近预警提供基础参考。

表2 强对流分类识别客观识别算法
Table 2 Objective identification methods for different severe weather

强对流类型	识别算法介绍
短时强降水	自动站1 h雨量 基于SWAN系统QPE产品的雨团
雷雨大风	自动站监测到的极大风、结合站点附近有闪电活动 雷达站周围50 km范围内雷达径向风大速区 中气旋中心20 km半径范围内的区域
冰雹	基于SWAN系统冰雹识别产品，结合探空及地面温度、变 压、散度、垂直风切变等本地指标消空
龙卷	基于中气旋和龙卷涡旋特征产品结合中气旋和龙卷涡旋特征 底高、持续时间及三维切变指标

3.1 分类强对流识别

短时强降水分为1 h降水量超过20、50和100 mm这3个等级。数据一是自动站10 min雨量资料，滑动计算过去1 h雨量；二是基于SWAN系统QPE产品的雨团识别。

冰雹识别基于2015年业务准入的SWAN冰雹识别产品^[12-13]，该产品较PUP系统冰雹指数产品在风暴单体的正确识别、消除超折射产生的冰雹虚警识别、冰雹大小的修正等方面有明显的改进，并提供了根据天气形势特征进行消空的接口。通过对江苏省2011—2015年逐日的识别结果进行回放检验，从冰雹概率、强冰雹概率、0℃层高度、-20℃层高度、 $T_{850}-T_{500}$ 、0℃层以下平均温度和冰雹大小等7个方面寻找建立本地化的春季（4—6月）和夏季（7—9月）消空指数组合，在不显著增加漏报率的情况下，获得最小的空报率。应用最优的消空指数组合，春季冰雹算法，命中率98.1%，漏报率1.85%，空报率74.79%，识别临界成果指数（CSI）由12.6%上升到24.98%；夏季冰雹算法，命中率93.1%，漏报率6.89%，空报率69.67%，识别临界成果指数（CSI）由10.39%上升到30.36%。

雷雨大风识别和预警一是基于自动站监测到的极大风、结合站点附近有闪电活动；二是雷达站周围50 km范围内，经过速度退模糊后 >20 m/s的雷达径向大风速区；三是识别雷达阵风锋，在阵风锋前10 km范围内已经或即将出现雷雨大风；四是基于近10年江苏雷雨大风天气中中气旋的底高、顶高、最大切变高度、直径、最大风切变等特征量获取雷雨大风识别阈值（表3）。识别达到阈值的中气旋，中气旋20 km半径范围内的区域，为雷雨大风区。

表3 2007—2016年雷雨大风和龙卷特征量统计阈值
Table 3 Feature threshold values of thunderstorm winds and tornadoes for 2007—2016

类别	底高/km	顶高/km	最大切变高度/km	直径/km	最大风切变/(m/s)/km
雷雨大风	2.5	5.2	3.5	5.0	17.7
龙卷	1.3	3.9	2.1	4.6	23.8

龙卷识别主要是针对西风带系统的超级单体龙卷。统计2007—2016年江苏龙卷天气中气旋的底高、顶高、最大切变高度、直径、最大风切变等特征量获取龙卷识别阈值。基于中气旋和龙卷涡旋特征产品阈值结合江苏龙卷时空分布特征统计规律，客观识别龙卷^[14-16]。

3.2 临近外推

临近外推模块集成了PUP产品的SCIT，SWAN系

统TITAN和本地化交叉相关TREC等客观外推算法。这3种外推方法分别针对风暴质心点、落区和场进行外推，针对识别的不同类型强对流天气选用合适的外推算法（表4），外推结果结合地理信息，形成精细化的客观临近预警信息。

表4 分类强对流外推算法

Table 4 Extrapolation algorithms for different severe weather

外推方法	外推类型	外推产品
SCIT	质心点	由关联风暴识别的冰雹、龙卷和部分雷雨大风应用风暴追踪信息SCIT进行外推； 由自动站识别到的大风、强降水关联到观测站点周边10 km范围内最近的风暴外推；
TITAN	落区	QPE强降水落区； 雷达径向速度大值区； 雷达阵风锋识别； 中气旋中心20 km半径范围内的区域；
TREC	场	由自动站识别到的大风、强降水关联到观测站点周边10 km范围内无识别风暴

4 主用户界面框架

4.1 主地图显示窗口

主地图显示窗口为用户提供主客观临近预警产品库中的各类临近预警信息的报警提醒，和多源资料的查看浏览。报警类型包括了雨强20、50和100 mm这3个等级的1 h降水；14、17和20 m/s 3个等级的阵风；100和50 m等级的低能见度；10 min内每平方千米闪电次数达到4次的强雷电；客观算法识别的冰雹、龙卷、雷达观测到的风暴、中气旋和45 dBz以上的强回波等14类报警图标，在主地图显示窗口显示红色图标表示当前时刻之前0.5 h内的报警信息，蓝色图标表示当前时刻之前0.5~3 h的报警信息。图层控制面板控制包括各类识别的强降水、自动站大风、闪电、强回波、中气旋、雷达径向大风速区、冰雹、龙卷、SCIT、TITAN风暴外推路径和主观、客观预警等信息的自动显示和报警（图2）。

4.2 风暴属性综合关联表

风暴属性关联表（图3），显示最近10 min内江苏及周边省（市）15部多普勒雷达PUP系统观测到的风暴属性及风暴当前位置雷达回波特征和地面物理量。包括：时间、雷达站、当前位置、风暴编号、中气旋识别、中气旋生命历史、中气旋顶高、中气旋底高、中气旋三维切变值；龙卷识别、龙卷涡旋特征、龙卷涡旋特征顶高、龙卷涡旋特征底高、龙卷涡旋特征三维切变值；冰雹识别、冰雹尺寸、冰雹概率、移向、移速、垂直积分液态水含量（VIL）、垂直积分液态水含量密度（VIL/h）、风暴所在处附近最大反射率、回波顶高、回波底高、风暴所在位置地面散度、1 h变压等26个字段属性。

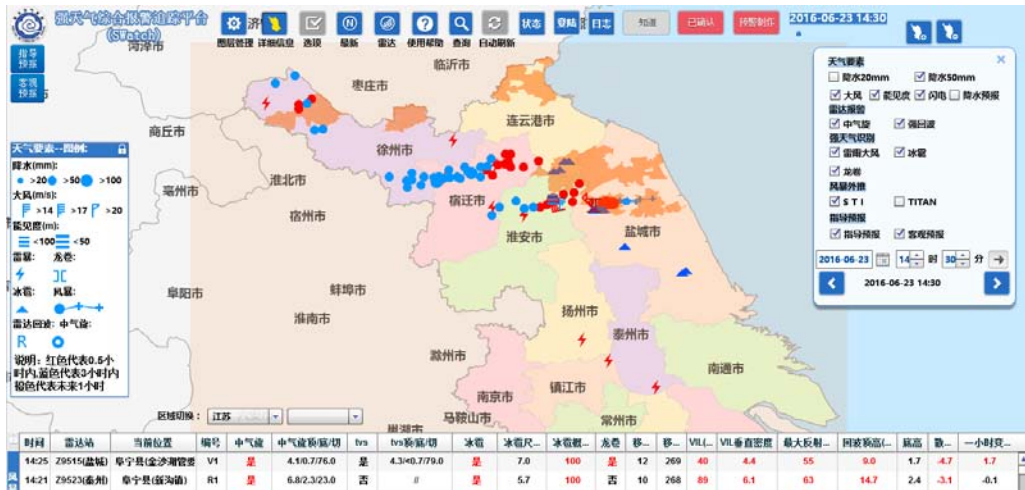


图2 SWATCH平台主界面
Fig. 2 Main interface of the SWATCH

时间	雷达站	当前位置	编号	中气旋	中气旋垂直底切	tvb	tvb垂直底切	冰雹	冰雹尺...	冰雹数...	龙卷	移...	移...	VIL...	VIL垂直密度	最大反射...	回波顶高...	底高	量...	一小时变...
14:25	Z9515(盐城)	阜宁县(金沙湖管委)	V1	是	4.1/0.77/6.0	是	4.3/0.77/9.0	是	7.0	100	是	12	269	40	4.4	55	9.0	1.7	-3.9	-0.6
14:21	Z9523(泰州)	阜宁县(新沟镇)	A1	是	6.8/2.3/23.0	否	//	是	5.7	100	否	10	268	89	6.1	63	14.7	2.4	-2.3	1.7
14:27	Z9517(淮安)	阜宁县(金沙湖管委)	A7	是	6.8/1.4/36.0	否	//	是	3.8	100	否	13	267	69	5.8	60	11.8	1.5	2.0	-1.0
14:27	Z9523(泰州)	阜宁县(新沟镇)	R1	是	6.6/2.7/22.0	否	//	是	4.4	100	否	17	268	75	5.3	67	14.7	2.4	-2.0	-0.3

图3 风暴属性综合关联表
Fig. 3 Comprehensive association of storm properties

在风暴属性表中被识别为龙卷的风暴会显示在风暴表最上面，接着是被识别为冰雹、之后是具有中气旋或龙卷涡旋特征（TVS）的风暴，其他风暴按照垂直积分液态含量（VIL）从大到小的排序显示。排名前5位的风暴的过去位置和未来预测路径在主用户界面窗口显示。点击任意一行风暴，会在主用户界面以透明绿色高亮显示其所在位置和未来1 h移动路径，主地图窗口会弹出对话框显示该风暴未来1 h内即将影响

的所有乡镇名（图4）。

通过风暴属性表可快速识别出龙卷、冰雹和与中气旋相关的雷雨大风，了解风暴降水效率和未来移动路径，同时应用地面加密自动站计算的散度和变压为预测风暴强度演变提供了参考。结合地理信息快速定位风暴的当前所在和未来可能影响区域，为生成客观强对流预警产品创造了条件。风暴属性表为用户直观、定量、综合掌握风暴的特征提供了关键参考，在

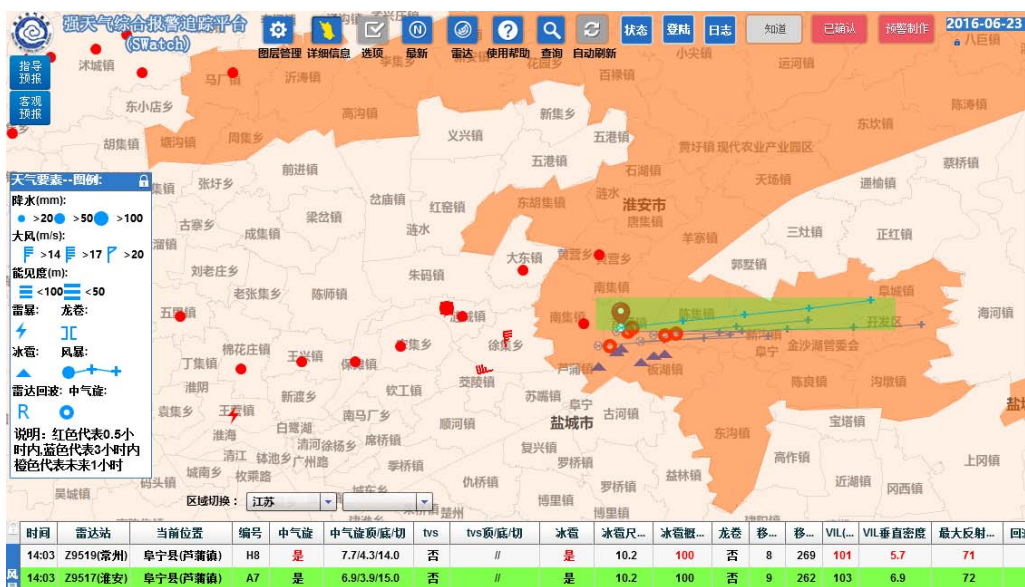


图4 风暴定位和未来移动预测
Fig. 4 Forecast of storm location and movement

实践中受到预报员的广泛欢迎。

5 省市县三级预警交互制作

5.1 江苏省市县三级短临预警业务流程

基于PWARFS每日08:00、20:00(北京时)输出0~12 h强对流潜势预报产品,省气象台在参考国家级及省级强对流潜势预报产品的基础上,应用最新的观测资料在一体化预报业务平台上制作发布指导产品。①中尺度分析产品每日09:00、12:00、15:00、21:00(北京时)发布4次,主要应用前一时次的探空及地面和卫星等实况资料以及11:00的PWAFS再分析资料;②短临预报精细化格点产品全天10 min滚动发布,时空分辨率分别为10 min和1 km,时效为0~2 h的预报场。市、县气象台基于指导产品开展服务。③当已经出现或预计2 h内将出现强对流灾害性天气时,实时基于SWATCH平台发布强对流预警落区和预警内容,发布面向省政府、相关部门和重要行业的预警信息;市气象台在3 min内确认或6 min内订正省台预警落区和预警内容,县气象台根据实际需求及时订正;市、县气象台通过发布预警信号等方式开展对外服务(图5,图中时间为北京时)。

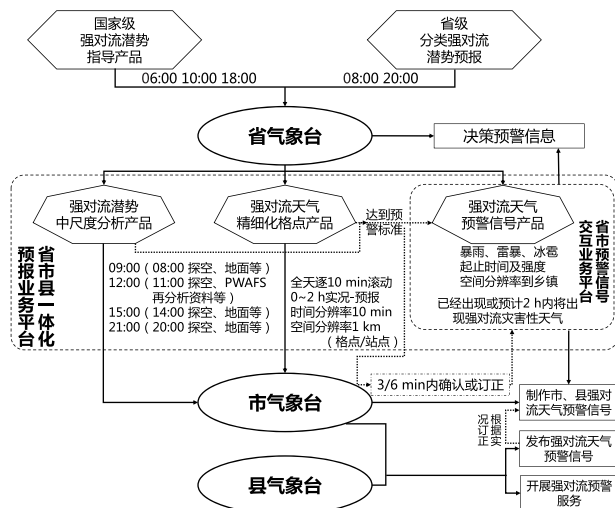


图5 省市县短临预警业务流程图

Fig. 5 The operation flow chart of the nowcasting at provincial, city and county observatories

5.2 临近预警制作

SWATCH平台作为江苏省市县一体化平台的重要组成部分,为省市县一体化的临近预警制作发布提供支撑。值班预报员收到报警提醒后,点击主地图窗口上预警制作按钮,进入预警制作界面(图6)。预警制作界面提供包括降水实况、降水预报、大风实况、大风预报、闪电分布、雷达拼图、地面物理量等信息的图层叠加控制。点击预警制作后,弹出浮动落区绘

制工具栏。落区绘制完成后自动弹出预报内容对话框,提供预报时效选择,以及强降水、雷电、雷雨大风、冰雹、龙卷等五类强对流天气不同强度等级的选项,根据绘制落区结合地理信息自动生成强对流主观预警文本(省级用户精确到区(县)、市级用户精细到乡(镇))。选择发布落区后,预报落区和预警文本在SWATCH主地图窗口显示并报警,生成图文结合的PDF预警文档在江苏预报业务一体化平台共享,同时录入预警数据库供其他专业服务平台调用。

5.3 主客观预警信息检索查询

点击指导预报可查询省市气象台制作发布的预警内容,在主地图显示窗口显示对应的蓝色半透明主观预报落区。点击客观预报,显示当前时刻基于地理信息结合风暴识别及外推结果生成的客观预警信息(图7,主地图上橙色区域,图中时间为北京时)。

6 用户行为和工作状态记录管理

SWATCH平台具备监控记录省、市级值班预报员的操作行为和工作状态功能。用户行为包括登录、报警区域设置、客观报警确认、主观联动预警信息确认、主观预警信息发布等。工作状态分为在线、离线、预警待确认、预警已确认等状态。登录用户可设置报警区域,过滤非关注区域的主客观报警。报警信息在确认后半小时内同类预警信息不再声音提示。平台支持监控记录实时显示和历史记录查询(图8),提高了省市联动效率,为优化强对流预警业务流程提供分析依据。

7 2016年6月23日阜宁EF4级龙卷过程应用

2016年6月23日14:19—15:30(北京时),盐城市阜宁县和射阳县发生了历史罕见的龙卷、雷暴大风、冰雹及短时强降水等极端天气,99人遇难,800余人受伤,损毁房屋8893户(30104间),经中国气象局江苏省阜宁县天气灾情实地调查专家组赴阜宁实地调查认定,龙卷强度最强为EF4级,最大风力超过17级。江苏省市县三级气象台依托SWATCH平台的强对流识别和外推功能,密切监测天气变化,实现了对雷雨大风、短时强降水、冰雹等强对流天气的提前预警和龙卷的第一时间客观识别;借助于其提供的省市县三级预警交互制作功能实现了省市县一体化的快速联动预警,提升了预警制作发布效率(图9,图中时间为北京时)。

7.1 龙卷客观识别和外推

14:00,在涟水的徐集镇和菱陵镇出现了相距很近风向相切的两个分别达到15.2和16.6 m/s的7级以上

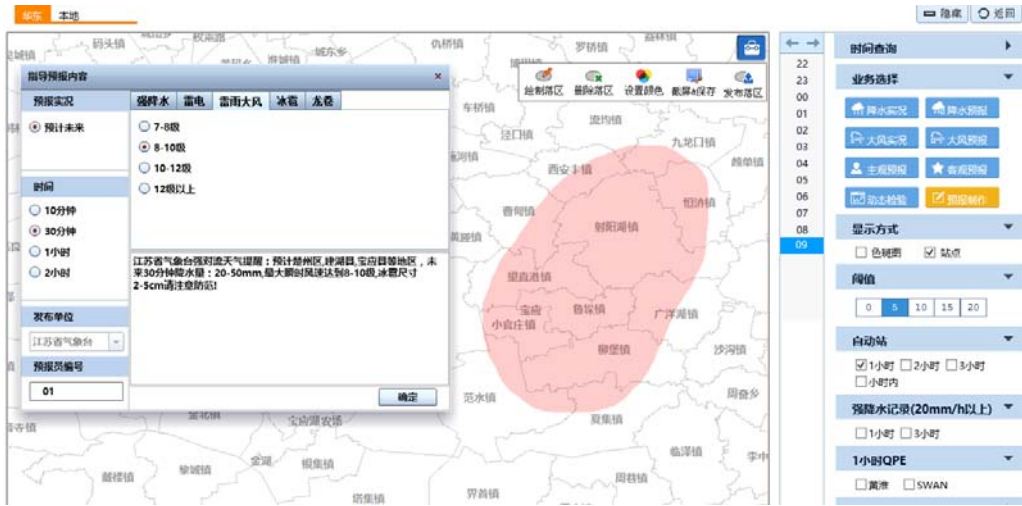


图6 预警制作
Fig. 6 Alert production

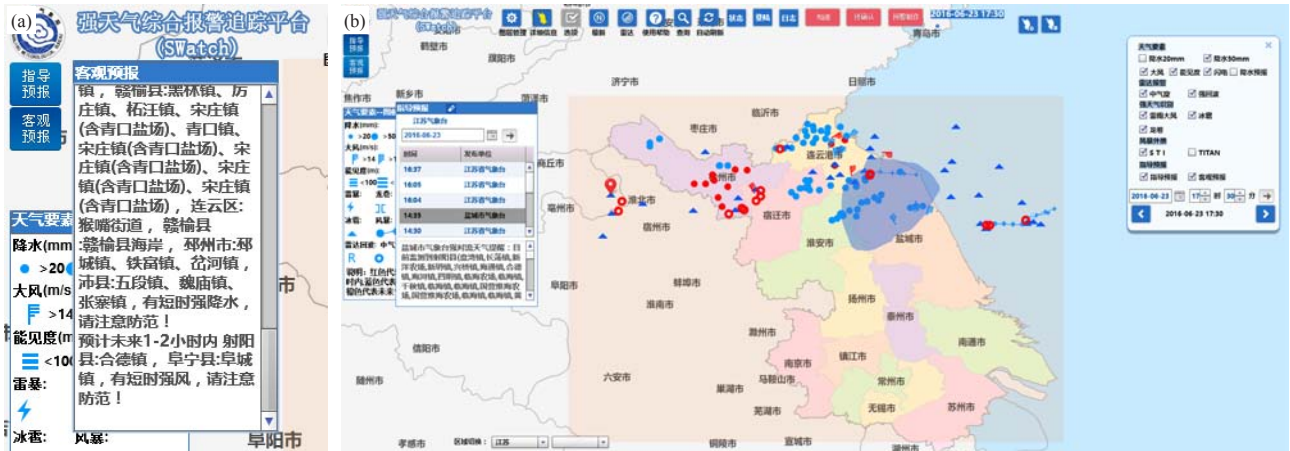


图7 SWATCH平台预警信息显示客观预报 (a) 和指导预报 (b)
Fig. 7 Information displayed in the SWATCH: (a) objective forecast, (b) subjective forecast

单位	时间	详情
宿迁市气象台	2016-06-23 15:03:39	登陆
宿迁市气象台	2016-06-23 15:03:26	市台确认
滨海县气象台	2016-06-23 14:43:30	登陆
盐城市气象台	2016-06-23 14:34:00	登陆
盐城市气象台	2016-06-23 14:32:07	市台确认
江苏省气象台	2016-06-23 14:32:07	省台确认
盐城市气象台	2016-06-23 14:32:07	已知
江苏省气象台	2016-06-23 14:32:07	省台确认
镇江市气象台	2016-06-23 13:57:19	登陆
宿迁市气象台	2016-06-23 13:37:02	登陆
赣榆县气象台	2016-06-23 13:23:05	市台确认
赣榆县气象台	2016-06-23 13:18:35	登陆
宿迁市气象台	2016-06-23 13:13:27	登陆
宿迁市气象台	2016-06-23 13:13:17	市台确认

图8 行为记录查询
Fig. 8 Inquiries of behavioral records



图9 2016年6月23日盐城中北部龙卷预警发布情况
Fig. 9 The warning issue of Yancheng tornado on 23 June 2016

大风站。据此发现有小尺度地面辐合系统过境，中气旋有及地可能，且在南集镇附近识别出多个中气旋和冰雹（图10a）。

14:26在阜宁的板湖镇和陈集镇识别出底高

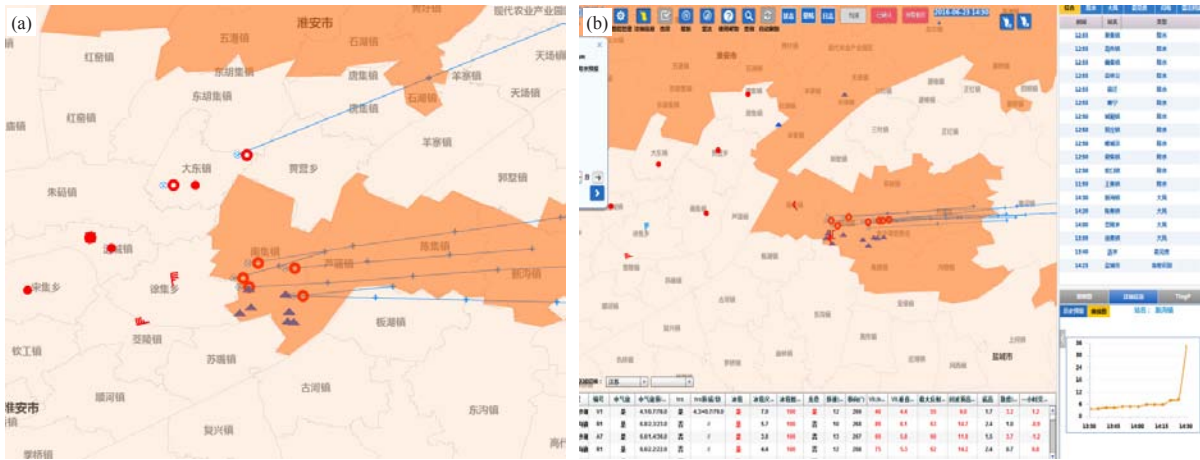


图10 SWATCH平台主用户界面：2016年6月23日14: 00 (北京时, a) 和14: 30 (北京时, b)
 Fig. 10 The main user interface of the SWATCH platform at 14:00 BT (a) and at 14:30 BT (b) on 23 June 2016

0.7 km, 风切变达 $79 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 的中气旋, 同时系统客观识别出龙卷。在识别龙卷位置北侧5 km陈集镇自动站监测到34.6 m/s大风。根据风暴路径外推可见射阳的合德镇、阜宁的海河镇、开发区、金湖管委会、新沟镇这条东西向的风暴路径上将受到影响 (图10b)。

14: 27, 省台电话指导盐城市局, 指出包括阜宁等地实况风很大且有旋转, 要求指导阜宁将雷电黄色预警信号变更为雷电橙色预警信号, 并且内容要包括龙卷。

7.2 省市县临近预警交互联动

14: 30, 省台利用SWATCH平台发布强对流天气预警提醒: “预计未来2 h灌云县, 响水县, 灌南县,

滨海县, 射阳县, 涟水县, 阜宁县, 楚州区, 建湖县, 降水量: 50~70 mm, 雷电强度: 强, 冰雹尺寸2~5 cm, 最大瞬时风速达到20 m/s, 龙卷强度: 等级达到F2龙卷, 请注意防范。(图11)”

14: 35, 盐城市气象台在省台临近预警的基础上进行了修改发布, “阜宁县(罗桥镇, 益林镇, 古河镇, 东沟镇, 陈良镇, 板湖镇, 沟墩镇, 金沙湖管委会, 阜宁县开发区, 阜宁县开发区, 新沟镇, 陈集镇, 芦蒲镇, 阜城镇, 阜城镇, 郭墅镇, 三灶镇, 羊寨镇) 预计未来2 h降水量: 50~70 mm, 雷电强度: 强, 最大瞬时风速达到24 m/s, 冰雹尺寸2~5 mm以下, 龙卷强度: 等级达到F2龙卷, 请注意防范!(图12)”

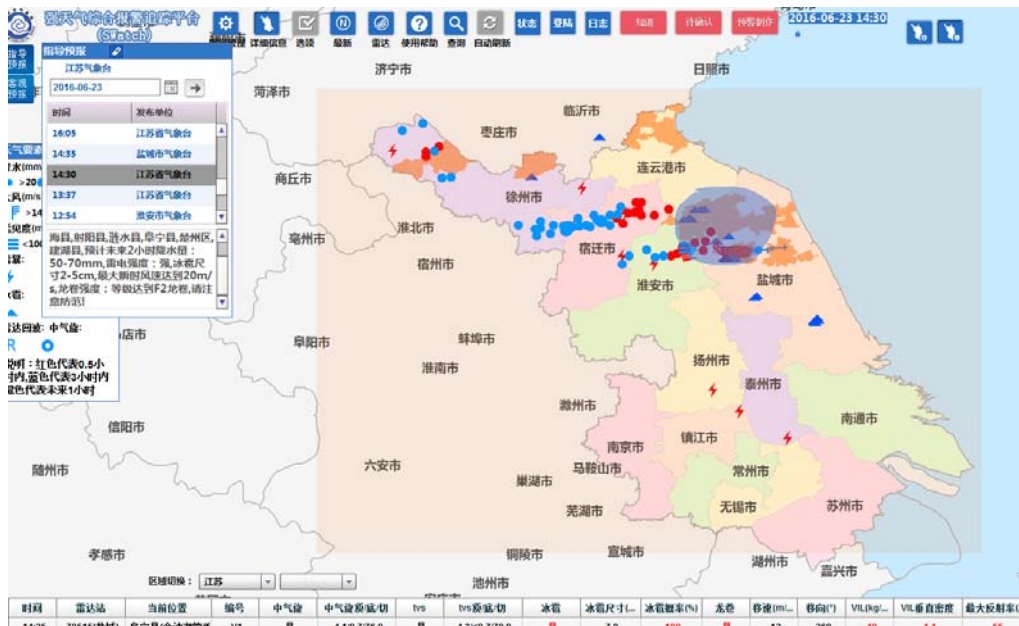


图11 2016年6月23日14: 30 (北京时) SWATCH平台主用户界面
 Fig. 11 The main user interface of the SWATCH platform at 14:30 BT on 23 June 2016

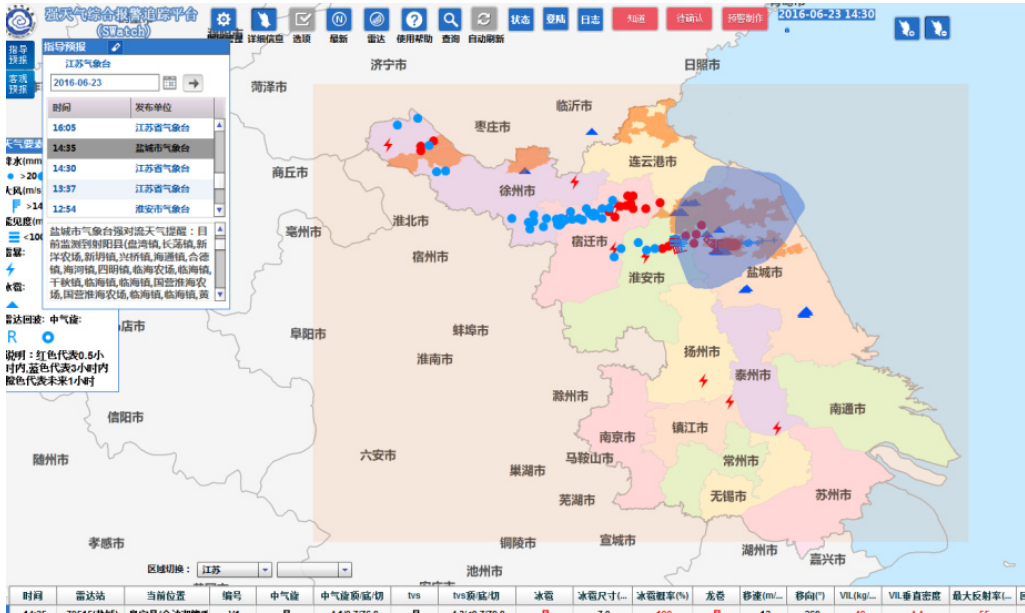


图12 2016年6月23日14:35 (北京时) SWATCH平台主用户界面
Fig. 12 The main user interface of the SWATCH platform at 14:35 BT on 23 June 2016

14:39, 阜宁县气象台变更雷暴橙色预警信号:

“我县已经出现强雷电并可能伴有10级以上阵风，大部分地区将出现短时强降水、龙卷、冰雹等强对流天气，请注意防范。”

7.3 省市县预警服务情况介绍

1) 对公众发布何种预警信号

由于龙卷的尺度小，预报预警难度大，目前江苏的预警信号体系里没有龙卷预警信号。

与强对流有关的主要时冰雹预警信号和雷暴预警信号。雷暴预警信号指发生雷电并伴有短时强降水或雷雨大风的强对流天气。“6·23”龙卷过程省市县对外服务用的是雷暴橙色预警信号，同时在预警信号内容里明确发生龙卷可能。

2) 省市县三级气象台的分工

为避免对外预警信号不一致情况，江苏省市县一体化强对流预警业务规定省气象台不对公众发布冰雹和雷暴预警信号，但是要通过SWATCH平台指导市县气象局具体强对流的落区和强度。“6·23”龙卷过程中省气象台在监测到龙卷特征后第一时间通过SWATCH平台和电话对市县进行了指导，同时在龙卷发生前通过江苏气象微博对公众开展了雷雨大风、短时强降水的服务。市县气象台根据省台指导立即升级发布包括龙卷信息的预警信号，通过短信、微博、微信、网站、电视、广播向公众传播，同时通过政务平台、微信群等多种渠道向市县领导和政府部门进行了情况报告。

3) 预警信号发布时效

中国气象局“6·23”灾情调查小组根据资料分析和灾情调查确定龙卷发生开始于14:19，即中气旋底高第一次下降到1 km以下的时候，由于雷达中气旋产品是在体扫完成后才生成，因此在14:25预报员才能获得中气旋的底高信息，SWATCH平台14:26分发出龙卷识别警报，省气象台14:27立即致电盐城气象台，盐城气象台再致电阜宁气象台，阜宁气象台根据指导14:39升级预警信号。在此过程中有12 min的延迟，主要是3个方面的时间，首先是龙卷属于高影响、小概率天气，盐城气象台内部需要简单研判再致电阜宁气象台；第二是橙色和红色预警属于重大预警信号，县局当班预报员无法立即决断，需要请示局领导；三是预警的制作发布操作。

4) 服务效果

从6月23日12:37省台发布暴雨黄色预警信号开始，省市县三级气象台过手机短信、网站、微博、微信、广播、电视、政务平台等多种渠道实时、滚动地开展强对流预警服务，龙卷发生后及时升级发布预警信号。服务效果主要体现在以下3个方面：第一，提前2 h让公众了解到本地即将出现雷雨大风、短时强降水等强对流天气，提醒群众尽量减少外出等户外活动；第二，发生龙卷后及时发布预警为下游地区群众躲避龙卷风赢得时间；第三，及时向政府报告相关情况，为政府第一时间部署防灾、减灾和救援提供了宝贵时间。但是由于这次龙卷是一次强度为EF4级的超

强龙卷过程,被龙卷袭击的阜宁村庄大多是建筑质量较差的砖混结构房屋,村庄多为留守老人和儿童获取预警信息的能力相对较低,对龙卷风躲避知识匮乏等原因,虽然政府部门积极防御救助,还是造成了巨大的人民生命财产损失。

7.4 6月23日龙卷预警服务思考

回顾“6·23”龙卷过程,气象部门在监测预警能力和预警传播能力两个方面有较大提升空间。监测预警能力方面:龙卷监测预警技术一直是世界性的难题,需要通过建设相控阵雷达和双偏振雷达网来识别龙卷风暴尺度结构加强监测能力,对现有龙卷个例进行整编和分析研究,建立本地化的预警指标,同时需要建立扁平化的省直接到县的指导互动业务流程,给予省气象台在重大灾害天气时决断的权限。预警传播方面:与社会防灾、救援机构合作,引入专业传播手段,开展预警传播。业务系统增加一键制作和发布功能,尤其是直接对接乡村大喇叭,解决预警信息向村民传播难的问题。同时江苏省气象局计划在龙卷易发的扬州、淮安、盐城等地开展为村民发放龙卷预警收音机的试验工作。

8 结论

1) SWATCH 平台由多源资料采集处理模块、强对流分类识别和临近外推模块、主客观预警产品库、省市县三级预警交互制作模块、主界面框架模块、行为记录模块等6个功能模块组成。

2) 平台快速处理多源观测资料,提取强对流风暴信息;集成了暴雨雨团、径向大风速区、冰雹、龙卷等客观识别算法和SCIT、TITAN、TREC等客观外推算法,实现强对流天气的分类识别和临近外推。

3) 通过风暴属性综合关联表可快速识别出龙卷、冰雹和与中气旋相关的雷雨大风,了解风暴降水效率和未来移动路径。风暴属性综合关联表为用户直观、定量、综合掌握风暴的特征提供了关键参考,在

预报实践中受到预报员的广泛欢迎。

4) 平台融入江苏省市县三级一体化强对流预警业务流程,为各级预报员提供精细、及时的报警信息和便捷的主观分析工具,实现省市县三级预警快速制作、实时联动和省市县三级业务行为记录分析等功能。

5) 气象部门在监测预警能力和预警传播能力两个方面有较大提升空间,可以通过在监测手段、预警技术、业务流程、业务系统、预警发布等方面的改进,提升对龙卷等极端灾害天气的预警服务能力。

参考文献

- [1] 郑永光,林隐静,朱文剑,等.对流天气综合监测业务系统建设.气象,2013,39(2):234-240.
- [2] 史柯.基于SWAN的山洪预警平台的研究与实现.成都:成都理工大学,2013.
- [3] 唐凯,李兴权.SWAN在黑龙江省短时临近预报中应用及产品检验.黑龙江气象,2012,29(2):17-18.
- [4] 王红燕,周丹丹,王叶红.SWAN产品在“2012·7”沙澧河流域特大暴雨过程中的应用.暴雨灾害,2015,34(3):239-248.
- [5] 王改利,刘黎平,阮征,等.基于雷达回波拼图资料的风暴识别、跟踪及临近预报技术.高原气象,2010,29(6):1546-1555.
- [6] 周毓荃,潘留杰,张亚萍,等.TITAN系统的移植开发及个例应用.大气科学学报,2009,(6):752-764.
- [7] 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.气象,2010,36(1):31-40.
- [8] 胡争光,郑卫江,高嵩,等.气象GIS网络平台关键技术研究与应用.应用气象学报,2014,25(3):365-374.
- [9] 刘洲荣.基于MICAPS的二次开发平台建设.气象研究与应用,2016,37(S1):126.
- [10] 颜琼丹,苏洵,韦庆华,等.一种基于多种资料融合技术的短时临近预报方法.气象研究与应用,2010,31(4):49-52.
- [11] 程丛兰,陈明轩,王建捷,等.基于雷达外推临近预报和中尺度数值预报融合技术的短时定量降水预报试验.气象学报,2013,71(3):397-415.
- [12] 吴林林,刘黎平,郑媛媛,等.基于SWAN的冰雹探测算法研究.高原气象,2014,33(3):823-831.
- [13] 马洪波,陈长胜,牛立强,等.基于SWAN系统的新冰雹指数应用及检验.气象灾害防御,2016,23(2):20-25.
- [14] 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.气象,2015,41(8):942-952.
- [15] 曾明剑,王桂臣,吴海英,等.基于中尺度数值模式的分类强对流天气预报方法研究.气象学报,2015,73(5):868-882.
- [16] 曾明剑,张备,吴海英,等.基于接近度概念的强对流天气预报方法研究.高原气象,2015,34(5):1357-1368.