

杨波,郑永光,蓝渝,等,2017. 国家级强对流天气综合业务支撑体系建设[J]. 气象,43(7):845-855.

国家级强对流天气综合业务支撑体系建设^{*}

杨 波 郑永光 蓝 渝 周康辉 刘鑫华 毛 旭

国家气象中心,北京 100081

提 要: 国家级强对流天气预报业务正在从以短期预报为主调整到短期和短时预报并重的业务格局。文章从强对流天气预报技术发展与服务需求的角度,重点介绍了国家级强对流天气综合业务支撑平台及其核心技术。该平台以气象数据组织和图形化表达两个核心要求为牵引,发展了数据分析处理系统、自动气象绘图系统和 WEB 检索与显示系统。数据分析处理系统基于多源观测资料、中尺度数值预报和全球数值预报,发展了集约、高效的强对流天气监测和临近预报、短时预报和短期预报等数据分析处理技术,是整个平台的核心;主要核心技术包括:从不稳定与能量、水汽、抬升与垂直风切变等条件出发,以归纳总结的分类强对流天气概念模型为基础的分类强对流短期预报分析技术;应用“配料法”发展的分类分等级的强对流天气客观概率预报技术;强对流短时预报技术包括高分辨率数值预报释用、多模式预报集成、对流尺度分析、实况和模式探空分析等多项技术,重点实现了从过去 3 h 实况到未来 12 h 预报的无缝隙衔接;强对流的监测和临近预报技术在基于多源资料的强对流天气实况与强对流系统监测技术基础上,发展了基于雷达特征量、强对流实况、各类强对流指数和预警信号等多源信息的报警技术。自动气象绘图系统实现了高效、便捷地接入多种数据、自动进行数据分析和制图等多项功能。在预报服务方面,基于 WebGIS 发展了县级分类强对流预警信号和国家级分类强对流预警预报产品共享技术,实现强对流短时预报业务的高交互性与上下互通的功能。

关键词: 强对流, 短期预报, 短时预报, 临近预报, 监测技术, 支撑平台

中图分类号: P451

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.07.008

Development and Construction of the Supporting Platform for National Severe Convective Weather Forecasting and Service

YANG Bo ZHENG Yongguang LAN Yu ZHOU Kanghui LIU Xinhua MAO Xu

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The focus of national severe weather forecasting is transforming from short-range forecast to the pattern of the coexistence of short-range forecasts and short-time forecasts. For the requirements of severe weather forecast techniques and service, this paper presents the development of national severe weather integrated platform. Based on the core requirements of meteorological data organization and plotting, the development of data analysis system, meteorological auto-plot system and WEB search and display system are developed. The data analysis system, as the core of the whole platform, integrates various data, including multi-source monitoring data and mesoscale NWP model forecast and global NWP model forecast, and develops the data-processing technology for severe weather monitoring and nowcasting, short-range forecast and short-time forecast. The key technology includes: starting from considering the unstable energy, water vapor, uplift, and vertical wind shear, the classified short-range analysis and prediction technology summarizes conceptual models for different types of severe weather. The severe weather tendency forecast

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB430106)、国家自然科学基金项目(41375051)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406002)共同资助

2016 年 10 月 31 日收稿; 2017 年 5 月 16 日收修定稿

第一作者:杨波,主要从事强对流天气预报和技术研究. Email:yangbo7625@163.com

part guided by the severe weather condition analysis, generates a classified severe weather forecasting model and products. The short-term forecast test part integrates the applications of mososcale NWP, ensemble prediction, meso-analyses and sounding analysis, and highlightes the seamless link between the observation in the past 3 h and the prediction of the future 12 h. Based on the existing convective system monitoring technologies, the auto-alarm products of radar features, severe weather events, convective indices and alarm signals are developed to improve the convective weather monitoring and nowcasting technology. Meteorological auto-plot system includes the functions of data analysis, automatically plotting, etc. In the term of service, the WebGis tech is applied to share the national products to the county-level weather stations and vice versa.

Key words: severe convective weather, short-range forecast, short-time forecast, nowcasting, monitoring technology, supporting platform

引 言

强对流天气是指由对流系统产生的、发生突然、移动迅速、天气剧烈、破坏力强的灾害性天气,在我国的天气预报业务中主要包括伴随有雷暴的对流性大风、冰雹、短时强降水、龙卷等天气现象。强对流天气由中小尺度对流系统产生,中小尺度对流系统具有发展演变快(生命期仅有几分钟至几个小时)、空间尺度小(几十米至几百千米)等特点。因而,对强对流天气的监测和预警预报在天气预报业务中一直是一个难点。

美国的强对流监测和预报业务较为系统和完善。美国风暴预报中心是目前负责全国强对流天气监测和预报业务的专业中心,成立于 20 世纪 50 年代初,经过半个多世纪的发展,已经形成了时间尺度从几十分钟到 8 天的比较系统的强对流业务产品(主要包括直径 25 mm 及以上的冰雹、 $26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 及以上的雷暴大风或任何级别的龙卷),2000 年以后,其业务产品逐渐由原来的确定性预报向概率预报转化。目前,产品主要包括对流展望、中尺度讨论和强对流天气警戒等(周庆亮,2010;Ostby,1992)。其他国家的强对流天气监测预报业务虽然也作为众多业务预报中的重要内容之一,然而较少具有相对完整独立的强对流监测预报业务体系。

国家气象中心从 2009 年起,以强对流天气分析规范为核心指导思想(张涛等,2013;蓝渝等,2013;张小玲等,2010b),以“配料法”为主要技术方法(Doswell et al, 1996; 张小玲等, 2010a; 俞小鼎, 2011; Tian et al, 2015)建立了一套分类强对流短期主客观预报体系。郑永光等(2009;2010;2013)则利

用雷达、卫星、闪电、自动站、WS 报等多源观测资料,形成了一套包括强对流天气和中尺度对流系统时空分布的国家级强对流监测产品体系。郑永光等(2011)基于常规地面、高空观测资料建立了一套天气实况客观分析诊断技术和产品。在强对流预报检验方面,田付友等(2015)和唐文苑等(2017)采用点对面的检验方法初步建立了一套符合对极端事件评估的分类强对流天气预报检验办法。以上工作的开展初步构建了我国国家级强对流监测、分析和预报的基础技术框架。

近几年来,气象观测体系取得较大进展:分钟级的自动站观测数据业务应用已成常态;HIMAWARI-8 静止卫星光谱分辨率达 16 个通道,时间分辨率到 10 min,最高水平分辨率到 0.5 km(张鹏等,2016);观测能力超过 HIMAWARI-8 的我国新一代静止气象试验卫星 FY-4 号已于 2016 年底成功发射;新一代天气雷达、闪电等观测数据的应用也进一步深入(周康辉等,2016)。另一方面,数值预报模式也取得了巨大进步:全球数值预报模式的分辨率不断提高;数值集合预报产品极大丰富;特别是区域数值预报模式发展迅速,对中尺度天气系统预报能力明显提升。由于突发性强对流天气易于造成大量人员伤亡,如 2015 年 6 月 1 日湖北监利强下击暴流、2016 年 6 月 23 日江苏盐城 EF4 级强龙卷均引发了社会高度关注,因此对强对流天气的监测和短时临近的预报预警服务需求迫切。国家气象中心以强对流短期预报为主的业务体系已不能完全满足社会的需求,构建新的业务体系已迫在眉睫。这要求一方面要大力发展强对流监测、分析和预报的技术能力,特别是短时和临近预报的技术能力;另一方面要大力提升强对流预报的服务能力。而要实现两个能力

的整合,需要有强大的载体——业务平台的支持,因而建设综合、高效的强对流监测、分析和预报业务支撑平台尤为迫切和重要。

本文从强对流天气预报技术发展与服务需求的角度,围绕国家级强对流天气综合业务支撑平台的建设,介绍了平台建设所必需的数据分析与图形化表达等重要支撑技术,以及基于中尺度分析思想的分类强对流短期预报主客观分析技术、以高分辨率数值模式释用为主的强对流短时预报技术和基于多源资料应用的强对流监视与临近预报技术等核心预报技术。该平台的建设对于整合我国强对流天气预报技术、加强我国强对流预报技术研发与成果应用的规范性、组织性与计划性、提升国家气象中心对下级台站的指导能力、实现上下级台站互动的新型业务具有重要的支持作用。

1 数据组织和主要功能

国家气象中心从强对流监测与临近预报、短时预报、短期预报和预报检验等方面构建了新的强对流业务综合支撑平台。

1.1 气象数据组织

强对流天气监测和预报业务的一个重要特点是所需气象信息的多源化和数据的海量化。在观测资料方面,从秒级的闪电观测,到分钟级的雷达、卫星、自动站、风廓线数据,再到小时级的常规观测、GNSS/MET 观测数据等;在数值预报产品方面,从全球数值预报产品,到高分辨率的区域数值预报产品,再到集合预报产品。全球数值模式对 α 中尺度以上的天气系统具有较好的预报能力,但对对流尺度的天气系统预报能力还较弱;近几年来高分辨率中尺度数值模式发展迅速,对强对流天气有了一定的预报能力,但在业务应用中还存在一定的不确定性。

综合利用多源实况观测资料是强对流监测和临近预警的有效手段,但其预报时效较短。而在强对流短时预报方面,依靠高频次的多源观测资料对区域数值模式实时进行修正及检验,并采用多个区域数值模式构建超级集合预报系统是减少强对流短时预报不确定性的有效手段。这些气象资料各有优势也各有不足,如何合理地利用这些气象信息对于强对流天气业务,特别是在短时临近预警预报业务中

尤为重要,因此建立高效便捷、综合性强的气象大数据分析系统是强对流业务体系建设的重要环节之一。

数据分析是科研成果转化的关键,好的数据分析系统能够对气象信息进行有效组织,把科研成果高度概括化。国家气象中心分别基于多源实况资料建立了监测和临近预报数据处理系统;基于中尺度数值模式预报和实况建立了短时预报综合数据处理系统;基于全球数值模式预报建立了以中尺度分析为主导的短期预报数据处理系统。特别是强对流天气分析数据处理系统,以业务中常用的气象数据为标准输入源,减少了数据中间转化环节,建立了标准的物理量和对流指数算法库,具备了高效、便捷的数据分析能力(杨波等,2015)。这三大数据分析系统各有分工,又相互配合,共同构成强对流天气业务综合数据处理系统。

1.2 气象信息的图形化表达

高效快捷、上下互动并能主动引导预报员对强对流天气进行跟踪和预报的业务平台建设是强对流天气业务发展的必然要求。业务平台建设的一个关键基础工作就是建立标准化、高效化、专业化、模块化和易学习、易推广、易维护的气象信息图形加工系统。为满足该业务平台建设的需求,国家气象中心建立了气象自动绘图系统(杨波等,2015)。该系统紧贴我国业务数据环境,以 CMISS、MICAPS 和 GRIB 等数据为主要输入源,整合了气象信息数据分析算法,对各种强对流天气监测和预报产品实现了标准化制图,特别是通过瓦片图技术,可实现气象信息在 WebGIS 中的应用。这为强对流业务支撑平台建设奠定了必备的高质量图形生成基础。

1.3 主要结构和功能

由于强对流天气往往预警时间较短,要构建上下互通的业务体系,信息通讯的实时性非常重要,采用(B/S 浏览器/服务器)构架来建设强对流业务系统可较好地满足上述需求。根据强对流技术发展方向和预报服务需求,强对流综合业务支撑平台主要从强对流短期预报、短时预报和监测与临近预报三个方面进行构建(图1)。在系统功能建设中,以强对流天气监测和分析技术为基础,以客观产品为核心,采用不同功能板块的方式,构建了综合强对流监测、分析和预报的业务支撑体系。围绕这些业务需

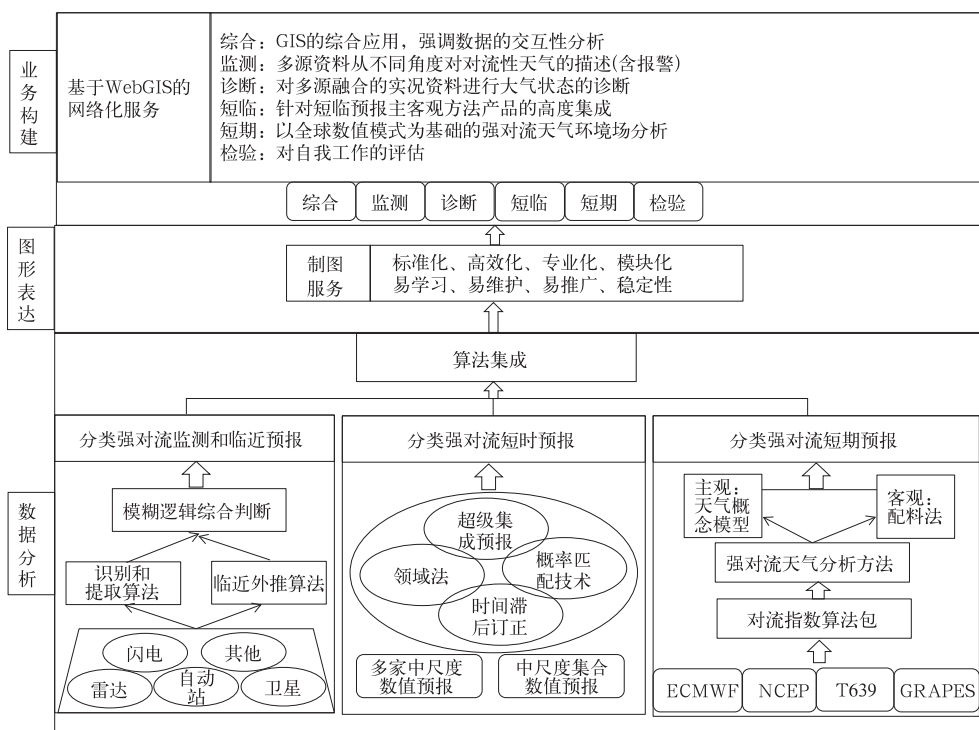


图 1 强对流综合业务平台技术框架和特点

Fig. 1 Technical framework and characteristics of the severe convection integrated supporting platform

求,该平台目前共建设 6 个板块,各个板块相互独立又相互配合,形成一套相对完整的业务体系。其中“综合”板块,强调基于 GIS 的综合应用,可实现多种关键数据的交互分析,为预报员提供精细分析的基本功能;“监测”板块基于多源观测资料从不同方面监测对流性天气和对流系统;“诊断”板块主要通过实况资料对大气的状态进行客观分析和诊断;“短临”板块主要针对短时和临近预报需求实现各种主客观技术方法与产品的高度集成;“短期”板块基于全球数值模式预报,以对流天气分析技术为基础,通过对强对流发生发展环境和条件的诊断和分析,来发挥全球模式对强对流天气的早发现和早诊断的优势;“检验”板块实现对强对流预报产品的实时检验和评估。

2 核心支撑技术

经过近 8 年的建设,国家级强对流天气预报业务初步建立了 0~168 h 的强对流监测与客观预报技术体系,实现了主观预报思路和客观预报技术的整合。

2.1 强对流天气短期预报分析技术

强对流天气短期预报是国家级强对流预报业务的主要任务之一。以对流天气分析技术(张涛等, 2013;蓝渝等, 2013;王秀明等, 2014;孙继松和陶祖钰, 2012;孙继松等, 2014)为指导,从水汽、抬升、不稳定能量和垂直风切变等条件出发,基于通过大量个例归纳总结形成的分类强对流天气概念模型,支撑平台共构建了 25 类强对流天气综合分析图。这些综合图不但可加深预报员对分类强对流天气概念模型的理解,还可以帮助新预报员建立分类强对流天气的短期预报思路。基于分类强对流天气发生发展的环境条件,支撑平台还精选了 22 个不稳定与能量指数、18 个不同层次的水汽物理量与 16 个抬升与垂直风切变物理量,从强对流天气发展条件的多个角度为预报员提供分析依据。

在客观预报产品方面,以“配料法”为主要方法,对 100 多个物理量作了气候统计,根据统计获得的不同物理量对强对流天气的敏感性和强对流天气分析规范(张涛等, 2013),挑选多个关键物理量构建了客观预报方程,形成雷暴、冰雹、雷暴大风等分类强

对流天气客观概率预报产品,以及 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $\geq 80 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的分等级短时强降雨

水天气客观概率预报产品(图 2a)。

数值集合预报技术已在环流形势和要素预报方

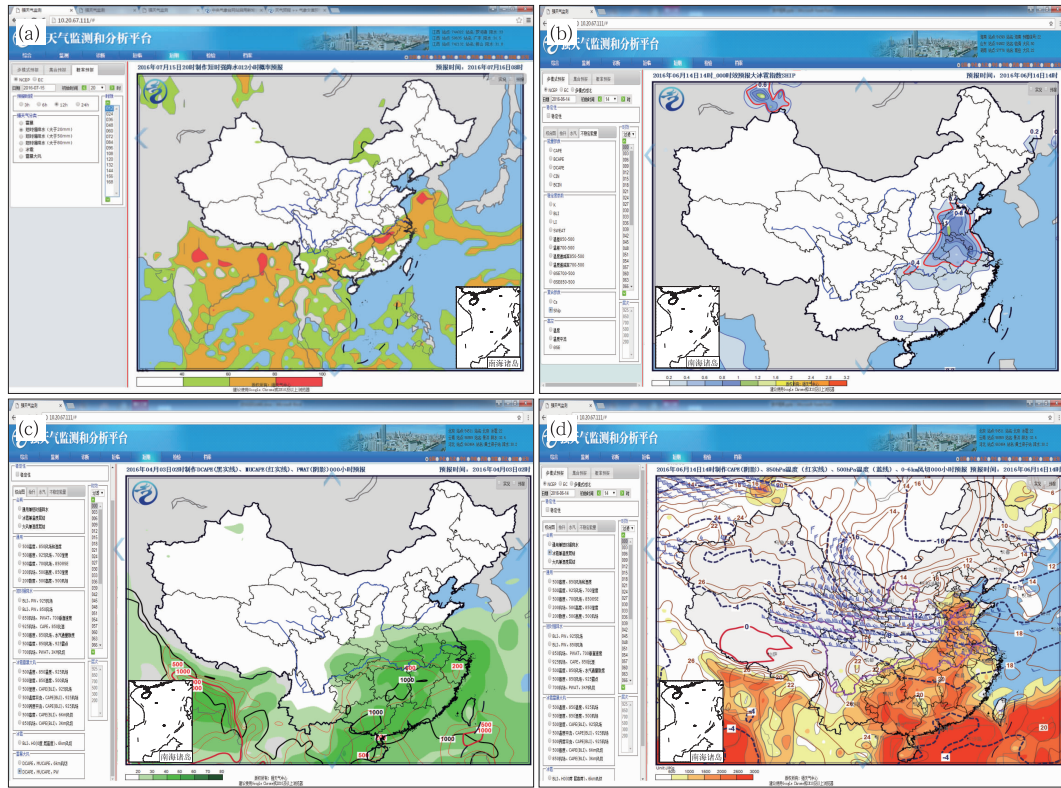


图 2 (a)配料法概率预报产品,(b)大冰雹(ship)指数,(c)雷暴大风环流型综合图,(d)冰雹环流型综合图
Fig. 2 (a) Probability forecasts of ingredients-based forecasting technique, (b) large hail index, (c) general circulation pattern for thunderstorm winds, (d) general circulation pattern for hails

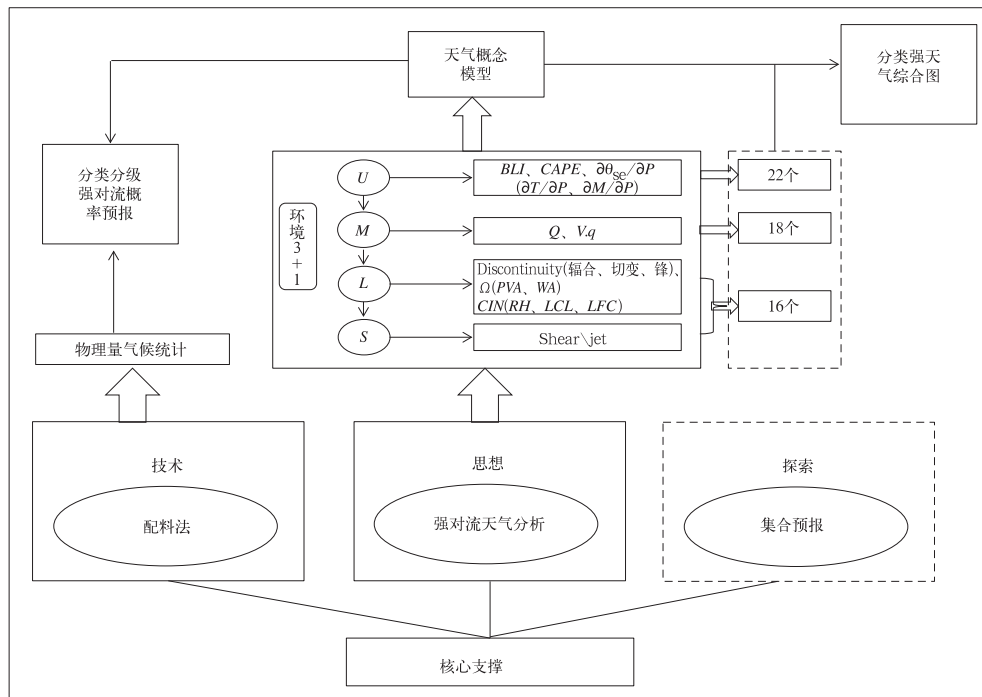


图 3 强对流短期预报支撑技术框架
Fig. 3 Supporting techniques for severe convection forecasting

面被广泛应用,但在强对流天气预报中的应用还在不断发展,国家气象中心从水汽、抬升、不稳定能量和极端天气指数(EFI)等四个方面初步建立了基于数值集合预报产品的强对流天气预报客观产品。

强对流天气分析规范(主观预报思路)、客观预报技术和数值集合预报应用技术三者共同构成了强对流短期预报业务的核心支撑技术(图 3)。

不同的物理量和对流指数从不同角度对大气状

态进行诊断,刘建文等(2005)对一些常用物理量和指数的定义及应用进行了详细说明。但对流指数较多,许多对流指数物理意义相近,在应用中也会给预报员造成一定困惑。基于强对流发生发展条件和业务应用实践,国家级强对流预报业务支撑平台部分常用物理量和对流指数如表 1 和图 2b。支撑平台基于分类强对流概念模型生成的综合图(图 2c、2d)对引导并加深新预报员对强对流天气的理解至关重要。

表 1 常用物理量和对流指数

Table 1 Several variables and indices for severe convection

物理量和对流指数	说 明
Shear	不同层次间垂直风切变,反映了大气的斜压特性,是影响对流系统发展和组织的重要动力因素(郑淋淋和孙建华,2016)
LI 和 BLI	抬升指数和最有利抬升指数,表征了大气层结的稳定度
CAPE 和 BCAPE	对流有效位能和最大对流有效位能,其数值对抬升起点的温度、湿度敏感
DCAPE	下沉对流有效位能,反映的是对流发展到一定阶段下沉气流发展可能的趋势和强度
CS 指数	定义为 $SHR \times CAPE / 6000$ (SHR 为 0~6 km 垂直风切),对于风雹类强对流天气的预报有较好指示意义
SHIP 指数	大冰雹指数,在指数构建时,除 BCAPE 和 0~6 km 垂直风切外,还考虑了低层最不稳定层的比湿、700~500 hPa 的温度递减率以及 500 hPa 温度等。SHIP 指数对于冰雹的预报有较好的应用价值(图 2b)

2.2 强对流短时预报技术

短时预报一般指的是 2~12 h 天气预报。由于强对流天气具有较强的致灾性,其短时预报业务不仅体现在对技术能力的要求较高,还体现在对服务能力的要求也较高。

高分辨率中尺度数值模式预报产品及其释用技术(郑永光等,2015a;2015b)是强对流短时预报业务建设的核心内容。但高分辨率数值模式预报产品仍然存在很多不确定性,要用于短时预报业务,还需要开展大量的研究。国家气象中心以“多模式集成”、“邻域法”和“Time-lagged 法”等方法初步建立高分辨率数值模式预报产品的释用技术(郑永光等,2015b)。

短时预报由于时效较短,实况和预报之间有一定连续性,因而实况及其诊断产品的分析和检验技术也是强对流短时预报的一个重要支撑:实时利用实况数据对最新的短时预报和中尺度数值模式预报进行检验;通过实时的误差检验分析,再结合实况及其诊断产品与中尺度数值模式预报及其释用产品,形成新的短时预报产品。在此基础上,循环往复,不断滚动更新短时预报业务产品(图 4)。

针对强对流短时预报产品要求实时性强的特点,构建的强对流短时预报业务板块重点强调从过去 3 h 实况监测产品到未来 12 h 预报产品的无缝隙衔接。高分辨率中尺度数值模式预报产品应用包

括产品释用、多模式预报集成应用、对流尺度分析等。结合可交互叠加的主观强对流预报产品、预警和短时预报产品等,初步实现了 0~12 h 强对流预报产品的集成和快速分析(图 5)。

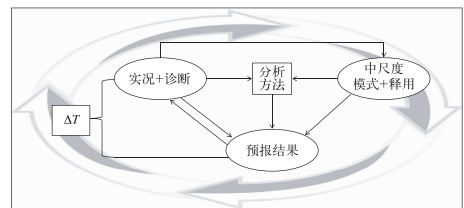


图 4 短时预报技术流程

Fig. 4 Flow chart of short-time forecast technology

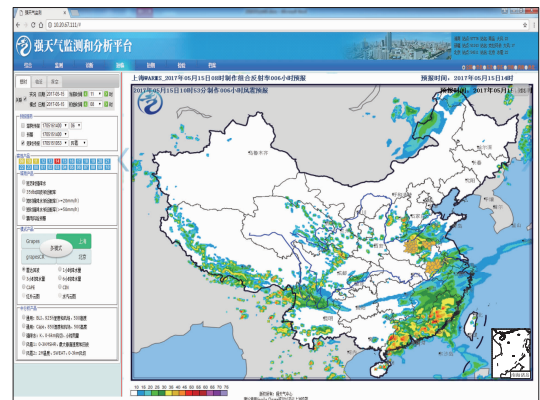


图 5 短时预报板块

Fig. 5 The module of short-time forecast

探空资料分析技术是最重要的强对流天气预报分析技术之一。针对业务需求,强对流短时预报业务板块分别增加了基于探空观测和数值预报的探空分析模块,且精选显示了15个诊断物理量的数值;还增加了基于模式预报的垂直风廓线和诊断物理量的时序产品,可从空间和时间两个维度对单点探空进行分析,从而整体加强了对强对流天气预报的分析能力(图6)。

在强对流天气短时预报服务方面,国家级强对流天气短时预报业务主要定位是为省、市、县级气象台提供指导产品,特别是为省、市、县发布预警信号提供指导产品,即“预警的预警产品”,因此国家级需要快速把自己的短时预报产品发布到相关省、市、县台,并需要及时掌握省、市、县台发布的强对流天气预警服务情况,从而实现上下级之间的快速沟通是国家级短时预报业务平台建设的重要环节(图7)。强对流短时预报业务板块基于WebGIS的“综合”板块较好地实现了上述需求。该板块具有较强的交互功能,可实时采集以县气象台为单位发布的分类强对流预警信号;并实时更新国家级0~6 h的分类强对流短时预报产品和其他强对流预警预报产品。

预报员通过交互操作可及时了解上下级台站发布的各类强对流预警预报产品,从而实现了强对流预报分析产品的实时上下互通(图8)。

2.3 强对流监测和临近预报技术

近几年来,随着国家级和省级气象业务统一数据环境(China Integrated Meteorological Information Service System, CMISS)的建设取得较大进展,获取全国范围分钟级的观测数据已基本实现,在国家级开展强对流实时监测和提供客观临近预报产品支持成为可能。强对流的监测和临近预报主要包含三个方面的建设内容:基于多源观测资料的强对流天气实况与强对流系统实时监测、基于多源信息的报警、基于多源观测数据的分析诊断(图9)。

强对流天气实况监测主要采用闪电、自动气象站、危险天气报、灾情报和常规气象观测等多源数据,通过质量控制、信息提取和应用模糊逻辑方法的综合判识(郑永光等,2013;周康辉,2017;俞小鼎等,2012),形成多时段的雷暴、冰雹、雷暴大风、短时强降水等强对流天气实况监测。监测产品的质量控制除了采用传统的阈值控制、时空连续等方法外,还采

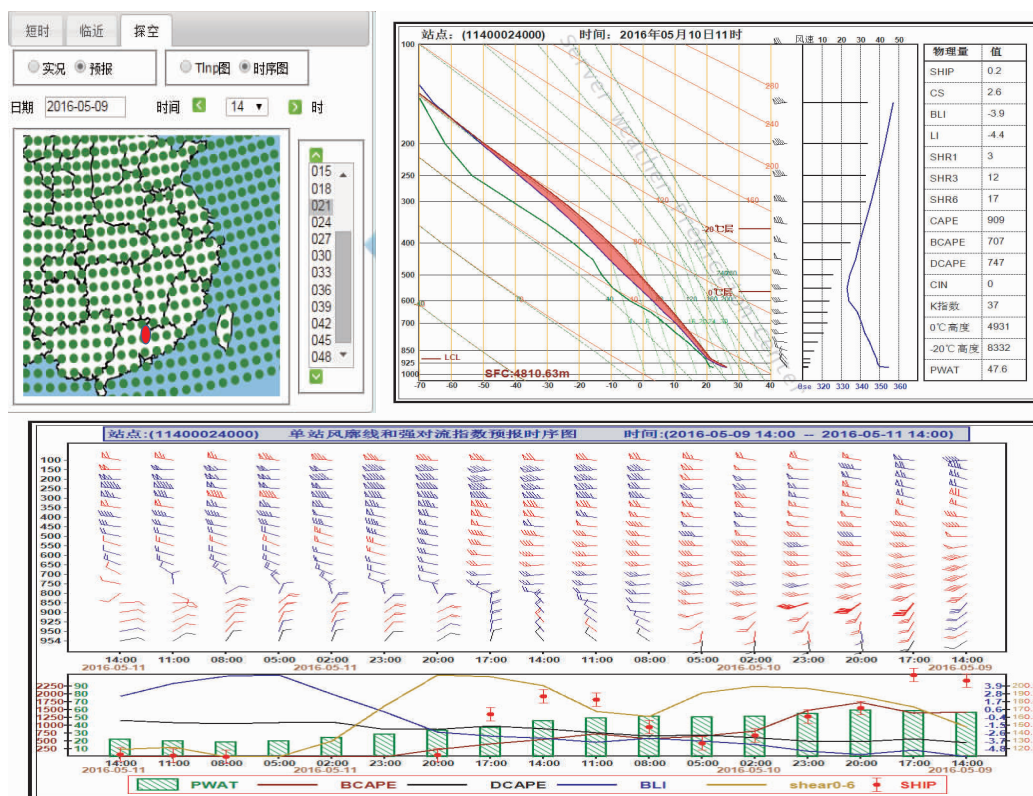


图6 数值模式预报探空和物理量分析

Fig. 6 T-logp diagram, winds and physical variables of numerical model forecasting

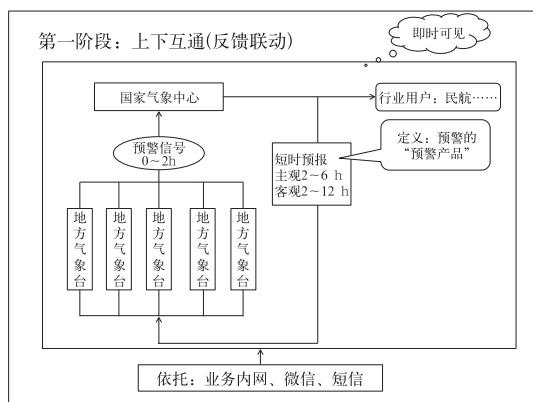


图7 短时预报业务试验流程

Fig. 7 Flow chart of short-time forecast service

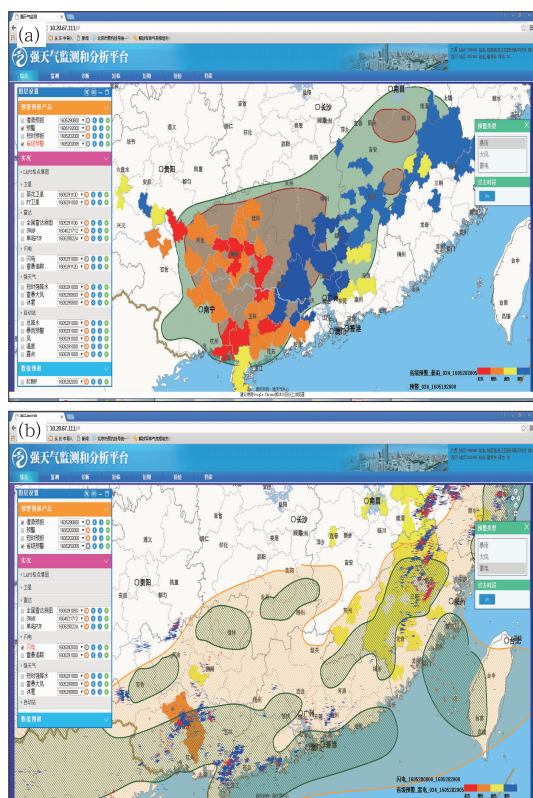
图8 (a)国家级强对流预警与县级暴雨预警,
(b)国家级潜势预报与县级雷电预警

Fig. 8 (a) Severe convection warning of National Meteorological Centre and rainstorm warnings of county-level weather stations, (b) severe convection short-range forecasts of National Meteorological Centre and lightning warnings of county-level weather stations

用了天气雷达和静止气象卫星观测数据对站点观测产品进行综合判识,最终形成可信度较高的分类强

对流天气监测产品(图10a)。强对流系统的监测主要是利用天气雷达、静止气象卫星等观测资料,应用TITAN(雷暴识别、追踪、分析和临近预报)算法、MCS(中尺度对流系统)识别和追踪算法等对对流系统的发生发展进行实时判识和追踪(郑永光等,2013);多源信息报警是对常用雷达特征量(如中气旋、大冰雹指数、VIL等)、强对流天气站点观测实况、各类强对流预警信号以及达到特定阈值的部分

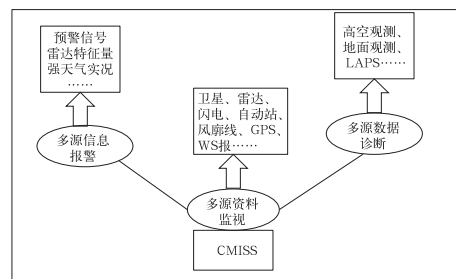


图9 强对流天气监测和临近预报技术框架

Fig. 9 Support technology framework for severe convection realtime monitoring and nowcasting

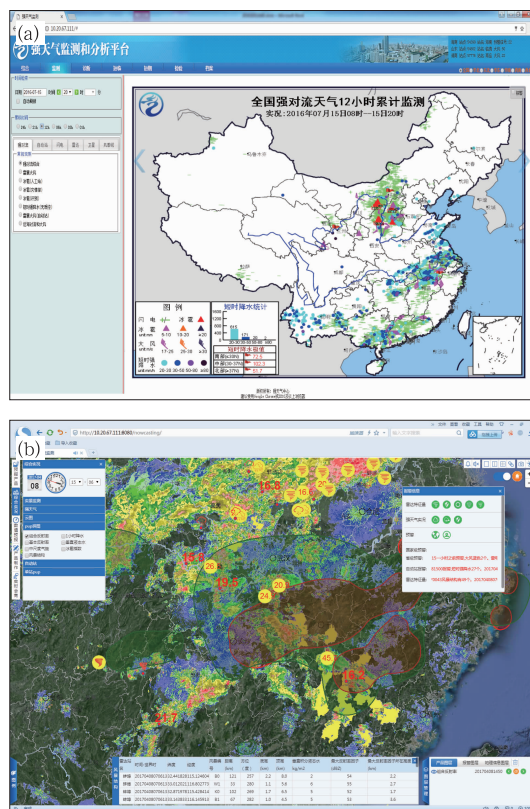


图10 (a)强对流天气监测,(b)多源信息报警

Fig. 10 (a) Severe convective weather monitoring, (b) alarm based on multi-source meteorological data

物理量和对流指数(如急流核、风切、变压、变温等)及时进行报警,提醒当班预报员密切关注一些突发的强对流天气(图 10b);多源观测数据分析诊断是对地面常规和区域自动站、探空等观测资料进行诊断分析,由于现有的观测体系还不能完全捕捉到强对流天气实况,通过对地面、高空观测进行诊断分析可对触发强对流的中小尺度天气系统的环境条件进行监测,进而提高对强对流天气的监测和临近预报能力。

3 预报检验和平台应用

预报检验是天气预报业务体系的重要环节。强对流天气预报检验板块主要突出了 3 个特点:(1)实时性。系统实时采集实况数据,并及时完成检验计算和制图作业,方便预报员调用;(2)交互性。预报员可通过交互操作方式叠加强对流实况或预报到任意中分析图层上,帮助预报员学习并分析预报思路中的得失(图 11a);(3)定性检验产品与定量检验产

品相结合。在一张图表上既有定性检验的天气实况和预报落区图,又有分类强天气客观检验评分表,这有助于预报员对预报得失进行更为全面的分析总结(图 11b)。

经过多年的建设与应用,强对流综合业务支撑平台已经成为国家级强对流天气预报业务的基本平台之一,其与 MICAPS、SWAN 等业务平台相互补充,并可为定量降水、暴雨和其他灾害性天气预报提供一定的支持。通过该平台的业务应用,预报员能够准确、快速和及时把握强对流天气过程。自系统业务运行以来,国家气象中心对大范围的区域性强对流天气过程未出现明显空报、漏报。分类强对流天气预报准确率也逐年稳步提高,提升幅度也明显加快(唐文苑等,2017)。该平台的业务应用也使新预报员能够较快掌握各种强对流天气概念模型,更加容易建立起自己的预报思路。

强对流综合业务平台已通过中国气象局业务内网在各省、市、县气象局推广应用,其专业的概念模型、清晰的强对流预报业务思路、丰富和精美的主客观图形产品受到各地预报员的普遍欢迎和支持,并成为多个省、市强对流天气预报业务的重要支撑平台之一。

4 未来展望

提升强对流天气预报技术的水平和尽力满足预报服务需求始终是国家级强对流天气综合业务支撑平台发展的基本要求。在预报技术支持方面,短期预报技术要深化物理量的应用,完善物理量的优选,结合地形、气候背景等改进完善分类分等级的强对流天气客观概率预报方法;短时预报技术要特别加强高分辨率中尺度数值模式的释用,如中尺度集合预报、升尺度等方法的应用;监测和临近预报技术要综合利用多源资料加强对强对流的识别报警算法研发,如对流初生、下击暴流、龙卷等。另外,要特别发展大数据分析技术,如基于 Spark 内存计算模型的全局雷达三维拼图、机器学习等技术在临近预报中的应用;融合多源资料的三维大气分析场在强对流天气预报中的应用技术需要进一步发展;继续精选气象部门内外优秀科研成果并转化和集成到业务支撑平台。在预报服务需求方面,国家级强对流综合

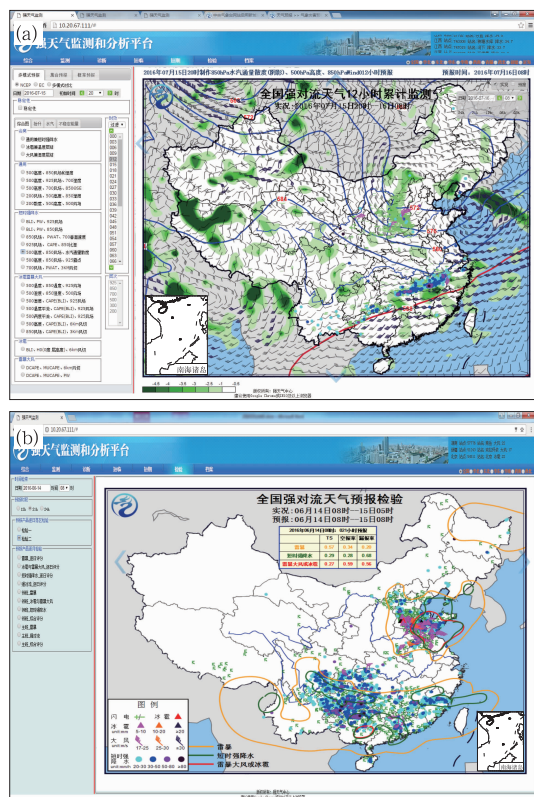


图 11 (a)强对流天气分析图和实况叠加,
(b)强对流潜势预报检验

Fig. 11 (a) Severe convective weather analyses and observations, (b) verification of short-range forecasts of severe convective weather

业务平台要继续强化信息化能力建设,基于 CMISS 系统继续建设上下统一的强对流天气实况和预报产品库,完善短临预报产品的上下互动和即时沟通的服务能力。此外,要加强平台的智能化建设,实现对强对流预报服务工作的全流程引导,在分析前自动对历史与实况数据进行对比分析,引导预报员关注重点区域;在分析中,对预报员思路进行引导,自动给出关键要素的历史表现,形成综合意见;在分析后,自动形成各种预报服务图表信息,经预报员确认后,自动实现产品分发及精准定向服务。

5 结论与讨论

本文从强对流天气预报技术发展与服务需求的角度,介绍了国家级强对流综合业务支撑平台的重要支撑技术和预报核心技术。其主要成果概括如下:

(1) 该平台重要支撑技术包括数据分析处理技术和自动气象绘图技术。其中数据分析处理技术包括基于多源观测资料的强对流天气监测和临近预报数据分析处理技术、基于高分辨率数值预报和实况的强对流天气短时预报综合数据分析处理技术、基于全球数值模式预报并以强对流天气分析规范为指导的短期预报数据分析处理技术。自动气象绘图技术整合了数据接口、数据分析、自动制图等功能,能高效、便捷地实现强对流分析所需的多种图表。

(2) 强对流短期预报核心技术以强对流天气分析规范为指导,基于强对流天气发生的环境条件,精选了多个物理量,并以归纳总结的强对流天气概念模型为基础构建了 25 个强对流天气综合图;基于强对流天气分析规范,应用“配料法”,基于气候统计结果合理挑选物理量,构建了预报方程,定时生成雷暴、冰雹、雷暴大风等分类强对流天气客观概率预报产品和分等级的短时强降水天气客观概率预报产品。

(3) 强对流短时预报核心技术整合了高分辨率数值模式预报释用、多模式预报集成应用、对流尺度分析、实况和数值预报探空分析等多项技术成果,强调从过去 3 h 实况到未来 12 h 预报的无缝隙衔接;在预报服务方面,采用 WebGIS 技术实现了县级分类强对流预警信号和国家级分类强对流短时预报及

其他强对流预警预报产品的同步共享,实现了强对流短时预报业务的高交互性与上下互通功能。

(4) 强对流监测和临近预报核心技术在基于多源观测资料的强对流实况与强对流系统监测、实况诊断分析等的建设基础上,特别加强了多源信息的报警能力的建设,包括对天气雷达特征量、强对流实况、各类强对流预警信号、达到特定阈值的部分物理量和对流指数的实时报警。

(5) 基于 B/S 架构的检索与显示系统在两个重要支撑技术的基础上对强对流预报核心技术进行了整合,实现了国家级强对流预报从监视、分析到短临、短期预报的业务支持。

国家级强对流天气综合业务支撑平台已成为国家级强对流天气预报业务的一个基本支撑平台,并在各级气象台站得到广泛应用。但是,强对流天气短时与临近预报的技术发展仍然滞后于预报服务需求的增长:在全国范围内还未实现融合多源资料的高分辨率的三维大气实时分析技术;基于 SWAN 的短临预报算法还无法满足国家级短临预报业务的需求;基于大数据分析的短临技术还没有在业务中应用;科研成果的转化率也不高;另外,业务平台的信息化与智能化能力还需要继续提升,全国强对流天气预报服务一张网的上下互动业务体系以及对强对流预报服务进行全流程引导的智能化系统还没有完全建立。这都是国家级强对流天气综合业务支撑体系今后的重点发展方向。

参考文献

- 蓝渝,张涛,郑永光,等,2013. 国家级中尺度天气分析业务技术进展 II: 对天气中尺度过程分析规范和支撑技术[J]. 气象, 39(7): 901-910.
- 刘健文,郭虎,李耀东,等,2005. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京:气象出版社.
- 孙继松,戴建华,何立富,等,2014. 强对流天气预报的基本原理与技术方法——中国强对流天气预报手册[M]. 北京:气象出版社.
- 孙继松,陶祖钰,2012. 强对流天气分析与预报中的若干基本问题[J]. 气象, 38(2): 164-173.
- 唐文苑,周庆亮,刘鑫华,等,2017. 国家级强对流天气分类预报检验分析[J]. 气象, 43(1): 23-32.
- 田付友,郑永光,张涛,等,2015. 短时强降水诊断物理量敏感性的点对点检验[J]. 应用气象学报, 26(4): 385-396.
- 王秀明,俞小鼎,周小刚,2014. 雷暴潜势预报中几个基本问题的讨论[J]. 气象, 40(4): 389-399.
- 杨波,朱文剑,唐文苑,2015. 基于模拟脚本的气象自动绘图系统[J].

- 气象科技,43(4):627-633.
- 俞小鼎,2011.基于构成要素的预报方法——配料法[J].气象,37(8):913-918.
- 俞小鼎,周小刚,王秀明,2012.雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J].气象学报,70(3):311-337.
- 张鹏,郭强,陈博洋,等,2016.我国风云四号气象卫星与日本 Himawari-8/9 卫星比较分析[J].气象科技进展,6(1):72-75.
- 张涛,蓝渝,毛冬艳,等,2013.国家级中尺度天气分析业务技术进展 I:对流天气环境场分析业务技术规范改进与产品集成系统支撑技术[J].气象,39(7):894-900.
- 张小玲,陶诗言,孙建华,2010a.基于“配料”的暴雨预报[J].大气科学,34(4):754-756.
- 张小玲,张涛,刘鑫华,等,2010b.中尺度天气的高空地面综合图分析[J].气象,2010,36(7):143-150.
- 郑淋淋,孙建华,2016.风切变对中尺度对流系统强度和组织结构影响的数值试验[J].大气科学,40(2):324-340.
- 郑永光,陈炯,沃伟峰,等,2011.改进的客观分析诊断图形软件[J].气象,37(6):735-741.
- 郑永光,薛明,陶祖钰,2015a.美国 NOAA 试验平台和春季预报试验概要[J].气象,41(5):598-612.
- 郑永光,林隐静,朱文剑,等,2013.强对流天气综合监测业务系统建设[J].气象,39(2):234-240.
- 郑永光,张小玲,周庆亮,2009.强对流天气短时临近预报业务技术进展与监测技术[C]//2009 年全国灾害性天气预报技术研讨会论文集.北京:国家气象中心:87-100.
- 郑永光,张小玲,周庆亮,等,2010.强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J].气象,36(7):33-42.
- 郑永光,周康辉,盛杰,等,2015b.强对流天气监测预报预警技术进展[J].应用气象学报,26(6):641-657.
- 周康辉,2017.基于模糊逻辑的雷暴大风和非雷暴大风区分方法[J].气象,43(7):781-791.
- 周康辉,郑永光,蓝渝,2016.基于闪电数据的雷暴识别、追踪与外推方法[J].应用气象学报,27(2):173-181.
- 周庆亮,2010.美国强对流预报主观产品现状分析[J].气象,36(11):95-99.
- Doswell C A, Brooks H E, Maddox R A, 1996. Flash flood forecasting: an ingredients-based methodology[J]. Wea Forecasting, 11(4):560-581.
- Ostby F P, 1992. Operations of the National Severe Storm Forecasting Center[J]. Wea Forecasting, 7(4):546-563.
- Tian Fuyou, Zheng Yongguang, Zhang Tao, et al, 2015. Statistical characteristics of environmental parameters for warm season short-duration heavy rainfall over central and eastern China[J]. J Meteor Res, 29(3):370-384.