

近 30 年中国天气预报业务进展

李泽椿 毕宝贵 朱 彤 王友恒 牛若芸

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

介绍了我国天气预报技术的发展现状,指出在大气探测技术、数值预报及可视化技术发展的推动下我国传统的天气预报向定量、定时方向发展,并系统阐述了天气预报业务发展过程和存在的问题,最后提出了对我国天气预报业务发展的思路。

关键词: 大气探测 天气预报 数值预报 计算机

引 言

随着相关科学技术发展成果的引入和大气科学本身的发展,天气监测已经从低分辨率、有限视野的间歇常规观测向遥感信息与常规观测相结合的高分辨率、多方位连续监测方向转变;同时天气预报亦从传统的天气气候理论、数理统计与预报员经验的半经验半理论的定性方法,发展到以数值天气预报为基础,以人机交互处理系统为平台,综合应用多种科学技术的最新成就和方法的新时代;预报方式也从大气表象演变逐渐向深入考虑大气运动的内在规律转变;预报服务对象也从传统的天气预报领域向环境领域拓展转变,预报人员成为业务天气预报中的相关科研主体。数值天气预报以其能够反映大气物理规律的优势,被认为是最有效解决天气预报问题的科学途径,遥感等非常规观测信息和数值预报已成为当今气象工作者进行天气监测、分析和预报的最重要的技术基础。遥感等非常规观测信息的应用水平和数值天气预报业务的发展水平是当今世界用来衡量天气业务现代化程度和先进性的最重要的标志^[1]。随着预报准确率的提高和预报领域的拓展,天气预报成为人们生产、生活的重要参考信息,中央电视台气象节目收视率稳居第

一。

1 天气预报业务现状

经过近 30 年的业务建设,天气预报业务初步建立了气象综合探测系统、气象信息网络系统、基本气象信息加工分析预测系统和气象信息技术服务系统的业务格局。初步实现了气象信息的集中控制、管理和调度;促进了国家、地方、行业 and 全社会气象业务技术的协调发展。建立了国家、省、地、县天气预报业务体制,下级台站在上级台站指导产品的基础上进行局地订正,发挥了各级气象台站的优势。

随着数值预报技术、现代化探测技术的广泛应用和计算条件的不断改善,加快了天气预报的定时、定点、量化进程;各级气象台站中期、短期、短时以及临近预报的能力有了很大程度的提高。天气预报业务已基本实现了由传统的以预报员天气学经验为主要方法和以天气图为主要工具的技术路线向以人机交互处理系统为平台,以数值天气预报产品为基础、综合应用多种技术方法的技术路线的过渡。

建立了以高性能计算机系统为支撑的较完备的数值预报体系,包括全球、有限区域、中尺度数值天气预报业务系统,台风、沙尘

暴、核污染扩散、大气污染等专业数值预报系统,目前我国中期数值预报可用时效达6天,数值预报产品已经成为预报员制作预报的基础,缩小了与发达国家的差距。能够使大气科学研究的各种最新理论成果,直接应用于天气预报、气候预测的实践。数值预报技术是现代天气预报技术的关键技术。欧洲中心及美国、加拿大、日本、英国、法国、德国等国建立了由不同内容的全球中期数值预报模式、区域模式、中尺度数值预报模式、短期气候预测模式、飓风预报模式、海洋预报模式、环境气象模式等组成的完善的数值预报业务体系^[2]。

建立了以高性能计算机系统为支撑的变分同化系统,能够把观测的原始资料进行反演、订正和分析等处理,使各种探测资料成为数值预报模式所需要的初始场。气象资料同化的目的是为数值预报模式提供一个尽可能准确的气候系统的初始状态,是数值预报取得成功的关键因素之一。另外,同化资料也可以提供天气、气候、气候变化的分析研究使用。

建立了以计算机系统为支撑,以统计学、人工智能为基本方法的数值预报产品解释应用系统,从数值预报中提取有用信息,并转化为预报员方便应用的要素指导预报。短期气候预测、中期预报正在向客观化、自动化方向发展。建立了以高性能人机交互系统为支撑的预报制作平台,能够帮助预报员更全面地分析和理解各种信息所反映的大气运动变化的特征及其相互间的关系,并帮助预报员完成预报的制作。

随着各行各业和人民群众对气象服务需求的不断增加,应用气象的领域得到了很大程度的拓宽,目前,以农业气象情报预报、卫星遥感技术应用、生活气象指数预报、医疗气象预报、城市空气质量预报、七大江河面雨量预报、森林火险预报、交通安全预报等为主要内容的应用气象业已成为天气、气候分析预

测系统重要组成部分。

2 天气预报业务发展过程

50多年来,天气预报业务工作获得了巨大的发展。发展过程中是有波折的,但自1978年改革开放以来,确立了以数值天气预报为基础的方针,是天气预报业务发展的重要里程碑。随着人员结构的变化,各种先进技术与装备的引进和不断更新,各种业务系统的开发与建立,以数值预报及其释用技术为代表的现代化预报方法的研究与应用,预报产品不断丰富,预报准确率逐渐提高,电视天气预报、Internet网等现代化服务手段的利用,使天气预报业务工作的面貌发生了根本性的变化。以改革开放的态度,引进现代化技术和先进的经验,结合我国实际情况改进升级是快速发展的主要原因。从而保证了天气预报为社会主义现代化建设,为防灾减灾和保护人民生命财产安全做出了应有的贡献。

2.1 需求推动天气预报的内容、时效和产品的发展

社会需求永远是天气预报发展的动力。我国是一个多灾害的国家,气象灾害是自然灾害中最为频繁而又严重的灾害。干旱、洪涝、台风、暴雨、冰雹等灾害性天气危害人民生命财产和国民经济建设。随着现代经济的高速发展,自然灾害造成的损失呈上升趋势,直接影响着社会和国民经济的可持续发展。据不完全统计,每年气象灾害造成的损失占自然灾害造成的经济损失总数的70%以上,约占国民生产总值的3%~5%。最大限度地降低和减轻天气灾害对人民生命财产和国民经济的影响,防灾、减灾、保障生产和社会需要是气象部门的重要任务,及时准确的气象预警预报是防灾、减灾主要措施之一。国家经济建设、国防建设、高新科技研究要求气象部门提供气象服务,社会上各行各业要求气象部门提供的气象服务项目也日益增多,随着国民经济和信息化社会的飞速发展,

人民的生活质量有了大幅度的提高,对全方位的天气预报提出了越来越高的服务要求。

各行各业迫切要求气象部门提供有针对性的天气预报和服务,如对天气现象发展的时间预测要求更精确,预报的要素也越来越多,天气现象的落区预报更具体。从1~2天的天气预报到7~10天或更长的天气预报,从一天的最高最低温度到每时刻的温度、高温区、体感温度等,从是否降水到降水大小、落区、1或3小时内能降水多少、面雨量等,从风向风速到平均风速、瞬时风速等,从晴、雨天气到晴、阴、雨、雪、雾、冰雹、冻雨、以及其次生的灾害等,从一般的天气预报到高温预报、暴雨预报、沙尘天气预报、面雨量预报、地质灾害预报、城市生活指数预报、森林火险气象等级预报、空气质量等级预报、舒适度预报、紫外线预报、环境相关指数的预报、日照强度预报、湿度预报、特定的航线要素预报,从国内预报到国外预报等。各行各业、各部门的需求增多,促使气象部门也要不断的满足各行各业的要求。这种互相促动,使天气预报在时效上不断延长、产品的数量不断增多、质量不断提高,逐步满足用户的需求。

2.2 新技术的引入,推动了天气预报前进

气象学科天气预报的发展必然是与科学技术相互促进、相互适应的。

2.2.1 气象通信能力增强是提高天气预报水平的重要条件

气象通信是气象预报和服务的必要手段,气象现代化建设首先是从气象通信开始的。伴随着气象事业的不断发展,通信技术水平从50年代初期简陋的设备、低效率的手工操作、单一落后的通信技术发展为拥有先进的计算机自动化通信设备及其技术、由国际通信系统、国内通信系统(气象卫星通信综合应用业务系统)、传真通信系统等部分组成的气象通信系统,承担着世界天气监测网的区域气象通信枢纽和全国气象通信枢纽任务,通过世界气象组织全球电信系统和国内

通信网络及时接收和分发世界各地的各类气象资料和产品,负责全国气象观测资料的收集、分发和国际交换。资料传输内容从地面、高空的常规观测资料,到各类分析预报产品,从海上船舶到高空飞机、卫星探测报告,以及各类台风、雷达资料等,为预报员及时掌握天气形势、分析大气的演变过程、做出高水平的天气预报,以及深入研究地球系统大气变化规律提供了不可或缺的重要依据^[3]。通信能力的加强也极大地增加了预报及服务的时效性和资料的多样性,使地方气象台站能够快速获得观测资料和各种指导产品。

2.2.2 高性能计算机的应用是提升数值天气预报水平的保证

天气预报、数值天气预报、气候资料加工处理等气象业务和科研的开展都与计算机有着密切的关系。数值预报业务系统的发展在很大程度上依赖高性能计算机的发展,特别是中期数值预报要求计算的范围大(全球)、分辨率高、积分时间长,物理过程参数化描述更加复杂。经济建设、社会发展和减灾防灾要求提供定时、定点、定量、高准确率和长时效的气象预报,数值天气预报是气象工作者进行天气分析和预报不可缺少的重要手段,数值预报产品成为了现代天气预报的基础。随着预报精度的不断提高,要求计算的范围增大、分辨率提高、物理过程参数化描述复杂化,高性能计算机应用已成为发展数值天气预报必须具备的重要支撑条件^[4]。国家气象中心计算机能力飞速地更新升级,从20世纪70年代末百万次的M-170到现在的3800亿次的神威等多种机型的庞大计算机群以及即将增加的21万亿次计算机,为天气气候数值预报提供了强大的计算能力。

2.2.3 数值天气预报水平的提高是综合预报水平提高的物质基础

经过过去20年的努力,我国数值天气预报业务从无到有、逐步壮大,目前已经建立起由全球中期数值天气预报(T213L31,水平分

辨率约为 60km)、中期集合预报(T106L19, 水平分辨率为约 120km)、有限区域(约 27km 分辨率)数值天气预报、中尺度数值天气预报(约为 6km)、台风、沙尘暴、核污染扩散、大气污染数值预报模式系统等组成的比较完整的数值天气预报业务体系,使我国数值天气预报能力提高到了一个新的水平。北半球中期数值预报可用时效达 6~6.5 天,缩小了与发达国家的差距。

2.2.4 先进的预报工具和新型观测资料是预报准确率提高的重要条件

1985 年以前,天气预报和气象服务手段极为落后,基本上是几十年一贯制,主要是天气图加部分传真图。从 20 世纪 70 年代初增加了卫星云图,1985 年计算机终端、卫星云图、雷达回波显示等系统引入会商室,从美国引进先进的人机对话资料处理系统(MCI-DAS)投入业务应用,预报员可以快速查询、调阅天气图表,为预报员监视大气环流与天气变化提供了一个强有力的工具和手段。随着“七五”科技攻关项目的完成和向业务能力转化的实现,新一代大气环流与天气的监测显示系统,包括 910 工作站和 AMIGAS 系统、AFDOS 系统、MIPS 系统、台风云图实时处理系统以及 VAX 工作站等投入业务运行,使预报员能够更快、更多、更方便地监视大气环流与天气的发展变化。特别是 1996 年在国家气象中心开放实验室研制的 MIPS 基础上发展形成的 MICAPS 系统,它集图形、图像信息于一体,是一个具有气象信息收集、加工、分析、显示、预报决策、预报检验评分、对外服务、图形文件输出等多功能的完整的天气预报业务自动化系统。该系统甚至用于全国县级和民航、水文、军事等部门的气象台站。近年来相继研制的中期预报系统、热带气旋预报系统、国外天气预报系统等,以数值预报释用产品为基础、人机交互工作站为平台、综合应用多种气象信息的天气预报和气象服务一体化的天气预报业务系统,具有

先进的现代化天气预报业务工作流程。所有这些现代化技术的不断引进、系统的开发与应用,推动了天气预报向前发展,使天气预报的使用方法、制作流程和会商方式等都有突破性的改革,使得预报员实时监测大气环流与天气变化的能力获得很大的提高,为做好天气预报服务、提高天气预报准确率奠定了良好的基础。

2.3 从天气学描述方式向考虑大气内在规律方式转变

在过去几十年来,天气预报考虑的总是槽来脊去,变压的大小、风向风速辐合辐散等,没有较好或较多的方法与工具。如今,天气预报是从分析各种物理量场入手,了解天气系统内部结构、大的环流形势、各系统之间、上下层之间的关系。使预报员逐渐从大气表象演变深入考虑大气运动的内在规律。

2.4 服务及时到位是弥补预报欠准和发挥天气预报效益的有效办法

气象服务从单一的天气预报服务走向全方位、多层次的决策服务、公众服务、专项服务和指导服务。1985 年前,以文字的方式向中央领导和有关部委服务,以广播的方式向人民大众服务,以电话的方式向各省市自治区的气象台服务。1991 年 11 月、1992 年 8 月相继开通了至中央电视台和中南海的光缆信息传输系统。气象信息及时进入中南海信息系统,为中央领导作出防灾减灾决策提供气象依据。自 1994 年以来,先后与国家计委、农业部等 9 个单位联网,提供各种气象资料。在今天信息化和网络化的情况下,使得更大规模的气象信息多样性和个性化服务成为可能。现在服务手段和服务面上都有了很大的改变,采用文字、广播、传真、电视、闭路电视、Internet 网和海事卫星等多方式向党和国家领导人、中央和国务院有关部委、省市自治区政府提供决策服务,向广大人民群众提供公众服务,向省市自治区气象台和地方气象台提供指导服务,向中外社会团体、公司

提供专项服务。特别加强了台风、暴雨洪涝灾害及干旱、冰雹、雪暴、大雾等灾害性天气预报服务。在1991年江淮大水,1997年11号强台风,特别是1998年长江流域、松花江和嫩江流域特大洪水和2003年淮河大洪水等重大灾害面前,准确、及时的天气预报服务,受到党中央、国务院、国家防总、水利部、人事部等部委的高度评价和嘉奖。各省地气象台作为预报服务的先锋也以不同的创新方式为政府与公众服务作出了突出的贡献。

“天有不测风云”,天气预报不能做到百分之百的准确。但气象服务做到及时到位,使我们做的天气预报、特别是做的滚动预报能让人民群众及时了解,这样就能弥补天气预报欠准,更好地发挥了天气预报效益,达到更好地为人民服务的目的。

2.5 预报人员素质的提高,促进了天气预报发展

天气预报人员不断研究吸收国外最新技术和研究最新理论的发展动态,改进和完善各种天气预报方法,引进了先进的技术设备,培养了一批既懂业务又善于管理的优秀人才,天气预报水平明显提高。近年来,我国天区预报领域人才队伍的学历层次明显提高,本科、硕士、博士毕业人数呈明显上升趋势,高级专业技术人员队伍占整个队伍的比例也显著增加,人才队伍整体素质明显提高,这是天气预报工作改进的基础。

3 存在的主要问题

由于历史的、经济的、社会的等诸多方面的原因,我国的天气气候业务技术、业务能力与发达国家相比仍然存在较大差距。

由于构成现代天气预报信息流程的资料的分同化、数值预报模式、数值预报产品解释应用、预报制作平台这四个主要的技术环节的技术水平尚有较大的差距,特别是前两个技术环节的技术水平的落后,以多种现代科学技术为支撑的现代天气预报流程在我国还没有有效的建立起来。我国的变分同化系

统还在研究试验阶段,目前使用于数值预报的观测资料还是以常规探空资料为主,雷达、卫星等非常规资料的应用是薄弱环节,大量的自动气象站资料应用正处于研究试验阶段,数值预报模式的初始场与实际的大气状态有较大的偏差,数值预报的质量不高。与欧洲中期预报中心、美国、加拿大、德国等相比我国数值天气预报的精度和时效尚有差距,目前,世界上主要的业务中心,如美国、加拿大、欧洲中期天气预报中心等都开发了三维或四维变分同化系统,并在业务上得到应用,大量的卫星资料进入数值预报模式,数值预报初始场的准确程度大幅度改善,预报水平明显提高。特别是降水预报和台风路径预报我国模式的预报质量不稳定,还难以被预报员充分接受。数值预报产品的使用水平偏低,既缺乏系统的技术开发,也没有全面投入实际业务。我国的预报制作平台与美国等发达国家相比也有一定的差距,已经投入业务的MICAPS系统曾经达到国际先进水平,但是,由于升级改造过程太长和用户界面不甚友好等原因,使本来具有的优势迅速丧失,与发达国家的预报制作平台的差距拉大。

3.1 大气探测技术方面的差距

90年代以来美国通过其气象现代化计划使当代的雷达、卫星探测技术与常规探测的自动化在业务中得到广泛的应用,新一代的气象卫星、遍布全国的多普勒天气雷达网及自动气象站网、重点地区的风廓线仪网与中尺度监测网等提供了前所未有的时、空高分辨率的探测数据,不仅为研究工作创造了更好的条件,也使业务预报中预报员所接触的信息内容、分析方法发生巨大变化,积累了新的经验。而我国在这方面也做了大量的工作,但存在一种现象:重视硬件和观测,产品应用投入欠缺,没有发挥应有的效益^[5]。

3.2 数值预报方面的差距

中尺度数值预报的业务化是90年代数值预报领域的一大成就。包含复杂物理过程

的高分辨率中尺度业务预报模式与同化系统提供了可靠、丰富的分析、预报产品,在局地天气预报中发挥了巨大作用。预报员在日常业务中得到的指导产品不仅仅是关于大尺度天气形势信息,也包括各种地面要素与各种尺度的大气运动物理参数。“天气预报以数值预报为基础”这一说法有了更全面更深刻的涵义。但省级气象部门运行的中尺度模式,尚需结合本地特色进行改进,在产品应用上应加大力度。

3.3 北京、上海局地强天气的启示

“7.10”北京刚刚经历特大暴雨的考验,“7.12”又一场狂风骤雨突然袭击了上海。从频频发生的局地气象灾害,使我们进一步认识到应该加强对中尺度系统及其形成机理的深入研究;加速中尺度系统监测网的建设,关键时段需增加监测的时空分辨率;加强临近预报和短时预报;充分利用已有的雷达图像及其拼图;加强联防和信息共享,优势互补。

与大尺度天气学相比,中尺度暴雨研究尤其是大暴雨和特大暴雨的预报方法尚未成熟,主要应从以下几方面着手解决:一是理论问题,不同尺度之间的相互制约、相互作用,仍然是当今气象科学中迫切需要解决的问题。二是资料和分析技术问题,需要组织各种类型的中尺度天气加强观测和野外试验。不同地域的暴雨特点差异较大,对全国各地不同环境下发生的突发性灾害性天气的特殊性需加以深入研究。三是研究与应用还要加强沟通、结合,研究也要立足于应用,与天气预报有关的研究课题应当由研究和业务人员共同承担,这样有利于研究成果的业务转化。研究的成果要及时成为预报业务中思路的启示,预报人员也应及时了解研究动态,并尝试应用最新成果,使最新的科研成果在业务预报中发挥重要作用。

4 天气预报未来前进方向的思考

天气预报向全时空精细化方向发展,美国等发达国家提出了发展时间尺度涵盖从数

分钟到数十年,空间水平尺度从数百米到全球范围,空间垂直尺度从海洋表层到“空间天气”的“无缝隙”预报的概念,以逐步实现对各种时空尺度上大气现象和要素的预报,并努力做到预报产品及预报制作方式和流程的“无缝隙化”,这将是预报技术和产品的重要导向。同时,由单一天气预报领域向更广的领域拓展。美国、英国等国家已开始向环境领域拓展,着眼于天气对环境影响的多样化预报服务。展望未来,天气预报业务将大大突破现有范畴,向气候系统领域和地球环境领域转变,实现对大气及相关环境的要素进行监测预报。上述发展目标可以通过以下途径逐步实现:

(1) 挖掘数值预报的潜力,中西产品结合、扬长避短。数值预报有着坚实的物理基础,它是实现预报客观化、量化、自动化的重要途径,存在着改进预报水平的巨大潜力。80年代以来,我们先后接收欧洲中期天气预报中心、美国国家气象中心及日本气象厅所发布的数值预报产品,最近还接收德国、英国的数值预报产品,这些产品在各级气象台得到了较好的使用。但是,他们所能提供的预报产品在数量上和时效上都远不能满足天气预报业务发展及拓宽预报领域的需求,这些单层次、单要素产品对完整描述大气结构及变化显然是不够的。如果仅仅依赖别国的数值预报产品我们就会十分被动。因此,我们既不排除国外的产品,更要立足于积极、努力地大量的我国自己的数值天气预报众多产品中挖掘反映3维大气变化的物理信息,做到中西产品结合、掌握各种产品性能、扬长避短。同时也利用我国自己的数值预报时效快的特点,更及时地做好服务。

(2) 对数值预报产品进行“无缝隙”应用。面对越来越多的数值预报产品,在有限的预报制作时间内,对数值预报产品去粗取精、有的放矢的使用的确不是一件容易的事情。不同尺度数值预报系统侧重于不同时空

尺度的大气过程的预报问题。因此建议,①对于短时临近—短期预报,可以更多地应用卫星、雷达、自动站等非常规资料和中尺度/有限区域数值预报产品,重点分析和掌握中尺度模式系统对气象要素及其短时变化的预报性能。②对于短期—中期预报,2~5天预报以应用全球中期数值预报产品为主,特别注意把握中期数值模式系统对大尺度环流的变化、调整和大范围降水的发生发展的预报性能;而6~10天可以把重点放在对中期集合预报产品的应用上,以分析和预报大尺度环流和大范围降水发展演变的可能性(即概率)为主要目标。③对于10~30天预报,虽然目前还主要是统计经验方法,但未来应该建立在发展以反映大气物理规律的动力延伸预报基础之上。使“无缝隙”天气预报建立在数值预报产品“无缝隙”应用的基础之上。

(3)以研究总结为支撑积累新型预报经验。随着数值预报水平的逐渐提高,它在天气预报中的作用越来越大。然而,观测误差、模式误差和大气系统的非线性特性,我国南北东西、地理位置、地形及陆面状况各有特点,使数值预报永远不可能绝对地预报准确,所以预报员的作用总是应该发挥的,预报员永远是天气预报的主体。在新的预报技术条件下,提高预报技能不能再靠过去“媳妇熬成婆”——花长时间积累天气学经验的途径,而

应该走出一条以研究总结为支撑、不断在业务中实践和积累新型预报经验的道路。既要随时跟踪了解对数值预报产品定期的统计检验结果,更要通过在实际预报工作中加强观察意识和不断进行总结,来把握各种数值预报产品的性能,积累数值预报产品应用经验。尤其是中央气象台和省台预报员,要通过对不同地域、典型代表区天气的深入研究,加强对不同天气发生发展物理规律的认识,从而提高数值预报产品的应用质量,减少盲目性、增强针对性,成为拥有丰富数值预报应用经验和天气学经验、物理概念清楚、能对数值预报结果进行正确修正的新型天气预报专家,也应当成为在不断实践中总结提炼科学问题、进行科学研究、提高对大气运动规律的新认识的预报科学家。

参考文献

- 1 周秀骥,吴国雄.第一卷:重大科学技术问题与现代气象业务,中国气象事业发展战略研究.
- 2 裘国庆主编.国家气象中心50年.北京:气象出版社,2000:89~109.
- 3 施培量等.国家气象中心信息网络支持系统.天气与气候,2002:8~10.
- 4 施培量.国家气象中心高性能计算环境的建设.国家气象中心科技年报B册,1996:67.
- 5 薛纪善.美国天气预报技术的发展.气象,1998,24(11):3~11.

Advances in Operational Weather Forecast in China

Li Zechun Bi Baogui Zhu Tong Wang Youheng Niu Ruoyun

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The current development of the operational weather forecast in China is presented. It suggests that it is the technological development of the atmospheric probing, the numerical weather forecast and the visualization that impels the conventional weather forecast in China toward quantization and timing, while the development process of and problems in weather forecast are systematically mentioned. Finally, the inspirations drawn for China's weather forecasts are put forward.

Key Words: atmospheric probing weather forecast numerical weather forecast supercomputer