

薛纪善

(广东省气象局, 广州 510080)

提 要

介绍了美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美国传统的天气预报向定量与定时方向发展。定量降水预报的实现是天气预报由定性走向定量的重要标志。在充分利用数值模式产品的基础上综合应用卫星与雷达资料建立客观预报工具在暴雨和强对流天气预报中取得较好效果;中尺度分析业务系统的不断改进使降水预报的技巧有明显提高。作者还介绍了美国数值预报产品释用及预报业务系统的概况。最后提出了对我国天气预报技术发展的启示。

关键词: 天气预报 数值预报 卫星 雷达

1 天气预报技术发展背景与方向

天气预报作为一种实用技术,其发展离不开大气科学理论与其他相关科学技术的进步。纵观近年美国天气预报技术的发展,可以发现是与三个领域的科学技术成就紧密相联系的。

1.1 大气探测技术的发展

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高时、空分辨率的探测数据,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。

1.2 数值预报的发展

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。高分辨率的包含复杂物理过程的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。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。

1.3 可视化技术的发展

随着探测技术与数值预报的发展,预报员越来越面临着如何消化急剧膨胀的信息的难题,计算机可视化技术不仅为综合大量信息以及形象化的显示提供了有效的手段,还帮助预报员与研究人员从新的视角分析认识天气系统的机理,从而推进了天气动力学理论的发展。

在这些相关科学技术的推动下,美国传

统的常规项目的预报向定量与定时方向发展,而中尺度天气系统的预报逐步业务化,不仅使面向公众的天气预报与危险天气的警报内容更加细致,质量不断提高,并使各种专业预报也有很大发展,美国气象学会主席 R. McPherson 在一个报告中宣称:当前不仅越来越多的人相信我们的预报,更重要的是越来越多的人已经根据天气预报来决定自己的日常行动。这是对当前天气预报技术水平与可信度的很好概括。

2 几个主要领域的成就

2.1 定量降水预报与暴雨预报

定量降水预报(QPF)的实现是天气预报由定性走向定量的重要标志,由于数值模式的发展,其预报的降水量已有很大的参考价值。F. Mesinger 比较了美国国家环境预报中心(NCEP)目前的业务有限区模式与以前的业务模式,指出90年代模式降水定量预报的进展是十分明显的,同时有限区模式比其相嵌套的大尺度模式的降水预报有明显改进,而且其优势可以一直持续到48小时。提高数值模式的QPF的一个重要措施是提高其分辨率,特别是提高地形、地面参数的分辨率。为此正在发展更高分辨率的中尺度模式,并使之投入业务使用,但也有人采用更简单的办法,如S. Archer在NCEP模式基础上,运行一个定常的地形降水模式,其地形分辨率达1km,尽管并不进行显式的云微物理过程计算,但降水预报却有改进。

尽管数值模式已有很大进展,但目前还存在各种技术与资源上的困难。因此实际的定量降水预报在充分考虑数值模式产品基础上,综合应用卫星与多普勒天气雷达(WSR-88D)与其他中尺度监测信息,对局地的中尺度特征作再分析,并建立客观预报工具。这里要着重提到卫星资料的应用,美国这方面的研究开发相当活跃。例如美国国家环境卫星资料信息局(NESDIS)的R. Scofield等充分

发挥GOES卫星的 6.7μ 水汽图在确定各种强度的风垂直切变与垂直运动区以及对流层上层的干、湿区方面的作用。综合了卫星导出的可降水量(PW)、 6.7μ 水汽资料与数值模式的参数形成一个预报暴雨洪水的方法,可以预报包括75mm/天以上暴雨在内的各级别降水,再如NESDIS的G. Vicente等根据GOES-8的红外 10.7μ 亮温与地面雷达观测的降水之间的统计关系,并经过数值模式得到的PW与相对湿度(RH)及云顶温度变化的修正,进行分辨率为2km的每小时降水量估计,再将其应用到暴雨与洪水预报中。美国国家天气局(NWS)的技术发展实验室(TDL)还开发了一个综合利用卫星资料与数值模式产品的预报方法,它建立在各种等级的降水与卫星观测的云顶温度统计关系基础上,并利用数值模式产品对卫星观测值进行外推以及模式的湿度、稳定度预报等,在全国范围分别建立预报关系,取得了较好的效果。

2.2 强对流天气预报

在全国范围布设的WSR-88D雷达网为强对流的监测预警提供了有效手段。近年来,多普勒雷达观测,结合风廓线仪、卫星等观测以及中尺度模式的模拟不仅揭示了对流活动的不少规律,还形成了一些实用的预报方法。在WSR-88D中就安装有专门的软件(如Build 9),包括中尺度气旋、风暴的识别和跟踪程序,并进行冰雹的概率预报。这些软件已经在一部分台站使用,并根据应用情况不断进行改进。对一些特强的对流系统的研究表明,常规基本气象参数的相对强度一般不能反映超常强度对流系统的产生条件。多数情况下,中尺度外流边界、锋前槽、土壤湿度的梯度等中尺度特征在对流产生、龙卷的形成与加强等方面都有重要意义,这方面的研究得到普遍关注。例如,根据雷达资料利用伴随模式还可以求出细致的边界层要素场,由此

可以分析尺度在几公里量级的辐合带,初步结果表明,对风暴的生长与衰减有较大预报意义。

微暴流是强对流系统的一个重要类别。其重点是地面的最大阵风,除了多普勒雷达外,卫星资料也在微暴流预报中得到广泛应用。NESDIS 在 1997 年夏季首次提供了由 GOES 卫星探空导出的每小时微暴流环境条件参数,包括用于估计最大地面阵风的风指数,干微暴流潜在指数。初步评估表明这些产品很有价值。

2.3 中尺度分析

中尺度分析的资料主体是各种非常规观测资料。这些资料的质量控制对于保证分析的正确性有特殊意义,除了传统的方法外,最近预报系统研究所(FSL)的 J. McGinley 等提出了一个根据 Kalman 滤波的思路建立的地区资料质量控制方法,可以在小型计算机上实现,因而有应用潜力。

水汽、云与降水分析是中尺度分析的一个重要内容。由于常规探空时、空分辨率不足,因而大量借助于卫星资料。如用 GOES 云图来订正水汽分析,根据 GOES 的多谱测量进行降水的反演等。

中尺度分析在美国已经业务化。NCEP 从 1994 年起运行一个业务中尺度分析系统(简称为 RUC),1997 年底开始又升级为 RUC-2。不仅分辨率由 60km 提高到 40km,同化周期由 3 小时缩短为 1 小时,并且使用了大量新的资料,如 WSR-88 雷达的 VAD 风廓线、由 GOES 卫星得到的可降水量,云迹风、边界层风廓线仪的风与 RASS 的温度观测资料,并包括了更细致的陆面与水面信息,如每日的 50km 分辨率海温与 14km 分辨率的湖面温度,每日的雪盖与雪深,0.14° lat 分辨率的每月植被指数等,同化所采用的模式也对物理过程进行了升级。这个新版系统还在发展中,计划在 1998 年实现三维变分

分析与每小时全美范围的三维云分析,并在 1999 年将水平分辨率提高到 20km,可以说 RUC-2 代表了本世纪末美国中尺度分析所达到的水平。根据初步统计,它使降水预报的技巧分数有明显提高。

2.4 数值预报产品释用

模式输出统计(MOS)一直是美国普遍采用的释用方法。TDL 一直致力于在气象台的高级人机交互系统(AWIPS)上开发局地的 MOS 系统(LAMP),这个系统已于 1997 年 3 月起在三个预报台试用,并将在全国推广。计划每小时运行一次,以 20km 的水平网格给出未来 20 小时内的逐时基本要素预报,如温度、露点、降水概率(包括微量降水)、降水类型、视程障碍、能见度、云高、三个层次云量、风向、风速等。它采用三类预报因子,即最近的地面资料、局地平流模式的输出与 NCEP 的 MOS 指导,其中平流模式的结果还经过 WSR-88D 拼图资料作进一步修正。根据一些个例的分析,LAMP 比目前的 MOS 在全美范围内均有改进,而且这种改进在美国西部更明显,评分可提高 15% 以上。

关于建立 MOS 方程所采用的资料序列长度也进行了研究。由于模式发展变化很快,象早期那样积累长序列资料后再发展 MOS 方程已不可能。一些研究表明,利用短序列建立 MOS 方程是可行的,这里的基本观点是开发 MOS 方程必须充分发挥模式改进的效益,而不要拘泥于传统的统计方法的要求上。

数值预报产品的释用并不局限于 MOS 一类方法,例如有人利用模式产品来确定最不稳定层次,以这个高度的风外推预报地面最大阵风,其结果比 MOS 预报有改进。另外数值预报产品在以雷达、卫星资料为基础的各种预报方法中也得到了广泛的应用。这些已在其他几节中提到。

2.5 预报业务系统

根据美国 90 年代气象现代化计划,在每

个预报台都配备高级人机交互系统。NWS、国家强风暴实验室(NSSL)与国家大气研究中心(NCAR)等单位在AWIPS框架内或与AWIPS相结合,进行了多个预报警报制作发布业务系统的开发。对流分析与短时预报系统(SCAN)的目的是在AWIPS框架内进行对流的形成与活动的监测、分析与预报、警报,并将过去的分散研究成果集成为一个综合方法。整个系统包括监测与预报两大模块。前者是对雷暴与降水进行自动监测与强度分类,后者包括专家系统的短时预报与短期预报的指导产品。WDSS是另一个警报决策的支持系统,目前已在一部分地方台使用。它包括风暴单体的识别与跟踪(SCIT)、冰雹的测定(HDA)、中尺度气旋的测定(MDA)、龙卷测定(TDA)、破坏性下击暴流的预报与测定(DDPDA)、有界弱回波区的测定(BWER)等方法。此外还包括两个资料集成方法与利用卫星诊断风暴顶的方法,以及WSR-88D资料的一些算法。所有方法的结果都采用交互方式显示出来,十分适合预报员在繁忙的环境下制作警报。目前正在开发新一代的WDSS,它将改变目前只使用单部雷达的状态,而采用多部雷达的信息帮助作出警报,并考虑卫星资料与雷达及其他观测综合进行显示。并与AWIPS结合直接形成警报文本。

3 对我国天气预报技术发展的启示

3.1 美国当代天气预报技术进步很大程度上得益于探测技术与数值预报的发展,特别是中尺度监测技术与中尺度预报。美国的经验表明天气预报要从定性走向定量,不断提高精度与准确率,都离不开这两个基础。因此在气象现代化过程中这两项工作应处于特殊优先的位置。当前我国的中尺度监测网的建设与中尺度数值预报都已开始起步,但水平

还较低,进程也不能算很快,应引起特别关注。

3.2 卫星与雷达资料除了提供关于当前云区与降水分布等简单天气实况信息外,还可以提供关于大气运动的许多信息,可以成为建立预报方法的基础,特别是它们与数值模式产品结合可以形成有实用价值的预报业务系统。我国这方面的工作相当薄弱,特别在多数业务单位,卫星与雷达资料的应用还停留在初等的水平上,既浪费了资源,又阻碍了预报水平的提高,这方面的工作急待加强。

3.3 数值预报产品的释用在我国已有多年的基础,但在业务预报中始终没有成为主角。这一方面是因为我们的模式水平还有待提高,另一方面也是因为释用方法简单,对数值产品的潜力发掘不足,特别是与雷达、卫星资料有机结合得到成果很少,我们需要借鉴国外的做法,在提高模式水平的同时,花大力气提高释用水平,逐步摆脱以半经验的、主观定性方法为主制作业务预报的状态,从而真正实现客观、定量的目标,使预报的精度与准确率有所突破。

3.4 以MICAPS系统为代表我国以计算机(工作站或微机)为工作平台的预报业务系统的开发在我国取得了很大成绩。但我们应清醒地看到,目前我们开发的大部分预报业务系统的主要功能还是分析显示传统的图表与图象。综合多方面的信息制作预报的功能相对较弱。当前有必要在MICAPS等系统的框架内组织起类似于建立SCAN,WDSS等系统的工作。同时当代的可视化技术在天气研究中的作用也应引起重视,使之在帮助预报员综合多方面的探测信息,形成新的天气概念方面发挥作用。

(下转 53 页)

The Development of Weather Foreacst Technology in the United States

Xue Jishan

(Guangdong Meteorological Bureau, Guangzhou 510080)

Abstract

The current development of weather forecast technigue in the United States was presented. It is suggested that it is the technological development of the atmospheric probing, the numerical weather forecast and the visualization that impels the conventional weather forecast in the United States toward quantization and timing. The realization of quantitative precipitation forecast is an important mark of qualitative toward the quantitative weather forecast. On the basis of making the best use of the numerical model products, composing satellite and radar data, the method of the objective forecast is established. It makes a good effect on the forecasts of heavy rain and severe convective weather. The advancing of meso-analysis of operational forecast system improves obviously the forecasting skill of precipitation. The interpretation of numerical weather forecast product and the operational forecast system in the United States are presented. Finally, the inspirations drawn for China's weather forecasts have been put forward.

Key Words: Weather forecast numerical weather forecast satellite radar