



省地气象台 短期预报岗位培训教材

邵东

中国气象局科教司

气象出版社

省地气象台
短期预报岗位培训教材
马鹤东

中国气象局科教司

气象出版社

内 容 简 介

本书是气象部门省地气象台短期预报岗位业务培训系列教材之一,主要介绍省地气象台气象预报员应扩展的新知识和未来应用计算机人机交互处理系统工作平台制作气象预报的方法。全书共七章,内容包括:我国天气预报业务现状与展望、VSAT 卫星通信系统和计算机网络技术简介、气象信息综合分析处理系统、数值预报产品应用方法、气象卫星图像在天气分析和预报中的应用、天气雷达资料应用方法、综合分析与预报。

本书主要供气象预报业务和管理人员阅读,也可作为高等院校气象专业教师和学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

省地气象台短期预报岗位培训教材/中国气象局科教司
编. —北京:气象出版社,1998. 10
ISBN 7-5029-2618-6

I. 省… II. 中… III. 短期天气预报-技术培训-教材
IV. P456.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30211 号

省地气象台短期预报岗位培训教材

中国气象局科教司

责任编辑:王桂梅 终审:纪乃晋

封面设计:林雨晨 责任技编:陶国庆 责任校对:谷 青

气象出版社 出版

(北京海淀区白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:16.375 字数:419 千字

1998 年 10 月第一版 1998 年 10 月第一次印刷

印数:1—5600 定价:26.00 元

序

中国气象局自 1984 年实施《气象现代化发展纲要》以来,在业务现代化建设方面取得了长足的进步,特别是继“七五”期间中期数值预报业务系统建成并投入业务运用后,“八五”期间,又有“气象卫星综合运用业务系统”相继建成,进入“九五”期间后,目前正抓紧实施短期气候预测业务系统建设,这一项项业务系统的建成和实施,新技术新装备的应用,带来气象业务技术领域深刻变革,要充分发挥气象现代化建设效益,对气象人员的知识结构和业务技能提出了新的要求。

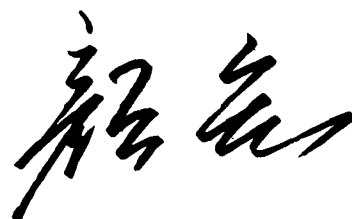
展望未来,中国气象局在《全国气象事业发展规划(1996~2010 年)》中提出,未来气象事业发展分两步走,气象业务现代化建设的总体水平上两个大台阶:第一步,到 2000 年达到同期国际中上水平,亚洲先进水平,某些方面接近或达到同期国际先进水平;第二步,到 2010 年接近同期国际先进水平,某些方面达到同期国际先进水平。要实现这一宏伟目标,科技是关键,人才是根本。为此,中国气象局提出,实施“科教兴气象”和“气象可持续发展”战略,并在“九五”期间气象教育发展规划中,提出要大力加强高层次人才培养和大力加强继续教育、岗位培训。

1998 年全国气象局长会议确定将省地气象台短期预报岗位培训作为开展岗位资格培训、实施持证上岗制度试点。开展岗位培训,需要一套合适的培训教材。中国气象局按照气象业务岗位要求,组织有丰富实践经验的气象专家、教授编著了《省地气象台短期预报岗位培训教材》,为在气象部门开展预报岗位培训奠定了基础。遵循岗位培训工作“按需施教、注重实效”的原则,该教材适应未来气象业务技术现代化建设发展需求,结合现行预报业务技术和在岗人员的实际,介绍了预报员应扩展的新知识和未来应用计算机人机交互处理系统工作平台制作气象预报的新技术、新方法。

本书的编著者是一个专家群体,他们之中,有一直从事预报且经验丰富的气象专家,有多年从事卫星和雷达气象研究和计算机开发应用的学科带头人,也有多年从事气象教育与研究工作的教授以及中国气象局业务发展与天气司的领导同志,这正是本书得以重适用、高质量的重要原因。

气象部门开展岗位培训,实施持证上岗制度的工作正在起步,《省地气象台短期预报岗位培训教材》一书的问世,是气象部门其它岗位培训工作编好教材的良好开端,人们将一定会对她充分瞩目。我想,随着气象部门岗位培训工作的不断深入,更多、更好的著作将应运而生。

中国气象局副局长

A large, bold, handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Yun, the Vice Chairman of the State Meteorological Administration.

1998年3月12日

前 言

随着气象现代化建设的快速发展,特别是“气象卫星综合应用业务系统”(简称 9210 工程)的实施与建成,将极大地改变现行气象业务体制和运行流程,对各级天气预报人员的知识结构和预报技能提出了新的要求。中国气象局一贯十分重视气象科技人员的知识更新,为适应现代化建设的发展,必须狠抓在职人员的培训,以全面提高气象工作者素质,充分发挥气象现代化建设的综合效益。

为配合气象部门基本气象系统岗位规范全面实施,中国气象局科教司与天气司、人事司就如何开展岗位培训进行了多次深入的研究。为尽快发挥 9210 工程的效益,决定先选择预报岗位进行岗位培训试点,首先对省、地气象台短期预报岗位人员进行培训,然后再逐步开展其他关键岗位的培训。

有计划地大规模开展气象业务岗位培训,在中国气象局历史上是第一次,因此,培训教材的编写就成为关键。经天气预报业务主管部门推荐,由科教司组织有关专家组成了教材编写组。在编写组经过调研拟定的《省地气象台短期预报岗位培训教材编写提纲》的基础上,科教司先后组织了两次审定会,对“提纲”进行了审定,并对教材的编写提出了要突出“三性”,即针对性——紧密结合省地级气象台短期预报岗位工作实际、必备知识和操作技能来编写;先进性——内容能反映气象业务技术发展新理论、新技术、新方法;实用性——侧重业务技能和方法,简明扼要,好学易懂,操作性强。编写人员在时间紧、任务重的情况下,克服各种困难,经过一年多的笔耕力作,终于按计划完成了本书文稿,并经编辑印成讲义教材,在 1997 年 12 月和 1998 年 5 月科教司举办的两期师资骨干培训班上作了教学试用后,又广泛征求意见,进行修改。正式出版之前,再次征求了业务管理部门对教材的修改意见,又请何夏江、林锦瑞、葛润生同志作了审阅。

参加教材编写的主要人员有章国材(第一章)、喻纪新(第二章)、郭亚田(第三章)、陆茹华、夏建国(第四章)、江吉喜、方宗义(第五章)、杜秉玉、张沛源、张培昌(第六章)、江剑民(第七章)。

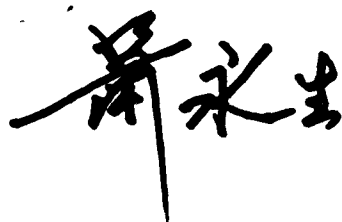
我们深知,在如此短促的时间里要完成这样一本内容丰富、实用性

较强的教材,并非易事。尽管我们做了最大的努力,撰稿、审稿、编辑人员付出了辛勤的劳动,如今奉献在读者面前的这本教材,错误和不当之处在所难免。因此,诚恳地希望广大读者和各省(区、市)气象局在阅读、使用本教材后,对教材提出宝贵意见,以便我们作进一步补充修订。

为提高岗位培训质量和效益,我们还制作与本教材相配套的教学录像带,以便于各省(区、市)气象局根据人员分布情况,采取电化教学形式,在本地组织省、地气象台短期预报人员岗位培训。

最后,我们谨向所有为本教材付出辛勤劳动的同志们致以诚挚的谢意!

中国气象局科技教育司司长

A handwritten signature in black ink, appearing to read '肖永生' (Xiao Yongsheng), written in a cursive style.

1998年5月

目 录

第一章 我国天气预报业务现状与展望	(1)
§ 1.1 历史的回顾.....	(1)
§ 1.2 天气预报发展动态.....	(3)
§ 1.3 2010 年以前我国天气预报业务发展的目标和主要任务	(4)
§ 1.4 关于天气预报业务技术体制改革的思考.....	(6)
第二章 VSAT 卫星通信系统、计算机网络技术简介	(14)
§ 2.1 气象 VSAT 通信系统简介	(14)
§ 2.2 微机网络技术简介.....	(20)
§ 2.3 机房环境.....	(22)
第三章 气象信息综合分析处理系统	(24)
§ 3.1 运行环境.....	(24)
§ 3.2 MICAPS 系统软件的内部结构	(25)
§ 3.3 系统管理.....	(26)
§ 3.4 MICAPS 主窗口	(40)
§ 3.5 数据检索.....	(42)
§ 3.6 图形操作.....	(48)
§ 3.7 图形编辑.....	(53)
§ 3.8 检索实时产品和站点信息.....	(58)
§ 3.9 预报结果生成.....	(63)
§ 3.10 外围功能	(66)
附录:MICAPS 数据文件格式	(67)
第四章 数值预报产品应用方法	(74)
§ 4.1 国家气象中心数值预报产品应用及其模式性能介绍.....	(74)
§ 4.2 卡尔曼滤波方法应用.....	(86)
§ 4.3 数值产品的统计释用方法.....	(92)
§ 4.4 数值产品的动力释用方法	(111)
§ 4.5 数值产品的诊断预报方法	(117)
第五章 气象卫星图像在天气分析和预报中的应用.....	(127)
§ 5.1 气象卫星的现状和发展	(127)
§ 5.2 大气辐射基础知识和卫星遥感	(130)
§ 5.3 气象卫星资料处理简介	(133)
§ 5.4 卫星图像的识别和分析	(137)
§ 5.5 一些重要天气系统的云型特征	(144)
§ 5.6 暴雨和强对流天气的分析预报	(150)
§ 5.7 热带天气分析	(161)

§ 5.8	卫星资料的降水估计方法	(167)
§ 5.9	水汽图像及其应用简介	(171)
第六章	天气雷达资料应用方法.....	(179)
§ 6.1	雷达气象基础知识	(179)
§ 6.2	雷达回波分析的基本方法及注意事项	(186)
§ 6.3	各类天气系统的雷达回波特征	(194)
§ 6.4	灾害性天气的雷达回波特征	(202)
§ 6.5	天气警报和临近预报	(208)
§ 6.6	雷达气象新技术和新方法介绍	(211)
第七章	综合分析 with 预报.....	(221)
§ 7.1	预报员一般思考和 workflow	(221)
§ 7.2	天气尺度影响系统分析补充	(230)
§ 7.3	中小尺度影响系统分析	(234)
§ 7.4	客观综合预报方法	(243)
参考文献		

第一章 我国天气预报业务现状与展望

天气预报是气象工作的重点之一,特别是灾害性天气预报和警报对国民经济和国防建设有重大影响,关系到人民生命财产安全和社会稳定,因此备受各级党政领导和人民群众的重视。

§ 1.1 历史的回顾

党的十一届三中全会以后,经过拨乱反正,当时的中央气象局已确立了以数值分析预报产品为基础,综合运用各种气象信息和预报技术方法的天气预报技术路线,这是天气预报业务指导思想的重大转折。在这条技术路线的指引下,数值天气预报业务获得了快速发展。1982年2月,北半球模式(称为大B模式,垂直5层,水平分辨率为381km)正式投入业务运行,每天作北半球3天预报;有限区域模式(称为小B模式,垂直5层,水平分辨率为190.5km)也于同年4月投入业务运行。这是一个在M-170计算机上运行的自动化程度比较高的短期数值天气预报业务系统,开创了我国数值天气预报业务的先河。随后,又开展了中期数值天气预报业务系统的攻关工作,在引进吸收国外先进科学技术的基础上,建立了我国中期数值天气预报业务系统。1991年6月,北半球谱模式T42L9在Cyber962(峰值速度为1480万次每秒浮点运算)上投入业务运行,制作北半球5天预报,同年9月作全球5天预报的T42L9在Cyber992上运行(峰值速度为3460万次每秒浮点运算);有限区域数值天气预报业务系统也更新为LAFS(垂直15层,水平分辨率为1.875°)。1993年3月国家气象中心安装了国产的银河Ⅱ巨型机(峰值速度为4亿次每秒浮点运算),为打破美国对中国出口高性能计算机的限制起到了重要作用;经过8年长期的努力,1993年美国终于批准了CRAY机的出口,1994年6月Cray M92在国家气象中心安装,10月份更新为Cray C92(峰值速度为20亿次每秒浮点运算)。与此同时,中期数值天气预报业务系统于1995年6月升级为T63L16,6小时作一次全球同化,每天作全球7天预报;1997年6月又升级为T106L19,每6小时作一次全球同化,每天作全球10天预报;有限区域数值天气预报1995年6月也升级为HLAFS(垂直15层,水平分辨率为1°),1998年6月HLAF的分辨率进一步提高,垂直增加到21层,水平分辨率变为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。数值天气预报的质量也在不断地提高,北半球500hPa高度场的均方根误差,1996年96小时预报已经达到1990年48小时预报的水平。台风路径预报24小时误差为146.1km,48小时误差为342.6km,达到了国际先进水平。区域气象中心的数值预报业务也逐步建立起来,并为区域内的气象台站提供指导产品。

与此同时,数值分析预报产品的解释应用工作也在全国蓬勃地开展起来。70年代末,在我国数值天气预报业务系统尚未建立之前,许多省(区、市)气象局利用日本的数值预报产品开展解释应用工作,虽然那时建立的预报方法后来并没有在业务预报中继续使用,但是那几年对MOS、PPM等方法的学习和实践为以后数值分析预报产品的解释应用工作奠定了人才和技术基础。我国B模式投入业务运行后,B模式产品的解释应用工作立即在全国普遍开展起来,一些省(例如江苏)坚持对解释应用方法进行优化完善,并在业务中使用,取得较好的业务效益。但是,由于B模式的预报水平不高以及我国数值天气预报业务系统到90年代初才更新换代等方面的原因,使我国数值分析预报产品的解释应用工作在80年代中期至90年代初处于

一个低潮,直到1994年以后才重新启动,并有了较快地发展。由于这几年数值天气预报业务系统更新较快以及各地对这项工作重视程度不同,出现了发展极不平衡的现象,有的省(区、市)气象局做得比较好,坚持在业务中使用,并不断优化完善;有的省(区、市)气象局未取得任何实质性进展,仅把数值分析预报产品当作天气图来使用,预报员在值班时看一看,仅作为一种参考,以数值分析预报产品为基础这条技术路线尚未在全国所有台站得到全面的贯彻。近20年的实践证明,要真正贯彻这条技术路线,首先要大力发展数值天气预报业务系统,提高其水平;其次是把数值分析预报产品的解释应用工作真正落到实处,真抓实干,不断优化完善。

由于中期数值天气预报业务系统的建立,中期天气预报业务发生了根本性的变化。以前台站所谓的中期预报主要是旬报,作旬降水量、平均温度和降水天气过程的预报。其中,旬降水量和平均温度预报属于长期预报的范畴,用的方法也是长期预报所用的统计方法,而降水天气过程预报实际上没有方法,前两天靠短期预报,后8天的降水日主要靠降水的周期外推得到。中期数值天气预报业务系统建立之后,数值预报可用时效不断延长,欧洲数值预报中心达到8天,我国已达到6天。在这个基础上,使用解释应用技术就可以制作数值预报可用时效内逐日的天气要素预报,中期天气预报在预报技术和方法上完全脱离了长期预报,与短期天气预报一致起来。一些省(区、市)气象局抓住这个机遇,根据中国气象局的要求,已经开展了在数值预报可用时效内逐日滚动制作常规天气要素(如降水量、最高和最低气温等)预报的指导预报业务;而另一些省(区、市)气象局还未“醒”过来,没有见诸于行动。

在天气雷达站没有建立之前,我国气象部门没有真正意义上的短时预报业务。军航和民航部门主要依靠1小时一次的航空危险报来制作航站和航线上的短时天气预报,而气象部门内部由于得不到航危报资料,短时预报受到了很大的限制,仅依靠所谓“看天”经验去做。70年代,我国开始了天气雷达站的建设,到目前为止,已建成由17部10cm天气雷达、38部5cm天气雷达组成的天气雷达监测网,另外还有160多部3cm天气雷达用于局地灾害性天气的监测。由于天气雷达站的建立,我国灾害性天气短时预报业务真正建立起来了。80年代我国台站开始布设静止气象卫星接收处理设备,1小时一次的可见光、红外(1997年增加了水汽)云图为短时天气预报提供了另一种非常有用的信息,灾害性天气的监测和短时预报如虎添翼,预报水平不断提高。90年代,全国和各省重大灾害性天气过程预报服务工作基本没有失误,得益于气象业务现代化建设的成果。

随着气象业务现代化建设的发展,各级台站预报业务人员获得的预报信息成百上千倍地增加。为了使预报员更好地使用天气雷达和气象卫星资料,天气雷达数字化终端和气象卫星云图显示系统进入了预报值班室;为了综合使用各类气象信息,80年代后期各省(区、市)气象局自行开发了图形图像显示系统,成为预报员作预报的辅助工具。从1995年开始,中国气象局天气司组织开发了新一代的天气预报人机交互处理系统,它将图形图像处理技术、人机交互技术、多种显示功能和编辑功能有机地结合在一起,为预报员提供了一个非常方便的工作平台,现正在全国台站推广应用,天气预报作业方式开始发生新的变化。但是从全国来看,预报员的作业方式仍然以手工劳动为主,尚未实现从传统的手工作业方式向人机交互处理方式转变,大量的预报信息尚未在预报中使用。

数值天气预报业务系统的不断升级、天气雷达和气象卫星资料接收处理系统的建设,也使短期天气预报质量不断提高,据统计,1991~1995年一般降水的短期预报准确率比80年代提高了4.3个百分点。

总而言之,十一届三中全会以来的20年是我国天气预报业务发展最快、最好的时期。但也

应清醒地认识到,天气预报业务中还存在的一些问题,主要有以下三个方面:

第一,资料同化系统落后于其它系统建设。在数值天气预报业务系统中,资料同化系统与国外先进水平尚有很大差距,气象卫星资料、商用飞机、天气雷达观测资料等尚未同化进入业务系统;天气雷达定量测量降水工作尚未开展;气象卫星云图的使用在一些台站仅停留在“看图识字”的水平上等等。

第二,数值分析预报产品的解释应用工作尚未形成真正的业务。在美国、日本等发达国家,早已在国家级建立在数值预报可用时效内逐日滚动制作城镇或格点降水分级概率、最高和最低气温等天气要素的指导预报业务,我国即使在省级都尚未建立这项业务。数值分析预报产品客观定量应用在一些省(区、市)气象局尚未开展,一些省(区、市)气象局虽然开展了这项工作,但水平不高,尚未达到业务使用的水平。我国数值天气预报业务系统的效益有待于进一步发挥。

第三,天气预报业务体制中上下一般粗的问题没有解决,天气预报产品加工制作中的重复劳动严重,天气预报业务尚未走上集约型的发展道路。主要原因是上级台(主要是国家气象中心和省(区、市)气象台)的指导产品品种少、分辨率低、质量不高,指导不到位,不少省(区、市)气象台仍沿用 50 和 60 年代分片预报概念,对台站指导的产品与公众预报产品几乎一样粗糙,下级台站为了服务的需要,不得不独立加工服务需要的几乎所有产品,造成长期、中期、短期、短时预报产品加工制作上所谓的“上下一般粗”。

§ 1.2 天气预报发展动态

近 20 年世界天气预报业务获得了快速的实质性进展,以数值分析预报产品为基础,综合运用各种气象信息和预报技术方法这种技术路线愈益突出。

由于遥感资料的增加,资料的四维同化和分析方案获得突破性进展,数值预报的精度提高,预报时效延长。很多国家实现了商用飞机观测资料的同化;美国中部地区风廓线示范网的资料同化进入数值预报系统后,对于提高降水和风短期预报的精度起到了重要的作用。90 年代初,气象卫星反演资料的使用也只是在南半球和资料稀少地区对于数值预报起到正作用,在北半球反而起负作用。但是由于气象卫星辐射资料直接应用于数值预报模式的技术和三维、四维变分同化技术的发展,近几年气象卫星资料的同化在提高数值预报质量方面起到了重要作用。欧洲中期数值预报中心和美国国家气象中心,已经建立全球三维变分同化业务系统,本世纪末全球四维变分同化系统也将上业务。局地资料同化技术也获得了长足的进步,例如天气雷达资料的同化取得了实质性进展。天气雷达、气象卫星、自动气象站资料的综合应用,反演每小时的雨强正在许多国家投入业务使用。

由于全球资料同化系统取得实质性进展,中期数值天气预报的质量稳步上升。90 年代初,不少专家认为 T213L31 还不如 T106L19,提高中期数值天气预报模式的分辨率是不必要的。但是,由于全球资料变分同化系统的建立,T213L31 质量稳定提高了,预报可用时效中高纬度达到 8 天。不仅 ECMWF 和美国,而且日本、加拿大、澳大利亚,甚至韩国等的中期数值天气预报模式水平分辨率都已达到了 60km,垂直大于 30 层。在变化同化方案中使用的模式分辨率更高。随着资料同化系统的优化完善,物理过程的描述更接近实际,预计到下世纪初,中期数值天气预报可用时效中高纬将达到 10 天,低纬度将达到 5 天。

由于大气是一个非线性的耗散系统,依赖于初值的确定性预报的时效是有限的,到了一定的时效,有可能出现分岔,对初值非常敏感。为了进一步延长预报时效(世界气象组织定义 10

天至1个月的预报为延伸预报),集合预报在许多国家发展起来,它对于延长预报时效、提高预报的精度和减少预报的不确定性等方面将发挥重要作用。

有限区域数值天气预报模式正在全面向中尺度预报模式发展,从全球模式中引进边界值,从稠密的探测网中获取常规和非常规的观测资料,物理过程得到进一步完善,水平和垂直分辨率不断提高。水平分辨率为几公里的三维边界层模式和非静力平衡的中尺度模式正趋于成熟。美国天气局水平分辨率为29km的有限区域数值预报模式于1996年投入业务,水平分辨为15km左右的模式也于1998年业务化;日本气象厅目前运行的区域预报模式水平格距为20km,垂直分层为36层;德国气象局中尺度模式的分辨率已达到2km;IBM公司与美国天气局、科罗拉多州立大学合作研制的RAMS模式内分辨率也达2km,在1996年亚特兰大奥运会上使用,取得了相当好的效果。

热带气旋初值处理技术、变网格和自适应网络技术、集合预报方法等有了很大的发展,热带气旋路经预报水平有了明显的提高。

由于资料的四维同化、高分辨率的预报模式、集合预报等需要巨大的计算机资源,传统的向量巨型机已难于满足业务需求,大规模并行计算机将被广泛地应用于数值天气预报业务和科研工作中。

虽然数值天气预报业务系统已经获得很大发展,并将获得进一步的发展,不仅形势场的预报已经超过有经验的预报员的预报水平,而且天气要素的预报水平也有很大的提高。但是,天气要素预报的误差(无论是出现时间、空间分布和量值大小)比较大,还需要发展解释应用技术,预报员的经验(包括数值分析预报产品应用的经验)在很长的时期内还是十分有用的,特别是在短期天气预报和灾害性天气预报等方面,预报员的经验仍将发挥重要作用。美国天气局数值分析预报产品解释应用的业务方法仍然主要是模式输出统计法(MOS),虽然最高最低气温预报已达到不需要预报员经验订正的水平,但预报员对降水量级的经验订正仍可使预报准确率提高3~4个百分点。日本气象厅为适应数值预报模式不断改进的情况,将卡尔曼滤波和神经元网络技术作为数值分析预报产品解释应用的主要技术方法。

目前预报员在业务值班中面对的信息量比10~20年以前增加了几个数量级,为了使预报员更好更充分地使用这些信息,用更多的时间分析和思考预报问题,减少不必要的手工劳动,人机交互处理技术应运而生,它将图形图像的处理技术、人机交互技术、多种显示功能和编辑功能等结合在一起,成为预报员的工作平台。最早的预报员工作平台,应该算美国AFOS中的预报工作站了,80年代在美国台站得到广泛应用,它是一个预报专用的计算机,人机交互能力很弱,雷达回波和气象卫星云图尚没有综合进去,因此在AFOS推广之后,又在台站推广了SWISS系统,主要用于卫星云图的显示。尽管这个系统功能尚不十分齐全,但是从80年代开始,AFOS+Swiss已成为美国预报员的主要工作平台,各类预报基本上在这个平台上完成。在90年代现代计划中,美国天气局设计了一个功能齐全、人机交互处理能力强,能综合处理各种信息,并能编辑各类预报的天气预报人机交互处理系统(AWIPS)。这类预报工作平台在美国、日本等发达国家已经得到广泛的应用,成为预报员制作各类预报的主要工作平台。

§ 1.3 2010年以前我国天气预报业务发展的目标和主要任务

根据《全国基本气象信息加工分析预测系统发展规划(1996~2010年)》,天气预报业务发展的目标是:

到 2000 年,初步建立以数值预报为基础的新一代天气预报业务系统,建立与之相适应的业务技术流程,进行中尺度数值天气预报业务系统的业务试验,中期数值天气预报可用时效在中高纬度达到 7 天,低纬度达到 4 天。

到 2010 年,形成比较现代化的新一代天气预报业务技术体系,建成具有预报强对流发生发展能力的中尺度数值预报业务系统,短期预报准确率在现有基础上提高 3%~5%,中期数值天气预报可用时效中高纬度达到 10 天,低纬度达到 5 天,重要天气过程和天气要素预报更加准确,对灾害性天气的预报能力明显提高,在防灾减灾等方面发挥更大作用,总体业务水平接近同期国际先进水平,某些方面达到同期国际先进水平。

为了实现上述目标,天气预报工作的重点任务:

大力发展全球和局地资料同化技术,重点加强卫星资料和其它非常规资料的四维同化工作,争取在本世纪末建立三维资料同化业务系统,建立天气雷达数字化信息拼图和定量测量降水业务;下世纪初,建立四维变分同化分析业务系统,开展气象卫星辐射资料直接应用于数值预报模式的业务工作。发展气象卫星资料、多普勒天气雷达资料、风廓线和其它地基遥感资料的处理技术和方法,提高对天气系统特别是灾害性天气的监测诊断识别水平,加强其在短时和临近天气预报中的综合应用。

中期数值天气预报系统 2000 年水平分辨率达到 60km,垂直超过 30 层,可用预报时效中高纬度达到 7 天,低纬度达到 4 天;下世纪初可用预报时效中高纬度达到 10 天,低纬度达到 5 天,在提高国内区域天气要素(特别是降水、雾和大风等)的预报准确率上取得明显进展。2000 年前,有限区域数值天气预报系统与全球中期数值天气预报系统相嵌套,完善边界和地形处理技术以及模式物理过程,水平分辨率达到 25km 左右,天气要素预报更加准确;中尺度数值预报系统,以准确预报暴雨、强对流等灾害性天气的发生发展为目标,采用嵌套技术,发展具有中尺度特点的积云对流、边界层物理过程参数化方案,吸收同化各种常规与非常规观测资料,采用高分辨率的地形和下垫面特征量,开展水平分辨率小于 10km 的中尺度数值天气预报业务试验。21 世纪初,有限区域数值天气预报全面向中尺度数值天气预报方向发展,建立以数值分析预报方法为主的中尺度天气预报业务,以气象卫星、多普勒天气雷达、风廓线仪、自动气象站等中尺度观测资料及高速通信网、高性能计算机系统为依托,在我国东部地区已建立中尺度灾害性天气监测系统的地区,建立水平分辨率为几公里的具有预报强对流发生发展能力的中尺度数值预报业务系统。

2000 年前,完善热带气旋环流的初值处理技术,内区水平分辨率提高到 25km 左右,路径的预报准确率明显提高,并具有预报热带气旋强度(中心气压)的能力。21 世纪初,继续发展完善热带气旋数值预报系统,充分利用气象卫星观测资料,提高初始场中台风环流的准确性,改进模式物理过程,采用集合预报方法,充分利用变网格和自适应网格技术,提高热带气旋的路径、强度突变及其产生的大风、暴雨的预报水平。

以数值分析预报产品为基础,综合应用多种气象信息和预报技术方法,在数值预报可用时效内,逐日滚动制作常规天气要素(降水、温度、风和湿度等)的分县预报和灾害性天气落区指导预报,提高中期和短期天气预报的准确率,特别是提高热带气旋、暴雨、强对流天气等重大灾害性、关键性天气的预报准确率。21 世纪初,常规天气要素分县预报和灾害性天气落区指导预报质量明显提高,产品更加丰富。

综合应用数值天气分析预报产品、天气雷达、气象卫星以及其它常规和非常规气象信息、制作 12 小时内灾害性天气种类、落区、强度和移动方向等预报警报产品,建立短时灾害性天气

预报警报业务技术流程,提高短时预报和临近预报水平。21 世纪初,建立和完善局地分析预报业务系统,分析同化不同精度、不同时空密度、来自不同观测系统的大气探测资料,开发新的局地预报工具,进一步提高灾害性天气的短时和临近预报警报水平。

将传统的手工作业方式转变到人机交互处理的方式上来,建立以人机交互处理工作站为主要工作平台,以数值分析预报产品为基础综合应用多种信息和预报技术方法、具有较高自动化水平的天气预报业务技术流程。21 世纪初,进一步完善规范化的、具有信息产品解释应用、图形图像处理、人工智能和预报集成等功能的人机交互天气预报警报业务系统,完善现代化的天气预报作业流程;重视智能化高新技术的应用,建立和发展具有自动识别、综合分析、预报诊断和自动分发等功能的高度自动化、智能化的集成预报业务系统。

§ 1.4 关于天气预报业务技术体制改革的思考

1.4.1 关于天气预报业务分工

目前我国有五级台站:国家级业务中心、区域气象中心、省(区、市)气象台、地(市、盟)气象台、县(市、旗)气象站,这是历史形成的。从气象服务的需要讲,应该有四级台站。因为中央、省(区、市)、地(市、盟)、县(市、旗)四级都有政府,而决策气象服务是具有中国特色的社会主义气象事业的重要特征之一,因此,决策气象服务和公众气象服务需要四级台站,即国家、省、地、县四级台站。但是预报产品加工制作是否需要五级台站,上下台站在预报产品加工制作中的相互关系如何,从理论到实践上都没有完全解决。《全国基本气象信息加工分析预测系统发展规划(1996~2010 年)》中,提出了“建立起分工合理、逐级指导、有机结合的集约型的基本气象信息加工分析预测业务体系”的任务,也提出了现阶段三级台站的任务分工。但是,随着技术体制的变化,业务体制也要跟着变化;另外各类预报,例如中短期天气要素预报、灾害性天气预报警报,上级台如何对下指导、上下台站如何有机结合都有待于深入研究。

1.4.1.1 发达国家天气预报业务技术体制简介

美国在实施 90 年代现代化和结构调整计划之前有三级台站:国家级中心(国家气象中心、国家飓风预报中心、国家强风暴预报中心),52 个天气预报服务台 WSFO(一般一个州设一个台,但是加利福尼亚州设置了 2 个 WSFO,德克萨斯州设置了 3 个 WSFO),204 个天气服务台 WSO,WSO 预报服务的范围大约相当于我国的地(市)台,而且 WSFO 和 WSO 的设置是按气候区划布局的,不是按行政区划设置台站。90 年代现代化和结构调整计划将三级台站调整为二级台建制,国家级专业预报中心大大增加,除了原来的飓风预报中心(现改名为热带预报中心)和风暴预报中心(从堪萨斯城迁到诺曼)之外,增加了环境模拟中心、业务控制中心、水文气象预报中心、航空预报中心、海洋预报中心、气候预测中心,并且将这些预报中心设置在服务任务最重的地区。将 52 个 WSFO 和 204 个 WSO 调整为 116 个天气预报台(WFO)。他们作这种调整的理由之一(业务上的理由)是,原来的 WSFO 和 WSO 预报的水平不均匀,WSFO 的预报水平高于 WSO,需要将 WSFO 与 WSO 调整为 WFO。为什么设置 116 个 WFO,这是与 90 年代现代化计划中多普勒雷达站的设置有关,为了更有效地做好灾害性天气的警报工作,美国天气局共设置了 116 部多普勒天气雷达,以覆盖全美国大陆区域。

这些国家级的专业预报中心承担全国专业预报警报工作。例如:国家热带预报中心承担全国热带气旋的预报和警报工作,以前的 WSFO 和 WSO,现在的 WFO 都不能订正它的预报和

警报,集约化程度很高。美国国家强风暴预报中心承担全国强风暴的预报警报工作,它将美国强风暴分为三个等级:强风暴(龙卷和直径 $\geq 2/3$ in^①的冰雹)、中度风暴(大风和其它冰雹)、轻度风暴(雷暴),预报警报分三个层次:一是展望,实际上是风暴的短期预报(12~48小时);二是监视(Watch),实际是短时预报,预期的预报时效为6小时;三是警报,当风暴已经出现或天气雷达监测判断将出现时发布的一种临近预报。所有的预报和警报都画出动态落区(画出强、中、轻度风暴出现区域),所用的方法主要是指迭套法。并且规定,全国强风暴的预报和警报由国家强风暴预报中心统一发布,国家强风暴预报中心发布的风暴展望和监视,下级台无权修改,仅对强风暴预报中心发布的强风暴警报,下级台站可以在自己预报责任区内根据雷达观测资料进行修订。这种集约化程度很高的业务分工,其理由有三条:①只有强风暴预报中心能获得全部数值分析预报产品、气象卫星资料、全国测站1小时一次的地面观测资料,特别是能获得全国所有天气雷达的资料,气象信息是制作各种预报警报的基础,获得的气象资料越多,越有利于做好预报警报工作。当然,其它台站(例如WSFO或WFO)如能获得这些资料也可以做这些预报,但是,这里有一个投入产出比问题,特别是天气雷达资料的传输需要大量的经费,如果让WSFO或WFO获取预报责任区内全部雷达资料,全国通信传输经费要增加几倍;另外,美国赋予设有天气雷达的WSFO和WSO(目前的WFO全部设有新一代天气雷达)强风暴警报订正的任务,也是由于天气雷达监测信息对于强风暴临近预报非常重要,同时可以充分发挥地方台预报员的地方预报经验。②美国强风暴预报有一个专业预报中心,其预报员都是通过全国公开招聘竞争上岗的,既有较好的基础知识,又有丰富的实践经验。又因为他们专门从事强风暴预报,因此,他们所具有的强风暴预报经验是最丰富的。具有丰富经验的预报员利用最丰富的气象信息制作预报应该具有在现有科技水平下的最佳水平。③美国曾经进行过三年对比试验,对比试验的结果表明,强风暴预报中心的强风暴的展望、监视水平高于WSFO和WSO的同类预报水平,订正反而使预报水平下降,由此才作出WSFO和WSO不能订正国家强风暴预报中心的展望和监视的决定。美国国家强风暴预报中心强风暴监视(短时预报)水平CSI评分已达到0.3~0.4,是很高的。

美国的暴雨和冬季风暴的预报及警报,90年代初以前是由WSFO制作WSO订正的,现在当然只由WFO在国家级产品的指导下制作和发布。

日本的天气预报业务服务有三级台站:气象厅预报部、管区气象台、地方气象台。气象厅预报部为日本全国191个区域制作和发布防灾信息主要有注意报和警报,注意报包括大雨、大雪、风雪、雷、强风、海浪、融雪、洪水、潮位、浓雾、干旱、低温和霜的预报;警报包括暴风、暴风雪、大雨、大雪、洪水、潮位和波浪。气象厅的注意报和警报通过地方气象台向都道府县防灾部门发布,再由都道府县防灾部门向市、村的防灾部门传送,与此同时,还通过电视、广播和报纸等新闻媒介向社会发布。

常规天气要素(降水概率、最高最低温度、风等)预报在发达国家全部由国家级业务单位制作和分发,制作的方法主要是数值分析预报产品的解释应用方法,例如MOS、卡尔曼滤波、神经元方法等。时效一般为7天(欧洲中心为8天,视中期数值预报的可用时效而定),并且是逐日滚动制作未来7天每天的降水概率和温度预报等项预报,预报地点为城镇或格点(日本将全国分成20km格距的四方形区域)。虽然发达国家也研究了一些下级台站的配套预报方法,例如地方MOS法,但是在业务预报中应用的不多。在业务预报中,预报员主要利用人机交互工

① 1 in=2.5400 cm,下同。

作平台(例如美国的 AWIPS)将国家级的指导产品作为预报初始场,通过人机交互的方式修正国家级的指导预报,实际上是经验修正法。由于发达国家预报台层次少,一般为三级,美国和加拿大只有二级,因此上下基本没有重复。存在三级预报台站的国家一般要求第三级台在第二级台的指导预报的基础上进行修正。为了保持二级台在预报边界上预报的一致性,日本要求各区气象台将其预报结果返送气象厅预报部,由预报部拼图后再分发。美国为了保持 WFO 的预报在边界上的一致性,在 AWIPS 的设计中,将 WFO 的预报与周围 WFO 预报在边界上的一致性检验作为预报的必要一步纳入了预报业务流程。

通过上面的介绍可以看出,发达国家天气预报业务技术体制大同小异,说明天气预报业务技术体制是具有共性的,有一般规律可循。

1.4.1.2 从天气预报产品的制作过程探讨天气预报业务技术体制

(1)可预报性问题

①预报时效,世界气象组织(WMO)定义了一个数值预报可用时效:某时效 500hPa 高度预报与实况高度场的相关系数 ≥ 0.6 ,认为该预报时效是可用的,这个定义已被世界各国所接受,因此各国所用的逐日的天气要素预报的时效都到本国数值天气预报的可用时效为此。实际上,可用预报时效在不同纬度、不同季节是不同的。一般来说,可用预报时效中高纬度大于低纬度,冬季大于夏季。

②预报时间间隔长度,即时间分辨率。这同样取决于数值预报业务系统和探测系统的质量。世界气象组织将 4~10 天的预报定义为中期预报,按目前数值预报的水平,一般仅作分辨率为“日”的预报,不再作更细的时间划分。短期预报可以进一步区分白天和夜间,甚至 6 小时时的分辨率,日本还制作 3 小时降水的短期预报,这完全取决于各国数值天气预报业务的水平。对于灾害性天气的预报时效尚缺乏系统的研究,在发达国家一般只做 24 小时和 48 小时的展望以及短时和临近预报。

③预报的空间分辨率。这主要取决于观测系统的分辨率和数值预报模式的分辨率。目前,我国国家气象中心中期数值预报的水平分辨率为 120km,有限区域数值预报水平分辨率为 50km,预报的时间长度为 48 小时,区域气象中心也是如此。从理论上讲,48 小时以后的预报空间分辨率只能达到 120km;24 小时和 48 小时预报可达 50km,建立了更稠密观测系统(例如中尺度天气监测系统)的地区空间分辨率还可以进一步提高。对于降水而言,利用天气雷达资料、自动雨量站资料和气象卫星资料综合应用开展的定量测量降水业务,其空间分辨率可以达到 1km。由此可知,为了提高天气预报的时空分辨率,必须大力发展气象综合探测系统、资料同化系统和数值天气预报模式等气象业务系统。

以上对天气预报时空分辨率进行了一般性讨论,这仅是问题的一个方面,问题的另一个方面是,四级台站(包括县站)每天都面临着决策气象服务和公众气象服务的任务,实际上,县气象站从 1958 年开始,每天都在发布本县的天气预报,因此,分县天气预报是一种客观存在的需求,我们仅能根据当前的科学技术水平尽可能满足这种需求,只是在不同的科学技术条件下预报水平不同而已,问题在于如何在当前的科学技术条件下把预报做得更好。

(2)如何制作天气预报产品

制作天气预报产品一般分四步走或者说有四道工序:

第一道工序是制作数值天气分析预报产品。按目前的分工,主要由国家气象中心制作,区域气象中心的有限区域数值预报是国家气象中心的补充。

第二道工序是对以数值分析预报产品为主的预报信息进行加工,研制客观定量的预报方法。