

章国材 等著

我国天气预报

逐级指导技术研究

气象出版社

序

我国有五级气象台站,其中国家、省(区、市)、地(市、盟、州)、县(市、旗)级台站有决策气象服务和公众气象服务的任务,但是基本气象产品的加工到底需要几级台站来做,一直是气象预报业务技术体制的核心问题之一。早在 20 世纪 90 年代初期中国气象局就提出了“合理分工、逐级指导、有机结合”的思路,但是尚未形成科学的可操作的方案。为了使气象预报业务技术体制改革有一个坚实的科学技术基础,我建议列课题专门研究这个问题。1994 年科教司开始将此列入局管课题;1996 年中国气象局又重新组织了一个部门的重点课题“我国天气预报逐级指导技术研究”,由当时的中国气象局业务发展司司长章国材同志任课题组长。经过课题组全体同志近五年的共同努力,已经全面完成了研究任务,达到了预期目标。

本课题研究采用理论分析和对比试验相结合、预报方法研制与业务体制研究并重的技术路线。实践证明这是正确的。它既提高了业务预报的水平,又得到了天气预报业务技术体制的新成果。通过课题的研究也证明当时立项是正确的、必要的。当然,本课题成果的推广应用还需要各级气象台站的共同努力,特别是国家气象中心和省(区、市)气象台的努力。这两级台的指导不到位,水平不高,集约化的天气预报业务体制就不可能实现。正如课题成果所指出的,由于各省(区、市)气象部门的工作情况不同,实现集约化的天气预报业务体制的时间可能有先有后,但这无疑是必然的选择,而且实现得越早,总体效益发挥得越好。当然,这需要像课题组所做的那样,通过预报对比试验来决定实行新体制的时间。只有当上级的某项预报的指导产品水平高于下级台站时,下级台站才不需重复做该项预报产品的加工工作。

本课题研究的根本问题是天气预报业务技术体制问题,所取得的成果对于天气预报业务技术体制改革有重要的参考价值和指导作用。但是,随着技术的发展,业务体制也要随之发生变化,因此,当技术体制发生重大变动时,还需要重新研究这个课题,业务技术体制研究不可能一劳永逸。

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '马' (Ma), '鹤' (He), and '平' (Ping).

2001 年 3 月

前 言

《全国基本气象信息加工分析预测系统发展规划(1996~2010年)》第一次提出了“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。在马鹤年副局长倡导下,1996年中国气象局设立“天气预报逐级指导技术研究”重点课题,以进一步研究何种分工是合理的,上级台如何对下指导、上下台站如何有机结合等问题。由于日常天气预报业务有常规天气要素预报和灾害性天气落区预报两种,因此课题设置了常规天气要素分县预报、暴雨和冰雹落区预报逐级指导技术研究三个子课题。为了使这三个课题顺利开展研究工作,又成立资料子课题组,国家气象中心为参与研究的单位提供了1995~1997年T106L49和HLAFS的历史资料,以后又扩展到1998~1999年。

由于本课题不仅是一个技术研究课题,而且又涉及天气预报业务体制问题,因此,课题伊始,众说纷纭,旧的传统观念影响很大。针对这种情况,课题组在强调理论分析的同时,特别重视预报方法的研制和预报对比试验工作,前者是为了通过研究切实提高天气预报质量,后者坚持“实践是检验真理的唯一标准”。通过五年的研究,特别是通过1998~2000年三年的预报对比试验,才真正统一了课题组人员的思想,又一次认识到实践第一性的重要性。

我要感谢山东、江西两省气象局领导蒋伯仁、王建国、陈双溪、黎健对这个课题的支持和指导,使课题得以顺利持续地开展下去;我还要感谢预测减灾司田翠英、三个子课题负责人陆如华、刘还珠、吴宝俊以及山东、江西两省参加课题研究的同志们;感谢原业务发展与天气司天气预报处和山东、江西两省气象局业务处、气象台站组织了严格的对比试验工作,获得了许多宝贵的资料,他们的辛勤劳动终于使课题结出了硕果;最后,我对国家气象中心提供的

历史资料、通过 9210 工程分发本课题研制的 1920 个站台 5 天最高最低气温、降水分级预报产品一并表示感谢。

本课题通过五年研究已经全面完成了研究任务,达到了预期目标,1998 年还组织推广了常规天气要素分县预报方法,使得这项工作在 23 个省(区、市)气象部门开展起来。但是,本课题研究成果有待于优化完善和深化;通过研究得到的天气预报业务体制的初步结论也会随着技术的发展而变化,天气预报技术体制是业务体制的基础,当技术体制发生重大变动时,应当重新研究新的业务技术体制问题,提高天气预报准确率和效益是气象部门永恒的课题。

章国材

2001 年 3 月于北京

目 录

序 前言

第一编 理论篇

第一章 我国天气预报业务现状与展望	(3)
§ 1.1 历史的回顾.....	(3)
§ 1.2 天气预报发展动态.....	(7)
§ 1.3 2010 年以前我国天气预报业务发展的目标 和主要任务.....	(10)
第二章 天气预报业务技术体制探讨	(13)
§ 2.1 天气预报业务技术体制改革应遵循的原则.....	(13)
§ 2.2 发达国家天气预报业务技术体制简介.....	(15)
§ 2.3 我国数值天气预报业务体制探讨.....	(18)
§ 2.4 台站天气预报业务分工探讨.....	(22)
§ 2.5 深化天气预报业务技术体制改革.....	(30)

第二编 方法篇

第三章 常规天气要素分县预报方法	(35)
§ 3.1 概述.....	(35)
§ 3.2 预报因子的处理技术.....	(36)
§ 3.3 预报方程建立技术.....	(42)
§ 3.4 上下配套方法的研究.....	(48)
参考文献	(52)
第四章 暴雨落区预报方法	(53)
§ 4.1 暴雨落区预报思路.....	(53)

§ 4.2 山东省暴雨落区预报方法·····	(55)
§ 4.3 江西省暴雨落区预报方法·····	(60)
参考文献·····	(63)
第五章 冰雹落区预报方法 ·····	(64)
§ 5.1 有利于强对流天气发生发展的物理量·····	(64)
§ 5.2 冰雹落区预报思路·····	(69)
§ 5.3 山东省冰雹落区预报方法·····	(70)
§ 5.4 江西省冰雹落区预报方法·····	(75)
参考文献·····	(78)
第六章 预报综合集成方法 ·····	(79)
§ 6.1 权重综合集成法·····	(79)
§ 6.2 重在表现——增加样本后的修正·····	(81)
参考文献·····	(82)

第三编 实践篇

第七章 对比试验方案 ·····	(85)
§ 7.1 对比试验思路·····	(85)
§ 7.2 对比试验方案·····	(86)
§ 7.3 评分标准·····	(92)
第八章 常规天气要素分县预报对比试验结果 ·····	(94)
§ 8.1 最高最低气温分县预报对比试验结果·····	(94)
§ 8.2 降水分县预报对比试验结果·····	(99)
第九章 暴雨落区预报对比试验结果 ·····	(102)
§ 9.1 江西省暴雨落区预报对比试验结果·····	(102)
§ 9.2 山东省暴雨落区预报对比试验结果·····	(104)
§ 9.3 其他省的预报试验情况·····	(105)
第十章 冰雹落区预报对比试验结果 ·····	(106)
§ 10.1 江西省冰雹落区预报对比试验结果·····	(106)
§ 10.2 山东省冰雹落区预报对比试验结果·····	(107)

第十一章 结论与建议.....	(110)
§ 11.1 气温预报.....	(110)
§ 11.2 降水预报.....	(112)
§ 11.3 暴雨落区预报.....	(113)
§ 11.4 冰雹落区预报.....	(115)
§ 11.5 建议.....	(116)

第一编

理 论 篇

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

1978年底,当时的中央气象局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M170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Ⅰ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 T63 L16,每 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 T106 L19,每 6 小时作一次全球同化,每天作全球 10 天预报,T213 L31 即将投入业务运行;有限区域数值天气预报 1995 年 6 月也升级为 HLAFS(垂直 15 层,分分辨率率为 1°),1998 年 6 月 HLAFS 的分辨率进一步提高,垂直增加到 21 层,水平分辨率变为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$;华北区域分辨率为 15km 的中尺度数值天气预报模式 MM5 也投入了业务运行。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天气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。数值天气预报业务系统的建立为正确预报 1998 年长江全流域的大洪水、1994 年 17 号那样的台风、以及香港和澳门回归、建国五十周年大庆的气象服务提供了基础保证。

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。20 世纪 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 20 世纪 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 20 世纪 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 5 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)气象局还未见诸行动。在天气雷达站没有建立之前,我国气象部门还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每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。20 世纪 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,多普勒天气雷达站网也正在建设之中,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。20 世纪 80 年代我国台站开始布设静止气象卫星接收处理设备,每小时一次的可见光、红外云图(1997 年增加了水汽图)为短时天气预报提供了另一种非常有用的信息,使灾害性天气的监测和短时预报水平不断提高。20 世纪 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,各级台站气象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,20 世纪 80 年代后期各省(区、市)气象局自行开发的图形图像显示系统,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。

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 20 世纪 80 年代提高了 4.3 个百分点。

总而言之,1978 年以来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一些问题,主要有以下四个方面:

第一,资料同化系统落后于其他系统建设。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业务尚未建立起来;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。

第二,20 世纪 80 年代和 90 年代我国主要以引进为主,这对于尽快建立我国数值天气预报业务系统是十分必要的,但是自主创新能力不强,模式系统的标准化、模块化、规范化建设不够。

第三,数值分析预报产品的解释应用工作尚未形成真正的业务。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(注:指本课题开展之前),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。

第四,天气预报业务体制中上下一般粗的问题没有从根本上解决,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 20 世纪 50 年代和 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、短期和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

20 世纪 80 年代以来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,对于提高降水和风的短期预报精度起到了重要的作用。20世纪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。但是由于气象卫星资料三维、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已建立四维变分同化系统,美国、英国、法国、加拿大、日本等发达国家也已经建立全球三维变分同化业务系统。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。20世纪90年代初,不少专家认为T213 L31还不如T106 L19,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,T213 L31质量稳定提高了,预报可用时效中高纬度达到8天。ECMWF全球数值天气预报模式水平分辨率已达到30km,美国、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。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21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、提高台风等灾害性天气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已经成熟。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 模式内分辨率也达到 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,热带气旋路径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。