

数值预报应用 情报交流会 文集

(预印本)

一九八三年十一月 西安

气象科技情报研究所

目 录

实现地方天气预报客观化的重要步骤(代前言)	彭光宜 (1)
-----------------------------	---------

数值天气预报的发展和现状

国外数值天气预报的发展概况	殷显曦 (3)
欧洲中期天气预报中心的业务分析和预报产品	赵其庚 胡圣昌 (12)
对欧洲中期天气预报中心500毫巴位势高度场的人工检验	新疆气象局气象台短期预报室 (17)
我国国家气象中心现行数值预报业务系统概况及效果检验	庄英如 葛葛芬 李泽春 (23)
热带有限区域500毫巴正压流场数值预报业务系统试验总结	黄成昌 李肇玘 (38)

模式输出统计预报

大尺度数值天气预报结果的使用	胡圣昌 (48)
MOS系统发展的几个有关问题	胡圣昌 (54)
国外气温模式输出统计预报	丁士晟 (60)
国外降水模式输出统计预报	丁士晟 (67)
国外风、云、雾、能见度等模式输出统计预报	丁士晟 (75)
上海秋季气温的动力—统计预报	杨美川 朱永提 (82)
上海秋雨的动力—统计预报方法	杨美川 朱永提 (87)
地方模式输出统计预报的试验	丁士晟 (96)
用日本数值预报结果做短期降水MOS预报的体会	李雅琴 李永枢 (102)
单站MOS方法的尝试	杨同瑾 (107)
关于县站建立MOS方程的几个途径的初探	李长立 (111)
天气阶段在地方MOS预报中的应用	朱洪绩 华文铸 (114)
MOS法和PP法在地方中期预报中的对比和结合试验	胡辛陵 顾逸华 王德勇 (119)
可编程序计算器在地方MOS试验中的应用	盛之鸿 潘光照等 (127)
一种利用计算机研制省MOS预报方法的方案	辽宁省MOS会战小组 (131)
春季分区降水的短期MOS预报方法	辽宁省MOS会战小组 (142)
我省春季中期MOS方程的制作	辽宁省MOS会战小组 (149)
试用MOS方法作天津地区6—8月份晴雨预报	天津市气象局 (156)
天津盛夏大一暴雨的MOS预报	天津市气象局 (165)
天津夏季大一暴雨分型MOS预报方法	天津市气象局 (168)
试用MOS方法作7—8月份天津市大一暴雨预报	天津市气象局 (175)
台站结合的MOS预报方法	章国材 黄玉柱 周 军 (181)

南昌汛期短期大一暴雨MOS预报方法的初探	段中和 叶瑞珠 (185)
改进的降水概率的MOS预报方案	钮学新等 (188)
用MOS法预报昆明冬季极端气温	黄更生 (196)
内蒙古哲里木盟4—5月份寒潮降温预报工具	刘儒贤 (199)
6月份降水预报工具	邓常源 张宝智 王秀珍 (201)
哲盟7月份 ≥ 1.0 毫米降雨日MOS预报工具	纪传珊 张宝智等 (202)
9月18日—10月31日寒潮预报工具	邓常源 王秀珍等 (203)
科左后旗3月份降温预报工具	刘敏庆 (204)
武汉降水MOS预报的初步试验	谢齐强 (205)

完全预报

高原东北侧数值预报产品应用的初步试验	陕西省MOS课题组 (208)
地区经验完全预报的尝试	黄周芝 (214)
数值预报产品应用中的天气气候规律问题	陕西省MOS课题组 (217)
试用完全预报方法作4月份的单站降水预报	何华庆 冯玉卿 (221)
谐波分析在数值预报产品中的应用	张玉瑾 陈 克 王德秀 (227)
关于预报经验及其在动力—统计方法中的应用	张家宝 孙沈清等 (233)
以丁字槽暴雨模式为基础的完全预报法	营口市气象台 辽宁省气象科学研究所 (239)
完全预报法制作四川盛夏暴雨预报的尝试	成都中心气象台数值预报组 (242)

其 它

气象预报中的统计—动力学方法	史久恩 张建中 (245)
数值形势预报误差的自回归统计订正	朱永提 程戴晖 (249)

实现地方天气预报客观化的重要步骤

(代前言)

彭光宜

自本世纪五十年代以来,沿着气象科学数学化和气象技术自动化的发展方向,数值预报已在形势预报方面取得显著成就。如何在此基础上,利用数值预报产品制作地方天气预报,已成为国内外天气预报工作者所共同关注的问题。

数值预报研究在我国起步较早,近几年来,在业务预报方面又取得了可喜的进展。特别是1982年的全国灾害性天气预报服务工作会议,提出了“要尽量采用先进技术,在综合运用多种方法和充分挖掘现有技术潜力的基础上,重点发展数值预报,逐步实现天气预报客观、定量”,首次明确了在预报技术发展中重点发展数值预报的指导思想。随后,在关于开创气象工作新局面的初步设想中,又提出了建立以数值预报方法为基础,综合运用动力、统计及天气学等各种方法而形成的天气预报业务系统,并规划了数值预报业务发展的步骤。从而为数值预报技术和业务的发展,创造了有利的条件。可以预见,我国数值预报产品的数量将不断增加,质量将逐步提高。因此,如何用好数值预报产品以改进地方天气预报,也将成为急迫的课题。

1976年世界气象组织在华沙召开了关于利用大尺度数值预报产品进行地方天气预报的座谈会,比较系统地总结了这方面的经验。就这次会议所涉及的内容来看,国际上大尺度数值预报产品的应用途径主要有三个方面:一是中尺度数值预报,即以大尺度数值预报的结果作为边界和初始条件,利用中尺度数值模式进行区域的或局部地区的天气预报;二是大尺度数值预报的统计解释,即以大尺度数值预报产品作为预报因子,利用统计学方法进行气象要素预报,主要是采用完全预报(PP)法和模式输出统计(MOS)方法,发展的趋势是采用MOS方法;三是通过人机结合,由预报员根据天气学经验或统计数据,对大尺度数值预报产品进行人工订正,从而对天气形势做出诊断分析。会议以来,上述三方面都有了不小进展。大尺度数值预报的统计解释,已成为一种行之有效的气象要素的客观预报方法。尤其是MOS预报在地方MOS发展。随着数值预报水平的进一步提高,它很可能在所有数值预报产品的时效范围内,成为主要的客观天气预报方法。

我国在这方面也做了许多有益的尝试。一些地区相继试用MOS方法进行气象要素预报,并取得一定成绩。近年来,由吉林、江苏、陕西和广东四省气象部门联合组成的地方MOS预报研究组,就MOS预报和完全预报方法,做了大量研究和试验工作。还有

许多省、市、自治区气象部门也做了很多工作，召开这次全国数值预报应用情报交流座谈会，目的在于交流情况，推动发展，帮助各级气象台站熟悉和逐步学会使用数值预报产品，以促进实现气象要素客观预报的进程。

在这个会议文献预印本中，介绍了我国数值预报业务的现状和模式预报的特点，介绍了国外数值预报的发展概况和大尺度数值预报产品的应用，以及国外模式输出统计预报的有关资料。有更多的文章是介绍我国许多省、市、自治区气象部门在数值预报应用方面的研究成果、试验总结和预报经验。这些文章在一定程度上反映了我国近年来在数值预报产品应用方面所取得的成就。我们相信，这些研究成果和经验，对于促进我国地方天气预报的客观化、进一步提高预报服务的质量，将产生良好的影响。

如何更有效地利用大尺度数值预报产品以提高地方天气预报的水平，是一个需要进行长期研究和探索的课题。我们期望通过这次情报交流座谈会，能够开阔视野，集思广益，为加速实现我国地方天气预报客观化做出贡献！

国外数值天气预报的发展概况

殷显曦

(气象科学研究院情报研究所)

一、数值预报的发展背景

作为一种客观、定量和自动化的天气预报方法——数值天气预报业务，在国外开展已有近30年的历史。若从本世纪20年代里查逊的“数值预报之梦”算起，则已有近60年的时间。它的发展经历了一条漫长的曲折道路，它的成功是气象科学与技术发展的必然结果。

气象科学的发展是建立在整个自然科学与技术的发展基础上的。自然科学中的一系列重大突破和工业技术的不断革命，均在一定程度上促进了气象科技的发展，尤其是20世纪中叶的第三次工业革命。这次技术革命是以原子能、空间技术，特别是电子计算机为标志的技术革命，它还包括自动控制、遥感、激光及合成材料工业的重大发展，同时还产生了新型的综合性的基础理论：控制论、信息论和系统论。这一切，整个自然科学与技术的进步，无疑地为气象科技的发展提供了条件、奠定了基础，也促进了数值天气预报的实现和发展。

伟大的革命导师马克思指出：“一种科学只有在成功地运用数学时，才算达到了真正完善的地步”。数学是一切科学的得力助手和工具，任何一门学科，如果没有达到成功地运用数学这项工具的水平，它就不可能精确地描绘出客观事物的状态

和变化规律，更不可能从已知的数据推算出未来的数据。当前，自然科学的各门学科都在朝着日益精确的方向发展，特别是电子计算机的发展和应用，更大大地加快了这一进程。气象科学属于物理学的范畴，其发展趋势的数学化是明显的。近代气象科学正处在气象学、流体力学和数学这三者的汇合点上。利用近代数学和力学的理论和方法，针对气象问题创立新的理论和方法，并逐步用于气象业务实践，这是当前气象科学发展的一个重要趋势。而数值天气预报的实现，使天气预报从主观到客观、从定性到定量，也正是体现了现代气象科学发展的这一重要特点。

随着自然科学中控制论、信息论和系统论的发展，气象资料的大量增加以及气象业务本身所要求的高效率，近年来气象业务技术的发展日益趋向自动化。这种自动化表现在气象观测、资料的传输和处理以及分析和预报等一系列业务流程之中。把自动化的观测技术、数据处理技术、通信传输技术以及客观分析和自动化预报的制作结合成一个整体，构成一个完整的系统，这是近年来国际气象业务技术发展的一个重要趋势。而客观分析和数值预报的实现，使天气分析和预报从手工操作走向自动化，这也正是现代气象技术自动化的必然结果。

本世纪20年代里查逊的第一次数值预

报试验以失败告终。30年代末期罗斯贝的长波理论为后来数值天气预报的实现奠定了理论基础，而电子计算机的出现，则为数值预报的实现和发展开了绿灯。1950年恰尼、费也托夫、冯·洛依曼三人共同用实时资料在世界第一部电子计算机上作出了500毫巴高度场的数值预报，36小时高度变化与实况的相关系数为0.75，从而宣告了数值预报的成功。此后，随着资料处理自动化的实现，50年代后期以来美国、日本以及其他一些国家相继建立了数值预报业务。通过业务实践，数值天气预报的理论和方法均不断取得进一步发展。而随着电子计算机的迅速发展，数值模式也在不断更新，从地转模式、平衡方程模式，发展为原始方程模式；从差分模式发展为谱模式，预报范围从半球扩展到全球，分辨率愈来愈细，预报时效也从短期延长到

中期。近30年来，数值预报在形势预报方面取得了显著的进步，最近在气象要素预报中也有所改善。目前，一些世界气象中心和国家气象中心在提供数值预报产品方面正在发挥愈来愈大的作用，世界数值天气预报正在向着系列化的方向发展，它已成为国外天气预报业务中的主要预报工具。

二、业务预报现状及发展趋势

50年代后期以来，国外已有30多个国家建立了数值预报业务。在业务系统中，客观分析方法多是采取逐步订正法和最优插值法，发展的趋势是采取最优插值法。所用的业务模式包括准地转模式、平衡方程模式和原始方程模式，发展的趋势是采用原始方程模式，而且半球和全球预报正在从差分模式发展为谱模式。在业务模式中，所取水平网格距最小为60公里（美

表1 1979—1980年72小时数值预报的国际评比*

国家及其参加评比的业务模式	1000毫巴预报		500毫巴预报	
	1979年	1980年	1979年	1980年
瑞典，6层平衡方程模式，格距300公里，	77	78	93	93
西德，9层原始方程模式，格距254公里，	66	68	79	84
日本，4层原始方程模式，格距381公里，	67	63	73	77
法国，10层原始方程模式，格距254公里，	62	62	78	82
英国，9层原始方程模式，格距100公里，	58	58	68	72
加拿大，10层谱模式，波数29，		56		61
美国，7层原始方程模式，格距190公里；12层谱模式，波数30，	54	54	65	63
欧洲中心，15层原始方程模式，格距1.875°(经纬度)，		46		56

*表中数字取一年中误差较大的1—3月份的平均值。

• 详见《现代气象业务的调研与分析(一)》；近代天气预报业务发展趋势的分析，P 9—10。

国),垂直层次最多为15层(欧洲中期数值预报中心),所用速度最快的计算机为CYBER 205型(英国),其运算速度为每秒亿次。预报项目也从单纯的形势预报过渡到气象要素预报,如预报位势高度、风、温度、湿度、垂直速度、海平面气压和降水等。预报时效最长达10天。

1981年世界气象组织委托芬兰气象研究所进行数值预报的国际评比,其部分结果如表1所示,表中数字为预报的均方根误差(米):

根据各国家气象中心所使用的数值预报模式的性能,对照评比结果可见,原始方程模式优于过滤模式,高分辨率模式优于低分辨率模式。对物理过程的评价是较困难的,但一般说来,考虑物理因子较多的模式优于考虑较少的模式。平均误差存在地域差别,例如对欧亚大陆 $40^{\circ}-60^{\circ}\text{N}$ 区域的等压面高度值一般预报偏低,而在此以南和以北都预报偏高。这种误差分布使 40°N 以南的西风气流及 60°N 以北的东风气流均预报过强。此外,平均预报误差存在季节差异,1—3月误差较大,7—8月误差较小。值得注意的是,1000毫巴(或地面)和500毫巴误差类型相似,说明地面预报取得较大进步。由评比可见,1979年前以美国的预报最好,而1980年以来欧洲中心居于领先地位。在最近10年中,数值预报取得了很明显的进步。用现在最好的模式所作的三天预报,其误差已小于由10年前的准地转模式所作的24小时预报。

1981年6月在奥地利召开的关于当前天气预报问题的讨论会指出,现代的数值模式作出了相当满意的结果。对温带纬度,只要预报不超过3天,对高空流型的准确预报的概率达90%。最近一两年来,

美国和欧洲中心通过4点加权平均,用数值模式直接作出的一些大城市的某些气象要素预报,也取得了一定成绩。最近,我国北京大学陈受钧在欧洲中心进行客座研究工作的过程中,根据我国的研究成果改进欧洲中心的数值模式,作出了较好的1—3天的大范围暴雨预报。这些均说明,数值预报已在气象要素的短期预报方面向前迈进了一大步。目前在西欧国家有一种看法认为,一两天的数值天气预报已足够好,不需再进行任何统计解释,因而主张把气象要素预报的统计解释重点放在3—7天的中期预报上。也还有种看法认为,今后的统计解释将和数值预报融为一体,形成一种“自动调节机制”。而这需要大量资料的积累以及新型计算方法的应用。世界气象组织正在编辑这方面的技术报告,看来这不是短期内可做到的。目前多数国家的气象要素预报,仍然是靠对数值预报的统计解释。

近年来国外数值预报的主要发展趋势是延长预报时效及发展中尺度数值预报。在中期数值预报方面,美国、日本,尤其是欧洲中期数值预报中心,已取得较好的成就*。近来欧洲中心所作的10天预报均已超过气候预报和持续性预报。其中,7天前的预报较好,7天后较差,但仍可用于制作平均预报。

长期数值预报一般有两种方式。一是以月平均场为初值,预报月平均或距平值;二是逐日预报并根据逐日预报制作月平均或距平预报。所采用的模式也有两种,一是简单模式,这种模式由线性化方程组成(如Blinova),或是在预报方程中包括大量参数化项(如Adem),或是就纬圈取平均(如Nielse等);二

* 详见《气象科技》1980年4期P.11—14;《国外中期数值天气预报的现状》。

是大气环流模式，它较全面地考虑了大气中的一些非绝热过程尤其是像海气相互作用、冰雪的反照率等慢变过程。近年来关于大气可预报性的研究认为，月平均场或超长波至少有一个月甚至45天是可预报的。这在一定程度上促进了长期数值天气预报的研究，并已取得一定成绩。例如，英国气象局从1978年起，已用5层半球大气环流模式作一个月的准业务预报，能够作出较好的超长波预报，但水平未超过经验预报。1980年日本气象厅用9层大气环流模式，在一个月的试验预报中报出了阻塞现象。1982年6月起，美国哥伦比亚大学用Adem模式预报一个月的月地面温度距平，预报误差低于持续性预报和气候学预报。这些均可说明，数值模式具有一定的长期预报能力。从已有的研究和试验看来，对于一个月或季节的预报，数值预报可能终将成为一种主要预报工具。但目前这方面的发展仍处于它的幼年阶段。

七十年代以来，世界上有不少国家为了模拟研究和天气预报研制了中尺度数值模式，作了大量工作并取得了一定成绩。例如70年代后期美国的10层移动性细网格模式（格距60公里）已用于业务预报；日本也用分辨率较大的三层多重套网格模式预报台风。最近，日本用一种10公里网格的三维模式试作甚短期和短期雨量预报。自1980年，法国气象局已用35公里网格的中尺度模式试作24—30小时的定量降水预报，并正在研究使用卫星和常规资料制作0—24小时预报的中尺度模式。在英国，为制作甚短期预报研制了格距为10公里的10层非静力平衡中尺度模式，此模式较全面的考虑了各种物理过程，目前已用于强天气状况的模拟。在1982—85年间，此模式将改为16层，并扩大预报区域。欧洲中心、加拿大、澳大利亚和西德等国，为制

作0—24小时预报，研制了格距为35—65公里的中尺度模式。北欧的一些国家，也计划研制50公里网格的中尺度数值预报模式。根据已有的中尺度模式所作的试验预报，其效果均超过业务预报模式。从上述各国的情况看，进入80年代以来，中尺度数值预报的试验研究工作已在世界上许多国家受到重视，呈现了一种发展趋势。而且，中尺度数值模式的发展已不再限于模拟研究，而是和包括甚短期（12小时以内）在内的0—24小时天气预报的发展联系在一起。这也是当前中尺度数值预报本身的一个重要发展特点，是值得我国气象工作者重视的。目前国外在天气预报中应用中尺度模式的方式有两种，一是直接利用，即针对某些具体天气现象对模式进行积分；二是就某些经常出现的天气形势进行积分运算，然后将结果存档备用，即所谓气候档案法。但是，无论那种形式，均需要具有中尺度分辨率的初始资料。因此，发展中尺度预报的关键是次天气尺度的观测资料及其同化问题。

三、发展的经验及存在的问题

国外数值天气预报从试验成功、建立业务，直至取得较显著的成就，经历了30多年的时间。取得成绩的原因是多方面的，而这也正是值得汲取的经验。首先是业务领导部门的重视和给予人力和物力的大力支持。例如美国50年代集中了国家天气局、海军天气局和空军天气局的技术力量。并集中经费，建立了联合数值天气预报中心，从而迅速建立了数值预报业务。其次是组织国内外的科研协作，采取必要的技术措施。例如通过加强世界天气监视网的工作，使观测资料不断增加，尤其是通过四维资料同化的研究，使用了卫星等非常规观测资料；通过全球大气研究计划

的实施开展了综合性的大型或区域性的大气观测试验,试验和研究了和数值预报有关的一系列理论和方法问题。值得注意的是,七十年代以来欧洲中期数值天气预报中心集中了欧洲共同体成员国的有关技术力量,并从全世界广为招揽人材,集体研制和改进数值模式,作了较充分的准备工作,从而在数值天气预报中后来居上,取得了较显著的成绩。此外就是要及时地引进其他科技领域及国外行之有效的先进技术,加以消化,改造和提高。

最近几年来数值预报取得较显著进步的技术原因,看来主要有三个方面:一是由于利用了卫星等非常规资料,在分析和初值处理中采用了多变量最优插值法及非线性正交波型初值化方法,从而使初值有所改善;二是由于数值模式预报范围的扩大及精度的提高以及求解方程的方法的改进,例如预报范围扩大到全球、采用谱模式,以及在运算中使用分离显式或半隐式方法,从而使系统性误差显著减少,运算效率也显著提高;三是对于次网格尺度参数化的改进,也使系统性误差明显降低。此外,中期数值预报业务及长期数值预报试验工作的进步,尚在于采取非绝热模式,考虑了大气慢变过程的影响。

当前,国外数值天气预报中存在的主要问题有三个方面。一是逐日数值预报的有用时效尚短,最好的模式预报约为7天,亦即业务预报所达到的实际预报上限与理论上限(约为2周)之间存在着差距。这主要是由于探测资料覆盖不足,尚不能正确地确定大气的初始状态;在解微分方程过程中存在着数值方面的误差;以及对重要的大气过程还认识不足,从而存在着模式物理学问题。二是对局部地区由中小尺度系统造成的强对流天气,因观测站网及数值模式的分辨率不够而无能为力。三是在

热带纬度,由于资料少,初始条件中具有更大的不确切性,天气系统的振幅和水平尺度小,以及作为主要能源的凝结潜热的变化大,因此,与中纬度相比,热带大气的可预报性远小于中纬度,其逐日数值预报的可预报时效的理论上限只有几天。因此,现有的业务预报模式对热带地区的预报效果都是有限的。而且,对热带系统预报不好,也会影响温带预报。所以,研究和发展热带数值预报,也是当前数值预报业务和研究工作中有待解决的重要问题。近来,全球模式的采用,对低纬预报的改善已起到了一定的作用。

1981年在奥地利召开的关于当前天气预报问题的讨论会着重指出,当前天气预报中的重要问题之一是资料问题。并且认为,在短期高空流型预报中的10%的错误预报,主要是由于全球观测站网的不完善,因输入资料的不充分造成的,如海洋及人烟稀少的陆地区域测站过少的现象得不到改善,就不可能期望预报会得到改进。而且进一步指出,考虑到确定初始条件的天气站网的不完善,决定边界条件的困难以及在时间较长的数值积分方面的困难,必须认为逐日数值预报的上限是5—10天。超过这个界限,由于初值和边界条件问题,就不能再把数值模式作为预报工具,而只能根据它的模式输出,进行定性的诊断分析。因此,会议建议在世界范围内设置附加的观测站,至于在什么地方增加测站能取得最佳的效果,还需要作理论的和实践的研究。此外,模式物理学仍是有待解决的重要问题。例如关于地形影响的处理,近来虽有改进但尚未取得令人满意的解决;关于次网格物理过程的参数化的理论、原则和方法均尚待进一步改善。

四、人在预报中的作用

随着数值预报的发展,人的因素居于何种地位?这是在气象业务自动化过程中,人们日益关心的问题。

如前所述,近30年来尽管数值预报取得了显著的进步,但它还存在着不少有待解决的问题。多数数值模式的预报存在着系统性误差,因此,地方预报员在使用数值预报时应根据综合分析和判断进行人工订正。亦即将数值预报与预报员的经验相结合,国外称此为人—机结合。布朗和福西特(1972)总结14年运用数值指导预报的经验得出三点结论:一是预报员通过审慎而系统地运用数值指导作出了最好的预报;二是预报员的平均预报水平的提高与所用的数值指导的改进成正比;三是数值预报的质量愈好,就愈难于通过人工修改加以提高。L·W·斯奈尔曼(1977)总结20年应用数值指导作地方预报的经验指出,在地方预报中,只靠人工可取得一定成绩,靠机器预报开始不如人工,但逐步改善则超过单纯的人工预报,在过去20年中,约超过10—20%,而人—机结合则可超过数值指导预报10%。但是,如不鼓励用人的因素改进客观指导预报,就会出现所谓的“气象癌症”,从而影响人机结合预报的提高。亦即如不重视地方预报员的作用,盲目遵循数值指导预报,那么,布朗和福西特结论中的第二点就不再成立——地方预报平均水平的提高并不一定与其所用的数值预报的改进成正比。这一切均说明,在应用数值预报时,要重视发挥人的作用,即重视人机结合。

人工订正的重点是高空锋区,急流位置 and 温度、地面较小尺度天气系统的细节及对产生重要天气有意义的锋面结构等*。

近几年来,国外有人提出地方预报员可就他所关心的局部地区在数值指导预报图上进行“再分析”,从而提取更多的预报信息。这种把数值预报与天气学方法和结合的作法,也是国外在应用数值指导预报中的新动向,使人—机结合有了更为深入的内容。

随着气象业务自动化系统的发展,例如美国AFOS系统的业务实施,为数值预报的应用及人—机结合开创了新局面。L·W·斯奈尔曼(1982)在美国第9届天气分析和预报讨论会上介绍了地方预报员通过AFOS系统应用数值指导预报制作地方预报的经验。他把这种预报过程比作一只“预报漏斗”,漏斗的上端表示预报的第一个步骤,即利用显示在AFOS屏幕上的半球数值预报图估计大尺度流型,例如是比较平直的纬向气流或是阻塞形势;漏斗的中层表示预报的第二步,即利用AFOS的局部放大显示,分析有可能造成短期天气的天气尺度系统;漏斗的下层表示预报的第三步,即利用从AFOS系统复制下来的预报图,手工分析中尺度特征。漏斗的最下端是地方预报员的预报结果。同时,由于AFOS系统具有重叠显示的能力,在估计天气尺度系统的过程中,可以迅速而且定量地比较根据不同模式所作的数值预报图,从而易于辨认数值预报中的误差,更好地了解和使用数值指导预报。

七十年代初期以来,美国开始研制一种称作“人机对话资料处理系统”的气象资料自动化处理和视频显示系统,其英文字头缩写为McIDAS(Man-Computer interactive Data Access System),中文译为“麦卡达斯”。目前这种系统已从第一代(McIDAS I)、第二代(M

* 详见《气象科技》1980年4期P.28—29;《如何应用数值指导预报资料》。

McIDAS II), 发展到第三代 (McIDAS III)。这种系统具有图形处理、图像处理、叠加和循环显示、图像整体加工、局部放大、人工修改, 以及格点场加工的能力。如果再增加一个设备, 还可将图像直接传真。实践表明, 这种麦卡达斯系统是气象业务和研究人员的得力助手, 它使人-机结合过程进一步现代化。预报员或研究人员通过它可以很容易地迅速取得所需要的各种物理量、曲线和图像。而不同的人, 尽管利用机器所存储的同样的资料, 但通过不同的取材和加工方案, 会获得不同的结果。这些均充分说明, 在气象业务现代化的过程中, 人的作用是永远也不能忽视的, 而且对人的知识水平的要求也会日益提高。

五、发展前景的分析

国外数值天气预报的发展前景如何? 八十年代末或2000年将是何种面貌? 这是我国气象科技工作者在气象科技现代化的过程中所关心的问题。

气象科技的发展是建立在整个自然科学与技术的发展基础上的。从整个自然科学的发展趋势看, 目前仍处于第三次工业革命的影响继续向各个领域渗透的过程中。由于电子计算机的迅速发展, 第三次技术革命已进入信息革命的高级阶段, 它更多地依赖于无限的智力资源—人的知识和思想, 所以, 信息革命的潜力是无穷无尽的, 它将继续有力地促进数值预报的发展。在过去近30年中, 科技较发达的国家, 例如美国, 用于数值预报的计算机的运算速度每隔5或10年, 几乎以10倍以上的倍数在增长, 而随着计算机的更新, 数值模式的分辨率也几乎是成倍增加。七十年代后期以来, 向量巨型计算机 (如CRAY-1和SYBER-205) 的应用显著

地促进了数值预报。八十年代将会有更多的国家采用这类机器, 它将为具有高并行度算法的大规模业务和科学计算开拓广阔的前景。而且随着计算机的微型化及软件技术的发展, 在未来20年中, 计算机在气象业务中的应用效率将会显著增加, 数值预报模式精度的提高速率也可能会超过过去30年。

如前所述, 当前天气预报的重要问题之一是资料问题。从目前情况看, 随着空间探测技术的进步, 卫星、飞机和浮标资料的应用, 以及世界天气监视网 (WWW) 和国家天气监视网 (NWW) 的发展, 将为数值预报提供逐步完善的初始资料。尤其是随着遥感和自动化观测的发展, 到公元2000年, 在一些科技发达的国家, 自动观测站和计算机很可能会取代人在观测中除一般监视职能之外的全部工作。到那时, 来自雷达、卫星、以地面为基地的遥感系统和地面自动气象站的气象资料将直接输入天气分析和预报系统。而且, 像美国的PROFS和瑞典的PROMIS这样的中尺度观测网将会有显著的发展。这将会在一定程度上解决各类尺度的观测资料问题。

提高模式物理学的关键在于深入了解各种大气物理过程及其影响规律, 并能较准确地纳入数值模式。七十年代以来, 通过全球大气研究计划 (GARP) 的实施, 曾进行了许多各种规模的综合性大气观测试验, 积累了大量宝贵的资料, 并已经或继续用于广泛的大气物理过程的分析研究。这些试验研究, 必将对八十年代气象科学的发展产生较深远的影响, 也将在一定程度上促进数值预报的发展。而八十年代世界气候研究计划的实施, 广泛的气候模拟研究必将会对九十年代中、长期数值预报的发展产生较深远的影响。总之, 七

十年代的全球大气研究计划及八十年代的世界气候计划,将对今后20年中深入认识大气物理过程并从而提高数值预报的水平,发挥积极作用。

1983年1月,大气科学委员会短中期天气预报研究工作组针对短中期预报中存在的问题,讨论通过了今后4年(1984—1987)的天气预报研究计划。此计划包括5个方面,一是关于高分辨率定量卫星资料的研究;二是温带有限区数值预报和模拟;三是热带有限区数值预报和模拟;四是研究统计解释方法;五是关于甚短期天气预报的研究。此项研究计划将组织和调动许多国家和地区的科技力量,重点是区域中尺度及适用于甚短期预报的中尺度模式,以及热带数值预报。在七十年代执行大气研究计划的基础上,通过此项研究计划,将在有效地利用卫星资料、深入了解大气过程的物理机制以及提高数值模式的精度方面,出现一些较好的科研成果,从而促进短、中期以及甚短期数值预报的发展。

从以上分析可见,尽管数值天气预报存在着这样那样的问题和困难,但它具有发展的条件和潜力。在今后20年中,数值预报的实际可预报上限与理论上限之间的差距有可能会进一步缩短。随着自然科技的加速发展和信息革命的深化以及气象科学本身的进步,它必将取得进一步发展。八十年代将是中尺度数值预报取得发展、中期数值预报有较多的国家建立业务及长期数值预报开始成长的10年。八十年代末,在一些科技较发达的国家,一般中尺度模式将可能用于业务预报,短期降水预报将有一定进步,3—10天的中期数值预报将有较显著提高;长期数值预报的试验研究将会取得进展,但能否有效地用于业务则尚难断言。而九十年代则可能是中尺度数值预

报取得进一步发展及中、长期数值预报取得较显著进展的年代。预计到2000年,国外科技较发达国家的天气尺度数值预报,12小时以上的短期预报可能几乎无需人工修改;各类中尺度模式将可在某些地区用于业务预报,但需进行人工修改;在中期预报方面,有可能作出较好的2周逐日预报及平均预报;一个月的月平均数值预报将可用于业务,但水平不会很高。至于季度或更长时效的预报,还要依靠统计学方法。

六、结 语

综上所述,在过去30多年中国外数值天气预报取得了较显著的成就,但也存在许多有待解决的问题。目前我国已建立和坚持了数值预报业务,B模式的预报效果已有较明显的提高,国外对我们的评价是已经进入了数值预报迅速发展的行列。当前我们所面临的任务是改进现有模式、发展新的中期预报模式,以及如何结合预报员的经验,有效地应用现有的数值预报产品,提高我国的地方天气预报水平。我国的数值预报,同国外先进水平相比,仍存在较大的差距。例如,国家气象中心现用的M—170型计算机(每秒百万次),与欧洲中心的CRAY—1(每秒8000万次)和英国的CYBER—205(每秒亿次)相比,差距是很大的。为进一步发展我国的数值天气预报,尤其是为建立中期数值预报业务,势必要引进上亿次的大型计算机,改善我国气象业务系统计算能力落后的局面。另外,我国数值预报尚未能应用数字化卫星资料,在客观分析和初值处理方法上还很落后。这是有待我们集中力量、努力研究,重点解决的问题。我国现用的业务模式为半球5层原始方程模式,格距381公里,预报时效72小时。此模式对北半球

的基本环流型、长波的大致分布及几类长波的调整过程的预报能力较强，它已成为一项重要的预报手段和对重要天气与要素预报的主要依据之一。但与国外先进水平相比，在模式物理学和分辨率方面以及在预报项目、准确率和预报时效方面均存在差距，尤其是预报时效。因此，为进一步发展我国的数值预报，应在科研与业务密切结合的情况下，在业务实践中不断总结经验，努力改进业务模式的精度。国外的实践表明，使用谱模式的计算效率比格点模式约大一倍，预报准确率也有改进，而我国对谱模式的研究也是有基础的，因此今后的业务模式应注意发展谱模式。此外，应努力发展中期数值模式，争取尽早建立中期数值预报业务。在这方面，可走引进、消化、改造和提高的途径，而重要的是要注意结合我国实际，结合我国的科研和预报经验。我国陈受钧在欧洲中心所取得的成绩是值得重视的。

党的十二大号召全国人民努力开创社会主义现代化建设的新局面，我国的国民经济及科学技术已呈现了加速发展的形势。在国家的重视和支持及科技工作者的协作和努力下，我国数值天气预报的研究和业务已走上了健康发展的道路。可以预期，在今后20年中，我国数值预报的追赶速度将会超过国外的发展速度。这也正是

我国社会主义制度优越性的表现。从近年来我国数值预报业务及其应用的发展速度看，今后10年内，我国将有可能在短期大尺度数值预报及其应用方面达到七十年代末或八十年代的国外先进水平。到2000年，我国在短期大尺度数值预报及其应用以及月平均长期数值预报方面将可能接近当时国外的先进水平，在中期数值预报方面达到国外八十年代的先进水平。面主要差距在于中期数值预报和中尺度数值预报。

国家气象局在关于2000年的规划设想中，将发展中期数值预报和短时预报列为我国天气预报研究和业务的发展重点；在加强地方气象要素预报的工作中，重视结合预报员的经验，研究和开展动力—统计预报，这是必要的。为提高地方天气预报，尚应重视中尺度数值预报的研究，这将有益于我国今后甚短期天气预报的发展。随着计算机的微型化和价格的必然下降，作为2000年的长远发展目标，未来我国在部分地区开展中尺度数值预报将不会是高不可攀。

以上简介和浅见，欠妥之处尚希指正。此文承廖洞贤研究员及国家气象中心王世平副主任提供宝贵的修改意见，特致谢意。

欧洲中期天气预报中心的 业务分析和预报产品

赵其庚 胡圣昌

(气象科学研究院情报研究所)

现在,世界各国的天气预报工作者对欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的全球分析和中期数值天气预报业务产品都表现出很大的兴趣,因为世界气象组织责成芬兰气象局进行的国际数值预报评比已经表明,ECMWF的中期数值天气预报的质量已超过美、英、法、日、西德等国,登上世界领先地位。ECMWF由欧洲17个成员国联合组建,1975年正式成立,总部设在英国南部的雷丁(Reading)。在短暂的几年里,ECMWF能取得如此巨大的成功,的确令人赞叹。研究ECMWF的经验,了解ECMWF分析预报系统和业务产品的性能,对于迅速发展我国的天气预报工作,对于在业务预报中参考和合理使用ECMWF产品,无疑是有重要意义的。

就MOS预报这方面的内容来说,ECMWF本身并不进行这方面的工作,而只是把业务分析预报产品提供给成员国,使成员国可以运用这些产品来作本国的MOS预报。由于ECMWF还通过全球通信系统分发部分业务分析预报产品,我国北京气象中心从1982年4月底已开始接收,并在准备向国内转发,因而国内也可能使用ECMWF产品。鉴于存在这种情况,本文仅就与ECMWF分析预报产品

有关的几个问题作简要的介绍,供预报员同志们参考。

一、ECMWF分析预报产品的制作

制作全球范围的中期(4—10天)业务数值天气预报是ECMWF的一项主要任务。执行这项任务的是一个完整的自动运行的综合系统——ECMWF业务预报系统,它由资料获取、预处理、分析、预报、后处理和产品分发等子系统组成。其中分析和预报子系统是整个业务系统的核心,称作第一类子系统,要求使用内存大、速度快的巨型电子计算机进行工作。其余子系统均属实现业务目的所必须的配套和管理子系统,称作第二类子系统,对计算机系统的文件管理技术和软件要求较高。ECMWF采用以每秒钟可作8千万次浮点加法运算的高速巨型计算机CRAY-1为主,以CYBER175计算机为辅的计算机系统工作进行。

ECMWF制作各种气象分析产品的主要目的是为预报方案提供6小时间隔的四维同化资料。要求是能最大限度地有效地利用全球范围不同观测时间、不同观测性质的各种观测资料,得出质量场和运动场基本平衡的符合预报模式要求的大气初

值场。执行这项任务的ECMWF资料同化方案，在每一个6小时的同化周期中主要有三项工作：①对每个观测时间（00, 06, 12, 18时，世界时）前后三小时内的观测资料进行分析，主要方法是三维多变量最优插值法；②使用非线性正交波型初值化方法对资料进行初值化，以消除大尺度重力波；③使用预报模式对下一分析时刻作6小时预报，作为下一分析时刻的初估场。

ECMWF制作中期数值天气预报的模式，是全球范围的垂直和水平方向分辨率很高的初始方程模式，并包括辐射过程、海表面状况及海气相互作用等次网格物理过程的参数化方案。在1982年以前作业务预报使用的是N48格点模式，其特征如图1（图略）所示，在垂直方向为15层，采用 $\sigma = P/P_*$ （P为气压， P_* 为地面气压）为垂直座标，水平方向格点距离是1.875经纬度。1983年用T63谱模式取代N48格点模式作业务预报，水平方向采用三角型截断，纬向截断波数为63。据对比试验，谱模式的预报较格点模式又有改善。

ECMWF业务预报系统每天的业务工作如图2（图略）。资料获取，通过全球通讯系统在整个24小时内连续进行；资料预处理，包括质量控制和把资料插入天气报告资料库，在对ECMWF成

员国或其它使用计算系统的用户影响最小的时间进行；分析，四个分析周期（前1天18时，当天的00、06和12时）的工作在晚上进行，12时分析所用的资料的截止时间为20时45分；10天的预报约在21时开始，一般需4—5小时完成；分析和预报结果在晚上和夜间传给成员国并通过奥芬巴赫（西德）和布拉克内尔（英国）的区域通信枢纽送上全球通信系统传给世界各国。

ECMWF业务预报系统的实际运行情况很好。据统计1981年全年每天都作出了10天预报，其中90%都是在规定时间内1小时以内完成，只有14次预报迟后3小时以上。这说明ECMWF制作分析和预报产品的系统是稳定可靠的。

二、分析预报产品的种类和分发格式

1) 向ECMWF成员国提供的产品

ECMWF从1979年8月第一套业务预报模式正式投入业务使用，开始向成员国提供分析和预报产品。在理论上可以向成员国提供的产品内容如表1。在业务工作的第一阶段不能向成员国全部提供这些产品，预报只到6—7天，参数仅限于温度和高度，层次最高到200毫巴。随着业务的发展，提供的产品将逐步增加，1982年ECMWF向成员国提供的产品数目每天达7000种。

表 1

三维参数		二维参数	时 间
参数	标准等压面		
风或风分量、 位势高度、相 对湿度、温度、 垂直速度	1000、850、700、 500、400、300、 250、200、150、 100、70、50	地面气压、温度、风、 相对湿度、热量和 水汽通量、地面辐 射通量和累积降水	分析：前一天18时， 当天00、06、12时； 预报：当天18时到第10 天12时每隔6小时一次

2) 通过全球通信系统分发的产品

ECMWF从1981年4月1日开始,通过全球通信系统(GTS)向全球范围分发某些分析和预报产品,我国从1982年4

月开始接收。表2是从1981年8月1日开始,ECMWF通过GTS分发的分析预报产品的内容。分辨率为 5×5 经纬度。

表2

区 域	参 数 和 层 次	
北 半 球 (20°N —北极)	地 面 气 压 500毫巴位势高度	分析及1—5天预报
热 带 (35°N — 35°S)	850毫巴 风 200毫巴 风	分析及1—2天预报
南 半 球 (20°S —南极)	地 面 气 压 500毫巴位势高度	分析及1—4天预报

3) 分发格式

ECMWF提供的各种业务产品,基本上用网格点型式表示。有两种标准网格,一种是全球范围的经纬度网格(分辨率为 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$,或为其倍数),另一种是北半球的极射赤道投影网格(在 60°N 分辨率为150公里)。全球经纬度网格的资料,分发到全球。这两种网格又按规定分成不同区域和不同分辨率的子集系统,各成员国可根据需要选择接收适当区域和分辨率的资料。

分发产品使用的电码格式有二种,一种是世界气象组织格点编码(WMO GRID),主要在低速线路上使用;另一种是ECMWF编码。

三、预报产品的质量和误差

图3和图4(图略)是1979—1980年国际数值预报评比的结果。图中给出了ECMWF和加拿大、美、英、法、日本、西德、瑞典等国北半球1000和500毫巴高度72小时预报图的均方根误差,可见各国预报误差在趋势上是相同的,但总的来看是

ECMWF的预报误差最小,质量最高。表3和表4是ECMWF1981年1—12月 20° — 82.5°N 之间地区1—7天500和1000毫巴高度(米)及850毫巴温度($^{\circ}\text{K}$)预报的标准差和距平相关系数。可见至第7天,ECMWF预报仍比持续性预报误差小,一般1—3天的预报结果很好,5—6天的预报有参考价值。从全年来看,夏季的预报较冬季差,距平相关系数低。图5(图略)是ECMWF1981年7—10天的温度和纬向地转风预报的纬向平均误差,可以看出,整个对流层纬向平均温度误差几乎完全为负(预报温度偏低),其中以 60°N 附近500毫巴层的误差最为显著(达 3°K),平流层的温度预报偏低更多。500毫巴以下这种温度偏低现象随纬度的变化不大。图6(图略)是1981年1月500和850毫巴温度,500和100毫巴高度10天预报的月平均误差。可见1000和500毫巴高度误差的地理分布很相似,东北大西洋和太平洋为两个低中心,第三个低中心在 60°E ,误差的振幅随高度增加。500毫巴温度误差与高度误差相配合,温度预报偏低