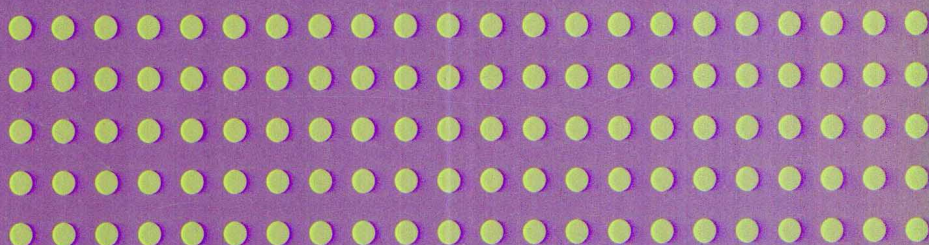


XIANDAI TIANQI YUBAO JISHU

现代天气预报技术

(第二版)

孔玉寿 章东华 编著



气象出版社

China Meteorological Press

现代天气预报技术

(第二版)

孔玉寿 章东华 编著



内 容 提 要

本书为中国气象局“九五”重点教材。全书介绍了现代天气预报的若干最新技术,内容包括:现代天气预报技术发展的基础、特点和趋势;数值预报产品的应用技术;若干诊断量的分析应用;基于统计学和人工智能的预报新技术;气象卫星和雷达探测的应用以及天气预报业务自动化等。

本书既注重基本原理的介绍,更侧重于实际应用技术的阐述,不但可作为高等院校大气科学专业及相关专业的教材,也可供广大从事天气预报及相关领域的科研和业务人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代天气预报技术/孔玉寿,章东华编著. —2版. —北京:气象出版社,2005.3
ISBN 7-5029-3011-6

I. 现… II. ①孔…②章… III. 天气预报 IV. P45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 019359 号

Xiandai Tianqi Yubao Jishu

现代天气预报技术(第二版)

孔玉寿 章东华 编著

责任编辑:陶国庆 终 审:纪乃晋

封面设计:陈璐 版式设计:谷清 责任校对:王丽梅

出版发行:气象出版社

出版社地址:北京市海淀区中关村南大街46号

出版社电话:68407112

电子邮箱:CMP01@263.NET

出版社网址:HTTP://CMP.CMA.GOV.CN/

邮政编码:100081

传真号码:62176428

印 刷:北京昌平环球印刷厂
开 本:787mm×960mm 1/16
印 张:18.50
字 数:372千字

版 次:2000年10月第1版
2005年3月第2版
印 次:2005年3月第1次印刷
印 数:1~5000
定 价:26.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

第二版前言

本书第一版自 2000 年 10 月出版发行后,在气象专业及相关专业的院校、科研单位和业务部门得到广泛使用,并受到好评。读者的厚爱,为我们创造了再版的机会,首先对广大读者表示衷心的感谢。

现代天气预报技术始终随着大气科学及其相关领域的发展而发展着,本应借此再版之机将近年来的新技术、新方法尽可能多的收集进来,但我们为不使教材的篇幅显著增加,除了对个别文字表述欠当之处作了推敲修改外,只是补充了少量的新内容。补充的新内容主要取材于我们近年来的研究成果,并经实际检验证明是有效的若干新技术方法,包括有着较强预报能力并已在我们开发的中期数值预报产品解释应用业务系统中投入使用的综合相似统计方法、应用卫星资料作台风路径客观定量相似预报的方法等;另外,在第六章中增加了“晴空回波分析”方面的内容。

本书的再版得到气象出版社陶国庆主任的全力帮助,在此深表谢意。

恳请各位读者继续给予指正并提出修改意见。

编著者

2005 年 1 月于南京

前言

李泽椿院士在《我国中短期天气预报中待解决的基础性科学问题》^①一文中指出:当前大气科学研究中的前沿学科是什么?其判断标准应当是,或通过对该学科的研究对认识大气运动规律有关键性的作用,或是在现有条件下,急于社会所要解决的大气科学问题,通过解决所研究的问题对社会发展有利。而社会发展对大气科学所需求的最主要内容之一是作好天气预报工作。

可见,天气预报是大气科学研究的一个极其重要的方面,准确的天气预报是搞好气象保障服务工作的前提。近十几年来,随着大气科学本身以及计算机等相关学科的迅速发展,天气预报技术有了长足的进步,更加先进也更加多样化了,传统的手工、主观、定性、单一的预报方法逐步向自动、客观、定量、综合的方向发展,有力地推动了天气预报业务现代化的进程,促进了预报保障能力的提高。

然而,尽管有许多先进的预报技术已开发出来,但介绍这些现代天气预报技术的文献却多散布于各种科研论文、文集或有关教材的有关章节中,极大地影响了它们的推广使用;有些预报技术正因为其“新”,人们对其了解不多甚至还很陌生,不利于它们的进一步开发和完善;大气科学和气象业务现代化的进展,迫切需要懂得天气预报技术发展规律、能掌握并应用各种天气预报理论和技术解决问题的现代天气预报业务和研究人才。因此,如果能为有意应用、探讨和研究现代天气预报技术的人们提供学习交流和研究的一点方便,也就达到了我们编写本书的初衷。

我们试图将反映现代天气预报的新技术、新成果能比较全面地、系统地

^① 《现代大气科学前沿与展望》,气象出版社,1996。

介绍给读者。本书共分七章。第一章概论,介绍了大气科学技术发展的基础、特点和现代天气预报技术的发展趋势等问题;第二章数值天气预报及其产品应用技术,简述了数值预报及其产品应用在现代天气预报中的地位 and 作用,分析了数值预报误差的产生原因,介绍了数值产品的误差订正和应用等问题;第三章若干诊断量的分析应用,介绍了 $\vec{Q}$ 矢量、位涡、条件性对称不稳定以及强对流天气分析预报中几个新参数的基本概念及其分析应用方法;第四章基于统计学和人工智能的现代天气预报术,介绍了多层递阶方法、灰色系统理论、专家预报系统、人工神经网络、相似预报的人工智能方法等技术在天气预报中的应用;第五章介绍了气象卫星图像资料在天气预报中的应用;第六章介绍了天气雷达探测资料在天气预报中的应用技术;第七章介绍天气预报业务自动化,对中国气象局 9210 工程的气象信息综合分析处理系统——MICAPS 和作者研制的天气预报自动化智能系统以及美国先进的天气信息交互处理系统——AWIPS 作了介绍。

本书第一、二、四、七章由孔玉寿编写,第三、五、六章由章东华编写。

由于笔者学识有限,编写时间又很仓促,加之篇幅所限,难以把所有新方法、新技术都予介绍;尽管所述内容有不少是笔者的研究成果,但叙述可能不够严密,谬误之处定俯首可拾,敬请各位读者指正并提出修改意见。

本书的出版得到中国气象局、中国人民解放军总参谋部气象局、空军司令部气象局、解放军理工大学气象学院各级领导的大力支持,得到解放军理工大学唐万年教授、秦松寿副教授、费建芳教授、沈家宜副教授的热情关心和指导,得到气象出版社陶国庆主任的全力帮助,在此表示衷心的感谢。本书的许多内容取材于众多研究人员的成果,没有他们的辛勤劳动,本书的出版是难以想象的,对他们以及所有为本书的编写、出版提供过帮助的单位和个人,一并致以深切的谢意!

编著者

2000 年 8 月于南京

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 现代天气预报技术发展的基础和特点	(1)
1.1.1 发展的动力	(1)
1.1.2 发展的条件	(2)
1.1.3 发展的特点	(6)
§ 1.2 现代天气预报技术的发展趋势	(8)
1.2.1 美国天气预报技术的发展	(9)
1.2.2 我国天气预报技术的发展	(14)
参考文献	(17)
第二章 数值预报及其产品应用技术	(19)
§ 2.1 概述	(19)
2.1.1 数值天气预报在大气科学中的作用和地位	(19)
2.1.2 数值预报产品应用在天气预报业务中的作用和意义	(24)
§ 2.2 数值预报产品的接收和预处理	(26)
2.2.1 数值预报图的接收和预处理	(26)
2.2.2 数值预报产品格点资料的接收和预处理	(32)
§ 2.3 数值预报误差的分析和订正	(33)
2.3.1 产生数值预报误差的主要原因	(33)
2.3.2 数值预报误差的分析和订正方法	(38)
§ 2.4 数值预报产品的定性应用方法	(41)
2.4.1 数值预报产品定性应用的基本方法	(41)
2.4.2 数值预报产品定性应用示例	(44)
§ 2.5 数值预报产品的定量应用方法	(53)
2.5.1 数值预报产品统计释用的一般方法	(53)
2.5.2 相似预报法	(59)
2.5.3 动力释用方法	(66)
2.5.4 卡尔曼滤波方法的应用	(69)
§ 2.6 综合集成方法	(75)

2.6.1	综合集成方法的基本思路	(75)
2.6.2	综合集成方法的基本技术	(76)
§ 2.7	我国中期数值预报产品的编报方法	(81)
2.7.1	电码形式	(82)
2.7.2	编码规则和说明	(82)
2.7.3	举例	(86)
参考文献		(87)
第三章 若干诊断量的分析应用		(89)
§ 3.1	$\vec{Q}$ 矢量分析	(89)
3.1.1	$\vec{Q}$ 矢量及其物理意义	(89)
3.1.2	垂直运动的诊断	(91)
3.1.3	锋生锋消的分析	(95)
§ 3.2	位涡思想的应用	(98)
3.2.1	位涡及其分析方法	(98)
3.2.2	位涡思想及其应用	(101)
§ 3.3	条件性对称不稳定	(105)
3.3.1	基本概念	(105)
3.3.2	CSI 的定性判断技术	(107)
3.3.3	CSI 的定量分析技术	(107)
§ 3.4	强对流天气分析预报中新近引入的几个参数	(112)
3.4.1	粗 R_i 数	(112)
3.4.2	螺旋度	(113)
3.4.3	能量-螺旋度指数	(117)
3.4.4	雷暴大风指数	(117)
参考文献		(119)
第四章 基于统计学和人工智能的现代天气预报技术		(121)
§ 4.1	多层递阶预报方法	(121)
4.1.1	多层递阶预报的基本原理	(122)
4.1.2	输入变量因子的选取和处理	(124)
4.1.3	预报模型的输出	(125)
4.1.4	模型输出结果分析	(127)
§ 4.2	灰色系统理论及其在天气预报中的应用	(128)
4.2.1	灰色预测模型	(129)

4.2.2	灰色预测模型的应用	(132)
§ 4.3	气象预报专家系统	(135)
4.3.1	WFES 的结构	(135)
4.3.2	WFES 的工作原理	(138)
4.3.3	WFES 与一般程序的区别	(139)
4.3.4	知识库的建立	(142)
4.3.5	推理控制策略及其实现	(147)
§ 4.4	人工神经网络在天气预报中的应用	(150)
4.4.1	ANN 的基本工作原理	(150)
4.4.2	BP-ANN 在天气预报中的应用	(153)
§ 4.5	相似预报的人工智能方法	(156)
4.5.1	基本思想和关键技术	(156)
4.5.2	相似预报自动化智能系统的实现	(159)
	参考文献	(162)
第五章	气象卫星图像资料的应用	(163)
§ 5.1	基本原理及简单识别	(163)
5.1.1	基本原理	(163)
5.1.2	云和云系的识别	(166)
5.1.3	地表的识别	(167)
5.1.4	气象卫星图像资料在天气预报过程中的应用	(168)
§ 5.2	云型分析及水汽边界	(169)
5.2.1	中尺度云型	(169)
5.2.2	天气尺度云型	(170)
5.2.3	根据云型特征确定天气系统的位置	(170)
5.2.4	与斜压槽有关的云型分析	(172)
5.2.5	一些重要的水汽边界	(177)
§ 5.3	锋面、波动和中纬度气旋	(180)
5.3.1	锋面云系特征	(180)
5.3.2	天气尺度波动	(184)
5.3.3	中纬度气旋	(185)
§ 5.4	热带天气的分析	(189)
5.4.1	ITCZ 和热带云团	(189)
5.4.2	热带对流层上部槽(TUTT)和东风波	(190)
5.4.3	热带气旋云型概念模式	(191)

5.4.4	热带气旋中心的定位方法	(194)
5.4.5	热带气旋的强度估计方法	(195)
5.4.6	热带气旋移动以及登陆后暴雨的预报	(197)
§ 5.5	对流尺度天气的分析预报	(203)
5.5.1	对流云型概述	(203)
5.5.2	地形引发的对流云型	(205)
5.5.3	对流尺度相互作用	(207)
5.5.4	有组织的中尺度对流系统	(208)
5.5.5	对流性天气预报的一般思路:“卫星预报漏斗”	(212)
§ 5.6	应用卫星资料估计降水量	(213)
5.6.1	降水估计方法简介	(213)
5.6.2	Scofield 和 Oliver 降水估计方法	(214)
	参考文献	(216)
第六章	天气雷达图像资料的应用	(217)
§ 6.1	基本原理	(217)
6.1.1	雷达气象方程	(217)
6.1.2	雷达资料的显示方式	(218)
6.1.3	雷达回波分析中存在的问题	(219)
6.1.4	多普勒天气雷达	(222)
§ 6.2	雷达回波的简单识别及分析方法	(225)
6.2.1	云回波和降水回波	(225)
6.2.2	雷达回波分析方法简介	(226)
§ 6.3	雷达探测强雷暴	(227)
6.3.1	基于雷达反射率的强风暴探测	(227)
6.3.2	基于风暴结构的强风暴特征	(232)
6.3.3	基于多普勒雷达的强风暴探测	(233)
§ 6.4	气旋和锋面降水的雷达探测	(241)
6.4.1	中纬度锋面气旋中尺度雨带	(241)
6.4.2	静止锋雨带	(244)
6.4.3	锋面系统的多普勒径向速度模型	(245)
§ 6.5	热带天气系统的雷达探测	(246)
6.5.1	台风	(246)
6.5.2	热带中尺度对流系统	(250)
§ 6.6	晴空回波的分析	(253)

6.6.1 晴空回波的来源·····	(253)
6.6.2 可探测到的风现象·····	(253)
6.6.3 地物杂波·····	(257)
参考文献·····	(258)
第七章 天气预报业务自动化 ·····	(259)
§ 7.1 气象信息综合分析处理系统·····	(259)
7.1.1 MICAPS 的基本结构·····	(260)
7.1.2 MICAPS 的基本操作和使用·····	(262)
§ 7.2 天气预报自动化智能系统·····	(267)
7.2.1 系统的结构和主要功能·····	(268)
7.2.2 系统采用的主要技术及其原理·····	(271)
§ 7.3 先进的天气信息交互处理系统·····	(276)
7.3.1 系统的基本组成·····	(277)
7.3.2 系统的扩充和完善·····	(278)
参考文献·····	(280)
附录:本书缩写字母及代表意义 ·····	(281)

第一章 绪 论

社会发展对大气科学所需求的最主要内容之一是作好天气预报工作。天气预报技术的发展史就是一部以适应社会发展为动力,以其他领域科学技术的进步与相互渗透为条件,以预报手段日益进步、预报准确率不断提高为标志的历史。深刻认识现代天气预报技术发展的基础和特点,明确其发展的趋势,才能把握其发展方向,更好地开发和应用新的预报技术,为天气预报这一大气科学的重要领域的发展作出贡献。

§ 1.1 现代天气预报技术发展的基础和特点

1.1.1 发展的动力

与任何事物的发展都需要动力一样,天气预报技术的发展与进步始终以人类社会的需求为动力。以我国为例,由于位于东亚季风区,地跨高、中、低纬度,每年夏半年常受热带气旋(台风)侵袭,带来狂风暴雨,引发大范围洪涝灾害;冬半年常受寒潮影响,带来强降温、大风、冰凌和暴风雪等灾害。1998年6~9月间在我国长江和嫩江、松花江流域发生了历史上罕见的特大洪灾,受灾面积3.18亿亩^①,受灾人口2.27亿,死亡3006人,倒塌房屋497万间,直接经济损失高达1754亿多元。人民解放军和武警部队投入了自渡江战役以来以及东北解放战争以后的最多兵力进行抗洪救灾。表1.1为民政部对1989~1994年的灾情统计。

表 1.1 1989~1994 年中国气象自然灾害损失情况表(取自李泽椿,1996)

年份	作物受灾面积(万亩)	死亡人数(人)	经济损失(亿元)
1989	70411	5952	525.00
1990	57711	7338	616.00
1991	83208	7315	1215.50
1992	77000	5741	853.90
1993	73244	6125	993.90
1994	82564	8549	1876.00
合计	444138	41020	6080.30
平均	74023	6837	1013.38

① 1 亩 = 666. 6 m², 下同。

天气预报虽不能阻止某种天气现象的发生,但正确的天气预报却可使人们避害趋利,减少灾害性天气造成的损失。1994年9417号台风正面登陆浙江,虽造成数百亿元和死亡千人的巨大损失,但当地省政府领导还是认为,如果没有气象部门的正确预报,损失将会更大,死亡人数将增加几十倍。

我国地方和军队的气象部门在1998年这场惊心动魄的抗洪斗争中作出了突出的贡献。早在1998年4月初,由国家水利中心和国家气候中心联合召开,有国家气象中心、中国气象科学研究院、中国科学院大气物理研究所以及军队气象部门等十几个单位的专家参加的会商会上,就对当年汛期旱涝趋势进行了分析。地方和军队气象部门做出了长江中下游、江南北部局地降水偏多5成以上,部分地区将发生较严重的洪涝灾害;东北南部、华北东部降水偏多,局部地区将发生洪涝灾害的预报,为有关部门及早作好防洪准备,采取预防措施提供了依据。抗洪过程中,准确的天气预报,精心的保障服务,为“严防死守”战略决策的制定和实施,为抗洪大军的部署、抗洪物资的运输,为取得抗洪斗争的伟大胜利提供了必不可少的基础。可以想象,若无准确的天气预报,1998年的经济损失何止1754亿!

在现代高技术条件下的战争中,战役作战的基本样式将都是联合作战。由于联合作战具有很强的战略性,为赢得战略战役的主动权,气象预报保障在战役的筹划与组织阶段就起着重要的辅助决策作用。1991年海湾战争开始之前,美军气象部门就受命对海湾地区的气候、水文特点及天文情况作了较长时间的分析研究。美军决策层依据气象部门提供的情报,综合考虑其它因素后选择1991年1月15日和17日分别作为伊拉克撤军的最后期限和多国部队发起战略性空袭的时间,赢得了空中战役的主动权,确保了战役作战的顺利进行。此外,在现代高技术条件下,由于联合作战的参战力量多元化,具有多军兵种、多武器装备参战,海、陆、空、天、电立体交战的特征,对气象预报保障提出了更高的要求。

可见,天气尤其是灾害性天气,对人们的生活、生产、军事活动的影响是如此之大,以致可直接关系到经济的发展、战争的胜负和人类社会的稳定与进步。天气预报技术正是以人们对天气预报准确性的要求日益提高为根本动力而进步和发展起来的。

1.1.2 发展的条件

人们需要提供准确的天气预报,而天气预报技术的发展则需要相应的条件。这些条件主要包括:大气信息的采集和传输方式的改进,对大气运动和天气变化规律、物理机制的深刻认识,以及计算方法和计算工具的改进等。

1.1.2.1 改进采集大气信息手段,获取丰富的观、探测气象资料

改进采集大气信息手段,获取丰富的观、探测气象资料,是天气预报工作得以进行的前提,更是现代天气预报技术发展的基本要求和首要条件。

自古以来,人类就对天气现象和物候进行观测,并在此基础上总结出诸如“朝霞不出门,晚霞行千里”之类的大量天气谚语,人们据此开始制作纯经验性的天气预报。随着科学技术的进步,从16世纪末到20世纪初逐渐出现了利用气象仪器进行地面定量气象观测:1597年伽利略(Galileo)发明温度表,1643年托里拆利(E. Torricelli)发明气压表,1667年胡克(R. Hooker)制成压板式风速器,1783年索修尔(H. B. Saussure)发明毛发湿度计,此后又相继出现了雨量器和辐射表,对大气定量的观测为天气预报技术的发展奠定了坚实的基础。1820年,德国气象学家布兰底斯(H. W. Brands)以通信方式收集了1783年3月6日欧洲39个地面观测站资料(包括天气、气压、温度、风等),在莱比锡把它们一一填在地图上,用德国洪堡(A. Humboldt)画等温线的方法(1817)绘制等压线,作为现代天气图的雏形,即世界上第一张天气图从此诞生。1855年,法国巴黎天文台台长、发现海王星的著名天文学家莱伐尔(Le Verrier)利用天气图追索克里米亚战争时出现的风暴(1854年11月12~16日),并在学术会议上宣布“若组织观测网,迅速将观测资料集中一地,分析绘制天气图,便可推知未来风暴的行径”。此后,气象台站和气象观测网开始建立,初步形成了地面气象观测体系,即天气学萌生。荷兰于1860年开始正式发布天气预报,成为近代天气预报发展的标志。英国(1861)、法国(1863)也相继开始发布天气预报。此时,人们只是根据地面观测资料,绘制地面天气图进行分析,采用非常简单的外推法预报高、低压系统移动,靠“高压多晴天,低压多雨天”的粗浅认识作天气预报。

20世纪20年代至60年代初,大气探测由地面观测发展到高空探测阶段:1928年Л. А. 莫尔恰诺夫发明无线电探空仪,随后在世界各地组建了探空网;1946年,美国发射第一枚气象火箭——“女兵下士”;与此同时,天气雷达、气象侦察飞机也开始用于大气探测。人们实现了对大气的三维探测,可以测得空中气温、气压、湿度和风等气象要素,出现了高空天气图。根据新的观测事实,人们对大气的垂直结构有了较深入的了解,罗斯贝(C. G. Rossby)揭示出行星波并提出著名的大气长波理论,不但为后来出现的大气环流数值模拟和数值天气预报开辟了道路,而且使当时的预报工具出现地面图和高空图并重,人们开始从三维空间追踪天气系统的演变,天气预报的水平达到了新的高度。

以1960年4月1日第一颗气象卫星(美国泰罗斯1号)发射成功为主要标志,大气探测进入了遥感、遥测阶段:除了卫星探测外,大量的新型天气雷达(包括多普勒雷达、激光雷达、风廓线雷达等)以及微波辐射仪、自动观测站等新型遥感遥测仪器设备的使用,使人们获得的大气信息更加广泛、更加细致。这不但促进了中尺度气象学、卫星气象学、雷达气象学等学科的发展,也为对资料的质量和数量要求甚高的数值预报的发展提供了条件,形成了综合利用各种大气探测资料,综合应用各种预报方法的现代天气预报技术特点,使人类对大气演变的预测能力得到进一步的提高。

1.1.2.2 大气科学理论研究的深入和发展

大气科学理论研究的深入是揭示大气运动物理机制和天气变化规律,发展现代天气预报技术方法的基础。

随着大气探测技术的发展,采集到的大气信息日益丰富,直接促进了大气科学理论研究的进展,而理论研究的成果则又是天气预报技术发展的基础。

1920年前后,皮耶克尼斯(V. Bjerknes)等在研究了大量地面天气图基础上,把风场、温度场结合起来,提出了气团、锋面、气旋概念和学说以及斜压概念和环流理论,形成了气象界第一个学派,即**挪威学派**(也称卑尔根学派),为近代天气预报奠定了理论基础,至今这些理论的框架仍是正确的。根据这一理论,明确提出天气预报的两个主要步骤:利用天气图预报气团、锋面和气旋的未来位置;根据预报的天气形势,预报未来的天气。这种传统的预报思路和方法一直延用至今。

1922年,里查森(L. F. Richardson)在总结1916~1918年间根据逐步积分的概念,以1910年5月20日07时资料用差分法求解大气运动方程,进行数值天气预报尝试的基础上,出版了《用数学的方法做天气预报》一书,为后来的客观天气预报技术的发展开辟了道路。

1936年,Rossby等首先在高空天气图上发现了北半球中纬度高空在自西向东的绕极环流之上,叠加有长达数千千米的波动,这些波动除有自身的结构和运动规律外,还与低空的锋面气旋存在内在的联系。对于这种现象,Rossby提出了位势涡度概念,从理论上证明了这是科里奥利参数 $f = 2\Omega\sin\varphi$ 随纬度变化,即 β 效应而引起的一种涡旋性波动,从而创立了著名的长波(即行星波)理论,并于40年代初形成以长波理论为主要特征的芝加哥学派。这是大气科学历史上的一个重大发展,并由此引起一系列的理论研究,相继提出了大气运动的地转适应理论(Rossby, 1938);行星波的斜压不稳定理论(Charney, 1947)、能量频散理论(Rossby、叶笃正, 1949)和正压不稳定理论(郭晓岚, 1949),以及大气运动的尺度分析理论(Charney, 1949)等。这些研究,使理论气象学,即动力气象学逐渐形成并迅速发展。其主要特点是应用了热力学和流体力学的概念和原理,用数学的语言系统地说明关于大气热力和动力过程的基本规律。正如马克思所说:“一种科学只有在成功地运用数学时,才算达到真正完善的地步”。动力气象学的建立和发展,虽远未使大气科学达到“完善”的地步,但为定量研究大气运动,为数值模拟和数值天气预报的发展奠定了可靠的理论基础。采用从动力气象学推论出的预报方程,进行定性应用,则使天气预报从纯经验外推走向理论指导下的物理分析。

随着大气探测手段的逐步现代化,观测资料的日益丰富,揭示出许多新的观测事实。尤其是电子计算机的诞生和普及,大大改善并加速了理论研究的步伐,促进了天气预报现代化的进程。1950年Charney等首次成功地将1922年Richardson设想的在当时无法实现的数值天气预报在电子计算机上实现了,为开展数值天气预报业务作出了

贡献。菲利普斯(Phillips, 1956)开始用数值模拟方法研究大气环流。以 Charney 等(1964)提出的第二类条件性不稳定(CISK)概念、郭晓岚(1965)提出的积云对流参数化方案及松野(Matsuno, 1966)提出的热带波动为代表的热带大气动力学在 20 世纪 60 年代有了很大发展。近 30 年来,在对中小尺度系统的研究中,提出了对称不稳定、横波不稳定等概念;在对平流层的研究中,对爆发性增温、准两年振荡等现象进行了深入的分析,并建立了相应的理论;在对大气环流的遥相关、大气对外源强迫的响应(包括海气相互作用)以及大气中低频系统活动等方面的研究中,也都取得了很好的成果,促进了行星波理论的发展。这些成果对天气预报技术的直接影响是使数值预报模式所反映的物理过程不断完善,数值处理手段不断改进,预报方法不断增加,预报思路不断开阔,预报准确率不断提高,使天气预报从一种技术发展为一门科学,从主观定性预报发展为客观定量预报。

1.1.2.3 高效的气象信息传输,是现代天气预报技术发展的基本保证

要制作天气预报,必须要有足够的气象信息资料,这些资料要靠通信传输来获得。现代气象通信是在有线电报问世以后逐渐发展起来的。早期的气象情报传递主要靠通用的有线电、无线电收(发)报机和有线电话。1851 年英国博览会期间格莱谢尔(J. Glaisher)曾把每日天气预报以石印方式印刷出来广为散发,轰动一时,他所用的地面天气图就是利用电报传送的气象观测资料绘制的。20 世纪 40 年代以后,陆续出现了气象专用的电传打字机和气象传真机等,气象情报的传输速率由数十比特/秒提高到数百比特/秒。气象资料最初采用手工抄报,并用保存电报底稿的办法进行保存。电子计算机和缩微技术出现后,气象资料的录取、存储改用穿孔卡片、磁带和缩微胶片,后来发展到磁盘和光盘,并可用语音、数字符号、文字、图形和图像等多种形式表述。特别是 20 世纪 60 年代以后,由于电子计算机数据通信技术的发展,气象情报的传输速率提高到数千比特/秒(一般为 1200~9600bps)。光纤通信和卫星通信的相继应用,并以计算机作为处理终端,不但使气象情报传输更加快捷、可靠,而且通过通信网可以直接进入计算机,使气象情报的获取、传输与加工处理逐渐合为一体。气象通信技术发生的质的变化,使天气预报工作者每天能获得多达数十兆信息量的资料并从容处理,使数值预报等依赖大量实时气象资料的预报技术得以发展和业务化,使一系列天气分析预报自动化系统得以实现。因此说,高效(高速度、高精度)的气象信息传输是现代天气预报技术发展的基本保证。

1.1.2.4 电子计算机的应用是现代天气预报技术发展的催化剂和关键因素

计算机与当今天气预报的主要方法——数值预报的关系是不言而喻的。Richardson 所作的世界上首次数值预报的失败就是一个例证。他于 1916~1918 年间组织了大量人力,利用 1910 年 5 月 20 日的资料计算了中欧两个点的地面气压预报值,得到其中

之一的3小时变压为70hPa,而实况却很少变化。他失望了!当时他用的是原始方程五层模式,与当今世界上流行的原始方程预报模式非常相近,全球3200个格点,南北和东西方向格距分别为200km和3个经度。利用当时的计算工具,估计要在12小时内作出一次24小时预报,至少需要6400人不停地计算才能完成。因此,他曾“梦想”建立一个天气预报工厂。可见,Richardson的失败也许可找出其它许多原因,但没有电子计算机的帮助显然是最重要的原因之一。

1946,世界上第一台电子计算机(ENIAC)在美国诞生。1950年,查尼(Charney)、诺伊曼(J. Von Neumann)和菲约托夫特(R. Fjortoft)等人用准地转一层模式和实际初始资料在这种速度仅每秒1000次的计算机上用了12小时作出北美地区500hPa24小时气压形势数值预报,开创了大气科学的新纪元——气象学家可以在电子计算机上用计算的方法作定量的天气预报了!

随着计算机技术的发展,计算机的运算速度越来越快,处理问题的功能越来越强(已出现智能计算机、并行计算机等),且微型计算机在20世纪80年代后以空前的速度得到普及。这一切不但使数值天气预报得到快速的发展和普及,而且使气象资料(包括地面、高空探测资料和卫星、雷达探测资料等)的处理、天气图的自动填绘和分析、统计预报方程的自动建立和运算、人工智能技术在天气预报中的应用等,都得以相继实现。

以客观化、定量化、自动化、智能化和综合化为主要标志的现代天气预报技术的发展,始终以电子计算机技术的发展为依托。可以说,没有电子计算机就没有现代天气预报技术。

1.1.3 发展的特点

从以上对现代天气预报技术发展的动力和条件的分析中,我们可以归纳出其发展具有以下几个主要特点。

1.1.3.1 人类需求决定了天气预报技术发展的重点

人类社会的需求是天气预报技术发展的动力,同时也决定了其发展的重点。在农业社会,人们主要关心的是晴雨和冷暖,天气预报所要解决的问题相对简单,因而相应的天气预报技术也比较单一,以经验为主。随着社会的发展,尤其到了现代社会,由于社会分工的细化、生产和科学研究规模的扩大、战争形式的改变以及人类对物质、文化需求的日益提高,对天气预报提出了更高的要求。如经济建设中,大型项目的长周期建设、船舶的洲际远航、商品的季节性调整、季节性疾病的预防、军事上的战略部署和战役准备等等,需要的是准确的中长期天气预报;而航空活动和火箭、卫星的发射等,更需要的是包括云、风、能见度、气温和雷电等强对流天气的详细的中短期和短时预报。又如,高速公路的发展,使交通运输部门对大雾天气更为关注;航天事业的发展,要求气象工作者把天气预报的范围从地面延伸到中高层大气;航海事业的发展 and 海底资源的开发,则使