

干部继续教育系列教材

5 天气预报技术的 若干进展

柳崇健 主编

气象出版社

干部继续教育系列教材

天气预报技术的若干进展

柳崇健 主编

气象出版社

内 容 简 介

本书是北京气象学院干部继续教育系列教材之一。介绍了天气预报的若干新技术,不但涉及到传统的动力与统计预报方法的一些最新进展,而且深入论述了非线性大气动力学、投影算子技术、多媒体技术、大气突变理论、雷达与卫星图像解译技术、集合预报和气象信息综合分析处理系统等的主要原理及其在天气预报和警报中的应用。基础理论的阐述深入浅出,实际应用的介绍辅以详尽的例子,不但适合于气象学、海洋学和水文学等以预报为主旨的领域内的科技工作者和大专院校师生阅读,亦可供广大从事业务预报工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

天气预报技术的若干进展/柳崇健主编.-北京:气象出版社,1998.8

干部继续教育系列教材

ISBN 7-5029-2579-1

I.天… II.柳… III.天气预报-方法-干部培训-教材 N.P456

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第21923号

柳崇健 主编

责任编辑:宋 钢 终审:陆同文

封面设计:郭 靖 责任技编:刘祥玉 责任校对:宋春香

气象出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路46号 邮政编码:100081)

北京王史山胶印厂印刷

* * *

开本:850×1168 1/32 印张:14.875 字数:385千字

1998年8月第一版 1998年8月第一次印刷

印数:1~600

ISBN 7-5029-2579-1/P·0906

定价:25.00元

主 编:柳崇健

参加编写人员:

第一章	郑祖光
第二章	于玉斌
第三章	熊廷南
第四章	江剑民
第五章	张兴旺
第六章	林锦瑞
第七章	俞小鼎
第八章	姚秀萍
第九章	范红
第十章	柳崇健

序 言

现代社会的一大特点是教育观的根本转变,受教育不再只是青少年的事了。青年人要接受教育,中年人要接受教育,甚至老年人也要接受教育,接受教育已成为现代社会里每个人的终身义务。二次世界大战后成人教育在全世界蓬勃发展,成人教育的发展不仅提高了整个社会的文明程度,也使每个人能更好地适应现代社会的高速发展和高节奏的生活。

现代社会被人们称之为信息社会、知识爆炸的社会,“知识”正以前所未有的速度在更新、更替。已经接受过教育、甚至高等教育的人如果不重新回到课堂去学习,就会落伍,就会跟不上时代发展的步伐,也就难以为社会的进步做出更大的贡献,难以在自己的社会贡献中实现自己的价值。继续教育的任务就是要那些已经接受过高等教育的人再次接受教育,重新学习和掌握已经更新和发展了的知识。

国家教委最近公布的《中国教育改革和发展纲要》中指出:成人教育是传统学校教育向终身教育发展的一种新型教育制度,对不断提高全民族素质、促进经济和社会发展具有重要作用。要把大力开展岗位培训和继续教育作为重点,重视从业人员的知识更新。

气象继续教育的功能还有着更为特殊而重要的内涵。它不仅仅是一般性地充实从业人员的知识,提高他们的基本素质,它还直接关系到气象现代化的进程,关系到气象现代化建设所创造的社会效益和经济效益。

1984年1月国家气象局在北京召开了全国气象工作会议,一致通过了《建国以来气象工作基本经验总结》和《气象现代化建设发展纲要》,气象事业重新走上了健康发展的轨道,气象现代化建设从此大踏步地前进了,取得了举世瞩目的成绩。今年中国气象局又召开了具有深远意义的全国气象工作会议,总结经验,规划未来,

气象事业又将登上一个新的台阶。

面对着这样一个令人兴奋的局面,我们还有着一重忧虑,那就是人才的匮乏。因为任何现代化工程项目的建设不仅仅是一个资金问题,建成后能否充分发挥建设效益的关键性制约因素,是管理水平和技术人员素质的高低。在“气象卫星综合应用业务系统”、“大气监测自动化系统”等六大骨干工程正在加紧建设的今天,“十年树木,百年树人”,管理人员和技术人员的超前培训已经迫在眉睫。

有鉴于此,为适应这种形势,国家气象局1990年在成都召开了全国气象教育工作会议,对三所直属高等院校的任务和分工做了调整,明确指出,今后北京气象学院要把成人教育、特别是高层次继续教育作为工作的重点。这是具有重大战略意义的决策,充分体现了国家气象局领导在发展气象现代化的进程中所具有的远见卓识。

经过近三年的努力,北京气象学院已初步建成了继续教育体系,对一批中高层次的管理人员和技术人员进行了短期培训,并且编写出了一部分具有一定水平的教材。我们决定陆续出版,希望最终能形成一个完整的教材体系,对推进继续教育的发展作出一份微薄的贡献。

我院继续教育工作尚处起步阶段,由于种种条件的制约,当前面临的困难甚多,师资队伍与高层次继续教育不相适应,在这种条件下编写的教材一定很不成熟。其中的缺陷、不足和错误,欢迎读者批评指正。

中国科学院院士
北京气象学院院长

丑纪范

1995年1月于北京

前 言

天气预报技术跟地震预报、海洋预报和水文预报技术一样,都是从经典力学的框架中开发出来的。经典力学声称只要初始条件给得足够精确,我们就可以借助确定论的永恒的力学定律去预测未来的所有细节。可是自从气象学家作为混沌动力学先驱者的地位被确认以后,包括可预报性在内的复杂性问题一直是人们探索的重点。然而在复杂系统的预测方面,我们是否同样被唤起了共同发现永恒定律那样的科学热忱呢?

循着莫宁的见解,我们可以说,纵然天气预报遇到了前所未有的严重挑战,但仅仅指出现象的复杂性(无规性或不可预报性)是不够的,任何一门学科,都不会为自己确定一种消极的目标。我们实际看到的情况也正是这样。在最近35年探索复杂性和非线性性的艰难历程中,随着天气预报概念和方法的不断发展和更新,现代化的观测和预报业务系统日臻完善,天气预报准确率亦获得了缓慢但持续的提高。

我们逐渐领悟到,天气预报既然处理的对象是大气这样一种多体系统,因而不能简单地诉诸牛顿力学的经典确定论(且不说对于大气而言经典意义下的初始条件只存在于宇宙大爆炸的瞬间,那是一种已经失去也是无法找回的条件),同时又由于对于一个不可逆的多体系统,完整的彭加莱循环不可能被经历,因而难于对不重复历史的系统进行统计预测;那么面对“既非确定又不服从统计”的大气系统,我们就必须寻求第三种道路。至少作为第一步,应将动力与统计方法综合起来。从某种程度上说,集合预报也是出于这种领悟。因此,本书在回顾天气预报技术进展时,这方面的内容占有相当大的比重。大气突变理论和投影算子技术的应用,是体现天气预报技术革新必须理论先行的范例,本书亦作了有重点的介绍。至于现代高新技术,从计算机多媒体技术、气象卫星和雷达资

料解译技术,一直到基于气象信息高速公路的气象信息综合分析处理系统,本书都作了尽可能详尽的阐述并给出了具体的应用例子乃至应用程序。

本书的内容绝大部分都在1996年与1997年两期《全国工程师高级研修班》上试讲过。这个高级研修班是中国气象局有关主管部门为全国各省气象台培养进入21世纪的业务骨干或带头人而在北京气象学院开办的。每期班后讲稿内容均吸收了学员们的意见作出细致的修改,这次成书过程又经各位作者认真编改,希望此书的正式出版能使更多的读者从中受益。

诚然,由于篇幅和撰稿者水平等方面的原因,本书无力介绍所有重要的天气预报新技术。错谬之处亦在所难免,恳望读者不吝指正。

柳崇健
1998年6月

目 录

序 言

前 言

第一章	用动力-统计方法研究非线性大气系统	(1)
1.1	引言	(1)
1.2	非线性动力系统的定性理论	(3)
1.3	混沌和奇怪吸引子的遍历理论	(58)
1.4	大气系统中的随机性	(66)
1.5	用气象时间序列研究大气系统	(88)
第二章	气象信息综合分析处理系统	(114)
2.1	MICAPS 主窗口	(114)
2.2	数据检索	(117)
2.3	图形操作	(123)
2.4	图形编辑	(132)
2.5	检索其他信息	(141)
2.6	预报产品制作及打印	(150)
第三章	水汽图像在天气分析和预报中的解译与应用	(154)
3.1	引言	(154)
3.2	影响卫星测量辐射的因素	(155)
3.3	湿度对辐射测值的影响	(164)
3.4	水汽图像与探空资料的个例研究	(179)
3.5	水汽区边界的基本类型	(183)
3.6	边界小结	(194)
第四章	旋转主分量分析和气候突变检测方法及其应用	(203)
4.1	旋转主分量分析方法	(203)
4.2	常用的气候突变检测方法	(208)

4.3	应用:对我国大气干旱指数及其气候突变的分析	(210)
4.4	应用:对全球海温异常的区域性及其变化的分析	(223)
4.5	应用:对北半球夏季500hPa 候平均高度场 异常持续性的分析	(230)
4.6	多尺度气候突变的扫描检测	(239)
第五章	Q 矢量分析	(252)
5.1	引言	(252)
5.2	准地转 Q 矢量分析	(252)
5.3	非地转 Q 矢量分析	(259)
5.4	湿 Q 矢量分析	(266)
5.5	Q 矢量散度在降水落区诊断分析中应用	(275)
5.6	小结	(280)
第六章	多普勒天气雷达资料在天气预报与警报中的应用	(282)
6.1	引言	(282)
6.2	多普勒天气雷达探测原理概述	(282)
6.3	单部多普勒雷达探测	(288)
6.4	大面积层状云降水强度回波及其多普勒速度图像 的解释	(298)
6.5	对流风暴云的多普勒图像解释	(309)
6.6	多普勒天气雷达资料在天气警报和预报中应用	(315)
第七章	集合预报	(337)
7.1	集合预报的基本概念	(337)
7.2	初始扰动产生的方法	(339)
7.3	集合预报产品简介	(341)
7.4	集合预报的客观检验	(347)
7.5	应用个例	(352)

7.6	问题与展望	(359)
第八章	大气动力学的某些应用.....	(365)
8.1	大气的稳定性与对流	(365)
8.2	位涡及其应用	(396)
第九章	多媒体技术及其应用简介.....	(407)
9.1	多媒体基础知识	(407)
9.2	多媒体计算机	(412)
9.3	多媒体的制作	(413)
9.4	联机多媒体	(420)
9.5	多媒体的发展前景	(427)
9.6	如何使用 Visual Basic 开发应用程序	(429)
第十章	投影算子技术及其应用.....	(454)
10.1	引言	(454)
10.2	原理.....	(455)
10.3	结果和讨论.....	(456)

第一章 用动力-统计方法研究 非线性大气系统

郑祖光

1.1 引言

1963年美国著名气象学家 E. N. Lorenz 发表了“确定的非周期流”这篇文章,内容是从确定的大气运动方程组中算出了非周期的解。他在研究大气热对流运动时,从决定论的物理定律出发,发现在确定性的动力系统中存在多种运动形态,包括混乱的湍流运动。1971年 Ruelle 将这种非周期流与流体实验中发生的湍流现象联系起来,提出了奇怪吸引子或浑沌的物理概念。二十多年来,在自然科学的许多领域里通过实验和理论研究发现,很多确定的非线性动力系统(写成微分方程或代数方程)当控制参数变化后,系统的状态都能出现非周期的浑沌现象,并产生了研究非线性系统的新的数学理论和方法,呈现出多学科互相渗透、协同发展和辩证综合的明显趋势,使科学工作者在认识上产生新的飞跃。奇怪吸引子的概念和浑沌理论的提出,对动力系统的“决定论”观点产生很大的震动。这种新的概念、理论和数学方法对大气科学的研究和应用产生了重大的影响。

大气系统是一个强迫、耗散、非线性的动力系统,开放而非保守的系统。大气和外界有物质和能量的交换。大气运动是在非平衡的热力、动力强迫下进行的,大气内部的物理过程之间存在着非线性相互作用。大气运动的形态是非平衡的物理参数越过临界点

后,通过系统状态的转换而呈现出的新的自组织的动力学体制——耗散结构。这种自身组织运动形态的能力,是大气系统的一个本质属性;系统中的多平衡态、分岔、突变和混沌,都是这种属性的典型表现。因此,大气系统既有确定性的一面,又有不确定的随机性的一面。动力-随机的观点重视外部对大气的影响,但首先着眼于大气本身的动力不稳定性。

从认识论讲,大气系统中存在着确定性和随机性的辩证统一;从方法论讲,就要把动力学和概率统计的理论和方法有机地结合起来加以综合应用,才能全面、深入地研究大气运动中的复杂现象。就动力学方法而言,它首先把描述特定问题的大气方程组(一般是非线性的偏微分方程),采用 Galerkin 方法化成相应的非线性的常微分方程组(动力系统);然后求出常微分方程在设定的控制参数值下的平衡解及其稳定性;又应用常微分方程的几何理论,通过在设定的控制参数值下求得的数值解,在由系统自变量构成的相空间中,绘制成相轨线,考察解的长时间行为,从全局上分析系统所处的状态,以及当前的状态如何随着控制参数的改变而转换成新的状态,直到出现混沌态——方程的非周期解。由于常微分方程是原偏微分方程的近似,又由于常微分方程是在某些参数值下求解,因而上述分析只能是真实大气系统的定性分析。

就概率论统计学而言,在含有奇怪吸引子(混沌的、随机的、非周期的)动力系统中存在着遍历测度。这就是说,虽然大气过程具有不确定性,但允许对其长时间行为用统计方法加以描述,考察在大气状态的相空间中从初始概率分布出发随时间的演化,而初始概率可以从气象观测资料中得到。相空间轨线在足够长的时间里在奇怪吸引子上是遍历的,可以构造某些遍历统计量来刻画系统状态的统计特征,即经过长时间后系统趋向的终态,而瞬间的暂态变得不那么重要。

如何把非线性理论观点和动力-统计相结合的方法应用于实际,是人们十分关心的问题。可喜的是,实际应用已经取得明显的

成效。一方面,深入认识和解释了指数循环、阻塞形势、环流突变、副高北跳、边界层湍流、大气过程的可预报性等大气中的复杂现象,提出了更加合理的物理机制,对天气气候演变的分析和预测具有指导意义。另一方面,利用足够长时间的单个气象变量时间序列重构大气系统的相空间,恢复动力学,计算分析遍历统计量,用以考察系统状态及其演变。其中,把分维平滑和子波分析的原理和方法引进时间序列分析,是新的进展。利用气象资料分析天气气候系统的非线性特征,更贴近气象实际工作,更容易为气象台站所使用,具有良好的应用前景。

以下就依循这条思路展开。首先介绍非线性动力系统的定性理论和遍历理论及其在气象上的应用;而后讲述根据气象资料分析大气系统的非线性特征。

1.2 非线性动力系统的定性理论

物理系统的动力学理论有赖于数学理论的发展。60年代初,Lorenz发现非周期现象时,数学理论的发展状况限于解决线性问题,对于物理系统中呈现出的复杂现象难以从当时的数学理论中得到解决。因此,或者不去理会严格的数学而以物理学开路;或者等到数学问题搞得足够清楚后再推动物理学前进。看来,这两者都不是上策。数学和物理学应当互相促进,即便它们都不很完善。动力系统的定性理论比较成功地达到了这一辩证法要求,这也是为什么称为“定性”(而不是“定量”)的缘故。

大气科学的发展也是这样,它受到自然科学特别是数学发展水平的制约和推动。在动力系统的现代定性理论取得进展的背景下,大气动力学也发生了深刻的变化:从线性走向非线性,从保守系统走向开放系统,把大气看成强迫、耗散、非线性的系统。定性理论则是研究这种系统的有效方法。为了增强对物理系统中复杂现象的直观了解,先看一个圆盘实验并从中得到启示,然后把描述物

理系统的偏微分方程转化成相应的常微分方程进行研究。

1.2.1 圆盘实验和物理实验的启示

圆盘实验的目的是考察流体在机械力和热力强迫下的运动。实验装置是模拟大气状况的。在两个以同样角速度旋转的同轴圆筒之间放进流体,且内筒冷却而外筒加热,这些类似于大气处在地球旋转和南北温差驱动下的情形。随着控制参数(转速和内外筒温差)数值的变化,流体运动的形态(流动体制)发生了变化:Hadley体制——时间定常、空间对称的流型;Rossby波体制,包括时间和空间纯周期性和在时间上准周期的振荡;准地转湍流——在时间和空间上都是非周期的。分别由图 1.1(a)、(b)、(c)、(d)以及图 1.2 中标出的 H 、 R 、 T 所示。图 1.2 中两个控制参数 R 及 T 分别是:

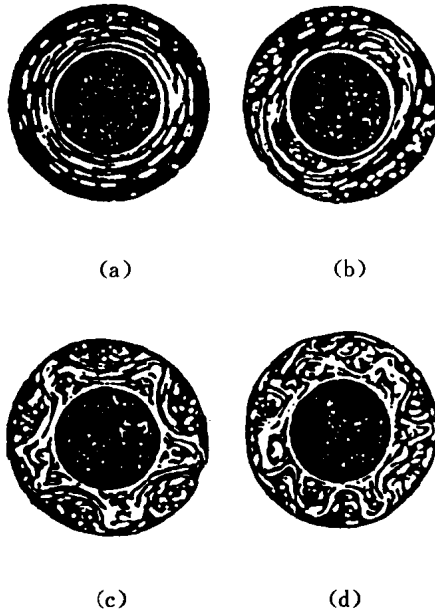


图 1.1 圆盘实验结果(照片)

热力 Rossby 数 R ,

$$R = \frac{agD\Delta T}{\Omega^2 L^2} = 4B = 4RiR_0^2 \quad (1.1)$$

Taylor 数 Ta ,

$$Ta = \frac{4\Omega^2 L^5}{\nu^2 D} \quad (1.2)$$

其中, L 是流体的宽度; D 是其高度; ΔT 是内外筒的温差; ν 是运动学粘滞系数; B 是 Burger 数, 表示浮力对科氏力的无量纲比值; Ω 是圆盘的转速; Ri 是 Richardson 数; R_0 是 Rossby 数。

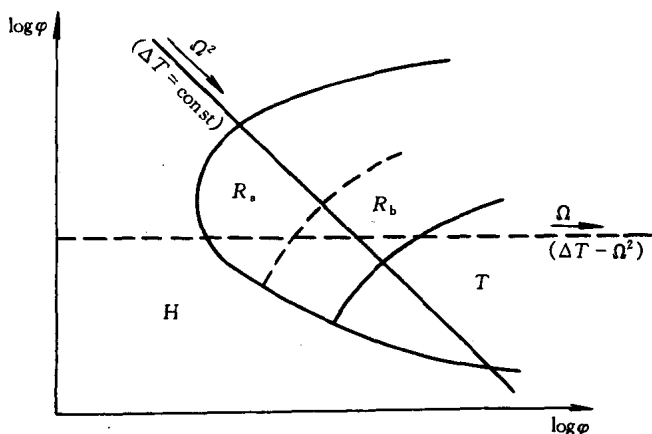


图 1.2 圆盘实验中流动体制与两个控制参数($\log T \sim \log R$)

关系的简化图解

H 表示 Hadley 体制; R 表示 Rossby 液体制, 其中 R_0 为纯周期,

R_b 为准周期; T 表示非周期的准地转湍流

很多流体实验都具有以下的普遍特征:

1. 趋于稳态 在某种固定不变的外强迫源作用下的流体运动, 不论开始时处于何种状态, 都会迅速趋于某种运动形态并且稳定下来, 施以小扰动它会很快恢复原状, 即“终态”。

2. 外因定常, 终态可以不定常 终态在所选择的坐标系里可以是周期的、准周期的, 也可以是非周期的, 这首先要从系统内部的机理去找原因, 不能完全归结为外部作用是否周期性的。当然, 如果外强迫源是周期性的, 会激发出周期性振荡。

3. 存在两种时段 当流体状态不是终态时, 将迅速趋于终态, 这个变化很激烈, 很难刻画; 当流体运动调整到终态后, 变化就很缓慢而且较有规则。这两种时段后者比前者长得多。在实验中把某种固定的外强迫源加到流体上去后, 起初一段时间属于前者, 后来的演变则属于后者。

4. 存在多态 同样的外强迫源可以出现不同的终态, 这隐含了在某种意义下的不可重复性和不可预报性。这里, 对“某种意义下”需作辩证的理解。例如实验中由 Hadley 流型转换为波动流型时, 波动的数目和位相是不可预报的, 但控制参数达到某个临界值必定会转型, 则是可知的。多态正是系统的非线性的特性, 因为非线性的本质是经过某种转换, 两个变量之间的依从关系出现多值性。

5. 突变现象明显 当外强迫源连续变化到某些临界值(这些临界值事先知道)时, 流型在短时间内发生急剧的变化即突变。例如图 1.2 上流型由 $H \rightarrow R \rightarrow T$ 。突变前后流体运动经历了: 处于终态的渐变时段 $\rightarrow$ 远离终态达到新终态的突变时段 $\rightarrow$ 处于新终态的渐变时段。与突变相联系的是滞后现象, 即按 $H \rightarrow R \rightarrow T$ 方向变化时突变的参数临界值与按反方向 $T \rightarrow R \rightarrow H$ 变化时的临界值不同, 也就是“逆向不重复”。

实验中出现的许多复杂现象, 是以前线性理论或非线性保守系统理论所难以解释的。丰富的实验结果以及在计算机数值试验中获得的新结果, 推动着新的数学理论和方法的发展。

1.2.2 偏微分方程的截谱模型

描写大气运动状态及其变化的方程一般是非线性偏微分方程, 很难求其解析解, 只能求其数值解。但是, 求数值解有很大的局限性, 因为它必须对完全给定的初条件、边条件以及反映已知外源