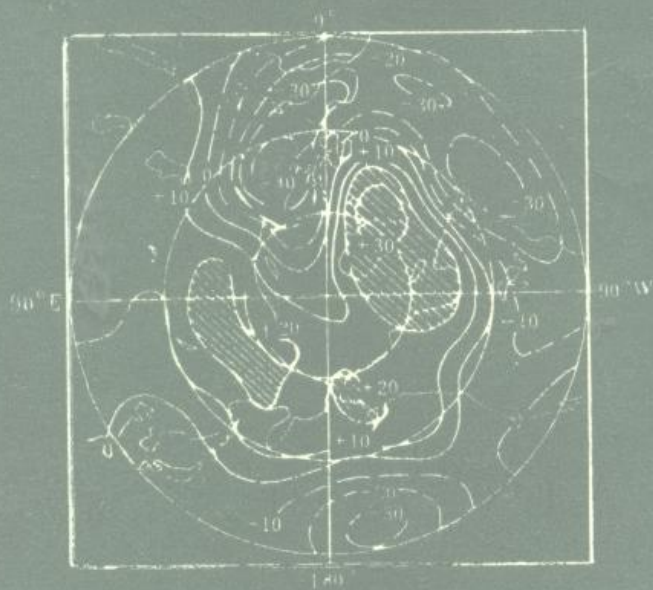


气候预测与 模拟研究

王绍武 林本达 等著



气象出版社

气候预测与模拟研究

王绍武 林本达等著

气象出版社

(京) 新登字046号

内 容 简 介

本书介绍了当前国内外气候预测研究的最新成果。第一章介绍国外用大气环流模式作长期预报的结果。第二章到第五章介绍了地气耦合距平模式, 相似-动力模式, 随机-动力模式及统计-动力模式, 这些模式是作者们适应中国的具体条件建立的, 并在长期预报实践中作了检验, 表明有一定预报能力。第六章到第八章介绍气候模拟。第六章是一次长期数值预报的模拟。第七章及第八章为一般气候及气候异常的数值模拟。这些工作与气候预测也有密切关系。本书可供气候学工作者, 大专院校师生、特别是研究生参考。

气候预测与模拟研究

王绍武 林本达等著

责任编辑 杨长新

*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京昌平环球印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 11.125 字数: 250千字

1993年5月第一版 1993年5月第一次印刷

印数: 1—1200

ISBN 7-5029-1200-2/P·0552

定价: 8.50元

序 言

长期预报过去经常称为长期天气预报，这是不确切的。因为无论理论研究，还是预报实践都证明，逐日预报的理论上限大约是2—3周。月、季尺度长期预报的对象应该是气候，而不是天气。即预报气候特征，如月平均气温，月总降水量等。所以应该称为气候预报或气候预测，但大多数情况下，由于习惯，人们仍称作长期预报。

目前长期预报的研究可以分为三大类，统计方法，物理因子分析及动力学方法。现在国内外发布的长期预报都是用统计方法制作的。统计方法可以利用大量的资料，并充分反映预报员的经验，但缺点是预报水平不高，很难报出大的气候异常。不过现在世界各国逐渐都承认统计预报方法的重要，并且认为即使将来动力学方法有了较大发展，也仍然需要与统计学方法结合，因为本来长期预报的对象就有一定概率性质。物理因子分析是根据某个可能对长期预报有巨大影响的因子，如西太平洋暖池海温，厄尔尼诺，火山爆发等来作预报。这种方法有明确的物理概念，缺点是由于只考虑某个因子，因此很难作综合分析。而且每个因子也并不总是同等重要，这年这个因子作用明显，另一年则另一个因子的影响更大，在作预报时较难掌握。因此，许多人把希望寄托于动力学方法的长期数值预报。本书主要是近年来在这方面工作的一些尝试，有自己的研究工作，也有对这一问题研究的国际动态介绍。

本书第一章介绍了当前国际上用大气环流模式作月平均

环流预报的研究情况。由于在日常业务预报中 500hPa 月高度距平是一个主要工具，所以，大多数预报用 500hPa 月高度距平预报与观测的相关系数来作为衡量预报水平的标准。现在不少模式 1 个月的预报平均相关系数已能达到 0.4 左右。在短期预报中一般把日高度距平相关达到 0.6 作为预报可以接受的标准。有人认为对于月预报，这个标准可以低一些，0.5 就可以了。有的模式现在已经能做到约 40% 的情况相关达到 0.5，因此看来，月平均环流预报业务化在 90 年代前期实现是有希望的。

我国还没有广泛地进行用大气环流模式作月平均环流预报的试验。这是受到计算条件的影响。但已有一些作者在进行研究。不过我国在另一方面有自己的特色，并且可以认为是一个重要的贡献。就是利用距平模式作预报。巢纪平等在 70 年代末期首创滤波距平模式，受到了国内外广泛的关注。后来林本达等设计了地气耦合距平模式，并与中央气象台长期科合作，进行准业务预报试验，表明有一定预报能力。但是与国外用大气环流模式类似，这个模式目前也只能作 1 个月预报。近来，黄建平等提出了相似动力模式。考虑了长期预报的一个重要经验——相似，间接地也在一定程度上反映了大气环流韵律的影响。把动力学预报看作对相似状态（而不是多年平均状态）的偏差。预报时效能达到 2 个季度以上。1989—1990 年试报，表明有一定技巧。当然，这两种模式目前尚未达到业务化的水平（相关系数平均 0.5），但有一个共同的特点，就是适合我国资料与计算条件。因此，可以认为这是一个良好的开端，继续努力，可望能创造出适合我国条件，并有较高预报水平的模式。这也是编写本书的主要目的。本书第二章及第三章介绍这两个模式及预报试验情况。

第四章介绍随机动力模式。虽然从理论上讲，人们都承认在作长期预报时，应该把动力学与统计学结合。但从实践来看，似乎还很难说有那一个模式真正作到了这一点。在动力学方程中加入扰动（方差）变量，使得问题变得非常复杂。至今未能设计出可行的预报方案。而不从动力学方程出发的模式又很难真正考虑动力学的因素。因此，目前还只能说这是一个非常值得探讨的方向。不过用这类模式，处理海气相互作用，据认为是很有效果的。所以，这一章在介绍当前国外大量研究的同时也介绍了一个考虑海气相互作用，做副热带高压预报的模式及其试验结果。

大气超长波是月平均环流的主要特征，70年代初就设计了一种自回归预报模式。这个模式参加中央气象台长期科预报会商已经有将近20年了。从预报方法上讲这是一个统计模式。但从预报对象讲，则有比较明显的动力学思想。第五章介绍这个模式及其试验结果。

第六章介绍了用大气环流模式作长期预报的模拟试验结果。出发点是检验是否6月的大气环流与下垫面异常，对7月黄河流域旱涝形势预报有指示意义。模式为OSU（俄勒冈州立大学）的2层模式。试验表明，从7月旱组减涝组所对应的6月平均场可以计算出7月旱组减涝组的一些环流异常。

第七章全面介绍了国外用一般环流模式做气候模拟研究的结果，主要是敏感性试验研究，如对海温、冰雪、太阳常数及温室气体的影响研究结果，特别对温室气体影响的研究是对未来气候预测的重要组成部分。其它敏感性试验对气候预测也有重要意义，所以我们专门列为一章介绍。

近来气候模拟在敏感性试验的基础上又有了新的发展，

这就是对气候异常、准周期振荡如 ENSO、QBO 等进行了成功的模拟，并做了季度长期预报的模拟。这些工作或直接或间接对月、季尺度长期预报有重要意义，因此，在第八章做了介绍。

各章作者为

第一章 王绍武

第二章 林本达

第三章 黄建平、衣育红

第四章 黄嘉佑

第五章 王绍武、衣育红、陈振华

第六章 胡增臻、赵宗慈、王绍武

第七章 赵宗慈

第八章 王绍武

本书是在国家自然科学基金、长江黄河旱涝预测项目及高等学校博士学科点气候诊断与气候模拟项目共同支持下完成的。

王绍武、林本达

1991年5月

目 录

序言

第一章 用大气环流模式做月平均环流预报····· (1)

§ 1.1 中期数值预报的进步····· (1)

§ 1.2 可预报性····· (3)

§ 1.3 长期数值预报····· (5)

§ 1.4 集合预报····· (7)

§ 1.5 月平均环流的数值预报····· (11)

§ 1.6 气候漂移····· (17)

§ 1.7 下垫面异常的作用与耦合模式····· (20)

§ 1.8 气候噪声与长期预报的可预报性····· (26)

§ 1.9 结论····· (30)

参考文献····· (32)

第二章 地气耦合距平模式····· (38)

§ 2.1 引言····· (38)

§ 2.2 模式的描述····· (39)

§ 2.3 数值解法····· (55)

§ 2.4 距平场的月预报试验····· (63)

§ 2.5 改进模式性能的数值试验····· (75)

§ 2.6 用距平模式做旱涝异常的预测····· (85)

参考文献····· (97)

第三章 相似-动力季节数值预报模式····· (99)

§ 3.1 引言····· (99)

§ 3.2 环流异常的时空特征····· (101)

§ 3.3 相似韵律现象产生的动力机制····· (111)

§ 3.4 相似-动力模式的建立及其数值求解····· (123)

§ 3.5 季节预报试验结果·····	(131)
§ 3.6 结语·····	(144)
参考文献·····	(144)
第四章 随机动力气候模式的研究·····	(148)
§ 4.1 引言·····	(148)
§ 4.2 大气过程的随机性·····	(149)
§ 4.3 随机动力气候模式的提出·····	(151)
§ 4.4 海气相互作用的随机气候模拟·····	(154)
§ 4.5 非线性随机气候模式·····	(168)
§ 4.6 大气季节变化的模拟·····	(174)
§ 4.7 多年气候变化的模拟·····	(182)
§ 4.8 随机动力统计长期预报·····	(185)
§ 4.9 区域随机动力统计气候模式预报试验·····	(191)
参考文献·····	(197)
第五章 大气超长波及其长期预报·····	(200)
§ 5.1 引言·····	(200)
§ 5.2 月平均环流与气候异常·····	(201)
§ 5.3 500hPa月平均图上的超长波·····	(207)
§ 5.4 大气超长波与气候异常·····	(210)
§ 5.5 500hPa月平均环流的年度预报·····	(218)
§ 5.6 讨论·····	(232)
参考文献·····	(238)
第六章 黄河中上游 7 月旱涝的长期数值预 报试验·····	(239)
§ 6.1 引言·····	(239)
§ 6.2 OSU模式·····	(240)
§ 6.3 6 月气候平均初始场的形成·····	(246)
§ 6.4 旱涝的同期和前期大气环流及前期物理 因子特征·····	(250)

§ 6.5	黄河中上游 7 月旱涝的长期数值预报试验·····	(258)
§ 6.6	旱涝形成物理过程的模式输出诊断分析·····	(263)
§ 6.7	GCM 初边值对模式可预报性影响的初步分析·····	(273)
§ 6.8	讨论·····	(280)
参考文献·····		(281)
第七章 一般环流模式与气候模拟·····		(284)
§ 7.1	引言·····	(284)
§ 7.2	气候变率的模拟·····	(289)
§ 7.3	ENSO 的模拟·····	(292)
§ 7.4	海洋作用的模拟·····	(298)
§ 7.5	冰雪作用的模拟·····	(304)
§ 7.6	太阳辐射的作用·····	(310)
§ 7.7	人类活动的作用·····	(313)
§ 7.8	气候趋势的模拟预测·····	(320)
参考文献·····		(324)
第八章 气候异常、准周期振荡及季节预报的数值模拟·····		(327)
§ 8.1	引言·····	(327)
§ 8.2	ENSO 循环的模拟·····	(327)
§ 8.3	ENSO 的季节预报·····	(330)
§ 8.4	萨赫勒干旱季节预报的模拟·····	(332)
§ 8.5	1988 年夏北美干旱的数值模拟·····	(334)
§ 8.6	NAO 与 NPO 的模拟·····	(336)
§ 8.7	海气相互作用的模拟·····	(339)
§ 8.8	QBO 的模拟·····	(342)
参考文献·····		(344)

第一章 用大气环流模式做月平均环流预报

§1.1 中期数值预报的进步

首先我们要说明,为什么要研究长期数值预报,即以大气动力学及热力学为基础的预报。理由很简单,就是要寻找一种有充分物理依据,并有较高预报水平的长期预报方法。众所周知,长期预报的研究与实践,甚至可以追溯到上一世纪末期。至今世界上至少有三十多个国家和地区正制作长期预报。一百多年来长期预报的概念虽不断发展,但业务预报的工具仍是统计方法。自然,统计方法今后也要继续发展与使用,而且在80年代较之以前得到了更为广泛的承认。不过,统计方法预报准确率不高,大的气候异常往往报不出来,是公认的严重缺陷。因此,近十年来世界上不少科学家致力于寻求一种新的途径,来作长期预报。这就是用大气环流模式作逐日积分,作月平均环流预报。

这一条途径之得以实现,依赖于短中期数值预报的成功。数值天气预报,1955年首先在美国业务化。目前世界上许多国家都建立了自己的业务预报系统。所用模式从范围讲有全球、半球及区域的。有时为了提高区域预报水平也用嵌套模式。全球及半球模式用来作3—10天大范围环流形势预报,区域模式用来做1—2天小范围天气过程预报。早期多用格点模式,近来多采用谱模式。欧洲中期数值预报中心(ECM-WF,简称EC)的19层 T_{106} 模式可能是当前世界上中期数值

预报水平最高的模式。以 500hPa 高度日距平与实况的相关系数达到0.6为预报有效的标准，EC的预报时效在1989年已提高到7.5天，而1980年才 4.5 天（图1.1）。十年来预报时效提高了三天。从图 1.1 可见一般冬季预报时效要比夏季长 2.5天到3天。1989年 3 月，预报时效已达到9.5天，正在逐渐接近作10天中期数值预报的目标。

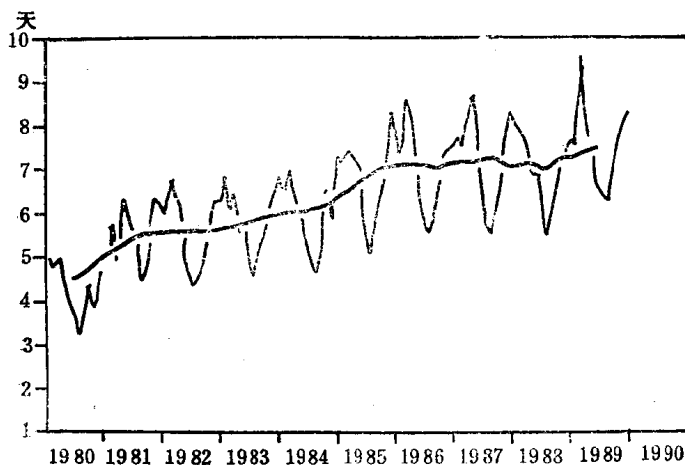


图1.1 欧洲中期数值预报中心北半球500hPa日高度预报时效（天），粗线为12个月滑动平均值

但是，如果回顾一下短、中期预报发展的历史，就可以知道今天这个成绩是来之不易的。从50年代中到80年代末期，经过三十多年的努力，预报时效才从12小时增长到1周左右。预报模式也有了根本性的变化。最早用正压模式，以后用斜压模式，又用原始方程模式代替准地转斜压模式。对物理过程与初始场精确化作了大量的工作。特别是1966年建立了地球同步卫星系统，增加了根据云的运动对风的判断。1969年以后极轨卫星增加了对温度垂直分布的遥测。四维同化工

作的进展给数值预报提供高质量的初始场,使得80年代预报时效提高了3天。即过去三十多年中预报时效的提高有近一年半是在近10年中取得的。况且,很容易理解,预报时效亦如短跑一样,开始成绩提高较快,到一定限度后提高就愈来愈困难了。考虑到这一点,应该说,中期数值预报的进步还是很大的。但从图1.1也可以看出来,从1985年下半年开始,预报时效的增长速度就减慢了。从1980年到1985年,预报时效提高了2.5天。但从1985年末到1988年中几乎维持不变,到1989年中才似乎又提高了0.5天。因此,仅从中期数值预报发展的历史本身也可以推测,今后预报时效的增长将是比较缓慢的。当然,对物理过程的考虑还要不断改进。如对山脉地形的处理,次网格的参数化,云、辐射和降水过程的描述,都在继续研究。同时,也正在努力增加新的资料,如 Profier (雷达观测风的垂直分布), VAS (静止卫星对大气温度垂直分布的红外观测) 以及 NEXRAD (下一代业务 Doppler 雷达系统) 均正在发展。另外大型电子计算机的计算能力目前已达到10亿次/秒以上,将来还可进一步提高。因此,尽管将来预报时效的提高不会象80年代前期那样约每年提高0.5天。但是,预报时效还可进一步增长则是毫无疑问的。不过,逐日预报的时效,是否可能无限期地延长下去呢?从理论上讲,是不可能的。这就是可预报性 (Predictability) 问题。

§1.2 可 预 报 性

为什么逐日预报不能一天一天地继续作下去呢?就是因为初始场有小尺度扰动,或者称为误差。这并不是指通常意义的误差,如观测误差。那些误差在初值化过程中均可经过

适当处理加以排除。这里，所谓误差是不可以避免地存在的。即使把初始场平滑，或滤波，计算过程中也会出现小尺度扰动。并通过与大尺度运动的非线性相互作用而影响大尺度形势。因此初始场的误差终究要影响大尺度的预报。而且，预报误差是逐渐积累的，当逐日预报的误差积累到与自然变率大小相当，逐日预报就失去了意义。这个时刻就称为可预报性，即逐日预报可能达到的时效的上限。

但是，短期预报时效的上限，或者说可预报性究竟有多大。是一个长期以来人们热心研究的问题，也是一个不太容易准确回答的问题，但是，对可预报性大小的估计，与对误差增长速度的估计有密切关系。

Thompson(1957)[1]首先分析了初始状态的不确定性对大尺度气流可预报性的限制。他推断由于测站稀少，平方根误差约2天可增长1倍，而1周以后预报将不会比随机猜测好。以后，Новиков(1959)[2]用正压模式证实，预报误差达到随机误差的时间为2周。Диккий与Коронатова(1964)[3]做了第1个可预报性的数值实验，利用正压模式发现，平均误差在24小时内增加30—50%。

以后Charney(1966)[4]对可预报性进行了更完整的数值实验，他比较了Smagorinsky(1963)，Mintz(1964)及Leith(1965)三种大气环流模式对误差增长率的试验结果。Smagorinsky的模式误差增长1倍的时间为10天，而Mintz的模式仅为5天，而Leith的模式中误差没有系统性的增长。Charney认为Mintz模式的结果比较合理。因此得出结论，如果改进模式与资料系统，最终可能做出2周的逐日预报。

不过研究表明，虽然开始误差增长较快，但随着误差的

增大,增长速度会减慢。Smagorinsky (1969) [5]利用GFDL的9层模式做了试验,证明最小尺度误差增长1倍的时间约为3天。但随误差尺度之增大而减慢。以后Jastrow与Halem(1970)[6], Williamson与Kasahara(1971)[7], Leith (1975) [8]等也证实误差加倍的时间可能在3天以内。Lorenz (1982) [9]分析了ECMW的10天预报。把24小时预报误差视为初始误差,发现最小误差加倍时间约为2.5天。Mansfield (1986) [10]认为如果按Lorenz (1982)的标准,则可预报性为14天。但按95%信度 t 检验标准,可预报性为26天。因此根据以上各作者的动力学分析,大体可认为误差加倍的时间为2.5天而可预报性在2—3周之间。

1969年Lorenz[11]还把动力学分析所得的结果与经验方法及动力-经验方法所得的结果进行了比较。按自然相似的经验方法估计,中等强度误差约每天增加10%,以此外推小误差可能在3天增长1倍,从动力-统计角度看,雷雨尺度误差可能在20分钟内增加1倍。这样积云尺度误差在半小时内即可增加到足够大尺度,2天之后能影响到天气尺度,2周之后则可波及到所有大尺度运动。大体上得到了与动力学分析相同的结论。

自然,目前预报时效尚未达到10天,距离可预报性的理论上限还有一定距离。但是,无论如何,我们由此可以得到结论,不管模式如何改进,资料如何丰富,以现在数值预报模式这种框架去作预报,要作1个月的逐日预报大概是不可能的。

§1.3 长期数值预报

那么,是否我们就不能逾越可预报性界限这个鸿沟呢?

Charney (1960)[12]首先指出长期预报要作时间平均预报。因为例如月平均环流在很大程度上滤掉了波长较短的移动性波,而保留下来的主要是超长波(一般波数为0—4)。因此,能不能作平均环流的预报,就在于超长波是否有比较大的预报时效。Мусаелян(1980)[13]曾明确提出,不同波长运动的预报时效是不同的。把对运动的影响分为两类,一类称为初始场影响。一类称为热流入量影响。对每一种尺度的运动来讲,初始场的影响都是逐渐衰减的,但衰减的速度随波数而变化。热流入量的影响则是逐渐增加的。图1.2给出对于纬向波数为5的运动两种影响变化。两种影响的交界(τ_0)为11

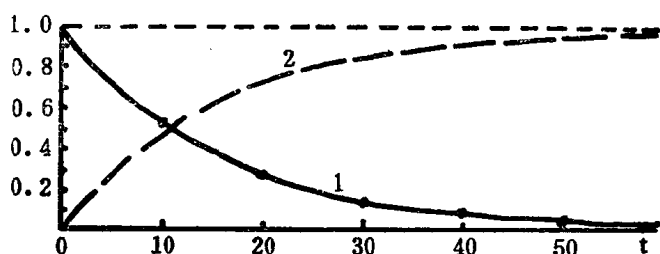


图1.2 波数为5时,初始场(1)与热流入量(2)的贡献随时间的变化

天。这就是对波数为5的运动,在11天之前初始场的影响是占主要的,因此我们有可能从初始场逐步积分来作预报。但在11天之后,热流入量的影响逐渐占了上风,因此就不大可能再依靠从初始场积分来作预报了。所以,可以粗略地讲,波数为5的运动的可预报性为11天。表1.1给出不同波数的 τ_0 值。可见超长波的 τ_0 值显然比长波或短波大,也就是说可预报性大。当然,并不能认为表1.1就是完全准确的。因为他是 在一系列假定条件下得到的。但是,它提出一个非常重

要的概念，就是超长波的可预报性大。这样我们就得到结论，

表1.1 不同波数的 τ_0 值

波 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ_0 (天)	162	54	27	16	11	8	6	5	4	3

逐日的预报虽然有一个上限，比如说2—3周。但如果作月平均环流的预报，由于平均环流以超长波为主，因此预报时效则可以超过这个界限。当然，上面已经指出，热流入量的影响总是在增长的。按表1.1，1—2个月之后对于波数为2—3的波，即在大气环流变化中十分重要的超长波，热流入量的影响也占据了主导地位。显然，这预示着下垫面的特征将起决定性的作用，例如海温的异常，海水、大陆雪盖的异常将决定着未来热流入量的大小及分布。因此，很显然，预报时效愈长，下垫面异常的作用也愈大。

Shukla(1986)[14]就指出，长期数值预报之所以可行主要有两个条件：（1）作平均环流预报，（2）下垫面异常有持续性。显然，这是指用固定下边界异常的大气环流模式而言。由于当时还没有耦合模式，无法考虑下垫面异常的变化。所以，作长期预报只有依赖下垫面异常持续性大的特点了。当然，如果今后建立了较完善的海洋——陆地——大气耦合模式，能够同时预测下垫面异常的变化，就无需这第2个条件了，预报时效也可以延长了。因此，要作月平均环流的季度预报，看来不用海气耦合模式是不行的。

§1.4 集合预报

目前在长期数值预报中广泛采用集合预报(Ensemble)，