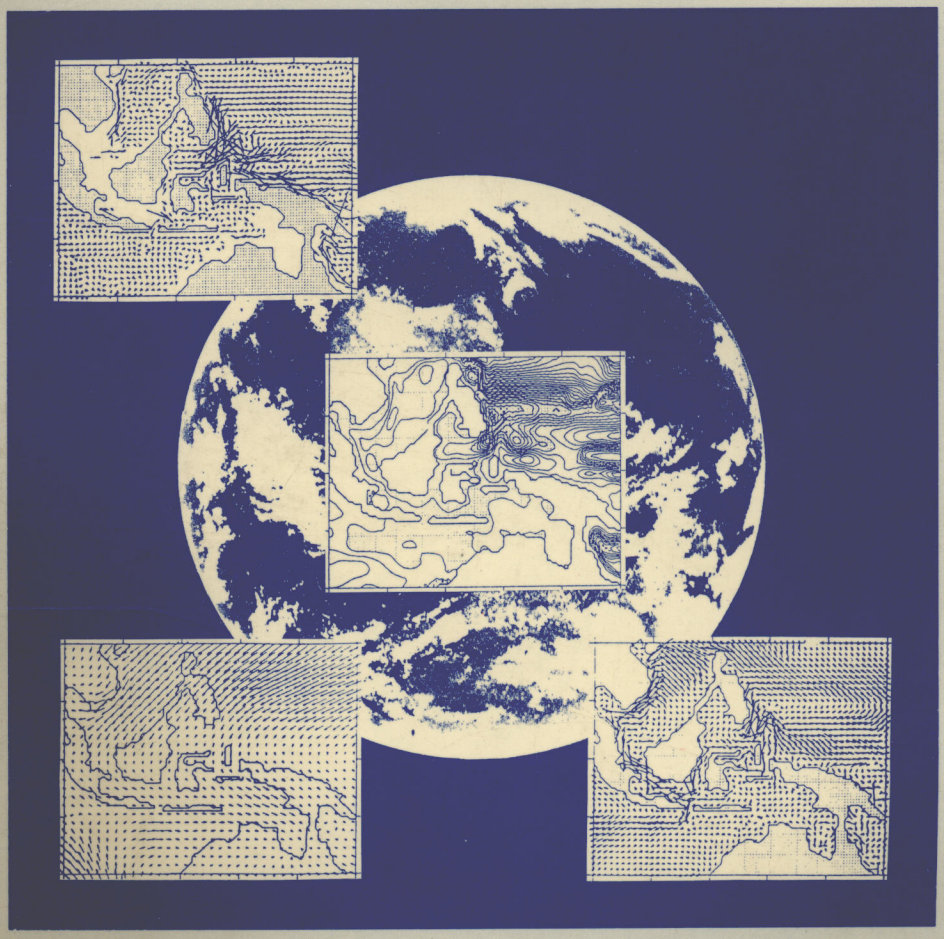
气候动力学和气候预测理论的研究项目
气候变化的预测理论与方法的研究课题

气候预测研究

王绍武　主编



气象出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

气候动力学和气候预测理论的研究项目
气候变化的预测理论与方法的研究课题

P46-53
4

气候预测研究

王绍武　主编

气象出版社

(京)新登字 046 号

内容简介

本书收集了国家基础性研究重大关键项目《气候动力学和气候预测理论的研究项目》中,《气候变化的预测理论与方法的研究课题》的 15 篇总结性论文。内容包括四个方面:(1) 对国外气候预测的评估。首先对短期气候预测作了全面回顾,然后对季度预测、统计动力学预测的现状作了介绍。(2) 对我国的短期气候预测研究及业务工作作了介绍。(3) 介绍了 ENSO 预测研究的现状和 C-Z 模式的改进及改进后模式对 1993～1995 年暖事件的预报结果。(4) 介绍了一些与预报有关的问题,如韵律问题、预测的集成问题、预测与气候变化的关系、气温与降水的可预报性等问题。本书可供大气科学及其相关学科工作者、有关部门和院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候预测研究/王绍武主编 .-北京:气象出版社,1996.8
ISBN 7-5029-2185-0
I.气… II.王… III.气候展望-研究 IV.P46
中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 16691 号

气候动力学和气候预测理论和研究项目
气候变化的预测理论与方法的研究课题
气候预测研究

王绍武 主编

责任编辑:李太宇 终审:纪乃晋
封面设计:徐雁生 责任技编:李太宇 责任校对:刘景秀

* * *

气象出版社 出版
(北京白石桥路 46 号 邮政编码 100081)
北京怀柔新华印刷厂印刷
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 1/16 印张:10.75 字数:282 千字
1996 年 10 月第一版 1996 年 10 月第一次印刷
印数:1—500 定价:17.80 元

ISBN 7-5029-2185-0/P.0808

序　言

国家基础性研究重大关键项目《气候动力学和气候预测理论的研究项目》(以下简称《项目》)中《气候变化的预测理论与方法的研究课题》于1991～1996年期间对气候预测问题进行了多方面的研究。本文集收集了本课题近期的总结性论文15篇。

本文集的内容分四个方面：

(1) 对国外气候预测的评估。目前国外用GCM作500 hPa月平均高度距平预报，冬季相关系数可达0.35～0.40，但夏季及过渡季节均要差一些。因此从全年来看相关系数在0.25～0.30之间。国外用统计方法预报的高度场的相关系数也在0.30左右，而气温、降水的相关系数在0.20～0.30之间。一般随预报时效的增加，预报技巧降低。气温与降水最多作了4个季的预报，高度场预报近来也试作了4个季的预报，但水平远不如月预报。这大体上就是当前国外气候预测的水平。本文集首先对短期气候预测作了全面的回顾，然后，对季度预测、统计动力学预测的现状作了介绍。

(2) 对我国的短期气候预测研究及业务工作作了介绍。回顾了PKU L5 AGCM、超长波统计预报模式、T_{42}延伸预测试验及局地统计动力模式的研究。此外，对利用地温作汛期降水预报及全国汛期旱涝趋势预报的业务预报作了总结。赵振国同志未参加本项目，为了能对全国的短期气候预报有一个概括性的了解，课题组专门邀请他撰写了有关这方面情况的文章。应该说我国的气候预测业务水平，特别是汛期旱涝趋势预报水平在国际上也属于前列。但是，从准确率来看大约也只是相当于预报技巧分或符号相关0.3左右。也就是说，仍然有进一步改善与提高的余地。我们殷切地希望本课题以及本项目其它课题所进行的各种模式研究，能在今后为提高我国短期气候预测的水平作出更大的贡献。

(3) ENSO预测是目前国内外短期气候预测的一个主题。虽然我国的气候，特别是汛期降水不一定与ENSO事件一一对应。但是，ENSO预测仍然是我国短期气候预测研究中的一个中心问题。目前国际上有近20个模式在作ENSO预测，并在每个季度发布对未来4个季的预报。用历史资料作回顾，不少模式相关系数在6～9个月时仍能达到0.6。但是90年代中期，具体讲是1993～1995年的预测却不很成功。大部分模式未能报出1993年上半年及1994年中到1995年初的暖事件，因此各种模式的研制者们也都在研究这个问题。本文集一方面介绍了ENSO预测研究的现状，也介绍了对C-Z模式的改进及改进后模式对1993～1995年暖事件的预报结果。当然，这是一个非常困难的问题，今后还要作更多的工作。

(4) 这一部分是一些与气候预测有关的问题，如韵律问题、预测的集成问题、预测与气候变化趋势的关系等。气温与降水的可预报性也是一个重要的问题，特别是目前GCM预测的主要产品是500 hPa高度距平，从高度距平用规范方程计算气温、降水距平并不是轻而易举的事。美国的Namias与Klein多年来作了许多工作，但是对规范方程的可预报性研究还很不够。本课题的工作表明，拟合率与实际预报技巧之间总有一定的差距，而仅依靠增加因子并不能有效缩小这个差距，这大概是另一类可预报性问题，值得进一步深入研究。

总之，本课题在时间与人力都有限的情况下，对气候预测问题进行了研究。但是，应该说提出的问题比解决的问题多，这反映了问题的难度，也反映了当前科学水平与解决所面临的问题之间的差距。不过，无论如何，这总是一个良好的开始，我们热切地希望能在这方面继续进行深入的探讨。

由于《项目》决定各课题单独出版文集，因此本课题的文集不可能包括本项目其它课题中有关气候预测的一些十分精彩的研究结果，请读者参看其它各课题的文集。另外，本课题有些研究结果发表得较早，如相似动力模式，为避免重复，这里均未再收入。

本文集的出版是由《项目》支持的，在此，对《项目》的首席专家曾庆存教授、《项目》负责人之一郭裕福研究员和《项目》办公室郑爱英同志的指导、关心与支持表示衷心的感谢。

课题负责人：王绍武

1996 年 6 月 1 日

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

序言
短期气候预测研究的历史及现状 …… 王绍武(1)
NMC 短期气候预测介绍 …… 朱锦红(18)
长期天气的动力统计预报进展 …… 黄嘉佑(29)
PKU L5 AGCM 延伸预报的试验研究 …… 朱锦红 卢咸池 王绍武(36)
北半球 500 hPa 月平均高度距平年度预报……
…… 王绍武 吴晓红 叶瑾琳 陈振华(50)
月尺度动力学延伸预报试验 …… 李小泉 李维京 罗艳 张小礼(61)
局地气候系统的统计动力模型模拟及预测试验…… 黄嘉佑 张镡(73)
近 5 年(1991～1995)年度降水预报小结…… 高晓清 汤懋苍(80)
我国汛期旱涝趋势预测进展 …… 赵振国(84)
全球海陆气系统中季节到年际预报的有关问题 …… 钱维宏(94)
ENSO 预报模式及其改进 …… 钱维宏 王绍武 李立(102)
韵律概论 …… 叶瑾琳 赵宗慈(114)
利用数值模式改进汛期降水预报综合集成的初步探讨 …… 董文杰 丑纪范(119)
华北地区旱涝变化与全球变暖 …… 黄嘉佑 张镡(131)
气候可预报性的诊断研究 …… 陈友民 王绍武(139)

短期气候预测研究的历史及现状

王绍武

（北京大学地球物理系，北京 100871）

提　要

本文首先回顾了本世纪以来气候预测研究发展的历史，指出大体上可分为四个阶段：开创阶段、天气学派发展阶段、统计学方法发展阶段及动力学模式发展阶段。但每两个阶段之间均彼此重叠。然后，对月平均环流的数值预报、季节数值预报、ENSO 预报、气候预测业务及气候可预报性研究等问题进行了分析、讨论。最后指出，在今后一段时间，例如 10 年之内，统计预报方法仍将是气候业务预测的主要工具。但是动力学方法的预测也会进一步发展，并逐渐进入业务预报领域。因此，统计学方法及动力学方法都是不可偏废的。

关键词：短期气候预测　数值预报　统计预报　ENSO 预报　气候可预报性

一、气候预测研究的历史

过去多把一个月以上的预报称为长期预报。由于这种预报一般只报月或季平均气候状况，所以现在均称为气候预测。气候预测可以根据时间尺度分为两类：一类为短期气候预测，即月、季尺度预测，如我国汛期降水预报；另一类为长期气候预测，指 10 年到几十年的预测，如对未来 50 年温室效应加剧引起的气候变化的预测。本文只限于讨论短期气候预测研究的历史及现状。

短期气候预测研究的历史已有百年左右[1]，大体上可以分为四个阶段：

（1）开创阶段。从上一世纪末到本世纪 30 年代，考虑各种物理因子如海温（SST）、极冰、太阳活动的变化，用统计方法作长期预报。

（2）天气学派发展阶段。从本世纪初到 50 年代，主要有前苏联的穆尔坦诺夫斯基学派及美国纳迈阿斯学派。这两个学派分别把天气系统及大气长波的概念引入长期预报。

（3）统计学方法发展阶段。由于大型电子计算机的发展与普及，各种统计学方法在 60 年代及 70 年代有了飞速的发展，至今已成为诊断分析及预测的有力工具。

（4）动力学模式发展阶段。从 80 年代中期人们开始用大气环流模式（AGCM）作月 延伸预报，90 年代又发展到用耦合模式（CGCM）作季度预报。这已经成为气候模拟及预测研究的重要方向[2]。

显然，这四个阶段并不是彼此替代、相互排斥的，而是彼此重叠，相互补充的。而且，这四个阶段均对气候预测的发展作出了重要的贡献。第一阶段的主要成绩是开始认识短期气候变化的成因。当时所重视的因子如 SST、极冰、太阳活动，直到目前仍是气候预测中重点要考虑的对象。这一阶段的最高成就是 Walker 的“世界天气”的研究。他敏锐地看到局地气候异常对大气环流变化的依赖关系。在前人对大气活动中心研究的基础上提出世界三大涛动的概念，即北大西洋涛动（NAO）、北太平洋涛动（NPO）及南方涛动（SO）。SO 已成为 20 世纪后 30 年世界范围研究的热点。

第二阶段，苏联穆尔坦诺夫斯基学派把天气学知识引入长期预报，提出“自然天气 周期”及“大气韵律”的概念，有开创意义。美国纳迈阿斯学派利用 30 天平均 700 hPa 高 度场作月气温及降水等级预报，对后半个世纪气候预测，特别是动力学的预测方法的发 展有奠基作用。他提出：(1)30 天平均气温与降水量距平与同时的高度距平有密切关 系。因此，可以通过预报高度距平来预报局地气候异常。(2)月平均高度场的演变有规律可寻。(3)月平均高度距平受下垫面如海温异常的影响，但也影响海温的变化，这表明海气相互作用是短期气候预测重点研究的内容。

第三阶段，由于大型电子计算机的发展，第二次世界大战后观测资料的迅速增加，以及数理统计学的发展，为统计气候预测的进步提供了必要的条件。因此世界范围从 60 年代开始，我国从 70 年代开始，各种统计方法迅速在气候诊断与预测研究中被广泛采用。逐步回归、分辨法、典型相关、各种串组方法、灰色系统分析等方法用于气候预测。各种 EOF 分析及各种谱分析方法用于诊断研究。由于有了资料，有了分析方法，又具备了计算工具，统计方法逐渐成为气候预测的主要途径。这种形势直至今日亦未根本改变。世界上有些国家开展统计方法研究较早，如日本、英国。后来，前苏联及东欧各国也多从天气学方法转入统计方法。从 80 年代后期开始，美国也开始重视统计预报方法。我国的长期预报业务是从 1958 年正式开始的，在国际上开展长期预报业务的 30 多个国家中属于比较早的，预报水平也是比较高的[4]。从 1995 年开始业务工作转入国家气候中心，改称气候预测。近年来我国汛期降水预报进展明显，如果用国际通用的技巧分评估，大约相当于 0.30，这在世界上也属于较高的技巧分了。

第四阶段，其特点是动力学方法的发展。由于统计学方法不利于揭示气候变化的物理机制，所以预报水平不稳定。例如我国的汛期预报虽然达到了较高的技巧分，但是，这是业务预报人员综合各种预报方法所得。如果严格检查，则几乎找不到任何一种客观方法能逐年维持较高的技巧。这表明预报的主观成分还是比较大的。因此，很难保证综合预报总是保持较高的技巧。对这一点，大部分气候预测工作者是有共识的。所以，发展客观的物理的气候预测方法，仍然是一个艰巨的任务。

国外在发展动力学方法方面起步较早，这与他们中期数值预报的进步有密切关系。因为用动力学方法作气候预测，主要是用中期数值预报模式作长时间积分，所以有时亦称为延伸预报。从 70 年代中后期开始，到 80 年代后期及 90 年代初已进行了大量的试验，美、英、日、德、法等国大约作了 300 个月以上的预报试验。北半球 500 hPa 月平均高度距平预报与观测的相关系数在 0.35～0.40 之间，也就是说尚未达到投入业务预报(相关系数 0.50)的标准。特别是 90 年代以来预报技巧提高不大。WMO 曾经设想北半球 500 hPa 月平均高度距平预报在 90 年代前期投入业务预报，90 年代后期进行季预报[3]，目前看来困难较大。中国科学院大气物理所利用 IAPL2＋4 耦合模式作跨季度降水距平预测，国家气象中心用 T_{42} 模式，北京大学用 PKUL5 模式作了 500 hPa 月平均高度预测，国家气候中心用 OSUL2 模式作了夏季降水的气候预测。此外还有不少单位在进行研究。可以说我国的动力学气候预测工作已经有了一个良好的开端。

二、月平均环流的数值预报

通过月平均环流作气候预测有重要意义。首先，这意味着气候预测的对象为时间平均环流状况。对于天气学派长期预报来讲，这是一个巨大的进步。众所周知，逐日预报的可预报性上限为 2～3 周。因此，月以上的长期预报只能是时间平均，其次，固定用月平均有很大优越性，这

远比用自然天气周期不固定时间的平均要方便得多。而且，月这个时间尺度恰到好处。因为短期天气过程长度平均为3～5天，重要的中期过程指数循环长度约4～6周。用月平均不仅可以平滑掉短期天气过程，也能在很大程度是削弱指数循环过程，从而突出月季尺度短期气候变化。第三，通过预报月平均环流变化来预报局地月气温、降水距平，给动力学气候预测敞开了大门。因为用AGCM做数值预报，最大的技巧还在于形势预报。这样就能够把AGCM引入气候预测。

用AGCM作月平均环流预报的试验最早开始于70年代末期，但大量的工作是在80年代中期以后完成的。如表1所示，从1986年到1995年这10年期间，月平均环流预报试验。所用的AGCM虽有不同，但预报技巧十分接近。试验处理也有许多共同之处：(1)一般均只用AGCM，未与OGCM耦合。有的模式用固定上个月观测SST强迫，有的仍用气候SST。(2)均采用集合预报，有的模式用同一时刻不同初始场，有的则用不同时刻的初始场。一般用5～10个积分平均作集合预报。(3)由于大部分模式均有较强的气候漂移。所以，大多数模式作了气候漂移订正。有的模式则减去模式平均求距平，这样也相当于作气候漂移订正。(4)北半球500 hPa月平均高度距平预报与观测值的相关系数在0.35～0.40之间，超过了持续性预报(相关系数约0.20～0.25)。但如果计算全球相关系数一般要小0.10～0.15。此外，目前所作的例子大多为冬季，其它季节，特别是夏季可能预报技巧要更低一些。

表1　500 hPa月平均环流预报与实况距平相关

模　式	集合预报 类型	个数	个例数	预报水平 (相关系数)	作　者	发表年代
ECMWF T_{42}, T_{21}			38	0.38(T_{42}) 0.32(T_{21})	Cubasch 等	1986
GFDL N_{48} L9	MCF	3	8	0.40 0.59(去掉气候漂移)	Miyakoda 等	1986
UKMO L5	MCF	7	8	0.48(1～15天) 0.29(16～30天) 0.34(31～45天)	Murphy 等	1986
UKMO L5				0.53(1～15天) 0.20(16～30天) 0.18(31～45天)	Mansfield	1986
NMC DERF	LAF	5	108	0.39	Tracton	1987
NCAR CCM_1R_{15}	MCF	3	8	0.50	Baumhefner	1987
EC T_{21}, T_{42} T_{63}, T_{106}	LAF	9	24	0.40	Brankovic 等	1989
FSM T_{21}	LAF MCF	3 3	5	误差低于气候预报也低于持续性预报	Deque	1989
JMA −GSM88 T_{63}	LAF	9	3	准确率高于持续性预报	Yamada 等	1990
NCAR CCM1 T_{31}	MCF	10	49	0.37	Baumhefner	1991
EC T_{106} FSM T_{42}	LAF	5	9	0.36	Royer, Deque	1991
JMA $T_{63}L_{21}$	LAF	9	8	0.54	Yamada 等	1991

Baumhefner[5]曾指出，在逐日预报中一般用相关系数 0.6 作为业务预报的最低标准。对月平均环流预报，这个标准可以下降到 0.5。但是，如表 1 所示，目前大部分预报仍未达到这个标准。由于现在月平均环流预报都是用中期预报模式作延伸预报，很明显，月平均环流预报水平的提高依赖于中期数值预报模式的改进。过去中期预报模式的预报时效大约每 10 年提高 2 天。目前欧洲中期数值预报中心已达到 7～8 天，美国国家气象中心为 6～7 天。在未来的 10 年是否仍能继续以这个速度提高要看模式及资料的改善。

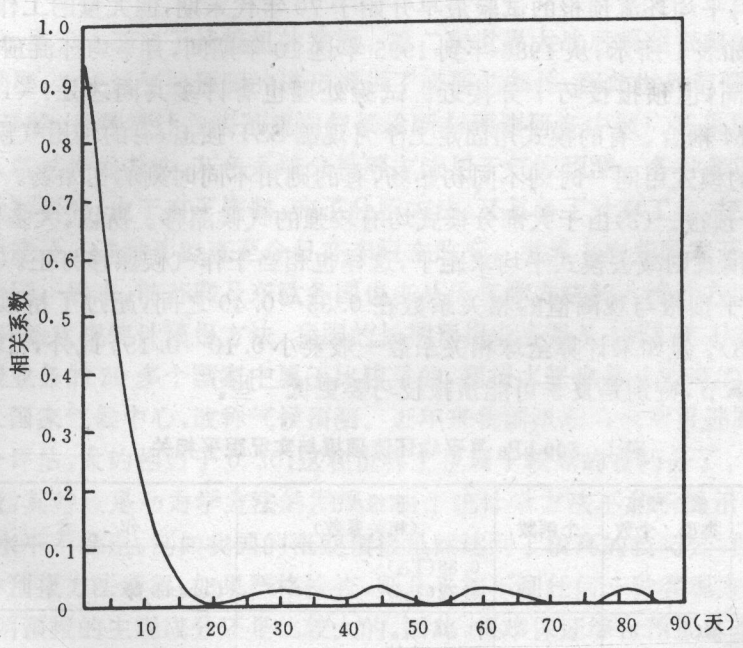


图 1　1990 年 8 月 1 日～12 月 6 日 128 次 90 天预报逐日 500 hPa 高度距平预报与观测相关系数

近来 van den Dool(1994)[6]分析了 DERF90 模式所作 128 个 90 天预报。图 1 给出逐日 500 hPa 高度距平预报与观测的相关系数。仍以 0.6 作为标准可见逐日有效期为 5～6 天。第 10 天相关系数已降为 0.2，到第 15 天相关系数已接近于零。实际上，到第 12 天预报误差已达到饱和值的 95%。根据 van den Dool 的分析，逐日预报的相关系数平均，大约与平均环流预报的相关系数相当。这 128 个例子，第 1 个 5 天的平均相关系数为 0.78，应该说这 5 天预报提高的潜力不太大了。大约至多能再提高 0.05～0.07。因此，关键在第 2 个 5 天，这 5 天平均相关系数为 0.40。如预报时效能从目前的 5～6 天提高到 10 天，则第 2 个 5 天的相关系数可提高到 0.65～0.70。假定第 3 个 5 天的相关系数也能从目前的 0.10 提高到 0.20～0.25，则月平均预报的相关系数可比目前提高 0.10 左右。但也达不到进入业务预报的标准。然而，即使中期预报的改进能保持过去 20 年的速度，把预报时效从目前的 5～6 天提高到 10 天大约也不是短时间能达到的。所以，单纯提高逐日预报的技巧似乎不可能很快把月平均环流的预报业务化。因为，第 3 个 5 天已经无甚技巧可言。Anderson(1993)曾对 NMC 这 128 个预报从另一种角度进行了分析，用了 3 种检查方法：(1)用 1990 年作初始场，但用其它年来检查。(2)用其它年作初始场，用 1990 年作检查。(3)用模式平均作初始场，也用 1990 年作检查，并与 1990 年的预报比较，证明在北美、北半球及南半球分别在第 13 天、第 15 天及第 16 天已无预报技巧。所以，第

3 个 5 天及其以后预报技巧的提高不在于对逐日预报的提高，而依赖于对超长波尺度慢变系统的预报。从理论上讲，超长波慢变系统的可预报性显然比行星波及天气尺度系统的可预报性高。Robinson 与 Qin (1992)[7] 发现慢变西风指数的可预报性要大于高频涡旋的可预报性。PKUL5 模式的预测试验(见本文集)也证明低阶波的可预报性大。但是，从实践角度来看，对这问题还研究得很不够。

三、季节数值预报

用 AGCM 作月平均环流预报虽然尚未投入业务使用，却已证明有一定技巧。但是要作季度预报，则显然不能再局限于用 AGCM，因为对于 3 个月这样长的时间，下垫面状况如 SST 的异常已不能再假定为常数。Mansfield(1986)[8] 发现加上观测的 0～30°N SST 异常对 30 天以

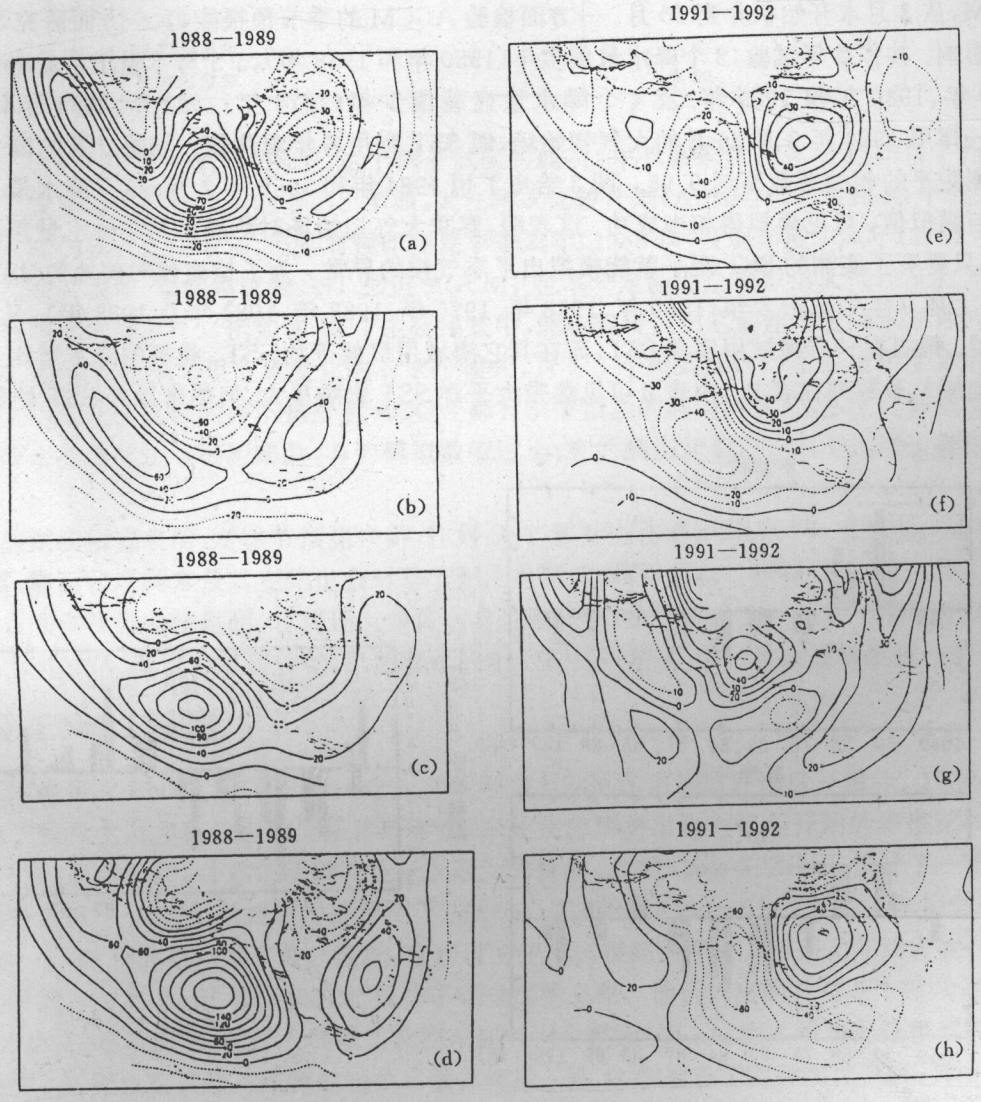


图 2　NMC 作的 1988～1989 年冬季(12～2 月)及 1991～1992 年冬季 300 hPa 高度距平预报

需要全本请访问 www.ertongbook.com

外的预报有显著改进。美国国家气象中心(NMC)的 Ji Ming 等(1994)[9]的季节预报试验又一次说明了这个问题。NMC 正在建立一个季节到年度预报系统,即用 CGCM 作热带太平洋 SST 的预报,时效为 9 个月。采用连续 3 周到 4 周的海洋初始场作集合预报。然后,再用 T_{40} AGCM 作大气预测。比较了三种积分:(1)用观测 SST 强迫,(2)用预报的 SST 强迫,(3)用固定 SST(距平持续)强迫。图 2 给出 1988～1989 年冬季及 1991～1992 年冬季的预报试验。可见还是用观测 SST 模拟效果最好。1988～1989 年冬季考虑 SST 持续性比较好。1991～1992 年冬季则预报 SST 要好一些。这个试验说明,目前的 AGCM 水平已能反映 SST 距平变化的影响。但是,CGCM 预报 SST 距平变化的能力,特别在热带以外地区还较差。

尽管如此,目前已有许多作者用观测 SST 强迫 AGCM,检查 AGCM 气候预测的能力。在这方面英国气象局对西非萨赫勒夏季降水异常的模拟很有代表性[10]。用英国气象局 11 层 AGCM,从 3 月末开始积分到 10 月。一方面检验 AGCM 的季节预报能力,一方面研究 SST 异常的影响。共作 9 年试验,2 个降水量偏多年(1950 年和 1958 年)、3 个降水量正常或略偏少年(1949 年、1980 年和 1989 年)及 4 个降水量显著偏少年(1976 年、1983 年、1984 年和 1987 年),一律用 1984 年 3 月 26 日的大气初始场,而 SST 则用各年观测值。结果计算的降水距平与观测距平的相关系数高达 0.95。图 3 给出了用 1984 年和 1950 年 7 月～9 月降水量差的观测值与模拟值。可见模拟得相当成功。这表明,春季大气初始场对萨赫勒夏季降水量预测并不重要,只要有了实测的 SST 距平就能模拟出夏季气候的异常。为了检查何时何地的 SST 最重要,从上述 9 年中选出 6 年(1950 年、1958 年、1976 年、1983 年、1984 年及 1988 年),又作了 5 组试验。每组在一定海域用实测 SST,而在其它海域用气候平均 SST。模拟的降水量距平与观测值的相关系数列在表 2。由表 2 可见热带太平洋 SST 影响虽大,但热带以外 SST 的影响也

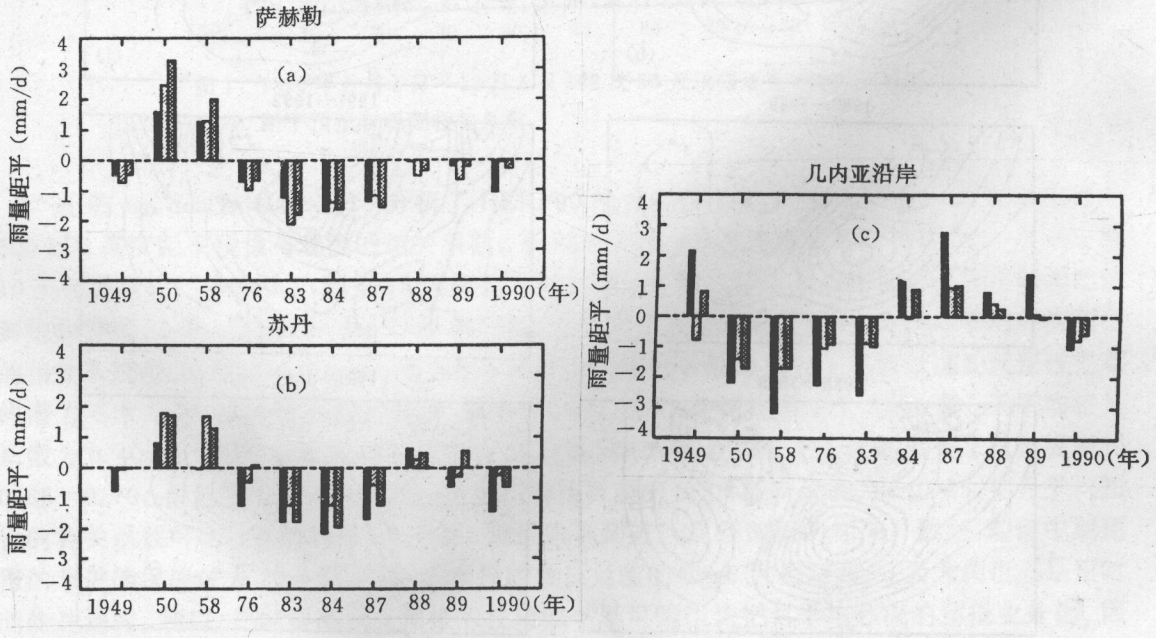


图 3　萨赫勒(a)、苏丹(b)和几内亚沿岸(c)7～9 月降水距平的观测值(实黑框)与模拟值的直方图,单斜线直方图为用 1984 年的资料作初始场,双斜线直方图为用 1987 年的资料作初始场

不容忽视略。因此，还是用全球实测 SST 模拟效果最好，而且，热带太平洋虽然重要，但是两个厄尔尼诺年(1976 年及 1987 年)的干旱都模拟得不很好。对这 6 年又作了 3 组试验，分别用固定 4 月、5 月及 6 月 SST 作积分。结果发现用 6 月 SST，相关系数能达到 0.96。但用 5 月 SST 及 4 月 SST 则分别仅达到 0.57 及 0.26。可见萨赫勒夏季降水气候预测成败的关键在于作好 6 月的全球 SST 的预测。

表 2　萨赫勒 7～9 月降水距平值的模拟与观测的相关系数

用实测 SST 的海域	相关系数
全球	0.95
热带以外	0.55
热带	0.72
热带太平洋	0.79
热带大西洋	0.62
热带印度洋	0.59

当然，这只是一个地区的例子。这个例子试验的成功，并不意味着 AGCM 已具备了作任何一个地区夏季降水季节预测的潜力。例如，大气模式比较计划(AMIP)已扩展到 30 个模式，以后参加比较的模式还要增加。但是对强印度夏季季风年(1988 年)及弱印度季风年(1987 年)的对比模拟研究表明：即使用观测 SST 强迫 AGCM，也不一定能完全模拟出大气环流的异常及夏季季风降水的异常[11]。例如在 13 个主要模式中，能正确模拟出这两年印度降水异常的仅有 7 个模式，能模拟出索马里急流变化的有 9 个模式，只有 5 个模式能同时模拟出印度降水及索马里急流的变化。这表明并不是所有 AGCM 都有季节预测的潜力。况且，这里所谓能模拟出环流或降水的变化也是很粗略的，有的模拟数值过小，有的模拟的地理分布与观测还有很大不同。

这些试验研究表明，对季节预测来讲，作好 SST 异常变化的预测是非常重要的。当然，海冰、积雪、陆面状况异常及其变化也会对季节预测有影响，可惜目前还研究得很不够。至于大气初始场在季节预报中的作用，目前还有争议。有证据表明，中高纬大气环流的长期积分对大气初始场非常敏感。但也许对萨赫勒、巴西降水的季节预报不重要。这个问题还需要进一步研究。

四、ENSO 预测

系统地研究 ENSO 预测是从 1982～1983 年强大的厄尔尼诺事件以后开始的。1982 年 10 月聚集了世界上诸多科学家的气候诊断年会，未能及时预测出当时已经开始的本世纪以来最强大的厄尔尼诺事件，对 ENSO 研究是一个巨大的挑战。此后 Cane 与 Zebiak 设计了一个简化海气耦合模式[12]。这个模式成功地预测了 1986～1987 年及 1991～1992 年的厄尔尼诺事件，与 1988～1989 年的拉尼娜事件。因此，直到目前还享有很高的声誉。后来又陆续发表了各种各样的模式。对此，Latif 等(1994)[13]曾作了很全面的总结。他们列出的共有 9 个模式，分为 3 类：统计模式、物理海洋/统计大气模式及物理海气耦合模式(表 3)。图 4 给出部分模式预报技巧的检查，同样也用预报与观测的相关系数作标准。图 4a 中检查了两种统计模式，其中 CCA(典型相关)为表 3 中模式 1，根据前期 SLP、热带太平洋 SST 报赤道东太平洋(5°N～5°S，120°～170°W)SST。用 1970～1989 年独立资料检查，3 个月以上相关系数已超过了持续性预报。POP(主振荡型)为模式 2，用南半球 SLP 报 SOI。用 1974 年 4 月～1988 年 9 月非独立资料检

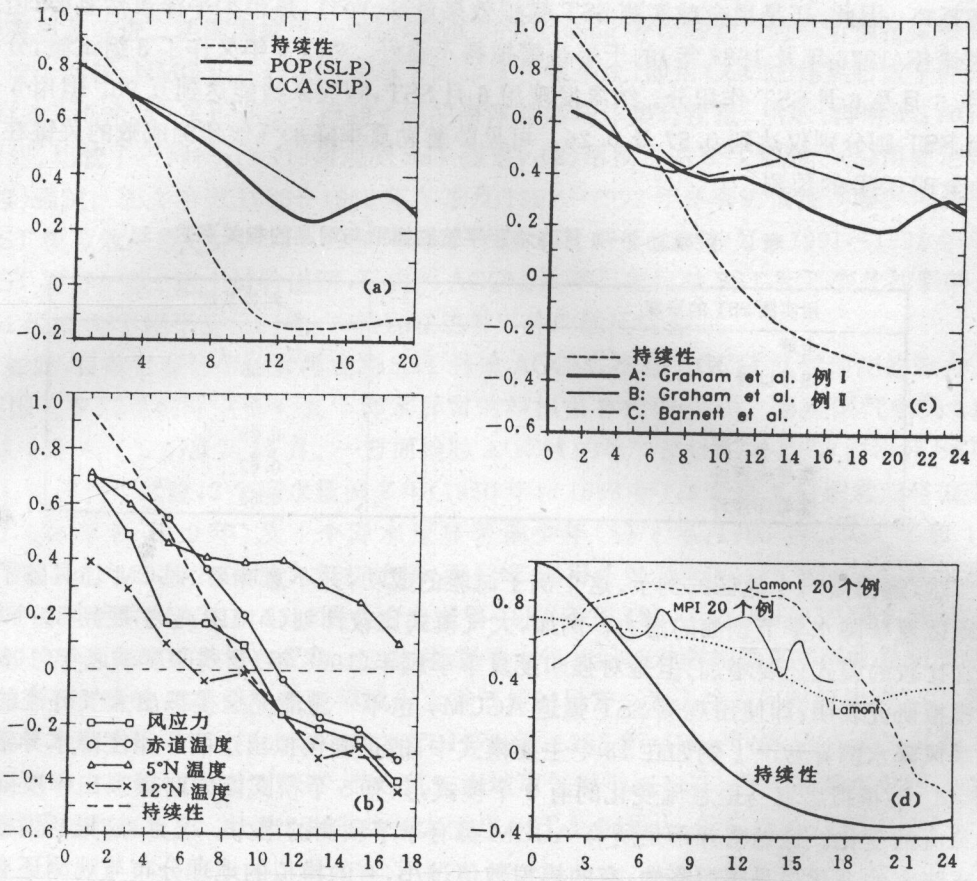


图 4　ENSO 预报与观测的相关系数，虚线为持续性预报

(a)模式 1 与模式 2　(b)模式 3　(c)模式 6 与模式 7

(d)模式 8 与模式 9

查，效果不如 CCA，但表明南半球的 SLP 对 SOI 的变化亦有影响。图 4b 为模式 3，方法也是 CCA，但与模式 1 因子不同，这里用的是热带海表及次表层海温与风应力。结果表明 5°N 海温最重要。图 4c 为模式 6 及模式 7 的预报检查。模式 6 是把模式 8 中的 OGCM 与一个经验大气模式耦合。方案 1 是非独立资料检查。方案 2 为 1976～1990 年独立资料检查。方案 2 的效果也不错，甚至比方案 1 还好一些，到第 12 个月的预报，相关系数仍有 0.5。模式 7 的效果与之类似。但模式 7 报赤道中太平洋 SST 较好，而模式 6 则报赤道东太平洋 SST 较好。不过10°N～10°S 以外地区，这两个模式预报技巧均较低。无论如何，用统计大气模式与 OGCM 耦合，效果似乎比单纯统计模式要好。图 4d 给出模式 8，即 C-Z 模式，记为 Lamont，这是热带太平洋地区的区域模式。模式 9 记为 MPI，即马科斯普朗克研究所模式，其海洋部分是一个包括三个大洋的高分辨率 OGCM，大气为低分辨率模式，不过只在 30°N～30°S 之间耦合。MPI 模式效果高于 C-Z 模式，但用同样 20 个例子，还是 C-模式要好一些。从图 4 可见，就预报检查来看是模式 8 即 C-Z 的模式效果最好，而且预报时效较长。其它模式，特别是统计模式在 6 个月之后相关系数迅速减小。因此，C-Z 模式是一个很有潜力的模式。但是所有模式，包括 C-Z 模式在 3 个月以内的相关系数仍低于持续性，而且在春季有明显的“预报障碍”(predictability barrier)。

表 3　ENSO 预报模式

统计模式	物理海洋/统计大气模式	物理海气耦合模式
1. Barnett/Graham 2. Xu 和 Storch 3. Latif 和 Graham	4. Inoue 和 O'Brien 5. Latif 和 Flugel 6. Graham 等 7. Barnett 等	8. Cane 等 9. Latif 等

表 4　试验性长时效预测的 ENSO 预报模式

序号	模式	作者
1	Scripps/MPI 混合耦合模式	Barnett 等,1993
2	NCEP 海气耦合总环流模式	Ji 等,1994
	CMP9	
	CMP10	
3	C-Z 简化海气耦合模式	Cane 等,1986
	LDEO2	Chen 等,1995
4	BMRC 澳大利亚低阶耦合模式	Kleeman,1993
5	Oxford 动力海洋/统计大气模式	Balmaseda 等,1994
6	COLA 距平耦合预报模式	Kirtmun 等,1996
7	线性反馈模式,预报印度洋、太平洋 SST	Penland 与 Magorian,1993
8	非线性相似模式,预报 SOI	Drosdowsky,1994
9	独谱分析/最大熵模式,预报赤道太平洋 SST	Jiang 等,1995
10	样条回归模式,预报 SOI	Keppenne 与 Lall,1995
11	统计叠代模式,预报热带太平洋 SST	Zhang 等,1993
12	最大相似模式,预报热带中、东太平洋 SST	van den Dool,1994
13	CCA 模式,预报赤道东太平洋 SST	Barnston 与 Ropelewski,1992

目前美国 NOAA 的气候预测中心(CPC)的月气候诊断公报每月都公布 4 种 ENSO 预报。即 Barnett 等的 CCA 模式,Ji 等的海气耦合模式,C-Z 模式及 Penland 与 Magorian 的线性反馈模式[14]。Ji 等的耦合模式是美国国家环境预测中心(NCEP)发布季度预测用的耦合模式。其中大气部分为中期预报模式(MRF),海洋部分为 GFDL 的模式。目前有两种方案:CMP9 及 CMP10。前者在耦合热通量异常时用负反馈。而后者用净热通量强迫异常来耦合。两种方案预报技巧差不多。但 CMP10 在 SST 振幅很大时,预报效果更好一些。线性反馈模式是一种统计模式。

美国从 1992 年开始发布试验性长时效预测公报(Experimental Long-Lead Forecast Bulletin)。1995 年正式发行,每年 4 期。1995 年第 4 期上公布了 13 种 ENSO 预测模式(表 4)所作的 1～4 个季度的预测。这些模式除了上边已提到的以外,值得一提的是 Keppenne 与 Lall (1996)的统计模式(表 4 中模式 10)。他们不用 SOI,而用塔希提与达尔文 SLP,作复数奇异谱分析(CSSA),把序列延长到 1881 年,大大增加了样本量。然后用非线性多元适应样条回归(MARS)代替线性自回归最大熵(MEM)作预报。这种预报模式可称为实时追溯模拟(retroactive real-time simulation),特别有利于建立稀少事件动力学。

最后要说明,大部分模式在 1993～1995 年期间预报是失败的。因为 1991～1992 年的厄尔尼诺事件于年末结束。但 1993 年 1 月～10 月及 1994 年 6 月～1995 年 2 月又接连出现两次弱

厄尼诺。这种现象在过去已知的 ENSO 历史上是很少见的。大部分模式大约比较合适于描述以 3～4 年为周期的 ENSO 振荡，以及近期的持续。所以对 1993～1995 年周期近 1 年的短期振荡失去了预报能力，结果预报经常反位相。近来钱维宏等改进了 C-Z 模式（见本文集），考虑了 Hadley 环流的反馈作用，能在一定程度上报出 1993～1995 年的 ENSO 事件，而且对 80 年代的 ENSO 仍然保持预报能力，这至少表明 C-Z 模式还有进一步提高的潜力。

五、气候预测业务

根据 80 年代 WMO 的调查[2]，世界上建立了气候预测业务的共有 30 多个国家。我国从 1958 年开始正式发布长期预报，每个月的 22～23 日作下一个月的预报，每年 3 月作当年汛期（5～9 月）的降水预报，每年 10 月作当年 11 月到来年 10 月的年度预报。其中最重要的就是汛期降水预报，预报业务由中央气象台长期预报科承担。1995 年 1 月国家气候中心成立后，预报业务转到气候中心气候预测室，改称为气候预测。图 5 给出 1976 年到 1995 年 20 年夏季降水预报准确率[15]。1976～1985 年平均 64.5 分，1986～1995 年提高到 73.6 分。预报水平的提高比较显著。但是，这是采用我国气候中心的评分方法。如果采用国际通用的技巧分，则最近两年的预报技巧分大约相当于 0.3。在目前这算是比较高的业务预报技巧了。不过这里需要说明，这是综合预报结果，即经过会商后，综合各种方法所作的预报，有一定的主观性。如果严格检验每一种方法，则往往没有这样高的技巧。有的方法这几年报的较好，而另一些方法则在另几年报的较好。经过综合能够取得较好的结果，反映了预报人员的丰富经验。但是这种形式也包含着失败的可能性。因此，进一步使预报客观化仍是刻不容缓的任务。

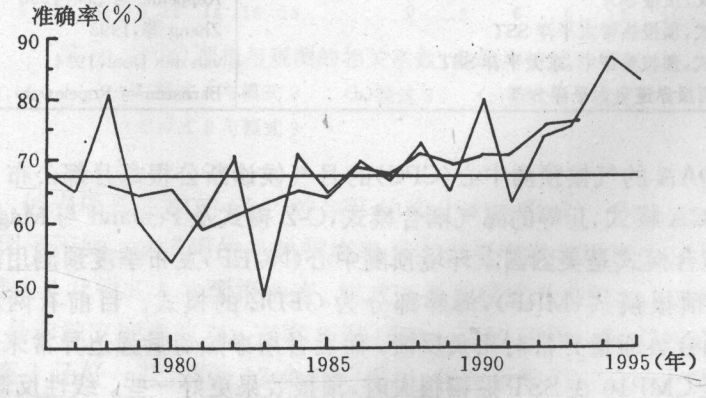


图 5　1976～1995 年汛期 6～8 月降水量距平百分率预报评分

国外的气候预测业务也有很大进展，变化较大的是美国[16,17]，所以这里作为重点介绍。美国气候预测中心的预报有 4 项内容（表 5）。

表 5　CPC 的气候预报内容

1	月气温降水预报分 3 级，1974 年开始
2	季气温降水预报分 3 级，1958～1981 年每年做 4 次，1982 年开始每年做 12 次，1982 年之后增加概率预报
3	加拿大阿拉斯加、欧洲大陆中高纬地面状况预报，1987 年开始
4	700 hPa 月平均高度距平预报，每年 24 次，1973 年开始

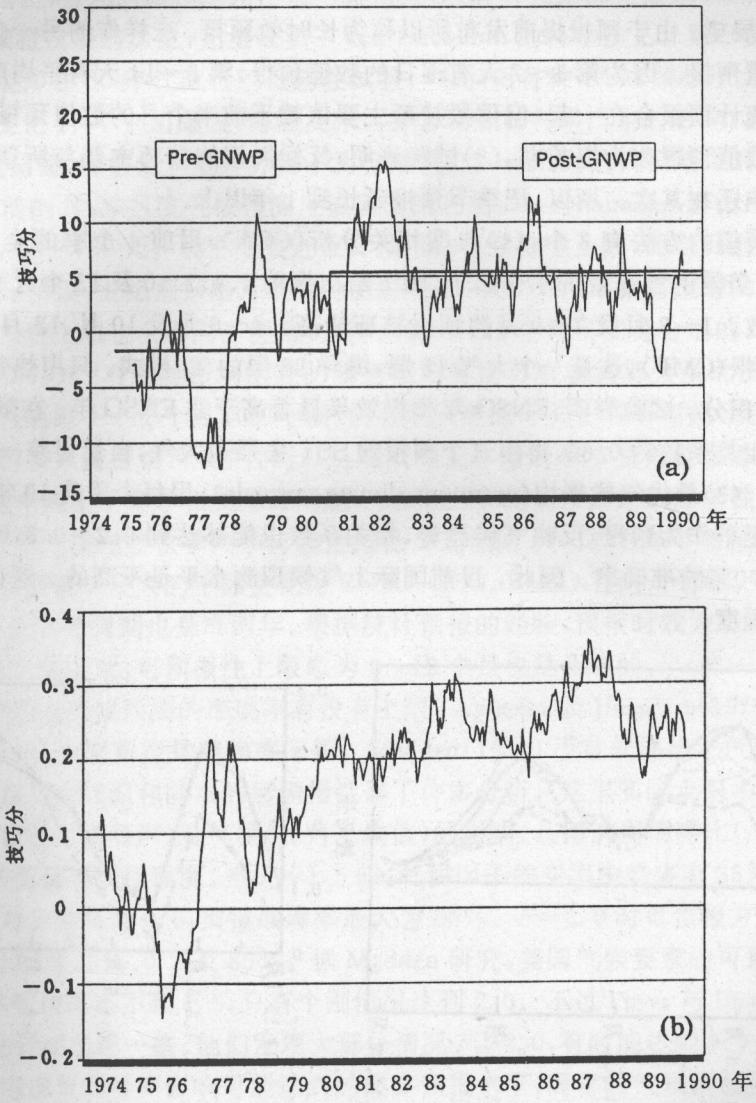


图 6 美国月平均气温 (a)与 700 hPa 月平均高度(b)的预报技巧

图 6 给出美国月平均气温及 700 hPa 月平均高度的预报技巧分。图 6a 为月平均气温预报技巧与持续性预报技巧之差。Pre-GNWP 及 Post-GNWP 为全球数值天气预报系统建立前及建立后。显然,气温预报水平的提高与数值天气预报的改进有密切关系。因为下一个月第一周预报水平直接依赖于数值预报。图 6b 为 700 hPa 高度预报与实况的相关系数。1982 年之后大约维持在 0.2～0.3 之间,从相关系数看还达不到目前数值预报的水平(表 1)。但是这是全年预报,包括了夏季,显然比只报冬季水平要低。气温持续性大约有 0.2 的预报技巧,而业务预报仅比持续性高 0.05。这表明气温预报的技巧大约也只有 0.2～0.3。目前国外的气候预测水平大体如此。

但是过去美国是在每个月末发布下个月的预报,预报没有提前期(lead-time)。从 1995 年 1 月开始作了重大改革:(1)所有的月预报及季预报均提前两周以上发布,例如 1 月中旬发布 2 月的预报。(2)每个月发布今后 13 个季预报,每个季之间相差 1 个月。例如 1995 年 1 月中旬

需要全本请访问 www.ertongbook.com