

长期天气预报业务和方法研究的最新进展

胡增臻 黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所)

提要 该文从预报内容、预报方法和预报水平等方面总结了国内外长期天气预报业务概况。从统计和动力两方面总结了长期天气预报方法研究的现状;其中重点介绍了用 GCM 做月平均环流预报的进展。最后展现了长期天气预报在未来十年的发展。

1 引言

对长期天气预报的研究从上个世纪末开始已有一百年历史了^[1]。但对月、季预报研究的明显增多是本世纪 80 年代至 90 年代初,即最近 10 年。在这 10 年中,大量的业务和科研工作表明,在许多情况下月和季的平均温度和平均降水预报是可行的。科研成果促进了长期天气预报业务的开展,而长期天气预报业务的发展又为长期天气预报研究提供了新的课题,业务和研究相互促进。长期天气预报业务和研究的发展是与社会经济活动的迫切要求相联系的。在许多有重要经济意义的地区和事例中,长期天气预报已显示了相当好的技巧,为经济进一步发展提供了有利条件。这也是目前长期天气预报业务和研究的发展得到社会广泛支持的一个基本缘由。1984 年, Nicholls^[2]回顾了 1984 年以前 20 年发表的与长期天气预报(或短期气候)有关的研究工作。本文主要综述一下国内外长期天气预报业务的现状,以及最近 10 年,特别是最近 5 年长期天气预报方法研究的一些进展,并展望未来 10 年长期天气预报的发展。

2 长期天气预报业务现状

2.1 业务预报内容和方法

据 WMO 的统计,至今世界上至少有 30 多个国家和地区正式发布月、季长期预报^[3]。世界上所有大国,例如,美国、前苏联、英国、日本、印度、巴西和中国等^[4],几乎都发布月、季长期预报(见表 1)。目前,业务预报内容主要是月、季平均温度和降水等。月、季预报的制做仍主要是通过综合运用天气学的和经验的方法,即使那些最近已经使用动力学方法制做月预报的国家,也只不过是制做预报的过程中,对数值预报的产品比对各种各样的统计和天气学方法更着重考虑而已^[5]。目前小国的长期天气预报业务仍采用经验统计方法,多数大国虽然也以统计方法为主,但愈来愈多地使用动力方法或参考动力预报试验的结果。

英国气象局的长期天气预报工作的历史可以说是长期天气预报发展历史的一个缩影^[6]。在 1962—1963 年严冬之后,英国气象局于 1963 年开始发布长期天气预报。起初以经验方法为主,随后发展了相似等方法,并考虑了 SST、冰雪对长期天气的影响。但在 70 年代长期天气预报业务技巧水平增长极

表 1 部分国家长期天气预报业务现状

国家/地区	目前预报内容	目前使用的方法	业务预报始于
中 国	月、季、年降水和温度	统计方法、动力方法参考	1958
美 国	月、季降水、温度	统计方法、动力方法参考	1959
前苏联	月、季降水、温度	统计方法、动力统计方法	1975
英 国	月、季降水、温度、海平面气压	统计方法、动力方法	1963
日 本	月、季降水、温度	统计方法、动力方法参考	
印 度	季风降水、季风开始和后期(8—9月)降水	统计和经验方法	
捷克斯洛伐克	月降水、温度	统计和经验方法	1953
匈牙利	月、季、半年降水、温度	统计方法	
波 兰	月降水、温度	统计方法	
罗马尼亚	月降水、温度	统计方法	
芬 兰	季温度	统计方法	
巴巴多斯	季降水	经验统计方法	
墨西哥	月、季、年降水、温度	经验方法	
巴 西	季降水	经验统计方法	

其缓慢，通过检验认为除 SST 外，其它因子几乎没有什么预报结果，这导致了在 1981 年停止公开发布长期预报，只对个别用户提供预报参考。进入 80 年代，随着对长期天气过程、统计和动力学预报方法研究的深入，英国气象局的长期天气预报愈来愈注重使用动力方法。这也是最近几年在长期天气预报方面一个最显著的进展。目前英国气象局业务预报中使用的技术方法见表 2^[6-8]，这也是目前比较有代表性的方法，其最大特点是比较广泛地采用了动力学模式的预报结果。最后的预报结果是各种动力和统计方法预报结果的综合。

表 2 英国气象局不同预报时段采用的技术方法

预报时段	使用的技术方法
1—5 天	a. b. c
6—15 天	c. d. e
16—30 天	c. d. e

说明：a. 欧洲中期预报中心的模式
b. 英国气象局模式
c. 英国气象局低分辨率模式 LAF
d. 地面气压特征向量回归
e. 多变量分析方法

2.2 业务预报准确率

预报准确率低是一直困扰长期天气预报的最主要的问题。美国业务预报分三级，预报各级出现的概率。预报方法是选相似，评分仍用 Heidke 技巧分(S)： $S = (R - C) / (N - C) \times 100$ ，其中 R 为预报正确的次数， C 为随机预报正确的次数， N 为预报总次数。 $S > 0$ 即为有预报技巧。1950/1951 年至 1987/1988 年 38 年的平均 S 只有 6.2%，其中气温预报为 8.3%，降水预报为 4.2%；冬、春、夏、秋季气温预报技巧分别为 12.6%、8.6%、9.3% 和 2.8%，其中冬季东部可达 20%—40%^[9]。因此，虽然总的预报水平不高，而局部地区、某些季节，预报还是有参考价值的。前苏联水文中心公布的 1985—1989 年温度月预报的平均准确率 $\rho = 0.27 \left(\rho = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} \right)$ ，其中 N_+ 和 N_- 分别表示距平符号预报正确和不正确的台站数， $\rho > 0$ 表示预报优于随机预报)。年平均 ρ 值有逐年增长的趋势(表 3)。

表 3 1985—1989 年前苏联月平均温度预报的 ρ

年	1985	1986	1987	1988	1989
ρ	0.15	0.29	0.24	0.33	0.34

一般情况下,在中高纬度温度预报比降水预报要好些。若改用技巧评分, S 为20%,但波动很大,最高达40%—60%,最低在-20%以下,总预报水平高于持续性预报^[10]。英国气象局1972—1977年(持续性强)发布的月平均温度和降水预报准确率低于相应的持续性预报,而在1978—1981年(持续性弱)预报准确率高于持续性预报。预报技巧与温度或降水本身持续性变化关系不大^[8](图1)。1977年以后预报技巧增长,部分原因可能是与使用了较好的统计预报模式有关。1987/88年冬季到1990年夏季(共11个季)预报的技巧评分情况是^[8]:温度:1—5天预报得分较高,有4个季超过60%,只有一个季在20%以下,多数预报比持续性预报偏高10%;6—15天的预报比1—5天的预报技巧低,但仍有三个季超过40%;16—30天的预报,多数情况比气

候预报和持续性预报好(图1b);三个时段的预报技巧均有上升的趋势,这可能与对使用的数值模式不断做改进有关。降水:1—5天的预报技巧经常高于40%,比气候和持续性预报好;6—15天的预报,所有技巧均是正的,并有三个例子超过了40%;16—30天的预报,在引进了动力数值模式之后技巧才是正值,最大为30%。降水预报的技巧评分像温度一样也有上升的趋势。这再一次肯定了动力模式在长期天气预报中的作用。

2.3 我国的长期天气预报业务

我国开展长期天气预报业务的单位上至中央气象台下至县气象站,十分普及,而且已有近35年的发展历史,积累了丰富的经验,对我国国民经济的发展起到了很好的作用。业务预报的主要内容是:月、季温度、降水以及汛期降水预报。仍以统计方法为主,也参考动力模式数值预报的结果。中央气象台的预报评分采用计算预报准确率: $F = (N + N_0 + N_1 + N_2) / (M + N_1 + N_2) \times 100$,式中 M 为参与检验的总站数(100个站), N 为预报与实况距平同号站数, N_0 为距平反号但误差在20%以内的站数, N_1 和 N_2 分别为距平同号而差值在20%—40%和50%以上的站数。1973—1990年降水预报水平变化不大, F 值稳定在58—65之间;而1977—1990年温度预报水平在1985年后(F 值在65—72之间)较1985年前(F 值在58—69之间)有一定提高。

通过上面对几个国家长期预报业务现状的粗略介绍可以看出:(1)大部分国家业务预报对象是月、季降水和温度,且预报内容随时间变化不大;(2)预报采用综合方法,但最近几年,动力方法(GCM)预报在业务中越来越多地被采用;(3)预报水平较低,但略高于持续性预报;(4)大部分预报水平有逐年增加或后期较前期增加的趋势。

最近几年,对目前较低水平的长期天气预报产品的使用,有一些观念上的变化。

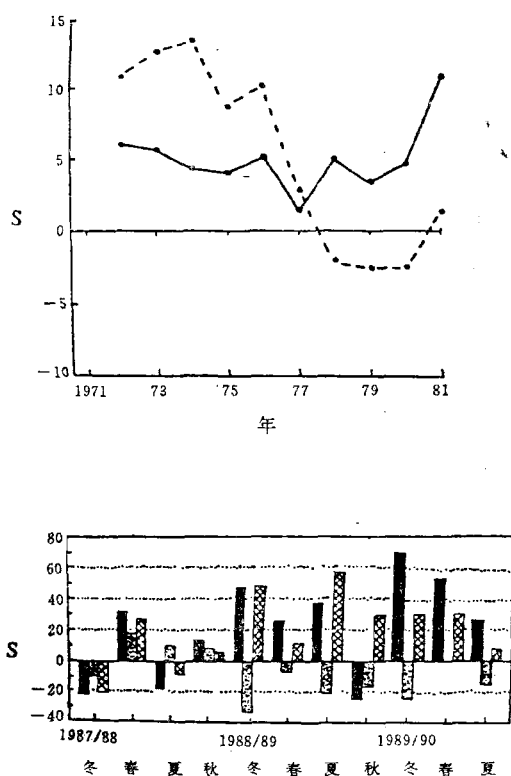


图1 英国业务预报技巧评分。上图实线是月平均气温(5级等概率预报)和降水(3级等概率预报)的平均业务预报技巧;虚线是持续性预报技巧。下图.16—30天的温度季平均预报技巧评分;其中黑柱、黑点柱和交叉线柱分别为业务预报、气候预报和持续性预报技巧评分

Livezey(1990)^[8]强调, 即使对于预报技术水平有限的长期预报, 合理使用仍会取得一定的经济效益。WMO 最近在关于长期天气预报现状的声明中^[5], 也指出针对用户的不同要求提供一些有应用价值预报的重要性。由此看来, 对长期天气预报和服务部门来说, 除了改进预报方法, 提高预报技巧外, 一个有社会和经济效益的重要课题是指导用户合理地使用长期天气预报。英国气象局近几年的具体实践也证实了这样做是十分有益的^[8]。

3 长期天气预报方法研究的最新进展

长期天气预报方法是制做长期天气预报的工具。最近几年长期天气预报方法的研究有明显进展, 在用GCM做月季预报方面, 进展尤为显著。下面将预报方法分为统计和动力(包括统计-动力)方法, 对其进展做一介绍, 在本节最后简要介绍中国科学院大气物理研究所研制的旱涝综合预报方法及预报情况。

3.1 统计方法

统计方法包括: 单变量时间序列方法、多变量统计方法等。单变量时间序列方法主要是通过统计模型考虑时间序列的持续性、周期性、准周期性以及随机性等特点来制做预报。这方面国内^[4]、国外^[2,5]已有比较详细的总结。最近几年在这方面进展不大, 这可能与气象要素变化受外界多种因素影响, 自身演变规律不断受到破坏, 用时间序列方法有较大局限性有关。

相比之下, 多变量统计无论在业务预报还是研究中都有一定进展, 逐步回归技术又有新发展, 建立了稳健回归^[11]等。最近 CAC 的 Livezey 和 Barnston 等^[12-14]的工作, 对最近几年统计方法的进展有一定代表性。Livezey 和 Barnston 等^[12,13]以及 Barnston 和 Livezey^[14]为了改进美国的温度季节预报业务方法, 首先扩展了相似的概念, 认为反相似的因子也同样包含着预报信息, 在预报

中采用复相似/反相似预报方法(a Complicated analog/anti-analog Prediction system)。并用此方法做了春夏秋冬及跨季节的三个月的温度预报试验, 结果比原相似方法效果好^[13,14]。在此基础上, 用相似/持续混合预报方法做了美国季节平均温度预报试验(图2)^[12]。由图2可以看出用相似/持续混合预报方法可以明显改进原来业务中使用的相似预报方法的预报技巧。相似/持续混合预报方法的基本思路和预报流程见图3所示。由图3可以看出, 新预报方法将回归、相似和持续性预报客观定量地结合在了一起, 这一方面反映了预报的复杂性, 另一方面也反映了当前统计预报的应用趋势^[5,6,8]。

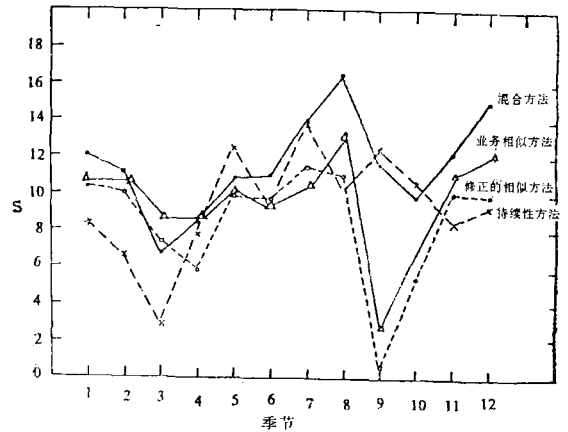


图2 3个月的温度预报技巧 S(共92个站, 36年资料, 温度分为等概率的3级)

除了上述两类统计方法外, 模糊集方法^[15]、灰色系统模型^[16]、车贝雪夫展开^[17]等都有的一些新的进展。通过对经验正交函数展开的反复迭代, 可以对原展开矩阵中的一个或多个数据进行拟合, 从而可以用来做资料缺测插补和预报试验^[18]; 此外还发展了旋转主分量分析方法^[10-23], 此方法对长期预报中的客观分区有明显优点。

虽然近年来国际上对统计方法做长期天气预报逐渐给予了承认, 但统计方法做长期天气预报仍存在不少问题: (1) 有些统计预报方程还缺乏动力学和天气学基础。这就

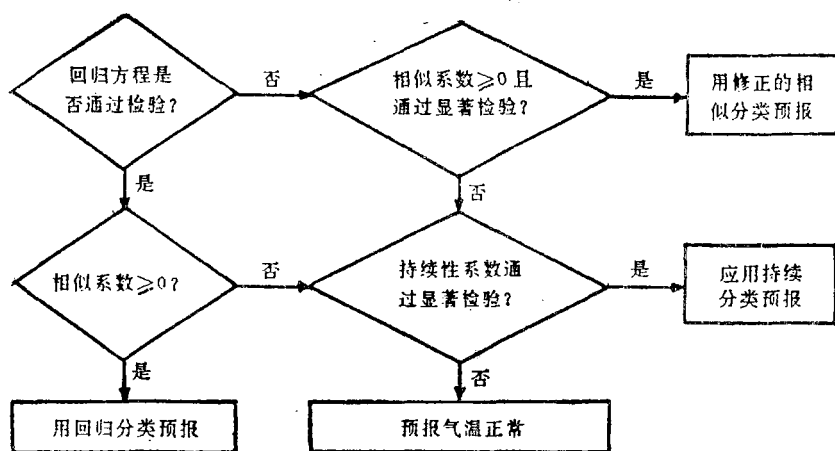


图 3 混合方法预报方案示意图(取自[12])

需要在选择预报模型和因子时,注意预报因子和预报量间的物理联系,使预报方程建立在有天气动力学意义的背景下。(2)统计预报效果不稳定,这一方面与预报模型有关,另一方面也可能与预报方程中因子的选择缺乏物理背景和必要的统计检验有关。最近^[24-26]强调了在做因子选择时,相关场和单要素相关检验中存在的问题,指出了进行显著性检验的重要性。(3)对极端异常和突变等有重大意义的长期天气现象的预报存在着局限性,此外在统计模型中无法反映预报量与预报因子关系的前后不一致性。这些主要是由统计模型本身特点所决定的。使用滑动平均量对独立样本以及位相的歪曲,也都是在今后应用统计方法时值得注意的问题。

3.2 动力方法

与统计方法相比,用动力方法做月、季预报试验所取得的进展更为引人注目。最近,王绍武^[27]、林本达^[28]以及曹鸿兴^[29]从不同角度给予了详细总结和评述,本文在此基础上做一归纳和补充。

自七十年代初至今,随着众多GCM的不断建立和完善,人们对影响气候的各种物理因子(如不同海域的SSTA、CO₂、气溶胶、地形、冰雪、地球轨道参数、O₃、植被和土

壤湿度等)进行了一系列成功的敏感性试验,加深了对各种物理因子在气候变化中作用的认识。在此背景下,人们更迫切希望出现一种有充分物理依据,并能克服统计预报方法中一些主要缺点且有较高预报水平的长期预报方法。八十年代欧洲中期天气预报中心(ECMWF)中期天气预报业务的不断发展,也给长期数值天气预报研究带来了希望。所以目前人们把注意力越来越多地集中到了第一类气候预报即长期数值预报上。这与Lorenz当初的预言:先做第二类气候预报研究(即气候敏感性试验),后做第一类气候预报研究,是一致的。这可从美国第十四届气候诊断年会的报告^[30,31],WMO月、季大气变化预报和诊断研讨会文集^[32-34],以及最近发表的一系列文章中^[35-50]看到。最早进行月平均环流预报数值试验的是Spar等(1976, 1979)^[51,52],距今已有15年了。最近几年,月平均环流数值预报试验研究在不断增多。按[27]及该文以后发表的一些最新用GCM做月预报试验的结果,做出表4。表4中月平均环流的GCM预报试验有五个特点:(1)绝大部分GCM做的是冬季预报试验;(2)绝大部分GCM预报采用集合方法(LAF, MCF),集合个数3—10个不等,也有个别例是把不同模式的集合预报结果求平

表 4 GCM 500hPa月平均环流预报与实况距平的相关^[27]

模 式	集合预报		个 例 数	预报水平(相关系数)	作 者	发表年代
	类型	个数				
ECMWF T_{42}, T_{21}			38	0.38(T_{42}), 0.32(T_{21})	Cubasch等 ^[40]	1986
GFDL N_{48}, L_9	MCF	3	8	0.40 0.59(去掉气候漂移)	Miyakoda等 ^[41]	1986
UKMO L_5	MCF	7	8	0.48(1—15天) 0.29(16—30天) 0.34(31—45天)	Murphy等 ^[42]	1986
UKMO L_5			18	0.53(1—15天) 0.20(16—30天) 0.18(31—45天)	Mansfield ^[43]	1986
NMC CCM, R_{15}	MCF	3	8	0.50	Baumhcfner ^[45]	1987
NMC DERF	LAF	5	108	0.39	Tracton ^[44]	1987
ECMWF T_{21}, T_{42} T_{83}, T_{108}	LAF	9	24	0.4	Brankvic等 ^[46]	1989
FSM T_{21}	LAF	3		误差低于气候预报, 也低于持续性预报	Deque ^[47]	1989
	MCF	3	5			
JMA GSM88 T_{83}	LAF	9	3	准确率高于持续性预报	Yamada等 ^[22]	1990
NCAR CCM1, T_{31}	MCF	10	49	0.37	Baumhcfner ^[48]	1991
ECMWF T_{108} FSM T_{42}	LAF	5	9	0.36	Royer, Deque ^[49]	1991
JMA T_{83} L_{21}	LAF	9	8	0.54	Yamada等 ^[50]	1991

均^[49]; (3) 环流采用实际初始场, 而海温多用气候平均值, 或使异常在积分中持续; (4) 预报个例数较多, 结果有较高可信度, 但预报对象主要是月平均环流距平, 不同作者使用不同模式做不同个例, 得出的结果相差较多, 500 hPa 月平均环流距平预报与实况的相关系数从 0.2 到 0.59, 平均约为 0.4, 5 年中无明显增长趋势; (5) 模式多采用中等复杂程度的 GCM, 而不是最复杂的 GCM, 这可能一方面与经费限制有关, 另一方面与长期天气预报的特点有关。作为一个任选的例子, 简要介绍一下 Yamada 等^[50]最近做的 GCM 月平均环流预报试验工作。

Yamada 等用日本气象厅的 $T_{83}L_{21}$ 全球谱模式(模式层顶为 10 hPa, 模式有比较完善的物理过程), 采用相隔 12 小时的 9 个初始场做 LAF 集合预报。其中海温异常在积

分中不变, 地表初始状况使用气候平均值。所做的 8 个个例全部是冬季, 表 5 给出了各个个例的预报情况。由表 5 可以看出, LAF 平均预报水平(8 个个例)无论从距平相关还是均方根误差考查均较气候预报、持续性预报和业务动力预报有明显提高。Yamada 等^[50]指出, 不同预报集合间的差异在前 10 天不明显, 最后 30 天最明显, 集合预报的效果在第 2 个 10 天(第 11—20 天)后显示出来, 但在第 3 个 10 天(第 21—30 天)平均的均方根误差稍大于气候预报, 在 LAF 中 3—9 个单个预报的集合差异已不大。集合预报除了可以提高预报准确率外, 另一个重要的优点是, 它可以根据集合预报中各单个预报的离散度(measures of the spread), 对预报准确率给出一个事先估计^[53], 这对于预报产品使用者来说有十分重要的意义。

目前, 国外在集中力量用 GCM 做月平

表 5 北半球30天平均预报的水平(LAF, ODF, PERS和CLIM分别表示滞后平均预报、业务动力预报、持续性预报和气候预报)

最近一个初始场的时刻	距 平 相 关			均方根误差(m)			
	LAF	ODF	PERS	LAF	ODF	PERS	CLIM
1986.12.29.12 UTC	0.40	0.34	0.46	64	71	61	57
1987.1.29.12 UTC	0.60	0.52	0.49	45	57	54	49
1987.12.29.12 UTC	0.36	0.19	0.13	55	70	74	51
1988.1.29.12 UTC	0.70	0.29	0.30	66	63	61	52
1988.12.29.12 UTC	0.84	0.77	0.43	44	55	76	82
1989.1.29.12 UTC	0.65	0.26	0.35	66	90	96	86
1989.12.29.12 UTC	0.53	0.59	-0.12	51	53	92	55
1990.1.20.12 UTC	0.83	0.75	0.51	46	56	72	82
8 个个例平均	0.54	0.46	0.32	55	64	73	64

均环流预报试验, 如果按相关系数达 0.5 作为可以投入业务预报使用的标准, 从表 4 可以看出这并不是很遥远的事了。另外, 除环流外, 目前大部分模式还没有给出温度和降水的月平均预报情况, 而气温和降水月平均距平, 而不是大气环流异常才是长期天气预报业务的内容。目前大部分 GCM 计算的降水量量级偏小, 这也许需要用类似短期数值模式输出统计(MOS)的方法来解决。

国外目前很少作 2 个月、3 个月或以上的预报试验, 因为预报期限在 1—2 月以上时, 下垫面就不能用气候状态了, 而必须考虑它的变化, 特别是海温和冰雪的变化, 这就要应用海气耦合模式。曾庆存等^[54]用大气所的 IAP 2 层大气、4 层海洋的 CGCM 进行了两次跨季度气候距平数值预测试验: 一次是从 1988 年秋季(9 月)开始预测至翌年初夏(5 月), 另一次由 1989 年隆冬(1 月)开始预测至 8 月。试验结果表明: 环流形势季节转换、SSTA 的维持及演变(如 1989 年 6 月以后 La-Nina 的终止)、东亚地区各月和季节降水距平等大形势分布的预测是成功的。李旭等¹⁾用同样的模式做了 1991 年中国降水异常的跨季度数值预测试验, 虽然不像 1989 年预测的那么成功^[54], 但预测与实况也有明显对应关系, 显示了 IAP CGCM 做跨季度预测的潜力。

有关用 GCM 做月、季预报中存在的几

个问题, 如: 气候噪声与长期天气可预报性、气候漂移、下垫面异常的作用与海气耦合模式以及不同集合方案(LAF、MCF 等)的优劣比较, 请见[27], 这里就不再赘述了。

在 WMO 的声明中^[5], 强调了使用简化模式做月季预报的可能性和必要性。最近几年这方面的研究也很活跃。林本达^[28]、丑纪范^[55]、曹鸿兴^[28]在这方面已做了详细评述, 本文只做简单综述。Adem^[56]最近总结了他发展的热力模式的使用情况, 结果是令人鼓舞的, 但由于此模式只考虑热力学过程, 这对作长期预报无疑是一个严重的缺陷。汤懋苍建立了根据前期地温预报后期旱涝的地温模式, 多年的预报实践, 肯定了地温模式的预报效果^[57]。在巢纪平等提出的距平滤波模式的基础上, 进行了一系列对原模式的改进和预报试验; 1986 年, 巢纪平等用扩展为三层的地气耦合距平滤波模式, 做了距平场的月、季预报试验^[58]; 林本达等将距平滤波模式的大气部分改为非定常, 即保留 Rossby 波的作用, 陈桂英等进行了准业务化试验^[59]。黄建平和王绍武建立了相似动力季节预报模式, 并做了季节预报试验, 结果表明模式具有一定的季节预报能力^[60]。胡增臻等^[61]用简单正压涡度方程谱模式做了考虑

1) 李旭等, 1991 年中国降水异常的跨季度数值预测试验, “长江黄河两流域旱涝规律、成因与预测研究”1991 年年会报告。

初值中随机误差和模式中随机强迫的月平均环流 Monte-Carlo(MC)预报试验, 结果表明, 对动力模式预报效果的改进比较明显。

长期数值天气预报不同于短期数值天气预报, 长期数值天气预报是预报逐日天气变化的长期(月、季等)统计状态的异常。这就要求长期天气数值预报模式既要考虑大尺度长期天气过程的自身演变, 又要考虑逐日的瞬变活动对长期天气过程的影响。因此探索建立不同于短期数值预报而抓住了长期天气过程主要特点的模式对长期数值天气预报水平的突破可能是至关重要的。

表 6 大气物理研究所旱涝超季度综合预报与实况的比较

年份		华南地区 (前汛期)	江南地区 (汛期)	江淮流域 (汛期)	黄河流域及 华北地区
1985	预报 实况	偏多 偏多	偏多 偏多	偏少 偏少 3—5 成	偏多 偏多
1986	预报 实况	偏多 偏多	正常 正常	正常偏多 偏多 3—5 成	偏少、出现干旱 偏少 5 成左右, 严重干旱
1987	预报 实况	偏少 偏少	偏少 2—3 成 偏少 3 成左右	偏多 3 成以上, 发生洪涝 偏多 3—5 成, 发生洪涝	偏少 2—3 成 偏少 3 成左右
1988	预报 实况	偏少 偏少	偏多 3 成左右(主要 位于湘江、沅江) 在洞庭湖、湘江、沅江 流域偏多 3—5 成	偏少 3 成以上 偏少 2—3 成	偏多 3 成以上 偏多 3 成以上
1989	预报 实况	偏多 2—3 成 偏多 2—5 成	偏少 2—3 成 偏少 3 成以上	偏多 2—3 成 偏多 3—5 成	偏少 2—3 成 偏少 3—5 成
1990	预报 实况	偏少 偏少	正常 正常偏少	偏多 3 成以上 正常偏少	华北北部、中部偏少 正常偏多
1991	预报 实况	正常 正常	偏少 2 成左右 偏少 2 成左右	偏多 2—3 成 偏多 5 成以上, 发生洪涝	偏少 2—3 成 偏少 2—3 成

除 1990 年部分地区预报失败外,1985—1991 年的旱涝趋势 预报 几乎完全 正确, 特别是 1991年预报我国夏季主要雨带位于江淮流域, 与实况吻合, 收到了很好的社会效益。七年的预报实践证实了此方法对我国夏季旱涝趋势预报是有效的。

5 展望

过去的 10 年,长期天气预报取得了有目共睹的成就, 预计在未来10年长期天气预报业务、方法研究以及长期天气过程研究扔将有比较大的 进展, 主要表现在以下几个方面:

3.3 中国科学院大气物理研究所的旱涝长期预报综合方法

中国科学院大气物理研究所五室, 经过多年探索研究, 在对旱涝规律与成因研究的基础上, 提出了综合长期预报方法^[62]。该方法由一个描述准定常行星波异常的动力机制模式、相关分析、环流型、时间序列与回归分析等组成。此方法是以大量的诊断分析、数值模拟和理论研究为基础的^[63-77], 黄荣辉等已系统总结了 1985—1989 年用 此方法实际做超季度预报的情况^[62]。补充1990和1991年的预报与实况做出表 6。由表 6 可以看出,

- 1) 随着 长期数值预报试验不断取得进展, 预计在 90年代后半期, 部分发达国家, GCM 或简化模式月平均环流预报将可能投入业务使用。这将促进长期天气预报业务水平的提高, 丰富预报内容(不限于只做月、季降水和温度预报)。为克服长期数值预报产品中的系统误差, 类似短期 预报中的 MOS方法要发展。动力学方法主要研究如何减少系统误差和采用更完善的统计-动力相结合的预报技术(LAF 和 MCF 等方法)。
- 2) 目前大多数 CGCM 做季节 预报 还存在不少有待解决的难题, 如初始场和系统误差等, 预计 90 年代后半期,随着月预报的

成功,用 CGCM 或简化模式做季节预报将受到更多的重视。

3) 观测研究、理论分析和数值模拟均证实,西太平洋暖池对东亚大气环流、东亚季风异常和 ENSO 有明显影响。但这种联系在目前的 CGCM 中未能得到充分的描述,如何在 CGCM 中突出表述西太平洋暖池的作用是值得今后进一步研究的内容。此外,西太平洋暖池的形成以及对 ENSO 的发生、发展和消亡究竟起何种作用,也是一个有待于进一步研究的重要课题。

4) 90 年代对 ENSO 循环的动力学研究有可能取得突破性进展。搞清不同时空尺度系统的相互作用对 ENSO 循环的影响及 ENSO 循环的物理机制。用 CGCM 和简化模式做 ENSO 循环的高技巧季—年际预报将成为可能。

5) 各种统计方法得到进一步发展;与动力方法的结合更加密切,因子的选择更依赖于动力分析和数值模拟的结果。

总之,90 年代是长期天气预报大发展的时期,我们应该紧紧抓住这一时机,研究和解决我国长期天气预报中的问题,采用先进方法和成果,促进我国长期天气预报业务水平的提高,为减轻灾害,造福人民,做出更大的贡献。

6 参考文献

- 1 王绍武、赵宗慈,1987,长期天气预报基础,上海科学技术出版社。
- 2 WMO,1984, Long-range Forecasting Research Publications Series, No. 3, Long-range weather forecasting: recent research, N. Nicholls, editor and leader authour, Contributions by G. Gruza, Y. Kikuchi and R. Somerville.
- 3 王绍武,1990, WMO 长期预报研究计划,气象科技, No. 1, 52—57.
- 4 周家斌、黄嘉佑,1990,旱涝预测方法的现状,旱涝气候研究进展(叶笃正、黄荣辉主编),134—142,气象出版社。
- 5 WMO,1991, Statement on the status of long-range weather forecasting, WMO, Cg-XI/DOC., 55, Appendix B.
- 6 Gilchrist, A., 1986, Long-range forecast, Quart. J. R. Met. Soc., Vol. 112, 567—592.
- 7 王绍武,1991,美国第14届气候诊断会,气象科技, No. 2, 21—27.
- 8 Harrison, M. S. J. 等(王世平、杨义文编译),1991,英国气象局长期天气预报业务的技术方法和商业价值,气象科技, No. 4, 27—31.
- 9 Livezey, R. E., 1990, The variability of skill of long-range forecasts and implications for their use and value, Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 71, 300—309.
- 10 陈兴芳,1990,苏联长期预报和气候监测业务工作情况介绍,气象科技, No. 4, 95—97.
- 11 冯耀煌,1990,非线性稳健回归在天气预报中的应用,气象, Vol. 16, No. 5, 15—19.
- 12 Livezey, R. E., A. G. Barnston and B. K. Neu-meister, 1990, Mixed analog/persistence prediction of seasonal mean temperature for the USA, International J. Climatol., Vol. 10, 329—340.
- 13 Livezey, R. E. and A. G. Barnston, 1988, An operational multifield analog/antianalog prediction system for United States seasonal temperatures, I. system design and winter experiments, J. Geophys. Res., Vol. 93, 10953—10974.
- 14 Barnston, A. G. and R. E. Livezey, 1989, An operational multifield analog/antianalog prediction system for United States seasonal temperatures, Part II, spring, summer, fall and intermediate three-month period experiments, J. Climate, Vol. 2, 513—541.
- 15 曹鸿兴、陈国范,1988,模糊集方法及其在气象中的应用,气象出版社。
- 16 涂松柏、李才媛,1990,灰色动力模型在天气预报中的应用,大气科学, Vol. 14, 188—192.
- 17 周家斌,1991,时间序列预报方法的推广,大气科学, Vol. 15, 73—81.
- 18 张邦林等,1991,用前期大气环流预报中国夏季降水的 EOF 迭代方案,科学通报, No. 23, 1797—1798.
- 19 Roberg, B. and W-C Wang, 1937, Climate patterns derived from Chinese porxy precipitation records: an evaluation of the station networks and statistical techniques, J. Climatol., Vol. 7, 391—416.
- 20 Richman, M. B., 1986, Rotation of principal components, J. Climatol., Vol. 6, 293—335.
- 21 胡增臻、王绍武,黄河流域汛期降水的时空变化特征(待发表)。
- 22 江剑民,1991,我国大陆干旱指数及其年际变化,大气科学, Vol. 15, 43—52.
- 23 White, D., M. Richman and B. Yarnal, 1991, Climate regionalization and rotation of principal components, International J. Climatol., Vol. 11, 1—26.
- 24 王绍武、胡增臻,气象要素相关场显著性检验的统计模拟方法(待发表)。
- 25 黄嘉佑,1989,气象要素场的显著性检验,气象, Vol. 15, No. 4, 3—8.
- 26 Livezey, R. E. and W. R. Chen, 1983, Statistical field significance and its determination by Monte-Carlo techniques, Mon. Wea. Rev., Vol. 111, 46—56.

- 27 王绍武, 用大气环流模式做月平均环流预报(待发表).
- 28 林本达, 1990, 长期数值天气预报研究的现状, 同[4], 126—133.
- 29 曹鸿兴, 1990, 统计-动力预报的进展与问题, 同[4], 150—156.
- 30 Rowell, D. P., et al., 1989, The relationship between global sea-surface temperatures and Sahel rainfall-investigations using a GCM, Proceeding of the Fourteenth Annual Climate Diagnostics Workshop, October 16—20, 1989, 391—396.
- 31 Mo. K., et al., 1989, A GCM study on the 1988 U. S. drought, 同[30], 245—249.
- 32 Yamada, S., et al., 1990, Time-lagged ensemble forecast experiments in the extended range with the JMA global prediction model, Extended Abstracts Submitted at the Second Weak of the WMO Training Workshop on Diagnosis and Prediction of Monthly and Seasonal Atmospheric Variations, 15—19 October, 1990, Nanjing, China, 231—234.
- 33 Palmer, T. N., et al., 1990, The ECMWF Program on extended-range prediction, 同[32], 147—151.
- 34 Royer, J. F., et al., 1990, Evaluation of ensemble one-month forecast experiments with the Franch Spectral model, 同[32], 161—166.
- 35 Milton, S. F., 1990, Practical extended-range forecasting using dynamical model, *Meteorol. Magazine*, Vol. 119, No. 1420, 221—233.
- 36 Palmer, T. N., et al., 1990, The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Program on extended-range prediction, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 71, No. 9, 1317—1330.
- 37 Palmer, T. N., et al., 1990, Extended-range predictions with ECMWF model: interannual variability in operational model integrations, *Quart. J. R. Met. Soc.*, Vol. 116, No. 494, 799—834.
- 38 Tibaldi, S., et al., Extended-range predictions with ECMWF model: Influence of horizontal resolution on systematic errors and forecast skill, 同[37], 835—866.
- 39 Brankovic, C., et al., 1990, Extended-range predictions with ECMWF model: time-lagged ensemble forecasting, 同[37], 867—912.
- 40 Cubasch, U., et al., 1986, Deterministic extended range forecast experiments using the global ECMWF spectral model, Proceedings of the First WMO Workshop of the Diagnosis and Prediction of Monthly and Seasonal Atmospheric Variations over the globe, 29 July—2 August, 1985, 581—589.
- 41 Miyakoda, K., et al., 1986, One-month forecast experiments—without anomaly boundary forcings, *Mon. Wea. Rev.*, vol 114, 2363—2401.
- 42 Murphy, J. M., 1986, Lagged-average forecast experiments with a 5-level general circulation model, Long-Range Forecasting and Climate Research Memorandum, No. 7, Meteorological Office, Bracknell.
- 43 Mansfield, D. A., 1986, The skill of dynamical long range forecasts, including the effect of sea surface temperature anomalies, *Quart. J. R. Met. Soc.*, Vol. 112, 345—349.
- 44 Tracton, M. S., 1987, Application of dynamic extended range forecasting (DERF) to the monthly forecast problem, Proceedings of the Twelfth Annual Climate Diagnostics Workshop, 12—16 October 1987, 381—386.
- 45 Baumhefner, D. P., 1987, Experimental 30-day forecasts from several spectral general circulation models, 同[44], 412—418.
- 46 Brankovic, C., et al., 1989, Deterministic monthly forecasts at ECMWF, Papers presented at the Second WMO Workshop on the Diagnosis and Prediction of Monthly and Seasonal Atmospheric Variation over the Globe Combined with the WMO Symposium on Ocean-atmosphere Interaction Relevant to Long-Range Forecasting, Toulouse, 15—19 June 1987, 171—177.
- 47 Deque, M., 1989, Monthly mean predictability of ensemble forecasts with a T_{21} spectral GCM, 同[46], 189—192.
- 48 Baumhefner, D. P., 1991, Evaluation of long-range forecast skill from Monte-Carlo ensemble integrations of a low-resolution NCAR Community Climate Model, Extended Abstracts Submitted to the ICTP/WMO International Technical Conference on Long-range Weather Forecasting Research, Trieste, Italy, 8—12 April 1991, 15—19.
- 49 Royer, J. F. and M. Deque, 1991, Improvement of long-range predictions by combination of model forecasts, 同[48], 235—240.
- 50 Yamada, S., et al., 1991, Dynamical one-month forecast experiments with the JMA global prediction model, *J. Met. Soc. Japan*, Vol. 69, No. 1, 153—159.
- 51 Spar, J., et al., 1976, Monthly mean forecast experiments with the GISS model, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 104, 1215—1241.
- 52 Spar, J. and R. Lutz, 1979, Simulations of the monthly mean atmosphere for February 1976 with the GISS model, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 107, 181—192.
- 53 Barker, T. W., 1991, The relationship between spread and forecast error in extended-range forecasts, *J. Climate*, Vol. 4, No. 7, 733—742.
- 54 曾庆存等, 1990, 跨季度气候距平数值预测试验, *大气科学*, Vol. 14, No. 1, 10—25.
- 55 丑纪范, 1986, 长期数值天气预报, 气象出版社.
- 56 Adem, J., 1991, Review of the development and applications of the Adem thermodynamic climate model, *Climate Dynamics*, Vol. 5, No. 3, 145—160.
- 57 汤懋苍等, 1986, 用冬季地温预报汛期降水距平的初步方法, *高原气候*, Vol. 6, No. 2, 150—159.

(转封四)

(接10页)

- 58 巢纪平等, 1986, 海气耦合距平滤波模式的月季数值预报, 气象学报, Vol. 44, No. 4, 417—425.
- 59 陈桂英等, 1990, 地气耦合非定常模式的准业务预报试验, 应用气象学报, Vol. 1, No. 1, 24—32.
- 60 黄建平、王绍武, 1991, 相似-动力模式的季节预报试验, 中国科学B辑, No. 2, 216—224.
- 61 胡增臻等, 1990, 月平均环流的 Monte-Carlo 预报试验, 科学通报, Vol. 35, No. 2, 919—921.
- 62 黄荣辉等, 1990, 综合长期预报方法及对旱涝季度与超季度预报试验, 大气科学, Vol. 14, No. 1, 26—31.
- 63 黄荣辉、李维京, 1988, 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制, 大气科学 (特刊), 107—116.
- 64 黄荣辉, 1990, 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究, 大气科学, Vol. 14, No. 1, 108—117.
- 65 Huang, R. H. (黄荣辉), 1986, The physical mechanism of the three-dimensional teleconnection in the summer circulation and application in long range weather forecasting, First WMO Conference on Long-range Forecasting, Sep. 29—Oct. 3, Sofia.
- 66 Huang, R. H. (黄荣辉), 1984, The characteristics of the forced stationary planetary wave propagations in summer Northern Hemisphere, Adv. Atmos. Sci., Vol. 1, 85—94.
- 67 Huang, R. H. (黄荣辉) and Li, W. J. (李维京), 1988, Anomaly of the subtropical high and its association with the propagations of the summer quasi-stationary planetary waves over East Asia, Summer School on Large-scale Dynamics of the Atmosphere, 5—20 August, 1988.
- 68 Huang, R. H. (黄荣辉) and Lu, L. (卢里), 1989, Numerical simulation of the relationship between the anomaly of the subtropical high over East Asia and the convective activities in the western tropical Pacific, Adv. Atmos. Sci., Vol. 6, 202—214.
- 69 Hunag, R. H. (黄荣辉), 1985, The numerical simulation of the three-dimensional teleconnections in summer circulation over the Northern Hemisphere, Adv. Atmos. Sci., Vol. 2, 81—92.
- 70 Hunag, R. H. (黄荣辉) and K. Gambo, 1983, The response of a hemispheric multi-level model atmosphere to forcing by topography and stationary heat sources in summer, J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 61, 495—509.
- 71 殷宝玉, 在波-流相互作用下热带西太平洋暖池上空热源对西太平洋副热带高压的作用, 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文 (待发表), 1991.
- 72 陈烈庭、阎志新, 1978, 青藏高原冬春季积雪对大气环流和我国南方汛期降水的影响, 中长期水文气象预报论文集, 水利电力出版社, 185—194.
- 73 陈烈庭、阎志新, 1981, 青藏高原冬春季异常雪盖影响初夏季风的统计分析, 中长期水文气象预报论文集, 水利电力出版社, 133—141.
- 74 Huang, R. H. (黄荣辉) and Wu Y. F. (吴仪芳), 1987, The influence of the ENSO on the summer climate change in China and its mechanism, Japan-U. S. Workshop on the El Nino Southern Oscillation Phenomenon, November 3—7, 1987, Tokyo, Japan.
- 75 Yang, G. J. (杨广基), 1985, The characteristics of spring and summer subtropical circulation during prolonged droughts and floods in summer in middle and lower Chang Jiang Valleys, Acta Oceanologica Sinica, Vol. 4, 374—381.
- 76 Zhou, J. B. (周家斌), 1983, A new forecast method of time series, Second International Meeting on Statistical Climatology, Lisbon, Sept. 26—30, 1983.
- 77 张庆云等, 1983, 大气活动中心长期变化的阶段性, 大气科学, Vol. 7, 364—372.

气象科技

(双月刊)

1993年第1期(总133期)

主办单位 气象科技情报研究所
编辑 气象科技编辑部
(主编 汪永起 副主编 李晓东)
出版 气象出版社
(北京西郊白石桥路46号)
印刷装订 北京印刷厂
一九九三年二月出版

国内统一刊号 CN 11-2374 定价, 2.00元

(内部发行)
