

# 美国国家气象中心发布的试验性 长超前期预报公报

李小泉

(国家气象中心, 北京 100081)

从 1992 年起, 美国国家气象中心/气候分析中心建立了一项新的业务, 即每年四次发布试验性的长超前预测公报 (Experimental Long-lead Forecast Bulletin), 汇集若干不同来源的各种长期天气预报意见与方法, 以便相互交流, 促进长期天气预报工作的发展。所谓长超前预报指的是预报对象不是紧接着预报制作日期, 而是间隔一段时间 (如两周或一个月) 以后的一个月或三个月的气象要素平均值。这反映出美国国家气象中心对长期天气预报问题在认识上有了很大的转变。

该公报的前言指出, 目前长期天气预报还处于发展的初期阶段, 除了在某些特定条件之外, 预报的技巧水平不高。近年来, 经验的、动力的 (包括海气耦合和非耦合的大气 GCM 模式) 长期预报方法取得了一定进步, 预计未来的若干年里, 人们对长期天气过程的认识和预报技巧会有很大的改善和提高。印发此项公报的目的在于使从事这方面工作的人员了解该领域的最新发展动态, 交流经验, 使人们可以看到当前的技术能力可以提供什么样的预报和哪些问题需要进行研讨, 从而鼓励长期预报领域的研究人员与预报人员加强协作。目前该公报仅作为学术交流性质的资料对有关单位和工作者散发, 而不作为预报服务材料向用户提供。

“公报”汇集了近十种美国 NOAA 系统内外各方面人士所做的不同类型的月、季、年尺度的长期预报, 也欢迎提供考虑温室气体效应、火山活动等因素的一年以上的超长期预报。由各单位或个人自由投稿, 因而, 每期

的内容和各种预报从对象到表达方式并不完全相同。

该公报对选刊的预报材料, 需满足如下要求:

(1) 实时性 所提供的预报必须是真正的预报, 即必须是预报对象的实况尚未出现之前所制作的预报。

(2) 客观性 所提供的预报必须有客观的预报方法, 即他人按所述方法在同样条件下会得出同样的预报结果, 至少在原则上是如此。

(3) 预报技巧 应有该方法过去预报效果的检验或回顾, 其预报技巧最少需超过随机预报的水平。

(4) 预报的内容必须是明确的 当使用距平或分级时必须说明计算气候平均值的时段或分级标准。

从已出版的“公报”来看, 所汇集的预报对象很不统一, 计有非洲撒哈拉及其以北地区的季降水; 印度夏季风降水; 热带太平洋和印度洋地区的海表水温, 南方涛动指数, 美国的月、季气温、降水等。预报时段也长短不一, 最短的是超前期为半个月的美月气温、降水预报, 最长的是今后每年直到 1998 年的 SOI 指数预报。从预报方法来看, 还是以统计方法为主, 包括多元回归、判别分析、最小绝对偏差回归、典型相关分析、奇异谱分析和最大熵谱分析、最优“气候”均值预报等。在动力学方法方面, 主要是简单和复杂的海气耦合动力学模式。

现将有关内容分别介绍如下。

# 1 用复杂的海气耦合动力学模式做热带太平洋地区海表水温(SST)预报

为加强海气耦合模式的研究,美国国家气象中心于前两年从发展处分离出一个海气耦合模式组,专门从事海气耦合模式的研究和实际业务工作。目前使用的模式大气部分,其动力框架由中期预报业务模式  $T_{126}L_{18}$  移植过来,分辨率降阶为  $T_{40}$ ,在物理过程和参数化方面根据气候预测的要求和热带环流特点做了修改。如:修改对流参数化中的湿度辐合条件,使之更加适合于热带低纬度深对流的发生,对近地面风应力和温度、湿度分别根据试验结果取不同的混合长;云辐射的过程参数化方案也做了适当修改。海洋环流模式是引进 GTDL 的海洋模式,垂直方向分 28 层。利用这个耦合模式的研究结果表明,使用观测的 SST 场时,模式大气的响应在热带地区是好的,温带地区则稍差,但在 ENSO 的 SST 条件下,温带地区大气的响应也不错。目前,主要注意力放在 ENSO 事件本身,每个月都计算未来九个月的太平洋地区 SST 的距平预报,然后再根据海气耦合条件考虑环流异常的预报问题。

根据海气耦合模式对 1983—1992 年每年的冬季(12、1、2 月)都计算出超前期为 6 个月的太平洋地区海温预报,图 1 是预报与实况的相关系数与持续性预报的比较。可见,该模式所做的太平洋地区海温预报与实况相关系数明显超过持续性预报的水平,中太平洋地区可达 0.9 以上。图 2 是 1993 年秋季到 1994 年春季三个季太平洋地区海温距平预报图,这些图,是根据 1993 年 7 月到 9 月期间 10—14 个相隔一个星期的观测值为初始场所做预报的集合平均。根据预报图,中东太平洋地区海温的偏暖程度要逐步减弱,而且日界线以东的沿赤道地区要出现一条明显的负距平带。对逐月 NINO3 区(5°N—5°S, 90—150°W)SST 的预报表明,1993 年 9 月到 1994 年 6 月均为负距平,距平值在

-0.5°C 到 -1.0°C 左右。

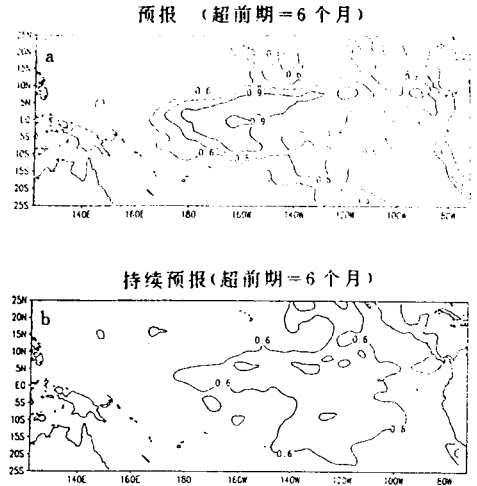


图 1 超前期为六个月的 12—2 月海表水温预报技巧(以预报与实况的相关系数表示)。a. 美国国家气象中心海气耦合模式预报,1983—1992 年平均。b. 持续性预报

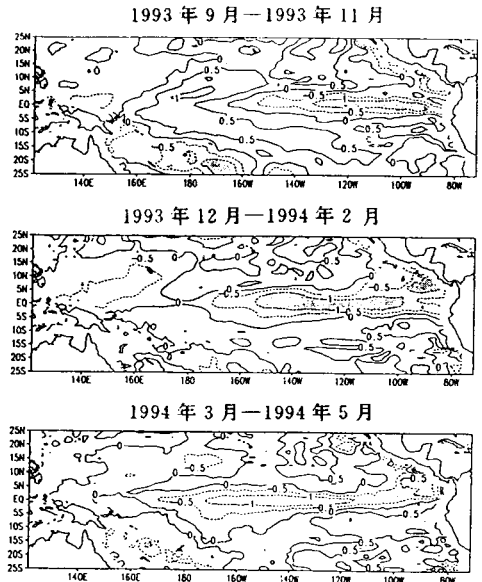


图 2 美国国家气象中心海气耦合模式所做的 1993 年 9 月—11 月,1993 年 12—1994 年 2 月,1994 年 3—5 月海表水温距平预报。是使用 10—14 个在 1993 年 7—9 月期间间隔为一周的初始场所做预报的集合平均

## 2 用简单海气耦合动力学模式做热带地区 SST 预报

80 年代中期以来,哥伦比亚大学的 M. Cane 和 S. Zebiak 设计并实现了用简单海气耦合模式做 NINO3 区 SST 距平的长期预报,并定期在美国气候分析中心的气候诊断公报上发表。图 3 是刊登在 1993 年 9 月 23 日出版的试验性超长前期预报公报中,用简单海气耦合模式所做的超前 3、6、9、12、15 个月 NINO3 区海温距平预报,这是以 1993 年 2—7 月各月为初始场所做的 6 个预报的集合平均。小方块为集合平均的预报值,竖的粗线和细线分别表示一倍和两倍标准误差的范围。图 4 是 1994 年 7 月太平洋 SST 距平预报场图。由图 3 和图 4 可见,按照 Cane 的简单海气耦合模式,1993 年春夏季出现的 ENSO 现象将在秋季结束,1994 年赤道太平洋的海表水温将处于正常状态附近摆动。至 1994 年盛夏,赤道东太平洋以弱负距平为主,赤道西太平洋以弱正距平为主。

## 3 用典型相关分析法(CCA)做美国地面气温和中赤太平洋热带海温的长期预报

典型相关分析(Canonical Correlation Analysis)是以多元因子与多元预报对象间在均方误差最小意义下所建立的相关关系为基础做预报的方法。A. G. Barnston 提供了以 CCA 方法为基础所做的美国地面季平均气温和中赤太平洋地区(5°N—5°S, 120—170°W)海温的预报结果。其预报因子前者是前期四个季的全球海表水温、北半球 700hPa 高度和美国地面温度场,后者是全球海平面气压和热带太平洋地区海温。“公报”给出 6 张美国季平均标准化气温距平预报图,预报时效为每间隔 1.5 个月一张。并用蒙特-卡洛方法计算预报场的随机性,即随机抽样 1000 次能够等于或大于所得技巧得分的概率。图 5 是 1993 年 9 月 23 日“公报”给出的 1994 年 1—3 月美国温度距平预报图,以标准化距平

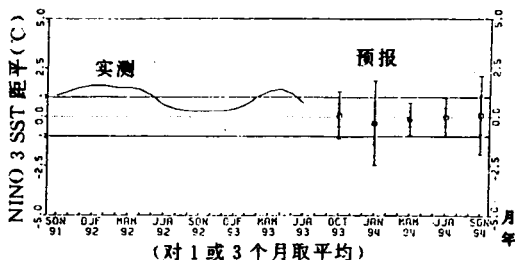


图 3 用 Cane 和 Zebiak 简单海气耦合模式所做的 NINO3 区(5°N—5°S, 90—150°W) SST 距平(°C)预报,实线代表三个月平均的实测海温距平

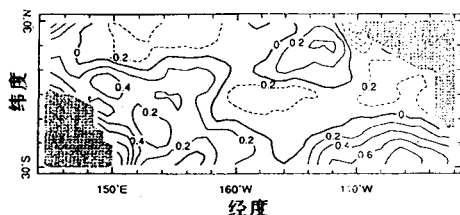


图 4 用 Cane 和 Zebiak 简单海气耦合模式所做的 1994 年 7 月海温距平预报场,分别以 1993 年 2—7 月、间隔为一个月的初始场所做六个预报的集合平均

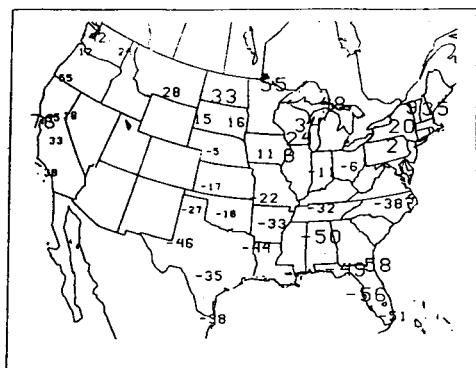


图 5 用 CCA 方法所做的 1994 年 1—3 月平均温度预报(以标准化距平表示,字号越大,表示相关关系越好,1993 年 9 月发布)

乘 100 来表示,字号越大,表示预报所用的相关关系越高。该图各站平均的预报相关关系为 0.32,全国预报场的随机性为 0.000。图 6 是用 1993 年 8 月以前的资料据 CCA 方法所

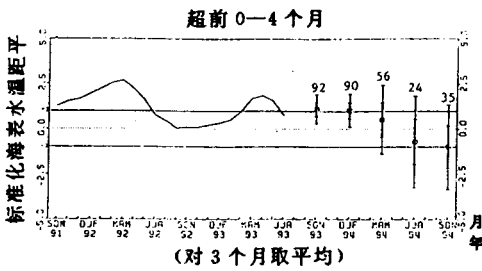


图 6 用 CCA 方法所做的赤道东中太平洋地区 (5°N—5°S, 120—170°W) 标准化海温距平预报. 实线为三个月平均的海温距平实况, 小方块为预测值 (1993 年 9 月发布)

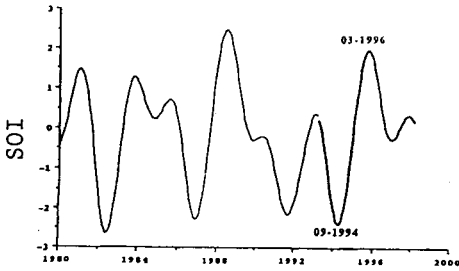


图 7 用奇异谱分析加最大熵谱分析做 1993 年 9 月到 1998 年 8 月 SOI 指数预报

做的赤道中东太平洋 (5°N—5°S, 120—170°W) 海表水温标准化距平的预报. 实线为三个月平均的海温距平实况, 小方块为预报值, 由竖线和两对小横杠表示的是一倍和两倍标准误差的范围. 五个预报点上方的数字为历史资料计算的预报与实况之间的相关系数乘 100, 而相同时期持续性预报的技巧分别为 0.90、0.83、0.49、-0.04 和 0.22. 由图可见, CCA 方法预报 1993 年秋季以后中东太平洋赤道地区的海温距平将缓慢下降, 1994 年夏季将为平均值以下大约 3/4 标准差.

#### 4 奇异谱分析加最大熵谱分析做南方涛动指数 (SOI) 的 5 年预报

C. L. Keppenne 和 M. Ghil 根据奇异谱分析 (Singular spectrum analysis) 将 SOI 的长期历史资料进行滤波, 以获得频率为两年左右和 4—5 年的 ENSO 变化分量, 然后对每

一个频率段的资料进行最大熵谱分析和周期外推预报, 然后叠加以获得 1993 年 9 月到 1998 年 8 月的 SOI 指数预报 (图 7). 结果表明, SOI 指数在 1994 年秋季将降到最低值, 此时本次 El Niño 将达极盛期, 以后 SOI 指数迅速回升, 1996 年初达到下一个峰值, 预示此时将出现一次 La Niña 现象.

#### 5 线性逆模型法做 NINO3 区的 SST 预报

科罗拉多大学的 C. Penland 将主振荡型分析 (Principal oscillation pattern analysis) 扩展为线性逆模型法 (Linear inverse modeling), 用以做 NINO3 区的 SST 的预报. 其作法是: 将 NINO3 区的 SST 距平做三个月滑动平均, 消除季节变化, 进行 EOF 展开, 取前 20 个特征向量, 可解释 73% 的方差. 假定 SST 的距平变化为马尔可夫过程, 可以根据历史资料的统计得到格林函数  $G$ . 理论上可以证明, 若  $t$  时刻的主分量场  $C(t)$  和参数为  $\tau_0$  的格林函数已知, 则格点  $i$  上  $t+\tau$  时刻的 SST 距平  $x_i(t+\tau)$  的最大可能估计值为:

$$\hat{x}_i(t+\tau) = \sum_{\alpha, \beta=1}^M \varphi_{\alpha} G_{\alpha\beta}(\tau; \tau_0) C_{\beta}(t)$$

其中  $M$  为主分量场的个数,  $\varphi_{\alpha}$  为第  $\alpha$  个 EOF 在  $i$  点的值. 将 NINO3 区各格点的预报值平均, 便得到 NINO3 区的 SST 距平预报 (图 8). 图中给出以 1993 年 1 月、3 月、6 月为初始场所做的预报曲线、95% 置信限 (1993 年 1 月预报) 和 1993 年 1—6 月的实况. 可见, 本方法预计本次 ENSO 事件在 1993 年夏、秋季达到高潮, 然后逐渐衰减, 到 1994 年夏季 NINO3 的 SST 基本恢复到正常状态.

#### 6 多元回归与判别分析做北非季降水预报和夏季风降水预报

此方法的关键在于因子选择. M. N. Ward 和 A. Calmon 利用多元回归与判别分析做 7—9 月撒哈拉和北非地区的季降水预报. 所选用的预报因子是: ①南北半球 SST 距平对比 (用全球 SST 的 EOF 3 表示), ②热

表 1 撒哈拉和北非 7—9 月降水量的独立样本预报准确率  
(括号内为持续性预报准确率)

地 区	1901—1945 年预报	1946—1992 年预报
	(用 1946—1992 年资料建立方程)	(用 1901—1945 年资料建立方程)
撒哈拉	0.50(0.10)	0.68(0.66)
几内亚湾	0.44(0.02)	0.53(-0.33)

表 2 用多元回归和判别分析法所做印度夏季降水独立样本预报准确率

预报方法	预报因子	独立样本检验时段		
		1969—1980	1969—1989	
多元回归	L+DPT	74%	29%	} 解释方差
多元回归	L+DPT+NHT	79%	31%	
判别分析	L+DPT	0.42	0.29	} 降水等级命中率
判别分析	L+DPT+NHT	0.50	0.33	

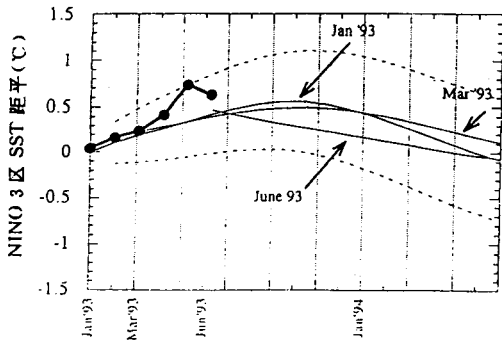


图 8 根据 1993 年 1、3、6 月初始条件用线性逆模型法做 NINO3 区 SST 距平预报,虚线为 1993 年 1 月所做预报的 95%置信限,黑色实圆为 1993 年 1—6 月实况

带大西洋地区南部的 SST(用旋转 EOF3 表示), ③ ENSO(用热带太平洋 SST 的旋转 EOF2 表示)。将历史资料分成 1901—1945 和 1946—1992 两段, 分别建立统计方程后交换进行独立样本检验, 结果关系是稳定的, 且明显超过持续性预报的水平(见表 1)。

L. Greischar 等也用多元回归和判别分析做印度夏季降水量和等概率分五级的降水等级预报。所选用的预报因子是:

L: 4 月份 75°E500hPa 脊的纬度;

DPT: 澳大利亚达尔文 4 月减 1 月海平面气压;

NHT: 1、2 月北半球温度平均。

用 1939—1968 年资料建立统计方程, 对 1969—1980 和 1969—1989 年资料做两次独立样本检验。结果见表 2。

由表可见, 总的来看, 独立样本检验的预报效果是好的, 但八十年代该方程的预报效果较差, 不过, 1991 年和 1992 年的预报效果也是好的。

## 7 用最小绝对偏差法(LAD)建立回归方程做大西洋飓风活动预报

美国科罗拉多大学的 W. N. Gray 根据取绝对偏差最小(而不是常用的最小二乘法)的原则来确定预报因子权重以建立回归方程, 做大西洋热带风暴活动的长期预报。该预报每年做三次: 上年 12 月、本年 6 月初和风暴季节开始的 8 月初。预报对象包括热带风暴和飓风个数、影响日数、飓风强度等。选用的预报因子是:

(1) 500hPa 和 30hPa 风的 QBO 位相: 西风位相有利于增强大西洋风暴活动, 东风位相相反。

(2) ENSO, 以 NINO3 区的 SST 表示。ElNino 现象有利于抑制大西洋风暴活动, 反之, 赤道东太平洋海温偏低, 有利于促进大西洋风暴活动。

(3) 非洲降水。上年晚夏和秋季西撒哈拉和西非的几内亚湾区降水有利于增强大西洋

飓风活动,反之亦然。

(4)二、三月份西非地区地面气压和温度梯度大有利于增强飓风活动,反之亦然。

(5)四月或五月份加勒比海地区海平面气压距平和对流层上层(12km)纬向风距平为负值时有利于促进大西洋风暴活动。

利用 1950—1991 年资料,以绝对偏差最小为原则建立的预报方程,计算值与实际值的复相关系数在 0.7 到 0.85 之间。

## 8 用“最优”气候值做地面气温的季度预报

一般来说,在没有可靠的长期预报情况下,用户往往愿意用多年同期的气候平均值做为来年该要素的估计值。最常用的气候值是取过去 30 年的平均。但是,研究表明,30 年平均并不一定具有最好的代表性。美国气候中心的 J. Huang 和 H. Vanden Doule 对美国的每个气候区都进行统计,分别依次取前 1—30 年的平均做为来年的预测值,以预测值与实况最接近为标准,从统计上得出每年“最优”的平均年数,然后,取“最优”平均年数频率最高的年数作为计算该地区“最优”气候平均值应取的年数,并依此做下一年的预测值。1961—1992 年的统计表明,求“最优”气候值的平均年数大多在 15 年以下,且因地点和季节不同会有很大差别。图 9 给出做 1993 年 10—12 月平均温度预报时所用的计算“最优”气候平均值的年数、以“最优”气候平均值做为预测值与实况的相关系数(仅给出大于 0.4 的区域,数值放大 100 倍)和季平均温度距平的预测值(以标准化距平表示,放大 10 倍)。

## 9 以本站的温度和降水为因子,用多元回归做超前期为半个月的美国温度月预报

考虑到月降水量的大小在一定程度上能够反映土壤温度的状态,因而在用上月温度做下月温度预报的方程中若增加上月降水因子有可能改善预报效果。美国气候中心的 J. Huang 和 H. Van den Doule 利用 1931—1987

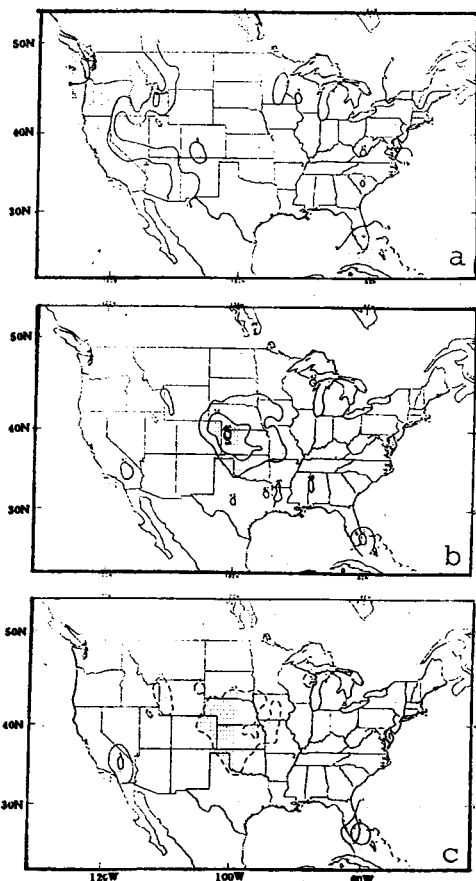


图 9 用“最优”气候值做 1993 年 10—12 月温度预报. a. 计算“最优”气候平均值所取年数的地理分布. b. “最优”气候平均值与下一年实测值的相关系数( $\geq 0.40$  的区域,放大 100 倍). c. 标准化温度距平预报(标准化距平 $\times 10$ )

年的资料统计表明,用上个月的平均温度与月降水量为因子建立回归方程所做的美国月平均温度预报,特别是夏季的内陆地区,其技巧水平明显高于单纯根据上月温度为因子所做的持续性预报,且区域平均的效果较单站计算的效果要好,这又从另一个角度印证了上述设想。为便于应用,实际上是建立超前期为半个月的多元回归方程,例如,用 5 月中到 6 月中这一个月平均温度与总降水量来做 7 月份的平均温度预报(图略)。

从美国国家气象中心改变了多年来只制

作月、季尺度天气展望的做法,着手准备开展更长时间尺度长期天气预报的情况来看,表明长期天气预报的可行性与效果已得到越来越多的承认,长期天气预报作为气象领域一个十分复杂和困难的学科已经并将继续获得巨大的发展。

在已发布的几期长超前期预测公报中,大多数预报方法仍然是统计的方法。表明至少在最近一段时期内,经验的、统计的方法可能仍将是长期天气预报的主要方法。该公报所用的统计方法中,除方法本身改进之外,均进行严格的分析和筛选因子以及进行较严格

的统计检验,以确定统计相关关系的稳定与可靠,在此基础上再建立预报模型和编制预报,这是值得我们学习和借鉴的。

动力学方法制做长期预报的试验研究近年来已取得很大进展,特别是海气耦合动力学模式方面。不过,无论是简化模式还是复杂模式,目前只在实时的 SST 预报方面取得明显进展,而距离用动力学方法制做环流和天气预报还有一段相当艰苦的路程,但毕竟已经跨出了重要的一步并已看到了光明前途的曙光。我们应当十分注意这方面的发展与动向。