

区域气候预报自忆模式的研究与计算

曹永忠¹, 封国林¹, 曹鸿兴²

(1. 扬州大学, 扬州 225009; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 从一个区域气候预报自忆模式出发, 运用 1951~1997 年江苏省月温度、降水和区域 500 hPa 高度场格点资料, 确定了自忆函数的具体形式, 研究了它的周期性, 试作了江苏省 1987~1997 年汛期降水和温度预报。

关键词: 气候预报; 自记忆; 模式

中图分类号: P456.7 **文献标识码:** A

江苏省地处长江下游, 年降水相对集中在汛期, 因此, 汛期降水的准确预报, 关系到全省防、减灾对策的制定。我国年度气候预报已在业务中制作多年, 但效果尚不稳定; 国际上年度预报刚刚起步, 年代预报还在基础阶段。区域气候预报的数值模式一般采用全球模式嵌套一个区域细网格模式^[1], 与 NWP 一样, 通过一步一步数值积分来进行, 或者在用全球模式作出预报后, 采用下插(downscaling)的方法来获得小范围的气候^[2]。我们曾从区域气候长期观测资料中提取预报信息的观点出发, 基于非绝热作用和水汽平衡, 导出了一个区域气候预报模式(SEM)^[3]。本文试用该模式确定自忆函数的具体形式, 作出江苏省 11 年汛期预报, 并与他人工作作了对比。

1 自忆模式方程组

制约模式变量地表气温 T_s 、500 hPa 高度 h 和降水 R 的方程分别为^[2]

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \sigma n_s / n^* + Q_s / c_p - F_1(T_s, T_a, R, n_s, t); \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = K \cdot h^2 + k_1(n_s - n) + k_0(Q_s - Q) - F_2(h, T_s, T_a, R, n, t); \quad (2)$$

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \frac{B_1}{f} \frac{\partial \bar{q}}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right) - \frac{B_1}{f} \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right) + \frac{B_2}{n^*} \frac{\partial h}{\partial t} - F_3(h, n, t). \quad (3)$$

式中 \bar{q} 表示距平, n_s 和 n 分别表示地面和高空云量距平, Q_s 和 Q 为地面和高空非绝热加热率, K 为 ADEM 大型湍流交换系数, k_1 、 k_0 、 B_1 和 B_2 为物理参数, n^* 为经验常数。

引进记忆函数 $\beta(r, t)$, $t = t_0, t_0 - 1, \dots, t_0 - p$, 这里 t_0 为初始时刻, $t_0 - p$ 为回溯阶时刻, p 为回溯阶。运用文献[4]中的数学原理, 将上述方程组转换为自记忆方程组, 预报变量用经验正交函数

(EOF) 展开, 经复杂推导最后求得地表气温、500hPa 高度和降水距平的预报方程组

$$T_t = \sum_{i=-p-1}^{-1} \alpha_{1i} T_i + \sum_{i=-p}^0 \theta_{1i} F_{1i}; \quad (4)$$

$$h_t = \sum_{i=-p-1}^{-1} \alpha_{2i} h_i + \sum_{i=-p}^0 \theta_{2i} F_{2i}; \quad (5)$$

$$R_t = \sum_{i=-p-1}^0 \alpha_{3i} Z_i + \sum_{i=1}^3 \theta_{3i} F_{3i}. \quad (6)$$

式中 α 和 θ 表示记忆系数, \sim 表示取中值, F 表示空间场和其他物理量对地点变量的影响, 式中右边第一项为自忆项, 由差分项离散而成; 第二项为他效项, 由积分项离散而成。

2 自记忆函数形式

取 (30~36 N, 116~122 E) 范围内, 1951~1997年汛期(6~8月) 降水和温度客观分析格点资料, 500hPa 高度取国家气候中心预报室格点资料, 内插形成 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 经纬度网格点资料共169点。由此构成了江苏省汛期降水、温度场的历史资料序列。基于这些场的历史演变所包含的信息, 记忆信息即自忆函数的具体形式如何引入和确定相当重要。在自记忆模式中, 考虑阶数 $p=9$ 的情况, 用最小二乘法按 SEM 模式程序根据资料确定自记忆系数 α 、 θ ; 其次根据 SEM 模式理论推导, 解出关于 α 、 θ 与 $\beta(t)$ 关联的代数方程组, 在此基础上拟合得到记忆函数的表达式。

$$\beta_R^r(i) = \sum_{j=1}^m (i-1)^m e^{a_j(1+b_j i)}. \quad (7)$$

$$i = -1, -2, \dots$$

其中, j 为迭代次数, m 一般取5, a_j 、 b_j 由拟合确定。我们直观地给出了 $\beta_r(i)$ 随 i 变化的曲线(图1)。可以看出, 对预报年产生影响的过去信息, 主要在过去10年中, 不是常用的指数衰减函数, 且有振荡, 准两年周期明显, 权重在-0.8到0.8之间, 有正、负馈影响; 而在10年后, 主要是正反馈。

通过谐振波分析, $\beta(t)$ 记忆函数中包含了准半年、准1年和准两年信息, 符合目前观测事实(表1)。各自记忆函数谐振波分析初步揭示了 SEM 模式有很高的预报能力的原因。

3 计算及讨论

预留1987~1997年资料作预报。根据1951~1986年资料用最小二乘法确定(4)、(5)和(6)中的记忆系数 α 和 θ 。采用有限记忆递推算算法向前作出预报, 即由1986年(t_0)起作1987年(t_1)预报, 将其视为实测场吞入历史样本集, 同时剔除1951年的资料, 即始终保持样本长度 $N=35$ (图2)。求记忆系数, 作1988年预报, 如此继续下去, 共作11年汛期预报。为了察看回溯阶数 p 对预报效果的影响, 曾计算了 $p=3, 4, \dots, 9$, 计算结果发现 p 取4、5、6的预报效果最好。 $p=5$ 时的预报结果见表2。表中

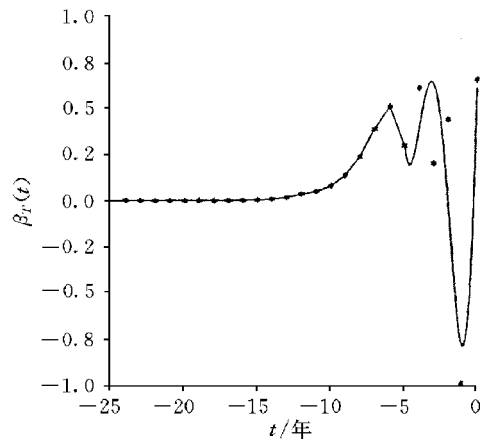


图1 $\beta_r(t)$ 随时间变化曲线

Fig. 1 $\beta_r(t)$ time series curves

给出了数值预报最常用的检验统计量: 均方根误差 $RMSE$ 、距平相关系数 AR 、距平同符号百分率 IP 以及绝对值相对误差覆盖率 γ 。 γ 定义如下。设

$$I_i = \frac{\hat{X}_i - X_i}{X_i} \times 100\%, \tag{8}$$

式中记 X_i 为格点观测值; \hat{X}_i 为格点预报值。若 I_c 为事先确定的相对误差允许水平, 则

$$\gamma = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} n_i \times 100\%, \quad n_i = \begin{cases} 1 & I_i \leq I_c \\ 0 & I_i > I_c \end{cases} \tag{9}$$

式中 N_s 为经纬度网格点数目, $N_s = 169$ 。

表1 自记忆函数 $\beta_T(t)$ 、 $\beta_h(t)$ 、 $\beta_R(t)$ 谐波分析

Table 1 Harmonic analysis of self-memory functions $\beta_T(t)$, $\beta_h(t)$, $\beta_R(t)$

周 期 年	$\beta_T(t)$	$\beta_h(t)$	$\beta_R(t)$
0.5000	288.2084	249.8677	-244.6841
0.6000	0.0652	0.0000	0.0000
0.7000	0.0000	0.0000	0.0000
0.8000	0.0000	0.0000	0.0000
0.9000	0.0000	0.0000	0.0000
1.0000	462.3393	499.6799	489.2717
1.5000	0.0045	0.0000	0.0000
2.0000	-293.8421	-0.1793	-0.1877
2.5000	0.0000	0.0000	0.0000
3.0000	0.0086	0.0000	0.0000
3.5000	0.0000	0.0000	0.0000

若将覆盖率绘在图上, 通过对不同年的对比, 会发现易报或难报的地点和地区。

预报评分 P 是由国家气象中心长期以来一直使用的评分方法修改而成, 在距平百分率符号预报准确的基础上加上异常级加权得分构成, 它表示在预报区域内预报总分, 用下式表示

$$P = \frac{N_0 + f_1 \times n_1 + f_2 \times n_2}{N + f_1 \times n_1 + f_2 \times n_2} \times 100\%。$$

式中, N_0 为距平符号预报对的以及虽预报和实况距平符号不同但都属正常级 (各级标准见表3) 的格点数; N 为参加评分范围内格点总数; f_1 、 n_1 和 f_2 、 n_2 分别为一级异常预报对和二级异常预报对的权重系数和格点数, 在实际计算过程中 $f_1 = 2, f_2 = 1^{[5]}$ 。

陈桂英等统计了我国1978~1995年历年4月发布的汛期(6~8月)降水距平百分率预报, $ARR = 0.03, ARR = 0.0, P_T = 64.77, P_R = 60.43^{[5]}$ 。本文计算结果表明(表2), 用自忆模式制作汛期区域气候预报是可行的。SEM 达到了较高的准确率, 而且是稳定的。

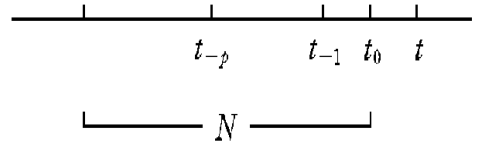


图2 回溯阶 p 和样本集 N 示意图

Fig. 2 Relation between retrospective p and samples N

表2 预报检验(回溯阶 $p=5$)
Table 2 Forecast test ($p=5$)

年份	温度场					高度场					降水场				
	RMSE	AR	IP	Y_T	P	RMSE	AR	IP	Y_h	P	RMSE	AR	IP	Y_R	P
1987	1.03	0.32	43	75	88	0.21	0.45	43	98	94	0.27	0.19	35	57	85
1988	0.48	0.56	42	80	81	0.53	0.38	57	97	93	0.48	0.43	56	84	79
1989	1.10	0.30	39	70	78	0.43	0.43	43	99	94	0.45	0.27	58	76	89
1990	1.00	0.65	62	86	90	0.32	0.53	69	99	89	0.45	0.28	37	53	70
1991	1.06	0.66	56	82	92	0.26	0.21	44	99	96	0.54	0.58	74	80	90
1992	1.33	0.21	56	89	83	0.41	0.39	56	99	97	0.46	0.28	44	59	75
1993	0.41	0.54	63	75	92	0.44	0.45	46	95	89	0.40	0.36	33	63	60
1994	2.09	0.15	40	70	76	0.33	0.46	43	78	84	0.46	0.21	52	68	69
1995	0.74	0.35	35	88	70	0.40	0.48	56	88	93	0.27	0.41	50	51	61
1996	0.80	0.43	46	75	77	0.51	0.56	75	99	98	0.49	0.38	42	54	73
1997	1.31	0.46	62	85	89	0.50	0.39	57	81	98	0.31	0.17	52	55	81
平均	0.96	0.40	51	81	83	0.41	0.41	54	88	94	0.42	0.34	50	63	76

(Y_T 5%, Y_h 3%; Y_R 20%)

表3 平均气温距平、降水距平百分率、高度场分级标准
Table 3 Categorizing standard of averaged temperature
departure and rainfall anomaly percentage

	正常数	二级异常	一级异常
平均气温距平()	$\Delta T < 0.5$	$\Delta T = 0.5$	$\Delta T = 1.0$
降水距平百分率(%)	$\Delta R = 15$	$\Delta R = 20$	$\Delta R = 50$
平均高度(dagpm)	$\Delta h = 0.3$	$\Delta h = 0.3$	$\Delta h = 1.0$

由于自忆模式不同于目前流行的气候模式,模式设计成功显示了一种新的气候预报途径。本文的观点认为,运用长时间区域气候观测序列,建立以动力-热力学方程为核心的自忆模式,能达到相同的目的,且其预报效果同样可达到与当前方法相当甚至更高的水平。本文结果表明,自忆模式有其独到之处,是一种切实可行的气候预报途径,在任何地区都可独立运用。

参 考 文 献

- [1] GIONGI F. Simulation of regional climate using a limited-area model nested in a general circulation model[J]. J Climate, 1990, 3(9): 941~963
- [2] STORCH V H, et al. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: an application toiberian rainfall in wintertim e[J]. J Climate, 1993, 6(6): 1161~1171
- [3] 曹鸿兴. 大气运动的自忆性方程[J]. 中国科学(B辑), 1993, 23(1): 104~112
- [4] 曹鸿兴. 封国林. 区域气候预报自忆模式[J]. 气象学报, 1999(待发表)
- [5] 陈桂英. 赵振国. 短期气候预报评估方法和业务初估[J]. 应用气象学报, 1998, 9(2): 178~185

STUDY AND APPLICATION OF REGIONAL CLIMATE FORECAST SELF-MEMORY MODEL

CAO Yong-zhong¹, FENG Guo-lin¹, CAO Hong-xing²

(1. Yangzhou University, Yangzhou 225009; 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Using the 1951 ~ 1997 monthly temperature, rainfall and 500 hPa height data, the self-memory functions $\beta(t)$ of the regional climate forecast self-memory model (SEM) are obtained and their periods are analyzed. 1987 ~ 1997 flood season (June ~ August) rainfall and temperature in Jiangsu province are forecasted, and compared with observed rainfall and temperature data.

Keywords: Climatic forecast; self-memory; model