

一种区域气候预测模式的构建^{*}

曹鸿兴

封国林

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

(兰州大学大气科学系, 兰州, 730000)

魏凤英

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘 要

基于从气候场长期演变提取预测信息的观点, 从热力学方程和水分平衡方程出发, 导出了描写地表气温、降水和高度的模式方程组, 着重考虑了非绝热加热作用和水汽运动形成降水。进一步构成一个预测区域气候的自忆模式, 它不同于当今普遍使用的数值嵌套模式。初步计算表明, 该模式具有较高的预测能力, 为短期区域气候预测提供了一个实际可行的途径。
关键词: 气候预测, 记忆, 区域气候, 自忆模式。

1 引 言

Saltzman^[1]导出了表示气候平均态的动力学方程组, 它是一个随机动力微分方程组, 构成了气候预测的理论框架, 但至今对该方程组的研究甚少。当今关于月、季乃至年度气候预测仍使用数值天气预报(NWP)方法, 即通过一次又一次对方程积分来获得瞬时预报值, 再对这些预报进行月、季、年的平均, 得到相应时段的气候预测。这种NWP方法由于逐日动力学可预报性在2至3周的限制, 即使500 hPa高度的月预报, 至今仍未达到可用预报水平^[2]。为了提高预报准确率, 集合预报被广泛使用, 作为集合预报方法之一的滞后平均预报(LAF)^[3], 它的理论基础是蒙特卡罗统计试验法, 即将数值模式的一次积分视为一次试验, 通过多次试验, 以试验结果的平均或加权平均来作为最终预报, 由此来减少由初始场随机误差引起的预报误差。显然这是一种动力加统计的方法。

目前, 区域气候预测作为一种基础性研究, 除了统计模式外, 采用全球数值模式嵌套有限区细网格模式, 与NWP一样, 通过一步又一步数值积分来进行。这种方法涉及气候系统各因子系统: 大气、海洋、陆面、冰雪圈和生物圈的物理、化学过程及其观测值, 不但模式结构复杂, 而且观测数据短缺, 再加上方法论本身的问题, 使得区域气候预测距离可用程度尚远。

^{*} 初稿时间: 1998 年 3 月 30 日; 修改稿时间: 1998 年 5 月 26 日。

资助课题: 国家自然科学基金(合同号 49475263)。

我们研究目标是区域气候的年度至年代的预测,预测时间之长使得用数值积分和集合预报来制作十分棘手。因此考虑从另一种研究途径着手。首先我们认为这样长时间的气候过程中热力作用占主导地位^[4]。因此考虑用非绝热加热率的热流量方程作为基本出发方程。其次,考虑到气候状态的统计特征,预报变量直接使用月、年平均值而不是瞬时值。再则,为了获得更多预测信息,采用包含多时次气候场的自忆性方程,在求记忆系数过程中将长时间观测资料中包含的有用信息提取出来,即从区域气候场序列中提取预测信息来替代从单一时次全球气候场中提取信息。总而言之,以“时间”信息替代“空间”信息。

本文首先推导关于地表气温、500 hPa 高度和降水的微分方程组,然后导出了用于预测的相应的自忆性方程组,最后给出了模式计算的初步结果。

2 模式方程组

将考虑在百叶箱高度上非绝热加热率的大气热力学方程,即

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla T_s - \sigma_p \omega = Q_s / c_p \quad (1)$$

式中 T_s 为地表气温, $\mathbf{V}$ 为水平风, ω 为垂直速度, c_p 为空气的定压比热, Q_s 为非绝热加热率。

$$\sigma_p = \frac{RT_s}{P_s g} (r_d - r)$$

式中 P_s 为地面气压, r_d 干绝热大气直减率, r 大气直减率, R 气体常数, g 重力加速度。

将物理变量分解为气候平均值和距平

$$A = \bar{A} + A' \quad (2)$$

$$\text{即} \quad T_s = \bar{T}_s + T'_s, \quad \mathbf{V} = \bar{\mathbf{V}} + \mathbf{V}', \quad Q_s = \bar{Q}_s + Q'_s, \quad \omega = \bar{\omega} + \omega' \quad (3)$$

设气候平均态满足

$$\frac{\partial \bar{T}_s}{\partial t} + \bar{\mathbf{V}} \cdot \nabla \bar{T}_s - \sigma_p \bar{\omega} = \bar{Q}_s / c_p \quad (4)$$

将式(3)代入式(1)并减去式(4),得距平方程

$$\frac{\partial T'_s}{\partial t} + \mathbf{V}' \cdot \nabla T'_s - \sigma_p \omega' = Q'_s / c_p \quad (5)$$

引进经验公式^[5,6]

$$\omega'_s = - \frac{n'_s}{n} \quad \omega' = - \frac{n^*}{n} \quad (6)$$

式中 n'_s 为地表云量距平, n^* 为经验常数, n 为高空云量距平。将式(6)代入式(5),得预报地表气温距平的方程

$$\frac{\partial T'_s}{\partial t} + \mathbf{V}' \cdot \nabla T'_s + \sigma_p n'_s / n^* = Q'_s / c_p \quad (7)$$

非绝热加热率距平

$$Q'_s = H' + S' - I' + LE' \quad (8)$$

式中 H' 为地表向大气的可感热通量距平, S' 为太阳辐射通量距平, I' 为向外长波辐射通量距平, LE' 为蒸发潜热距平, 参考文献[6], 分别将它们表示如下:

可感热通量 $H = \rho_{cp} c_D V_g (T_s - T_a)$, 取距平后得

$$H' = K_H (T_s' - T_a') \quad (9)$$

式中 T_s' 为地表气温距平, T_a' 为高层气温距平。

$$K_H = \rho_{cp} c_D V_g \quad (10)$$

式中 ρ 为空气密度, c_D 为拖曳系数, V_g 为地面风速大小。

$$S = S_0 [1 - \alpha_g (1 - n) - \alpha_n n - a_0 - a_1 n] \quad (11)$$

式中 α_g, α_n 分别为无云和有云的行星反照率, a_0 和 a_1 分别为气体和云对太阳辐射的吸收率。 S_0 为天文辐射, 取 North 的近似表达式

$$S_0 = \frac{I_0}{4} (1.241 - 0.723 \sin^2 \theta) \quad (12)$$

式中 I_0 为太阳常数, θ 为纬度, 设 $\alpha_g' = \alpha_s'$, 对式(11)取距平后得

$$S' = -a_s \alpha_s' - a_n n' \quad (13)$$

式中 α_s' 为地表反照率距平, $a_s = S_0(1 - \bar{n})$, $a_n = S_0(\alpha_n + a_1 - \alpha_g)$ 。

$$I = \epsilon \sigma T_s^4 - \epsilon \sigma T_a^4 n \quad (14)$$

式中 ϵ 和 ϵ_n 分别为地表和云的有效放射率, σ 为 Stefan-Boltzmann 常数。对式(14)取距平得

$$I' = b_1 T_s' - b_2 T_a' - b_3 n' \quad (15)$$

式中 $b_1 = 4\epsilon \sigma T_s^3$, $b_2 = 4\epsilon_n \sigma T_a^3 \bar{n}$, $b_3 = \epsilon_n \sigma T_a^4$ 。

蒸发潜热距平假定与降水距平 R' 呈线性关系

$$LE' = L(E_0' + a_E R') \quad (16)$$

式中 L 为 273 K 时的蒸发潜热, E_0' 和 a_E 用实测资料确定。式(16)的含义是, 蒸发距平依赖于降水距平, 这样通过式(8)中的非绝热加热率 Q_s , 降水变化将改变地表气温 T_s 。

根据边界层的物理特征, 热通量的水平输送相对于垂直输送为小量, 略去该量, 式(7)变为

$$\frac{\partial T_s'}{\partial t} = \sigma_p n' / n^* + Q' / c_p = F_1(T_s', T_a', R', n', t) \quad (17)$$

这是预报地表气温的微分方程。

同理, 在 500 hPa 上热力学方程, 经上述类似推导, 为消去风速变量采用 Adem 近似^[4]

$$V' \cdot \nabla T_a' = -K \cdot \nabla^2 T_a' \quad (18)$$

得

$$\frac{\partial T_a'}{\partial t} - K \cdot \nabla^2 T_a' - \sigma_p n' / n^* = Q' / c_p \quad (19)$$

式中 K 为大型湍流交换系数。设大气为多元大气, 直减率为 γ , 气温随高度 Z 线性下降

$$T_a = T_s - \gamma z \quad (20)$$

位势高度 $h = gz$, 运用式(2)并设气候态满足

$$T_a = T_s - \gamma \bar{z}$$

则求得

$$T_a' = T_s' - \gamma h' / g \quad (21)$$

将式(21)代入式(19)并减去式(7), 并采用 Adem 近似得

$$\frac{\partial h'}{\partial t} = K \cdot \nabla^2 h' + k_1(n_s' - n) + k_0(Q_s' - Q) \equiv F_2(h', T_s', T_a', R', n', t) \quad (22)$$

式中 h' 和 T'_a 分别为 500 hPa 高度和温度距平, n' 为高空云量距平, Q' 为高空非绝热加热率距平, $k_1 = -g\alpha_0/\gamma n^*$, $k_0 = g/\gamma_{cp}$, 式(22) 为预报 500 hPa 高度的微分方程。

式(22) 中的非绝热项 Q' 表示为

$$Q' = H' + S' - I' + LE' \quad (23)$$

感热通量距平

$$H' = K_m(T'_s - T'_a) \quad (24)$$

式中 $K_m = \rho_{cp} C_D V$, V 取对流层风速大小, 取 $S = S_0(a_0 + a_1 n)$, 则太阳辐射通量距平

$$S' = a_1 S_0 n' \quad (25)$$

长波辐射通量计算, 考虑晴空和有云的向外辐射以及平流层和云的反辐射, 可求得

$$I' = b_4 T'_a - b_5 T'_s - b_6 n' - b_7 T'_p \quad (26)$$

式中

$$b_4 = 4\sigma T_a^3[\epsilon_s(1 - \bar{n}) + (\epsilon_r + \epsilon)\bar{n}], \quad b_5 = 4\sigma T_s^3 \bar{n},$$

$$b_6 = \epsilon\sigma T_s^4 - (\epsilon + \epsilon_r - \epsilon_s)\sigma T_a^4, \quad b_7 = 4\xi\epsilon_p\sigma T_p^3$$

式中 ϵ , ϵ_r , ϵ_s 和 ϵ_p 分别为地面、云顶、晴空大气和平流层长波辐射系数, T_p 为平流层温度, ξ 为一经验系数。

同理 $LE' = L(E'_a + b_E R')$, 式中 E'_a 和 b_E 用实测资料确定。

若只考虑凝结使水汽减少, 大气水分平衡方程为

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla q + \omega \frac{\partial q}{\partial p} = \frac{dq_s}{dt} \quad (27)$$

式中 q 为比湿, q_s 为饱和比湿。假设凝结出来的水汽全部降落至地面, 设仅在满足 $\omega < 0$ 的时段 τ_0 内且满足 $q > q_s$ 的铅直方向 $p_l \leq p \leq p_h$ 范围内产生单位面积上的降水 P

$$P = \int_{\tau_0} \int_{p_l}^{p_h} -\frac{1}{g} \left(\frac{\partial q}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla q + \omega \frac{\partial q}{\partial p} \right) dp dt \quad (28)$$

式中 p_l 和 p_h 分别表示下界和上界。

通过简化, 进一步可得^[6]

$$R' = -B_1 \mathbf{V}' \cdot \nabla \bar{q} - B_2 \omega' \quad (29)$$

式中 $R' = (P - \bar{P})/\bar{P}$ 为降水距平百分率, $B_1 = \frac{p_h - p_l}{g} \bar{\omega} R$, $B_2 = B_1 \frac{\partial \bar{q}}{\partial p}$, $\bar{q}$ 为比湿的气候

平均值。对式(29) 求对时间的偏导数, 对 $\mathbf{V}'$ 采用地转近似, 并令 $\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \bar{q}}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} = 0$, 运用式(6) 求得

$$\frac{\partial R'}{\partial t} = \frac{B_1}{f} \frac{\partial \bar{q}}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h'}{\partial t} \right) - \frac{B_1}{f} \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial h'}{\partial t} \right) + \frac{B_2}{n^*} \frac{\partial n'}{\partial t} \equiv F_3(h', n', t) \quad (30)$$

这是预报降水的微分方程, 它通过高度和云量距平与式(17), (22) 联系起来。式中 f 为科氏参数。在气候预测问题中 $\frac{\partial n'}{\partial t}$ 为小量, 式(30) 中的第 3 项被略去。

在方程组中还包含云量 n , 进行参数化为^[7]

$$\begin{pmatrix} n_s' \\ n' \end{pmatrix} = a + b \begin{pmatrix} T_s' \\ T_a' \end{pmatrix} - c \begin{pmatrix} T_s' \\ T_a' \end{pmatrix} \quad (31)$$

式中 a , b , c 为常值, 可用实测资料来确定。

方程(17), (22) 和(30) 组成了预报区域气候的闭合方程组, 包含模式变量: 地面气温、

降水和 500 hPa 高度。方程组着重考虑了非绝热加热作用和水汽运动形成降水, 只简单考虑对流层中层高度变化, 即考虑了气候变化的动力因素。模式变量的改变将使非绝热加热作用发生变化, 反之后者又会反馈给气候系统, 使模式变量随时间改变。

3 自忆性方程

引进记忆函数 $\beta(r, t)$, 将模式微分方程组变换为自忆性方程组。为书写方便, 下面将 T' 记为 T , h' 记为 h , R' 记为 R 。记 $X = (T, h, R)^T$, 式(17), (22) 和(30) 可写为

$$\frac{\partial X}{\partial t} = F_i(X, \lambda, t) \quad i = 1, 2, 3 \quad (32)$$

式中 λ 为物理参数。

引用自忆性原理^[8], 导得向量形式的自忆性方程

$$\begin{aligned} \beta(r, t)X(t) - \beta(r, t-p)X(t-p) - \sum_{i=-p}^0 [\beta(r, t_{i+1}) - \beta(r, t_i)]X^m(t_i) + \\ \int_{-p}^t \beta(r, \tau)F(X, \lambda, \tau)d\tau = 0 \end{aligned} \quad (33)$$

式中 p 称为回溯阶, r 表示空间坐标, $X^m(t_i)$ 表示 X 在 $t_i < t < t_{i+1}$ 的中值。式(33) 是一个由微分方程组(32) 导得的差分-积分方程组。

将非绝热项代入式(17), 合并有关项得

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A_1 T + A_2 h + A_3 R + A_4 n' + A_5 n'_s + A_0 \equiv F_1 \quad (34)$$

式中 $A_1 = (b_2 - b_1)/c_p$, $A_2 = -r(b_2 - K_H)/c_p g$, $A_3 = aE/c_p$, $A_4 = (b_3 - a_n)/c_p$, $A_5 = \sigma_p/n^*$, $A_0 = (LE'_0 - a_s \alpha'_s)/c_p$, 对式(34) 两边乘记忆函数 $\beta_1(t)$, 这里省写空间变量 r , 由 $t-p$ 至 t 的定积分, t 为预报时次, 遵循文献[8] 中的推导法, 求得

$$\begin{aligned} T(t) = \frac{\beta_1(t-p)}{\beta_1(t)}T(t-p) + \frac{1}{\beta_1(t)}\sum_{i=-p}^{-1} [\beta_1(t_{i+1}) - \beta_1(t_i)]T^m(t_i) + \frac{1}{\beta_1(t)} \\ \int_{-p}^t \beta_1(t_i)[A_1 T(\tau) + A_2 h(\tau) + A_3 R(\tau) + A_4 n'(\tau) + A_5 n'_s(\tau) + A_0]d\tau \end{aligned} \quad (35)$$

设 $t, t_0, t-1, \dots, t-p$ 为等时距观测, 可令 $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \equiv 1$, 将式(35) 离散化, 记 $T(t_i) = T_i$, 积分改为求和, 由于前后两观测时次之间没有实测值, 中值用前后时次的平均值替代

$$T_i^m = \frac{1}{2}(T_i + T_{i+1}) \equiv \tilde{T}_i \quad (36)$$

为了得到统一的表达式, 将回溯初值 T_{-p} 纳入求和号中, 令 $T_{-p}^m \equiv T_{-p}$, $\beta_{-p-1} = 0$, 于是式(35) 变为

$$T_t = \sum_{i=-p-1}^{-1} \alpha_i \tilde{T}_i + \sum_{i=-p}^0 \theta_i F_{ti} \quad (37)$$

式中 $\alpha_i = (\beta_{i+1} - \beta_i)/\beta_i$, $\theta_i = \beta_i/\beta_i$, $F_{ti} = A_1 T_i + A_2 h_i + A_3 R_i + A_4 n'_i + A_5 n'_{si} + A_0$

同理, 将非绝热项 Q' 和 Q' 代入(22) 得

$$\frac{\partial h}{\partial t} = K \cdot \cdot^2 h + c_1 T + c_2 h + c_3 R + c_4 n' + c_5 n'_s + c_0 \quad (38)$$

式中 $c_1 = (b_2 + b_4 - b_1 - b_5)/c_p$, $c_2 = -k_0(b_2 - K_H + b_3 + b_4)$, $c_3 = L(a_E - b_E)/c_p$, $c_4 = (b_3 - a_n - a_{1s0} - b_6)/c_p - k_1$, $c_5 = k_1$, $c_0 = [L(E_b - E_d) - s_0 \alpha'_s - b_7 T_p]/c_p$

同理将式(38)变换成离散化自忆性方程

$$h_t = \sum_{i=-p-1}^{-1} \alpha_{2i} \tilde{h}_i + \sum_{i=-p}^0 \theta_{2i} F_{2i} \quad (39)$$

式中 $h_i^m \equiv \frac{1}{2}(h_i + h_{i+1}) \equiv \tilde{h}_i$, $\alpha_i = (\beta_{i+1} - \beta_{2i})/\beta_{2i}$, $\theta_{2i} = \beta_i/\beta_{2i}$,

$$F_{2i} = L_i + c_1 T_i + c_2 h_i + c_3 R_i + c_4 n'_i + c_5 n'_{si} + c_0$$

式中 $L_i \equiv K \cdot \cdot^2 h_{i0}$

同理, 令 $W_1 = \frac{B_1}{f} \frac{\partial \tilde{q}}{\partial x}$, $W_2 = -\frac{B_1}{f} \frac{\partial \tilde{q}}{\partial y}$, $W_3 = \frac{B_2}{n^*}$, 将式(30)变换成自忆性方程

$$R(t) = \sum_{i=-p-1}^{-1} \frac{\beta_3(t_{i+1}) - \beta_3(t_i)}{\beta_3(t)} \left[R^m(t_i) - W_1 \frac{\partial^m(t_i)}{\partial x} - W_2 \frac{\partial^m(t_i)}{\partial y} \right] + \\ W_1 \left[\frac{\partial h(t)}{\partial x} - \frac{\beta_3(t-p)}{\beta_3(t)} \frac{\partial h(t-p)}{\partial x} \right] + W_2 \left[\frac{\partial h(t)}{\partial y} - \frac{\beta_3(t-p)}{\beta_3(t)} \frac{\partial h(t-p)}{\partial y} \right] \quad (40)$$

令 $R_i^m = \frac{1}{2}(R_i + R_{i+1}) \equiv \tilde{R}_i$, $h_i^m = \frac{1}{2}(h_{i+1} + h_i) \equiv \tilde{h}_i$, $\alpha_{3i} = (\beta_{3i+1} - \beta_{3i})/\beta_{3i}$,

$\tilde{Z}_i = (\tilde{R}_i - W_1 \frac{\Delta \tilde{h}_i}{\Delta x} - W_2 \frac{\Delta \tilde{h}_i}{\Delta y})$, $F_{31} = W_1 \frac{\Delta h_t}{\Delta x} + W_2 \frac{\Delta h_t}{\Delta y}$, $\theta_{31} = 1$, $\theta_{32} = -\frac{W_1 \beta_{3-p}}{\beta_{3t}}$,

$\theta_{33} = -\frac{W_2 \beta_{3-p}}{\beta_{3t}}$, $F_{32} = \frac{\Delta h_{-p}}{\Delta x}$, $F_{33} = \frac{\Delta h_{-p}}{\Delta y}$

离散化自忆性方程为

$$R_t = \sum_{i=-p-1}^{-1} \alpha_{3i} \tilde{Z}_i + \sum_{i=1}^3 \theta_{3i} F_{3i} \quad (41)$$

由式(40)和式(41)可见, 预报降水的自忆性方程与预报地面气温和 500 hPa 高度的自忆性方程是很不相同的。

预报方程(37)、(39)和(41)中的 α_{ki} 和 θ_{ki} ($k = 1, 2, 3$) 称为记忆系数, 表示模式关于第 i ($i = 0, -1, \dots, -p$) 时次观测的记忆能力, 它是由记忆函数、给定参数组合而成。实际上也表示了第 i 时次观测 t 时次预报所作贡献大小, 其中 α_{ki} 表示局地贡献, θ_{ki} 表示场贡献。

4 计 算

详细计算方案和结果将另文发表, 这里仅给出简要结果。

方程(37)、(39)和(41)中的一阶和二阶空间差分采用三次样条函数计算格式, 预报变量用经验正交函数(EOF)展开。取 15~54 N 和 70~133 E 范围内 $3^\circ \times 3^\circ$ 的经纬度网格共 308 点, 1951~1992 年汛期(6~8 月)降水和温度取客观分析所得格点资料^[9]。500 hPa 6~8 月高度取自中央气象台原长期科北半球格点资料。凡在中国范围以内的格点(109 点)取实测值, 以外所有点均赋予该年 109 点平均值。比湿气候值 $\bar{q}$ 在气候图上读得, 公式中的许多物理参数和常数考虑中国实况予以给定。由于缺乏云量资料, 又因云量距平在 p 回溯年内有正有负, 假设在自忆预测方程(32)、(39)和(41)中求和时相互抵消, 即假设云

量距平之和近似为零。取 1951~1985 年资料, 用最小二乘法定出记忆系数 α_{ki} 和 θ_{ki} , $k = 1, 2, 3, i = -p, -p + 1, \cdots 0$ 。回溯阶取 $p = 5$, 采用有限记忆递推法向前作预报, 即由 1985 年起报, 作 1986 年预报, 将其视为实测场吞入资料集, 同时剔除 1951 年的资料, 再求记忆系数, 作 1987 年预报, 如此继续下去, 共作了 7 年预报。

实况与预报之间的距平相关系数给在表 1 中。可见, 年与年之间的预报准确性差别较大, 这是符合通常的预报规律的。为了给出一个直观概念, 给出了 1987 年(即第 2 年预报)季(6~8 月)降水实况与预报图, 可见两者符合得相当好(图 1)。

表 1 预报与实况距平相关系数

年 份	温度场	高度场	降水场
1986	0.14	0.06	0.17
1987	0.57	0.72	0.14
1988	0.23	0.27	0.49
1989	0.49	0.30	0.54
1990	0.73	0.30	0.59
1991	0.31	0.52	0.19
1992	0.53	0.67	0.66
平 均	0.43	0.43	0.40

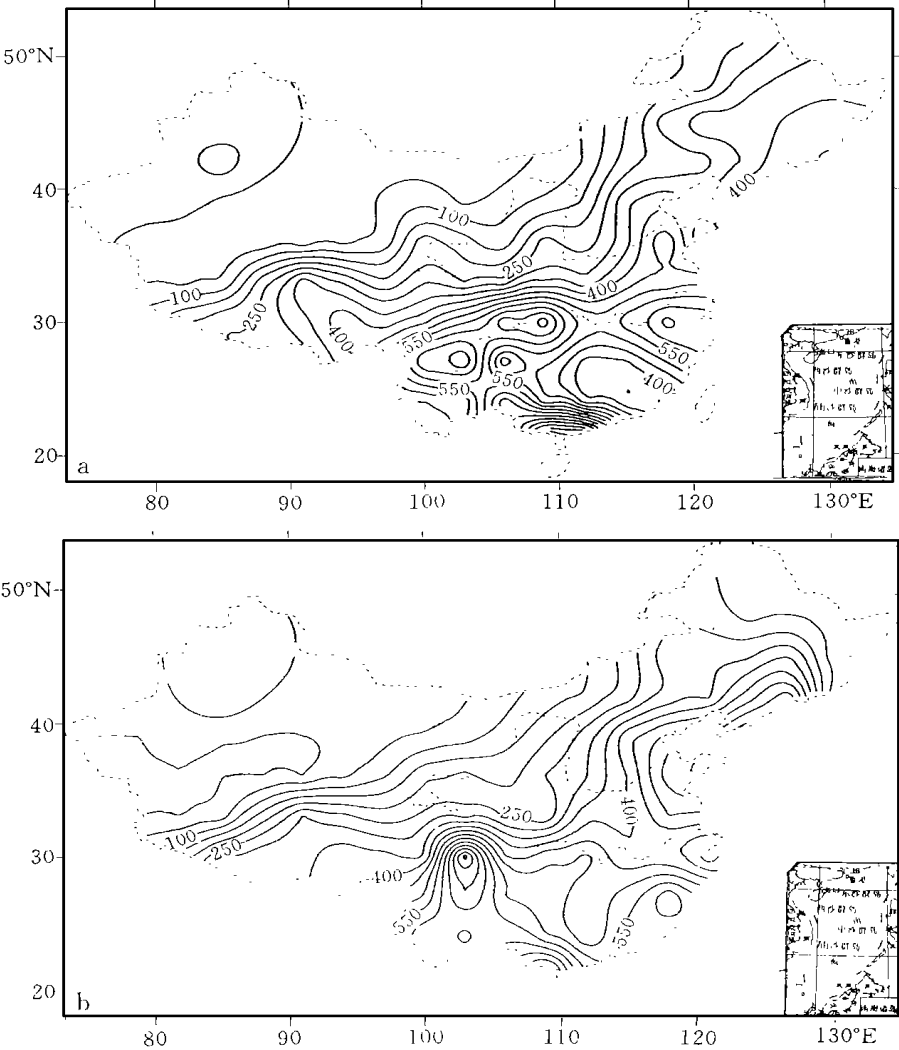


图 1 1987 年夏季(6~8 月)降水实况(a)与预报(b)(单位:mm)

7 年实况与预报值之间的距平相关系数平均值分别为, 地表气温 $AR_T = 0.43$, 500 hPa 高度 $AR_H = 0.43$, 降水 $AR_R = 0.40$, 超过了月预报的目前水平(由于国内外尚无报的这样长的场预报, 仅能与月的场预报相比较)。王绍武统计了国外 1980 年代至 1990 年代所作的 300 多个月预报数值试验, 500 hPa 月平均高度预报的距平相关系数 AR_H 在 $0.35 \sim 0.40$ 之间。陈桂英、赵振国对 1971 ~ 1995 年的全国汛期降水业务预报作检验, 平均 $AR_R = 0.03$, 有的年份最高达 0.45。这 25 年中 300 个月的月温度预报的 $AR_T = 0.03$ 。由于我们用自忆模式所作回报(hindcast)的时效最短为 12 月, 最长为 84 个月, 所达到的预报水平显然是很高的。

5 结 语

本文设计的区域气候预测模式与目前通行的数值模式(如 GCM 模式, 海气耦合模式, 气候系统模式)的基本思想是不同的, 它不要求全球资料, 不要求气候系统所有子系统的实时数据, 而是从区域气候的长时间观测序列中获取预报信息。从所做预报实例来看, 有一定预报效果, 表明这是一种区域气候预测的实际可行的新途径。作为探索性研究, 本文对所用热力-动力方程作了简化, 限于资料缺乏, 许多物理因素未加考虑, 尤其象模式方程组中的云量, 这在今后的工作中是必须加以考虑的。总之, 有理由认为自忆模式预测有一定的潜力。

参考文献

- 1 Saltzman B A. Survey of statistical-dynamical models of the terrestrial climate. *Adv in Geophys*, 1978, 20, 183–304
- 2 王绍武. 短期气候预测研究的历史及现状. 见: 王绍武主编. 气候预测研究. 北京: 气象出版社, 1996. 1~17
- 3 Hoffman R N, Kalnay E. Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus*, 1983, 35, 100–118
- 4 Adem J. On the theory of the general circulation of the atmosphere. *Tellus*, 1962, 14, 102–115
- 5 丑纪范. 长期数值天气预报. 北京: 气象出版社, 1986
- 6 汤懋苍, 钟强, 吴士杰. 一个长期降水预报的热力学模式. *气象学报*, 1982, 40(1): 49~58
- 7 曹鸿兴, 封国林, 王勤学等. 大气-海洋-海冰耦合低维模式及其在温室效应模拟中的应用. 见: 85-913-02 课题编委会编. 气候变化规律及其数值模拟研究论文: 第 2 集. 北京: 气象出版社, 1996. 218~227
- 8 曹鸿兴. 大气运动的自忆性方程. *中国科学(B 辑)*, 1993, 23(1): 104~112
- 9 魏凤英, 曹鸿兴. 我国月降水和气温网格点资料的处理和分析. *气象*, 1994, 20(10): 26~30

MODELING OF A REGIONAL CLIMATE PREDICTION

Cao Hongxing

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081*)

Feng Guolin

(*Department of Meteorological Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, 730000*)

Wei Fengying

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081*)

Abstract

In view of extracting prediction information from long-term evolution of climate fields, a model equations of describing variables: surface temperature, precipitation and 500 hPa height was formulated with emphasis on nonadiabatic heating and precipitation from moisture movement. Furthermore, a self-memorial model to forecast the regional climate, which differs from the nested model in general use. Preliminary computations indicate that the model demonstrate rather higher skill of predictions, it shows perspective of realizable approach to forecast short-term regional climate.

Key words: Climate prediction, Memory, Regional climate, Self-memorial model.