

中国西北干旱区年降水量非线性动力模式预测试验*

栗珂

(陕西省气象科学研究所, 西安, 710015)

摘要

利用中国西北干旱区16个代表站年降水量序列, 引入非线性动力模式对年降水量做了非独立样本和独立样本预测试验。对模式参数及非线性函数的选取做了一些改进和探讨。初步结果表明, 模式能较好地拟合降水量变化趋势和具有一定的预测能力。预测效果优于自回归模式。

关键词: 年降水量, 非线性, 动力模式, 预测试验。

1 引言

干旱是威胁中国西北经济特别是农业发展的首要气候灾害。随着社会经济的发展, 气候灾害造成的损失日趋严重。所以, 气候预测的重要性与日俱增。然而, 旱涝灾害特别是降水量的预测是大气科学领域中最为复杂、最为困难的课题之一^[1,2]。由于影响局地降水量的因子很多, 形成降水的机制又十分复杂, 它既受到大气内部动力的作用, 又受到大气下垫面热力异常的作用, 还受到气候系统外部物理因子的强迫作用。从时空分布上表现出强烈的非线性特征^[3]。目前国际上对旱涝尚不能有效地作出定量预测^[2]。

近年来, 随着非线性科学的发展, 用非线性动力模式模拟、预测降水量的试验研究正在蓬勃兴起^[4]。丁裕国等^[5]提出了具有门限的非线性随机动力模式, 拟合降水的变化趋势和降水量的预测; 朱育峰、严绍瑾等^[6]用重建动力系统的方法作月降水量预报试验; 严绍瑾等^[7]用非线性时滞方程作降水量拟合预测研究。这些预测试验均显示出较好的预测效果。本文借鉴了上述研究工作的成功经验, 引入文献^[7]的预测模式, 对中国西北干旱区年降水量做了预测研究。

2 预测模式

把年降水量序列 $\{R(t)\}$ 视为一非线性动力系

统。设 $R_j(t)$ 为 n 维相空间的状态变量, 由大气的自忆性可知^[8], 系统 t 时刻的状态变化, 不仅与 t 时刻的状态有关, 而且还与系统的过去状态有关^[9]。于是有微分方程

$$\frac{d}{dt}R_j(t) = F[R_i(t), R_i(t-\tau)] \quad j, i = 1, 2 \dots n \quad (1)$$

式中, $R_i(t)$ 为 t 时刻状态, $R_i(t-\tau)$ 为过去状态, τ 为延滞时间。式(1)为一有记忆的方程, 符合气候预测思想。

将序列 $\{R(t)\}$ 用 τ 进行飘移, 构成相型

$$\begin{cases} A(t) = R(t) \\ B(t) = R(t-\tau) \\ C(t) = R(t-2\tau) \\ D(t) = R(t-3\tau) \end{cases} \quad (2)$$

根据式(1), 使 $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ 和 $D(t)$ 分别满足下列非线性四维时滞微分方程^[7]

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}A(t) = -A(t) + af[b_1C(t-\tau)] - \\ \quad af[b_2B(t-\tau)] + \\ \quad af[b_3D(t-\tau)] \\ \frac{d}{dt}B(t) = -B(t) + af[b_4A(t-\tau)] - \\ \quad af[b_5C(t-\tau)] + \\ \quad af[b_6D(t-\tau)] \end{cases} \quad (3)$$

* 初稿时间: 2000年5月20日, 修改稿时间: 2000年9月10日。
资助课题: 中国气象科学技术研究课题项目(96-908-05-03)。

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}C(t) = -C(t) + a_7f[b_7A(t-\tau)] - \\ \quad a_8f[b_8B(t-\tau)] + \\ \quad a_9f[b_9D(t-\tau)] \\ \frac{d}{dt}D(t) = -D(t) + a_{10}f[b_{10}A(t-\tau)] - \\ \quad a_{11}f[b_{11}B(t-\tau)] + \\ \quad a_{12}f[b_{12}C(t-\tau)] \end{cases} \quad (3)$$

其中, $f(x)$ 为一已知的非线性函数, a_i 和 b_i 是待定系数。

用二阶 Runge-Kutta 公式求解常微分方程组 (3), 得^[10]

$$\begin{cases} A_1 = -A(t) + a_1f[b_1C(t-\tau)] - \\ \quad a_2f[b_2B(t-\tau)] + \\ \quad a_3f[b_3D(t-\tau)] \\ B_1 = -B(t) + a_4f[b_4A(t-\tau)] - \\ \quad a_5f[b_5C(t-\tau)] + a_6f[b_6D(t-\tau)] \\ C_1 = -C(t) + a_7f[b_7A(t-\tau)] - \\ \quad a_8f[b_8B(t-\tau)] + a_9f[b_9D(t-\tau)] \\ D_1 = -D(t) + a_{10}f[b_{10}A(t-\tau)] - \\ \quad a_{11}f[b_{11}B(t-\tau)] + \\ \quad a_{12}f[b_{12}C(t-\tau)] \end{cases} \quad (4)$$

取积分时间步长为 h , 则

$$\begin{cases} A_2 = -[A(t) + hA_1] + a_1f[b_1C(t-\tau+h)] - \\ \quad a_2f[b_2B(t-\tau+h)] + \\ \quad a_3f[b_3D(t-\tau+h)] \\ B_2 = -[B(t) + hB_1] + a_4f[b_4A(t-\tau+h)] - \\ \quad a_5f[b_5C(t-\tau+h)] + \\ \quad a_6f[b_6D(t-\tau+h)] \\ C_2 = -[C(t) + hC_1] + a_7f[b_7A(t-\tau+h)] - \\ \quad a_8f[b_8B(t-\tau+h)] + \\ \quad a_9f[b_9D(t-\tau+h)] \\ D_2 = -[D(t) + hD_1] + a_{10}f[b_{10}A(t-\tau+h)] - \\ \quad a_{11}f[b_{11}B(t-\tau+h)] + \\ \quad a_{12}f[b_{12}C(t-\tau+h)] \end{cases} \quad (5)$$

从而可得

$$\begin{cases} A(t+h) = A(t) + h(A_1 + A_2)/2 \\ B(t+h) = B(t) + h(B_1 + B_2)/2 \\ C(t+h) = C(t) + h(C_1 + C_2)/2 \\ D(t+h) = D(t) + h(D_1 + D_2)/2 \end{cases} \quad (6)$$

取

$$\tau = mh, \quad t = sh$$

其中 m 和 s 为时间积分系数。

令

$$A_n = A(sh)$$

$$B_n = B(sh)$$

$$C_n = C(sh)$$

$$D_n = D(sh)$$

将式(4)和(5)代入式(6), 得

$$\begin{cases} A(n+1) = (1-h + \frac{h^2}{2})A_n + \frac{a_1}{2}[(1-h) \cdot \\ \quad f(b_1C_{n-m}) + f(b_1C_{n-m+1})]h - \\ \quad \frac{a_2}{2}[(1-h)f(b_2B_{n-m}) + \\ \quad f(b_2B_{n-m+1})]h + \frac{a_3}{2}[(1-h) \cdot \\ \quad f(b_3D_{n-m}) + f(b_3D_{n-m+1})]h \\ B(n+1) = (1-h + \frac{h^2}{2})B_n + \frac{a_4}{2}[(1-h) \cdot \\ \quad f(b_4A_{n-m}) + f(b_4A_{n-m+1})]h - \\ \quad \frac{a_5}{2}[(1-h)f(b_5C_{n-m}) + \\ \quad f(b_5C_{n-m+1})]h + \frac{a_6}{2}[(1-h) \cdot \\ \quad f(b_6D_{n-m}) + f(b_6D_{n-m+1})]h \\ C(n+1) = (1-h + \frac{h^2}{2})C_n + \frac{a_7}{2}[(1-h) \cdot \\ \quad f(b_7A_{n-m}) + f(b_7A_{n-m+1})]h - \\ \quad \frac{a_8}{2}[(1-h)f(b_8B_{n-m}) + \\ \quad f(b_8B_{n-m+1})]h + \frac{a_9}{2}[(1-h) \cdot \\ \quad f(b_9D_{n-m}) + f(b_9D_{n-m+1})]h \\ D(n+1) = (1-h + \frac{h^2}{2})D_n + \frac{a_{10}}{2}[(1-h) \cdot \\ \quad f(b_{10}A_{n-m}) + f(b_{10}A_{n-m+1})]h - \\ \quad \frac{a_{11}}{2}[(1-h)f(b_{11}C_{n-m}) + \\ \quad f(b_{11}C_{n-m+1})]h + \frac{a_{12}}{2}[(1-h) \cdot \\ \quad f(b_{12}B_{n-m}) + f(b_{12}B_{n-m+1})]h \end{cases} \quad (7)$$

由于降水系统在相空间里的演化行为是以指数

形式辐散或收敛的^[11]，所以较好的模式应该非线性形式的。在式(7)中，取函数 $f(x)$ 为指数形式，以反映系统的非线性性质。选取适当的 b_i ，得到 x_i 的值，使得 $f(x)$ 落在非线性值域内。再根据式(7)分别建立方程组，用 Gauss 消去法解得 a_i ，这样使问题大为化简。

选取不同的参数 τ, m, h 和 a_i 代入方程(7)，即得到不同参数下的预测方程。

3 资料和参数的选取

3.1 资料的选取

在中国西北(陕、甘、宁、青、新)干旱区，选取榆林、延安、西安、银川、同心、天水、兰州、酒泉、西宁、刚察、格尔木、玉树、哈密、乌鲁木齐、喀什及和田 16 个代表站，采用(1960~1990 年)年降水量序列，样本数 $N=31$ ，作为预测试验的资料样本。显然，样本数不够多。由于受资料条件的限制，难以提供足够的样本，所以预测试验只能利用现有的资料进行。

3.2 非线性函数 $f(x)$ 的选取

对式(7)中非线性函数 $f(x)$ 的不同类型对预测误差的影响，做了试验和比较。

参加试验的指数函数有 3 类：

- (1) $f(x) = a \exp(\frac{b}{x}) \quad (a > 0, b > 0)$
- (2) $f(x) = a \exp(-\frac{b}{x}) \quad (a > 0, b > 0)$
- (3) $f(x) = a \exp(bx) \quad (a > 0, b > 0)$

以西安站为例，选取适当的系数 $a=5, b=1; b_1=b_4=b_7=b_{10}=0.0025, b_2=b_5=b_8=b_{11}=0.0045, b_3=b_6=b_9=b_{12}=0.0065$ 。参数选取 $\tau=5, m=10, h=0.5$ ，代入式(7)做预测试验，拟合样本数 $N=20$ 。结果表明，(2)类函数拟合误差较小，且稳定性较好；(1)类和(3)类拟合误差较大，且稳定性差。因而在西安站的预测试验中，以(2)类函数为预测模式中的非

线性函数。由上述的系数 b_i 得 $x_i \in (0.3, 12)$ ，使得 $f(x)$ 为非线性，它的图像见图 1。

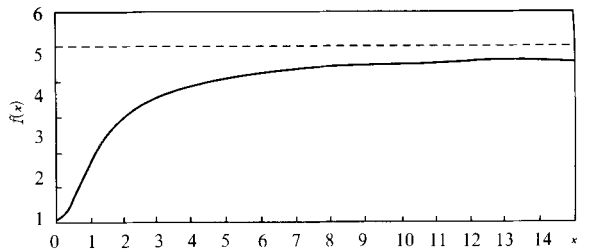


图 1 函数 $f(x) = a \exp(-\frac{b}{x})$ 的图像

($a=5, b=1, x \in (0.3, 12), f(x)$ 为非线性)

3.3 参数 τ, m, h 的选取

τ 是开拓相空间的时滞步长，它是预测模式中的重要参数。它对预测误差影响较大。试验中采取求序列自相关系数 R_k 的方法来确定 τ 。自相关系数^[12]

$$R_k = \left[2 \sum (R_{i-k} - \bar{R}_k)(R_i - R_0) \right] \cdot \left[\sum (R_{i-k} - \bar{R}_k)^2 + \sum (R_i - R_0)^2 \right]^{-1} \quad (8)$$

式中 $\bar{R}_0 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n R_i; \bar{R}_k = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} R_i$
 k 为自相关系数的阶数。当样本数 $N=31$ 时，一般取 $k=1, 2 \dots 6$ ，将用式(8)算得的 R_k 与信度 α 的临界值 $|R_k|_{2\alpha}$ 进行比较，若 $R_k \geq |R_k|_{2\alpha}$ ，则自相关关系显著。故可选取 $\tau=k$ 进行预测试验。当 τ 选定后， $m = \tau/h$ ，积分步长 h 一般取 $0.5 \sim 1.0$ 。

4 非独立样本预测试验

4.1 系数 a_i 的确定

以西安站为例，将系数 b_i 代入式(7)，选取不同的参数 τ, m, h ，用最小二乘法求得系数 a_i ，见表 1。

用表 1 中的 3 种方案对西安年降水量序列作非独立样本预测试验。将拟合预测值与实测值进行比较，其中方案 2 的拟合误差最小。所以，方案 2 作为

表 1 模式参数的选取与系数 a_i 的计算结果

方案	参 数			a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
	τ	m	h	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1	4	8	0.5	504.4824	-502.4214	-594.1265	-521.4192	-74.5075	321.6701
2	5	10	0.5	704.9052	-361.2744	-605.4036	147.7741	815.1908	776.4353
3	6	12	0.5	711.6741	3485.2579	2763.5429	-304.2637	-304.5554	-1.9525
				245.6716	-187.5985	-192.6580	-204.0751	404.9083	616.0356
				-235.2571	-162.0840	133.2295	492.5472	10.7072	-242.1473
				522.3667	268.9671	37.4703	-58.1625	492.0127	621.1948

西安站的最佳预测方案。同理,通过试验可以确定出其它代表站的最佳参数 τ 及最佳预测方案。

4.2 预测效果的评价参数

用趋势预测准确率 η 来度量预测效果^[13]。

$$\eta = [(N_1 + N_2) / N] \cdot 100\% \quad (9)$$

其中, N_1 为预测值与实测值距平同号的次数(站数); N_2 为预测值与实测值距平符号不同,但相对误差绝对值 $\leq 15\%$ 的次数(站数); N 为预测试验的总数(站数)。

用中国气象局国家气象中心制定的相对误差分级预报评估方法^[14],进行预测准确率评估

$$P = [(N_1 + N_2 + N_3 + N_4) / (N + N_3 + N_4)] \cdot 100\% \quad (10)$$

其中, N_1 为预测值与实测值距平同号的次数(站数); N_2 为距平符号不同,但相对误差绝对值 $< 20\%$ 的次数(站数); N_3 为距平同号,而相对误差绝对值在 20%

$\sim 49\%$ 的次数(站数); N_4 为距平同号,而相对误差绝对值 $\geq 50\%$ 的次数(站数); N 为预测试验的总次数。

用误差缩减值 E_R 来检验预报误差^[15]

$$E_R = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2}{\sum_{i=1}^n R_i^2} \quad (11)$$

其中, R_i , \bar{R}_i 分别表示年降水量的预测值和实测值。 E_R 值是较精确地检验预测模式误差且具有有效的诊断能力的一种统计量。它对预测值中较小的误差也是敏感的。显然, E_R 值愈接近 1, 表示预测误差愈小。

4.3 非独立样本预测效果检验

对西北干旱区 16 个代表站 1971~1990 年 ($N=20$) 的年降水量进行拟合预测试验。表 2 列出了每个代表站,一定参数下的预测效果评价参数 η , P 和 E_R 的值。

从表 2 可以看出,趋势拟合预测准确率 η 为 $71.4\% \sim 86.6\%$, 平均值为 78.1% ; 预报准确率评估 P 为 $78.9\% \sim 90.9\%$, 平均值为 84.6% ; 预测误差缩

表 2 代表站年降水量非独立样本预测效果检验

站名	参 数			$\eta(\%)$	$P(\%)$	E_R	$V_R(\%)$
	τ	m	h				
1 榆 林	6	6	1.0	79.1	86.2	0.9281	21.4
2 延 安	2	4	0.5	71.4	82.3	0.9466	17.0
3 西 安	5	10	0.5	80.0	90.4	0.9464	14.5
4 银 川	4	8	0.5	86.6	88.8	0.9519	30.1
5 同 心	4	8	0.5	71.4	80.0	0.8929	24.9
6 天 水	3	6	0.5	73.3	88.2	0.9691	18.6
7 兰 州	4	8	0.5	85.0	90.9	0.9525	20.3
8 酒 泉	6	6	1.0	75.0	81.2	0.9598	31.9
9 西 宁	6	6	1.0	80.0	82.3	0.9543	17.1
10 刚 察	5	10	0.5	85.0	85.7	0.9680	12.2
11 格 尔 木	6	6	1.0	75.0	80.0	0.8961	33.8
12 玉 树	2	4	0.5	78.5	80.0	0.9688	11.9
13 哈 密	2	4	0.5	71.4	78.9	0.8420	37.2
14 乌 鲁 木 齐	4	8	0.5	86.3	89.6	0.9133	23.0
15 和 田	3	6	0.5	73.3	86.3	0.8673	46.1
16 喀 什	6	6	1.0	77.7	83.3	0.8813	37.5

注: η , P 和 E_R 的平均值分别为 78.1% , 84.6% , 0.9274 。

减值 E_R 为 $0.8813 \sim 0.9691$, 平均值为 0.9274 。总体看,对降水变率较大的西北干旱区来说,拟合预测效果是比较好的。从参数 τ 的选取来看, $\tau=4, 5, 6$ 预测效果较好。

图 2 给出了西安、银川、兰州和乌鲁木齐 4 个代表站拟合预测值与实测值的比较情况。可以看出,除了个别年份预报误差较大外,大多数年份预测值与实

测值比较吻合,变化趋势是一致的。

表 2 最后一列给出了代表站用近 30 a 资料算得的降水变率 ($V_R = \frac{1}{n} \sum_i |R_i - \bar{R}| / \bar{R}$), 用来分析局地降水变化对降水量预测效果的影响。可以看出,格尔木以西 $V_R > 30\%$ 的地方, η 值较低,为 $71.4\% \sim 77.7\%$, 预测误差较大, E_R 为 $0.8420 \sim 0.8961$ 。

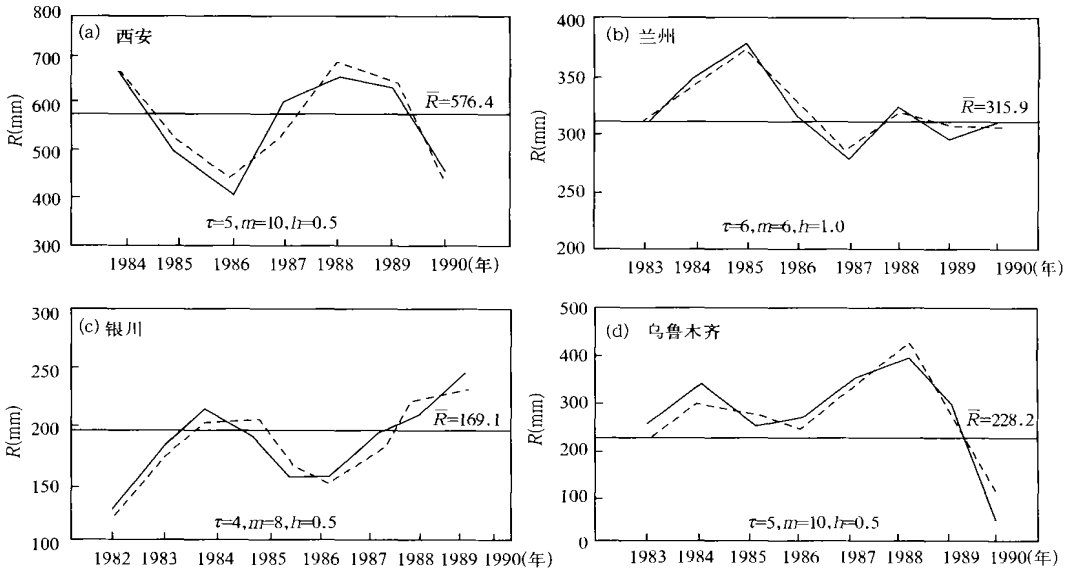


图 2 4 个代表站年降水量非独立样本预测值与实测值的比较
(a. 西安, b. 兰州, c. 银川, d. 乌鲁木齐; --预测值; —实测值)

5 独立样本预测试验

对 16 个代表站, 在计算系数 a_i 时用 1960~

1989 年 ($N = 30$) 的资料, 预留 1990 年资料作独立样本预测试验。模式参数的选取和预测效果检验与拟合预测相同。独立预测效果检验见表 3。

表 3 代表站 1990 年年降水量独立样本预测效果检验

	站名	参数			预测值	实测值	平均值
		τ	m	h			
1	榆林	6	6	1.0	366.9	380.8	400.5
2	延安	2	4	0.5	481.8	557.7	559.2
3	西安	5	10	0.5	308.9	458.5	576.4
4	银川	4	8	0.5	216.0	253.3	196.1
5	同心	4	8	0.5	263.2	386.7	275.5
6	天水	3	6	0.5	507.0	598.8	533.1
7	兰州	4	8	0.5	301.8	316.4	315.9
8	酒泉	6	6	1.0	62.0	88.5	86.8
9	西宁	6	6	1.0	350.3	333.1	366.2
10	刚察	5	10	0.5	409.5	260.1	378.8
11	格尔木	6	6	1.0	34.6	17.5	41.5
12	玉树	2	4	0.5	531.2	484.8	491.2
13	哈密	2	4	0.5	16.3	3.3	33.3
14	乌鲁木齐	4	8	0.5	275.4	28.7	228.2
15	和田	3	6	0.5	21.4	2.6	33.7
16	喀什	6	6	1.0	38.2	6.3	61.3

注: τ , P 和 E_R 的平均值分别为 75.0%, 80.9%, 0.9195。

从表 3 的预测效果来看, 总体 τ 为 75.0%, P 为 80.9%, E_R 为 0.9195。总体效果是比较好的。与拟合预测相比, 效果略有下降, 但还是比较稳定的。但个别站预测值的误差较大, 还有预报失误的站点。

由于局地降水的物理成因和受自然环境影响是十分复杂的。特别是在西北干旱区自东南向西北随

着降水变率的增大, 降水年际间稳定性要比非干旱区小得多, 因而降水量的可预报性随之减小。况且 1990 年西北区是一个干旱年份, 西部格尔木、哈密、乌鲁木齐、和田、喀什等站为大旱年份。年降水量出现了近 30 a 的极小值。其中, 哈密、和田、喀什年降水量仅 2.6~6.3 mm, 增加了预测的难度。

随机选取西北干旱区 8 个代表站, 用本文模式和自回归模式对 1990 的降水量进行独立样本预测。将两种预测结果进行比较(表 4)。可以看出, 文中

模式预测效果明显优于自回归模式。这可能与文中模式考虑了降水系统的非线性特征, 而自回归模式为线性模式有关。

表 4 非线性动力模式与自回归模式预测效果的比较

	榆林	银川	兰州	酒泉	格尔木	玉树	哈密	和田
动力模式	366.9	216.0	301.8	77.4	34.6	500.1	16.3	21.4
AR 模式	356.9	205.5	292.2	99.8	41.5	527.2	36.9	29.2
实测值	380.8	253.3	316.4	88.5	17.5	484.8	3.3	2.6
平均值	400.5	196.1	315.9	86.8	41.5	491.2	33.3	33.7

研究表明, 气候预测的任何一种模式不是对所有地区、所有时间尺度都能给出有效的预测信息^[16], 根本的出路在于对一定的地区和季节气候趋势进行针对性的研究^①, 才能提高气候预测水平。

6 结论与讨论

(1) 将年降水量序列作为一非线性动力系统。利用时间滞后延拓相空间的方法, 建立非线性动力预测模式, 为一有记忆的微分方程, 符合气候预测的思想。

(2) 预测方程中的非线性函数 $f(x)$, 对预测误差有明显的影响。经试验比较, 选取

$$f(x) = a \exp\left(-\frac{b}{x}\right) \quad (a > 0, b > 0)$$

参考文献

- 1 国家科技委. 中国科学技术兰皮书, 第 5 号, 气候. 北京: 科学技术文献出版社, 1999. 155~ 158
- 2 黄荣辉, 周家斌, 陈烈庭等. 综合旱涝季度预报方法及对 1991~ 1995 年夏季季度与超季度预测试验. 气候与环境研究, 1997, 2(1): 1~ 15
- 3 丑纪范, 刘式达, 刘适式. 非线性动力学. 北京: 气象出版社, 1994. 141~ 177
- 4 郭秉荣, 江剑民, 丑纪范等. 气候系统的非线性特征及其预测理论. 北京: 气象出版社, 1996. 254pp
- 5 施晓晖, 丁裕国, 屠其璞. 中国东部降水年际变化的随机动力诊断. 南京气象学院学报, 1999, 22(3): 346~ 351
- 6 朱育峰, 严绍瑾. 重建动力系统方法制作月降水量的试验. 气象科学, 1997, 17(1): 63~ 67
- 7 严绍瑾, 李中华, 郭光. 非线性时滞方程预测月降水量. 南京气象学院学报, 1997, 20(1): 91~ 97
- 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 龚建东, 丑纪范. 论过去资料在数值天气预报中使用的理论和方法. 高原气象, 1999, 18(3): 392~ 399
- 10 E 卡姆克. 常微分方程手册. 北京: 气象出版社, 1987. 181~ 183
- 11 林振山. 长期预报的相空间理论和模式. 北京: 气象出版社, 1993. 41~ 43
- 12 徐钟济, 魏公毅, 宋良玉等. 地震发生时间的概率预报. 地球物理学报, 1974, 17(1): 51~ 71
- 13 周家斌, 黄嘉佑. 旱涝预测方法的现状. 见: 叶笃正, 黄荣辉主编. 旱涝气候研究进展. 北京: 气象出版社, 1990. 134~ 142
- 14 章基嘉, 陈兴芳. The operational seasonal forecasting of summer rainfall in China. Adv Atmos Sci, 1987, 4: 349~ 362
- 15 吴祥定等. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990. 222~ 227
- 16 时冈达志. 对长期预报的挑战. 气象科技, 1996, 2: 15~ 21

① Flohn H. Research aspects of Long-range forecasting, WMO Technical Notes. No. 66, (1964)

预测效果和稳定性优于其它形式的指数函数。

(3) 参数 τ, m, h 的选取对预测效果影响较大, 用计算序列 k 阶自相关系数的方法确定 τ , 是行之有效的。当 $N = 31$ 时, $\tau = 4, 5, 6$ 预测效果较好。

(4) 从西北干旱区年降水量的非独立样本和独立样本预测试验的初步结果来看, 模式能较好地拟合降水量的变化趋势和具有一定的预测能力。预测效果优于自回归模式。

(5) 试验表明, 在干旱区一般随着降水变率的增大, 预测效果随之降低。所以, 对局地降水量预测必须进行专门化研究。在模式参数的选取, 非线性函数类型的确定, 完善预测模式, 使之更适合地域特点, 有待于进一步深入研究。

**PREDICTION TEST OF NONLINEAR DYNAMIC MODEL FOR
YEARLY PRECIPITATION IN THE NORTHWEST
RAID AREA OF CHINA**

Li Ke

(Shaanxi Meteorological Research Institute, Xi'an, 710015)

Abstract

Based on the yearly precipitation series of typical 16 stations in the northwest arid area of China, nonlinear dynamic model is introduced to test prediction for dependent and independent samples, and the selection of the model parameters and nonlinear functions is discussed. The preliminary results show that the model can better fit the trend of precipitation variation and has certain ability to forecast, whose prediction effect is better than auto-regression model.

Key words: Annual precipitation, Nonlinear, Dynamic mode, Forecast and test.