

秦 灏. 随机模拟模型在丘陵山区雨水集蓄优化方面的应用[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 388-391.

随机模拟模型在丘陵山区雨水集蓄优化方面的应用

秦 灏

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏苏州 215128)

摘要:根据水文现象的随机性特点,在对已有降雨资料进行分析的基础上,建立了反映水文现象主要变化特性的季节性AR(1)模型。利用模型随机模拟75%来水频率下多个降雨过程,在此基础上计算不同降雨量、不同水稻和旱作物面积种植比下的新沂市丘陵山区雨水最优集蓄容积,并与典型年实测降雨量下推算出的雨水最优集蓄容积进行对比。结果表明:模拟出的降雨系列具有一定的代表性、实用性,随机模拟模型可以成功应用于雨水集蓄优化研究。

关键词:随机模拟;雨水最优集蓄容积;丘陵山区

中图分类号: S273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)08-0388-03

随着水资源的日益短缺和用水矛盾的不断加剧,雨水利用逐渐引起了人们的重视。特别是在缺水的丘陵山区,雨水集蓄利用工程相对于大中型水利工程而言具有体积小、选址灵活、建设周期短、工程维护成本低、后期投入小、管理方便等优势,已成为缓解当地水资源短缺的有效措施。目前,国内外对雨水集蓄利用研究的深度及广度都有大幅度的提高。2003年,仇锦先提出,江苏省新沂市淮北丘陵山区的最优灌溉保证率为75%,相应的每公顷灌溉面积雨水最优集蓄容积为 13.37 m^3 ^[1]。影响水文现象的因素众多,根据水文现象的随机性特征,可建立反映水文现象的随机水文模型,利用模型模拟大量的水文序列,并统计水文参数,从而预测降雨等水文现象,满足水利工程规划、设计、运行、管理等研究的需要。如果能够建立适用于丘陵山区的随机模拟模型,通过模型模拟大量的降雨序列,推算出不同降雨序列下每公顷灌溉面积的雨水最优集蓄容积,与典型年降雨过程下推算出的雨水最优集蓄容积相比无疑具有更好的代表性。本研究利用模型模拟75%来水频率下的多个降雨过程,计算不同降雨、不同水稻和旱作物面积种植比下的新沂市丘陵山区雨水最优集蓄容积,并与典型年实测降雨下推算出的雨水最优集蓄容积进行对比,旨在为雨水集蓄优化研究提供依据。

1 降雨随机模型研究进展

目前,线性模型理论发展较快,应用广泛,方法较成熟,时间序列模型也常被用于降水量变化的预测中。1993年,邓育仁等利用随机模拟方法研究间断降雨序列有雨、无雨的交替规律^[2]。1997年,王博等结合山东省枣庄市区的气象条件、农作物种植状况,采用自回归模型、分解模型相结合的随机模型,模拟多站年降雨系列,提出了多站降雨系列及多片灌溉用水系列联合随机生成技术^[3]。一般来说,以年作为抽样间隔时间的离散系列是正态分布的;由于受季节的影响,以月、旬或者更短时段为抽样时段间隔的离散系列一般是非正态分布的。2003年,孔朝莉等采用时间序列分析方法,对辽宁省沈

阳地区月平均降雨量的动态数据进行了建模与预测,模拟了该地区月平均降雨量的动态模型ARIMA,并获得了不错的精度^[4]。1997年,翟国静等应用模糊数学方法,通过具有“大体无后效性”特点的模糊马尔柯夫过程描述了年降雨过程,提出了马尔柯夫状态转移在模糊状态处理情况下的计算方法,并用该方法成功预报了年降雨过程,从而发展了马尔柯夫链理论,拓宽了其应用范围^[5]。

2 设计典型年降雨过程随机模拟模型

2.1 月降雨量的统计特性分析

受气候因素影响,不同月份降雨量的统计特性也不相同,存在着明显的季节性差异。可将年降雨过程看作是年份、月份的二维函数,对于实测序列 $\{x(i, j)\}$,每月有1列降雨量,可用矩法求出这些纵向月降雨量序列的统计参数,各统计参数公式如下:

均值:

$$ex(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(i, j); \quad (1)$$

标准差:

$$s(j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [x(i, j) - ex(j)]^2}{n-1}}; \quad (2)$$

偏差系数:

$$cv(j) = \frac{s(j)}{ex(j)}; \quad (3)$$

偏态系数:

$$cs(j) = \frac{\sum_{i=1}^n [x(i, j) - ex(j)]^3}{(n-3)s(j)^3}; \quad (4)$$

第k阶自相关系数:

$$r(k, j) = \frac{\sum_{i=1}^n [x(i, j) - ex(j)][x(i, j-k) - ex(j-k)]}{(n-1)s(j)s(j-k)}. \quad (5)$$

式中: $x(i, j)$ 代表第*i*年*j*月的降雨量($i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, 12$); $r(k, j)$ 代表第*j*月与第*j-k*月的自相关系数,由于月份是12进制数,当*j-k*<0时,*j-k*可由*j-k+12*代替,同时*i*相应地由*i-1*代替。

根据以上公式,分别对新沂市丘陵山区新安雨量站1975

收稿日期:2014-03-20

作者简介:秦 灏(1980—),男,江苏扬州人,硕士,工程师,从事农业水利工程研究。E-mail:alexzyqinhao@126.com。

年12个月的实测序列各统计参数进行计算,结果见表1。从表1可以看出,新安站各个月份雨量的均值、标准差、偏差系数、偏态系数等统计参数均不一致,说明月降雨过程非平稳;各月偏态系数为正值,因此月降雨量的分布是正偏态的;5—9月降雨量均值占全年降雨量的74.7%,比例较大;月降雨序列的一阶自相关系数的绝对值较大,说明年降雨过程具有一定的相依性。

表1 1975年江苏省新沂市丘陵山区新安雨量站实况降雨序列统计参数

月份	参数				
	$ex(j)$	$s(j)$	$cv(j)$	$cs(j)$	$r(1,j)$
1月	18.99	17.02	1.01	1.33	0.003
2月	23.93	18.43	0.78	0.53	0.408
3月	33.26	22.97	0.74	1.16	-0.125
4月	54.07	40.05	0.72	0.95	0.009
5月	72.23	45.86	0.80	1.14	-0.025
6月	98.26	75.97	0.77	1.21	-0.336
7月	254.21	108.51	0.48	0.59	-0.138
8月	153.62	95.80	0.57	1.08	0.115
9月	78.63	63.42	0.79	1.09	-0.165
10月	40.71	35.67	0.86	1.34	-0.016
11月	33.29	30.97	1.02	1.31	0.055
12月	18.25	15.28	1.03	1.28	-0.115

采用数学期望公式计算经验频率,计算公式如下:

$$p = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (6)$$

式中: p 代表 $\geq x_m$ 的经验频率; m 代表 x_m 的序号,即 $\geq x_m$ 的项数; n 代表样本总量,即观测资料的总项数。

对新沂市新安雨量站的各月降雨量序列进行排频计算,并绘制各月降雨量频率曲线,与皮尔逊Ⅲ型(简称P-Ⅲ型)频率曲线进行比较,可以看出拟合得较好,可推断新安站月降雨量近似服从P-Ⅲ型分布。综合以上分析,新安站月降雨序列近似服从于P-Ⅲ型分布,且为非平稳偏态相依的随机过程,从而为模型的建立提供了理论基础。

2.2 模型类型

独立序列中自相关系数置信水平为95%的容许限线计算公式为:

$$r_k(\alpha=5\%) = [1 \pm 1.96(n-k-1)^{1/2}] / (n-k) \quad (7)$$

式中: n 代表资料序列长度(年); k 代表自相关系数滞时,取 $k=1,2,\dots,7$; $r_k(\alpha=5\%)$ 代表容许限线。

通过以上计算判定月降雨序列的一阶自相关系数均不为零,由于自相关系数随时滞的增加衰减得很快,可考虑用季节性P阶自回归模型[以下简称季节性AR(P)模型]模拟降雨序列。该模型结构简单、应用方便,在水文领域应用广泛,效果很好。采用该模型对降雨序列进行模拟,可用精度较高的矩法来估计参数。

2.3 模型形式的识别

所谓模型形式的识别就是确定AR(P)模型的阶数。受样本长度的限制,应选用参数较少的模型,因此选用多变量的季节性AR(1)模型,模型公式为:

$$x_{i,j} = u_j + \rho_{1,j} \frac{\sigma_j}{\sigma_{j-1}} (x_{i,j-1} - u_{j-1}) + \varepsilon_{ij} \quad (8)$$

式中: $x_{i,j}$ 分别代表第*i*年第*j*月的降雨量; u_j, σ_j 代表第*j*月多年降雨量的平均值、标准差; $\rho_{1,j}$ 代表第*j*月降雨序列变换后的一阶自相关系数; ε_{ij} 代表与第*j*月对应的 $x_{i,j}$ 独立随机项。

各参数的物理意义分别为: x_{ij} 变量由确定性成分 u_j 、相依成分 $\rho_{1,j} \frac{\sigma_j}{\sigma_{j-1}} (x_{i,j-1} - u_{j-1})$ 、独立随机成分 ε_{ij} 3种成分叠加而成。其中确定性成分由实测资料估计,相依成分为固定相依程度的变量,由序列 x_{ij} 内部传递而得,独立随机成分是独立随机的。

2.4 模型的参数估计

AR(1)模型中主要基本参数为均值 u_j 、一阶自相关回归系数 $\rho_{1,j}$ 、标准差 σ_j ,采用矩法估计参数。

$$\bar{u}_j = \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}; \quad (9)$$

$$\bar{\sigma}_j = s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}}; \quad (10)$$

$$\bar{\rho}_{1,j} = r_{1,j} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{i,j-1} - \bar{x}_{j-1})}{(n-1)s_j s_{j-1}}; \quad (11)$$

$$\bar{\sigma}_{\varepsilon,j} = s_j \sqrt{-r_{1,j}^2} \quad (12)$$

经计算,各月一阶自相关系数的绝对值都在(0,1)之内,满足AR(1)模型的平稳性条件。

2.5 降雨序列的随机模拟

由月降雨量的统计特性可知,月降雨序列近似服从于P-Ⅲ型分布的降雨过程,随机模拟模型结构可采用塞门氏-费营模型,计算公式如下。

$$x_{i,j} = x_j + r_{1,j} \frac{s_j}{s_{j-1}} (x_{i,j-1} - \bar{x}_{j-1}) + s_j \sqrt{1 - r_{1,j}^2} \phi_{i,j} \quad (13)$$

式中: $\phi_{i,j}$ 为标准P-Ⅲ型纯随机变量,服从均值为0、方差为1、偏态系数为 $cs\phi_j$ 的P-Ⅲ型分布,随机模拟主要过程如下:

2.5.1 伪随机数 $u_{i,j}$ 的模拟 采用乘同余法得到真正在[0,1]区间上均匀分布、独立的 u_i 。

2.5.2 分布纯随机序列 ξ_i 的模拟 由 u_i 经公式 $\xi_i = \sqrt{-2 \ln u_i} \sin(2\pi u_{i+1})$,得到 $\xi_i \sim N[0,1]$ 。

2.5.3 标准化P-Ⅲ型纯随机变量 ϕ_j 的模拟 由实测序列的偏态系数 $cs(j)$ 及公式(7),可推得P-Ⅲ型随机变量的偏态系数为:

$$cs\phi(j) = [cs(j) - cs(j-1)r_{1,j}^3] / (1 - r_{1,j}^2)^{1.5} \quad (14)$$

为保持较高的精度,根据 $cs\phi(j)$ 值的不同采用相应的方法模拟序列 ϕ_j ,模拟步骤如下:

(1)当 $cs\phi(j) < 0.0005$ 时,用 $\xi_{i,j}$ 代替;

(2)当 $0.0005 \leq cs\phi(j) < 0.49999$ 时,由 $\xi_{i,j}$ 经W-H变换:

$$\phi_{i,j} = \frac{2}{cs\phi(j)} \left(1 + \frac{cs\phi(j)\xi_{i,j}}{6} - \frac{cs\phi^2(j)}{36} \right)^3 - \frac{2}{cs\phi(j)}; \quad (15)$$

(3)当 $cs\phi(j) \geq 0.49999$ 时,用舍选法求 $\phi_{i,j}$:

$$\phi_{i,j} = \frac{-2}{cs\phi(j)} + \frac{1}{\beta} \left(-\sum_{k=1}^{\alpha'} \ln u_k - B_i \ln u_i \right), \quad (16)$$

$$\beta = \frac{2}{cs\phi(j)}, \alpha = \frac{4}{cs\phi^2(j)}, B_i = u_1^{1/r} (u_1^{1/r} + u_2^{1/s}) \quad (17)$$

式中: α' 为小于或等于 α 的最大整数, u_1, u_2 为1对均匀伪随机数, $r = \alpha - \alpha', s = 1 - r$;当公式(12)中的分母等于或小于1

时,可采用 B_i ; 若不满足该条件,则舍去 u_1, u_2 , 重新取 1 对 u_3, u_4 计算,直到满足这一条件为止。

根据以上公式,可依次模拟出 $u_{i,j}$ 序列、 $\xi_{i,j}$ 序列、 $\phi_{i,j}$ 序列。假定 $x_{1,0} = \bar{x}_{12}$, 将模拟出的序列依次代入公式(8)中,即可得到月降雨序列 $\{x_{i,j}\}$ 。由于模拟序列反映了月降雨量序列不同的情况,在模拟过程中可能会出现 $x_{i,j} < 0$ 这种不符合水文实际的现象,可取 $x_{i,j} = 0$ 来处理。这种情况出现的概率很小,并不影响序列的统计特性。此外,根据以往的计算经验,由于水文现象具有随机性,若模拟出的降雨序列不够长,统计参数会出现上下波动现象,与实测降雨量的统计参数会有较大偏差。且模拟序列长度越长,统计参数越接近于实测序列。因此在确定模拟序列长度时,可根据模拟和实测统计参数之间的误差精度要求来确定。

2.6 模型实用性检验

根据已有的实测降雨序列,模拟新沂市丘陵山区大量的降雨序列,并计算其统计参数,与新安雨量站实测序列进行对比,检验选定的模型模拟出的数据是否真实反映水文序列的统计特性。新沂市位于江苏省北部边缘,属江苏省淮北干旱缺水地区,全市丘陵山区以沭河为界,分为东部山区、西南山区,是典型的淮北丘陵山区。由于受缺水的影响,目前该地区主要种植小麦、玉米、山芋等旱作物,局部水源充足的地区种

植少量水稻,雨水积蓄利用是农业灌溉用水的主要措施。本研究对新沂市新安雨量站各月降雨序列的频率进行了分析,推算出月降雨量序列近似服从 P-III 型分布,由此建立季节性 AR(1) 模型,随机模拟出 3 组长度为 10 000 年的降雨序列。按照数学期望公式分别计算经验频率,选定 75% 来水频率下典型年降雨系列(表 2、表 3)。

表 2 新沂市丘陵山区 75% 来水频率下降雨过程

月份	实测值 (mm)	模拟值(mm)		
		降雨 1	降雨 2	降雨 3
10	28.0	36.7	21.8	13.3
11	19.6	22.1	21.5	25.0
12	15.4	27.8	11.8	20.3
1	37.4	36.3	20.3	50.6
2	12.7	27.4	82.4	29.3
3	49.5	39.5	33.4	47.1
4	14.3	12.1	29.9	16.3
5	101.1	83.8	109.9	101.9
6	16.5	11.2	13.9	8.7
7	163.5	159.2	146.7	176.6
8	258.2	222.3	211.5	220.2
9	43.9	55.6	47.0	31.0
合计	760.1	734.0	750.1	740.3

表 3 新沂市丘陵山区月降雨序列统计参数估算表

月份	$ex(j)$ (mm)		$cx(j)$ (mm)		$cs(j)$ (mm)		$rs(1,j)$ (mm)	
	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值
1	18.99	17.89	1.01	0.92	1.33	1.48	0.003	0.002
2	23.93	24.56	0.78	0.74	0.53	0.80	0.408	0.412
3	33.26	34.25	0.74	0.73	1.16	1.20	-0.125	-0.123
4	54.07	55.76	0.72	0.75	0.95	1.08	0.009	0.008
5	72.23	71.26	0.80	0.77	1.14	1.23	-0.025	-0.027
6	98.26	96.58	0.77	0.73	1.21	1.30	-0.336	-0.335
7	254.21	248.32	0.48	0.45	0.59	0.56	-0.138	-0.140
8	153.62	155.32	0.57	0.53	1.08	1.15	0.115	0.117
9	78.63	78.54	0.79	0.75	1.09	1.13	-0.165	-0.174
10	40.71	42.56	0.86	0.83	1.34	1.50	-0.016	-0.018
11	33.29	32.53	1.02	0.99	1.31	1.54	0.055	0.056
12	18.25	17.82	1.03	0.95	1.28	1.36	-0.115	-0.112

将表 2 中模拟结果与实测结果进行对比表明,模拟出的 3 组降雨系列的年降雨总量及过程与实测降雨基本一致,模拟序列、实测序列的主要统计参数没有显著差别,模型模拟出的模拟序列基本能反映雨量站月降雨量的统计特性,模拟出的降雨系列具有一定的代表性,符合新沂市丘陵山区 75% 来水频率下年降雨的实际情况,说明在研究降雨量随机变化特性时,可采用随机水文学方法。

3 丘陵山区雨水最优集蓄容积校核

根据模拟出的 3 组降雨过程,推求不同降雨过程下新沂市丘陵山区 1 hm^2 灌溉面积雨水最优集蓄容积,计算结果见表 4。

由表 4 可知,新沂市丘陵山区在 75% 灌溉保证率条件下,当水稻、旱作物种植面积比分别为 1:9、2:8、3:7 时, 1 hm^2 灌溉面积最优集蓄容积分别为 12.41、12.91、13.36 m^3 ,与降雨资料为典型年推算出的 13.37 m^3 最优集

表 4 不同水旱比下 1 hm^2 灌溉面积雨水最优集蓄容积

序号	水旱比	集蓄容积(m^3)			
		降雨 1	降雨 2	降雨 3	最优
1	1:9	12.21	12.41	12.24	12.41
2	2:8	12.85	12.91	12.87	12.91
3	3:7	13.24	13.36	13.28	13.36

蓄容积基本一致,取两者最大值为修正后的蓄水容积,即新沂市淮北丘陵山区在 75% 灌溉保证率下的每公顷灌溉面积最优集蓄容积为 13.37 m^3 。

4 结论

本研究对新沂市丘陵山区年降雨、月降雨统计特性进行分析,以计算机数值模拟为基础,建立了适用于该地区月降雨量的季节性 AR(1) 模型,并模拟出长系列的降雨过程,计算其统计参数。采用来水频率为 75% 的 3 组降雨序列,进行江苏省新沂市丘陵山区雨水最优集蓄容积校核,结果表明,随机

张洪洲,王 阳,白建国,等. 基于单片机的棉籽分级控制系统设计[J]. 江苏农业科学,2014,42(8):391-392.

基于单片机的棉籽分级控制系统设计

张洪洲,王 阳,白建国,张凤旗,张亚江,赵志远

(塔里木大学机械电气化工程学院,新疆阿拉尔 843300)

摘要:针对当前南疆地区棉籽清选分级效果不佳的问题,设计了一种以单片机为核心芯片的棉籽分级控制系统,实现了对脱绒棉籽的外观颜色信息的自动检测和自动优选。用颜色传感器检测待优选棉籽的颜色数据,送入单片机,单片机将信号进行相应的归一化处理,判断该棉籽是否达到优选标准,并作出相应的决策,同时在显示屏上显示优选的数据信息,结果表明,该系统对棉籽的优选效果良好。

关键词:单片机;棉籽;分级;系统设计

中图分类号: S126;S226.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)08-0391-02

棉籽是棉花业生产过程中最基本的生产资料之一^[1-2],新疆生产建设兵团是我国最大的优质商品棉和唯一的长绒棉生产基地。因此,棉籽的质量问题不容忽视。在南疆地区,由于自然环境和农业管理条件等因素的影响,棉籽的质量存在很大差异。传统的棉籽分级优选主要是根据物理和机械原理,利用棉籽的比重特性、空气特性进行清选分级^[3-4]。由于劣质棉籽和优质棉籽的空气特性和比重特性比较接近,传统的优选分级方法不能完全地将劣质棉籽清除,极大地影响了优选效果,进而影响棉籽的发芽率,影响棉花的产量,不利于棉花种植业的发展。针对这些问题,本研究设计了以单片机和 RGB 颜色传感器为核心的棉籽分级控制系统,能够实现棉籽颜色信息的实时采集,通过单片机对采集来的棉籽颜色信息进行归一化处理,通过设定棉籽等级参量的上下限阈值、单片机控制气流强度开关,使棉籽等级区分开,并且在显示屏上动态显示棉籽的优选数据信息。

1 棉籽分级控制系统分析

1.1 存在的问题

国内外许多研究人员对农产品清选分级类的设备进行了较深入的研究,但关于以自动控制为基础的棉籽分级设备方面的研究相对较少,这就面临一些尚需解决的控制技术问题:

(1)棉籽颜色信息的检测与采集。由于采集现场环境复杂,如实验室、加工厂温湿度变化较大,光线强度、迎光与背光采集,以及南疆地区地处沙漠空气悬浮物较多等因素,使采集的数据信息与实际信息有较大的偏差。(2)控制系统硬件要求结构精简、性价比高,如 RGB 传感器的选择、单片机型号的选择及其抗干扰性较强。目前市场上能达到实用性强、实时性操作要求的设备性价比低,致使棉籽分级设备的发展受到了一定的阻碍。(3)棉籽分级设备的自动控制、控制系统要保证对棉籽分级的稳定性、快速性和高效性。

针对以上问题,本研究找出适合整个控制系统的芯片和器件等,并对棉籽分级设备控制部分进行了优化设计。通过试验调试改进,验证了整个棉籽分级控制系统设计的有效性和合理性。

1.2 控制系统设计方案

棉籽分级控制系统工作原理:由喂料口将待分级的棉籽滑落至运转的传送带上,RGB 颜色传感器检测位于传感器正下方传送带上的棉籽的颜色数据信息,并把检测来的信号经过变送器作放大滤波等处理,送入单片机处理,单片机对数据进行归一化处理后,作出相应决策,若棉籽的颜色信息未达到理想的优选下限阈值,则判定其为劣质棉籽,控制芯片要发出指令,控制与传送带处于同一平面且成直角的高压气流使设备产生强气流,将该棉籽从传送带上吹入劣种箱内;若采集来的棉籽颜色信息达到了理想的下限阈值,控制芯片作出决策使该棉籽在传送带上平稳送到优质棉籽箱内,同时单片机将该棉籽的颜色信息送入显示屏实时显示,棉籽的颜色信息阈值可由键盘输入设定。

棉籽分级控制系统结合了模拟电子技术、数字电路、电工基础、检测技术、信号处理以及单片机等理论和技术。设计的

收稿日期:2013-10-23

基金项目:国家自然科学基金(编号:11242012);塔里木大学校长基金硕士项目(编号:TDZKSSZD201304)。

作者简介:张洪洲(1982—),男,吉林长春人,硕士,讲师,主要从事检测与控制技术、农业自动化与信息化方面的研究。E-mail:309011160@qq.com。

模型模拟出的降雨系列具有一定的代表性、实用性,随机模拟模型可以成功应用于雨水集蓄优化研究。

参考文献:

- [1]仇锦先. 江苏省淮北丘陵山区雨水集蓄利用灌溉最优化研究[D]. 扬州:扬州大学,2003.
- [2]邓育仁,丁 晶. 间断雨量序列随机模拟的研究——暴雨洪河流域

系统随机模拟研究之四[J]. 成都科技大学学报,1994(5):7-11.

- [3]王 博,沈佩君. 降雨和农业灌溉用水系列联合生成随机模型及应用[J]. 武汉水利电力大学学报,1997,6(3):48-51.
- [4]孔朝莉,刘 双,杨启昌. 沈阳地区月平均降雨量的 ARIMA 时序建模与预测[J]. 鞍山师范学院学报,2003,5(6):32-34.
- [5]翟国静,张子贤. 模糊马尔柯夫过程在年降雨过程预测中的应用[J]. 水电能源科学,1997,12(4):23-28.