

# 建筑能耗分析用逐时降雨 模型(2):月降水量随机模拟<sup>\*</sup>

华南理工大学 亚热带建筑教育部重点实验室 孟庆林<sup>☆</sup>

东莞市建筑技术咨询有限公司 王志刚

华南理工大学 亚热带建筑教育部重点实验室 赵立华

**摘要** 在计算与分析广州地区 33 年实测月降水量序列统计参数的基础上,将月降水量序列进行对数变换,采用一阶 AR(P)模型建立了月降水量随机模拟模型。通过与实测结果的比较检验了该模型的适用性。

**关键词** 月降水量 随机模拟 AR(P)模型 对数变换

## Hourly rainfall model for building energy simulation (2): stochastic simulation of monthly rainfall

By Meng Qinglin<sup>★</sup>, Wang Zhigang and Zhao Lihua

**Abstract** On the basis of calculation and analysis of statistical parameters of measured monthly rainfall sequences of thirty-three years in Guangzhou area, performs logarithmic transformation of the monthly rainfall sequences, and develops a stochastic simulation model of monthly rainfall by the first order AR(P) model. Validates the model through the comparison with measured data.

**Keywords** monthly rainfall, stochastic simulation, AR(P) model, logarithmic transformation

★ South China University of Technology, Guangzhou, China

①

我国大部分地区由于受季风的影响,全年降水量呈现一定的周期性变化,春、夏季偏多,秋、冬季较少。一年中月降水量存在周期性变化,不同月份之间月降水量存在较大的变化,所以月降水量相对年降水量是一个非平稳序列。

### 1 月降水量统计分析

由于一年中气候因素差异较大,导致不同季节降水量统计特性有明显差别,即在一年内不同月份降水量呈现不同的统计特性。对多年实测月降水量序列  $X_{i,j}$  ( $i$  表示年份,  $j$  表示月份),每个序列有多个数据,可求出每月降水量

序列的统计参数。笔者对广州地区 33 年实测月降水量序列的统计参数分别作了计算,结果见表 1。

从表 1 可知,每个月的统计参数是各不相同的,月降雨过程相对年而言是非平稳的。4~9 月份月降水量均值普遍较大,占全年降水量的 80%,其他月份较小。33 年各月降水量序列的偏度均为正值,呈正偏特性。年初与

①<sup>☆</sup> 孟庆林,男,1963 年 10 月生,博士,教授,博士生导师  
510640 广州五山路华南理工大学建筑学院建筑节能与  
DeST 研究中心

(020) 87111668

E-mail: mengqinglin@163.net

收稿日期:2006-04-29

修回日期:2007-03-07

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金重点项目(编号:50538040),粤港关键领域重点突破项目(编号:2004A30310001)

表 1 广州地区月降水量统计参数

月份	样本数	均值/mm	标准差/mm	偏度	峰度	最小值/mm	最大值/mm
1	33	41.60	41.67	2.151	5.966	0	199.5
2	33	66.07	78.72	2.013	3.853	0	327.0
3	33	84.60	59.06	1.864	5.687	3.4	311.6
4	33	194.09	95.77	0.492	0.386	33.9	418.7
5	33	285.38	148.62	1.834	4.122	108.1	797.1
6	33	282.81	114.69	0.892	0.379	114.6	601.0
7	33	235.65	121.90	1.352	2.986	61.0	653.9
8	33	232.75	109.62	0.479	-0.418	47.1	491.4
9	33	181.48	90.08	0.639	-0.702	56.7	367.8
10	33	84.54	77.15	0.893	0.363	0	304.3
11	33	34.80	40.61	1.429	1.111	0	144.7
12	33	32.85	36.67	1.689	3.185	0	144.5

年末月份的偏度系数都较大,这是由于这些月份的降雨稀少所致。

用式(1)对月降水量序列的自相关系数  $\hat{\rho}_k$  进行计算。

$$\hat{\rho}_k = \frac{\sum_{i=k+1}^n (X_{i,j} - \bar{x})(X_{i-k,j} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (X_{i,j} - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$\text{其中 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i,j}$$

式中  $n$  为资料长度,33 a; $k$  为自相关系数的滞时,取  $k=1,2,3,\dots,7$ 。

月降水量序列的一阶(即滞时为 1)自相关系数绝对值大多较大,反映了年降水量序列内部有一定的相依性,自相关系数随滞时的增大而有衰减的趋势。

经计算判定一阶自相关系数均不为 0,自相关系数随滞时衰减很快,可考虑用  $P$  阶自回归模型,即 AR( $P$ )模型,该模型形式简单、物理意义直观,其参数可用简单的精度较高的矩法来估计,该模型在水文学领域得到广泛的应用,效果很好<sup>[1-4]</sup>。

由文献[4-5]可知,月降水量序列近似服从皮尔逊 III 型(P-III)分布。为了使序列能接近正态分布以及能很好地利用 Delphi 语言自带的函数,利用对数转换的方法将月降水量序列  $X_{i,j}$  转换成  $Y_{i,j}$  序列,即

$$Y_{i,j} = \ln \frac{X_{i,j}}{0.1 \text{ mm}} \quad (2)$$

对数转换后降水量序列统计值见表 2。

变换后大部分序列的偏度和峰度绝对值有所减小,更接近于正态分布。

## 2 模型的确定

### 2.1 模型定阶的 AIC 准则

所谓的模型形式就是确定 AR( $P$ )模型的阶数  $P$ 。通过对不同阶数模型的试算,根据日本统计学专家 Akaike 于

表 2 对数转换后降水量序列统计值

月份	样本数	均值	标准差	偏度	峰度	最小值	最大值
1	33	5.40	1.52	-1.786	4.310	0.00	7.60
2	33	5.73	1.57	-1.478	4.264	0.00	8.09
3	33	6.48	0.83	-1.415	4.003	3.53	8.04
4	33	7.42	0.62	-1.108	1.062	5.83	8.34
5	33	7.85	0.45	0.501	0.225	6.99	8.98
6	33	7.87	0.40	0.097	-0.543	7.04	8.70
7	33	7.64	0.52	-0.223	0.121	6.41	8.79
8	33	7.63	0.53	-0.592	0.286	6.15	8.50
9	33	7.38	0.51	-0.127	-0.787	6.34	8.21
10	33	5.73	2.22	-1.629	1.843	0.00	8.02
11	33	4.71	2.07	-0.962	0.041	0.00	7.28
12	33	4.81	1.90	-1.091	0.773	0.00	7.28

1974 年提出的定阶准则 AIC 来确定模型阶数<sup>[5]</sup>,即

$$AIC = n \ln \hat{\sigma}_e^2 + 2(P+1) = \min \quad (3)$$

式中  $n$  是定值,为样本容量; $\hat{\sigma}_e^2$  与  $P$  有关。当式(3)中的 AIC 值达到最小值时,认为  $P$  为月降水量序列 AR( $P$ )模型的阶数。用统计学软件 SAS 计算各月降水量序列模型 AR(1)~AR(7)对应的 AIC 值,结果见表 3。

表 3 模型 AIC 值

月份	AR(1)	AR(2)	AR(3)	AR(4)	AR(5)	AR(6)	AR(7)
1	123.35	125.08	123.46	124.56	126.30	128.23	130.21
2	124.23	125.81	127.43	128.94	130.60	129.88	130.60
3	83.12	84.34	86.26	88.26	89.96	91.70	93.24
4	65.05	63.10	63.45	62.06	63.29	63.92	65.82
5	43.93	44.72	46.26	48.24	50.16	50.54	52.24
6	35.29	37.17	38.77	40.77	42.68	44.16	46.05
7	51.31	41.54	43.42	43.09	45.07	46.71	48.28
8	53.25	55.21	56.39	54.99	56.46	58.39	59.98
9	51.99	53.22	52.99	54.91	56.88	57.48	58.51
10	148.20	150.14	151.76	152.28	147.54	149.12	149.97
11	144.16	145.64	147.62	149.42	150.92	151.98	153.28
12	138.77	138.78	139.85	139.10	140.49	142.01	140.62

各月降水量序列不同阶数 AR( $P$ )模型的 AIC 值随模型阶数的增大有增大的趋势,对于 12 个月份来说,采用一阶 AR( $P$ )模型是合适的,同时也由于样本数据量的限制,不宜选用参数较多的模型。

AR(1)模型的公式为

$$Y_{i,j} = \bar{Y}_j + \rho_{1,j}(Y_{i-1,j} - \bar{Y}_j) + \epsilon_j \quad (4)$$

式中  $\bar{Y}_j$  为多年第  $j$  月降水量对数变换后的平均值; $\rho_{1,j}$  为第  $j$  月降水量序列对数变换后的一阶自相关系数; $\epsilon_j$  为与第  $j$  月对应的独立随机项。

变量  $Y_{i,j}$  由确定性成分  $\bar{Y}_j$ , 相依成分  $\rho_{1,j}(Y_{i-1,j} - \bar{Y}_j)$  及独立随机成分  $\epsilon_j$  三部分叠加而成。第一部分由实测资料估计; 第二部分为固定相依程度的变量, 由序列  $Y_{i,j}$  内部传递而得; 第三部分则是独立随机部分。

## 2.2 模型参数的估计

### 1) 均值 $\bar{Y}_j$

根据变换后的各月降水量序列均值来估计, 即

$$\bar{Y}_j = E(Y_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i,j} \quad (5)$$

### 2) 一阶自相关系数 $\rho_{1,j}$

用式(1)对对数变换后的月降水量序列的自相关系数进行计算。

### 3) 独立随机项 $\epsilon_j$

经对数变换后的序列正态化程度较好, 用均值为 0、方

差为  $\sigma_j^2$  的正态随机函数来代替独立随机项  $\epsilon_j$ ,  $\epsilon_j = \xi s_j$ ,  $\xi$  为标准的正态分布随机函数,  $s_j$  为对数变换后各月降水量序列的标准差。 $\sigma_j^2$  的估计为变换后序列的  $s_j^2$ 。

经参数估计后模型为

$$Y_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i,j} + \rho_{1,j}(Y_{i-1,j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i,j}) + \xi s_j \quad (6)$$

用该模型模拟时需要确定  $Y_{i,j}$  的一个初始值, 选用 33 年各月降水量均值为初始值, 模拟 10 000 次年降水量。根据对年降水量的分析, 对模拟结果进行年降水量控制, 剔除年降水量超过 33 年来最大年降水量的序列。

## 2.3 模型实用性检验

由建立的模型模拟出长度为 10 000 的序列, 剔除超出范围的值后剩余 8 434 年数据, 依这个序列计算统计参数, 结果见表 4。

表 4 模拟结果与实测结果的比较

月份	均值		标准差		偏度		峰度		最小值		最大值	
	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值
1	36.0	41.6	41.8	41.7	1.77	2.15	2.66	5.97	0.1	0	199.3	199.5
2	53.6	66.1	65.6	78.7	1.88	2.01	3.24	3.85	0.1	0	326.1	327.0
3	81.9	84.6	62.0	59.1	1.34	1.86	1.48	5.69	3.0	3.4	309.9	311.6
4	174.6	194.1	88.9	95.8	0.70	0.49	-0.24	0.39	12.1	33.9	418.4	418.7
5	279.6	285.4	128.8	148.6	1.08	1.83	1.18	4.12	46.1	108.1	794.5	797.1
6	274.4	282.8	101.5	114.7	0.67	0.89	0.12	0.38	61.8	114.6	600.5	601.0
7	231.9	235.7	115.4	121.9	1.04	1.35	0.88	2.99	313	61.0	649.3	653.9
8	217.5	232.8	97.9	109.6	0.65	0.48	-0.22	-0.42	185	471	491.0	491.4
9	165.3	181.5	72.8	90.1	0.63	0.64	-0.23	-0.7	238	567	367.4	367.8
10	50.2	84.5	67.0	77.2	1.84	0.89	2.77	0.36	0	0	303.4	304.3
11	21.3	34.8	29.3	40.6	1.99	1.43	3.57	1.11	0	0	144.7	144.7
12	22.3	32.9	29.9	36.7	2.00	1.69	3.66	3.19	0	0	144.4	144.5

注: 实测数据为广州 1971—2003 年月降水量数据。

模拟结果与实测结果的主要统计量没有显著的差别。从全年 12 个月模拟结果的横向比较来看, 首尾月份模拟效果略差于中间月份, 表现在均值较实测月份略小。由于模拟程序采用了标准的正态分布随机函数, 与实测月份的降雨分布有差异, 导致了在偏度和峰度上有所差距。各月降水量范围控制得很好, 月降水量最大值与历年统计值吻合。该模型可用于模拟广州地区月降水量。

## 3 结论

通过对广州地区年降雨和月降雨统计特性的分析, 采用 AR(P) 模型建立了用于随机模拟广州月降水量的模型。利用一阶自回归模型, 对广州地区月降水量进行模拟, 在控制全年月降水量的基础上, 模型的模拟结果较理想, 符合广州地区降水规律, 验证了自回归模型在模拟月降水量方面的适用性。模拟得到的月降水量可用于进行逐月、逐日降水量的确定。

## 参考文献

- [1] Salas J D, Abdelrhosen M W. Streamflow drought statistics by stochastic simulation [C] // Proceeding of the United States-PRC Bilateral Symposium on Droughts and Rid-Region on Hydrology, 1991
- [2] 金菊良. 暴雨洪水流域系统随机模拟的研究[D]. 成都: 成都科技大学, 1991
- [3] 邓育仁, 丁晶, 杨荣富. 暴雨洪水流域系统随机模拟(研究之三)[J]. 四川水利发电, 1993 (3): 13-18
- [4] 徐向阳, 刘俊, 陈晓静. 农业干旱评估指标体系[J]. 河海大学学报, 2001, 29 (4): 56-59
- [5] 赵吴静. 地区干旱随机模拟研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2002
- [6] 范金城, 梅长林. 数据分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 280-282