

随机天气模型参数化方案的研究及其模拟能力评估^{*}

吴金栋 王馥棠

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘 要

文中介绍了随机天气模型 WGEN 的基本结构及其模拟原理, 并针对其中随机过程的统计结构特征和 GCMs 输出要素的不同时空尺度特点, 利用动态数据的参数化分析方法等统计学技术, 确定了该模型参数的估计方法。同时基于蒙特卡罗数值计算原理, 给出了 WGEN 的随机试验方法, 并通过模拟基准气候, 从时间分布和空间场两方面对模型在中国东北地区的模拟效果及其能力进行了评估。

结果表明, 模型对于最高气温、最低气温、降水和辐射等要素均具有较好的模拟效果, 模拟序列与观测序列的取值分布有较一致的概率特性。由此可以结合 GCMs 大尺度网格上输出的月和年要素值, 通过调控随机过程的参数, 生成具有不同气候变率的 $2 \times \text{CO}_2$ 逐日气候变化情景, 实现气候预测模式与气候影响模式的嵌套, 进一步研究气候变率变化的可能影响。

关键词: 随机天气模型, 参数估计, 气候情景, 随机试验。

1 引 言

利用随机天气模型及其合理的参数化方案, 可以结合 GCMs 低分辨率的输出要素, 调控逐日随机过程的参数, 生成 $2 \times \text{CO}_2$ 的渐变或平衡气候情景, 其时间尺度可以满足影响研究的需要, 从而驱动气候影响模式, 并通过随机天气模型参数的区域化, 解决 GCMs 输出要素的空间尺度解集问题。这种方法还具有的优点之一是不仅产生气候平均值, 而且可以任意调整气候变率, 生成任意长度的时间序列, 为研究气候背景条件改变后, 模拟气候变率变化的可能影响提供了条件。20世纪90年代以来, 国外学者在该领域已有不少研究, 并发表了不同的随机天气模型^[1, 2], 而国内的类似研究尚不多见。

文中首先介绍了近年来在气候变化影响研究中较为常见的随机天气模型——WGEN (Weather Generator) 的基本结构及其模拟原理。然后针对其中随机过程的统计结构特征和 GCMs 输出要素的不同时空尺度特点, 利用统计学技术, 主要是有关动态数据的参数化分析方法, 研究并确定了该模型的参数化方案, 使之能够结合 GCMs 大尺度网格上输出的月和年要素值, 调控随机过程的参数, 生成气候影响模式所需要的具有不同气候变率的逐日气候变化情景(逐日天气资料流)。

在此基础上, 采用计算数学中具有独特风格的数值计算方法——蒙特卡罗(Monte

^{*} 初稿时间: 1998年12月1日; 修改稿时间: 1999年1月18日。

资助课题: 国家“九五”攻关重中之重项目“我国短期气候预测系统的研究”96-908-03-01。

Carlo) 随机试验方法, 给出了该模型的模拟方法, 并以中国东北地区为例, 从时间分布和空间场两方面对基准气候的模拟值和观测值进行统计特征的对比分析, 即通过模拟变量和观测变量统计量的比较评估其可靠性和模拟能力。

2 WGEN 基本结构

WGEN 模型是以 Richardson 等^[1]构建的气候要素时间序列的随机过程为基础而发展起来的, 其中包含了随机过程研究中较为成熟的二阶矩过程和马尔科夫(Markov)过程。WGEN 模型包括输入子模型、单位换算子模型、参数估计子模型、随机数生成子模型、随机抽样子模型和输出子模型共6个子模型。该模型能够模拟降水量、最高气温、最低气温和太阳辐射等逐日气候要素。

2.1 雨日过程的描述模型

模型首先模拟晴雨序列, 表示为

$$\{J_t: t = 1, 2, \dots\} \tag{1}$$

其中 $J_t = 1$ 表示第 t 日为雨日, $J_t = 0$ 表示第 t 日为晴日。采用的模型是两个状态(干、湿)的一阶马尔科夫过程(MP)。该过程由雨日频率参数 π 和降水持续参数 d 唯一确定。

$$\pi = \Pr(J_t = 1) \tag{2}$$

$$d = \text{Corr}(J_t, J_{t-1}) \tag{3}$$

2.2 降水量的描述模型

降水量的变化以二参数 Γ 分布, 即位置参数 $\alpha_0 = 0$ 时的皮尔逊 Ⅲ型曲线描述。

$$f(x) = x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} / \beta^\alpha \Gamma(\alpha), \quad x \geq 0, \quad 0 < \alpha < 1, \quad \beta > 1 \tag{4}$$

其中 α 为形状参数, β 为尺度参数。月降水的年际变率与逐日降水特征(晴雨状态及降水量)有密切联系。

$$V(P_k) \approx N_k \pi_k \alpha_k \beta_k^2 [1 + \alpha_k (1 - \pi_k) \frac{1 + d_k}{1 - d_k}] \tag{5}$$

其中 $V(P_k)$ 为 k 月降水量方差, $\pi_k, d_k, \alpha, \beta_k$ 分别为 k 月雨日频率参数、降水持续参数、形状参数和尺度参数, N_k 为序列长度。

2.3 气温和辐射的描述模型

为描述气温(最高、最低)和辐射与降水的统计相关性, 非降水要素 $X_i(j)$ 的模拟以降水的变化特征为条件:

$$\{X_i(j) | J_t = i: t = 1, 2, \dots\} \tag{6}$$

$i = 0, 1$ 分别表示晴雨两种状态; $j = 1, 2, 3$ 分别表示逐日最高气温、最低气温和太阳辐射。模型采用多变量一阶自回归随机过程(AR(1))。

$$Z_t(j) = AZ_{t-1}(j) + B\epsilon(j) \tag{7}$$

式中 $Z_t(j)$ 为标准化以后的 $X_t(j)$, $\epsilon(j)$ 为正态白噪声序列, A, B 分别为参数向量。气温年际变率与日变率之间的关系可近似地表示为:

$$V(T_{j,k}) \approx \frac{\sigma_{\epsilon}^2(j,k)}{N_k} \frac{1 + \rho_1(j)}{1 - \rho_1(j)} \tag{8}$$

其中 $V(T_{j,k})$ 为 k 月气温年际变化方差, $\sigma_{\epsilon}^2(j,k)$ 为逐日变化方差, $\rho_1(j)$ 为一阶自相关系

数。

3 WGEN 参数化方案的确定

3.1 降水参数估计

一般地, 估算 MP 模型的转移概率 P_{ab} 需要长序列(至少 20 a)的逐日降水资料。然而本研究中, 随机天气模型运行的初始条件只有逐月气候资料, 因此必须采用依照月气候值估算 P_{ab} 的参数化方法。

根据加州大学的研究^[3], 晴雨序列的一阶两状态马尔科夫过程转移概率与月雨日数之间不仅有良好的相关关系, 而且这种关系的形式随地理环境的变化很小。因此, 利用这一关系, 由边缘概率理论及在同一月内降水条件的相似性, 容易得出不同 P_{ab} 的参数化形式。即:

$$P_b(k) = P_{bb}(k) P_{yb}(k) + P_{ab}(k) P_{ya}(k) \quad (9)$$

$$P_{ab}(k) = f(rf_k) \quad (10)$$

式中 $P_b(k)$ 为 k 月状态 b 的边缘概率, $P_{ya}(k)$, $P_{yb}(k)$ 分别为 k 月前一日状态为 a, b 的概率, rf_k 为 k 月雨日数。

降水 Γ 分布参数估计的通常方法是把矩估计作为初值, 求解极大似然估计的超越方程^[4]。

$$\frac{\partial \ln \Gamma(\alpha)}{\partial \alpha} - \ln \beta = \frac{1}{n} \sum \ln x_i \quad (11)$$

但其中对二次 Γ 函数的估计不仅计算繁琐, 而且没有广泛的适应性。迭代不易收敛, 近似解也不稳定。

为了简化计算, Johnson 等^[5]及 Richardson 曾先后以各雨日降水量为基础, 建立了形状参数的统计关系。但是如前所述, 本研究中各雨日降水量资料实际上不能获得。文中参照参考文献[3], 通过雨日平均降水量给出形状参数和尺度参数的逐月估计值。

由于降水分布的正偏性, k 月尺度参数 β_k 与月雨日平均降水量 $P_d(k)$ 之间有很好的相关关系。

即:

$$\beta_k = f(P_d(k)) \quad (12)$$

Geng 等^[3]选择了波士顿、迈阿密等7个降水特点不同的站点进行检验, 均取得了一致的结果, 说明该式具有很好的代表性。再由降水 Γ 分布的统计特征

$$\sum x_i - N_k \alpha \beta_k = 0 \quad (13)$$

即可得到 k 月形状参数 α 的估计值。这样既能够充分利用气候模式的输出, 又能得到不同地区降水 Γ 分布的通用模型。

为减小降水量的模拟误差, 降水模拟值需进行订正。逐月订正系数 $c_k(p)$ 可表示为:

$$c_k(p) = p(k) / N_k \pi \alpha \beta_k \quad (14)$$

式中 $p(k)$ 为 k 月实际降水量。

3.2 气温、辐射参数估计

一年内天气的季节变化是显然的, 因此模型中首先考虑这种变化依赖于时间的关系。

这里通过谐波分析提取最高气温、最低气温和太阳辐射的年变化信息。傅里叶级数展开式为:

$$X_{j,k}(t) = A_{j,0} + \sum_{n=1}^{\infty} A_{j,n} \sin(n\omega k + \theta_{j,n}) \quad (15)$$

式中 $X_{j,k}(t)$ 为第 j 个变量第 k 月值, $A_{j,0}, A_{j,n}, \theta_{j,n}, \omega$ 分别为其平均值、振幅、位相和角频率。

在此基础上,逐日要素的特征参数以下列模型估算:

$$m_{t,i}(j) = A_{i,0}(j) + A(j) \cos(2\pi(t - \theta(j)) / n_d) \quad (16)$$

$$s_{t,i}(j) = m_{t,i}(j) [V_{C,i,0}(j) + V_{AC}(j) \cos(2\pi(t - \theta(j)) / n_d)] \quad (17)$$

其中 $m_{t,i}(j), s_{t,i}(j)$ 为变量 j 第 t 天(降水状态为 i) 的平均值和标准差; $A_{i,0}(j), A(j)$ 和 $V_{C,i,0}(j), V_{AC}(j)$ 及 $\theta(j)$ 分别为变量 j 及其变异系数的年平均值、振幅和位相, n_d 为序列长度。模型中最低气温不计降水状态 i , 即:

$$m_{t,0}(2) = m_{t,1}(2) \quad (18)$$

$$s_{t,0}(2) = s_{t,1}(2) \quad (19)$$

实际建模时,直接应用平稳性理论是有困难的。对于逐日时间序列而言,虽然不必考虑其中的趋势分量或超过数年的周期分量,但是由于天气变化的季节周期,且方差随时间也呈周期变化,为使序列平稳化,对 j 要素 $X_t(j)$ 必须分别做标准化变换。

$$Z_t(j) = (X_t(j) - m_{t,i}(j)) / s_{t,i}(j) \quad (20)$$

参数向量 A, B 取 Richardson 在不同气候背景下,求解 Yule-Walker 方程后的给定值^[1],并认为不随时间和空间而变化。

为提高模拟精度,通过分别估计气温和辐射要素干、湿期的数学期望对生成值进行逐月订正。 j 变量 k 月订正系数 $c_k(j)$ 为:

$$c_k(j) = \hat{X}_k(j) - [\pi_k \hat{X}_{k,1}(j) + (1 - \pi_k) \hat{X}_{k,0}(j)] \quad (21)$$

$\hat{X}_{k,1}(j), \hat{X}_{k,0}(j)$ 分别为 j 变量 k 月湿期和干期的估算值。

4 随机试验方法

参照 Monte Carlo 试验方法的基本思想,根据 WGEN 模型中各随机过程的概率统计模型结构和模型的参数估计方案,各模拟变量的模拟方程可依次表示为:

$$O_t = f(k, r_{u1}, O_{t-1}) \quad (22)$$

$$P_t = f(k, r_g, r_{u2}, c_k(p)) \quad (23)$$

$$T_{M,t} = f(k, O_t, T_{M,t-1}, T_{m,t}, R_t, r_n, c_k(1)) \quad (24)$$

$$T_{m,t} = f(k, T_{M,t}, T_{m,t-1}, R_t, r_n, c_k(2)) \quad (25)$$

$$R_t = f(k, O_t, T_{M,t}, T_{m,t}, R_{t-1}, r_n, c_k(3)) \quad (26)$$

其中 $O_t, O_{t-1}, T_{M,t}, T_{M,t-1}, T_{m,t}, T_{m,t-1}, R_t, R_{t-1}$ 分别为当日和前一日的晴雨状态、最高气温、最低气温和太阳辐射, P_t 为当日降水量, r_{u1}, r_{u2}, r_g, r_n 分别为符合均匀分布、Gamma 分布和正态分布的随机数。

为保证抽样的随机性,得到周期更长的均匀随机数,文中 R_u 由3个混合同余发生器和1个积式发生器构成的线性同余组合发生器,根据以下迭代公式产生。

$$r_{u,n+m+1} = F(r_{u,n+1}, r_{u,n+2}, \dots, r_{u,n+m})$$

(27)

r_g, r_n 分别通过对 x_i 近似求解下列方程得到:

$$\int_{-\infty}^x f(x) dx = r_{u,i}, \quad x_i = r_{g,i}, r_{n,i}$$

(28)

$f(x)$ 为给定的分布密度函数, $r_{u,i}, r_{g,i}, r_{n,i}$ 分别为第 i 个 $r_{u1}(r_{u2}), r_g$ 和 r_n 。具体模拟时, r_g, r_n 分别以 Whittaker 舍选综合抽样和 Box-Muller 二维变换抽样实现^[6]。

由中心极限定理, 随机模拟误差(概率误差) 可近似表示为:

$$\epsilon \approx \lambda_{\alpha s_j} / \sqrt{n}$$

(29)

式中 λ_{α} 为显著水平 α 下的正态差, s_j 为随机变量 j 的标准差估计, n 为试验次数(这里取 $n = 30$)。故当 s_j 固定时, 要提高模拟精度一位数字, 需将试验次数增加 100 倍。另外, 误差 ϵ 与样本元素所在的空间无关, 即收敛速度与问题维数无关, 这与其他数值方法不同。

5 WGEN 在中国东北地区的模拟能力评估

为了评估 WGEN 的模拟能力, 文中以中国东北地区($39 \sim 51^{\circ} \text{N}$, $117 \sim 133^{\circ} \text{E}$) 为例, 共选择 24 个站点(图略), 通过对基准气候(1961 ~ 1990 年) 的模拟, 从时空分布两方面对最高气温、最低气温、降水量和辐射等 4 个模拟变量的模拟值和观测值进行统计特征的对比分析, 即通过模拟变量和观测变量统计量的比较检验模型的可靠程度。其中时间分布对比分析包括日要素的年变程及其方差检验、月要素的年变程及其方差检验、累积概率分布函数检验和 K-S 统计检验等。

需要指出的是, 模式评估的目的是检验模式是否可以再现气候观测事实的主要特征, 而不允许把模式输出的变量序列和相应观测站点上的观测序列进行直接比较, 因为随机试验与实际的气候观测是两个不同的概念。

5. 1 时间分布对比分析

5. 1. 1 月要素的年变程检验

以沈阳为代表站(下同), 对逐月最高气温、最低气温、降水量、雨日数、雨日平均降水量和辐射强度年变程及其标准差进行对比分析, 结果如图 1, 2, 其它图略。

可见, 除个别月份外, 各要素的模拟误差都较小, 特别是对雨日数模拟效果很好。偏差较大的要素有: 1 月最高气温和最低气温的模拟值较观测值偏高大约 2°C , 4 月和 10 月的模拟值偏低; 9 月和 10 月降水量偏少 10.0 mm 左右; 冬季各月辐射略有偏多, 其它各月

($4 \sim 6$ 月, $8 \sim 10$ 月)

偏少。

由表 1 中月统计特性对比分析及图 1 和图 2 中模拟序列与观测序列的标准差比较可见, 模型对于月要素年变

表1 模拟要素月统计特性对比分析

模 拟 要 素	平均值		标准差		变异系数(%)	
	实测	模拟	实测	模拟	实测	模拟
雨日数(d)	10. 3	10. 3	4. 27	4. 51	41. 6	44. 0
雨日平均降水量(mm)	5. 6	5. 3	3. 32	3. 34	59. 7	63. 1
降水量(mm)	57. 0	54. 1	55. 81	57. 00	97. 9	105. 3
最高气温($^{\circ} \text{C}$)	13. 8	13. 6	12. 76	12. 50	92. 2	91. 9
最低气温($^{\circ} \text{C}$)	3. 0	2. 8	13. 11	13. 04	433. 3	465. 5
辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	14. 2	14. 0	5. 08	4. 49	35. 8	32. 1

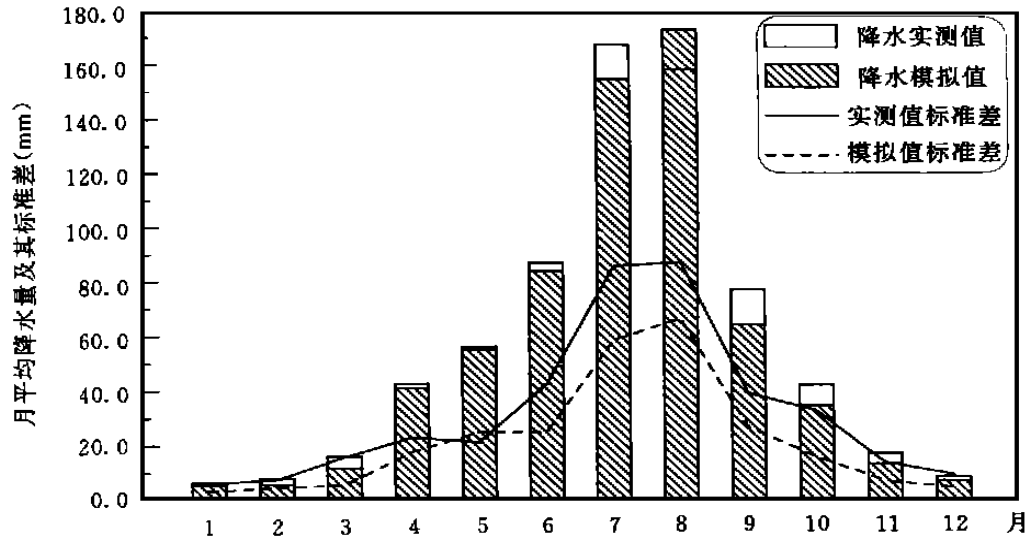


图1 月平均降水量及其标准差模拟值与观测值对比(沈阳)

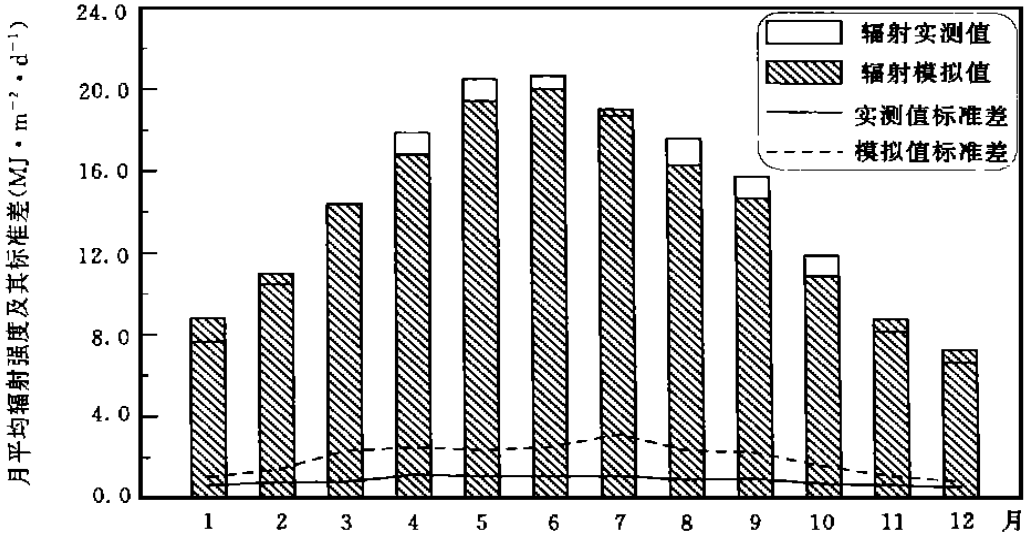


图2 月平均辐射强度及其标准差模拟值与观测值对比(沈阳)

化和年际变化分布特性都模拟得较好,且前者优于后者,主要表现为月辐射年际拟合方差偏大,月降水量拟合方差偏小(主要是雨日平均降水量的拟合方差偏小)。

5. 1. 2 日要素的年变程检验

图3和图4给出了逐日最高气温和最低气温年变程及其标准差的模拟值与观测值的对比分析结果,限于篇幅,略去逐日降水量和太阳辐射的模拟结果与基准气候观测值的对比图。可以看出,模拟值与观测值的趋势都基本一致,数值也比较接近,且能够反映气候年际间的变率信息。

另外,由表2可见,模拟要素的日统计特性(平均值、方差和变异系数)与对应的观测

表2 模拟要素日统计特性对比分析

模拟要素	平均值		最低值		最高值		标准差		变异系数(%)	
	实测	模拟	实测	模拟	实测	模拟	实测	模拟	实测	模拟
最高气温()	13.9	13.7	- 6.7	- 4.7	30.1	31.0	12.38	12.14	88.8	88.5
最低气温()	3.1	2.9	- 18.6	- 15.8	22.0	20.9	12.74	12.66	409.5	430.6
降水量(mm)	1.9	1.8	0	0	9.5	11.1	2.05	2.00	109.3	112.9
辐射(MJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	14.2	14.0	5.63	6.31	22.50	21.68	4.99	4.43	35.1	31.7

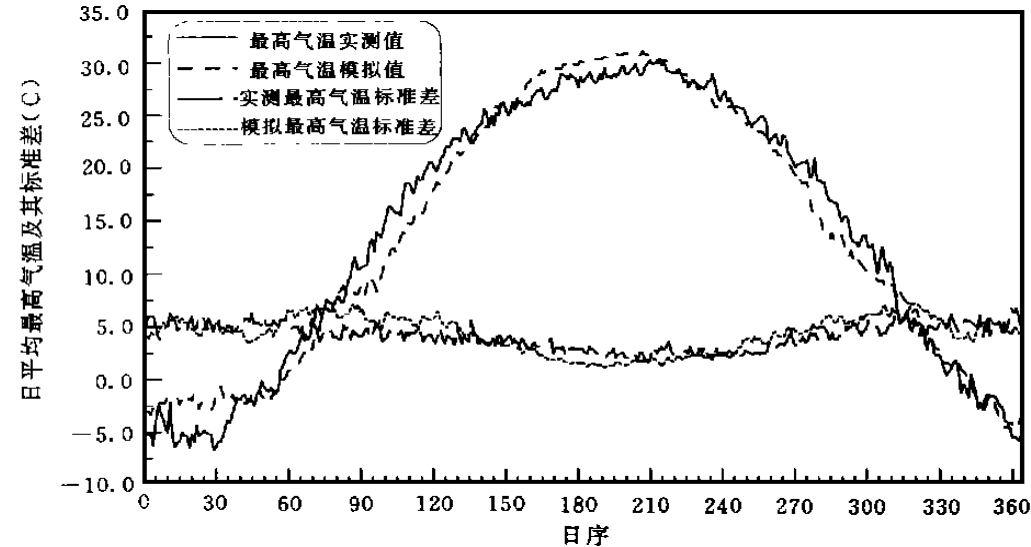


图3 日平均最高气温及其标准差模拟值与观测值年变程(沈阳)

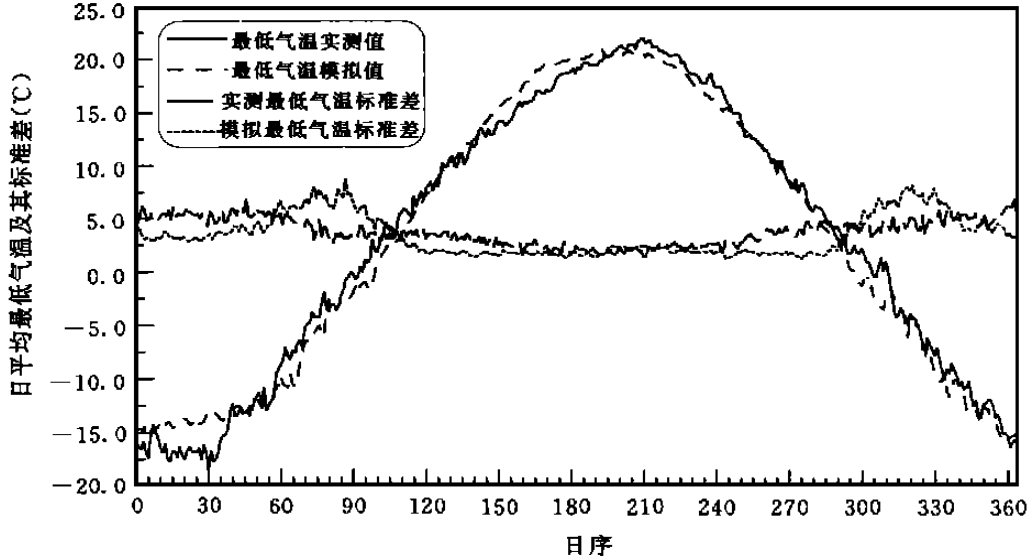


图4 日平均最低气温及其标准差模拟值与观测值年变程(沈阳)

值非常接近, 对于气候要素年内的日变率有较好的模拟能力。除对气温最低值的模拟有所偏高外, 对于极值也有一定的模拟能力。

5.2 统计分布分析

为了进一步检验各要素取值分布的概率特性, 比较它们的分布规律, 以保证气候变率影响研究的可靠性, 必须估计、比较和检验模拟序列与观测序列总体分布的密度函数。可采用的方法有多种, 文中先通过样本累积概率分布函数比较模拟要素的分布形式, 然后进行 K-S(柯尔莫哥洛夫-斯米尔洛夫) 非参数分布检验。

5.2.1 累积概率分布函数比较

通过对模拟要素与基准气候相应要素的累积概率分布函数曲线比较(图5和图6, 其它图略), 可以明显看出, 两者具有同一分布形式, 各要素分布函数曲线都基本一致。

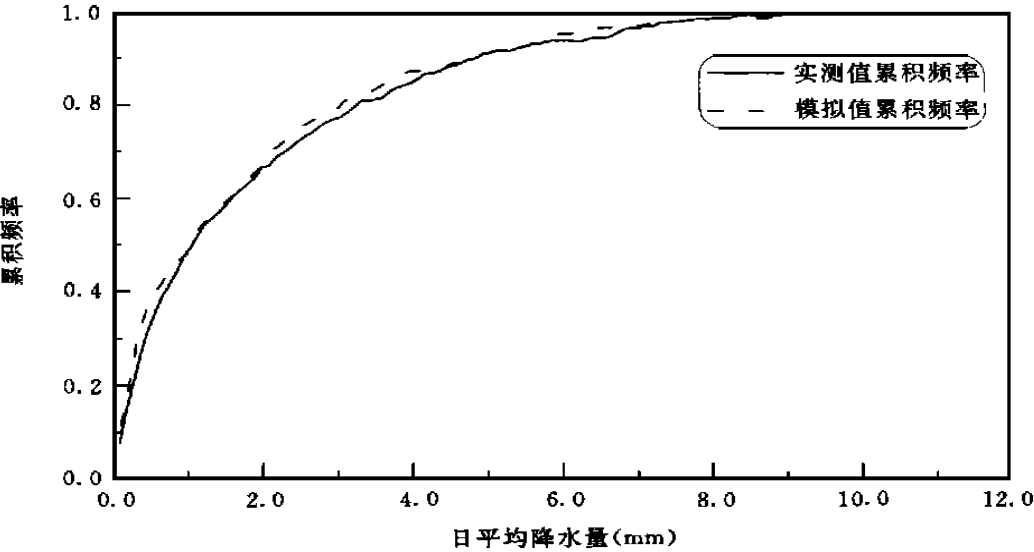


图5 日平均降水量累积频率分布(沈阳)

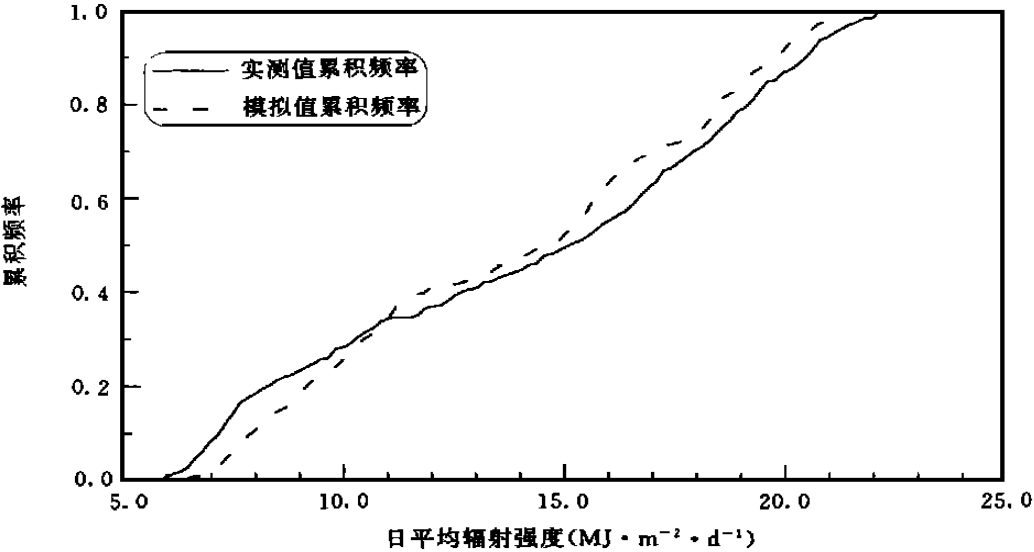


图6 日平均辐射强度累积频率分布(沈阳)

5. 2. 2 统计检验

K-S 非参数检验是目前检验两个来自未知分布样本差异的较好方法。该方法能检验两个样本分布之间的所有差异, 包括极值差异, 而不像其他检验, 如参数 t 检验, 只能检验样本平均值之间的差异, 不能检验极值之间的差异。

由表3可见, 各模拟要素的统计量

表3 模拟要素 K-S 统计检验

模拟要素	最高气温	最低气温	降水量	辐射
$D_{n1,n2}$	0. 0575	0. 0384	0. 0219	0. 0438

$$D_{n1,n2} = \sup_{-\infty < x < \infty} |F_{n1}(x) - G_{n2}(x)|$$

(30)

均小于显著性水平 $\alpha= 0. 01$ 下的临界值 $D_{n,\alpha}= 0. 1208$, 即认为模拟序列与观测序列的总体分布是相同的。

5. 3 模拟场与观测场的对比分析

限于篇幅, 文中没有分析模拟场逐季和逐月的模拟效果, 而只对年要素模拟场与观测场进行了对比分析(图7和图8, 其它图略)。

可见年平均最高气温模拟误差一般小于0. 2 , 北部偏高, 南部偏低, 黑龙江北部地区较差, 误差也小于1. 0 。年最低气温模拟误差一般小于0. 3 , 同样黑龙江北部地区较差。大部分地区年总雨日数偏差在5 d 之内, 黑龙江西北部偏少6 ~ 8 d。雨日平均降水量误差一般小于1. 0 mm, 东北三省西部与内蒙东部接壤地区有一高值中心。年降水量的差值分布比较复杂。吉林东部、辽宁大部地区偏少3. 0 ~ 6. 0 mm, 吉林西部、黑龙江东部及内蒙西部大部地区偏少3. 0 ~ 12. 0 mm, 黑龙江西北部偏多不足10. 0 mm, 吉林中部地区也略有偏多。除黑龙江西北部及其相邻的内蒙部分地区, 以及通辽、赤峰一带太阳辐射日强度偏少0. 45 ~ 0. 60 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 外, 其它大部分地区误差较小。综合来说, WGEN 模型在东北南部的模拟效果好于北部, 对各要素的模拟精度基本可以满足气候影响研究的需要。

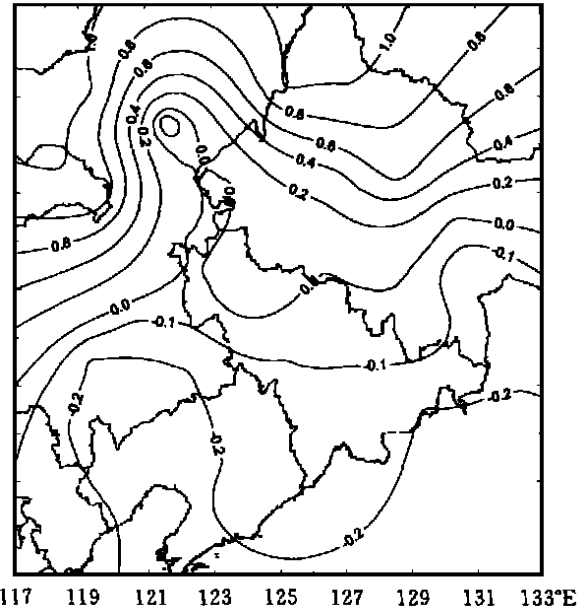


图7 年平均最高气温模拟场与观测场对比分析(单位:)

6 结果和讨论

细小尺度气候变化情景生成技术的研究是当前气候变化影响研究的重要环节。把随机天气发生器应用于气候情景的生成, 同时可以克服气候预测模式与气候影响模式分辨率不相匹配的矛盾, 有相当的发展潜力。尽管有的物理学家对随机天气发生器的使用提出了疑问^[7], 但是目前大部分研究集中在这些发生器的工作原理和进一步提高其模拟能力, 以产生具有更符合实际的复杂气候变率, 并尝试与气候模式相结合的途径和方法上^[2]。

文中介绍了随机天气模型 WGEN 的基本结构, 并确定了基于 GCMs 大尺度网格上

输出的月和年要素值的参数化方法。通过对中国东北地区基准气候的模拟试验,证明在该参数化方案下, WGEN 在该地区对不同气候要素均具有一定的模拟能力,基本上能够再现气候背景的主要统计特征,因此可以作为气候预测模式与气候影响模式的嵌套工具。

同时,由于 WGEN 模型含有相互独立的纯随机干扰因子项,因此不仅可以产生气候平均值,而且能反映出可能的气候变率,包括极端值及其频率等。由此可以将不同的气候变率信息与气候平均场相叠加,模拟一定气候背景条件下的天气过程,包括灾害性天气过程的发生、发展过程。因而有可能较全面地再现和研究该气候背景下的天气事件及其影响。另外,通过随机天气模型,调节不同的气候平均值情景和变率情景,可以用于气候影响研究的敏感性试验,是优化、完善气候影响模式以及确定气候影响可能范围的重要手段。

但是,由于天气系统内部的相互作用极为复杂,依据实测时间序列(不是依据气候系统的物理机制)建立随机模型,以生成不仅在统计上,而且在物理上相互一致的气候要素及其变化是比较困难的。从模型结构、原理和运行结果看,主要表现为以下几个方面:

(1) Katz^[8]从数学上论证了 WGEN 模型的统计学特征,但是关于该模型中各气候要素的统计结构目前还不十分清楚或不易表达。比如,实际的气候过程具有一定时间尺度的持续性、循环性,降水过程也并非完全符合 Markov 过程的无后效性,因而不仅具有一阶自相关性,而且具有高阶自相关特性。起码对部分天气过程周期较长的月份,在随机过程中应考虑以往若干时刻的信息,由此许多人建议采用高阶的马尔科夫过程和自回归过程。总之,模型的识别问题还有待于进一步研究。

(2) 有关随机天气发生器的参数化方法研究还不深入,基于 GCMs 的成熟的参数化方案仍需进一步研究,由此可能造成一定的模拟误差。

(3) 为了反映气候的季节变化以及气候变率的影响,必须使用足够长的天气记录,即必须得到满足总体分布的大样本资料。本研究以 30 a 作为序列长度,是出于与 IPCC 基准气候序列长度相等的考虑,模拟时间可能不足。另外,随机试验的结果以式(8)收敛于问题的解,与一般数值计算方法相比,收敛速度比较慢,其主阶仅为 $O(N^{-\frac{1}{2}})$,如果要求提高模拟可靠性就要大量增加模拟工作量。因此,需进一步探讨既能保证样本的代表性又可节省运算费用的适合的模拟时间。

(4) 文中仅在中国东北地区进行了模型参数的估算和模拟能力的评估,对于其它不同研究地区,应该重新计算其参数,并对模型的可靠性进行检验。

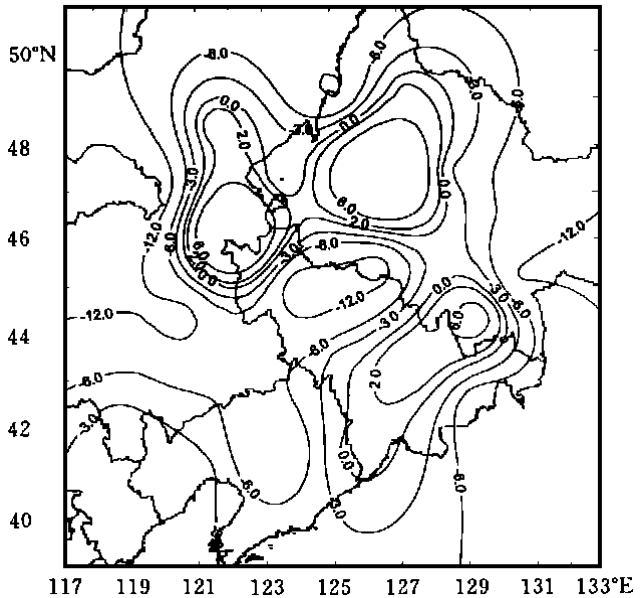


图8 年降水量模拟场与观测场对比分析(单位:mm)

参考文献

- 1 Richardson C W, Wright D A. WGEN: A model for generating daily weather variables. U S Dept of Agri, Agricultural Res Service, ARS- 8, 1984. 83pp
- 2 Wallis T W R, Griffiths J F. An assessment of the weather generator (WXGEN) used in the erosion/productivity impact calculator (EPIC). Agric and Forest Meteor, 1995, 73: 115- 133
- 3 Geng S, Penning de Vries, et al. Analysis and simulation of weather variables. Part I: Rain and wind in Wageningen. Simulation Reports, CABO- TT, 1985, 4: 55pp
- 4 方开泰, 许建伦. 统计分布. 北京: 科学出版社, 1987. 366pp
- 5 Johnson N L, Kotz S. Continuous univariate distributions. I. Boston: MA Houghton Mifflin Company, 1987
- 6 高惠璇. 统计计算. 北京: 北京大学出版社, 1996. 410pp
- 7 Young K C. A multivariate chain for simulating climatic parameters from daily data. J Appl Meteor, 1994, 33: 661 ~ 671
- 8 Katz R W. Use of conditional stochastic models to generate climate change scenarios. Climatic Change, 1996, 32: 237 ~ 255

STUDY ON THE PARAMETERS PROGRAMME OF A STOCHASTIC WEATHER GENERATOR AND EVALUATION OF ITS SIMULATION

Wu Jindong Wang Futang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081)

Abstract

The fundamentals of a stochastic weather generator (WGEN) run for synthetic daily climate scenarios are discussed in detail, and in accordance with the statistic attributes of each stochastic process embodied and commonly available information from general circulation models (GCMs), its parameters programme is presented and specified through statistic techniques (such as parametric analysis of dynamic data etc.). A stochastic experiment of WGEN is presented and carried out on the basis of the principles of Monte-Carlo numerical calculation. Proceed from the overall analysis of temporal and spatial statistic characteristics, evaluation of the present climate simulation in Northeast China from this experiment has been made.

It is concluded that WGEN has fairly good skills in generating maximum temperature, minimum temperature, precipitation and radiation. The probability property of data sequence observed and simulated is rather identical as well. Therefore, daily climatic change scenarios with different climatic variabilities can be generated with the combination of yearly and monthly output of GCMs at large spatial resolution, and adjustment of WGEN parameters. Thus, a promising approach is given to link climate models with various impacts models, and study the impacts of the change in climate variability.

Key words: Stochastic weather model, Parameter assessment, Climatic scenario, Stochastic experiment.