

基于概率加权估计的中国极端气温 时空分布模拟试验*

丁裕国¹⁾ 刘吉峰¹⁾ 张耀存²⁾

1) (南京气象学院, 南京 210044)

2) (南京大学大气科学系, 南京 210093)

摘要 引入一种计算简便、有效性高, 并可代替极大似然法的优良参数估计方法——概率加权法 (PWM), 利用 Gumbel 分布对中国极端气温时空变化特征作“当前”与“未来”气候的模拟试验。结果表明, 这种方法具有较高的拟合优度。利用适应性较强的 Weibull 分布拟合中国逐日高(低)气温的原始分布, 在此基础上, 借助于蒙特卡洛随机模拟产生未来平均气候情景下的极端高(低)气温统计概率特征。模拟试验表明, 在未来气候条件下, 若平均气温升高 1.0°C, 中国各大区域极端高(低)气温的概率有一定的变动规律可寻。

关键词: 极端气温; 概率加权法; 随机模拟

文章编号 1006-9895 (2004) 05-0771-12 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

1 引言

在全球气候变化研究中, “极端气候”研究仍是一个薄弱环节。如何描述和监测极端气候或表征气候极值的各种统计特征及其变化规律, 已经成为气候变化研究的重要课题之一^[1,2]。长期以来, 人们主要偏重于对平均气候变化的研究, 而对极端气候变化规律的研究还相当不够。人们很早就已注意到气候极值问题的研究。这类问题不仅具有理论意义, 而且在国民经济建设中也有其重要应用价值。任何气候要素的极值实质上是一种复合型的气候随机变量, 它们在数值上虽无稳定性可言, 但其在时空域上出现的概率却具有某种相对稳定性。因此, 利用相应的概率模式(如极值分布函数)来模拟研究气候极值的出现机遇及其分位数大小, 并在预测未来气候情景的基础上模拟未来气候极值出现机遇的变化将是十分有意义的工作。

理论上已证明有三种类型的渐近极值分布可用于气候要素极值的频数分配拟合, 其中第一型(又称 Gumbel 分布型)应用最为普遍^[3]。但是, 以往的研究仅仅考虑在全球气候背景不变(即平均气候不变)条件下, 气候极值的概率问题。自 20 世纪 70~80 年代以来, 气候极值研究的新进展在于, 将气候极值与气候变化相联系, 提出了全球气候背景变化情景下的气候极值问题。Leadbetter 等^[4]利用统计极值分布研究 10~100

2003-05-16 收到, 2003-08-15 收到修改稿

* 河南省计委科技攻关项目“黄淮流域气象灾害监测预测技术方法研究”(9508)和南京气象学院自选项目共同资助

年一遇的气候极值与平均气候统计参数的关系。Mearns 等^[5]指出,气候要素原始分布的均值变化可导致气候极值频率和强度呈非线性变化,平均气候的微小变化可能引发极端气候出现频率的很大变化, Katz 和 Brown^[6]则从理论上证明,原始分布的方差变化对于极值频率的影响比平均值的影响大得多, Groisman 等^[7]及 Easterling 等^[2]都指出,由于降水量为 Gamma 分布,不但平均值的变化可改变极端降水发生的次数,而且方差的变化也影响极端降水发生的次数,从而造成总降水量增加时,降水极值会呈现非线性增大。不少学者注意到,未来气候增暖背景下,气候极值频率可能增大。但到目前为止,就世界范围而言,一方面尚缺乏关于气候极值的高质量长期观测资料(包括全球及区域性的),而使人们对各地或不同区域的气候极值统计特征及其长期变率知之甚少;另一方面从理论上对于气候极值成因机制及其模拟试验和预测模型的研究都还未很好开展。虽然 20 世纪 90 年代以来,一些学者已注意到平均气候变化与气候极值的关系,但其研究还缺乏系统性和深度^[1,2]。

极端气候的许多统计特征量(如频率,强度等)与平均气候及其变率的非线性关系已经有了较多的理论研究基础^[8,9],各种气候数值模式模拟的最新结果也表明,气候强迫敏感性试验与观测结果已相当一致。因而,借助于气候数值模式输出结果,预测未来气候情景下出现极端气候的概率及其区域型态特征,已具备基本的理论和观测基础^[1,8,10]。

本文正是对上述问题所作的一次尝试性研究。采用先进的概率加权法(简称 PWM)估计统计分布函数的参数,探讨 Gumbel 分布拟合我国极端最高(低)气温的适用性,并用蒙特卡洛方法对全球变暖情景下,我国极端最高(低)气温的概率及其重现期作模拟预测试验。

2 资料及其预处理

选取均匀散布于我国境内的 203 个测站(1957~2001 年)资料作为研究样本,采用逐年选取前 3 个最极端记录的平均值表示该年度的极端气候值。试验表明,这样处理比通常仅取一个极端值作为各年的极值,其参数拟合优度高,所估计概率及其分位数的稳定性较好。关于这种选取极值的方法,本文在小结中还将作一些必要的讨论。对于任一区域而言,选取区域极值,也采用上述方法,即选取每个区域内所有测站逐日最高气温的前 3 个最大值的平均值作为逐日最高气温的区域值,然后,再从该区域逐日最高气温序列中选取前 3 个最大值的平均值作为区域的年极端气温,在此基础上,利用 Gumbel 分布,对区域极值进行拟合。极端低温序列建立过程类似,只不过取的是最低温度序列中最小的 3 个值的平均。关于中国平均最高(低)气温年际变化型的分类区划问题,已在另文探讨(大致分为 12 个区)^①。

3 Gumbel 分布及其概率加权法参数估计

Gumbel 分布是描述极值统计分布的一种理论模式,当其用于极大值分布时,其分

① 刘吉峰、丁裕国,中国平均最高(低)温度年际变化型的分类区划问题探讨(待发表)。

布函数可写为

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-x_0}{B}\right)\right], \quad (1)$$

式中, $B>0$ 为尺度参数, x_0 为位置参数。对于极小值, Gumbel 分布函数可写为

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\exp\left(\frac{x+x_0}{B}\right)\right]. \quad (2)$$

以往人们习惯于用经典的矩法、极大似然法或最小二乘法等方法对 Gumbel 分布作参数估计。尽管这些估计方法已沿用多年, 但它们毕竟各有其缺点。例如, 经典的矩法过于粗糙, 精度和效率都不及极大似然法; 而极大似然法, 虽有较高精度和参数估计的优良特性, 但其计算较为复杂, 需要迭代求解。研究表明, 概率加权法 (PWM) 是一种更为有效的普适性很强的优良估计方法^[7], 它不需要迭代求解, 且计算方法又较极大似然法简便易行, 而其精度与极大似然法相当, 并且在理论上也较为完善, 故能普遍适用于各种分布密度参数的估计^[11]。现以 Gumbel 分布为例, 其参数估计公式可简单推导如下: 设有任一概率分布函数 $F(x)=P(X<x)$, 若其逆形式 $x=x(F)$ 存在, 则定义概率加权矩为

$$M_{l,j,k} \equiv E[X^l F^j (1-F)^k], \quad (3)$$

上式中, 假定下标变量 l, j, k 是实数, 不难看出, 当 $j=k=0$, 且 l 为非负整数时, 则 $M_{l,0,0}$ 表示经典的 l 阶原点矩, 可见概率加权法是通常经典矩的推广, 而经典矩则是概率加权矩的特例^[7,11]。当 k 为非负整数时, 可导出自由度为 $n-k$ 的某种分布参数的概率加权矩的无偏估计式^[7,11]

$$\hat{M}_{(k)} = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} x_i \binom{n-i}{k} \bigg/ \binom{n-1}{k}, \quad (4)$$

其中, $x_i (i=1, \dots, n)$ 表示一个有序样本取值, 即从小到大顺序排列的样本取值; $\binom{n-i}{k}$ 为组合数的表达式。

根据上述定义, 可导出 Gumbel 分布参数估计式^[7,11],

$$\hat{B} = [\hat{M}_{(0)} - 2\hat{M}_{(1)}] / \ln(2), \quad (5)$$

$$\hat{x}_0 = \hat{M}_{(0)} - C\hat{B}, \quad (6)$$

这里, $C=0.57722$, 为欧拉常数; \hat{B} 和 x_0 分别为尺度参数和位置参数; $\hat{M}_{(0)}$ 为数学期望的样本估计值即样本均值。若令 $\hat{B}=\hat{a}$, $\hat{M}_{(0)}=\hat{m}$, 于是得到 x 的拟合值 \hat{x} 为

$$\hat{x}(F) = \hat{m} - C\hat{a} - \hat{a} \ln[-\ln(F)], \quad (7)$$

这里, $\hat{x}(F)$ 就是极大值的估计。同样, 对于极小值, \hat{B} 不变, \hat{x}_0 变为

$$\hat{x}_0 = -\hat{m} + C\hat{B}. \quad (8)$$

为了保证参数估计值的有效性, 本文选择拟合标准差、拟合相对误差、科尔莫戈洛夫拟合优度等三种指标对所试验的有序样本资料计算结果作拟合优度的度量。

4 当前气候条件下中国极端气温空间分布

计算结果表明, 无论是最高气温还是最低气温, 各站拟合标准差、拟合相对误差

及科尔莫戈洛夫拟合优度,除极少数几站外,绝大多数台站都通过了信度为 0.05 的显著性检验。比较各站拟合标准差及拟合误差的大小发现,最高气温拟合效果一般优于最低气温的拟合效果,可见最低气温年极值的随机变化其概率稳定性不如最高气温年极值强。分析极端气温各段拟合值与实际值的差别可见,对于极端低温来说,高分位数(70%以上)的拟合误差均为正值,极端高温情形则相反。上述结果表明,Gumbel 分布拟合我国各地极端气温是适宜的。文献 [12] 也曾对我国地面气温极值作过拟合试验,认为 Gumbel 分布仅对我国部分地区适宜,这可能是由于当时所用实测资料序列较短(仅有 32 年),而参数估计方法不同所造成的不同结论。相比之下,由于本文所选年极值资料为 45 年,且采用了 PWM 法估计参数,从而使其拟合优度有较大提高。

4.1 Gumbel 分布参数的空间分布特征

根据经典矩估计,无论对于极大或极小值,Gumbel 分布的数学期望(即理论均

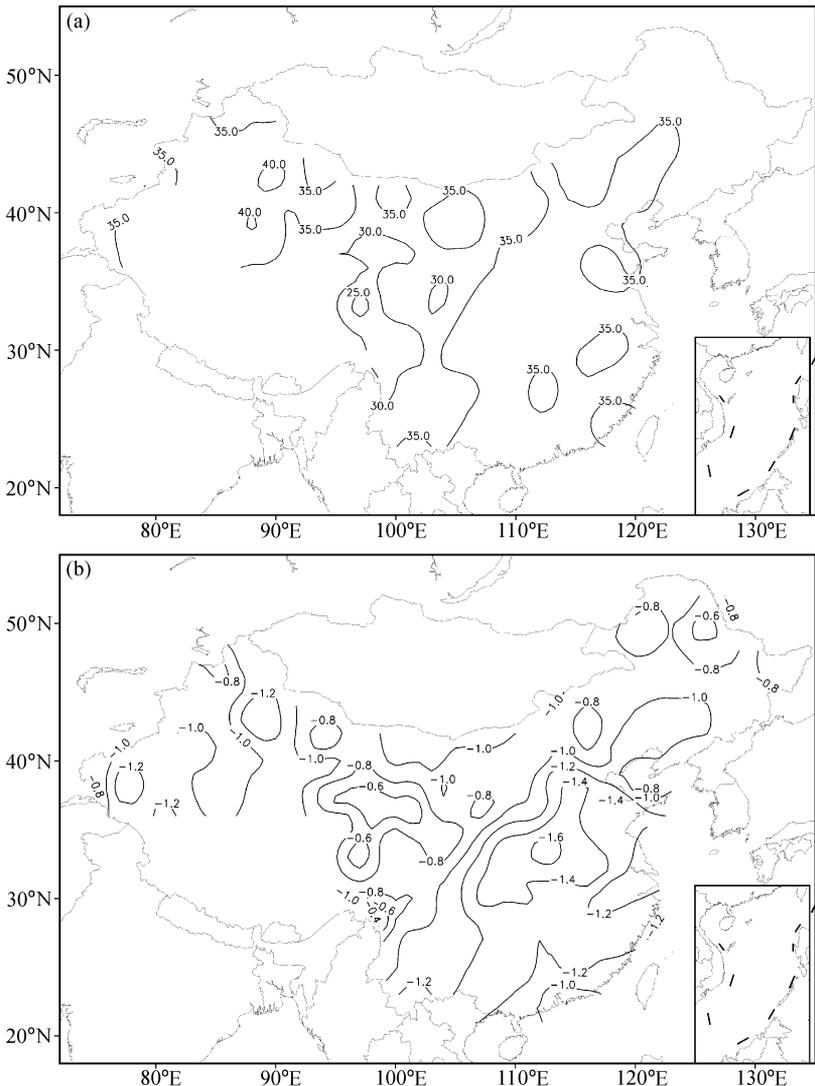


图 1 分布参数的空间分布图:(a) 位置参数;(b) 尺度参数

值) μ_x 与标准差 σ_x 分别与位置参数 x_0 及尺度参数 B 具有密切的关系^[3,5]。由(5)、(6)式可见, 对于概率加权矩估计, 也有类似的性质, 因此, 它们的气候意义十分明显。

由式(6)并结合图1可见, 极端高温的位置参数的空间分布特征与均值的空间分布特征十分一致。同时, 极值变率愈大的地区, 其位置参数愈小。这说明无论是均值还是均方差都会对位置参数产生影响, 两者相比, 均值对位置参数的影响要大于方差, 无论从图上还是根据公式(6)都容易得出这个结论。而尺度参数则直接受方差的影响。对于极端低温来说, 位置参数的空间分布特征与最低温度绝对值的空间分布特征是一致的。

4.2 给定临界极值的概率及其空间分布(或重现期极值)

根据所计算的逐年极端气温样本记录, 拟合出极端气温所服从的 Gumbel 分布。图2及图3给出了50年一遇的重现期极值及其相应的界限气温极值的概率在水平空间上

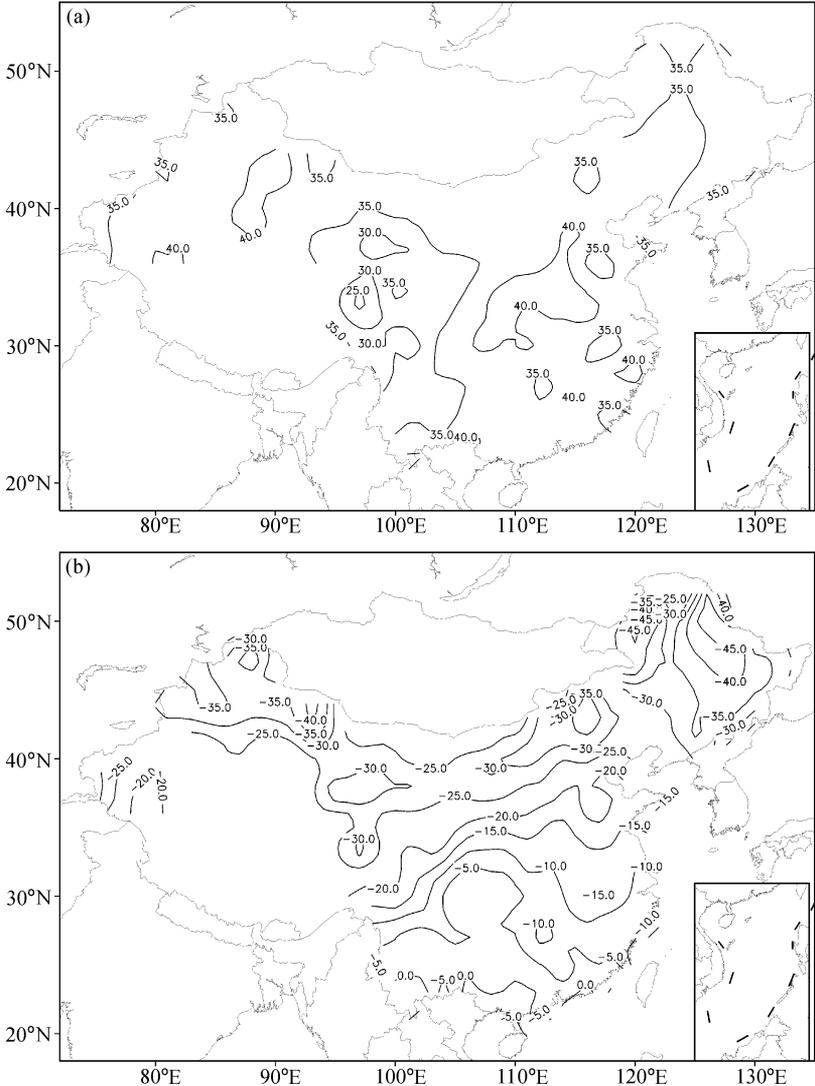


图2 50年一遇极值的空间分布图(单位: $^{\circ}\text{C}$): (a) 极端高温; (b) 极端低温

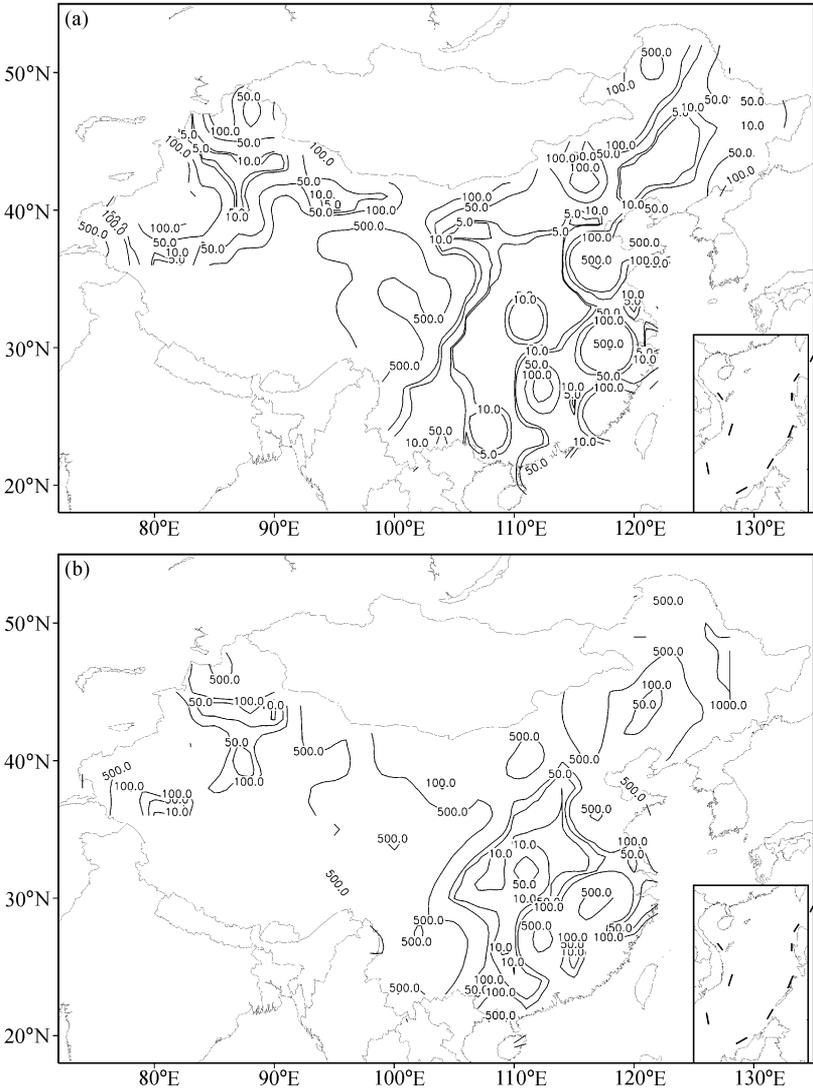


图3 给定临界极值的概率空间分布图：(a) $T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$ 出现概率；(b) $T_{\max} \geq 40^\circ\text{C}$ 出现概率

的分布图，而100年一遇的重现期极值情况与前者空间分布特征基本相似，只不过范围和数量级略有不同而已（图略）。

由图2可见，重现期为50年的极大值与极小值空间分布特征有很大差异。如夏季，大部分地区高温中心都超过 35°C ，有几个地区在 40.0°C 以上，主要集中在我国长江流域及其东南沿海的少部分地区、新疆东北部、西南部等，这一分布特征与我国夏季普遍高温尤其是南方高温的特点十分吻合；除华南少数地方外，受海洋性气候的影响，沿海地区很少超过 40.0°C 。冬季则不同，全国气温极值都低于 0.0°C ，极值空间分布表现出明显的纬度地带性。气温由北向南递增，气温的海洋性特征并不明显，反映出我国冬季受亚洲高压的影响是相当明显的。由图3可见，各种界限温度的概率其空间分布也基本上反映出图2的大致趋势，不过这里的概率值是用概率的倒数标出的。

总之，50 年（或 100 年）一遇的气温重现期极值的空间分布特征冬夏季有所差异。对于极端高温来说，大部分地区都有超过 35.0°C 的趋势；而极端低温都在 0°C 以下，这一温度界限无论对人体健康还是农作物生长都是有害的。由此可见，我国极端气温灾害是比较严重的，这更加说明了极端气温研究的重要性。

5 未来平均气温背景下的气候极值概率预测

5.1 蒙特卡洛随机模拟

根据蒙特卡洛随机模拟方法^[13,14]，首先建立现代气候条件下全国各站逐日最高（低）气温的原始概率分布模型，模拟生成符合这种分布的随机序列，并对其统计特征进行精度检验。在此基础上，对各站或区域极值作未来气候情景模拟预测，根据均值或方差与分布参数之间的关系讨论未来气候的均值或方差发生改变后分布参数的变化，以此来研究全球变暖背景下，我国各区域极端气温概率分布型的变化。考虑到 Weibull 分布为指数型分布，它对不同形状的频率分布具有很强的适应性^[3]。本文用其作为逐日最高（低）温度的原始分布模型，试验表明，用该分布型拟合原始分布是适宜的。因此，若知道未来气候均值和方差的变化便可利用 Weibull 分布推测未来的原始分布，在此基础上，进一步利用 Gumbel 分布模拟预测未来气候情景下极端温度的概率特征及其变动。

5.2 极端气温对全球气温升高的响应

由于全球增暖并非完全均匀同步，各区域平均气温与全球平均气温增幅存在着一定的统计相关，而各地极端气温又与其平均气温具有某种局地相关关系^[10,15]。因此，针对我国各区可建立相应的的线性回归模型。计算结果表明，它们有高度显著的相关。与此同时，求得区域各站平均最高（低）气温和区域平均气温之间也有高度显著的相关，各区域内各站平均最高、最低气温的变化与区域平均气温的变化基本上是同步的，这与文献 [15] 的结果较为一致。显然，若知道未来全球（北半球）平均气温预测结果，结合各大区域对全球气候变暖的响应，就可推求各站未来气候平均状况变化趋势，在此基础上，利用随机模拟方法就可给出未来气候情景下的极端气温概率分布模型（分布），进一步估计未来极端气温的概率特征。限于篇幅，表 1 仅列出部分台站实际观测记录与模拟记录拟合的参数比较，其中年份是根据观测资料样本（45 年）客观地随机抽取的，因此具有较好的代表性。可见，运用随机模拟方法完全可以对各站逐日资料进行未来气候情景的预测。

利用单站资料模拟结果，按如前所述的区域极值选取方法，得到模拟的区域极值，对模拟结果同样用 Gumbel 分布进行拟合，并与区域实际拟合对比（表 2 为极端高温）。由表 2 可见，对模拟资料进行拟合得到的区域分布参数和原参数差别很小，且拟合优度也很高。其概率密度曲线有很好的一致性。极端低温区域模拟结果与极端高温区域类似，精度也很高（表略）。这说明用随机模拟方法对未来气候情景下的区域极端温度变化进行模拟预测是可行的。

表 1 部分测站 (逐日高温) 实际与模拟数据的原始分布拟合结果比较

站号	年份	尺度参数		形状参数	
		实际值	模拟结果	实际值	模拟结果
多伦	1997	5.3923	5.6116	66.0749	65.6542
松潘	1982	11.9427	12.0662	66.5371	66.6889
沾益	1987	19.3443	19.334	74.7275	74.8022
贵德	1984	8.0536	7.485	68.6239	68.2471
乌洽	1998	8.0463	7.7612	68.963	69.5231
宜昌	1977	8.9808	8.1624	75.6265	74.8905
信宜	1960	18.1366	17.1586	79.8358	79.6026
伊宁	1963	6.7136	6.7825	72.0609	71.9674
甘孜	1999	12.3039	12.8181	67.9493	67.8419
东胜	1967	5.1027	4.9281	65.6645	66.5028
南阳	1964	7.882	7.7982	73.4124	73.3105
索县	1987	10.3761	10.2975	63.1224	62.9787

表 2 极端高温区域实际与模拟数据拟合结果比较

区号	尺度参数		形状参数		标准偏差		相对误差		科尔莫戈洛夫检验优度	
	实际	模拟	实际	模拟	实际	模拟	实际	模拟	实际	模拟
1	36.967	37.047	1.117	1.168	0.250	0.225	0.004	0.004	0.605	0.609
2	38.010	38.010	0.966	0.952	0.376	0.242	0.008	0.004	0.832	0.644
3	38.280	38.330	0.611	0.591	0.142	0.115	0.00	0.002	0.576	0.470
4	39.091	39.055	0.811	0.835	0.308	0.264	0.006	0.004	0.988	0.533
5	38.137	38.122	0.922	1.026	0.204	0.26	0.004	0.004	0.620	0.461
6	38.636	38.606	0.753	0.860	0.140	0.227	0.002	0.004	0.584	0.70
7	35.925	35.829	0.506	0.560	0.142	0.131	0.00	0.002	0.492	0.505
8	41.422	41.58	0.841	1.183	0.288	0.340	0.004	0.006	0.598	0.740
9	27.397	27.459	0.645	0.727	0.153	0.205	0.004	0.004	0.936	0.509
10	35.501	35.447	0.910	1.20	0.224	0.281	0.004	0.006	0.603	0.727
11	38.915	38.874	0.875	1.035	0.242	0.289	0.004	0.005	0.737	0.473
12	20.730	20.761	0.651	0.667	0.129	0.151	0.004	0.005	0.463	0.472

5.3 区域极端温度变化的预测

假定未来北半球平均气温上升 1.0°C , 利用北半球平均气温与区域平均气温之间的线性回归方程及各站平均最高(低)气温与区域平均气温之间的线性回归方程, 即可求得各站和各区域极端气温上升幅度估计值, 如表 3 所示。与此同时, 利用随机模拟对区域内各站就可得到未来极端气温概率分布模型和区域的未来极端气温概率分布模型。

表 3 区域极端温度变化

区域	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
高温区	1.590	-0.014	0.876	1.525	1.313	0.574	1.535	1.631	1.043	2.840	1.371	1.167
低温区	0.554	2.921	2.408	0.836	0.103	2.023	1.426	1.350	2.675	1.510	1.167	-

表 4 列出了几个代表区域的极端高(低)温“现在”和“未来(预测)”参数的变化及所有各区域拟合或模拟的平均误差。由表 4 可见, 极端气温概率分布参数的当前值和未来(预测)值有一定的差异, 各区极端气温概率参数的变动并不完全同步, 且

与平均气候值的变化相比也不是线性的。与其对应的未来（预测）极值概率密度函数曲线特征的差异就更为明显而直观（从图 4~7 看得更为清楚）。

表 4 极端高温 (T_M) 与极端低温 (T_m) 区域拟合值及其精度评估

区号	尺度参数		位置参数		拟合平均标准差		拟合平均相对误差		科尔莫戈洛夫拟合平均优度	
	现在	未来	现在	未来	现在	未来	现在	未来	现在	未来
	3 区 (T_M)	38.280	38.901	0.611	0.604	0.410	0.389	0.017	0.012	0.676
5 区 (T_M)	38.137	39.452	0.922	0.932						
6 区 (T_m)	28.080	27.031	1.235	1.340	0.448	0.425	0.019	0.013	0.738	0.659
9 区 (T_m)	5.132	5.014	0.5341	0.562						

注：(1) 因篇幅所限，尺度、位置参数只抽选了几个代表区；

(2) 拟合平均标准差、拟合平均相对误差、科尔莫戈洛夫拟合优度是所有各区域的平均误差情况。

限于篇幅，本文省略了大量图表。这里图 4~7 举例绘出几个区的区域极值的概率密度图，从中可见一斑。纵观全国各大区域在未来全球变暖背景下的极值出现概率的变化，其响应特征并不相同，大致可归纳为以下几种类型：

(1) 增加型：尤以 3、4、5、7、9、10 区为显著，表现为右侧极值概率明显增加，高温极值的再现期缩短，危险率增加。这在大规模区域建设和农业生产规划中应当予以重视。(2) 稳定型：主要有 2、8 区，随全球气候变暖，区域极值特征比较稳定。(3) 减

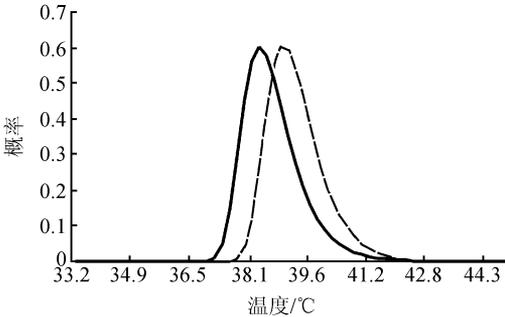


图 4 区域（日最高温）极值的概率密度变化（3区）
实线：现在；虚线：未来

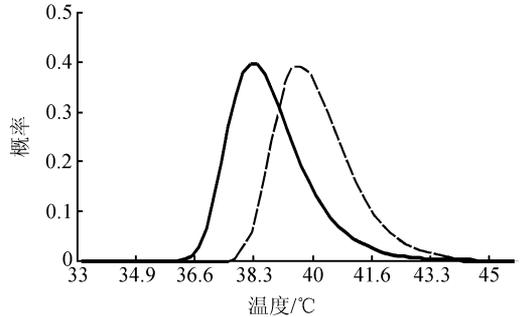


图 5 区域（日最高温）极值的概率密度变化（5区）
实线：现在；虚线：未来

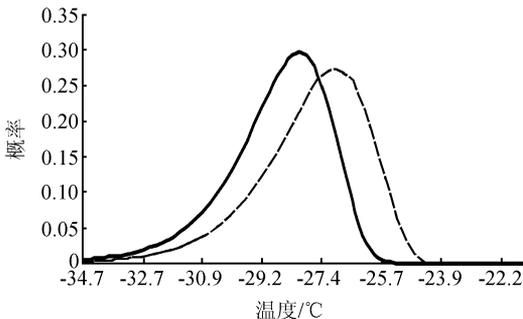


图 6 区域（日最低温）极值的概率密度变化（6区）
实线：现在；虚线：未来

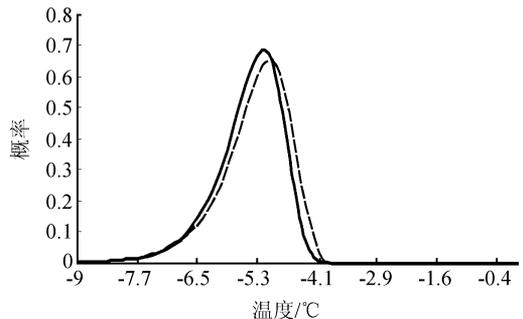


图 7 区域（日最低温）极值的概率密度变化（9区）
实线：现在；虚线：未来

小型: 1、6、10、11 区。表现为左侧概率增加, 高温极值的再现期延长。观察概率密度图还可看出, 现代气候条件下的极值概率密度曲线与未来模拟极值概率密度曲线其位置参数的变动所受影响较大, 但其形状并未发生变化, 这是因为仅作了均值升高的假定, 而方差并未改变。事实上, 我们也可考察均值升高, 方差有一定变化的气候情景下, 区域极端高(低)温概率的变动。尽管 Katz 等^[6]曾有较为详细的理论讨论, 但并未就如此大范围区域未来气候情景加以研究。同极端高温相比, 最低气温对气候变暖的响应非常明显。除了 5 区和 9 区的极值右侧概率增加不明显之外, 其他各区都表现为明显增加, 这也反映出我国冬季变暖显著的特点, 说明未来我国冬季极端气温上升的可能性将以增加为主, 未来几十年, 我国农业种植带有可能会继续北移, 这对于安排农业生产具有重要的意义^[16]。

6 结论与讨论

6.1 结论

(1) 引入参数的概率加权法, 利用 Gumbel 分布对我国极端气温的时空变化特征作当前与未来气候的模拟试验。结果表明, 这种方法具有较高的拟合优度, 且计算简便、有效性高, 并可代替极大似然法。在当前气候条件下, 50 年一遇气温极值的空间分布, 其冬夏季差异较大。夏季全国内陆大范围地区高温都有可能超过 35.0°C , 但其高温中心主要在我国东南部及新疆东北部和西南部, 这些地区都在 40.0°C 以上, 但除华南少数地方外, 受海洋性气候的影响, 沿海地区很少超过 40.0°C 。而冬季极端低温则低于 0°C , 表现出明显的纬度地带性, 极端低温由北向南递增, 气温的海洋性特征并不明显, 反映出我国冬季亚洲高压的作用是相当明显的。

(2) 利用适应性较强的 Weibull 分布拟合我国逐日高(低)气温的原始分布。并在此基础上借助于蒙特卡洛随机模拟可推测出未来平均气候情景下的极端高(低)气温概率分布及其特征。模拟试验表明, 在未来气候条件下, 若平均气温升高 1.0°C , 全国各大区域极端高(低)气温的概率有一定的变动规律可寻, 全国各大区域的变动各有特点, 并不同步。

6.2 讨论

(1) 本文仅仅考察了在气候均值改变的条件下, 未来气候极端值的概率预测问题, 证明这是一种可行的方案。但若同时考察气候均值和方差的变化, 对未来气候极端值进行概率性预测就更为完善了。但是, 由于两者之间具有相互影响, 最终使极端气候的变化较为复杂, 这里必须寻找气候方差对全球平均气候变化的响应特征, 才能作出有效的模拟, 因此, 该问题尚有待进一步研究, 作者将另文探讨。

(2) 如前所述, 对于单个测站采用逐年选取前 3 个最极端记录的平均值来表示该年度的极端气候值。经大量数据试验表明, 这样处理的优点在于, 取三个极端值的平均数作为其年极值, 可以减少因个别站点某一次观测的随机误差而造成的最终拟合误差, 因此, 这样拟合的 Gumbel 分布参数的精度高于取一个极端值的情况(表 5、6 分别给出了达到一定精度的区域数百分率和站数百分率)。由此所拟合的 Gumbel 分布的概率及其分位数的稳定性必然也优于取一个极值的情况。

表5 区域极值拟合分布检验对比（对区域极值而言）

	T_{\max}		T_{\min}	
	前3个最大(小)值	前1个最大(小)值	前3个最大(小)值	前1个最大(小)值
(1) 标准误差	83.5	27.3	8.3	0.0
(2) 相对偏差	100.0	27.3	41.7	18.2
(3) 科尔莫戈洛夫检验	100.0	100.0	50.0	27.3

注：精度标准：(1) <0.3 ；(2) <0.015 ；(3) <1.0 。

表6 单站极值拟合分布检验对比（对单站极值而言）

	T_{\max}		T_{\min}	
	前3个最大(小)值	前1个最大(小)值	前3个最大(小)值	前1个最大(小)值
(1) 标准误差	91.1	88.2	72.0	60.0
(2) 相对偏差	33.5	31.5	74.0	70.0
(3) 科尔莫戈洛夫检验	38.0	36.5	40.0	34.0

注：精度标准：(1) <1.0 ；(2) <0.01 ；(3) <1.0 。

(3) 对于区域极端值的选取，本文提出将“区域极值”定义为用区域内前三个极大(小)值的平均值来作为该区的区域极值。只是一种简化方法的尝试，不过这样处理效果还比较好。表5比较了取前3个最大(小)值与用第1个最大(小)值作为区域极值，两者效果差距明显。当然，对于区域上的某要素而言，严格地说从理论上，应将其看作为具有空间分布的多元变量的样本，这不但涉及到多元变量的极值分布问题，而且要考虑空间抽样问题。本文将一种复杂的多元变量样本简化为一元变量样本。既然是简化，必然可以有各种方案，本文只不过是其中的一种。实际上，这一问题已构成另一课题。由于问题的复杂性及篇幅所限，对此本文未能一一探讨。

参 考 文 献

- Meehl, G. A., T. R. Karl, D. R. Easterling et al., An introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2000, **81** (3), 413~416.
- Easterling, D. R., L. Evens, P. Ya. Groisman et al., Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2000, **81** (3), 417~424.
- 么枕生、丁裕国，气候统计，北京：气象出版社，1990，48~51.
- Leadbetter, M. R., G. Lindgren, and H. Rootzen, *Extremes and Related Properties of Random Sequences and Process*, Springer-Verlag, 1983, 336pp.
- Mearns, L. O., R. W. Katz, and S. H. Schneider, Changes in the probabilities of extreme high-temperature events with changes in global mean temperature, *J. Climate Appl. Meteor.*, 1984, **23** (2), 1601~1612.
- Katz, R. W. and B. G. Browns, Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages, *Climatic Change*, 1992, **21**, 289~302.
- Greedwood, J. A., Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distributions to Expressible in Inverse Form, *Water Resource*, 1979, **15** (5), 1049~1054.
- 丁裕国、唐鑫，我国冬半年局地气温对北半球增暖响应的特征分析，南京气象学院学报，1997，**20** (2) 259~264.
- 丁裕国、金莲姬、刘晶森，诊断天气气候时间序列极值特征的一种新方法，大气科学，2002，**26** (3)，344~351.

- 10 Karl, T. R., G. Kukla, V. N. Razuvayev et al., Global warming; evidence for asymmetric diurnal temperature change, *Geophys. Res. Lett.*, 1991, **18** (12): 2253~2256.
- 11 Landwehr, J. M., Probability Weighted Moments Compared with some Traditional Techniques in Estimating Gumbel parameters and Quantiles, *Water Resource*, 1979, **15** (5), 1054~1064.
- 12 曲延祿、閻書源、張程道, 我国近地面气温极值合地面最大风速极值的渐近分布, *气象学报*, 1988, **46** (2), 187~193.
- 13 徐钟济, 蒙特卡洛方法, 上海: 上海科技出版社, 1985, 1~50.
- 14 丁裕国、张耀存, 降水气候特征的随机模拟试验, *南京气象学院学报*, 1989, **12** (2), 146~154.
- 15 屠其璞、丁裕国、候淑梅等, 中国平均气温升高时极端温度的变化, *气候学研究——气候理论与应用*, 北京: 气象出版社, 1997, 128~134.
- 16 沈雪芳、丁裕国, 全球变暖对我国亚热带北界的影响, *南京气象学院学报*, 1996, **19** (3), 370~373.

Simulation Tests of Temporal-Spatial Distributions of Extreme Temperatures over China Based on Probability Weighted Moments Estimation

Ding Yuguo¹⁾, Liu Jifeng¹⁾, and Zhang Yaocun²⁾

1) (*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

2) (*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract The simulation tests of temporal-spatial distributions of extreme temperatures over China to now and future climate based on Probability Weighted Moment (PWM) are finished by using Gumbel distributions. PWM is effective and is proximate to the Maximum likelihood (MxL) parameter estimation method, with which calculation is simplified and the fitting precision is improved. Random simulation experimentations about the probability characteristics of extreme high and low temperature in the future climatic scenario are carried out by using Monte Carlo Method on the background of globe warming. The results show that the probabilities of high and low extreme temperature of different sub-regions have its response features to change in the future climatic scenario that the globe mean temperature rises 1°C.

Key words: extreme high (low) temperature; extreme-value distribution; Probability Weighted Moments (PWM); random simulation; climate warming