近 50 年中国气温、降水极值分区的时空变化特征*'

黄 琰1,2 封国林3 董文杰4

HUANG Yan^{1,2} FENG Guolin³ DONG Wenjie⁴

- 1. 中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室,北京,100029
- 2. 中国科学院研究生院,北京,100049
- 3. 中国气象局国家气候中心,北京,100081
- 4. 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院,北京,100875
- 1. Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China
- 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
- 3. National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China
- 4. College of Global Change and Earth System, Beijing Normal University, 100875, China

2009-06-18 收稿,2009-12-01 改回.

Huang Yan, Feng Guolin, Dong Wenjie. 2011. Temporal changes in the patterns of extreme air temperature and precipitation in the various regions of China in recent 50 years. Acta Meteorologica Sinica, 69(1): 125-136

Abstract Under the background of global warming, recently meteorological disasters and their evocable socio-economic losses have risen, since the extreme weather and climate events occurred frequently. For disaster prevention and reduction, it has guiding significance to deeply understand the characteristics of extreme air temperature and precipitation events which are closely related to the social life. This paper calculated the probability density values of extreme daily air temperature and precipitation through their percentile thresholds, and, based on the probability distribution of extreme values, the hierarchical clustering method was used to incorporate stations. Then the number of regions for the extreme meteorological elements in China was determined according to the stability of variation, and the serial numbers for the various regions were determined by their most probable daily temperature means and precipitation means. The temporal variation and characteristics of the probability distribution of the representative stations that were chosen according to their maximum similarity coefficient to the stations in the same region, were analysed. The analyses show that the spatial distributions of extreme minimum air temperature (except for summer), extreme maximum air temperature in winter, as well as daily precipitation in winter and spring are similar to the distributions of their annual climatic average values, which shows fair relationship with latitude and altitude, that is, latitude and altitude have the greatest influence on the spatial distribution pattern of extrema in spring and winter, respectively, whereas both have great influence in other two seasons; and the spatial difference of the extreme high/low values is mostly determined by altitude/latitude. It is also shown that extreme air temperature events more likely occur in spring and autumn; serious extreme high- and low-temperature events more likely occur in spring and winter over the northern part of China, and serious extreme high-temperature and precipitation events more likely occur in summer over the southeast of China. Compared between the extreme values of the two different climate states, in recent 30 years daily temperature has obviously risen in winter. And the first and second greatest increase in daily precipitation occurs in autumn and summer. The increase in the extremeness and probabilities of low-temperature events in four seasons (especially in winter) are obvious. And the probabilities of extreme maximum temperature in autumn and winter and extreme precipitation in winter are all increased. The increase in the extremeness of extreme precipitation events in four seasons occurs as

^{*} 资助课题:国家科技支撑计划项目(2007BAC29B01)和(2007BAC03A01)。

作者简介:黄琰,主要从事极端天气气候事件研究。E-mail: dandanhuangy@gmail.com

well. At the end of this paper, some suggestions of disaster prevention and reduction for the regions where serious extreme temperature and precipitation events more likely occurred were provided.

Key words Extreme temperature, Extreme precipitation, Probability distribution, Percentile threshold, Hierarchical clustering method

摘 要 在全球增暖背景下,当前极端天气气候事件频发,由此引发的气象灾害及其所带来的社会经济损失日益增加。深入 了解与社会生活密切相关的气温和降水极值的特征,对开展防灾减灾工作有指导意义。文中用百分位阈值求算变量极值的 概率密度值,从极值概率角度用系统聚类分析法合并站点,根据方差稳定性特征和变量最概然值的均值确定划分区域个数和 对区域编号。从各区挑选与同区站点相似系数最大的代表站,分析其极值概率分布时空变化特征,以此研究中国极端气温和 降水的空间分布随时间变化的情况。分析可知气温极小值在除夏季外的其他三季,极大值在冬季,日总降水量在冬、春季,其 极值空间分布特征与它们气候年均值的分布相似;极值分区形式与地形和纬度的相关性较大;春、冬季的纬度、海拔高度分别 对分区影响较大;其他两季两者都有较大影响;极大、极小值分区分别受海拔高度、纬度影响较大。由气温、降水的概率密度 曲线、方差及偏度系数可知春、秋季易发生极端高、低温事件;中国北方地区春、冬季分别易发生极端高、低温事件,夏季东南 部地区易发生较严重的极端高温和降水事件。对比 1960—1990 年和 1978—2008 年这两个气候态下的极值特征,发现近 30 年冬季增温最明显;秋季和夏季降水明显增加。全年极端低温的极端性和发生概率都有所增加,尤其是冬季;秋、冬季的极端 高温有所增加。极端降水的极端值和发生概率分别在四季和冬季有所增加。最后在易频发严重极端高、低温及降水事件的 季节和地区给出了防灾减灾建议。

关键词 极端气温,极端降水,概率分布,百分位阈值,系统聚类法 中图法分类号 P423

1 引 言

众所周知,全球气候正处在一个持续变暖的阶段,极端天气气候事件进入了一个频发期,由此造成 的气候灾害上升趋势明显,其所带来的社会经济损 失也日益增加。深入了解极端天气气候事件,尤其 是与社会生活密切相关的气温和降水极端事件的特 征,从而能有针对性的开展防灾减灾工作,这是一个 有着深刻社会意义的问题。

极端气候的强度、频率、持续性等特征参数的变 化本质上是其概率分布型态、气候序列内部结构变 化的反映。当前关于气候极值分布及其在未来气候 情景预测方面的应用已经成为一个新的研究热点。 Means等(1984)研究指出,气候要素原始分布的均 值变化可导致极值频率和强度呈非线性变化,即平 均气候的微小变化可能引发极端气候值频率的很大 变化;Katz等(1992)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(1999)指出,假定降水量拟合为 Γ 分布,不但平均值的变化会改变其方差,而且降水方 差的变化又会影响极端降水的频数,从而造成总降 水量增加时降水极值呈现非线性增大。丁裕国等 (2002)、程炳岩等(2003)对正态和非正态假设下的 交叉理论进行了研究,将其推广用于极值的诊断分析,对进一步开展极值特征量预报有重要价值。王 柏均等(1994)、孟庆珍等(1997)、粟珂等(2001)都曾 用各种概率模式研究了中国不同地区的气候极值特 征,并给出了其相应的概率密度参数方法。

研究表明,中国极端事件如极端高、低温的变化 同气温一样具有明显的区域特征;对中国极端事件 进行客观区划,研究不同区域极端事件的时空变化 特征,并掌握其变化规律,对中国开展防灾减灾工作 大有裨益。中国已对极端气温和降水事件的区划进 行了多方面的研究:秦爱民等(2005)采用分层聚类 和相似分析方法,将中国按季平均气温分为春季的 24 区、夏季 28 区、秋季 26 区以及冬季的 28 区;刘吉 峰等(2006)用聚类统计检验分析和旋转主分量分析 确定中心站的方法将中国极端高温和极端低温年际 变化分别划分为 12 和 11 个区域。向旬等(2008)用 REOF 和 CAST 聚类分析相结合的方法对全国热浪 指数和暖夜指数分别划分成了 11 个和 10 个变化区。

本文从极值概率分布的角度研究中国极端气温 和降水极大、极小值的分布及变化情况,试图给出它 们的季节区域划分方案,其中重点分析了日最低气 温极小值、日最高气温极大值和日总降水量极大值 的时空分布情况,并给出防灾减灾建议。 黄 琰等:近50年中国气温、降水极值分区的时空变化特征

2 数据与方法

2.1 数 据

本文从中国气象局国家气象信息中心气象资料 室的中国 756 个气象站气候日值数据集中,选取了 548 个从 1960 年 3 月至 2008 年 2 月无整月缺测值 的站点数据。

2.2 方 法

首先,按极大(极小)值的概率分布特征合并相 似站点,其次在同一类站点中挑选代表站点进行概 率分布特征分析。接下来求算各站点日平均气温、 日最高、最低气温和日总降水量这4个变量1960年 3月至2008年2月共48年各季的20百分位阈值 (1%—10%,90%—99%),分别作为表征极小值和 极大值概率分布特征的特征量。

本文选择用百分位阈值来描述极值,一是其数 学意义很明确,它可反映出变量的发生概率;二是它 的数学意义不受数据量大小的影响;三是百分位阈 值与变量的概率密度间有很好的对应关系(详见 2.2.3)。国内外许多学者及 IPCC 报告都将小于 10%(或大于 90%)百分位阈值的数值视为变量的 极小(大)值;因此,我们选取 1%—10%,90%— 99%这 20 个百分位阈值,将它们看作是变量极值的 20 个采样点进行研究。

2.2.1 站点聚类分析

利用系统聚类法(施能,2002)对 548 站四季的 20 个百分位阈值分别进行了极小值和极大值概率 分布特征的聚类分析,前 10 个百分位(1%—10%) 阈值作为极小值的表征量,后 10 个(90%—99%)为 极大值的表征量。本文将 *n* = 548 个站点看成 *m* = 10 维空间内的点,若两点间距离越近,说明这两点 性质越接近,可将其合并为一类。

采用欧氏距离作为相似性统计量;对 n = 548 个 站点的气温和降水量计算两两间的欧氏距离 d_{ij}。

$$d_{ij} = \sqrt{(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)^{\mathrm{T}} \cdot (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)} = \sqrt{\sum_{k=1}^{m} (x_{ik} - x_{jk})^2}$$
(1)

i;*j* 均取 1,2…*n*;*k*=1,2…*m*。本文采用 10 个百分位阈 值作为指标变量,*m*=10。*x*_{*k*}:第 *j* 个站点的第 *k* 个百 分位阈值。

为消除量纲影响,求算欧氏距离前先将各百分位 阈值在中国范围内进行标准化。

站点 i、j 间的距离系数表示为

$$D_{ij}^{2} = \frac{1}{2} (\overline{\mathbf{x}}_{i} - \overline{\mathbf{x}}_{j})^{\mathrm{T}} (\overline{\mathbf{x}}_{i} - \overline{\mathbf{x}}_{j}) = \frac{1}{2} d_{ij}^{2} \qquad (2)$$

显然,两站点的距离系数为欧氏距离平方的一半,因此 用距离系数组成的相似矩阵为

 $egin{pmatrix} D_{21}^2 & & & \ D_{31}^2 & D_{32}^2 & & \ dots & dots & dots & dots & dots & \ dots & dots & dots & dots & dots & \ dots & dots & dots & dots & dots & \ dots & dots & dots & dots & dots & \ dots & dots & dots & dots & dots & \ dots & dots & dots & dots & dots & dots & \ dots & \ dots & dot$

逐步聚类步骤:第1步,各站点各自成一类;第2 步,最相近的站点并成一类:若 $D_{ij}^2 = \min(D_{ij}^2)$,则第 *i* 个站与第 *j* 个站最相近,将它们合并成新类;第3步, 计算新类与其余各类的相似统计量。采用离差平方和 法计算各类之间的距离系数,这种设想来自方差分析, 分好类后,同类样本的离差平方和应当较小,类与类间 的离差平方和应当较大。

设n个站点分为 G_1 , G_2 ··· G_M 类,用 n_J 表示第J 类的样本数,先选择使 D_{JK}^2 为最小的 G_J 类和 G_K 类进行合并。合并前的两类间距离系数为

$$D_{J,K}^{2} = \frac{n_{J}n_{K}}{n_{J} + n_{K}} (\overline{\boldsymbol{x}}_{J} - \overline{\boldsymbol{x}}_{K})^{\mathrm{T}} (\overline{\boldsymbol{x}}_{J} - \overline{\boldsymbol{x}}_{K})$$
(3)

其中, x_J 和 x_{κ} 分别为 G_J 类和 G_{κ} 类的重心。L类与新 合并的 JK 类间的距离系数为

$$D_{L,JK}^{2} = \frac{n_{L} + n_{J}}{n_{L} + n_{J} + n_{K}} D_{LJ}^{2} + \frac{n_{L} + n_{K}}{n_{L} + n_{J} + n_{K}} D_{LK}^{2} - \frac{n_{L}}{n_{L} + n_{J} + n_{K}} D_{JK}^{2}$$
(4)

用式(4)计算得出的距离系数合并新类(L、J、K均取1, 2…M)。重复第2、第3步,直至站点合并成合适的分类。

2.2.2 代表站点选取

求各站 4 变量(日平均气温、日最高、最低气温和 日降水量)在 48 年不同季节里的 20 个百分位阈值,计 算所分好的各类内部站点间两两的相似系数,即将任 意两站点气温或降水的某一百分位阈值看成 n 维空间 的两个向量(n 为各类所含站点数),向量的夹角余弦即 为这两向量的相似系数;每站与同类其他站点的前 10 和后 10 个百分位阈值的相似系数分别为极小值和极 大值概率分布特征分区的相似指标。最后确定与同类 其他站点的相似系数总和最大的站点为该类的代表站 点。

第1步,求各站4变量在48年不同季节的20个百 分位阈值。

第2步,计算各变量在不同季节里同类站点间的 相似系数。本文采用夹角余弦和马哈拉诺比斯距离相 结合的综合指标作为相似系数的指标变量

$$f_{ij} = \cos\theta_{ij} + \frac{1}{1+D_{ij}}$$
 $i,j = 1,2\cdots n_g$ (5)

其中, $-1 \leq f_{ij} \leq 2$,其值越大说明变量越相似, n_g 为第g类的站点个数。

夹角余弦为

$$\cos\theta_{ij} = \frac{\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{T}} \cdot \boldsymbol{x}_j}{\|\|\boldsymbol{x}_i\|\|\|\|\boldsymbol{x}_j\|\|} = \frac{\sum_{k=1}^{l} x_{ik} x_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{l} x_{ik}^2 \sum_{k=1}^{l} x_{jk}^2}} \quad (6)$$

马哈拉诺比斯距离为

$$D_{ij}^{2} = (\mathbf{x}_{i} - \mathbf{x}_{j})^{\mathrm{T}} \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_{i} - \mathbf{x}_{j}) = \frac{1}{2} d_{ij}^{2}$$
(7)

其中,S⁻¹为协方差矩阵的逆矩阵

$$\boldsymbol{S} = (s_{ij}) \tag{8}$$

$$s_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{t}^{n} (x_{it} - \overline{x}_{i}) (x_{jt} - \overline{x}_{j})$$
(9)

其中 *i*、*j* 均取 1,2…*l*;*l* 为相似指标个数,这里取 *l*=10, 意为 10 个百分位阈值。

分析各区代表站各变量极大、极小值的概率分布 曲线时空变化情况,即可大致了解中国地区极端气温 和降水概率分布的时空变化特征。

2.2.3 概率密度曲线求算

Variance

Bonsal(翟盘茂等,2003)提出一种百分位阈值的求 算方法

$$F = \frac{m - 0.31}{n + 0.38} \tag{10}$$

n 为气象要素序列 $\{X\}$ 的个数;m 为按升序排列的气象 要素序列 $\{x_1, x_2 \cdots x_n\}$ 中 x_m 的序号 $(m=1, 2 \cdots n);$ 而F定义为变量 X 的某个观测值小于等于 x_m 的概率。 由式(10)可知,变量 *X* 的某个观测值不大于 x_m 的 概率可表述为 *X* 落在区间($-\infty$, x_m]上的概率,因此 有 $F(x) = P\{X \leq x\}(-\infty < x < \infty)$,即 F(x)为变量 *X* 的分布函数。因此百分位阈值反映的是按升序排列的 变量 *X* 序列的分布函数在 $X = x_m$ 点上的值。

通过求算百分位阈值可确定变量 X 的分布函数 曲线。再对该曲线求一阶导数即可得该变量概率密度 p(x)的曲线。本文采用 5 点式差分方案(最小和最大 两个百分位阈值用 2 点式和 3 点式的差分方案)求分 布函数曲线的一阶微商。

经研究,在小于10%和大于90%百分位阈值的范 围内,用差分方案求出的概率密度值可用指数函数进 行拟合,计算值和拟合值间的相关系数基本维持在0.9 以上。

通过以上分析可知,百分位阈值与变量概率密度 之间有很好的对应关系,百分位阈值为变量分布函数 的离散形式,而变量的概率密度曲线可由分布函数曲 线求导得出。因此,通过离散点的差分方法,可用百分 位阈值求算出变量的概率密度值。

3 气温、降水极值概率特征区域的划分

分析在聚类过程中各类的组内方差和组间方差及 其差值随类数的变化曲线可知(以日降水量极大值为 例,图1),气温3变量(即日平均气温、日最高气温和日 最低气温3个变量)和日降水量在分类数≥10时,组 内、组间方差及两者差值趋于稳定,且此时每类所包含 的站点数都不小于5,各类空间分布区域的界线也较明 显,因此,本文将中国区域按气温和降水量的极值特征 划分为10个区域。



图 1 日降水极大值组内(Intra.)、组间(Inter.)方差(a)和方差差(b)曲线 Fig. 1 Curves of the intraclass and interclass variance (a) and their differences (b) for extreme maximum values of daily precipitation

黄 琰等:近50年中国气温、降水极值分区的时空变化特征

依据各区域所有站点最概然气温或最概然降水量 的平均值大小,将各区域按该均值从大到小的顺序排 序编号。

统计物理学认为,宏观物质系统的特性是大量微 观粒子运动的集体表现,宏观物理量是相应微观物理 量的统计平均值。为研究系统的宏观特性,只要知道 各个微观状态出现的概率就可用统计方法求微观量的 统计平均值。玻耳兹曼提出的等概率原理认为,对于 处在平衡状态的孤立系统,系统各个可能的微观状态 出现的概率是相等的。根据这一原理,统计物理学中 将微观状态数(该分布下系统所有可能出现的微观状 态的总数)最多的分布,出现概率最大,称为最概然分 布。本文将"最概然"这一概念引用到宏观状态量中, 将逐日气温观测值看作"微观粒子",它们集体的表现 可在其均值上体现。最概然温度就是最有可能出现的 气温值。本文研究的变量样本个数达不到热力学系统 微观状态数的水平,但本文中的最可能分布在很大程 度上也能体现系统的平衡分布——均值的特征,因此 从这个意义来说,分类排序后的各变量区域气候均值 随着区域序号的增大而减小。

4 气温、降水概率分布空间变化特征

极端天气气候事件所引发的气象灾害常在日最高 气温极端大值、日最低气温极端小值,以及日降水量极 端大值出现的情况下发生。因此本文在简要分析气 温、降水4个变量极值分布特征的同时,重点研究以上 3个变量的极值情况,以此深入了解中国地区由于气 温、降水极值的出现所可能引发的气象灾害的时空变 化。

气温、降水常因其数值达到或超过受灾体的承受 阈值后才能引发社会经济损失,而这一承受阈值在某 区域一段时期内是比较确定的,因此,本文以固定阈值 来判断灾害是否发生。

本文将各站点用系统聚类法分类,求算各类间的 欧氏距离,合并距离小的两类站点,直至将所有站点分 成10个类,即将中国地区分成10个区域,各变量四季 的站点分类——极值特征区域划分见图2—图4。





Fig. 2 Regionalization maps of probability distribution of extreme

minimum values of daily minimum temperature(a. spring, b. summer, c. autumn, d. winter;

the representative station for each region is marked with black rectangle frame)



图 3 同图 2 但为日最高气温极大值 Fig. 3 As Fig. 2 but for extreme Max values of daily max temperature





对比同季节气温3个变量划分的区域(以日最低 气温极小值(图 2)和最高气温极大值为例(图 3)可看 出:气温3个变量极大、极小值的空间分布特征都较 为相似;气温3个变量的极小值在春、秋、冬三季,以 及气温三变量的极大值在冬季,气温从南至北呈与纬 圈近乎平行的带状分布形式,说明在这些季节同纬度 地区的气温极值特征相近,其气候平均值最小值区在 内蒙古东北部及黑龙江地区:这些特征与气温气候年 平均值的分布(图 5a)特征很相似。气温极小值在夏 季,极大值在春、夏、秋三季,中国 35°N 以北地区大致 呈由南向北递减的带状分布特征;35°N以南地区则 是呈东南向西北递减的片状分布;气温气候平均值最 小区域在青藏高原东北部;其中日最高气温极大值在 夏、秋两季的气候平均值最大区域分别出现在长江下 游地区以及华南地区,而不是如其他变量和季节那样 出现在纬度最低的海南和华南沿海地区。

日降水量极大值在四季沿(40°N,120°E)— (30°N,100°E)—线以西北的整个西北地区都有相类 似的降水概率分布特征(图 4),呈东南向西北递减的 带状分布形式,其中冬、春季的气候平均值最小的区 域包括了绝大部分西北、东北地区,而在夏、秋两季,



两类较特殊的站点区域划分:

中国东部邻海的辽东半岛、渤海湾沿岸、山东半岛及浙江地区一些濒海城市的气温、降水极值常出现与同纬度内陆地区不相近的情况(即属于不同分区),这些站点很可能是受到了海洋气候的影响。

气温分区中,中国中部及东南部地区常出现一 些与周围站点不属同一分区的孤点,这些孤点基本 上都为与相邻站点的海拔高度相差 1000 m 左右的 高山观测站,而其所在区划的其他站点海拔高度则 与之相近。



图 5 日平均气温(a)和日降水强度(b)气候(1971-2000年)年平均值分布 Fig. 5 Distribution of the annual mean values of daily mean temperature (a) and precipitation intensity (b) for 1971-2000

本文用各站所属区域的编号与其海拔高度、纬度 求相关,发现气温、降水的分区与站点的地形和纬度相 关程度较大(表1)。与纬度相关程度最好的是日最低 气温的极小值(相关系数0.67—0.98),而秋季是气温、 降水4变量与纬度相关性最高的季节(相关系数 0.89—0.98),相关程度最差的是日最高气温的极大值 及各变量的冬季极值;与海拔高度相关程度最好的是 日平均气温极大值(相关系数0.72—0.89)和冬季的各 变量极值(相关系数0.72—0.97),日平均气温极小值和 春季各变量极值则与海拔高度的相关性最差。

Table 1 Correlation coefficients between the distribution regions of temperature (precipitation) and latitude/altitude										
	纬度				海拔高度					
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季		
日平均气温极小值	0.9005	0.7456	0.9622	0.7265	0.2969	0.7941	0.8141	0.9662		
日最低气温极小值	0.8960	0.6782	0.9820	0.8439	0.3656	0.8872	0.8877	0.9706		
日平均气温极大值	0.5515	0.8403	0.9288	0.5679	0.7224	0.8946	0.8864	0.8467		
日最高气温极大值	0.4291	0.7497	0.8960	0.3661	0.6794	0.8665	0.8473	0.7276		
日总降水量极大值	0.7630	0.6304	0.8906	0.7457	0.5411	0.8440	0.8553	0.8432		

气温、降水分区与纬度和海拔高度的相关系数 表 1

总体上冬季各变量极值分区与纬度的相关性不 如与海拔高度的高:夏、秋两季纬度和海拔高度对变 量的极值分区都有较大影响,其中海拔高度的影响 更大些;而在春季海拔高度对分区的影响较弱。纬 度对极小值分区的影响大于海拔高度的影响,而对 极大值分区则正相反。

5 气温、降水概率分布时间变化特征

5.1 气温、降水概率分布的季节变化

用气温、降水4个变量48年(1960-2008年)的 数据求算及绘制了4个季节不同区域的极大、极小值 概率密度分布曲线,曲线的横坐标为各极值与最概然 气温、最概然降水间的差值,极小值为≤10%的百分 位阈值,极大值指≥90%的百分位阈值(图 6)。

从以上气温极值概率分布曲线可看出,总体来 说,气温气候均值越大的区域其曲线斜率越大,从 1%到10%(或90%到99%)百分位阈值的温度取 值范围也越大,而曲线与最概然温度间的差值则越 小;这说明中国东南部地区温度极值(固定阈值)发 生的概率较大,而极值与气候平均值间的差值较小, 即较易出现高(低)温事件,但极端程度较低,所引发 的灾害严重程度较低;而在中国西北部、北部地区发 生极端高(低)温事件的概率较小,但一旦发生,所引 发的灾害严重程度较大。对降水量极大值来说,降 水气候均值越大的区域其曲线斜率越小,而90%到 99%百分位阈值的降水量取值范围则越大,曲线与



图 6 春季各变量极值概率密度分布曲线

(a. 日平均气温极小值, b. 日最高气温极大值, c. 日最低气温极小值, d. 日降水量极大值) Fig. 6 Probability density distribution curves of the extreme values of daily variables in spring (a, c. extreme minimum values of daily average temperature and minimum temperature; b, d. extreme maximum values of daily maximum temperature and precipitation)

最概然降水量间的差值也越大;这反映了中国东南 部地区降水量极大值发生概率大,且极端程度大,即 不仅易发生极端降水事件,而且极端事件引发的灾 害也较严重。

各变量极值分布曲线随季节的变化特征本文通 过曲线的方差、偏度系数来揭示。

表 2 各季气温、降水极值的标准差 Table 2 Standard deviations of the temperature and the precipitation in four seasons

	春季	夏季	秋季	冬季
日平均气温极小值	6.5231	2.6895	6.8573	4.3845
日平均气温极大值	6.2728	2.6971	6.8159	4.2294
日最高气温极大值	6.4556	3.4417	7.3686	5.3651
日最低气温极小值	6.2771	2.5534	6.8438	4.6437
日总降水量极大值	11.6961	16.7304	14.2917	4.5698

从表2看出,秋季是气温3个变量方差最大的 季节,接下来依次是春季、冬季和夏季。这一特征表 现为春、秋季极值概率分布曲线与最概率温度间的 差值大,这两季发生极端高、低温事件所引发的灾害 较为严重;日最高气温极大值和日最低气温极小值 也是如此,所以在这春、秋季由于气温骤升骤降而引 发的高、低温事件所产生的灾害较为严重。

夏季是日总降水量方差最大的季节,接下来依次是秋季、春季和冬季。实际上夏季正是中国东部 主要河流汛期,常出现比其他季节降水值更大的极 端降水事件,进而可造成巨大经济损失和人员伤亡。

许多科研工作者研究指出,中国许多地区的气 温日值不严格遵从正态分布,这种峰点偏离平均值 的现象可用气温时间系列的偏度系数来表述。偏度 系数(黄嘉佑,2004)是用来衡量随机变量分布密度 曲线形状的参量,它描述的是曲线峰点对期望值偏 离的程度。若偏度系数为正值,说明密度分布曲线 的峰点在平均值的左方,反之亦反。

通过分析各区域各季节各要素的偏度系数变化 情况(图7),可发现春、夏、秋三季气温极值分布曲 线的峰点多数出现在平均值右方,而冬季则多出现 在平均值左方;说明春、夏、秋三季的气温极小值偏 离最概然温度较大,极端低温的极端程度比极端高 温的要大;而在冬季,极端高温比极端低温的极端程 度更大些。





(a. 日平均气温极小值, b. 日最高气温极大值, c. 日最低气温极小值, d. 日降水量极大值)

Fig. 7 Seasonal mean change curves of the skewness coefficient of daily temperature and precipitation

(a,c. extreme minimum values of daily average temperature and minimum temperature;

b.d. extreme maximum values of daily maximum temperature and precipitation)

气温在不同区域分布曲线的偏度系数与区域编 号大都呈正比趋势,即越往中国的西北部内陆地区, 分布曲线峰点越向左偏,说明气温极大值的极端程 度有所增加,极端低温的极端程度则有所减少;而春 季日最低气温极小值概率分布曲线的偏度系数与区 域编号呈反相关,即春季极端低温的极端程度在中 国西北地区比中国东南部地区要大。

日总降水量分布曲线峰点明显处于平均值左 方;而从中国东南部地区向西北内陆深入,降水极大 值的极端程度有所减少;但在春、夏季,这种极端程 度的南北差异不明显。

5.2 气温、降水概率分布在不同气候态下的变化特征

将四季各变量在各区域代表站的最概然温度、 最概然降水求平均(图略),可看出除冬、春季的最概 然降水几近没变外,其他各变量在四季的最概然温 度、降水都是增加的;其中以冬季气温增加得最多, 其次是春、秋季,夏季增温最少;最概然降水在秋季 增加最大,其次是夏季。

由于气温、降水的气候均值在近 30 年都有所增 大,在研究其极值分布时,首先要去除气候均值增大 的因素。因此本文通过研究极值与最概然分布之间 的差值,从而将均值变化的影响剔除掉。图 8 中的 曲线也就是用此法绘出的不同气候态下极值与最概 然分布之差的变化值。

分别求各变量各季区域代表站在 1960—1990 年和 1978—2008 年这两个时间段的极值概率分布, 并绘出分布曲线(图 8,其他变量图略),由此对比在 1960—1990 年和 1978—2008 年这两个气候态下气 温、降水概率分布的变化情况,最终得出在气候变暖 大背景下气候态的极值概率变化。





Fig. 8 Probability density distribution curves of the daily average temperature on the different climate backgrouns for Region 9 in winter (a. extreme minimum values, b. extreme maximum values; dashed line:1960—1990, solid line:1978—2008)

从两个气候态下各变量不同季节的标准差的差 值曲线可知(图略),除春季日最高气温极大值及夏 季日降水量极大值的标准差在近 30 年中有所增加 外,其他变量的极值标准差都在减小;这反映出春季 极端高温和夏季极端降水的极端性很可能在增加, 其引发的灾害可能会更严重。

两气候态下各季节4个变量的偏度系数变化曲 线(图略)表明,在近30年,日最高气温极大值在春、 夏、秋三季的偏度系数都有所增加,冬季则是减小; 日最低气温极小值的偏度系数在夏季增加较明显, 在其他季节的变化不明显;这说明在春、夏、秋三季, 日最高气温极大值和极小值的极端性差异正在缩 小;而冬季这种差异在增大。在夏季,日最低气温极 大值与极小值的极端性差异也在缩小,而在其他三 季这种差异变化不大。降水量极大值的偏度系数只 在夏季增大,其他季节都减小,说明只有夏季降水量 极大值与极小值之间的极端性差异在增大,而其他 季节这种差异在减小。

求各个极值相对于最概然分布的偏差在两个气 候态下的差值,即可了解极值的发生概率以及极端 性的变化情况(图 9)。

从上图可知,日最高气温极大值相对最概然温度的偏差在春季有所增加,在秋、冬季减少,而在夏季增幅不大;其概率值的气候变化值只在冬季有所增加,春、夏季则减少,秋季的增幅不大。这说明春季极端高温的极端性在增加,而在秋、冬季其极端性是减少的;冬季高温事件的发生概率在增大,春、夏季的发生概率在秋、冬季有所增加,在春、夏季减少,其极端性则正相反,其中夏季的极端性和秋季的发生

概率变化很小。日最低气温极小值与最概然分布差 值的气候变化值在四季都为正,其中又以冬季的变 化最大,而其概率值在春、夏、冬季都增大,只在秋季 减少,其中在冬季变化最大;这表明四季极端低温的 极端性都在增大,而除秋季外,低温事件的发生概率 都在增大,其中冬季极端低温的极端性和发生概率 的增幅都是最大的。降水量极大值与最概然分布的 差值在四季都有所增大,其中夏季增幅最大,即全年 极端降水的极端性都是增大的;而极端降水的概率 值在冬季增大,秋季减小,春、夏季则少变。



图 9 不同气候态下日最高气温极大值与最概然温度之差的差值曲线(a. 气温, b. 概率密度) Fig. 9 Difference curves of the difference values between extreme temperature of daily maximum temperature and the most probable temperature on the different climate backgrounds (a. temperature, b. probability density)

6 结 论

本文选取 548 个站点的日平均、最大、最小气温 及日降水量数据,用聚类分析方法按概率分布特征 合并相似站点,并从中挑选代表站,分析其概率时空 分布特征,从而大致了解中国各区域极端气温和降 水概率分布的时空变化特征。最终全国按气温和降 水量的概率分布特征划分为 10 个区域。

气温3个变量极值空间分布特征较为相似;其极小值在春、秋、冬三季,极大值在冬季,从南至北呈与纬圈近乎平行的带状分布形式;而在其他季节中国35°N以北地区大致呈由南向北递减的带状分布,35°N以南地区呈东南向西北递减的片状分布。日总降水量的极大值在各季沿(40°N,120°E)至(30°N,100°E)一线以西北的地区都有较类似的降水概率分布形式,呈东南向西北递减的带状分布特征;在此线以东南的地区,大致呈一个东南一西北向递减的片状分布。

存在两类特殊站点:中国东部临海一些濒海城 市的气温、降水极值特征常与同纬度内陆地区不相 近;中国中部及东南部地区常出现一些海拔高度与 周围站点相差很大因此不属同一分区的孤点。

气温、降水的分区形式与中国地形和站点的纬

度相关性较大。在春季纬度对极值分区的影响较 大;夏、秋两季纬度和海拔高度都对分区有较大影 响,而海拔高度的影响更大些;在冬季极值分区与海 拔高度的相关性高。纬度对极小值分区的影响较 大,而海拔高度与极大值分区的相关性较高。

通过对各区代表站极值概率密度曲线的对比, 以及对数据标准差和曲线偏度系数的分析可知,中 国东南部地区较易出现极端高、低温事件,北方地区 发生极端高、低温事件的概率较小,但一旦发生,所 引发的灾害严重程度较大。春、秋季由于气温骤升 骤降会引发较严重的高、低温事件。春、夏、秋三季 较易发生极端高温事件,冬季则较易发生极端低温 事件。一般情况下,越往中国北方内陆地区,极端低 温的发生概率越大,极端高温的发生概率就小,但在 春季的情形正好相反。中国东南部地区易发生极端 降水事件,且极端事件引发的灾害也较严重;从中国 东南部地区向西北内陆深入,秋、冬季降水极大值的 极端程度有所减少,而在春、夏季,其极端程度的南 北差异并不明显。夏季极端降水事件所引发的灾害 严重程度最高。

分析各变量的最概然气温、降水值,发现它们在 近 30 年都在增加,冬季气温增幅最大,夏季气温增 幅最小;秋季降水增加最明显,其次是夏季,而冬、春 季的降水增幅很小。

气温、降水前后 30 年的极值相比,极端高温事件的发生概率在秋、冬季有所增加,在春、夏季减少, 而其极端性则正相反,其中夏季的极端性和秋季的 发生概率增幅很小。四季极端低温的极端性都在增 大;除秋季外,低温事件的发生概率也都在增大,其 中极端低温的极端性和发生概率的增幅在冬季都是 最大的。降水量极大值的极端性在四季都有所增 大,其中,夏季增幅最大;而其概率值在冬季增大,秋 季减小,春、夏季则少变。

通过上述分析可知:春、秋两季易出现气温骤升 或霜冻、寒潮等极端天气。从极值发生概率上看, 夏、秋两季中国东南部地区易发生极端高温事件,春 季则相反;而冬季在西北、北部地区更易发生极端低 温事件。从极值的极端性上看,中国西北、北部地区 的高、低温事件出现频率低,但极端性高,危害大,这 些地区春季需防气温骤升,冬季防冰雪冻害,而东南 部地区更需在夏、秋两季防高温热浪。中国东南部 地区极端降水事件发生频率较高,且所引发的灾害 严重程度较大,尤其在夏季,易发生强度很大的暴雨 洪涝灾害,需在夏季做好防汛抗涝的准备。随着气 候的变暖,极端低温事件的发生概率和极端性明显 增加,尤其是在冬季,因此冬季的低温冷(冻)害在中 国绝大部分地区都是要重点防范的灾害。四季极端 降水的极端性都有所增大,尤其在夏季,极端降水引 发的灾害严重程度增大,而在冬季极端降水则明显 增多,因此夏、冬季防洪涝、冻雨暴雪灾害将是防灾 减灾工作的重中之重。在今后的防灾减灾工作中, 在相应的季节和地区应该做好各种高温热浪、低温 冷(冻)害、洪涝灾害的防范措施,以减少气候变化对 气温、降水极值概率分布的影响引发的更为严重的

气象灾害所造成的损失。

致谢:感谢支蓉博士和郑志海博士对本文提出了有意 义的修改意见。

参考文献

- 程炳岩,丁裕国,汪方. 2003. 非正态分布的天气气候序列极值特 征诊断方法研究. 大气科学,27(5):920-928
- 丁裕国,金莲姬,刘晶森. 2002. 诊断极端天气气候时间序列极值特 征的一种新方法. 大气科学, 26(3): 343-351
- 黄嘉佑. 2004. 气象统计分析与预报方法. 北京:气象出版社, 18
- 栗珂,赵东,杨碧轩等.2001.中国西北大旱年发生概率的统计推断. 高原气象,20(1):66-70
- 刘吉峰,李世杰,丁裕国等. 2006. 近几十年我国极端气温变化特征 分区方法探讨.山地学报,24(3):291-297
- 孟庆珍,张杏敏. 1997. 成都地面最低气温年极值的渐近分布. 成都 气象学院学报, 12(2): 130-138
- 秦爱民,钱维宏,蔡亲波. 2005. 1960~2000 年中国不同季节的气温 分区及趋势. 气象科学, 25(4): 338-345
- 施能. 2002. 气象科研与预报中的多元分析方法. 北京:气象出版 社, 221-231
- 王柏均,陈刚毅. 1994. 新近极值理论在气候极值降水预测中的应用.成都气象学院学报,9(1):30-34
- 向旬,王冀,王绪鑫等. 2008. 我国极端气温指数的时空变化与分区 研究. 气象, 34(9): 73-80
- 翟盘茂,潘晓华. 2003. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化. 地理学报,58(增刊):1-10
- Groisman P Ya, Karl T R, Easterling D R, et al. 1999. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change. Clim Change, 42: 243-283
- Katz R W, Browns B G. 1992. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. Clim Change, 21: 289-302
- Mearns L O, Katz R W. 1984. Extreme high-temperature events in their probabilities changes in mean temperature. Clim Appl Meteor, 23(2): 1601-1613