

Temporal and Spatial Variation of High Temperature Weather in Recent 50 Years in Altay Area of Xinjiang Province

Songzhu Bai

Altay Area Meteorological Bureau of Xinjiang, Altay
Email: bai1009@sina.com

Received: Oct. 25th, 2012; revised: Nov. 19th, 2012; accepted: Nov. 26th, 2012

Abstract: Based on the more than 35°C high temperature data (1961-2010) from 7 meteorological stations in Altay of Xinjiang province, the spatial-temporal variations of high temperature weather have been analyzed by Empirical Orthogonal Function, Mann-Kendall Mutation detection and Wavelet Analysis. The results show that the high temperature have emerged from May to September in Altay area, the most in July (an average of 8.7 d). The high temperature throughout the area mainly has the spatial distribution patterns of “whole consistency” and “mountain-plain area difference”. The fluctuation of high temperature was strongest in the end of 1990’s, then in 1960’s, the weakest was in 1980’s and a climate abrupt change happened in 1974. Wavelet analysis shows that temporal coefficient of the first two eigenvectors had significant characteristics of low frequency oscillation and the period scales changed with the time.

Keywords: Spatial-Temporal Variation; Empirical Orthogonal Function (EOF); Wavelet Analysis; High Temperature Days

新疆阿勒泰地区近 50a 高温日数的时空变化特征

白松竹

阿勒泰地区气象台, 阿勒泰
Email: bai1009@sina.com

收稿日期: 2012 年 10 月 25 日; 修回日期: 2012 年 11 月 19 日; 录用日期: 2012 年 11 月 26 日

摘要: 利用新疆阿勒泰地区六县一市 7 个气象站 1961~2010 年间 $\geq 35^\circ\text{C}$ 高温日数资料, 通过经验正交函数分解、Mann-Kendall 突变检验、Morlet 小波分析方法, 对阿勒泰地区高温日数的时空变化及低频振荡特征进行了研究。结果表明, 阿勒泰地区高温天气在 5~9 月均有出现, 7 月份最多(平均每年 8.7 d), 空间分布以全地区一致增加为主, 部分年份还呈现山区、平原差异分布。高温日数波动在 20 世纪 90 年代末以后最为剧烈, 其次在 60 年代, 在 80 年代最稳定; 气候突变发生在 1974 年。对时间系数进行小波变换发现, 前两个特征向量的时间系数均具有显著的周期振荡特征, 周期尺度也随时间的变化而变化。

关键词: 时空变化; 经验正交函数分解; 小波分析; 高温日数

1. 引言

近年来, 在全球变暖的大气候背景下, 高温天气频繁出现, 高温会带来影响, 尤其是夏季用水用电的需求量急剧上升, 造成供需矛盾, 严重影响生活和生产。极端的高温对人体的生理和心理都会带来种种不利, 轻则影响正常的工作效率, 重则造成中暑甚至死

亡。持续的高温天气对植物的生长发育和产量的形成, 以及畜、禽、鱼类等动物养给人民生活 and 工农业生产都可造成损害, 还会引发大面积干旱, 使江河断流、水库干涸, 城市供电供水和农业用水趋于紧张等^[1]。目前国内的气象学者对高温天气的研究已经取得了很多有意义的成果, 王鹏翔等^[2]用百分位值法定

义了中国西北五省(区)100 个台站的极端高温阈值,统计出了逐站极端高温事件的发生频次,指出一致性异常分布是西北年极端高温事件发生频次的最主要空间模态。孙燕等^[3]研究指出南京高温日数异常偏多时,南亚高压异常偏东、偏北,副高异常偏西、偏北,出现了纬向上“相向而行”的趋势。姬兴杰等^[4]采用气候统计学分析方法,分析了 1971~2010 年河南省夏季 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 高温日数的时空特征及可能的变化趋势,指出河南省夏季 3 个等级高温日数在空间上呈现出豫西北高海拔和豫东南低海拔地区较多,其它地区较少的分布特征,高值中心位于豫西地区的偃师附近,在时间上无显著的线性变化趋势。何慧等^[5]分析发现广西年高温日数的地域分布由河谷向丘陵山区递减,具有明显的局地性特征;广西西部春季高温发生频繁,年极端最高温度出现在春季。史军等^[6]分析了上海夏季高温和冬季低温的气候变化特征,认为上海高温日数表现为少-多-少-多的年代际变化,1960~2007 年上海每年高温日数与当年夏季副高面积和强度指数显著正相关,高温日数与夏季降水量弱显著负相关。辛渝等^[7]指出北疆高温天气的分布主要受垂直地带和纬度地带性控制,出现在盆地和天山北坡,高温天气高发区年高温日数与高温强度变化趋势不显著,而次发区以及高发区的边缘地区年高温日数或极端最高气温有显著增加,高温天气发生的范围

有扩大趋势。

阿勒泰地区位于新疆最北部,准噶尔盆地北沿,地形复杂,有高山丘陵、河流湖泊、沙漠戈壁。整个地势东北高、西南低,自东北部向西南至额尔齐斯河和准噶尔盆地急剧倾斜。北部到东部是阿尔泰山脉,呈西北东南走向,西南部为萨吾尔山脉,呈东西向;在阿尔泰山和萨吾尔山之间,是横贯该地区四县(哈巴河、布尔津、富蕴、福海)的额尔齐斯河和乌伦古河;南部为准噶尔盆地和盆地北沿的戈壁沙漠。阿勒泰是我国六大林区之一,森林面积达 47.6 万公顷。全地区草场可利用面积 723.9 万公顷,占全疆草场面积的 14.3%。本文对阿勒泰地区近 50 年来高温日数的时空分布特征进行了分析,对阿勒泰地区高温日数的时空变化及低频振荡特征进行了研究,以期对阿勒泰高温天气的时空变化有更多的认识,为深入了解阿勒泰地区极端气候变化规律、提高极端气候的预测水平、指导农牧业生产、防灾减灾等提供一定的科学依据。

2. 资料与方法

选取阿勒泰地区完整的 7 个国家级基准和基本气象站 1961~2010 年的逐日最高气温资料,定义某日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 为一高温日。本文以 1971~2000 年 30a 平均值作为气候平均值进行资料的距平统计。研究区域的地形地貌和气象站点分布见图 1 所示。

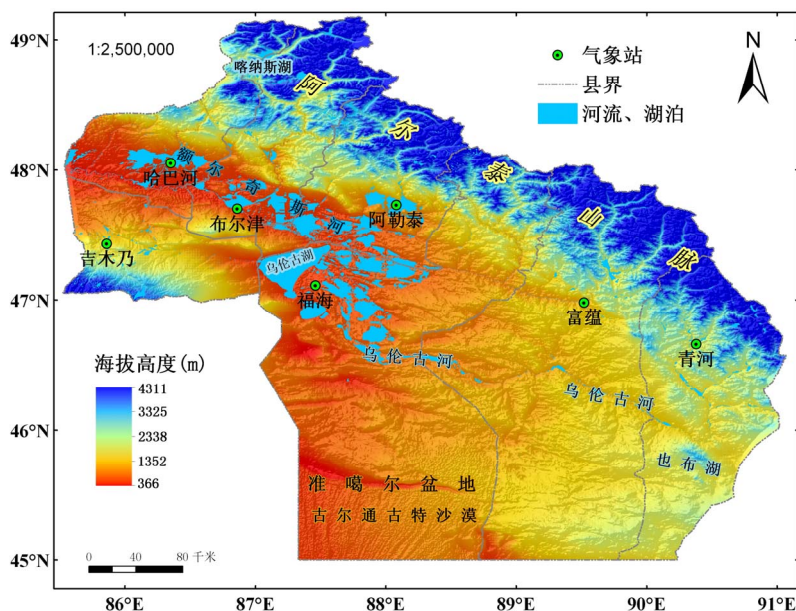


Figure 1. The topography and meteorological station distribution in Altay region of Xinjiang Province
图 1. 新疆阿勒泰地区地形地貌和气象站点分布

2.1. 经验正交函数(EOF)

经验正交函数(EOF)分析是大气科学领域常用的时空分析方法^[8], 可用于提取气象要素长时空变化的优势信号。它既能保留原始数据提供的绝大部分信息, 又能起降维作用, 有效浓缩空间场信息。假设气象要素在 m 个站点的 n 次观测资料用矩阵 F_{ij} 表示 ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$), 利用 EOF 方法将 F_{ij} 分解成:

$$F_{ij} = \sum T_{jk} X_{ki} \quad (1)$$

式中, T_{jk} 为分解后的时间函数; X_{ki} 为分解后的空间函数。当取 $k=m$ 个特征向量场时, 该气象要素场可得到完全的描述。由于 EOF 方法的收敛速度很快, 故取前几个特征值较大的特征向量即可充分描述展开要素场的主要特征^[9]。

2.2. Mann-Kendall 突变检验

Mann-Kendall 法作为检测突变的一种方法, 计算简便, 可以明确突变开始的时间。它是世界气象组织(WMO)推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的一种方法, 在水文、气象时间序列变化趋势检验中得到广泛应用^[10,11]。

对于平稳随机序列 $X_i(1 \leq i \leq N)$, 构造统计量

$$U(d_k) = \frac{d_k - E[d_k]}{(Var[d_k])^{1/2}} \quad (2)$$

式中 $d_k = \sum Mi$, Mi 是 1 至 i 之间小于 X 的样本数, 即 $Mi = \{X_j: j < i \text{ 且 } X_i < X_j\}$ 。 $E[d_k]$ 为均值, $Var[d_k]$ 为方差。在原序列随机平稳假设下, d_k 的分布渐进正态, $U(d_k)$ 则为标准正态分布。其概率 a 可以通过计算或查表获得。给定显著水平 a_0 , 若 $a > a_0$, 则接受序列无变化的原假设; 若 $a < a_0$, 则拒绝原假设。把 $U(d_k)$ 沿时间轴绘成曲线 C1, 而后再将序列反向, 计算出 $U(d_k)$, 绘成曲线 C2, 若 C1 与 C2 交叉点位于置信区间内, 则认为序列产生了突变, 且这个交点就是突变的开始点。反之, 则认为没有产生突变^[12,13]。

2.3. Morlet 小波分析^[14]

Morlet 小波分析可以用于获得一个特定地区高温天气的振荡强度(振幅大小)及周期信号的强弱。Morlet 小波(实部)变化系数的大小代表某一尺度波动振幅的

大小, 反映它所对应时段时间尺度的周期性是否显著, 小波系数正负分别表示该时段要素为偏多期和偏少期, 小波系数零值线, 对应要素气候突变(转折)期。小波变化是在傅立叶(Fourier)变换的基础上引入窗口函数, 允许把一个时间序列分解为时间和频率的贡献, 它对于获取一个复杂时间序列的调整规律, 诊断出气候变化的内在层次结构, 分辨时间序列在不同尺度上的演变特征等是非常有效的。

小波函数形式如下:

$$f(t) = e^{i^2 \pi t} e^{-\frac{(2\pi)^2 t^2}{k_\phi^2}} \quad (3)$$

文中函数 $f(t)$ 即为高温日数, 文中 Morlet 小波变换边界处理方法如下:

设资料序列为 $f(1), f(2), \dots, f(n)$, 两端分别延伸原序列长度个数据, 则

$$f(k) = \begin{cases} f(-k-1) & k = -1, -2, \dots, -N+1 \\ f(k) & k = 1, 2, \dots, N \\ f(2N-k+1) & k = N+1, N+2, \dots, 2N \end{cases} \quad (4)$$

当子波变换完成后, 去掉两端的子波变换系数, 只保留原有资料所对应的子波分析系数即可。显然这种处理方法使增加的数据与原有序列具有相同的性质, 使边界部分的性质不产生歪曲现象。但如果刚好资料序列在边界附近性质发生了突变, 用这种方法所得结果与实际情况必将产生很大的差异。

3. 结果与分析

3.1. 高温日数的年、月际变化特征

表 1 是 1961~2010 年阿勒泰地区 7 个测站的逐日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的高温日数的统计资料。福海县高温

Table 1. The annual average number of high-temperature days and extreme value distribution in Altay region
表 1. 阿勒泰地区历年平均高温日数及极值分布

	平均高温日数(d)	最多高温日数 (出现年份)	最少高温日数 (出现年份)
哈巴河	3.1	13 (1974)	0
吉木乃	0.6	4 (2004)	0
布尔津	2.6	16 (1974)	0
福海	5.3	18 (1974)	0
阿勒泰	1.3	7 (1962)	0
富蕴	4.2	14 (2002)	0
青河	0.3	5 (2004)	0

日数出现最多的年份是在 1974 年, 为 18 d, 为全地区最多, 最少年份为 0 天(1985, 1993, 1994); 布尔津县高温日数出现最多的年份是 1974 年(16d), 出现最少的年份是 1985、1993 和 1994 年(0 d); 多年平均高温日数最多的仍然是福海县, 平均每年发生 5.3 d, 其次是东部的富蕴县, 平均每年发生 4.2 d, 高温天气发生最少的是青河县, 平均每年 0.3 d。

高温天气主要发生在 5~9 月, 9 月和 5 月最少, 平均每年不到 1 d, 6 月平均每年 2.9 天(占 17%), 7 月平均每年 8.7 d(占 50%), 8 月平均每年 5.5 d(占 32%)。高温天气最早发生在 5 月中旬(2004 年 5 月 18 日哈巴河、布尔津、福海三站均出现), 最晚发生在 9 月上旬(2010 年 9 月 2 日哈巴河、福海两站均出现)。

3.2. 高温日数的空间分布特征

运用 EOF 分析方法对阿勒泰地区 1961~2010 年的高温日数距平资料进行分解, 特征向量的方差贡献率及累积方差贡献率见表 2。由表 2 可见, 特征向量的空间分布存在显著差异, 说明年高温日数的距平变化地区间差异很大。EOF 分析所得到的前几个特征向量收敛很快, 的第 1、2 特征向量所占的方差贡献率分别为 78.3%、12.9%, 前两个特征向量占总方差的 91.2%, 根据 North 等^[15]的经验判据, 仅截取其前 2 个空间分量, 就能基本上代表阿勒泰地区近 50 年来高温日数的整体空间结构, 其余空间分量方差贡献均较小, 不再继续分析。

3.2.1. 第 1 特征向量场分布特征

在空间分量图上某点的荷载值表明了该点高温日数距平与其对应的主成分序列间的相关程度。若该点荷载值的绝对值愈大, 则该点高温日数愈易明显偏多或偏少, 变化愈敏感; 反之亦然^[16]。阿勒泰地区高温日数第 1 特征向量场的空间分布特征占总体方差的 78.3%, 明显大于其后的第二特征向量场, 说明第 1

Table 2. The variance contribution rate of high-temperature days anomaly field from EOF (%)

表 2. 高温日数距平 EOF 分析特征向量的方差贡献率(%)

序号	1	2	3	4	5	6	7
方差贡献率	78.3%	12.9%	4.2%	1.8%	1.5%	0.6%	0.7%
累积方差贡献率	78.3%	91.2%	95.4%	97.2%	98.7%	99.3%	100.00%

特征向量场已反映了阿勒泰地区年高温日数距平场信息的主要整体空间异常特征。从第 1 特征向量场的分布(图 2)可以看出, 在全地区内特征向量均为正值, 一致性很好, 这与文献[7]的结论一致, 表明尽管阿勒泰地区地形复杂, 气候差异很大, 但高温日数的空间分布仍有很好的 consistency, 即在同一天气系统控制之下, 出现高温天气的步调一致。第 1 特征向量自西向东呈低 - 高 - 低分布, 高值区位于高温高发区福海, 中心值为 0.605, 低值区主要出现在西部的吉木乃和东部的青河, 这种空间分布特征主要是受地形影响的结果, 由于福海位于阿勒泰地区南部, 古尔班通古特沙漠北缘, 天气进入时影响福海的时间较早。

总体上, 阿勒泰地处中温带大陆寒冷气候区, 大多数高温天气的形成, 主要是进入 6 月后, 由于西太平洋副热带高压加强北上西伸; 也有少数情况是高空受到暖性高压脊控制, 中低层在南疆有暖中心的存在^[17], 地面气压较低, 形成高温天气。

3.2.2. 第 2 特征向量场空间分布特征

图 3 为阿勒泰地区高温日数 EOF 分解的第 2 特征向量场。此特征向量场等值线有正有负, 自西向东仍然呈低 - 高 - 低分布。其中, 正值区域包括西部的吉木乃, 北部的阿勒泰和东部的富蕴、青河, 高值中心在富蕴; 负值区域包括西部的哈巴河、布尔津和南部的福海, 低值中心在福海。这种空间分布特征表明,

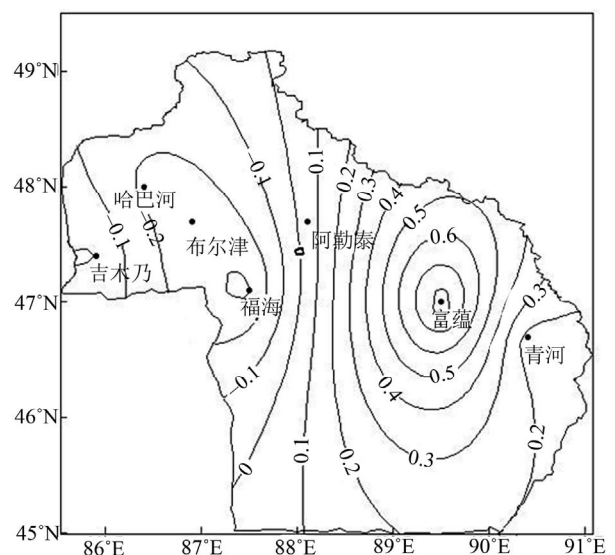


Figure 2. The first eigenvector of high-temperature days from EOF in Altay region
图 2. 阿勒泰地区高温日数 EOF 第 1 特征向量场

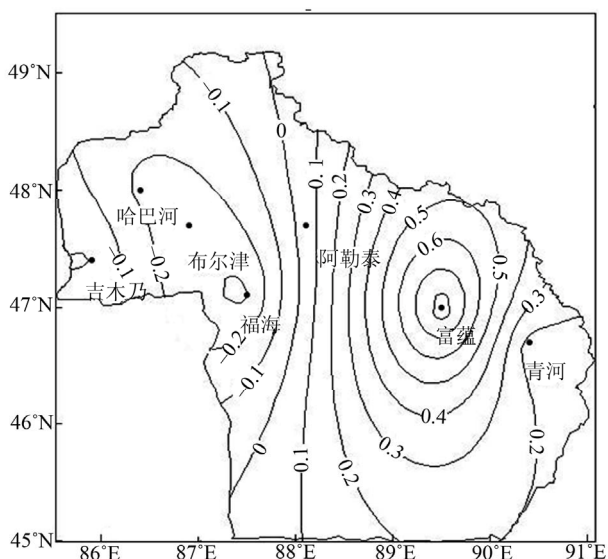


Figure 3. The second eigenvector of high-temperature days from EOF in Altay region
图 3. 阿勒泰地区高温日数 EOF 第 2 特征向量场

高温日数变化在全地区总趋势一致的情况下，又在上述正负值区域之间呈反位相变化。由于第 2 特征向量的方差贡献占总方差的 12.86%，这种反位相变化特征是可信的。

3.3. 高温天气的时间变化特征

3.3.1. 第 1 特征向量场时间变化特征

由第 1 特征向量场对应的时间系数变化曲线见图 4(a)。时间系数有正有负，有 21 年出现正值，其中在 20 世纪 60 年代有 4 年，平均值为 6.99；70 年代有 4 年，平均值为 6.96；80 年代有 2 年，平均值为 1.23；90 年代有 6 年，平均值为 8.96。时间系数为负值的有 21 年，其中 60 年代有 6 年，平均值为 -5.69；70 年代全部为负值，平均值为 -4.23；80 年代有 8 年，平均值为 -4.82；90 年代有 5 年，平均值为 -4.61；2001~2010 年有 3 年，

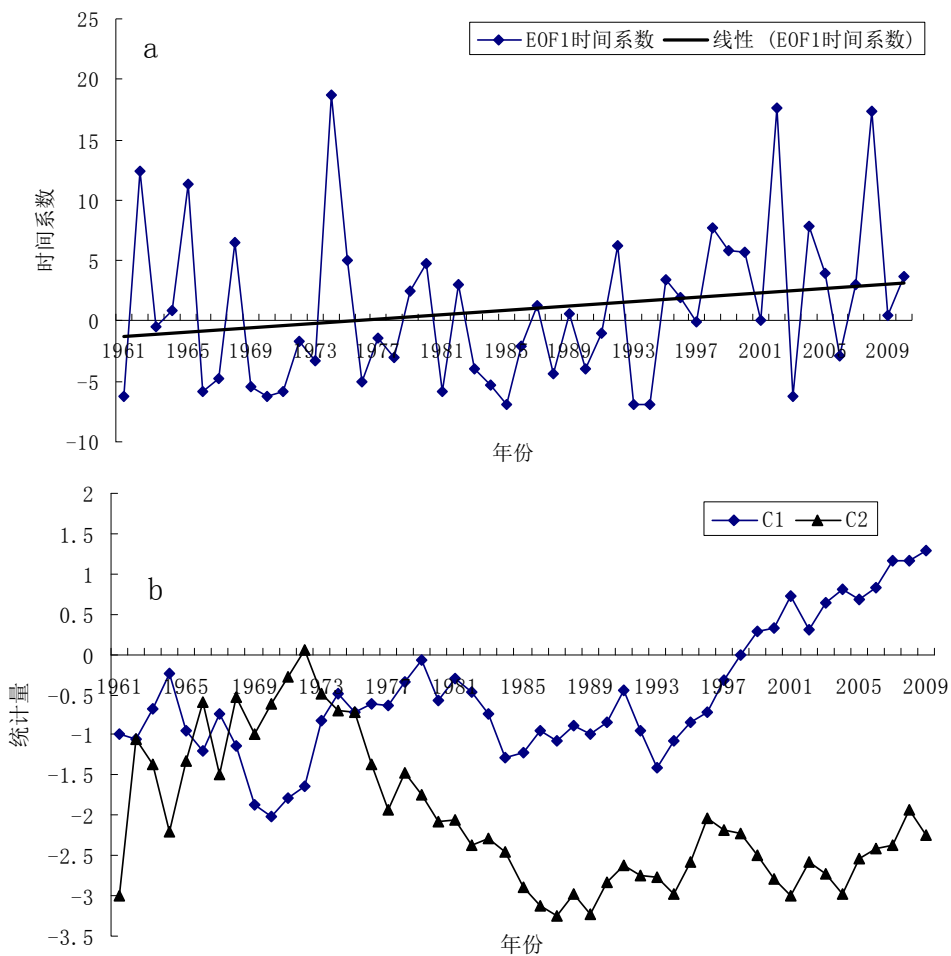


Figure 4. The time coefficient of the first eigenvector (a) and M-K check curve (b)
图 4. 第 1 特征向量时间系数变化曲线(a)及 M-K 突变检验(b)

平均值为-3.94。从时间系数的正负值出现年数及平均值来看,阿勒泰地区高温日数波动在 20 世纪 90 年代末以后最剧烈,其次为 60 年代,在 80 年代最稳定。对时间系数序列作 Mann-Kendall 突变检验,发现高温日数在 1974 年发生了突变(见图 4(b))。从第 1 特征向量的时间系数变化曲线可以看出,在全球变暖的大背景下,阿勒泰地区高温天气有增加的趋势,而且这种极端天气的年际振荡在 90 年代末以后变得更加剧烈。

3.3.2. 第 2 特征向量场时间变化特征

第 2 特征向量的时间系数表征的是阿勒泰地区高温日数场河谷平原区与其他山区差异的变化程度,其绝对值越大,差异越显著,反之则差异不显著,并且当对应的时间系数为正时,正值区高温日数比第 1 特征向量模拟值要高,负值区则要低;时间系数为负时情况正好与此相反。

阿勒泰地区高温日数第 2 特征向量的时间系数变化曲线见图 5(a),可见时间系数的绝对值在 20 世纪 60 年代到 80 年代初期最小,80 年代后期初开始时间系

数一直在较高位振荡。对该时间系数序列进行 Mann-Kendall 检验(图 5(b))发现,时间系数在 1984 年前后发生突变,之前时间系数多为负值,之后多为正值。表明这种差异在 1984 年后开始更加趋向于显著。

3.4. 时间系数的周期分析

图 6 为第 1 特征向量时间系数的 Morlet 小波系数实部。图中横坐标为年份,纵坐标为时间系数的周期。正值表示高温日数偏多期,负值表示高温日数偏少期,零值对应着突变点。等值线的疏密及绝对值大小反映了高温天气的振荡强度(振幅大小)及周期信号的强弱,高温日数越多、年际间变化越大,则实线越密集,反之虚线越密集。分析表明,阿勒泰地区高温日数大体经历了“多-少-多”的交替演变,其中 60 年代至 70 年代中期高温日数偏多,70 年代中后期至 2000 年高温日数偏少,2000 年以后高温日数又进入一个偏多期,1975 年发生了由多到少的突变,2000 年发生了由少到多的突变,至今尚未形成正值闭合中心,预计阿勒泰地区高温日数增多趋势还将持续。

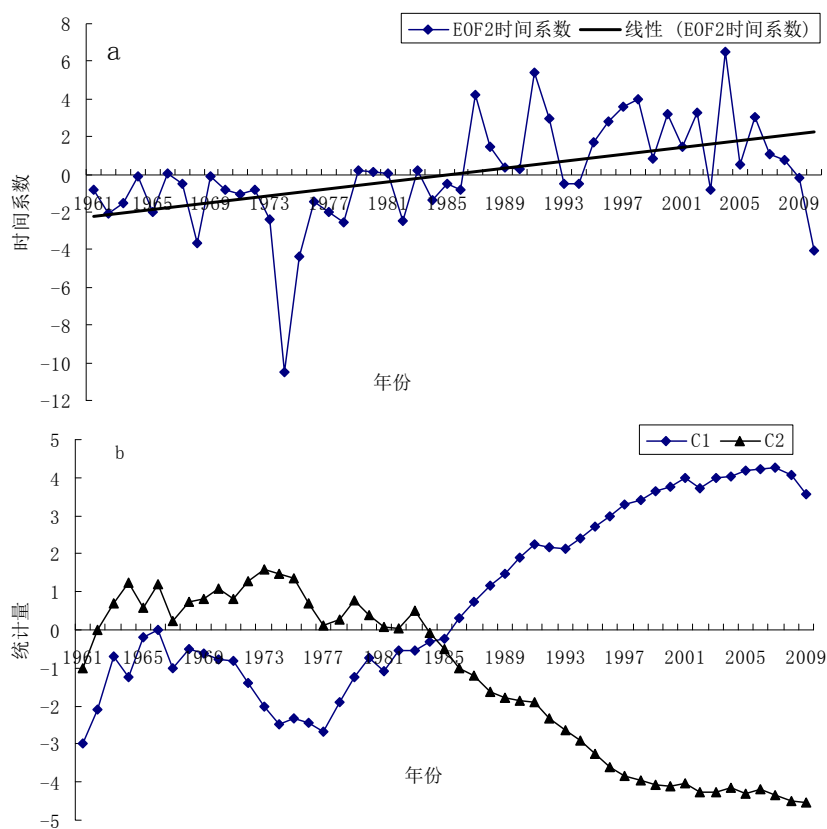


Figure 5. The time coefficient of the first eigenvector (a) and M-K check curve (b)
图 5. 第 1 特征向量时间系数变化曲线(a)及 M-K 突变检验(b)

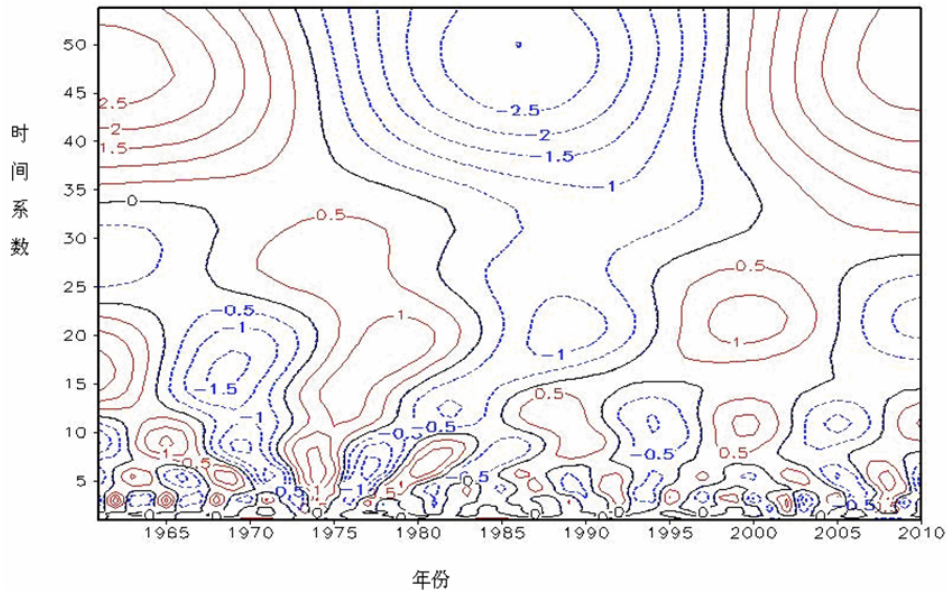


Figure 6. Isoline chart of Morlet wavelet transformation coefficients of the time coefficient for EOF1 of high-temperature days
图 6. 高温日数 EOF1 的时间系数小波系数实部

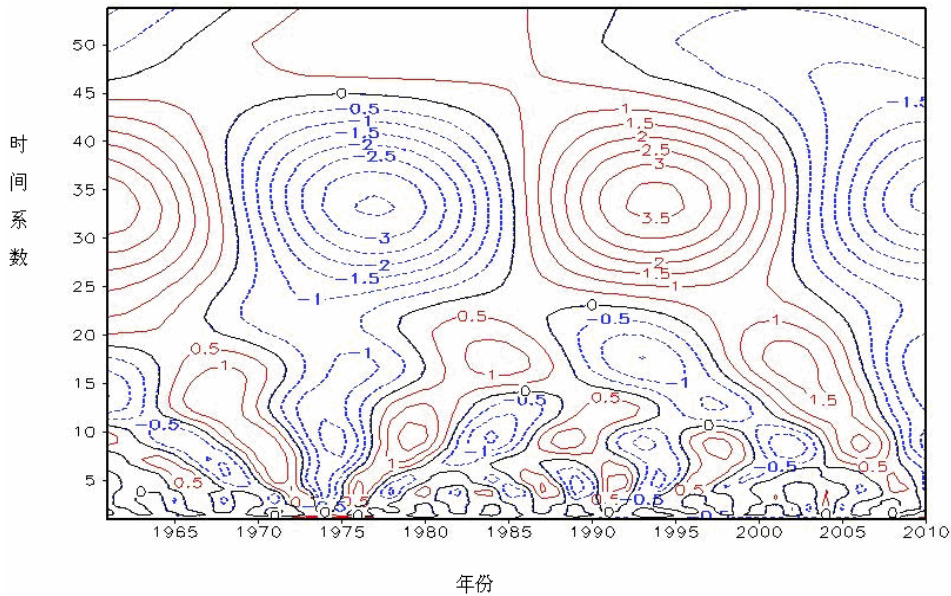


Figure 7. Isoline chart of Morlet wavelet transformation coefficients of the time coefficient for EOF2 of high-temperature days
图 7. 高温日数 EOF2 的时间系数小波系数实部

由图 6 可见，近 50 年第 1 特征向量时间系数序列，17~22 年的年代际尺度的周期最为明显且贯穿始终，但该尺度的周期有逐渐延长的趋势，20 世纪 60 至 70 年代周期为 17 年，70 年代末至 90 年代初增至 20 年，90 年代以来延长至 22 年。5~6 年的周期也较明显，另外，80 年代中后期至 2010 年 12 年的周期也有所显现。

图 7 为第 2 特征向量时间系数的 Morlet 小波系数

实部。分析表明阿勒泰地区高温日数河谷平原区与其它山区的差异经历了“大 - 小 - 大 - 小”的交替演变，60 年代初至 60 年代后期地区差异大，60 年代后期至 80 年代中期地区差异小，80 年代中后期至 21 世纪初地区差异大，21 世纪至今地区差异小，而且至今尚未形成闭合中心，预计阿勒泰地区高温日数地区差异仍将处于偏小时期。第 2 个特征向量的时间系数主要存在 3~5 年、10 年、16 年以及 32 年的周期。

4. 结论

阿勒泰地区高温天气在 5~9 月均有发生, 9 月和 5 月最少, 7 月最多(占 50%)。福海县为全地区最多, 其次是布尔津县; 多年平均高温日数最多的仍然是福海县, 平均每年发生 5.3 天, 其次是东部的富蕴县, 平均每年发生 4.2 天, 高温天气发生最少的是青河县, 平均每年 0.3 天。

阿勒泰地区高温天气主要受大尺度天气系统控制, 空间分布以总体一致型为主, EOF 第 1 特征向量的方差贡献率达到 78.3%; 同时由于受地形影响, 高温天气还存在着山区、平原差异的空间分布, 这种分布的方差贡献率占 12.9%。这两种空间分布型的累积方差贡献率为 91.2%, 基本上反映了阿勒泰地区高温天气的主要空间分布特征。

从第 1 特征向量的时间系数来看, 高温 EOF-1 时间系数波动在 20 世纪 90 年代末以后最剧烈, 其次为 60 年代, 在 80 年代最稳定。Mann-Kendall 突变检验发现高温日数在 1974 年发生了突变。表明在全球变暖的大背景下, 阿勒泰地区高温天气有增加的趋势, 而且这种极端天气的年际振荡在 90 年代末以后变得更加剧烈。第 2 特征向量时间系数在 1984 年前后发生突变, 之前时间系数多为负值, 之后多为正值。

阿勒泰地区高温日数大体经历了“多-少-多”的交替演变, 预计阿勒泰地区高温日数增多趋势还将持续, 高温日数地区差异仍将处于偏小时期。近 50a 中第 1 特征向量时间系数存在 17~22 年的周期且贯穿始终, 但该尺度的周期有逐渐延长的趋势, 20 世纪 60 至 70 年代周期为 17 年, 70 年代末至 90 年代初增至 20 年, 90 年代以来延长至 22 年, 5~6 年的周期也

较明显; 第 2 个特征向量的时间系数存在 3~5 年、10 年、16 年以及 32 年的周期。

参考文献 (References)

- [1] 秦鹏, 杜尧东, 刘爱君. 广东省 40 多年来高温天气的时空变化特征[J]. 广东气象, 2008, 30(2): 13-15.
- [2] 王鹏翔, 杨金虎. 中国西北近 45a 来极端高温事件及其对区域性增暖的响应[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 649-655.
- [3] 孙燕, 濮梅娟等. 南京夏季高温日数异常的分析[J]. 气象科学, 2010, 30(2): 279-284.
- [4] 姬兴杰, 朱业玉, 顾万龙等. 1971-2010 年河南省夏季高温日数的变化趋势分析[J]. 灾害学, 2012, 27(3): 59-63.
- [5] 何慧, 陆虹, 徐圣璇. 广西高温日数的时空特征及其变化[J]. 气象研究与应用, 2010, 31(1): 46-49.
- [6] 史军, 崔林丽, 田展. 上海高温和低温气候变化特征及其影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(12): 1143-1148.
- [7] 辛渝, 陈洪武等. 新疆北部高温日数的时空变化特征及多尺度突变分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25(3): 439-445.
- [8] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [9] 李广霞, 刘雪峰等. 辽宁省气温与降水时空变化特征分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(32): 18337-18342.
- [10] S. Yue, P. Pilon and G. Cavadias. Power of the Mann Kendall and Spearman's rho test for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 2002, 259(1-4): 254-271.
- [11] V. de P. R. da Silva. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, 2004, 58(4): 575-596.
- [12] 张家宝, 史玉光. 新疆气候变化及短期气候预测研究. 北京: 气象出版社, 2002: 49.
- [13] 白松竹, 李春芳等. 近 45 年 5~9 月阿勒泰地区强降水气候变化趋势与突变特征[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(1): 84-87.
- [14] 刘蕊, 杨青. 新疆雨季降水的小波分析及其与 ENSO 的相应关系[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(5): 15-19.
- [15] G. R. North, L. B. Thomas and R. F. Cahalan. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Monthly Weather Review*, 1982, 110(7): 699-706.
- [16] 郭渠, 孙卫国, 程炳岩等. 重庆近 48 年来高温天气气候特征及其环流形势[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(1): 52-59.
- [17] 齐贵英, 潘雪梅. 福海、富蕴两站高温天气气候特征和环流特征对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(5): 52-54.