

全球变化背景下新疆和田地区近半个世纪 极端气温变化特征分析

武胜利^{1,2}, 刘强吉^{1,2,3}, 胡雪瑛^{1,2}, 潘 蕾^{1,2}, 夏诗书^{1,2}, 夏 黎^{1,2}, 虞游毅^{1,2}

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 新疆师范大学, 乌鲁木齐 830054; 3. 新疆师范大学 继续教育学院, 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 对新疆和田地区 1960—2013 年的极端气温进行研究, 以期为该地区短期气候预测、生态环境安全以及灾害控制提供科学依据。通过累计距平法、滑动平均、一元线性回归趋势法、Mann-Kendall 突变检验法及 Morlet 小波分析法, 对该地区极端气温变化特征进行了分析, 以探讨该地区气温变化的事实。结果表明: 近 54 年来和田地区极端低温、极端高温分别以 $0.48^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ($p < 0.01$) 和 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ($p < 0.01$) 的速率呈明显的上升趋势。极端低温自 60 年代以来呈现波动上升趋势; 极端高温变化幅度较大, 自 60 年代前期下降后波动上升, 70 年代后期至 80 年代初下降, 之后波动上升, 90 年代末以来先下降后波动上升。极端低温、高温四季呈明显的上升趋势, 均为秋季变化幅度最大, 对年变化的贡献最大。年均极端高温在 1997 年发生突变, 年均极端低温突变现象不明显。该区极端气温上升明显, 向暖湿化方向发展。

关键词: 新疆和田地区; 极端气温; 趋势变化; 突变检验; 小波分析

中图分类号: P412.11

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)05-0209-06

Characteristics of Extreme Temperature Changes in Hotan Region Under Global Changes

WU Shengli^{1,2}, LIU Qiangji^{1,2,3}, HU Xueying^{1,2}, PAN Lei^{1,2}, XIA Shishu^{1,2}, XIA Li^{1,2}, YU Youyi^{1,2}

(1. College of Geographical Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources, Urumqi 830054, China; 3. Continuing Education Institute, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: The minimum and maximum temperatures in four national primary standards of the ground meteorological stations in Hotan region of south Xinjiang from 1960—2013 were examined to provide a scientific basis for short-term climate prediction, ecological environment security and disaster control. In order to analyze trends of the extreme temperature, the cumulative method, the method of monadic linear regression, and the Mann-Kendall mutation and Moler wavelet analysis method were used to analyze the temperature changes in the region. The results showed that: the minimum and the maximum temperature elevated obviously at the approximately $0.48^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ($p < 0.01$) and $0.19^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ($p < 0.01$), respectively, in Hotan Region in recent 54 years. The minimum temperature had fluctuated upward trend since the 1960s. Since the early 1960s, the maximum temperature fluctuations increased after the fall; in the late 1970s and the early 1980s, the maximum temperature trend wave rose, about the late 90s, it increased after the first drop in fluctuations. The minimum and maximum temperature presented the rising trend, variation was significant in the autumn and the contribution to the annual change was the largest. The annual mutation of maximum temperature occurred in 1997, but mutation phenomenon did no exist for minimum temperature. According to the study, it is found that the future development of the basin will be warm and wet.

Keywords: Hotan Region of Xinjiang; extreme temperature; trend analysis; mutation test; wavelet analysis

收稿日期: 2016-09-10

修回日期: 2016-11-08

资助项目: 国家自然科学基金项目“艾比湖流域抛物线沙丘形成与演变研究”(41161004); 国家自然科学基金 NSFC-新疆联合基金重点项目“新疆博斯腾湖环境演变及对气候变化的响应”(U1138302); 新疆干旱区环境与资源重点实验室资助项目“500 年来博斯腾湖流域柽柳沙堆年层沉积及其环境记录”(XJDX0909-2012-03); 新疆干旱区环境与资源重点实验室资助项目“额尔齐斯河流域风沙环境特征研究”(XJDX0909-2014-04)

第一作者: 武胜利(1977—), 男, 河南西平人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为干旱区环境演变与气候变化。E-mail: wushengli77@126.com

通信作者: 刘强吉(1988—), 男, 陕西汉中, 硕士, 研究方向为干旱区环境演变与气候变化。E-mail: damodeying62@126.com

全球气候变暖是不争的事实。过去 100 a 全球地表气温升高 0.74°C , IPCC 报告预测未来 100 a 全球气温可能升高 $1.1\sim 4.6^{\circ}\text{C}$ [1-5]。地球表面的气候正经历一次显著的变暖,我国的气候变化趋势与全球变化基本一致。据统计,中国近百年气温上升 $0.4\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ [1],增温速率接近 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,比全球或半球同期平均增温速率明显偏高,且地表温度增暖主要发生在最近的 20 余年 [6-7]。多数学者认为近 50 a 的增暖主要是由人为引起的大气温室气体浓度增加造成的 [8],选择 1960 年以来的地面观测资料,系统分析新疆和田地区在这一时期主要气候要素——极端气温变化的基本特征,仍然具有重要意义。

近年来,国内对于气温方面研究颇多。韩翠华等 [3] 运用正交旋转因子分析了中国年、冬、夏半年气温特征,认为 1951—2010 年各区域气温均呈上升趋势。王劲松等 [9] 认为 1960—2005 年西北地区气温变化幅度达 $0.56^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,无论是年或四季平均的增温率,西北地区都比全国平均高。孟秀敬等 [2] 对河西走廊近 57 a 来气温变化进行分析,认为该区气温上升率呈显著上升趋势,高达 $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,并在 1986 年发生突变。何清等 [10] 对新疆气温研究表明,近 40 a 来新疆气温呈明显升高趋势。陈亚宁等 [11] 认为 20 世纪 80 年代中期以来全疆各地气候一致表现为气温升高、降水增多,北疆变化最为显著。马建勇等 [12] 认为北疆地区近 55 a 气温变化倾向率为 $0.332^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。王维霞等 [13] 认为 1960—2009 年开都河上下游增温强度分别为 $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。这些研究增进了对中国器测时期气候变化规律的认识,为深入理解气候变化的原因和影响奠定了基础。

气温是研究气候变化的基本要素,其变化对该地区生态环境的变迁起着决定作用。已有的研究对和田地区平均气温、降水关注的较多 [14-18],而对于极端气温关注较少。本文拟从极端低温、高温着手,探讨新疆和田地区气温变化趋势。和田地区地处欧亚大陆中心,远离海洋,气候干旱,降水稀少,土地贫瘠,自然条件十分恶劣。农业用地基本集中在仅有的一些绿洲区域,使得人们对于绿洲区域格外重视。该地区位于新疆维吾尔自治区南隅 ($77^{\circ}31'\sim 84^{\circ}55'\text{E}$, $34^{\circ}22'\sim 39^{\circ}38'\text{N}$),南越昆仑山抵藏北高原,东部与巴音郭楞蒙古自治州毗邻,北部深入塔克拉玛干沙漠腹地,西部连喀什地区,西南枕喀喇昆仑山与印度、巴基斯坦接壤,辖 1 市 7 县,暖温带极端干旱的荒漠气候,全年降水稀少,多风沙天气,是典型的少、边、穷地区,沙漠广布,自然条件恶劣,耕地面积少且第一产业占据相当大的比重。因此,本文将对和田地区极端气温

的时空变化特征进行研究,既可以揭示中纬度西风带控制下干旱区极端气温的变化规律,也可以对当地生态环境的改善、能源利用、工农业生产提供科学依据。

1 资料来源与研究方法

依据资料的连续性及最长时段性等标准,共选取符合条件的气象站 4 个(和田、皮山、于田、民丰)。地面气象站的极端低温、极端高温日值资料均来自国家气象地面基准站。为了保证所选气象站数据资料长度的均一和稳定,气象资料时间跨度一致取为 1960 年 1 月 1 日—2014 年 2 月 28 日。按照 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月—翌年 2 月为冬季,对极端低温和极端高温资料进行处理。对研究区极端低温和极端高温资料进行汇总,采用一元线性趋势分析和累计距平分析对气温资料进行变化特征分析;采用 M-K 检验方法对气候要素序列进行气候突变检验,判定突变年份与气候要素突变趋势;采用 Morlet 小波分析法探讨极端气温的周期变化。

1.1 一元线性回归

利用直线回归的方法对原时间序列拟合线性方程,消除其他成分变动,揭示出数列长期直线趋势,公式为:

$$y=a+bt$$

式中:线性方程中斜率 b 的 10 倍定义为气候倾向率,表征时间序列的变化趋势。气候倾向率的大小表征变化的速度,正负值表示变化方向。

1.2 累计距平法

距平累积法能够直观反映气温年际变化的阶段性特征,其计算公式为:

$$LP_i = \sum_{j=1}^i (R_j - \bar{R})$$

式中: LP_i 为第 i 年的距平累积值; R_i 为第 i 年的气温; \bar{R} 为风速序列的多年平均值。当距平累积值持续增大时,表明该时段内气温距平持续为正;当距平累积值持续不变时,表明该时段内气温距平持续为零即保持平均;当距平累积值持续减小时,表明该时段内气温距平持续为负。

1.3 Mann-Kendall 突变检验法

在正序列曲线超过临界值置信度的前提下,若正序列(UF 曲线)与逆序列(UB 曲线)在置信区间内有交叉点,则表明交叉点为突变点,且统计上显著。

1.4 小波分析

小波分析方法可以通过伸缩和平移等运算功能,对函数或信号序列进行多尺度细化分析,研究不同尺度(周期)随时间的演变情况。公式为:

$$\Psi(x) = e^{icx} e^{-t^2/2}$$

式中: $\Psi(x)$ 为基本小波或母小波; t 为时间; c 为常数。小波系数实部反映了给定时间和尺度信号下,相对于干扰其他时间和尺度信号的强弱和位相两方面的信息。

2 极端低温、极端高温的时间序列

2.1 年代际极端气温的时间序列

表 1 显示,1960—2013 年和田地区年、季极端低温在 60—80 年代均较小,为负距平;90 年代除冬季

以外均较小,为负距平,冬季为正距平,高于多年均值 0.67℃;2000 年以来年、季极端低温均较大,为正距平,并高于多年均值分别为 1.26℃,1.15℃,1.45℃,1.49℃和 0.97℃。年、季极端高温在 60—80 年代均较小,为负距平;90 年代除春季以外均较大,为正距平,春季为负距平,低于多年均值 0.54℃;2000 年以来年、季极端高温均较大,为正距平,并高于多年均值分别为 0.52℃,0.98℃,0.29℃,0.70℃和 0.13℃。

表 1 和田地区年、季气温年代际距平

年代	极端低温					极端高温				
	春季	夏季	秋季	冬季	年均值	春季	夏季	秋季	冬季	年均值
60 年代	-0.69	-0.49	-0.83	-1.02	-0.76	-0.29	-0.11	-0.61	-0.23	-0.32
70 年代	-0.17	-0.76	-0.59	-0.95	-0.62	-0.10	-0.10	-0.23	-0.13	-0.15
80 年代	-0.62	-0.59	-0.92	-0.16	-0.48	-0.53	-0.28	-0.57	-0.08	-0.37
90 年代	-0.26	-0.32	-0.25	0.67	-0.04	-0.54	0.06	0.34	0.26	0.03
2000 年以来	1.15	1.45	1.49	0.97	1.26	0.98	0.29	0.70	0.13	0.52

2.2 年极端气温的时间序列

由图 1 可知,近 54 a 来,和田地区极端低温变化的趋势系数为 0.68,以 0.48℃/10 a 的速率呈明显的上升趋势,此值远低于全国(0.74℃/10 a)^[19]和新疆地区(0.74℃/10 a)^[20]。极端低温多年均值为 5.43℃,最大值出现在 2010 年,为 7.48℃,最小值出现在 1961 年,为 4.02℃,极差为 3.46℃。1997 年以前气温均较低(1966 年、1980 年、1991 年和 1994 年除外),之后均较高。对和田地区极端低温进行 6 阶多项式拟合,从图 1A 可以看出,近 54 a 来和田地区的极端低温变化可分为 3 个阶段:1960—1976 年为平缓上升期;1977—2006 年为急剧上升期,该时期适逢我国大力

实施改革开放进入全面发展的时期,温室气体的增加造成该地气温持续升高;2007 年至今为平缓下降期。

近 54 a 来,和田地区极端高温以 0.19℃/10 a 的速率呈明显的上升趋势,此值大于全国极端高温变化速率(0.12℃/10 a)^[19]。多年均值为 19.61℃,最大值出现在 2007 年,为 21.13℃,最小值出现在 1974 年,为 17.98℃,极差为 3.15℃。1997 年之前气温总体以偏低为主,之后均偏高。对和田地区极端高温进行 6 阶多项式拟合,从图 1B 可以看出,近 54 a 来和田地区的极端高温变化可分为 3 个阶段:60 年代气温以下降为主;70 年代至 2004 年左右呈“上升—下降—上升”型;2005 年至今为平缓下降期。

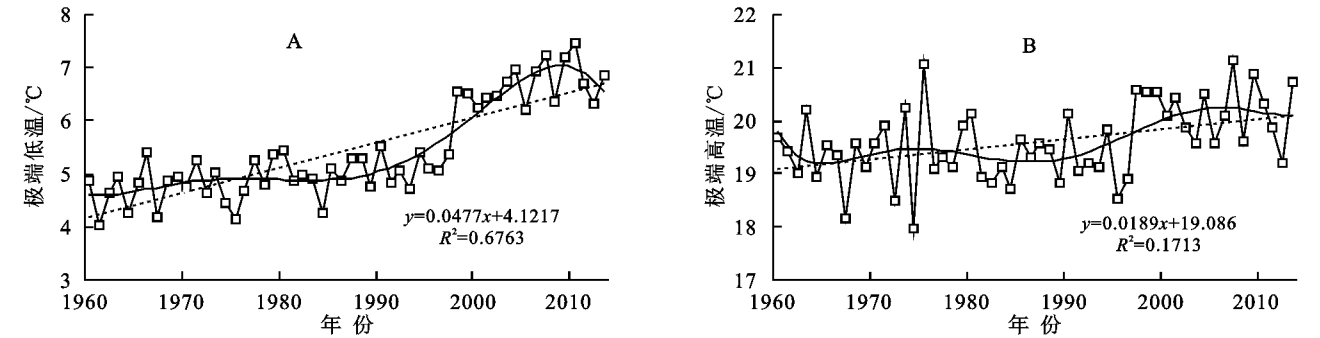


图 1 极端低温和极端高温年际变化趋势

2.3 季极端气温的时间序列

春季极端气温均呈上升趋势,极端低温的趋势要比极端高温的大。极端低温趋势系数为 0.43,增温幅度为 0.39℃/10 a,60 年代至 70 年代前期上升较快,70 年代中期至 80 年代末呈快速下降趋势,90 年代开始急剧升温,到 2008 年达到最高值,之后略有下降。极端高温趋势系数为 0.12,增温幅度为 0.23℃/10 a,60 年代平缓上升,70 年代至 80 年代末缓慢下

降,90 年代气温开始大幅度上升,到 2007 年达到最高值,之后略有下降。

夏季极端低温的趋势系数是 0.53,增温幅度为 0.47℃/10 a,60 年代至 80 年代末呈波动缓慢下降,90 年代开始急剧上升,21 世纪初达到最高点。极端高温趋势系数为 0.04,增温幅度为 0.10℃/10 a,60 年代前期下降迅速,之后波动平缓上升。

秋季极端低温的趋势系数是 0.58,增温幅度为

0.54℃/10 a, 60年代至70年代中期平缓上升, 之后缓慢下降后急剧上升, 2006年达到最高值, 之后呈下降趋势。极端高温趋势系数为0.30, 增温幅度为0.32℃/10 a, 自60年代以来呈波动上升趋势, 2006年达到最高值。

冬季极端低温的趋势系数为0.32, 增温幅度为0.51℃/10 a, 60年代至70年代中期微微下降, 之后急剧上升, 2005年左右缓缓下降。极端高温趋势系数为0.006, 增温幅度为0.01℃/10 a, 60年代呈下降趋势, 70年代至90年代末平缓上升, 21世纪以来微微下降。

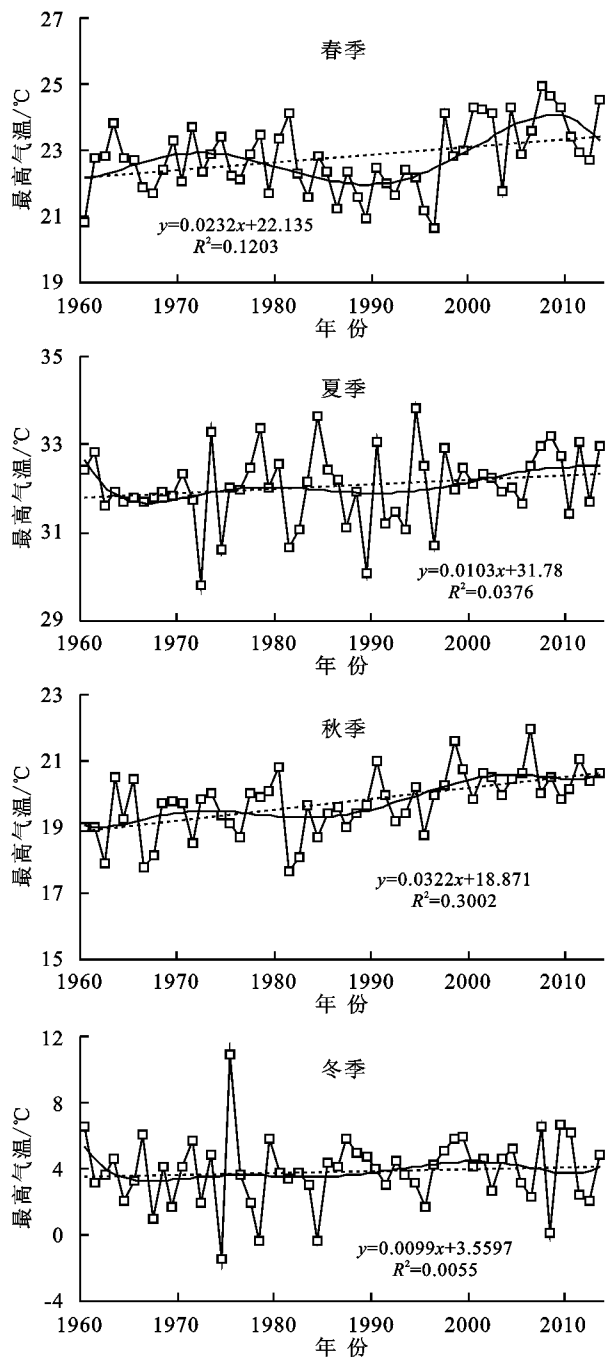
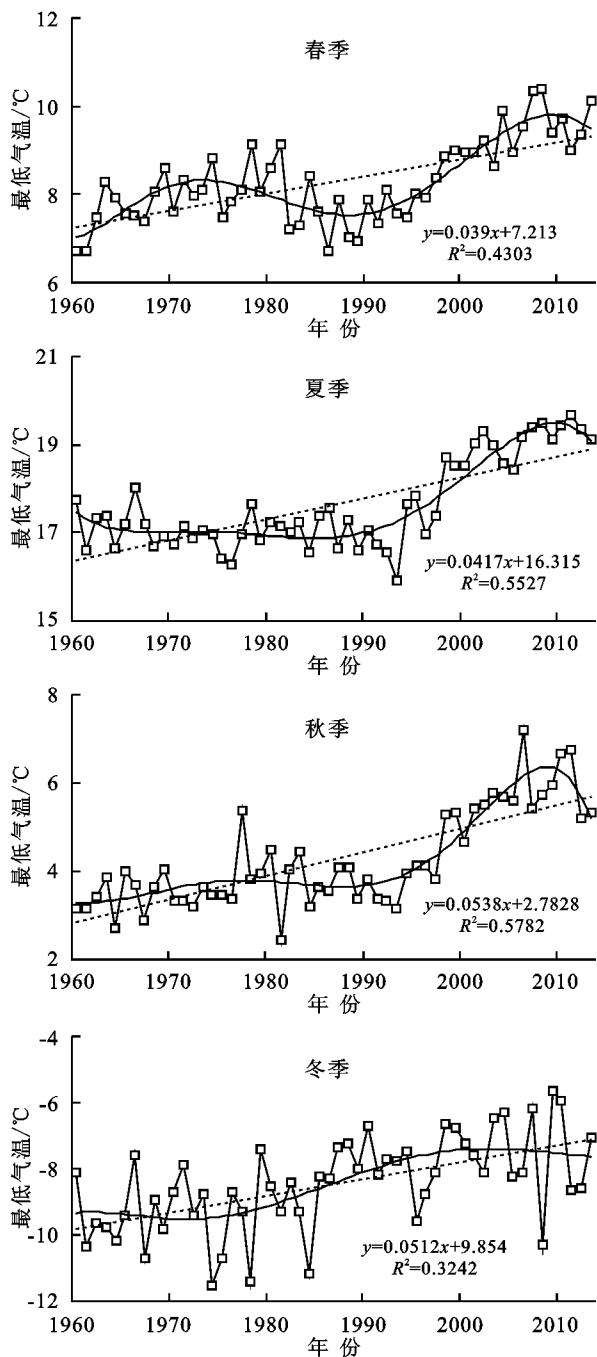


图2 和田地区极端低温、极端高温四季趋势变化

2.4 月极端气温的时间序列

由表2可知, 1960—2013年, 新疆和田地区极端低温最高值出现在7月, 为18.55℃, 8月和6月次之, 分别为17.27℃和17.10℃, 最低值出现在1月, 为-10.87℃。由月变化倾向率来看, 8月、9月、11月和12月变化倾向率均较大, 介于0.56~0.67℃/10 a之间, 1月、4月和5月变化倾向率较小, 介于0.34~0.40℃/10 a, 其余各月

介于0.41~0.48℃/10 a。1960—2013年, 和田地区极端高温最高值同样出现在7月, 为32.88℃, 8月和6月次之, 分别为31.88℃和31.44℃, 最低值出现在12月, 为-8.83℃。月变化倾向率显示, 2月、10月和11月变化倾向率均较大, 介于0.30~0.45℃/10 a, 1月、6月、7月和12月变化倾向率较小, 介于-0.02~0.07℃/10 a, 其余各月介于0.18~0.27℃/10 a。

表 2 和田地区气温月均值和月变化倾向率

项目	指标	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
极端低温	均值/℃	-10.87	-5.64	2.19	9.08	13.59	17.10
	倾向率/(℃/10 a)	0.39	0.48	0.43	0.40	0.34	0.44
极端高温	均值/℃	1.15	6.69	16.25	23.94	28.13	31.44
	倾向率(℃/10 a)	0.00	0.32	0.23	0.27	0.19	0.07
		7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
极端低温	均值/℃	18.55	17.27	11.79	3.96	-2.97	-8.83
	倾向率/(℃/10 a)	0.41	0.57	0.59	0.47	0.56	0.67
极端高温	均值/℃	32.88	31.88	27.42	20.63	11.21	3.65
	倾向率(℃/10 a)	0.06	0.18	0.22	0.30	0.45	-0.02

3 极端低温、高温 M-K 突变检验及小波分析

采用 M-K 突变检验方法对新疆和田地区极端气温进行突变检验。图 3 中 UF 代表极端高温的顺序统计曲线,UB 为极端高温的逆序列统计曲线,并给定显著性水平,当 $\alpha=0.05$,即临界值为 ± 1.96 。从图中 60 年代极端高温总体表现为负值,表明该段时期极端高温均偏低,70 年代至 80 年代中期极端高温总体为正值,表明该段时间极端高温均偏高,80 年代中期至 90 年代末总体为负值,表明该段时期极端高温偏低。UF 曲线和 UB 曲线在临界值 ± 1.96 之间有个明显的交点,之后 UF 曲线持续上升,并于 2007 年突破临界值 1.96,表明近 54 a 来和田地区极端高温发生了明显的突变升高,突变点为 1997 年。极端高温春季和秋季突变年限分别为 2002 年和 1995 年,夏季和冬季突变现象不明显。极端低温春夏秋冬突变年限分别为 2000 年、2001 年、1997/1998 年、1985 年,年均值突变现象不明显。

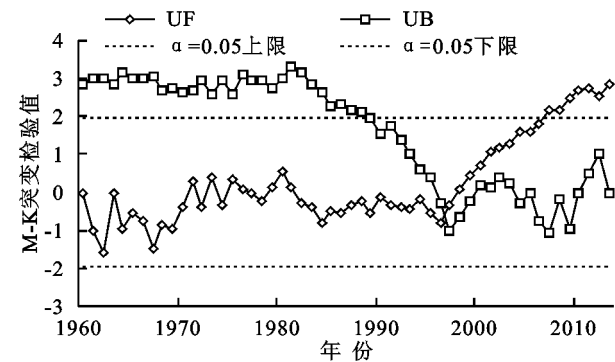


图 3 和田地区年均极端高温突变检验

图 4A 给出了和田地区极端低温的 Morlet 小波变化系数的实部时频变化,正值区表示气温偏高,负值区表示气温偏低。由图 4A 可以看出年极端低温小波系数等值线在 4~6 a,21~23 a 和 27~29 a 时间尺度上较为密集,且发生了小波系数高、低值中心

的变化。年极端低温小波方差图(图 4C)显示小波方差在 28 a,22 a 和 5 a 存在极值,因此,可以得出和田地区年极端低温在 32 a 尺度内存在 28 a 的强显著周期,此外还有 22 a 和 5 a 的尺度变化周期。

图 4B 给出了和田地区极端高温的 Morlet 小波变化系数的实部时频变化,正值区表示气温偏高,负值区表示气温偏低。由图 4B 可以看出年极端高温小波系数等值线在 27~29 a 时间尺度上较为密集,且发生了小波系数高、低值中心的变化。年极端高温小波方差图(图 4D)显示小波方差在 28 a 存在极值,因此,可以得出和田地区年极端高温在 32 a 尺度内存在 28 a 的强显著周期。

4 结论

(1) 和田地区年、季极端低温在 60—90 年代总体较小,为负距平,2000 年以来为正距平,气温较高,高于近 54 a 来年、季均值分别为 1.26℃,1.15℃,1.45℃,1.49℃和 0.97℃。极端高温在 60—80 年代均较小,为负距平,90 年代以来总体较大,为正距平,2000 年以来年、季极端高温高于多年均值分别为 0.52℃,0.98℃,0.29℃,0.70℃和 0.13℃。

(2) 1960—2013 年,和田地区极端低温、极端高温分别以 0.48℃/10 a 和 0.19℃/10 a 的速率呈明显的上升趋势。极端低温自 60 年代以来呈现波动上升趋势,极端高温自 60 年代前期下降后波动上升,70 年代后期至 80 年代初下降,之后波动上升,90 年代末以来先下降后波动上升。

(3) 和田地区极端低温四季变化均呈明显的上升趋势,上升速率分别为 0.39,0.47,0.54,0.51℃/10 a。秋季变化幅度最大,对年变化的贡献率最大,冬季次之,春季变化幅度最小。极端高温四季变化呈现明显的上升趋势,上升速率为 0.23,0.10,0.32,0.10℃/10 a。秋季变化幅度最大,对年变化贡献最大,春季次之,夏季和冬季均为最小。

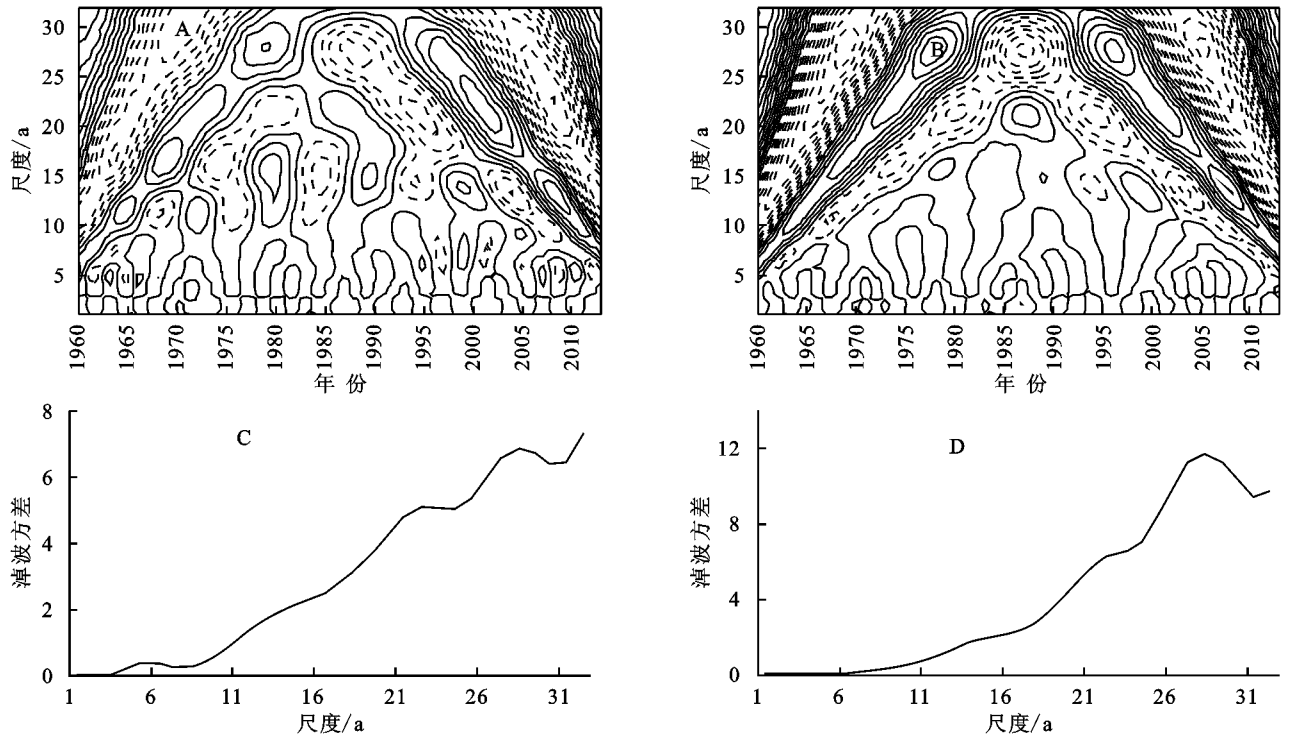


图4 小波变化实部等值线、小波方差

(4) 和田地区极端低温最高值和最低值分别出现在7月和1月,12月变化倾向率最大,5月最小。极端高温最高值和最低值分别出现在7月和12月,11月变化倾向率最大,12月最小。

(5) 近54 a来,极端低温四季突变年限分别为2000年、2001年、1997/1998年、1985年,年均值突变现象不明显。极端高温年、春季、秋季突变年限分别为1997年、2002年和1995年,夏季和冬季突变现象不明显。

参考文献:

- [1] 李宗省,何元庆,辛慧娟,等.我国横断山区1960—2008年气温和降水时空变化特征[J].地理学报,2010,65(5):563-579.
- [2] 孟秀敬,张士峰,张永勇.河西走廊57年来气温和降水时空变化特征[J].地理学报,2012,67(11):1482-1492.
- [3] 韩翠华,郝志新,郑景云.1951—2010年中国气温变化分区及其区域特征[J].地理科学进展,2013,32(6):887-896.
- [4] 易湘生,尹衍雨,李国胜,等.青海三江源地区近50年来的气温变化[J].地理学报,2011,66(11):1451-1465.
- [5] China Meteorological Administration. Climate and Environment in China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006.
- [6] 窦睿音,延军平,王鹏涛.全球变化背景下甘肃近半个世纪气温时空变化特征[J].干旱区研究,2015,32(1):73-79.
- [7] 任国玉,郭军,徐铭志,等.近50年来中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942-956.
- [8] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate change 2001: The Scientific Basis[M]. Cambridge: The Press Syndicate of Cambridge University, 2001.
- [9] 王劲松,费晓玲,魏锋.中国西北近50 a来气温变化特征进一步研究[J].中国沙漠,2008,28(4):724-732.
- [10] 何清,杨青,李红军.新疆近40 a来气温、降水和沙尘天气变化[J].冰川冻土,2003,25(4):423-427.
- [11] 陈亚宁,徐长春,杨余辉,等.新疆水温资源变化及对区域气候变化的响应[J].地理学报,2009,64(11):1331-1341.
- [12] 马建勇,潘捷,姜江,等.北疆地区1955—2009年气温、降水变化特征的时间序列分析[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(2):18-24.
- [13] 王维霞,王秀君,姜逢清,等.开都河流域上下游过去50 a气温降水变化特征分析[J].干旱区地理,2012,35(5):746-753.
- [14] 刘海涛,张向军,李绣东,等.和田河流域1954—2007年气温及降水气候特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2009,3(4):26-30.
- [15] 玉苏甫·阿布都拉,程鹏,马宏武,等.气候变化对和田河夏季平均流量的影响[J].新疆气象,2006,29(3):8-10.
- [16] 玉素甫·阿布都拉,马宏武,买买提·阿布都拉,等.和田河流域气候变化特征分析[J].气象,2006,32(4):97-100.
- [17] 徐宗学,米艳娇,李占玲,等.和田河流域气温与降水量长期变化趋势及其持续性分析[J].资源科学,2008,30(12):1833-1838.
- [18] 马蓉.和田市近30年来气温的变化及其对农业的影响[J].亚热带水土保持,2008,20(3):18-22.
- [19] 张宁,孙照渤,曾刚.1955—2005年中国极端气温的变化[J].南京气象学院学报,2008,31(1):123-128.
- [20] 普宗朝,张山清,李景林,等.1961—2010年新疆不同保证率极端最低气温变化分析[J].中国农业气象,2014,35(1):10-16.