

The Variation Characteristics of Extreme Precipitation Indices in Zunyi Area During 1960-2015

Zou Chengli, Zou Dequan^{*}, Wu Xingxing

Zunyi Meteorological Bureau, Zunyi, China

Email address:

1046322916@qq.com (Zou Dequan)

^{*}Corresponding author

To cite this article:

Zou Chengli, Zou Dequan, Wu Xingxing. The Variation Characteristics of Extreme Precipitation Indices in Zunyi Area During 1960-2015. *Asia-Pacific Journal of Earth Sciences*. Vol. 1, No. 1, 2019, pp. 1-7.

Received: October 21, 2018; **Accepted:** December 12, 2018; **Published:** December 21, 2018

Abstract: According to the temperature data of 13 weather stations at county (district or city) level under Zunyi City from 1960 to 2015, this study has calculated the extreme temperature indexes in Zunyi area. In addition, trend analysis, mutation test and Morlet wavelet function were used to analyze the extreme temperature index sequence and its periodic variation. The results show: (1) 10 indexes including average minimum temperature (TMINmean), minimum value of minimum temperature (TNn), warm night index (TN90P), tropical nights (TR20), maximum value of minimum temperature (TNX), minimum value of maximum temperature (TXn), maximum value of maximum temperature (TXX), average maximum temperature (TMAXmean), warm day index (TX90P), growing season length (GSL) etc in Zunyi area show a positive trend that decreases in turn. Among them, TMINmean, TNn, TN90P, TR20, TNX, TXn, TXX and TMAXmean reach above 0.05 of significance level, and all of them except TMAXmean experienced sudden increase in temperature between 1989 and 2009 that lasts till now, which means that obvious increase in extreme temperature still continues. The trend of TMINmean is greater than that of TMAXmean, signifying that high temperature weather caused by asymmetric change in temperature is intensifying. (2) 7 indexes including cold night index (TN10p), daily temperature range (DTR), frost day (FD0), cold spell duration indicator (CSDI), ice day (ID0), cold day index (TX10P) and warm spell duration indicator (WSDI) in Zunyi area show a negative trend that decreases in turn. Among them, TN10p, DTR, FD0 and CSDI reach above 0.05 of significance level, and all of them except CSDI experienced sudden change that lasts till now, which respectively shows that obvious range of increase in temperature at night, and asymmetric change in minimum temperature and maximum temperature increase, while frost weather decreases obviously. (3) The period of the strongest vibration of extreme temperature indexes in Zunyi area is between 4 and 32 years, and most of the first strong vibration occurred in the early 1960s.

Keywords: Zunyi, Extreme Temperature Indexes, Trend Analysis, Sudden Change Test, Morlet Wavelet Function

1960-2015年遵义地区极端气温指数变化特征

邹承立, 邹德全^{*}, 吴兴星

遵义市气象局, 遵义, 中国

邮箱

1046322916@qq.com (邹德全)

摘要: 利用遵义市所辖13个县(区、市)级气象站1960--2015年温度资料, 在计算出遵义地区极端温度指数基础上, 再对极端温度指数序列做趋势分析、突变检验以及采用 Morlet小波函数分析其周期性变化规律。结果表明: (1) 遵义地区平均最低温度TMINmean、最低气温极小值 TNn、暖夜指数 TN90P、热夜日数 TR20、最低气温极大值TNX、最高气温极小值TXn、最高气温极大值TXX、平均最高温度TMAXmean、暖昼指数 TX90P、生长期长度 GSL等10个指

数呈依次减小的正趋势。其中TMINmean、TNn、TN90P、TR20、TNX、TXn、TXX、TMAXmean等8个指数达到0.05显著性水平以上, 并且除TMAXmean之外, 其余都在1989年--2009年之间发生突变增温至今, 意味着显著的极端温度增温现象还在持续; 平均最低温度TMINmean趋势比平均最高温度TMAXmean 趋势更大, 意味着温度非对称性变化造成的高温热浪天气在加剧。(2) 遵义地区冷夜指数TN10p、气温日较差 DTR、霜日FD0、冷日持续日数CSDI、结冰日数ID0、冷日指数 TX10P、暖日持续日数WSDI 等7个指数呈依次减小的负趋势。其中TN10p、气温日较差 DTR、霜日FD0、冷日持续日数CSDI等4个指数达到0.05显著性水平以上, 并且TN10p、 DTR、FD0等3个指数都检测出持续至今的突变现象, 分别表明显著的夜间增温幅度、最低气温与最高气温的非对称性变化在加大而霜冻天气在显著减少。(3) 遵义地区极端温度指数最强振动周期在4年—32年之间, 第一次强振动绝大多数发生在1960年代初。

关键词: 遵义, 极端气温指数, 趋势分析, 突变检验, Morlet小波函数

1. 引言

IPCC第五次评估报告指出:随着全球平均地表气温上升, 绝大部分地区极端热事件会增多, 极端冷事件会减少。热浪很可能发生的频率更高, 时间更长;然而, 偶尔的极端冷冬事件也会继续出现。未来几十年大多数地区的暖日和暖夜的频率可能会增加, 而冷日和冷夜的频率, 可能会减少。在大部分地区, 预计20年一遇低温事件的增加速率会大于冬季平均气温的上升速率, 而低温重现值变化最大的是在高纬度地区。预估大部分地区20年一遇高温事件的增加速率会接近或大于夏季平均气温的上升速率。在RCP8.5情景下, 到21世纪末大部分陆地区域目前20年一遇高温事件可能会更为频繁(频率至少加倍, 并在许多地区会变为一年或两年一遇的事件), 目前20年一遇的低温事件将变得极为罕见[1]。

不难看出IPCC预测未来极端气候事件的频率和强度都将增大。深入了解极端天气事件发生规律是预防和减轻区域极端天气气候事件的前提条件之一。近年来, 极端气候事件研究方面文献较多[2--13]。例如, 刘琳等[2]利用西南5省市的33个气象站资料, 得出西南5省市60a来极端气温指数中TN10, TX10和DTR呈现出明显的下降趋势, 其他7指数均呈上升趋势, 表明西南5省市有变暖的趋势, 且昼夜温差变小;曹祥会等[3]根据河北省 142 个气象站点基础资料得出: 河北省夏日、暖日指数、极端最

低气温及大部分地区的极端最高气温呈增加趋势, 霜日则呈下降趋势, 持续冷期的变化不显著; 杨艳娟等[4]利用1951-2009年天津市资料研究表明: 天津市暖日、冷夜具有基本相反的变化趋势, 暖日显著增加, 冷夜显著减少, 且冷夜的变化幅度远大于暖日。持续暖期、霜日呈显著增加趋势, 持续冷期呈显著减少趋势。与气温有关的极端指数大多在1993年前后出现突变, 周期特征不明显。

这些文献针对不同时空尺度, 得出大多数极端气候指数总趋势相似的同时, 也呈现出一些差异。本文将在前人研究的基础上, 对处于云贵高原东北部向四川盆地和湖南丘陵过渡斜坡地带的遵义市极端温度指数进行变化特征

分析, 以期政府产业结构调整 and 气象灾害防御提供决策依据。

2. 资料和方法

2.1. 资料

所用资料: 来源于贵州省气象局信息中心共享服务网的遵义市所辖13个县(区、市)级气象站1960-2015年逐日温度数据。质量控制方面为:13个县(区、市)气象站所在地城镇常驻人口小于50万(《遵义市统计年鉴--2015》);13个县(区、市)气象站中只有赤水市、绥阳县、仁怀市、余庆县、务川自治县、习水县、播州区等县(区、市)有过迁站历史, 但初终位置都在水平距离50km, 垂直距离100M的标准范围内; 日最高温度缺测93次, 日最低温度缺测104次。分别占样本的0.5%、0.5%。其缺测值用最邻近站同类值代替(由于赤水站距最邻近站海拔差1000米以上, 相应缺测资料用平均值代替)。

2.2. 方法

利用遵义市13县(区、市)气象站逐日最高、最低气温等资料, 依据世界气象组织(WMO)气候学委员会(CCI)及气候变化和可预测性研究计划(CLIVAR)联合提出的气候变化检测指数(ETCCDI), 以21种温度指数为研究对象。各指数具体定义见表1。极端温度指数的计算采用基于R语言的RClimDex 1.0软件(基准期设为1981--2010年)。遵义地区极端温度指数序列通过计算13个站点的算术平均值得到。采用线性倾向估计[14]、Mann-Kendall突变检验法(以下简称M-K法)[14]、Morlet小波分析[15]进行指数序列的长期变化趋势、突变检验和周期分析。这些方法的详细做法为所指参考文献, 原理不再赘述。

为减少短波干扰, 线性倾向计算序列、M-K检验序列采用五点三次平滑序列[15]。在趋势分析比较中相关系数也称趋势系数[16]。指数图较多, 为节约篇幅只列出部分。

表1 极端温度指数定义。

指数名称	指数定义	单位
霜日	最低气温小于0°C日数	d
冰日	最高气温小于0°C日数	d
热夜日数	最低气温大于20°C日数	d
生长期长度	滑动平均大于5°C初日和大于5°C终日之间的日数	d
暖日持续日数	每年至少连续6天日最高气温 (TX) >90%分位数的日数	d
冷日持续日数	每年至少连续6天日最低气温 (TN) <10%分位数的日数	d
冷日指数	最高气温低于10%百分位数的天数占总天数的百分率	%
冷夜指数	最低气温低于10%百分位数的天数占总天数的百分率	%
暖日指数	最高气温超过90%百分位数的天数占总天数的百分率	%
暖夜指数	最低气温超过90%百分位数的天数占总天数的百分率	%
气温日较差	每日最高气温和最低气温的差值	°C
最高气温极大值	每年的最高气温的最大值	°C
最低气温极小值	每年的最低气温的最小值	°C
最低气温极大值	每年的最低气温的最大值	°C
最高气温极小值	每年的日最高气温的最小值	°C
平均最低温度	最低气温的平均	°C
平均最高温度	最高气温的平均	°C

注:指数来源于<http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDI>

3. 结果分析

本次研究共计算了19个极端温度气候脆弱指数,为了叙述的方便,将气候物理意义上反映“暖趋势”在增强的归为一类(简称“暖趋势”指数),包括平均最低温度TMINmean、最低气温极小值 TNn、暖夜指数 TN90P、热夜日数 TR20、最低气温极大值TNX、最高气温极小值TXn、最高气温极大值TXX、平均最高温度TMAXmean、暖昼指数 TX90P、生长期长度 GSL、夏天日数SU25、夏天日数 SU35 等12个指数;将气候物理意义上反映“冷趋势”的归为一类(简称“冷趋势”指数),包括遵义地区冷夜指数TN10p、气温日较差 DTR、霜日FD0、冷日持续日数CSDI、结冰日数ID0、冷日指数 TX10P、暖日持续日数

WSDI 等7个指数。在此分类的基础上讨论其变化趋势、突变及其周期波动情况。

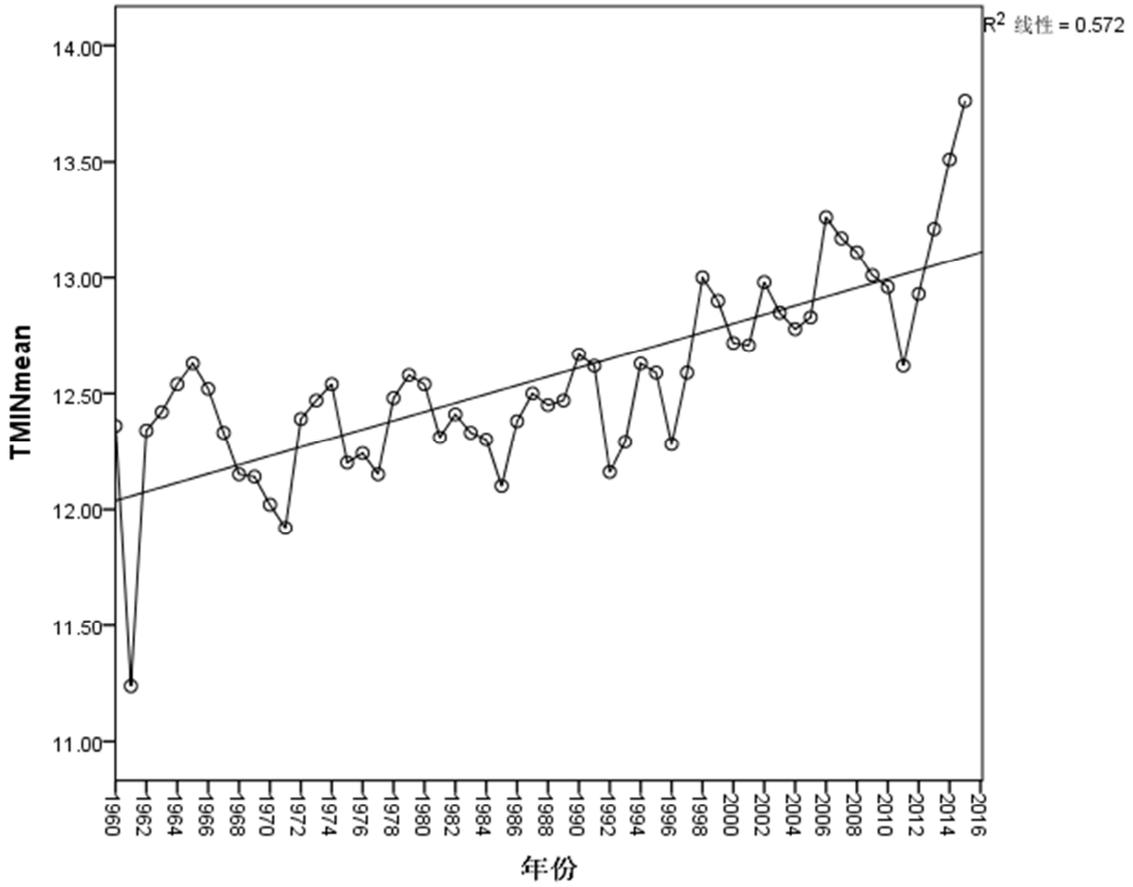
3.1. “暖趋势”指数变化趋势、突变及其周期

3.1.1. 平均最低温度TMINmean

TMINmean 整体呈增加趋势,线性倾向值为0.19°C/10 a,即每10年增加0.19°C,相关系数为0.756,达到0.000显著性水平(图1、表2);M-K法检测出始于1998年左右持续至今的增加突变现象(图2);Morlet小波分析得出存在6年、12年左右的主要准周期,以12年周期最显著。序列第一次12年周期强振动中心在1965年左右(图3)。

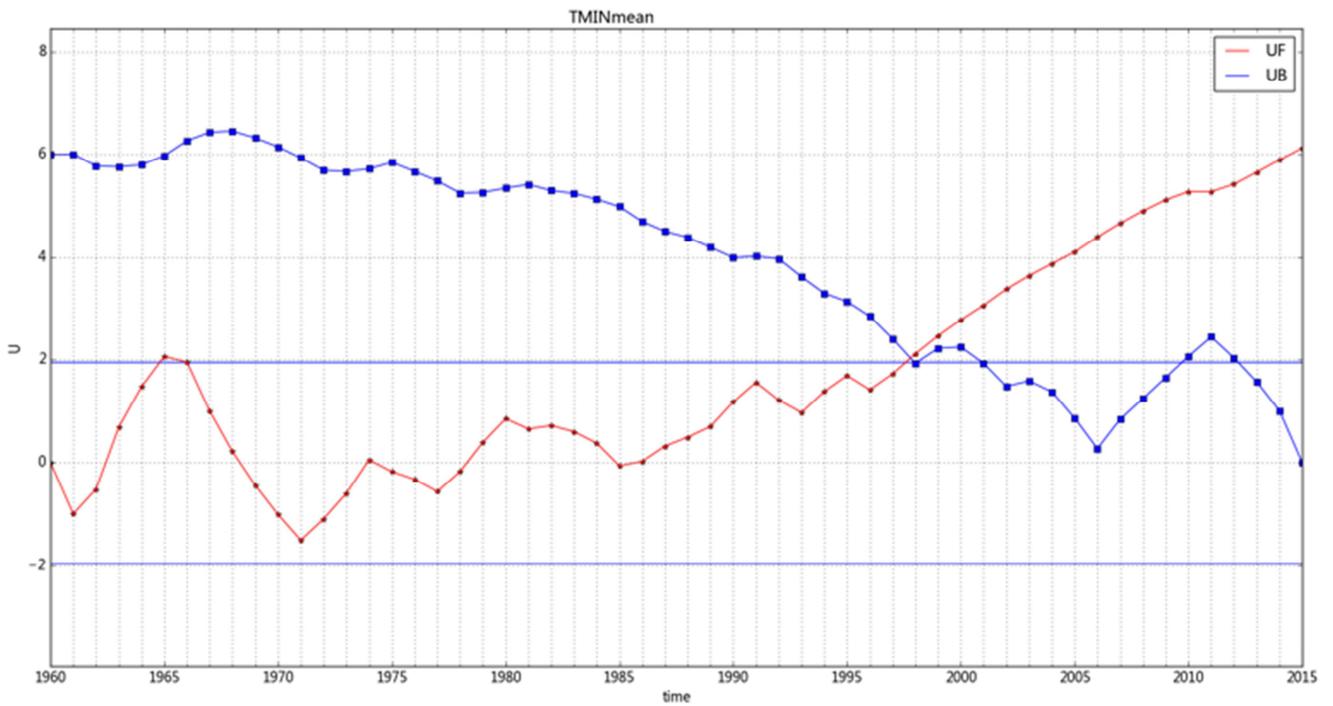
表2 极端温度指数倾向值、趋势系数及其显著性水平。

指数名称	倾向值	趋势系数	显著性水平
TMINmean	0.19天/10a	0.756	0.000
TNn	0.41°C/10a	0.716	0.000
TN90P	1.11%/10a	0.675	0.000
TR20	2.07天/10a	0.548	0.000
TNX	0.17°C/10a	0.503	0.000
TXn	0.19°C/10a	0.342	0.01
TXX	0.13°C/10a	0.274	0.041
TMAXmean	0.07天/10a	0.263	0.050
TX90P	0.41%/10a	0.251	0.062
GSL	1.72天/10a	0.236	0.079
TN10P	-1.26%/10a	-0.727	0.000
DTR	-0.12°C/10a	-0.557	0.000
FD0	-1.99天/10a	-0.594	0.00
CSDI	-0.7天/10a	-0.346	0.009
ID0	-0.09mm/10a	-0.143	0.293
TX10P	-0.12%/10a	-0.09	0.486
WSDI	-0.24%/10a	-0.08	0.557



(折线为五点三次平滑序列，直线为回归线)

图1 遵义地区平均最低温度TMINmean变化趋势。



(直线为 $\alpha=0.05$ 显著性临界值)

图2 遵义地区平均最低温度TMINmean Mann-Kendall检验统计量曲线。

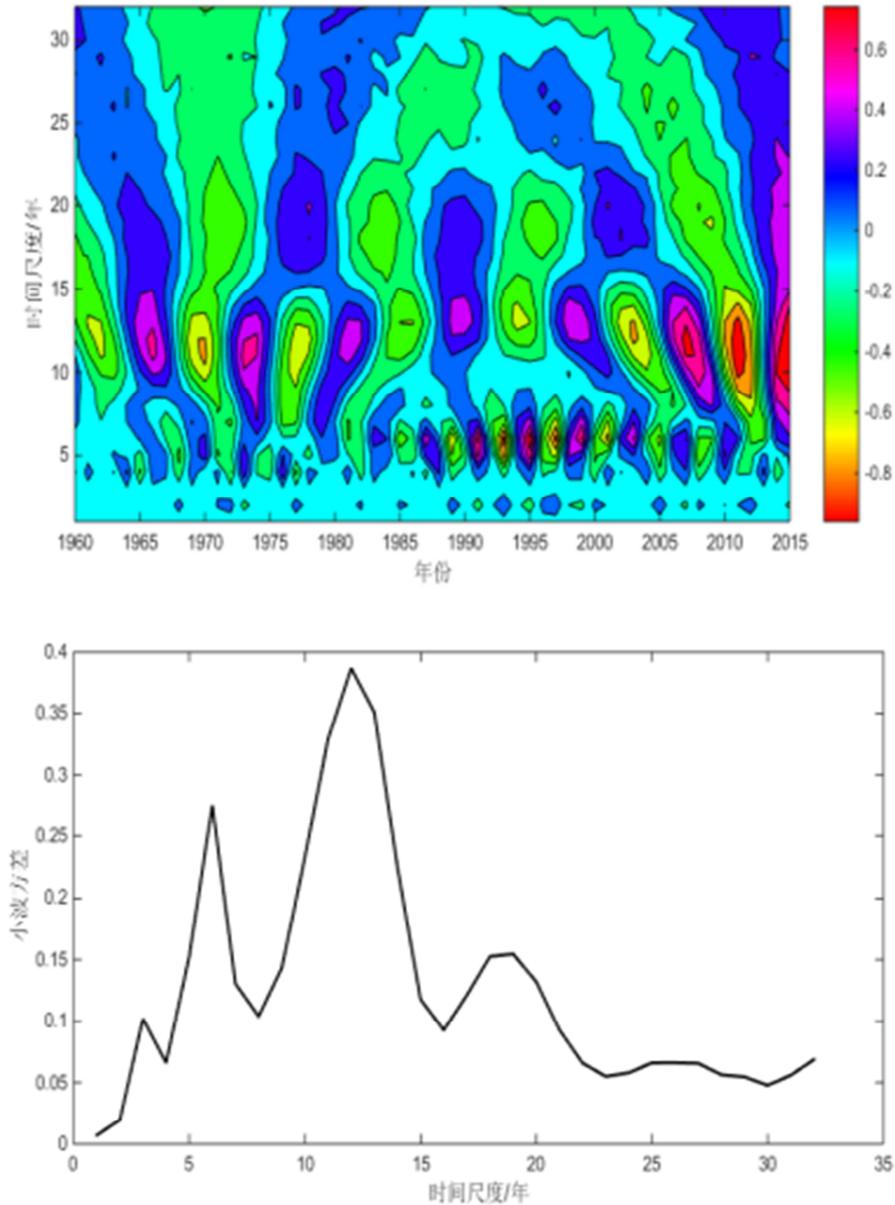


图3 遵义地区平均最低温度TMINmean Morlet距平序列小波分析

3.1.2. 最低气温极小值TNn

TNn整体呈增加趋势，线性倾向值为 $0.41^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，相关系数为0.716，达到0.000显著性水平（表2）；M-K法检测出始于1989年左右持续至今的一次明显增温突变现象；Morlet小波分析得出存在11年、27年左右的主要准周期，以11年周期最显著。序列第一次11年周期强振动中心在1967年左右，1990年代以来，有变大和减弱现象。

3.1.3. 暖夜指数 TN90P

TN90P整体呈明显的增加趋势，线性倾向值为 $1.11\%/10\text{ a}$ ，即每10年增加1.11%，相关系数为0.675，达到0.000显著性水平（表2）；M-K法检测在1994年以来UF持续上升至今，综合五点三次平滑曲线判断是始于1995年左右至今的一次增加突变现象；Morlet小波分析得

出存在6年、12年左右的主要准周期，以6年周期最显著。序列第一次6年周期强振动中心在1995年左右，2000年代中期以来有减弱现象。

3.1.4. 热夜日数 TR20

TR20整体呈增加趋势，线性倾向值为 $2.07\text{天}/10\text{ a}$ ，即每10年增加2.07天。相关系数为0.548，达到0.000显著性水平（表2）；M-K法检测出始于2004年持续至今的一次增加突变现象；Morlet小波分析得出存在23年、32年以上左右的主要准周期，以23年周期最显著。序列第一次23年周期强振动中心在1963年左右。

3.1.5. 最低气温极大值TNX

TNX整体呈增加趋势，线性倾向值为 $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，即每10年增加 0.17°C ，相关系数为0.503，达到0.000显著性

水平(表2); M-K法检测出始于2009年左右持续至今的一次增加突变现象; Morlet小波分析得出存在23年、32年以上左右的主要准周期,以23年周期最显著。序列第一次23年周期强振动中心在1965年左右。

3.1.6. 最高气温极小值TXn

TXn 整体呈增加趋势,线性倾向值为 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,即每10年增加 0.19°C ,相关系数为0.342,达到0.01显著性水平(表2); M-K法检测出始于1989年左右持续至今的一次增加突变现象; Morlet小波分析得出存在4年、8年左右的主要准周期,以8年周期最显著。序列第一次8年周期强振动中心在1967年左右,1980年代初以来有变大减弱现象。

3.1.7. 最高气温极大值TXX

TXX整体呈增加趋势,线性倾向值为 $0.13^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,即每10年增加 0.13°C ,相关系数为0.274,达到0.041显著性水平(表2); M-K法检测出始于2000左右持续至今的一次增加突变现象; Morlet小波分析得出存在准7年和26年左右的主要准周期,以26年左右周期最显著。序列第一次26年周期强振动中心在1963年左右。

3.1.8. 平均最高温度TMAXmean

TMAXmean 整体呈增加趋势,线性倾向值为 $0.07\text{天}/10\text{ a}$,即每10年增加0.07天,相关系数为0.263,达到0.05显著性水平(表2); M-K法检测自1960年代初期,UF曲线呈下降趋势,1980年--2001超出0.05显著性水平,为一次减温突变现象。之后保持增温趋势至今; Morlet小波分析得出存在6年、13年主要准周期,以6年周期最显著。序列第一次6年周期强振动中心在1962年左右。

3.1.9. 暖昼指数 TX90P

TX90P整体呈增加趋势,线性倾向值为 $0.41\%/10\text{ a}$,即每10年增加0.41%,相关系数为0.251,未达到0.05显著性水平(表2); M-K法未检测出突变现象; Morlet小波分析得出存在5年、32年以上左右的主要准周期,以32年以上周期最显著。序列第一次32年周期强振动中心在1963年左右。

3.1.10. 生长期长度 GSL

GSL整体呈增加趋势,线性倾向值为 $1.72\text{天}/10\text{ a}$,即每10年增加1.72天,相关系数为0.236,未达到0.05显著性水平(表2); M-K法检测出始于1985年止于2010年左右的一次增加突变现象; Morlet小波分析得出存在11年、25左右的主要准周期,以11年周期最显著。序列第一次11年周期强振动中心在1965年左右。

3.2. “冷趋势”指数变化趋势、突变及其周期

3.2.1. 冷夜指数TN10p

TN10p整体呈减少趋势,线性倾向值为 $-1.26\%/10\text{ a}$,即每10年减少1.26%,相关系数为-0.727,达到0.000显著性水平(表2); M-K法检测出1970年代初以来至今呈明显的减少趋势,1995年起超过0.05显著性水平,2000年期

超过0.001显著性水平,综合五点三次平滑曲线判断是一次始于1995年左右持续至今的减少突变现象; Morlet小波分析得出存在准11年、26年左右的主要准周期,以11年周期最显著。序列第一次11年周期强振动中心在1963年左右,1990年代中期以后表现不明显。

3.2.2. 气温日较差 DTR

DTR 整体呈减少趋势,线性倾向值为 $-0.12^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,相关系数为-0.557,达到0.000显著性水平(表2); M-K法检测出始于1973年左右持续至今的一次减少突变现象; Morlet小波分析得出存在8年、21年左右的主要准周期,以8年周期最显著。序列第一次8年周期强振动中心在1983年左右。

3.2.3. 霜冻日数 FD0

FD0整体呈减少趋势,线性倾向值为 $-1.99\text{天}/10\text{ a}$,即每10年减少1.99天,相关系数为-0.13,未达到0.05显著性水平(表2)。值得一提的是2008年冬季的低温雨雪冰冻天气灾害造成序列的波谷; M-K法检测出始于1985年至今的一次减少突变现象; Morlet小波分析得出存在5年、11年左右的主要准周期。序列第一次11年周期强振动中心在1963年左右,在1980年代中期以前,周期逐渐变短,强度逐渐增强,之后至今周期逐渐变短,强度逐渐减弱。

3.2.4. 冷日持续日数 CSDI

CSDI整体呈减少趋势,线性倾向值为 $-0.7\text{天}/10\text{ a}$,即每10年减少0.41天,相关系数为-0.346,达到0.009显著性水平(表2); M-K法检测出始于1981年左右止于2009年左右的减少突变现象; Morlet小波分析得出存在准13年、28年左右的主要准周期,以28年周期最显著。序列第一次28年周期强振动中心在1963年左右。

3.2.5. 结冰日数ID0

ID整体呈微弱减少趋势,线性倾向值为 $-0.09\text{mm}/10\text{ a}$,即每10年减少0.09天,相关系数为-0.143,未达到0.05显著性水平(表2)。值得一提的2008年冬季的低温雨雪冰冻天气灾害造成序列的波峰; M-K法检测UF曲线在2002年--2007年为超过0.05显著水平的突变区间,是始于1986年的一次减少突变现象; Morlet小波分析得出存在6年、13年左右的主要周期,以6年左右周期最显著。序列第一次6年周期强振动中心在1963年左右。

3.2.6. 冷昼指数 TX10P

TX10P整体呈微弱减少趋势,线性倾向值为 $-0.12\%/10\text{ a}$,即每10年减少0.12%,相关系数为-0.09,未达到0.05显著性水平(表2); M-K法检测出始于1962年止于1996年增加突变现象,1997年后呈减少趋势,2014年再次产生交点后继续减少,但在有限的序列内没有出现减少突变现象; Morlet小波分析得出存在准6年、13年左右的主要准周期,以13年周期最显著。序列第一次13年周期强振动中心在1967年左右,1980年代中期以来,周期在变大,强度在减弱。

3.2.7. 暖日持续日数WSDI

WSDI整体呈减少趋势，线性倾向值为-0.24天/10 a，即每10年减少0.24天，相关系数为-0.08,未达到0.05显著性水平（表2）；M-K 法检测出始于1963年止于2009年的一次减少突变现象；Morlet小波分析得出存在9年、18年左右的主要准周期，以9年周期最显著。序列第一次9年周期强振动中心在1963年左右，1980年代中期以来周期在变小，强度在减弱。

4. 结论

遵义地区平均最低温度TMINmean、最低气温极小值TNn、暖夜指数 TN90P、热夜日数 TR20、最低气温极大值TNX、最高气温极小值TXn、最高气温极大值TXX、平均最高温度TMAXmean、暖昼指数TX90P、生长期长度GSL等10个指数呈依次减小的正趋势。其中TMINmean、TNn、TN90P、TR20、TNX、TXn、TXX、TMAXmean等8个指数达到0.05显著性水平以上，并且除TMAXmean之外，其余都在1989年--2009年之间发生突变增温至今，意味着显著的极端温度增温现象还在持续；平均最低温度TMINmean趋势比平均最高温度TMAXmean 趋势更大，意味着温度非对称性变化造成的高温热浪天气在加剧。

遵义地区冷夜指数TN10p、气温日较差 DTR、霜日FD0、冷日持续日数CSDI、结冰日数ID0、冷日指数 TX10P、暖日持续日数WSDI 等7个指数呈依次减小的负趋势。其中TN10p、气温日较差 DTR、霜日FD0、冷日持续日数CSDI等4个指数达到0.05显著性水平以上，并且TN10p、DTR、FD0等3个指数都检测出持续至今的突变现象，分别表明显著的夜间增温幅度、最低气温与最高气温的非对称性变化在加大而霜冻天气在显著减少。

遵义地区极端温度指数最强振动周期在4年—32年之间，第一次强振动绝大多数发生在1960年代初。

参考文献

- [1] 董思言, 高学杰.长期气候变化:IPCC第五次评估报告解读.气候变化研究[J], 2014, 10 (1): 56-59.
- [2] 刘琳,徐宗学.西南5省市极端气候指数时空分布规律研究.长江流域资源与环境.[J]2014, 23 (2).294-301。
- [3] 曹祥会,龙怀玉,张继宗,等.河北省主要极端气候指数的时空变化特征[J].中国农业气象,2015.36(3): 245—253。
- [4] 杨艳娟,任雨,郭军.1951-2009年天津市主要极端气候指数变化趋势[J].气象与环境学报[J].2011.27(5):21-26。
- [5] 陈正洪,向华,高荣.武汉市10个主要极端天气气候指数变化趋势分析.气候变化研究进展[J].2010.6(1):22-28。
- [6] 张凯,娄德君,潘静,王冀等.1957 - 2000年沈阳地区气温和降水变化特征分析.气象与环境学报[J].2006.22(6):38-42。
- [7] YOU Q L, KANGS C, AGUILAR E, et al. Changes in daily climate extremes in China and their connection [J]-Climate Dynam, 2011, 36: 2399-2417.
- [8] 黄荣辉. SOS华北干旱 [J].科学中国人, 2001,21(8):4-6。
- [9] Frich P, Alexander L V, Della-Marta P. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the 20th century [J]. Clim. Res., 2002, 19 (3): 193-212.
- [10] 陈敏,耿福海,马雷鸣,周伟东,施红,马井会.近138年上海地区高温热浪事件分析[J].高原气象,2013,(02):2597-2607。
- [11] 郎咸梅,隋月.全球变暖2°C情景下中国平均气候和极端气候事件变化预估[J].科学通报,2013,(08):734-742。
- [12] 邓振镛,张强,徐金芳,陈敏,秦三杰,张树誉.高温热浪与干热风的危害特征比较研究[J].地球科学进展,2009,(08):865-873。
- [13] 李双双,杨赛霓,张东海,刘宪锋.近54年京津冀地区热浪时空变化特征及影响因素[J].应用气象学报,2015,(05):545-554。
- [14] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].气象出版社,北京.2007.(2)。
- [15] 吴洪宝,吴蕾.气候变率诊断和预测方法[M].气象出版社,北京.2010.(2)。
- [16] 王颖,施能,顾骏强等.中国雨日的气候变化[J].大气科学.2006.30(1):162-170。