doi:10.7515/JEE201405001

西安地区近 50 年极端气温变化研究

赵景波[1,2]，程　勇[2]，周　旗[1]，马晓华[2]
（1. 宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室，宝鸡 721007；
2. 陕西师范大学 旅游与环境学院，西安 710062）

摘　要：为了揭示西安地区近 50 年极端气温的变化和可能造成的灾害，本文根据 1959—2008 年间的气象数据，利用线性倾向估计法、Mann-Kendall 突变检验法、主成分分析法以及相关性分析法，研究了西安地区年最低气温、年最高气温、暖夜、暖日、夏天日数、热夜日数、冷夜、冷日、霜日、冰日的变化特点、趋势以及周期。结果表明，西安地区 1959—2008 年间气温总体呈上升趋势，尤其暖夜日数上升最明显，速率为 18.82 d·10a^{-1}。霜日、冰日、冷夜呈下降趋势，下降速率分别为 0.5 d·10a^{-1}、6.45 d·10a^{-1} 和 4.22 d·10a^{-1}。西安地区 1959—2008 年间夏天日数、热夜日数、暖日日数、暖夜日数呈上升趋势，上升速率分别为 2.35 d·10a^{-1}、5.38 d·10a^{-1}、6.48 d·10a^{-1}、18.82 d·10a^{-1}。极端高温呈先下降后上升趋势，极端低温呈略上升趋势。西安地区 1959—2008 年间极端气温存在突变，突变主要发生在 1990 年代，夏日日数和暖日日数的突变发生在 2000 年代。暖指数的增加是西安市 1959—2008 年间气温呈上升趋势的主要表现。小波分析显示西安地区极端气温普遍存在 27 a 左右的主控周期，极端最高气温、夏日、暖日、冷夜、冷日、霜日、冰日存在 15 a 左右的振荡周期。极端暖指数增加和极端冷指数的减少表明高温灾害与旱灾发生的机率可能增大，需要做好防范工作。

关键词：极端气温；气候变暖；近 50 年；气温突变；小波分析；西安地区
中图分类号：P467　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1674-9901(2014)05-0301-10

Variations of the extreme temperature in Xi'an in recent 50 years

ZHAO Jing-bo[1,2], CHENG Yong[2], ZHOU Qi[1], MA Xiao-hua[2]
(1. Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721007, China; 2. Collage of tourism and environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: In order to analyze the variational characteristics of extreme temperature and disasters in Xi'an area, meteorological data from 1959 to 2008 which contains daily average temperature, the highest temperature and lowest temperature, methods of linear fitting, Mann-Kendall examination, principal component analysis and correlation analysis were comprehensive employed to analyze each year's variation trends, mutation and the oscillation period of extreme temperature indicators, such as the extreme minimum temperature, extreme maximum temperature, warm nights and warm days, summer days and hot nights, cold nights, cold days, frost days, ice days. The results showed that: the overall temperature of Xi'an area from 1959 to 2008 had an upward trend, especially warm nights increased significantly at 18.82 d·10a^{-1} rate. Frost days, ice days, cold nights had downward trends, the decline rate were 0.5 d·10a^{-1}, 6.45 d·10a^{-1} and 4.22 d·10a^{-1} respectively. Summer days, hot days, warm days and warm nights of Xi'an area rised from 1959 to 2008, the rate were 2.35 d·10a^{-1}, 5.38 d·10a^{-1}, 6.48 d·10a^{-1},

收稿日期：2014-07-31
基金项目：宝鸡文理学院陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室项目（13JS012）；国家自然科学基金项目（40672108）
通讯作者：赵景波，E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn

18.82 d·10a^{-1} respectively. The extreme maximum temperature increased firstly and then decreased, the extreme minimum temperature had a slightly rising trend. From 1959 to 2008, extreme temperature mutation mainly occurred in the 1990s, while warm days and summer days mutation occurred in the 2000s. The increasing trend of temperature from 1959 to 2008 was mainly due to warm indices. Wavelet analysis showed that extreme temperatures of Xi'an area had around 27 a master cycle, extreme maximum temperature, summer days, warm days, cold nights, cold days and ice days had about 15 a oscillation. Both the increasing number of extreme warm indices and the reducing number of extreme cold indices would increase the probability of high temperature and drought disasters, and needed some preventive work.

Key words: extreme temperature; variation tendency; in recent 50 years; wavelet analysis; the temperature trend in Xi'an

许多观测资料表明，近百年来地球气候正经历着一次全球变暖的过程。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第四次评估报告指出，1906—2005 年全球地表平均气温升高了 0.74℃，变暖幅度自 1990s 以来明显加速，未来 100 年全球气温将升高 1.1~6.4℃（IPCC，2007）。在全球气候变暖的大背景下，近 50 年来增温尤其明显，约增加 0.62~0.94℃（赵宗慈等，2007）。同时极端天气气候事件发生频率增大，对经济社会发展造成了严重的不利影响。因此，有关极端天气气候事件成因及气候变化受到了国内外学者的广泛关注（龚道溢和韩晖，2004；胡宜昌等，2007；陈晓光等，2008）。Karl et al（1991）研究发现，美国和前苏联极端最低气温在过去几十年上升幅度较大。Frich et al（2002）通过研究发现，1950 年以来极端最高和最低气温的差异在显著减小。任富民和翟盘茂（1998）对中国极端气温变化的研究表明，极端最低温度显著上升，极端最高温度在缓慢下降。唐红玉等（2005）通过对 1951—2002 年中国最高、最低气温及日较差变化的研究得出，中国最高气温在南方变化不明显或呈弱的降温趋势，而北方增暖明显，年平均最低气温变化在中国各地基本一致，呈明显的变暖趋势。任国玉等（2010）通过总结近年有关中国极端气候变化观测研究成果认为，在全球气候明显变暖的半个多世纪里，中国极端气候类型变化非常复杂，不同类型和不同区域极端气候变化存在明显差异。全国范围内与异常偏冷相关的极端事件如寒潮、冷夜和冷昼天数、霜冻日数等显著减少、减弱，与异常偏暖相关的暖夜、暖昼日数明显增多，暖夜日数增多尤其明显。许多研究结果表明，全球变暖主要发生在夜间（如唐红玉等，2005）。姜创业等（2011）分析了 1961—2008 年陕西省不同区域近年来的气候变化特征，表明年平均气温上升的趋势明显。

西安地区由于气候因素年际与年内变化幅度大，干旱和洪涝灾害时有发生，严重影响社会经济发展和人民生活。本文基于西安地区的极端气温指数，对西安地区近 50 年极端气温变化进行研究，以期为该区减灾防灾和应对气候变化提供科学依据。

1 地区自然概况

西安市位于黄河流域中部关中盆地，北纬 33°42′~34°44′30″，东经 107°40′~109°49′。南和东南以秦岭山脉主脊为界，与佛坪、宁陕、柞水、洛南县、商州市相邻，西以黑河之西太白山及青化台塬为界，与太白、眉县接壤。北以渭河为界，与扶风、武功、兴平县及咸阳市的杨陵、秦都、渭城区隔河相望。东北大致以荆山黄土台塬为界，与富平、三原、泾阳县毗连。东以零河和灞源山地为界，与华县、渭南市相接。南北宽约 100 公里，东西长约 204 公里，平面轮廓略呈西南倾的斜长方形。城区中心位置地处北纬 34°15′24″，东经 108°55′45″，辖境面积 9983 平方公里，其中市区面积 1066 平方公里。境内河流基本属于黄河流域的渭河水系，较大的河流有渭河、泾河、石川河、黑河、涝河、灞河、浐河、沣河、戏河、零河等。由于受气候特点制约，降水分布很不均衡，河流径流量季节性变化明显。西安市位于东南沿海湿润气候向西北内陆干旱气候的过渡带上，兼

有两种类型气候特征，属暖温带半湿润季风气候，年平均气温为 13.1℃，年平均降水量为 600 mm，四季冷暖干湿分明。

2　资料来源与研究方法

本文中日最高、最低日平均气温来源于“中国气象科学数据共享服务网”（http://cdc. cma.gov.cn）中公布的西安气象站的资料。为了资料尽可能完整，气象资料时间跨度一致取为 1959 年至 2008 年。将 1959—2008 年间闰年的 2 月 29 日数据进行剔除，即 1959—2008 年间每年按 365 日进行计算。

从 WMO 发布的极端天气指数中选取了西安气象站的 10 种极端气温指数（表 1）分析西安地区的极端气温的变化趋势。文中采用线性倾向估计法分析极端气温变化趋势，计算采用最小二乘法进行估计，用其线性倾向值来分析要素的年际变化率。研究显著性水平取 0.05 和 0.01，如果统计量小于 0.05，则认为趋势是显著的，统计量小于 0.01，则认为趋势是极显著的。用 Morlet 复小波分析极端气温的周期性（施能，2002）。用 Mann-Kendall 突变检验法研究极端气温突变发生的年代。

目前，国际上在气候极值变化研究中最多的是采用阈值，超过阈值的值被认为是极值，该事件为极端事件，阈值又分为绝对阈值和百分比阈值，绝对阈值即选取一固定值，而百分比阈值则不同。本文中气温百分比阈值定义方法是根据每个测站的日最高(低)气温分别确定其极端高(低)温阈值，方法如下：选取 1959—2008 年的日最高（低）气温作为基期进行分析，将某站 1959—2008 年中同日的最高（低）气温资料按升序排列，得到该日第 90（10）个最高（低）气温的百分位值，按照此方法得到 365 个最高（低）气温的第 90（10）个百分位值，将之作为极端高（低）气温事件的上（下）阈值。如果某日的最高温度超越了该日极端气温事件的上阈值，则认为该日出现了极端高温事件；同理如果某日的最低温度超越了该日极端气温事件的下阈值，则认为该日出现了极端低温事件。

表 1　极端气温的指标

Table 1　Indices for extreme temperature

指标名称	定义	单位
极端最高气温	每年的最高的日最高气温	℃
极端最低气温	每年的最低的日最低气温	℃
夏天日数	最高气温≥ 25℃日数	天数
热夜日数	最低气温≥ 20℃日数	天数
霜日	最低气温≤ 0℃日数	天数
冰日	最高气温≤ 0℃日数	天数
冷夜	日最低气温小于 1959—2008 年间的第 10 个百分位数值的天数	天数
暖夜	日最低气温大于 1959—2008 年间的第 90 个百分位数值的天数	天数
冷日	日最高气温小于 1959—2008 年间的第 10 个百分位数值的天数	天数
暖日	日最高气温大于 1959—2008 年间的第 90 个百分位数值的天数	天数

3　结果与分析

3.1　极端气温指数的变化趋势与突变分析

图 1a、图 1b 分别为西安地区极端最高气温、极端最低气温的时间序列。从图 1a 可以看出，西安地区的极端最高气温变化总体上呈下降趋势，速率为 0.07℃·10a^{-1}，达到 95% 信度检验（表 2）。从年代际变化来看，极端最高气温在 1960's 年代到 1980's 年代期间呈下降趋势，1983 年降到最低值，为 35.4℃，1980's 后又有所增加。其中 1998 年和 2005 年达到峰值，分别为 41.8℃、41.7℃。由 M-K 检验可知，极端最高气温的 UF 曲线在 50 年期间的前五年和后五年小于 0，其余年份都大于 0，表明西安市日最高气温总体呈上升趋势。且极端最高气温的 UF 曲线与 UK 曲线交于信度线之间，交点为 1964 年，表明西安市极端最高气温在 1964 年出现由低到高的突变。

从图 1b 统计整个序列得到极端最低气温有增加的趋势，速率为 0.48·10a^{-1}。1969 年达 50 年来最低值 −18.7℃。2000's 年代比 1960's 极端最低气温高 2℃。由 M-K 检验可知，极端最低气温的 UF 曲线与 UK 曲线交于信度线之间，交点为 1996 年，表明西安市极端最低气温在 1996 年出现由高到低的突变。

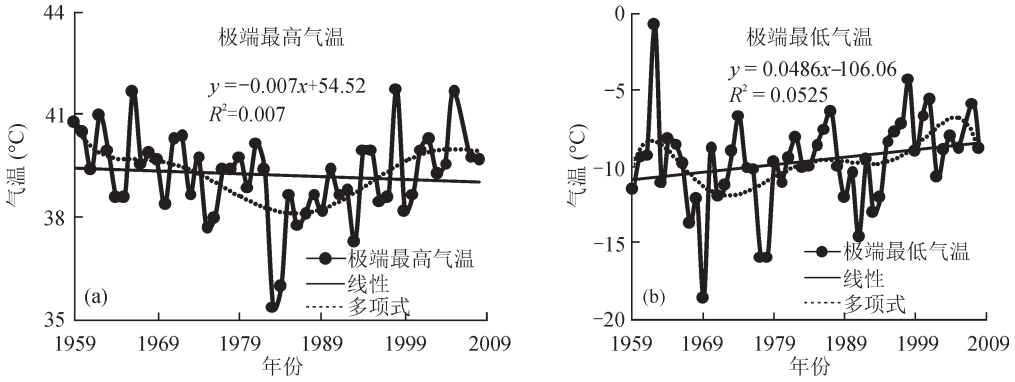

图 1 西安 1959—2008 年极端温度事件的变化

Fig.1 Changes in extreme temperature events in Xi'an from 1959 to 2008

图 2a、图 2b 分别为西安地区夏天日数和热夜日数的时间序列。从图 2a 可以看出，夏天日数以 2.35 d·10a^{-1} 速率上升，达到 99% 信度检验（表 2）。从年代际变化来看，1960's 年代前期呈下降趋势，期间最低值为 1964 年 112 天。1970's 呈上升趋势，1980's 年代后期至今（2008）年呈逐步上升趋势。由 M-K 检验可知，夏日日数的 UF 曲线均小于 0，表明夏日日数一直处于下降趋势，且夏日日数的 UF 曲线与 UK 曲线交于信度线之间，交点为 2003 年，表明西安市夏日日数在 2003 年出现由少到多的突变。从图 2b 可以看出热夜日数以 5.38 d·10a^{-1} 的速率上升，也通过了 99% 信度检验（表 2）。从图 1 可以看出热夜日数基本一直呈上升趋势，其上升的速率较快可能与近年来西安总体气温上升有关。由 M-K 检验可知，热夜日数的 UF 曲线除个别年份外均大于 0，表明西安市热夜日数总体呈上升趋势。

图 2c、图 2d 分别为西安地区霜日和冰日天数的时间序列。从图 2c 可以看出，霜日日数随时间总体呈下降趋势，速率为 6.45 d·10a^{-1}，达到 99% 信度检验（表 2）。50 年来在 1969 年（103 天），1985 年（101 天），1992 年霜日超过 100 天。1959—2000 年霜日都在 60 天以上。但 2000 年后的 2002 年（49 天），2004 年（46 天），2007 年（40 天）出现霜日 40 天左右的情况。但 2008 年又上升到 71 天，这可能与 2008 年出现的气温异常情况有关。由 M-K 检验可知，霜日日数的 UF 曲线与 UK 曲线交于信度线之间，交点为 1998 年，表明西安市极端霜日日数在 1998 年出现由多到少的突变。从图 2d 可以看出，冰日日数随时间总体也呈下降趋势，速率为 0.51 d·10a^{-1}，未通过信度检验（表 2）。其年代际变化来看，1960's 呈上升趋势，1970's 到 2000's 缓慢下降。2008 年（20 天）比 2007 年（0 天）冰日高出 20 天。由 M-K 检验可知，冰日日数的 UF 曲线 2000's 之前绝大部分时间大于 0，2000's 以后均小于 0，表明西安市冰日日数呈先增多后减少的变化趋势，且冰日日数的 UF 与 UK 曲线交于信度线之间，交点为 1994 年，表明西安市冰日日数在 1994 年出现由多到少的突变。

图 3a、图 3b 分别为西安地区暖日和冷日天数的时间序列。从图 3a 可以看出，西安地区的暖日呈增加趋势，速率为 6.48 d·10a^{-1}，通过了 99% 的信度检验（表 2）。从年代变化来看，1960's—1970's 中期暖日呈下降趋势，1970's 中期以后呈上升趋势。由 M-K 检验可知，暖日日数的 UF 曲线绝大部分时间大于 0，表明西安市暖日日数整体处于增加趋势，且暖日日数的 UF 与 UK 曲线交于信度线之间，交点为 2002 年，表明西安市暖日日数在 2002 年出现由多到少的突变。从图 3b 可以看出，西安地区的冷日也有增加趋势，变率为 0.95 d·10a^{-1}，未通信度检验（表 2）。由 M-K 检验可知，冷日日数的 UF 曲线均大于 0，表明冷日日数一直处于上升趋势。

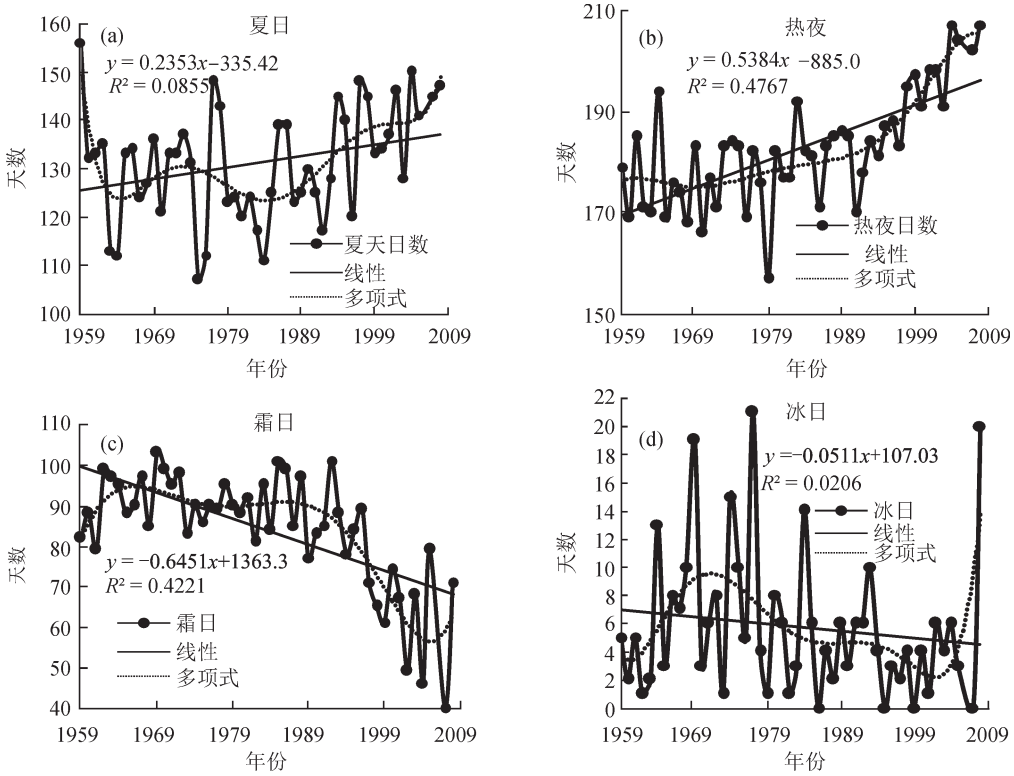

图 2　西安 1959—2008 年夏天日数、热夜日数、霜日和冰日变化

Fig.2　Change of extreme temperature events in Xi'an during 1959—2008

表 2　1959—2008 年西安站极端气温变化趋势

Table 2　Spatial distribution of temperature indices in Xi'an 1959—2008

极端最高气温（℃·10a^{-1}）	极端最低气温（℃·10a^{-1}）	夏日（d·10a^{-1}）	热夜（d·10a^{-1}）	霜日（d·10a^{-1}）	冰日（d·10a^{-1}）	暖日（d·10a^{-1}）	冷日（d·10a^{-1}）	冷夜（d·10a^{-1}）	暖夜（d·10a^{-1}）
−0.07*	0.48	2.35**	5.38**	−6.45**	−0.51	6.48**	0.95	−4.22**	18.82**

注：** 通过 99% 的信度检验，* 通过 95% 的信度检验。

图 3c、图 3d 分别为西安地区暖夜和冷夜天数的时间序列，从图 3c 可以看出，暖夜随时间呈明显的增加趋势，其速率为 18.82 d·10a^{-1}，通过 99% 的信度检验（表 2）。从年代际变化来看，暖夜基本呈阶梯式增加趋势，在 1960's 年代至 1980's 年代变化较为稳定和缓慢，到 1990's 年代后迅速增加。由 M-K 检验可知，暖夜日数的 UF 曲线 2005 年之前均大于 0，表明西安市暖夜日数整体呈上升趋势，且暖夜日数的 UF 与 UK 曲线交于信度线之间，交点为 1999 年，表明西安市暖夜日数在 1999 年出现由多到少的突变。从图 3d 统计整个序列得到冷夜呈很强的减少趋势，速率为 4.22 d·10a^{-1}，通过了 99% 的信度检验（表 2）。强的趋势主要是由于 1970's 年代以及 1990's 后的异常减少造成的。由 M-K 检验可知，冷夜日数的 UF 曲线 1980s 之前绝大部分时间大于 0，1980s 以后均小于 0，表明西安市冷夜日数呈先增多后减少的变化趋势，且冷夜日数的 UF 与 UK 曲线交于信度线之间，交点为 1999 年，表明西安市冷夜日数在 1999 年出现由多到少的突变。

总之，西安地区 1959—2008 年极端最高气温为下降趋势，速率为 0.07℃·10a^{-1}，极端最低气温呈上升趋势，速率为 0.48℃·10a^{-1}。这与马柱国等（2003）对中国北方极端温度变化的研究不太一致，马柱国等研究的中国北方极端最高温度和极端最低温度虽然都为增加趋势，但极端最低气温的变率明显大于极端最高气温的变率；但与翟盘茂和潘晓华（2003）、任福民和翟盘茂（1998）对中国极端气温变化的研究结果一致，翟盘茂和任福民研究表明极端最低温度显著上升，极端最

高温度在缓慢下降（马柱国等，2003；唐红玉等，2005）。造成该差异的原因还需要进一步研究。冷日呈小幅上升趋势，冷夜有较大幅度的减少趋势，暖日和暖夜为增加趋势，这与文献中前人对中国北方 1951—1999 年以及中国和全球 1961—2003 年极端气温变化研究的结论一致。霜日与冰日都呈下降趋势，夏天日数，热夜日数呈上升趋势（游庆龙等，2009；You et al，2011）。其中暖日日数的上升速率为 6.48 d·10a^{-1}，暖夜日数上升速率为 18.83 d·10a^{-1}，和其他指标速率相比，相对偏高，这与唐红玉等（2005）得出的全球变暖主要发生在夜间的结论相一致。

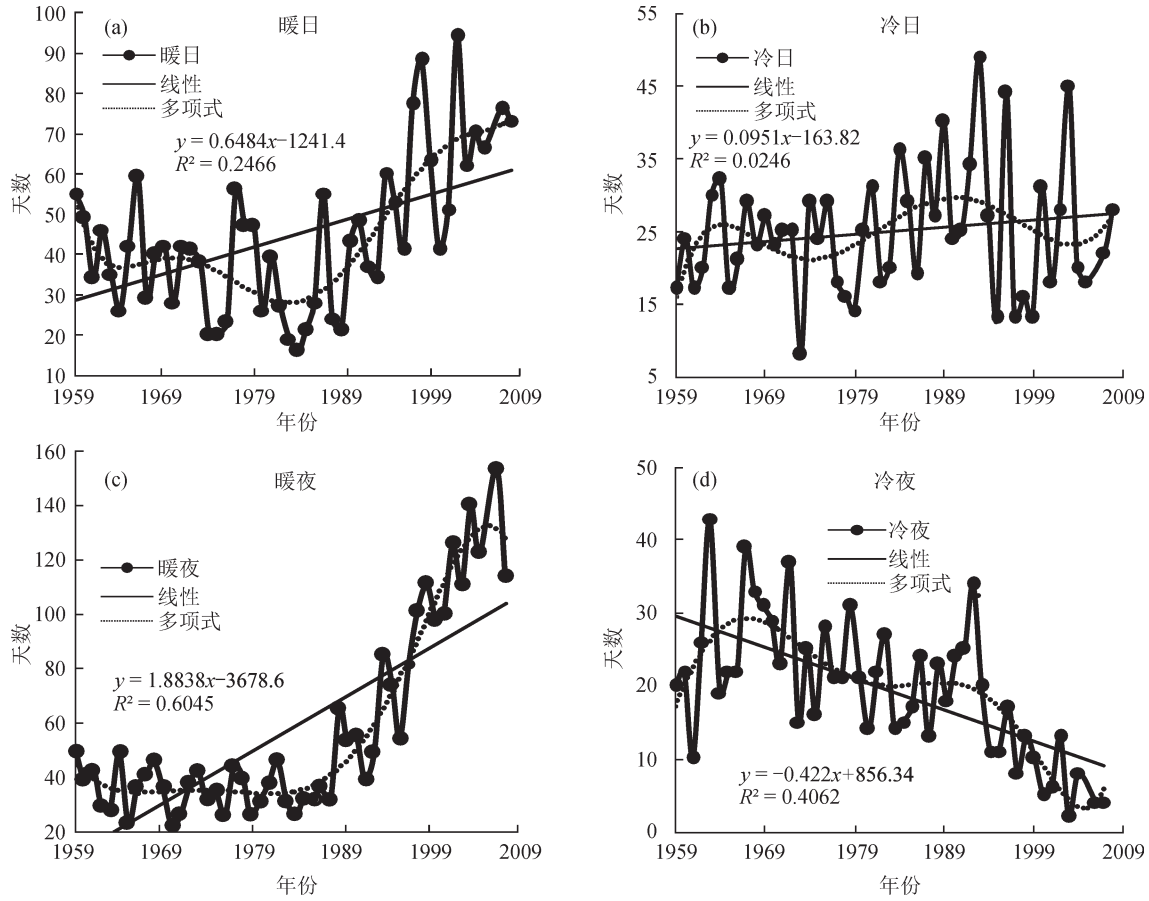

图 3 西安 1959—2008 年暖日、冰日、暖夜和冷夜变化

Fig.3 Change of extreme temperature events in Xi'an during 1959—2008

3.2 极端气温变化周期分析

图 4 和图 5 为西安 1959—2008 年极端温度事件的 Morlet 复小波变换图，图中实线表示偏高、偏多或偏暖，虚线表示偏低、偏少或偏冷。从图 4a 可见，极端最高气温存在 10 a、15 a 和 27 a 左右的准周期，27 a左右的振荡周期为主要控制周期，贯穿始终，冷日的变化过程为偏高 — 偏低 — 偏高，15 a左右周期也很显著，经历偏高 — 偏低 — 偏高 — 偏低 — 偏高的变化，10 a 左右的周期振荡并不是很明显。从图 4b 可见，极端最低气温存在 8 a、10 a 和 27 a 左右的准周期，27 a、8 a 左右的振荡周期为主要控制周期，贯穿始终，27 a 周期极端最低气温的变化过程为偏低 — 偏高 — 偏低，8 a 左右周期极端最低气温的变化过程为偏低 — 偏高 — 偏低的交替变化。

从图 4c 可见，夏天日数存在 15 a、27 a 左右的准周期，27 a 左右的振荡周期为主要控制周期，贯穿始终，夏天日数的变化过程为偏多 — 偏少 — 偏多。15 a 左右的周期不是很明显，其在 21 世纪初期消失。从图 4d 可见，热夜日数存在 3 a 、7 a、12 a、27 a 左右的准周期，3 a、7 a、27 a 周期贯穿始终，且都是偏多 — 偏少反复变化，最终都以

偏多结束。12 a 左右的周期在 1970's 中期才出现。但变化都相同。

从图 4e 和图 4f 得出，霜日和冰日都存在 15 a 和 27 a 左右的振荡周期，霜日和冰日的主控周期都为 27 a 左右的振荡周期，且贯穿始终，在 27 a 左右的振荡周期上，都经历着偏多 — 偏少 — 偏多的交替变化。15 a 左右的周期不明显，大体经历着偏多 — 偏少 — 偏多的交替变化。

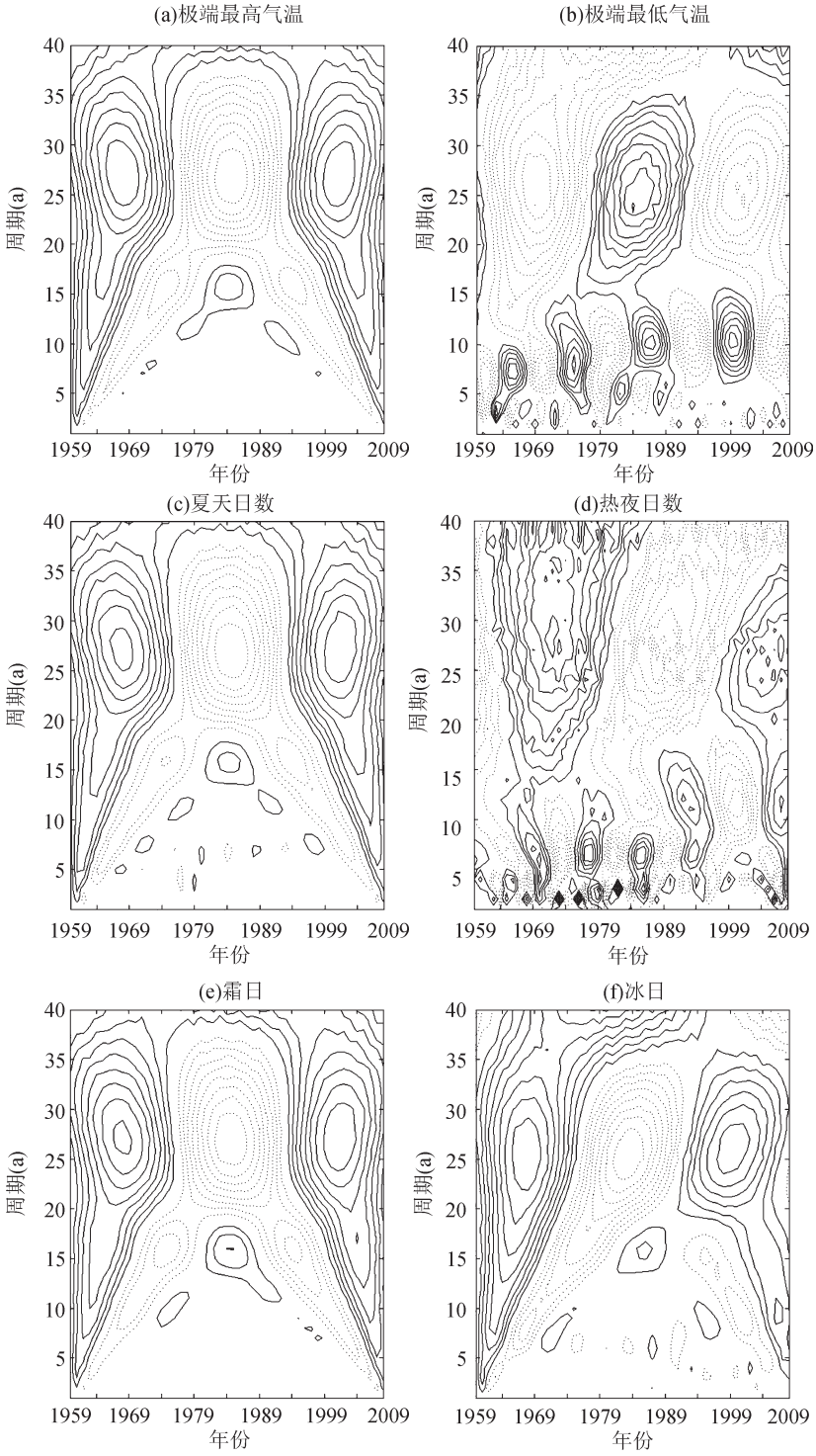

图 4　西安极端温度事件的变化周期

Fig.4　The period of extreme temperature events in Xi'an

从图 5a 可以看出，冷夜存在 3 a、10 a、25 a 左右的振荡周期，25 a 左右的振荡周期为主要控制周期，贯穿始终，经历着偏多 — 偏少 — 偏多 — 偏少的交替变化。3 a、10 a 左右的周期不是特别明显。大体都经历着同样的交替变化。从图 5b 可以看出，暖夜存在27 a左右的振荡周期且贯穿始终，同时经历着偏多 — 偏少 — 偏多的变化。

从图 5c 可以看出，冷日存在 3 a、10 a、27 a 左右的振荡周期。3 a、27 a 左右的振荡周期为主要控制周期，贯穿始终，且都是偏多 — 偏少的反复交替变化。10 a左右的周期在1959—1989年不明显，1980's 以后比较明显。从图 5d 可以看出，暖日存在 5 a、15 a、27 a 左右的振荡周期。27 a 左右的振荡周期为主要控制周期，贯穿始终，经历着偏多 — 偏少 — 偏多交替变化。15 a 左右的周期在 1959—1979 年比较明显，1980's 以后不明显。

由此得出，西安地区极端气温事件普遍存在 27 a 左右的主控周期；极端最高气温、夏日、霜日、冰日、暖日存在 15 a 左右的振荡周期；极端最高气温、极端最低气温、冷夜、冷日也存在 10 a 左右的振荡周期；冷日、冷夜、暖夜、热夜还存在 3 a 左右的小振荡周期。

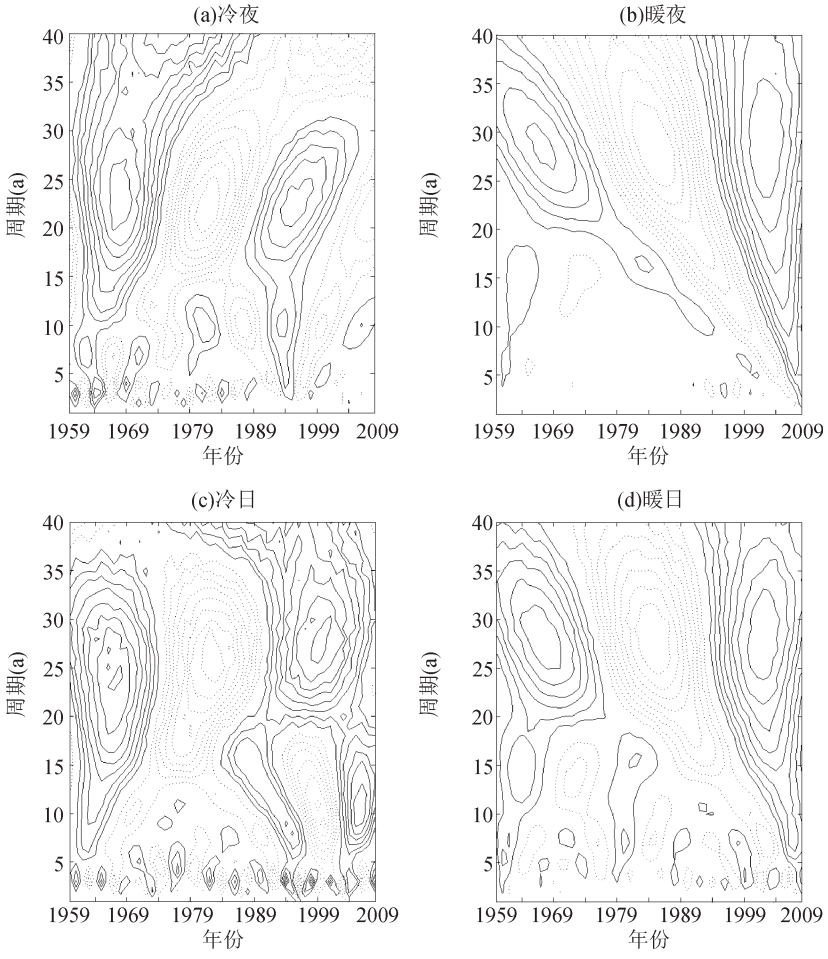

图 5　西安 1959—2008 年冷日、暖日、冷夜、暖夜的变化周期
Fig.5　The period of extreme temperature events in Xi'an

3.3　极端气温指数的主成分分析

利用 SPSS13.0 软件对西安市极端气温指数的各因子进行主成分分析，可以得出主成分和因子间的相关系数的载荷矩阵（表 4），由表 4 可见，前 3 个主成分分别累计提取了总方差的 76.46%。由表 4 中共同度可以看出，用主成分分析法提取的若干主成分能够很好地解释原各变量，共同度绝大多数在 70% 以上。从表 4 中可见，暖夜日数和暖日日数，在主成分 1 中具有较高的载荷，载荷值分别为0.919和0.877，这两个指数都为暖指数。

第一主成分占方差贡献率的 45.04%，而其后的主成分所占的方差贡献率逐渐减少，因此，可以认为暖指数的变化是西安市 1959—2008 年气温呈上升趋势的主要原因。第二主成分占方差贡献率的 16.8%，日极端最高气温和冷日日数在主成分 2 中占有较高的载荷，载荷值分别为 0.60 和 0.70，该冷指数的增加能很好地反映西安市 1959—2008 年日最低气温呈上升趋势。冰日在主成分 3 中占有较高的载荷，载荷值为 0.75，说明气温日较差的变化受冷指数的影响较大。

表 4　1960—2012 年西安市极端气温指数的因子分析

Table 4　Results of factor loadings perceptual explained variance in temperature extremes in Xi'an from 1959 to 2008

指标	日极端最高温	日极端最低温	冷夜	暖夜	冷日	暖日	夏日	冰日	热夜	霜日	方差（%）
因子 1	0.42	0.39	0.79	0.92	−0.30	0.88	0.73	−0.19	0.75	−0.85	45.04
因子 2	−0.60	−0.05	−0.28	0.23	0.70	−0.23	−0.37	0.41	0.54	−0.21	16.78
因子 3	0.31	−0.74	0.21	0.05	0.11	0.26	0.36	0.75	0.04	0.06	14.64
共同度	0.64	0.70	0.75	0.90	0.59	0.84	0.79	0.77	0.86	0.82	–

4　结论

（1）根据极端气温线性趋势分析得知，西安地区在 1959—2008 年极端暖事件呈明显上升趋势，而极端冷事件总体呈下降趋势。

（2）线性趋势分析表明，西安地区 1959—2008 年极端最低温略呈上升趋势，极端最高温度呈先降低后上升趋势。

（3）西安地区 1959—2008 年，气温总体呈上升趋势，尤其暖夜日数以 18.82 d·10a^{-1} 速率上升，表明西安地区气温总体上升。西安地区 1959—2008 年气温上升主要是夜间气温上升造成的。

（4）西安市极端气温存在突变，突变主要发生在 1990 年代，而最高气温在 1964 年出现由低到高的突变，夏日日数和暖日日数在 2000 年代年出现由多到少的突变。暖指数的增加是西安市 1959—2008 年气温呈上升趋势的主要表现。

（5）西安地区极端气温事件普遍存在 27 a 左右的主控周期，极端最高气温、夏日、暖日、霜日、冰日存在 15 a 左右的振荡周期，极端最高气温、极端最低气温、冷夜、冷日也存在 10 a 左右的振荡周期，冷日、冷夜、暖夜、热夜还存在 3 a 左右的小振荡周期。

参考文献

陈晓光 , Declan Conway, 陈晓娟 , 等 . 2008. 1961—2005 年宁夏极端降水事件变化趋分析 [J]. *气候变化研究进展* , 4(3): 156–160. [Chen X G, Declan C, Chen X J, et al. 2008. Trends of extreme precipitation events in Ningxia during 1961—2005 [J]. *Advances in Climate Change Research*, 4(3): 156–160.]

龚道溢 , 韩　晖 . 2004. 华北农牧交错带夏季极端气候的趋势分析 [J]. *地理学报* , 59(2): 230–238. [Gong D Y, Han H. 2004. Extreme climate events in northern China over the last 50 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 59(2): 230–238.]

胡宜昌 , 董文杰 , 何　勇 . 2007. 21 世纪初极端天气气候事件研究进展 [J]. *地球科学进展* , 22(10): 1066–1075. [Hu Y C, Dong W J, He Y. 2007. Progress of the study of extreme weather and climate events at the beginning of the twenty first century [J]. *Advances in Earth Science*, 22(10): 1066–1075.]

姜创业 , 魏　娜 , 程肖侠 , 等 . 2011. 1961—2008 年陕西省年际气温和降水区域性变化特征分析 [J]. *水土保持研究* , 18(1): 197–200. [Jang C Y, Wei N, Cheng X X, et al. 2011. Analysis of inter-annual temperature and precipitation regional change during 1961—2008 in Shaanxi Province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 18(1): 197–200.]

马柱国 , 符淙斌 , 任小波 , 等 . 2003. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系 [J]. *地理学报* , 58(S1): 11–20. [Ma Z G, Fu C B, Ren X B, et al. 2003. Trend of annual extreme temperature and its relationship to regional warming in northern China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 58(S1): 11–20.]

任福民 , 翟盘茂 . 1998. 1951—1990 年中国极端气温变化分析 [J]. *大气科学* , 22(2): 217–227. [Ren F M, Zhai P M.

1998. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951—1990 [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 22(2): 217–227.]

任国玉 , 封国林 , 严中伟 . 2010. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望 [J]. *气候与环境研究* , 15(4): 337–353. [Ren G Y, Feng G L, Yan Z W. 2010. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in mainland China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 15(4): 337–353.]

施　能 . 2002. 气象科研与预报中的多元分析方法 [M]. 北京 : 气象出版社 , 143–154. [Shi N. 2002. Weather research and forecast in the multivariate analysis method [M]. Beijing: China Meteorological Press, 143–154.]

唐红玉 , 翟盘茂 , 王振宇 . 2005. 1951—2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化 [J]. *气候与环境研究* , 10(4): 728–735. [Tang H Y, Zhai P M, Wang Z Y. 2005. On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951—2002 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 10(4): 728–735.]

游庆龙 , 康世昌 , 闫宇平 , 等 . 2009. 近 45 年雅鲁藏布江流域极端气候事件变化趋势分析 [J]. *地理学报* , 64(5): 592–600. [You Q L, Kang S C, Yan Y P, et al. 2009. Trends in daily temperature and precipitation extremes over the Yarlung Zangbo River Basin during 1961—2005 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 64(5): 592–600.

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 [J]. *地理学报* , 58(S1): 1–10. [Zhai P M, Pan X H. 2003. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century [J]. *Acta Geographica Sinica*, 58(S1): 1–10.]

赵宗慈 , 王绍武 , 罗　勇 . 2007. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估 [J]. *气候变化研究进展* , 3(3): 183–184. [Zhao Z C, Wang S W, Luo Y. 2007. Assessments and projections of temperature rising since the establishment of IPCC [J]. *Advances in Climate Change Research*, 3(3): 183–184.]

Frich P, Alexander L V, Della-Marta P, et al. 2002. Observed Coherent Change in Climatic Extremes during the Second Half of the 20th Centry [J]. *Climate Research*, 19(3): 193–212.

IPCC. 2007. Climate change. The physical science basis [C]// Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Karl T R, Kukla G, Razuvayev V N, et al. 1991. Global warming: Evidence asymmetric for diurnal temperature change [J]. *Geophysical Research Letters*, 18(12): 2253–2256.

You Q L, Kang S C, Agular E, et al. 2011. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961—2003 [J]. *Climate Dynamics*, 36(11–12): 2399–2417.