

# 秦皇岛市近 57 年极端气温指数变化特征

武泽华<sup>1</sup>, 赵景波<sup>1,2</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062;

2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061)

**摘要:** 利用 1957—2013 年河北省秦皇岛市每日气温资料, 运用线性拟合及累积距平、Mann-Kendall 突变检验法、主成分分析法和 MATLAB 小波分析等方法对 WMO 发布的 10 种极端气温指数进行了计算和分析。结果表明, 秦皇岛市近 57 年来, 极端最高气温、极端最低气温都有上升趋势, 冰日、霜日、冷夜、冷日天数呈减少趋势, 夏日、热夜、暖夜、暖日呈增加趋势。由年代际分析可知, 近 57 年来秦皇岛市的极端气温存在阶段性的变化特征, 并有突变现象的发生, 大部分突变年代集中于 20 世纪 80 年代左右。秦皇岛市近 57 年间气温上升的原因是夏日、热夜等暖指数的增加, 其中热夜和暖夜增加最明显, 对气温上升趋势有较大的贡献。本文所分析的 10 种极端气温指数都存在 30 a 左右的周期, 部分指数存在 18 a、8 a、3 a 左右的周期。极端天气现象的增加会造成干旱、病虫、洪涝等气象灾害, 应做好相应的防范措施。

**关键词:** 极端气温; 周期规律; 气温突变; 近 57 年; 秦皇岛市

**中图分类号:** P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2015)06-0407-12

## Characteristics of extreme temperature indices in Qinhuangdao City in recent 57 years

WU Ze-hua<sup>1</sup>, ZHAO Jing-bo<sup>1,2</sup>

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2. Stat Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** Using daily temperature observed in Qinhuangdao from 1957 to 2013, the methods of linear fitting, accumulative anomaly, Mann-Kendall mutation testing method, principal component analysis, MATLAB wavelet analysis and other correlation analysis were employed to calculate and analyze WMO's ten indices of extreme temperature. The results showed that: in the past 57 years, the extreme high temperature and the extreme low temperature had upward trends, ice days, frost days, cold days and cold days had downward trends, while summer days, hot nights, warm nights and warm days showed increasing trends. The decadal analysis showed that the extreme temperature had a stage variation and mutant phenomenon in recent 57 years, in addition, the majority mutations focused on about 1980's. The reason of rising temperatures was warm indices, among them, hot night and warm night increased obviously, had a large contribution to the trend of rising temperature. Ten kinds of extreme temperature indices in this paper existed about 30 a period, a part of indices existed about 18 a, 8 a, 3 a period. The increase of extreme weather events would make drought, diseases, flood and other meteorological disasters, thus preventive measures should be taken.

**Key words:** extreme temperature; cycle regularity; temperature mutation; recent 57 years; Qinhuangdao City

收稿日期: 2015-09-09

基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (11&ZD097); 国家自然科学基金国际合作项目 (41210002); 黄土与第四纪地质国家重点实验室项目 (SKLLQG1428)

通讯作者: 赵景波, E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn

在全球气候变暖的背景下,极端事件发生的频率和强度也都发生了相应的变化,尤其是近年来,极端高温和极端低温发生频率的加大给社会经济发展和人民生活带来了严重的影响。因此,开展极端气温的研究,找出极端气温事件发生的规律及变化趋势,对于更好地应对极端气候和防灾减灾具有非常重要的意义。

极端天气气候事件通常被定义为在特定地区和时间发生的气候事件,当某地的天气气候状态严重偏离其气候的平均状态时,就可以认为发生了极端事件(翟盘茂和刘静,2012)。IPCC第四次评估报告指出,过去的100年里全球的平均气温上升了 $0.74^{\circ}\text{C}$ ,近50年来全球气温以 $0.13^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速度上升(IPCC,2007)。Gruza et al(1999)研究指出俄罗斯极端高温天数有显著增加趋势;Choi et al(2009)分析了亚太地区1955—2007年极端气温事件,发现其具有类似的变化规律;Jones et al(1999)和Klein Tank and Können(2003)采用极端气候指数分别研究了大不列颠群岛及欧洲极端气温和降水事件的变化趋势,发现极端气候事件也存在增加的趋势。赵军等(2012)研究发现,近50年来中国大陆年平均气温表现出显著的升温趋势,平均上升了 $0.20\sim 0.52^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。郑祚芳等(2011)研究表明,近49年来北京平均气温增温速率约为 $0.39^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,最高温和最低温具有明显的非对称性。张宁等(2008)研究表明,年和四季的极端最低温均表现出稳定的增温趋势,极端低温的增温幅度明显大于极端高温的增温增幅。刘芳圆等(2014)研究指出,河北地区1956—2007年年均气温表现为波动上升趋势,平均上升率为 $0.364^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。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。You et al(2011)选取了12个极端气温指数在全国尺度下研究了极端气温的变化情况,发现北方极端气温的变化趋势更为明显。此外,气候变化的模拟实验表明,未来一些类型的极端气候事件的发生会更加频繁而其影响会更加严重(王冀等,2008a,2008b)。

秦皇岛位于华北平原东北部,是我国首批沿海开放城市之一,南临渤海,北依燕山。在全球气候变化的大背景下,秦皇岛区域气候正在发生较为显著的变化。近年来,气温逐渐升高、降水减少、干旱严重,给当地经济发展和生态环境造成了很大影响。由于秦皇岛又是环渤海经济圈中心地带和东北、华北两大经济区的结合部,了解它的气

候变化规律,可以为提高短期气候预测水平和指导当地经济发展提供重要依据,同时对研究华北、渤海湾沿岸和东北地区气候变化具有重要参考意义。虽然近年来对极端气温变化进行了一些研究,但是主要集中于内陆地区,秦皇岛地处海边,极端气温变化与内陆地区是否不同值得研究,对于揭示环渤海气温变化的规律也具有重要意义。

## 1 研究区概况与方法

秦皇岛市位于华北地区、冀东北部,地处北纬 $39^{\circ}24'\sim 40^{\circ}37'$ ,东经 $118^{\circ}33'\sim 119^{\circ}51'$ 。地势北高南低,形成北部山区—低山丘陵区—山间盆地—冲积平原区—沿海区。秦皇岛市地处半湿润区,属于温带大陆性季风气候。因受海洋影响较大,气候比较温和,春季少雨干燥,夏季温热无酷暑,秋季凉爽多晴天,冬季漫长无严寒。秦皇岛市多年平均气温 $10.3^{\circ}\text{C}$ ,夏季最热在8月份,月平均气温 $24.5^{\circ}\text{C}$ ,冬季最冷在1月,月平均气温 $-6.5^{\circ}\text{C}$ 。年平均降水量 $656.2\text{mm}$ ,年最大降水量 $1221.21\text{mm}$ ,年最小降水量 $419.5\text{mm}$ 。年降水主要在6—8月,占全年降水总量的70%以上,日最大降水量 $215.4\text{mm}$ 。

本文所选取的气象资料均来自中国气象科学数据共享服务网,采用了秦皇岛、青龙、乐亭三个具有代表性的气象台站1957—2013年的年平均气温,年最高、最低气温(年最高、最低气温指的是每天最高、最低气温的平均值)作为数据的来源进行统计。结合秦皇岛的自然地貌和地理特点,采用WMO发布的27种极端天气指数(周雅清和任国玉,2010)中的十项数据进行统计与分析。其中为了进一步表明气温变化的规律与趋势,本文采用了线性拟合趋势、累计距平的方法对这十项数据进行了分析和描述,采用最小二乘法进行计算估计,采用了CA法对气温突变年份进行检验,利用Morlet复小波(孙娴等,1998)的方法检测极端气温的周期规律。

国际上在气候极值变化研究中应用最多的是阈值,超过阈值的值被认为是极值,该事件为极端事件(赵景波等,2014)。本文所选极端指数可以分为3类(张剑锋等,2012),第1类称为极值指数,即每年每日最高(最低)气温的最大(最小)值,直接由气象台站观测所得统计而来。第2类称为绝对指数,是在气象台站观测数据基础上根据国际气象机构定义的固定阈值进行处理得到的指数,包括夏日天数、冰日天数、热夜天数、霜日天数。第3类称为相对指数,是相对于某一基期的(浮动)阈

值, 冷夜、暖夜、冷日、暖日采用 1970—1999 年这 30 年作为基期。以冷夜为例, 选取 1970—1999 年每年的同一日期最低气温进行升序排列, 选取第 10 个百分点的值作为该日期的阈值, 然后将

1957—2013 年每年的同一日期最低气温与该阈值比较, 若小于阈值, 则算作当年该日期为冷夜。暖夜计算方法类似, 阈值取为基期升序列的第 90 个百分点, 冷日、暖日以此类推。

表 1 本文选定的极端气温指数  
Tab.1 Indices for extreme air temperature used in this study

指数分类	指数名称与定义	单位
极值指数	极端最高气温: 每年最大的日最高气温; 极端最低气温: 每年最小的日最低气温	℃
绝对指数	夏日: 每年日最高气温 ≥ 25 ℃ 的日数; 冰日: 每年日最高气温 ≤ 0 ℃ 的日数	d
	热夜: 每年日最低气温 ≥ 20 ℃ 的日数; 霜日: 每年日最低气温 ≤ 0 ℃ 的日数	d
相对指数	冷夜: 日最低气温小于基期阈值 (10%) 的天数	d
	暖夜: 日最低气温大于基期阈值 (90%) 的天数	d
	冷日: 日最高气温小于基期阈值 (10%) 的天数	d
	暖日: 日最高气温大于基期阈值 (90%) 的天数	d

## 2 结果与分析

### 2.1 秦皇岛 1957—2013 年极端气温变化趋势与突变分析

计算得出秦皇岛市 1957—2013 年的各项极端气温指数, 从图 1 和表 2 可知, 极端最高温、极端最低温、夏日、热夜、暖夜、暖日几个指数呈上升趋势, 冰日、霜日、冷夜、冷日四个指标呈下降趋势。

近 57 年来, 秦皇岛市的年极端最低气温是升高的, 其变率为  $0.63\text{℃} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。由图 1 可见年极端最低气温的变化趋势在各个年代际之间随时间的变化并非一致。从年代际来看, 20 世纪 60 年代、20 世纪 70 年代、20 世纪 80 年代、20 世纪 90 年代的平均最低气温是逐渐升高的, 而 21 世纪第一个十年, 平均最低气温又有较大的下降。由图 2 的 M-K 检验可知, 极端最低气温的 UF 与 UK 曲线交于信度线之间, 焦点为 1973 年, 表明秦皇岛市极端最低气温在 1973 年出现由小到大的突变。

由累积距平 (图 3) 来看, 极端最低气温相对于近 57 年的平均值总体上呈现先降低后增加的趋势。

近 57 年来年最高气温呈现极其微小的上升趋势, 没有明显变化, 其变率为  $0.03\text{℃} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。20 世纪 60 年代极端最高气温的年代际平均值处于一个相对较高的阶段, 而在 20 世纪 70 年代、20 世纪 80 年代、20 世纪 90 年代的极端最高气温相对于 20 世纪 60 年代有所下降, 进入 21 世纪后又有所上升, 其年代际平均值和 20 世纪 60 年代基本持平。由图 2 的 M-K 检验可知, 极端最高气温存在多个突变年份, 但是 UF 曲线分别有 24 年大于 0 和 23 年小于 0, 所以极端最高气温在近 57 年来基本保持不变。由累积距平 (图 3) 可知, 极端最高气温一直处于波动状态, 大约在 1960—1978 年、1982—1985 年、2004—2005 年、2009 年下半年—2011 年, 极端最高气温相对于近 57 年的平均值处于上升趋势。

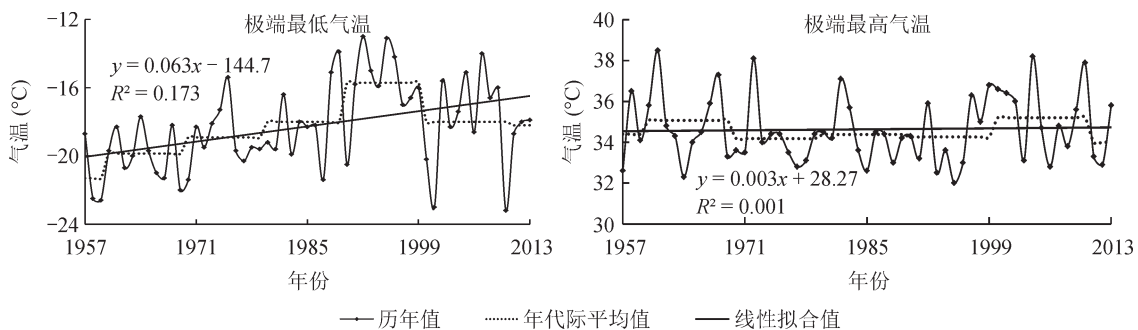


图 1 1957—2013 年秦皇岛市极端最低气温、极端最高气温变化趋势  
Fig.1 Change in extreme low, high annual temperatures of Qinhuangdao City during 1957—2013

表2 极端气温指标变率分析  
Tab.2 Analysis of extreme temperature

极端最高温 ( $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	极端最低温 ( $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	夏日 ( $\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	冰日 ( $\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	热夜 ( $\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	霜日 ( $\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	冷夜 ( $\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	暖夜 ( $\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	冷日 ( $\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )	暖日 ( $\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ )
0.03	0.63	1.33	-1.93	3.34	-2.80	-2.21	2.51	-0.64	1.03

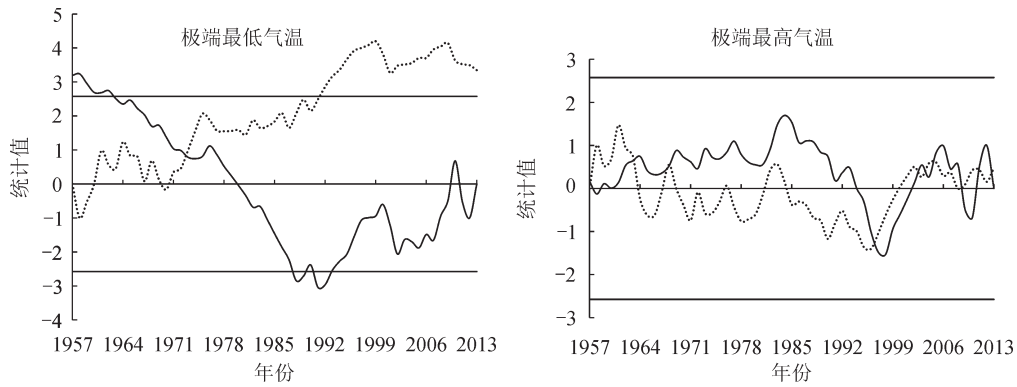


图2 1957—2013年秦皇岛市极端最低气温、极端最高气温 M-K 检验  
Fig.2 M-K test in extreme low, high annual temperatures of Qinhuangdao City during 1957—2013

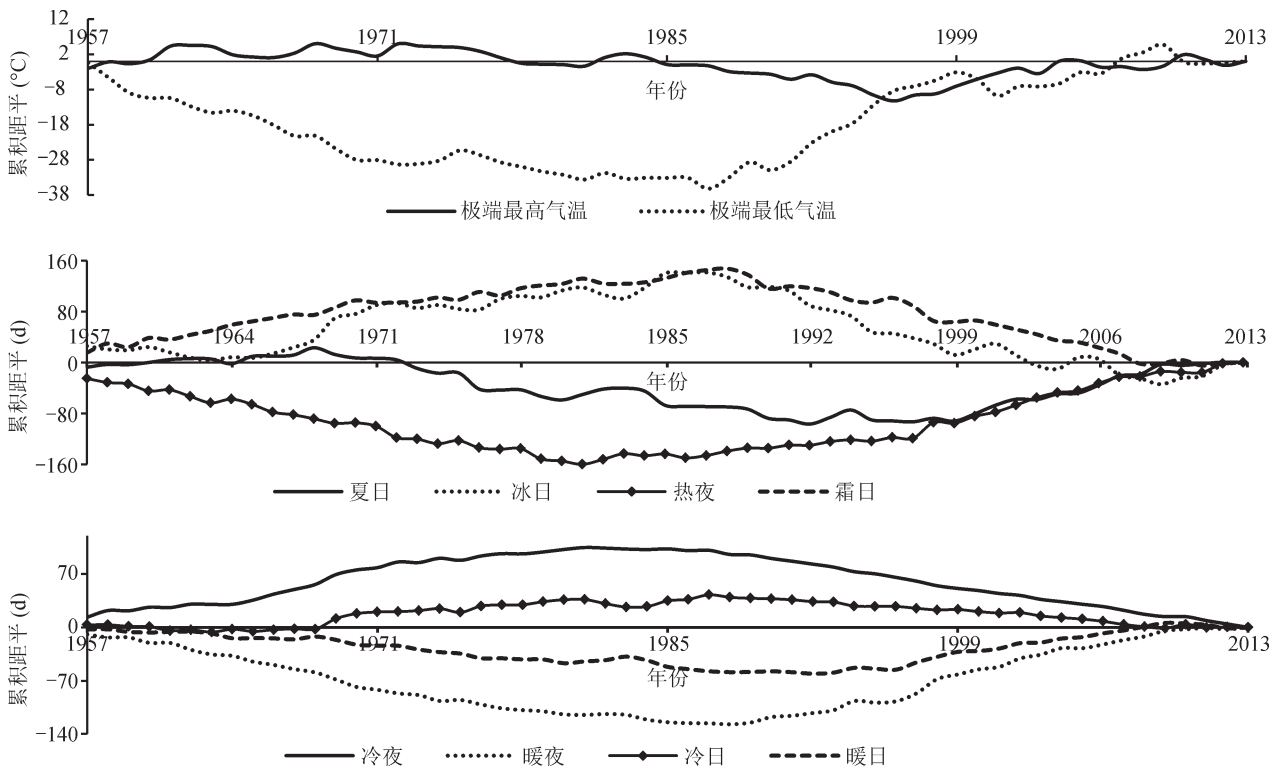


图3 1957—2013年秦皇岛市极端气候指数累积距平  
Fig.3 Cumulative anomaly of extreme temperature index of Qinhuangdao City during 1957—2013

从图4来看,夏日近57年来变化波动较大,呈小幅上升趋势,变率为 $1.33 \text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ;由年代际来看呈现上升—下降—上升的变化,20世纪70年代至20世纪80年代均值保持在较低水平,然而在1976年出现了近57年来夏日天数的最小值。由

M-K 检验(图5)可知,夏日日数的UF曲线大约在1964年中期到2001年小于0,在1964年中期以前和2001年以后均大于0,表明秦皇岛市夏日日数在1964年中期以前、1964年中期到2001年、2001年以后分别处于上升、下降、上升的趋势,但从近

57 年总体来看呈小幅上升趋势。夏日的 UF 和 UK 曲线交于信度线之间, 焦点为 1999 年, 表明秦皇岛市夏日日数在 1999 年出现由少到多的突变。冰日呈小幅下降趋势 (图 4), 变率为  $-1.93 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 年代际平均值变化趋势呈现先降低再升高的趋势, 由线性拟合值的  $R^2$  值 (0.07) 较接近于 0 也可以看出冰日的波动较大。由 M-K 检验 (图 5) 可知, UF 和 UK 曲线交于信度线之间, 焦点为 1986 年,

表明秦皇岛市冰日日数在 1986 后出现由多到少的突变。热夜的天数 (图 4) 呈现较大的增长趋势, 其变率为  $3.34 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 年代际变化呈现阶梯式的上升趋势, 反映出热夜这一指数近 57 年来稳定、较大幅度的增长趋势。由 M-K 检验 (图 5) 可知, UF 和 UK 曲线交于信度线之间, 焦点为 1977 年, 表明秦皇岛市热夜日数在 1977 年后出现由少到多的突变。

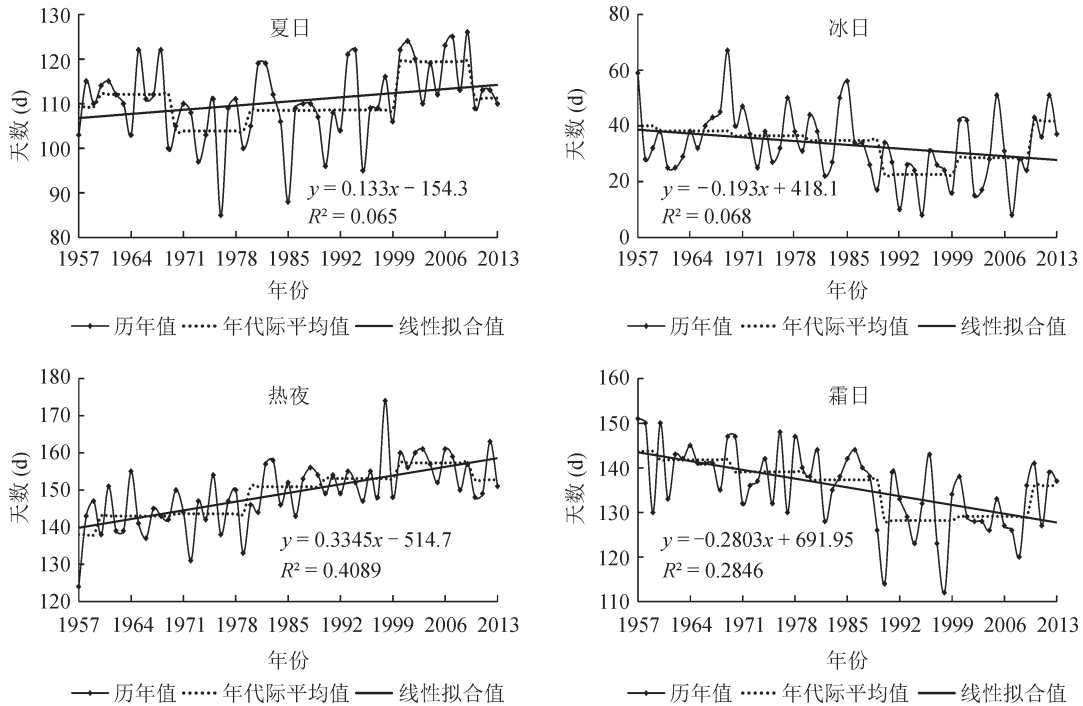


图 4 1957—2013 年秦皇岛市极端气温绝对指数变化趋势  
Fig.4 Change in extreme temperature adiabatic index of Qinhuangdao City during 1957—2013

霜日同样呈现较大幅度的下降趋势 (图 4), 变率为  $-0.28 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 年代际平均值呈现阶梯状的下降趋势, 在 20 世纪 90 年代下降趋势较大。由 M-K 检验 (图 5) 可知, 霜日日数的 UF 曲线小于 0, 表明秦皇岛市霜日日数呈减少趋势。UF 和 UK 曲线交于 1981 年, 表明秦皇岛市霜日日数在 1981 年出现由多到少的突变。由累积距平 (图 3) 来看, 20 世纪 80 年代后期冰日、霜日的天数减少较快, 造成了近 57 年均值的减少, 夏日天数的增加大约在 1999 年, 热夜天数的增加大约在 20 世纪 70 年代后期, 夏日、热夜天数的增加拉动了近 57 年均值的上升。

变化来看, 冷夜总体呈下降趋势, 其中 20 世纪 80 年代际均值最低, 而在 20 世纪 90 年代以后出现了小幅的上升。由图 7 的 M-K 检验可知, 冷夜日数的 UF 曲线绝大部分小于 0, 表明秦皇岛市冷夜日数总体呈减少趋势。UF 和 UK 曲线交于信度线之间, 焦点为 1983 年, 表明秦皇岛市冷夜天数在 1983 年发生突变。暖夜呈上升趋势, 变率为  $2.51 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 其年代际平均值持续上升 (图 6), 其中 20 世纪 90 年代上升幅度较大, 20 世纪 90 年代和 21 世纪第一个十年的年代际均值较为相近。由图 7 M-K 检验可知, UF 和 UK 曲线交于信度线之间, 焦点为 1982 年, 表明秦皇岛市暖夜日数在 1982 年出现由少到多的突变。

图 6 表明, 冷夜变率为  $-2.21 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 冷夜天数在近 57 年来持续下降。由年代际均值

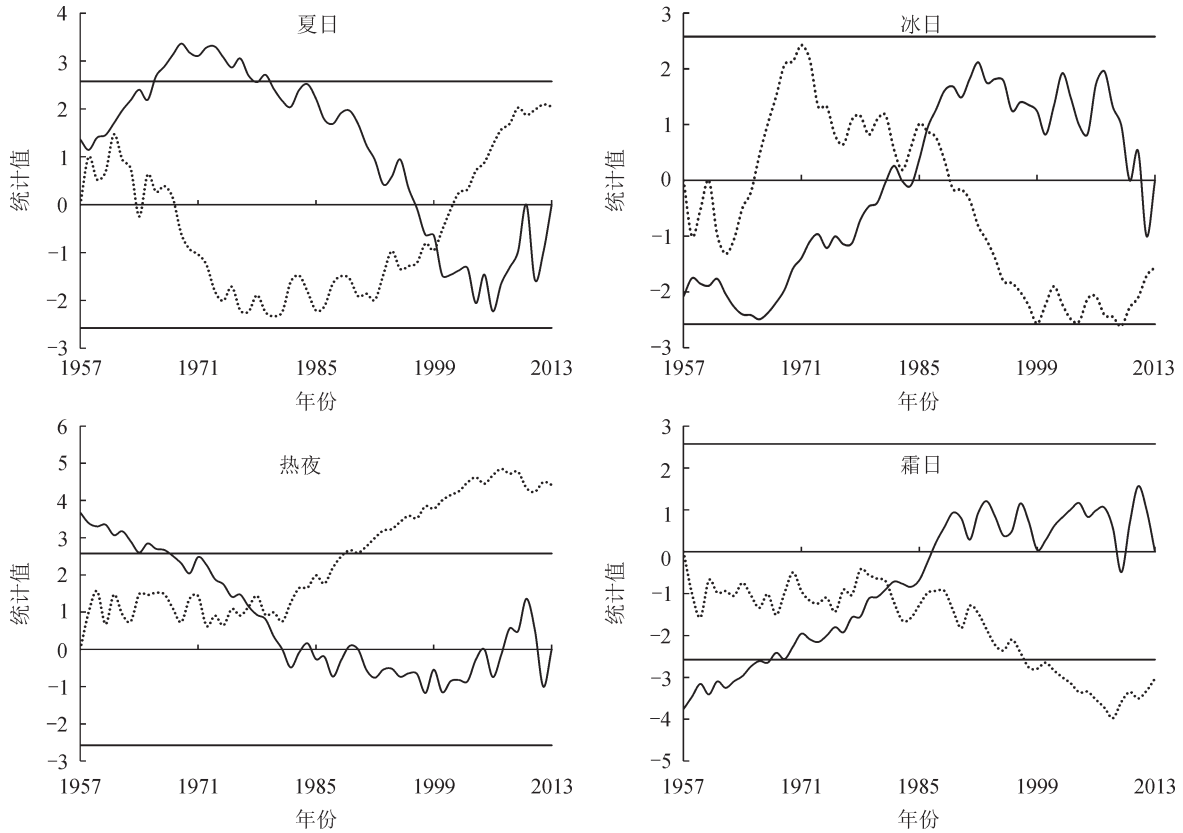


图 5 1957—2013 年秦皇岛市极端气温绝对指数 M-K 检验  
 Fig.5 M-K test in extreme temperature adiabatic index of Qinhuangdao City during 1957—2013

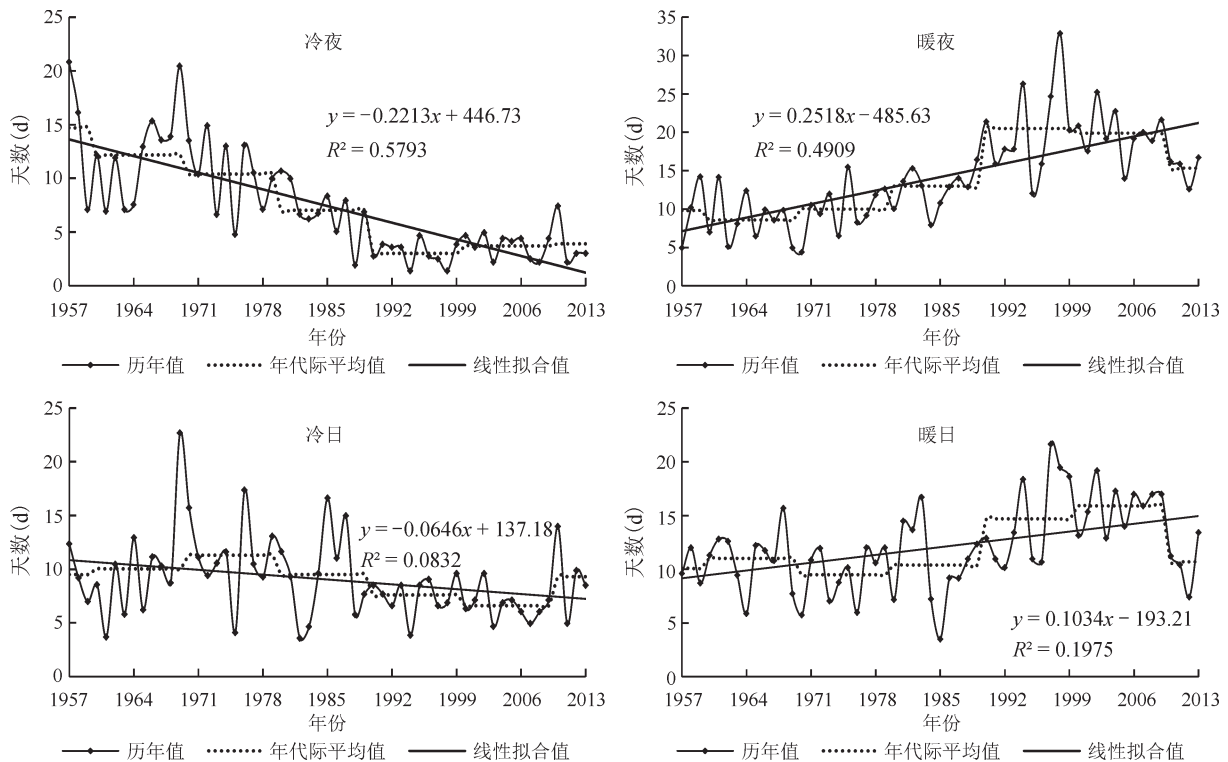


图 6 1957—2013 年秦皇岛市极端气候相对指数变化趋势  
 Fig.6 Change in extreme temperature relative index of of Qinhuangdao City during 1957—2013

冷日天数呈现小幅度下降趋势(图 6), 变率为  $-0.64 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 冷日的年代际均值在 20 世纪 60 年代至 20 世纪 70 年代持续上升, 20 世纪 80 年代以后呈持续下降趋势。由图 7 M-K 检验可知, 冷日日数的 UF 和 UK 曲线交于信度线之间, 焦点为 1991 年, 表明秦皇岛市冷日日数在 1991 年发生了由多到少的突变。暖日呈上升

趋势(图 6), 变率为  $1.03 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 上升幅度相比暖夜小。由年代际变化来看, 暖日在 20 世纪 60 年代至 20 世纪 70 年代呈下降趋势, 20 世纪 80 年代以后呈持续上升趋势。由图 7 M-K 检验可知, UF 和 UK 曲线交于信度线之间, 焦点为 1989 年, 表明秦皇岛市暖日日数在 1989 年出现由少到多的突变。

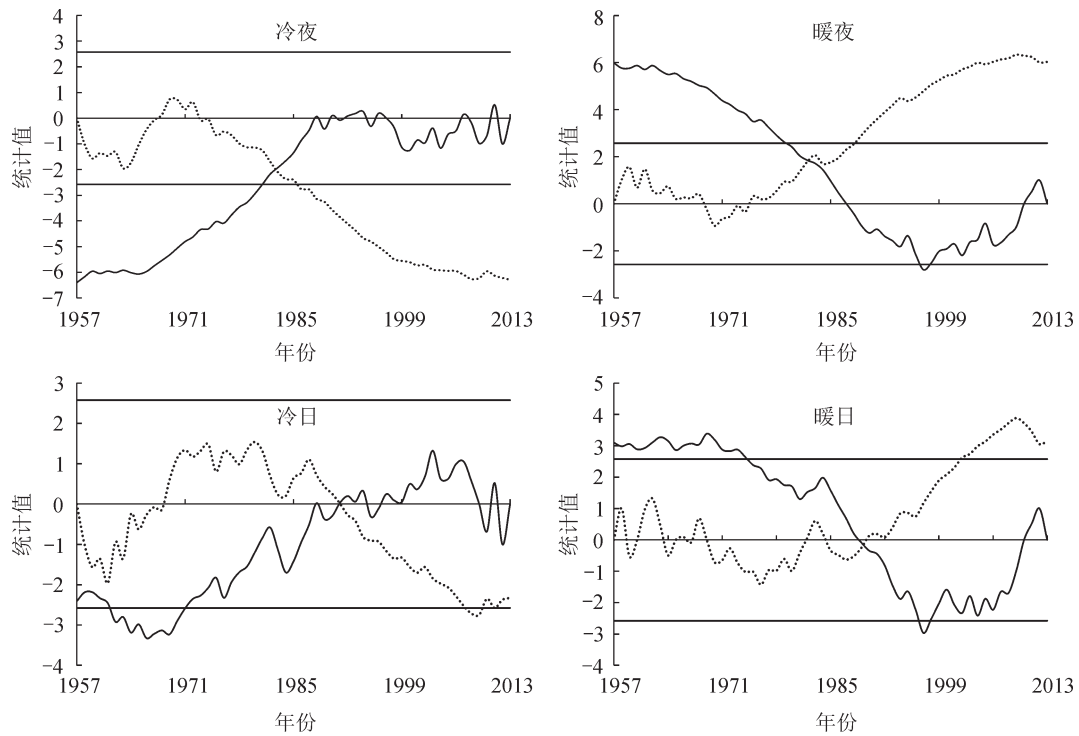


图 7 1957—2013 年秦皇岛市极端气温相对指数 M-K 检验  
Fig.7 M-K test in extreme temperature relative index of of Qinhuangdao City during 1957—2013

累积距平变化(图 3)显示, 冷夜、冷日虽然在变化趋势上都表现了一定的波动性, 但是总体上都呈现先上升后下降的趋势, 其中冷夜、冷日分别在 20 世纪 80 年代的前期和后期表现下降趋势。暖夜、暖日的累积距平变化与冷夜、冷日相反, 总体上为先下降后上升, 并且分别在 20 世纪 80 年代的后期和 20 世纪 90 年代的前期表现出上升趋势。

**2.2 秦皇岛市近 57 年极端气温年代际变化**

由上文极端气候指数的变化趋势图中的年代际平均值以及图 3 的累积距平来看, 秦皇岛市近 57 年来的极端气温变化存在时代变化特征, 在不同的时间序列中具有不同的变化特点。

结合表 3 和图 1~6 进行综合分析可以得出, 夏日、暖日均呈现先降低后升高的趋势, 其中夏日、

暖日年代际的最低值在 20 世纪 70 年代, 夏日、暖日年代际均值在总体上呈上升趋势; 而冰日则呈现先升高后降低的趋势, 但其天数在总体上呈下降趋势。热夜、暖夜均出现了阶梯式的升高现象, 其中热夜、暖夜分别在 20 世纪 80 年代和 20 世纪 90 年代上升幅度最大, 两者在其他年代的上升幅度分别保持相近。与之相对应, 霜日、冷夜在进入 21 世纪以前均呈现出阶梯式的下降趋势, 其中两者在 20 世纪 90 年代下降幅度最大, 进入 21 世纪以后两者又都呈现出小幅的上升, 但是总体上依然呈现了下降趋势。极端最低气温、冷日均表现出了先升高后降低的趋势, 两者分别在 20 世纪 90 年代和 20 世纪 70 年代达到最高值。极端最低气温总体表现出上升的趋势, 而冷日则表现出小幅下降趋势。极端最高气温的年代际变化相对于前面几项指标变化较小,

各个年代际的均值基本持平,只有20世纪60年代和21世纪第一个十年出现了微小的上升。极端天气热指数呈增加的趋势,夏日由20世纪60年代至今增加了7 d,热夜增加了14 d,暖夜增加了11 d,

暖日增加了5 d。极端天气冷指数呈下降趋势,冰日减少了10 d,霜日减少了13 d,冷夜减少了8 d,冷日减少了3 d。通过以上分析可以看出,秦皇岛市近57年气温呈上升趋势。

表3 极端气温年代变化分析  
Tab.3 Change of decadal extreme temperature

年代	极端最高(°C)	极端最低(°C)	夏日(d)	冰日(d)	热夜(d)	霜日(d)	冷夜(d)	暖夜(d)	冷日(d)	暖日(d)
20世纪60年代	35.07	-19.86	112.1	38.20	143.0	141.8	12.18	8.600	10.03	11.02
20世纪70年代	34.18	-18.91	103.9	36.50	143.6	139.1	10.40	10.01	11.30	9.500
20世纪80年代	34.38	-18.00	108.5	34.80	150.9	137.3	7.030	13.00	9.500	10.40
20世纪90年代	34.26	-15.71	108.6	22.60	153.1	128.2	3.010	20.50	7.600	14.70
21世纪第一个十年	35.20	-18.00	119.4	28.60	157.3	129.1	3.700	19.90	6.600	15.90

### 2.3 秦皇岛市近57年极端气温周期分析

图8、图9为利用MATLAB所做的小波分析图,以此对极端气温指数进行周期检测。图8为极端最高气温和极端最低气温的小波变换图,图9为夏日、冰日、热夜、霜日、冷夜、暖夜、冷日、暖日的小波分析图。由图8可以看出极端最高气

温具有30 a、18 a左右的周期,18 a周期出现于20世纪70年代,消失于20世纪90年代,存在少—多—少的变化趋势。极端最低气温存在30 a、18 a、8 a左右的周期,对称性较好,18 a周期出现于20世纪70年代,消失于20世纪90年代,变化趋势为多—少—多。

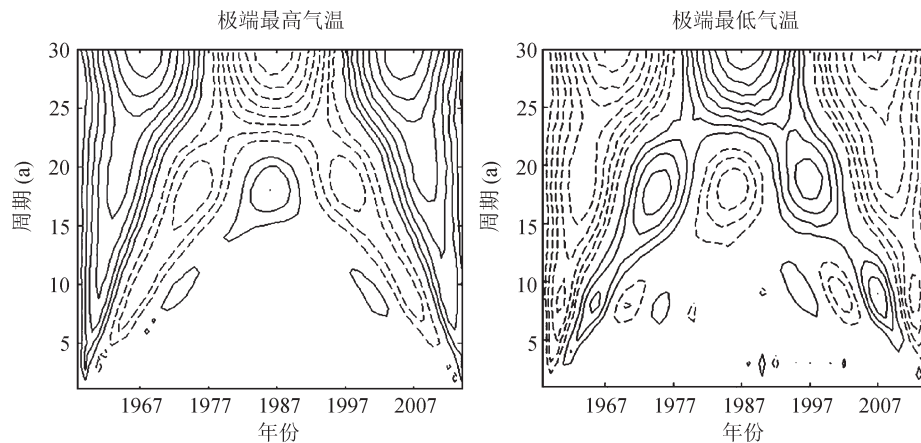


图8 秦皇岛市极端最高气温、极端最低气温的变化周期

Fig.8 The period of extreme high, low annual temperatures of Qinhuangdao City during 1957—2013

由图9可以看出,夏日、热夜、霜日具有30 a、18 a左右的周期,18 a周期于20世纪70年代出现,于20世纪90年代消失,存在少—多—少的变化趋势,并且具有较好的对称性。30 a作为以上三个指数的准周期贯穿整个研究时段,而且均为其主控周期。冰日周期的变化比夏日、热夜、霜日复杂,存在30 a、18 a、8 a、3 a左右的周期。冷夜存在30 a、18 a、8 a、3 a左右的准周期,变化较为复杂,30 a左右周期持续始终,为主要控制周期。暖夜存在30 a、14 a、6 a、3 a左右的准周期,30 a左右周期存在于整个研究时段,为主要控制周

期;4 a左右的周期起始于20世纪60年代后期,消失于20世纪80年代后期。冷日的变化更为复杂,存在30 a、18 a、8 a、5 a、3 a左右的准周期,其中30 a左右的周期作为主控周期存在于整个研究时段,18 a左右的周期始于20世纪70年代后期消失于20世纪90年代后期,8 a左右的周期较为连续,而5 a、3 a左右的周期则较不明显。暖日的变化与冷夜相似,存在30 a、16 a、8 a、3 a左右的准周期,其中30 a左右的周期作为主控周期存在于整个研究时段,16 a左右的周期由20世纪60年代后期持续至20世纪70年代,而8 a、3 a左右的准周期不明显。



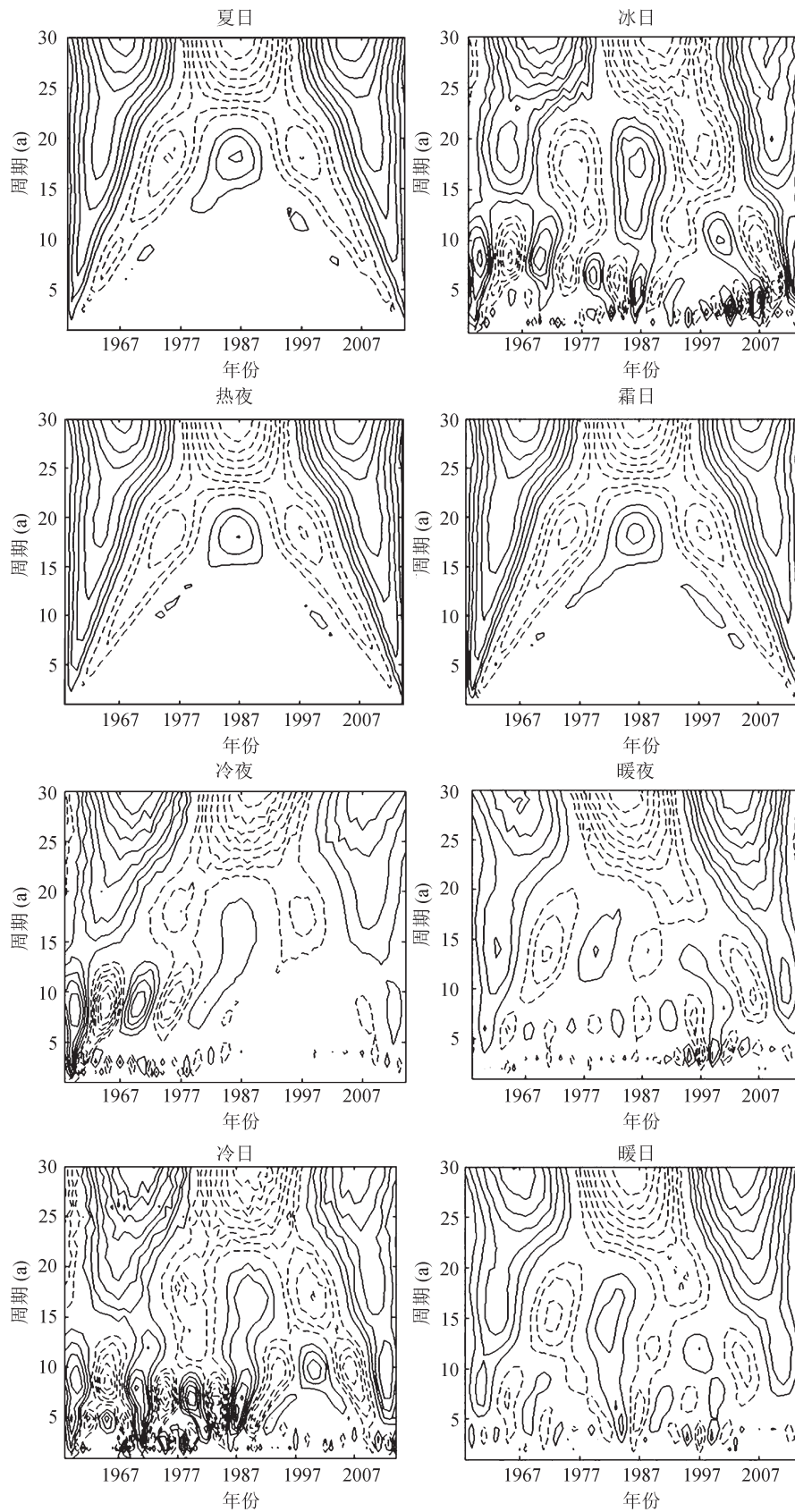


图 9 秦皇岛市极端气温绝对指数和相对指数的变化周期

Fig.9 The period of extreme temperature adiabatic index and relative index of Qinhuangdao City during 1957—2013

### 3 讨论

#### 3.1 极端气温指数的主成分分析

利用 SPSS19.0 软件对秦皇岛市极端气温指数的各个因子进行主成分分析, 可以得出主成分和因子之间的相关系数的载荷矩阵(表4)。由表4可以看出两个主成分因子1和因子2分别累积提取了总方差的66.6%。用主成分分析提取的若干主成分能够很好地解释原各变量, 它们的共同度绝大多数接近或大于70%。暖夜、暖日、热夜在主成分1中具有较高的载荷, 载荷值分别为0.89、0.77、0.72, 这三个指数都是暖指数。第一主成分占方差贡献率的50.24%, 而第二主成分所占的方差贡献率小于第一主成分。因此, 可以认为暖指数的变化是秦皇岛市1957—2013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16.32%, 日极端最高温、日极端最低温、夏日在主成分2中占有较高的载荷值, 载荷值分别为0.77、-0.53、0.57, 这些指数表明1957—2013年秦皇岛市气温呈上升趋势。

#### 3.2 极端温度变化的原因

由上述研究可知, 秦皇岛市近57年来的极端最高气温、最低气温呈增加趋势, 其中最低气温的上升幅度远大于最高气温的上升幅度, 极端天气冷指标下降, 极端天气热指标上升, 秦皇岛市地区整体气温呈现上升的状态。自20世纪80年代以来(孙丽华, 2007), 气候变化已成为全球关注的热点问题, 其中以气候变暖为标志的全球

变化已经发生, 并将持续到可预见的未来。研究表明, 近百年来, 受气候变暖的影响, 中国年平均气温大约升高了0.65℃, 比全球平均增温0.6℃略高。由此认为秦皇岛市的极端天气事件的变化和全球气候变暖之间存在微妙的联系, 极端气温的升高可能是气候变暖的一个突出表现, 比如冰日、冷夜等指标的减少, 热夜、暖日等热指标的增加, 这些指标的变化趋势和气候变化是一致的。

关于全球气候变暖的原因有很多, 但是比较受学术界认可的一种观点是人为因素和自然因素共同作用的结果。人类活动对气候的影响因素包括许多方面, 如城市化、森林砍伐, 以及由工业化引起的大气中CO<sub>2</sub>及其他痕量气体浓度的增加等, 而后者对气候的影响近年来日益受到人们的关注。自然因素主要有太阳活动、海温变化、火山爆发、冰雪覆盖等(章基嘉和殷显曦, 1987), 但是不能据此否认人为因素在全球变暖中的作用。目前更多的研究者认为气候变暖是大气CO<sub>2</sub>浓度增加造成的。但从极端气温指数的突变及明显波动来看, 还有除全球变暖、极端气温指数变化和大气CO<sub>2</sub>浓度升高之外的其他因素, 如极端气温突变和波动并不与大气CO<sub>2</sub>浓度稳定上升一致。

#### 3.3 极端温度变化造成的灾害和预防

秦皇岛区域是气象灾害频发的地区, 主要极端天气现象有暴雨、洪涝、干旱、低温冷害、连阴雨、冰雹等, 其中影响最大的是暴雨、洪涝和干旱等。各种气象灾害在不同的时段影响不同(表5), 但主要出现在4—10月(孙丽华, 2007)。

表4 1957—2013年秦皇岛市极端气温指数的因子分析

Tab.4 Results of factor loadings perceptual explained variance in temperature extremes in Qinhuangdao City during 1957—2013

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	0.26	0.56	-0.83	0.89	-0.79	0.77	0.57	-0.68	0.72	-0.81	50.24
因子2	0.77	-0.53	0.37	-0.04	-0.15	0.43	0.57	0.15	-0.24	0.08	16.32
共同度	0.67	0.59	0.82	0.79	0.64	0.78	0.65	0.49	0.58	0.65	—

表5 秦皇岛主要气象灾害可能或主要影响时段(孙丽华, 2007)

Tab.5 The may or main influence period of main meteorological disasters in Qinhuangdao City

灾害名称	干旱	洪涝	干热风	连阴雨	冰雹	霜冻	大风	低温冷害
可能或主要影响时段	全年	夏季为主	5月11日—6月15日	夏季和秋季	4月—10月	10月—次年4月	全年	9月—次年4月

统计1979—2005年秦皇岛地区出现极端天气共164次, 其中出现成灾冰雹次数最多, 共56次, 其次是暴雨, 共50次(孙丽华, 2007)。秦皇岛

市1960年以来的1968、1972、1992、1999、2001年出现严重伏旱, 1964、1966、1969、1973、1977、1987年出现严重的洪涝灾害(居丽玲等,

2006)。极端天气的增加会导致更多的气象灾害,对社会、人文、农业生产造成不利影响,因此对于极端温度变化造成的不良影响,需要根据科学规律进行预防。

通过对各个极端气温指数的周期分析,可以看出本文所选的极端气温指数均存在30 a左右的主控周期,存在于整个研究时段,其中极端最高气温、极端最低气温、夏日、冰日、热夜、霜日、冷夜、冷日八个指数还存在18 a左右的周期。极端最低气温、冰日、冷夜、冷日、暖日五个指数存在8 a左右的周期。冰日、冷日、暖日、暖夜四个指数存在3 a左右的周期。因此,应根据30 a、18 a、8 a、3 a左右的周期做好气象灾害预防工作,尤其是30 a作为主控周期,更应做好科学合理的预防工作,切实保障人民生活 and 财产安全。

#### 4 结论

本文通过对秦皇岛市近57年来的10个极端气温指数的研究,得出以下结论:

(1) 近57年来,秦皇岛市地区的极端最低气温、极端最高气温处于波动状态,但是总体上处于上升状态,并且极端最低气温的上升幅达大于极端最高气温,由线性拟合得出其变率分别为 $0.63^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $0.03^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

(2) 秦皇岛地区近57年来冰日、霜日、冷夜、冷日四个冷指标呈下降趋势,相应的夏日、热夜、暖夜、暖日四个热指标呈明显上升趋势,其中霜日下降幅度和热夜上升幅度最大,变率分别为 $-2.8\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $3.34\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,这是秦皇岛市近57年气温升高的主要原因。

(3) 30 a左右的周期是本文所选的10个极端指数的较为稳定的周期,反应了秦皇岛市极端天气的共同规律,相关部门应根据30 a左右的周期做好防范工作。

(4) 本文所选定的10个极端气温指数都存在突变,其中冰日、霜日、冷夜、暖夜、暖日的突变年代发生在20世纪80年代,极端最低气温和热夜的突变年份分别为1973年和1977年,夏日和冷日的突变年份分别为1999年和1991年。

(5) 秦皇岛市近57年来,极端天气热指数呈上升的趋势,夏日由20世纪60年代至今增加了7 d,热夜增加了14 d,暖夜增加了11 d,暖日增加了5 d;极端天气冷指数呈下降趋势,冰日减少了10 d,霜日减少了13 d,冷夜减少了8 d,冷

日减少了3 d。秦皇岛市发生极端天气现象的可能性增加,应根据科学规律预防极端天气可能造成的灾害。

#### 参考文献

- 居丽玲,孙丽华,曹秀芝,等. 2006. 秦皇岛市气候变化对农业气象灾害的影响[J]. *中国环境干部管理学院学报*, 16(1): 34-36. [Ju L L, Sun L H, CAO X Z, et al. 2006. Influence of climate change on agrometeorological hazard in Qinhuangdao City [J]. *Journal of Environmental Management College of China*, 16(1): 34-36.]
- 刘方圆,肖嗣荣,刘寒,等. 2014. 河北地区气候变化及其对农业的影响[J]. *地理与地理信息科学*, 30(4): 122-126. [Liu F Y, Xiao S R, Liu H, et al. 2014. Research of impacts of climate change on agriculture in Hebei region [J]. *Geography and Geography and Geo-Information Science*, 30(4): 122-126.]
- 孙丽华. 2007. 秦皇岛市近45年气候变化及对农业的影响[D]. 兰州: 兰州大学. [Sun L H. 2007. The climate change in Qinhuangdao in recent 45 years and its impact on agriculture [D]. Lanzhou: Lanzhou University.]
- 孙 娴,杨碧轩,徐小红. 1998. 小波分析在陕西气温变化研究中的应用[J]. *陕西气象*, (5): 26-28. [Sun X, Yang B X, Xu X H. 1998. The application of wavelet analysis in the study of air temperature change in Shaanxi [J]. *Shanxi Meteorology*, (5): 26-28.]
- 王 冀,江志红,丁裕国,等. 2008a. 21世纪中国极端气温指数变化情况预估[J]. *资源科学*, 30(7): 1084-1092. [Wang J, Jiang Z H, Ding Y G, et al. 2008a. Multi-model ensemble prediction of extreme temperature indices in China [J]. *Resources Science*, 30(7): 1084-1092.]
- 王 冀,江志红,宋 洁,等. 2008b. 基于全球模式对中国极端气温指数模拟的评估[J]. *地理学报*, 63(3): 227-236. [Wang J, Jiang Z H, Song J, et al. 2008b. Evaluating the simulation of the GCMS on the extreme temperature indices in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 63(3): 227-236.]
- 翟盘茂,刘 静. 2012. 气候变暖背景下的极端天气气候事件与防灾减灾[J]. *中国工程科学*, 14(9): 55-63. [Zhai P M, Liu J. 2012. Extreme weather /climate events and disaster prevention and mitigation under global warming background [J]. *Engineering Sciences*, 14(9): 55-63.]
- 赵景波,程 勇,周 旗,等. 2014. 西安地区近50年极端气温变化研究[J]. *地球环境学报*, 5(5): 301-310.

- [Zhao J B, Cheng Y, Zhou Q, et al. 2014. Variations of the extreme temperature in Xi'an in recent 50 years [J]. *Journal of Earth Environment*, 5(5): 301–310.]
- 张剑锋, 崔树军, 李国敏. 2012. 常用小波及其时-频特性 [J]. *地学前缘*, 19(6): 248–253. [Zhang J F, Cui S J, Li G M. 2012. Frequently-used wavelets and their time-frequency properties [J]. *Earth Science Frontiers*, 19(6): 248–253.]
- 张宁, 孙照渤, 曾刚. 2008. 1955—2005年中国极端气温的变化 [J]. *南京气象学院学报*, 31(1): 123–128. [Zhang N, Sun Z G, Zeng G. 2008. Change of extreme temperatures in China during 1955—2005 [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 31(1): 123–128.]
- 章基嘉, 殷显曦. 1987. 当代气候变化的趋势及原因分析 [J]. *气象科技*, (1): 25–31. [Zhang J J. 1987. Trend and cause analysis of contemporary climate change [J]. *Meteorological Science and Technology*, (1): 25–31.]
- 赵军, 师银芳, 王大为, 等. 2012. 1961—2008年中国大陆极端气温时空变化分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 26(3): 52–56. [Zhao J, Shi Y F, Wang D W, et al. 2012. Temporal and spatial changes of extreme temperatures in China during 1961—2008 [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 26(3): 52–56.]
- 郑祚芳, 丁海燕, 范水勇. 2011. 北京 1960—2008年气候变暖及极端气温指数变化特征 [J]. *气候变化研究进展*, 7(3): 189–196. [Zheng Z F, Ding H Y, Fan S Y. 2011. Characteristics of climate warming and extreme temperature indices in Beijing over 1960—2008 [J]. *Advances in Climate Change Research*, 7(3): 189–196.]
- 周雅清, 任国玉. 2010. 中国大陆 1956—2008年极端气温事件变化特征分析 [J]. *气象与环境研究*, 15(4): 405–416. [Zhou J Y, Ren G Y. 2010. Variation characteristics of extreme temperature indices in mainland China during 1956—2008 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 15(4): 405–416.]
- Choi G, Collins D, Ren G Y, et al. 2009. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network Region, 1955—2007 [J]. *International Journal of Climatology*, 29: 1906–1925.
- Frich P, Alexander L V, Della-Marta P, et al. 2002. Observed coherent change in climatic extremes during the second half of the 20th century [J]. *Climate Research*, 19(3): 193–212.
- Gruza G, Rankova E, Razuvaev V, et al. 1999. Indicators of climate change for the Russian Federation [J]. *Climatic Change*, 42(1): 219–242.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. UK: Cambridge University Press.
- Jones P D, Horton E B, Folland C K, et al. 1999. The use of indices to identify changes in climatic extremes [J]. *Climatic Change*, 42(1): 131–149.
- Klein Tank A M G, Können G P. 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946—99 [J]. *Journal of Climate*, 16(22): 3665–3680.
- You Q L, Kang S C, Aguilar 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.