

郭军, 任国玉, 任雨. 近 100 年天津平均气温与极端气温变化[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1399-1405

# 近 100 年天津平均气温与极端气温变化

郭 军<sup>1</sup>, 任国玉<sup>2</sup>, 任 雨<sup>1</sup>

(1. 天津气候中心/天津气象局, 天津 300074;

2. 中国气象局气候研究开放实验室/国家气候中心, 北京 100081)

**摘 要:** 利用 1910—2009 年天津气象站逐日最高、最低气温观测资料, 计算了平均气温和平均最高(低)气温序列, 以及高(低)温阈值、最长暖日(冷夜)日数和霜冻日数等极端气温指数序列。利用线性回归和 Mann-Kendall 检验分析了这些气温序列变化趋势的显著性和跃变特征。结果表明, 天津市近 100 年平均气温显著上升, 冬、春季最低气温增加趋势最明显; 夏季和全年高温阈值显著降低, 但最长暖日天数自 20 世纪 90 年代开始趋于增多; 低温阈值显著上升, 冬季升幅最大, 冬、春季霜冻日数和最长冷夜日数均显著减少; 从百年序列的跃变情况看, 20 世纪 80 年代后期的升温主要在于最低气温和冬季气温的快速升高。近 100 年天津年平均气温及平均最高、最低气温、连续最长暖日天数和冷夜天数时间序列, 后 50 年与前 50 年相比, 方差均明显减小, 表明气温的年际间差异和极端性正在减弱。

**关键词:** 天津; 平均气温; 极端气温

**文章编号:** 1000-0534(2011)05-1399-07

**中图分类号:** P468.0<sup>+</sup>21

**文献标识码:** A

## 1 引言

近 100 年来, 全球地面温度大约上升了  $0.74 \pm 0.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>。我国学者对全国近 100 年来的气温变化进行了大量的研究。王绍武等<sup>[2]</sup>利用代用资料对缺少器测资料的地区进行了插补, 得到 1880—2000 年全国和 10 个区域的年平均气温序列; 唐国利等<sup>[3]</sup>分析了 1921—1990 年中国气温序列及变化趋势; 丁一汇等<sup>[4]</sup>对中国近百年来气温变化的研究成果作了综述, 发现我国增温趋势与北半球的情况大致相似, 但具体的变化过程和幅度又与全球变化存在明显差异; 唐国利等<sup>[5-6]</sup>参照国际上通行的方法, 利用最高和最低气温统计月平均气温, 重新计算了中国近 100 年的气温序列, 并与其他几条百年序列进行了对比分析。

尽管对近 100 年单站特别是区域平均气温变化开展了很多研究<sup>[7-9]</sup>, 但对我国过去 100 年时期极端气温变化的研究还非常少。最近崔林丽等<sup>[10]</sup>利用上海气象站逐日气温资料分析了 1873—2007 年极端气温指数的时间变化特征, 结果表明, 该时间序列是国内极端气温指数的最长时间序列。造成这

种现象的主要原因是我国具有过去 100 多年完整连续气象观测记录的测站较少, 其中多数测站拥有的资料又多为月均值记录, 缺少原始日气温观测资料。

天津是我国开展气象观测较早的测站之一, 从 1887 年就有气象观测记录, 1890 年开始有连续资料。本文利用最近整理的日气温观测记录, 分析天津站过去 100 年平均气温和极端气温指数的变化趋势, 对于了解天津以及整个华北地区近 100 年地面平均气温和极端气温变化规律将具有一定的借鉴意义。

## 2 资料选取和方法介绍

### 2.1 资料选取

本文选取天津市气象信息中心提供的 1910—2009 年天津市逐日最低气温和最高气温观测资料, 天津站沿革情况如表 1 所示。由表 1 可见, 天津站观测位置变化较少, 仅在观测时次上有所变化。为了检验迁站是否对观测数据的连续性有影响, 利用单站  $T$ -检验方法分析迁站年前后各 11 年(2000 年迁站计算前后各 9 年)平均气温、平均最高(低)气温的均值是否存在显著差异(表 2)。由表 2 可

收稿日期: 2010-06-02; 改回日期: 2010-06-23

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAC29B02, 2007BAC03A01); 2010 年中国气象局气候变化专项共同资助

作者简介: 郭军(1966—), 男, 河北省, 高级工程师, 主要从事气候变化与短期气候预测研究。E-mail: guojun@ema.gov.cn

表 1 天津站沿革情况

Table 1 The history of Tianjin meteorological station

| 年代        | 地点         | 经纬度               | 高度/m | 观测次数 | 台站环境 |
|-----------|------------|-------------------|------|------|------|
| 1910—1920 | 不详         | 39°07′N, 117°12′E | 不详   | 3    | 不详   |
| 1921—1931 | 自由道 22 号   | 39°08′N, 117°11′E | 16   | 6    | 市区   |
| 1932—1954 | 自由道 22 号   | 39°08′N, 117°11′E | 16   | 24   | 市区   |
| 1955—2000 | 气象台路 100 号 | 39°06′N, 117°10′E | 3.3  | 4    | 市区   |
| 2001—2009 | 友谊路        | 38°59′N, 117°43′E | 5.6  | 4    | 市区   |

见, 1921 年前后最低气温的均值差异显著, 1932 年观测时次的变化对气温连续性影响较小, 1955 年迁站对最低气温影响较小, 对最高气温影响较大, 但未通过  $\alpha=0.01$  的显著性水平检验。2001 年迁站对最高气温影响较小, 而对最低气温影响较大。从检验结果来看, 历史上的迁站对气温均值影响较小, 由于 1910—1920 年的观测地点和观测环境没有详细记载, 也没有平行观测记录, 因此无法对最低气温做迁站订正。为了消除因观测时次不同而造成的日平均气温的不一致, 参考文献[6]的方法, 统一将最高和最低气温的平均值作为日平均气温。已有研究表明<sup>[5-6]</sup>, 该方法获得的平均气温与常规方法所得的平均气温在距平序列及增温速率上没有明显差异, 在一定条件下两者可以互相替换。

表 2 天津站气温均值差异性检验(T-检验)

Table 2 T-test of difference for average temperature at Tianjin station

|           | 年      |      |       |       |
|-----------|--------|------|-------|-------|
|           | 1921   | 1932 | 1955  | 2001  |
| 平均最高气温/°C | -1.37  | 2.29 | 2.48  | -1.65 |
| 平均最低气温/°C | -4.32* | 0.18 | -1.30 | 2.41  |
| 平均气温/°C   | 2.55   | 1.29 | 1.53  | -2.18 |

注: \* 表示差异显著(自由度为 10 的  $t_{0.01}=3.169$ )

## 2.2 方法介绍

本文依照 STARDEX(STATistical and Regional dynamical Downscaling of EXtremes for European regions, <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>)提出的基于逐日最低和最高气温的极端天气气候事件指数, 利用该项目提供的应用软件计算平均气温和极端气温指数序列(表 3)及其线性变化趋势。采用 T-检验方法检测趋势变化的显著性, 采用 Mann-Kendall 跃变检验方法<sup>[11]</sup>和滑动 T-检验方法分析气温序列的跃变性质。针对长时间序列, M-K 检验出的多个跃变点时, 如果交叉

表 3 STARDEX 项目中的有关气温指数

Table 3 Employed temperature indices from the STARDEX project

| 序号 | 名称     | 定义                          | 单位 |
|----|--------|-----------------------------|----|
| 1  | 平均最高气温 | 月、季、年平均最高气温                 | °C |
| 2  | 平均最低气温 | 月、季、年平均最低气温                 | °C |
| 3  | 平均气温   | 日最高、最低气温的平均值                | °C |
| 4  | 高温阈值   | 日最高气温第 90 个百分位值             | °C |
| 5  | 低温阈值   | 日最低气温第 10 个百分位值             | °C |
| 6  | 霜冻日数   | 日最低气温 < 0°C 的日数             | d  |
| 7  | 最长暖日天数 | 日最高气温大于基准年第 90 个百分位值的最长持续日数 | d  |
| 8  | 最长冷夜天数 | 日最低气温小于基准年第 10 个百分位值的最长持续日数 | d  |

点位于信度线之外时, 再用滑动 T-检验来确定该点是否为跃变点。

## 3 结果分析

### 3.1 平均气温和平均最高、最低气温

图 1 给出了 1910—2009 年天津平均气温、平均最高、最低气温的距平序列, 表 4 给出了年和四季线性变化趋势估计和突变点。由图 1、表 4 可以看出, 天津市近百年平均气温呈显著上升趋势( $p < 0.001$ ), 变化速率为  $0.13 \text{ °C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 高于 1905—2004 年全国平均的增温速率<sup>[6]</sup>。与全国平均气温变化相比, 天津的年平均气温变化具有更大的波动性。20 世纪 10 年代开始到 20 年代是第一个增温阶段, 从 1911 年最低点( $-1.8 \text{ °C}$ )到 1927 年最高点( $1.6 \text{ °C}$ ), 其间增温约  $3.4 \text{ °C}$ , 与全国近 100 年的第一个增温时段大体一致<sup>[12]</sup>, 但持续时间较短。30 年代以后天津气温开始下降, 到 60 年代末下降了约  $3.5 \text{ °C}$ 。70 年代初开始升温, 到 2007 年最高点已升温  $3.4 \text{ °C}$ , 这两个阶段的升温幅度均大于全国水平<sup>[6, 13]</sup>。

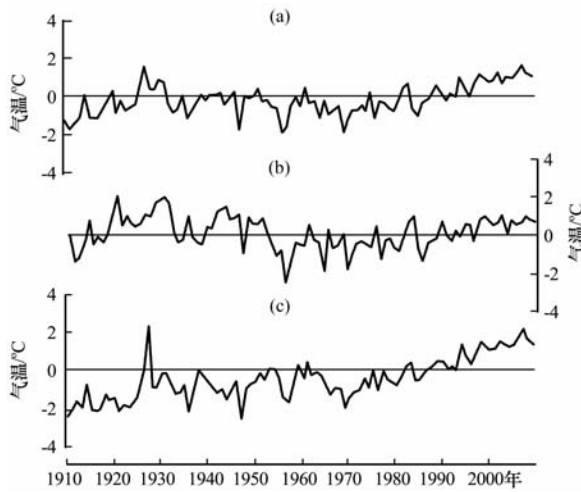


图 1 近 100 年天津平均气温(a)、平均最高气温(b)和平均最低气温(c)的距平序列(基准年 1971—2000 年)

Fig. 1 Anomaly series of annual mean temperature(a), mean maximum (b), and mean minimum (c) temperatures, in Tianjin (1971—2000 as the basic period)

年平均最低气温亦呈显著上升趋势 ( $p < 0.001$ ), 增温速率明显高于平均气温, 达  $0.28 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。20 世纪 10~20 年代平均最低气温处于较低阶段, 除了 1927 年异常偏高外, 一直到 50 年代末均处于偏低状态, 60 年代初期略有升高后又呈下降趋势并持续到 70 年代初。从 70 年代初开

始, 平均最低气温呈持续上升趋势。平均最高气温线性趋势变化不显著, 但存在明显的年代际波动, 20~40 年代和 90 年代以后相对较高。

计算前后各 50 年平均气温、平均最高、最低气温的方差发现, 后 50 年较前 50 年分别偏小了 0.2, 2.0 和 2.6。表明天津站气温序列的年代际变异性正在缩小, 特别是平均最低气温年际差异不如早期那么大了。相对于自然因素, 这一现象可能与城市化或其他观测环境因素变化的关系更为密切。

从各季变化上看, 平均气温变化趋势并不一致, 其中冬、春季气温呈显著上升趋势 ( $p < 0.001$ ), 增温速率分别为  $0.31 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  和  $0.19 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 秋季增温幅度较小, 夏季则呈微弱的降温趋势。各季平均最低气温均显著上升, 冬、春季增温速率高达  $0.46 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  和  $0.36 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 近 100 年内冬、春季的平均最低气温分别升高了  $4.6 \text{ } ^\circ\text{C}$  和  $3.6 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。四季平均最高气温变化趋势较复杂, 冬季增温显著, 夏季则降温显著, 春、秋季线性趋势不显著。因此, 天津地区的气候变暖与其他地区近 50 年的变化相似<sup>[14-15]</sup>, 即白天和夜间呈非对称性, 表明气温日较差也在变小; 近 100 年的增温主要由最低气温显著升高造成的, 其中以冬、春季最低气温的显著增温贡献率最大。这与全

表 4 1910—2009 年天津市平均最高(低)气温、平均气温变化趋势和跃变点

Table 4 Linear trends and abrupt change points of mean temperature, maximum and minimum temperatures in Tianjin during 1910—2009

| 指数     | 时段 | 变化速率/ $[^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$ | 显著性水平    | 跃变点/年       | T 统计量        |
|--------|----|--|----------|-------------|--------------|
| 平均最低气温 | 冬  | 0.46   | 0.0000** | 1983*       |              |
|        | 春  | 0.36   | 0.0000** | 1985*       |              |
|        | 夏  | 0.12   | 0.0000** | 1994        |              |
|        | 秋  | 0.17   | 0.0000** | 1994*       |              |
|        | 年  | 0.28   | 0.0000** | 1987*       |              |
| 平均最高气温 | 冬  | 0.16   | 0.0009** | 1987        |              |
|        | 春  | 0.01   | 0.5675** | 1936, 2000  | 0.71, -2.25* |
|        | 夏  | -0.21  | 0.0000** | 1948        |              |
|        | 秋  | -0.04  | 0.2466   | 1948*       |              |
|        | 年  | -0.02  | 0.8722   | 1938        |              |
| 平均气温   | 冬  | 0.31   | 0.0000** | 1982*       |              |
|        | 春  | 0.19   | 0.0000** | 1996*       |              |
|        | 夏  | -0.05  | 0.1745   | 1940        |              |
|        | 秋  | 0.07   | 0.0454*  | 1947*, 2003 | 3.73*, -1.30 |
|        | 年  | 0.13   | 0.0000** | 1932*, 1996 | 1.80, -2.66* |

注: \* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.001$

国已有的研究结果基本一致<sup>[15-16]</sup>。

从 M-K 跃变检验来看(表 4), 年平均气温有两次跃变: 一次在 1932 年发生显著的( $p < 0.05$ )跃变下降, 一次是在 1996 年发生的不显著跃变上升。年平均最低气温在 1987 年发生显著的跃变上升, 年平均最高气温在 30 年代后期有次跃变但不显著。各季平均最低气温在 80 年代以后均有跃变, 冬、春季在 80 年代初有显著跃变上升, 夏、秋季在 1994 年前后有跃变发生。季平均最高气温, 除冬季在 1987 年前后发生跃变外, 其他三季在 50 年代以后均未检测到跃变。结合天津站沿革情况, 年平均气温 1932 年的跃变可能与观测时次的改变有关, 各季节发生跃变的年代与迁站或观测时次变化年代并不对应。

### 3.2 高、低温阈值

图 2 给出了 1910—2009 年全年和各季高温阈

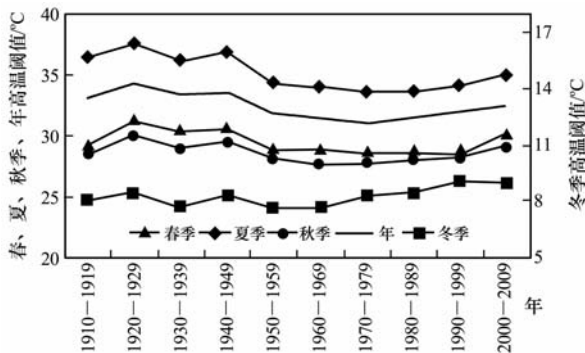


图 2 1910—2009 年天津全年和各季高温阈值逐年代变化

Fig. 2 Decadal changes of annual and seasonal high temperature thresholds in Tianjin during 1910—2009

值变化曲线图。由图 2 可见, 全年和春、夏、秋季的高温阈值均呈下降趋势, 年代际变化特征基本一致。20 世纪 10~40 年代高, 50 年代下降幅度较大, 之后持续偏低, 到 90 年代以后有所上升。趋势分析表明, 全年和夏季高温阈值下降趋势显著( $p < 0.001$ ), 近 100 年来下降了 2.4 °C 和 3.6 °C(表 5)。冬季高温阈值呈不显著的上升趋势(表 5), 在 80 年代以前年代际差异较小, 从 80 年代开始升高, 90 年代达到最高, 这与冬季平均气温 80 年代后期开始上升是一致的。

低温阈值与高温阈值表现出不同的趋势(图 3)。全年和四季低温阈值呈现显著的上升趋势( $p < 0.001$ , 表 5), 表明气候变暖在白天和夜间呈现非对称性。冬季低温阈值升高幅度最大, 变化速率达  $0.54 \text{ °C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 从 20 世纪 10 年代的一 13.3 °C 到 21 世纪初 10 年的一 7.5 °C, 低温阈值升高

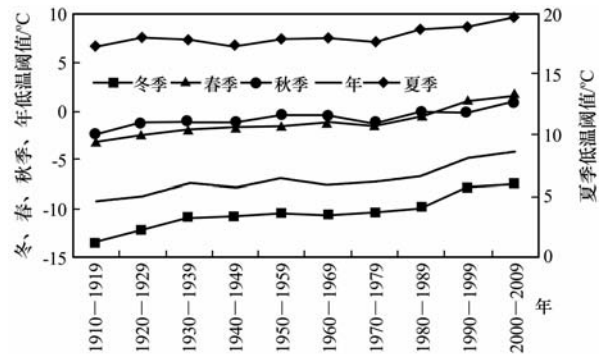


图 3 1910—2009 年天津市全年和各季低温阈值逐年代变化

Fig. 3 Decadal changes of annual and seasonal low temperature thresholds in Tianjin during 1910—2009

表 5 1910—2009 年天津市高(低)温阈值变化趋势及跃变点

Table 5 Linear trends and abrupt change points of high (low) temperature threshold in Tianjin during 1910—2009

| 指数   | 时段 | 变化速率/ $[^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$ | 显著性水平    | 跃变点        | T 统计量        |
|------|----|--|----------|------------|--------------|
| 高温阈值 | 冬  | 0.11   | 0.0612   | 1920, 1984 | 0.26, -2.17* |
|      | 春  | -0.17  | 0.0042*  | 1950       |              |
|      | 夏  | -0.36  | 0.0000** | 1947       |              |
|      | 秋  | -0.10  | 0.0536   | 1945       |              |
|      | 年  | -0.24  | 0.0000** | 1946       |              |
| 低温阈值 | 冬  | 0.54   | 0.0000** | 1982*      |              |
|      | 春  | 0.46   | 0.0000** | 1980*      |              |
|      | 夏  | 0.21   | 0.0000** | 1980       |              |
|      | 秋  | 0.25   | 0.0000** | 1985       |              |
|      | 年  | 0.48   | 0.0000** | 1985*      |              |

注: \* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.001$

了  $5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 春季低温阈值增幅略低于冬季, 为  $0.46\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ ; 夏季变化最小, 趋势仅为  $0.21\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。因此, 近 100 年来天津的气候变暖在冬、春季的夜间表现最明显。各季和全年低温阈值在 80 年代均发生了跃变, 其中冬、春季和全年的跃变具有统计显著性 ( $p < 0.05$ , 表 4)。

### 3.3 最长暖日天数

全年最长暖日天数与年平均最高气温变化较为一致(图 4)。在 20 世纪 20~40 年代暖日天数较长, 50~80 年代相对较少, 90 年代开始最长暖日天数又有增长。从近 100 年历史来看, 当前最长暖日天数尚未超过 20 世纪 20~40 年代的水平。1910—1959 年时段的方差为 4.9, 比 1960—2009 年时段的方差大 1.9, 表明 1960 年以后最长暖日天数年际差异变小。

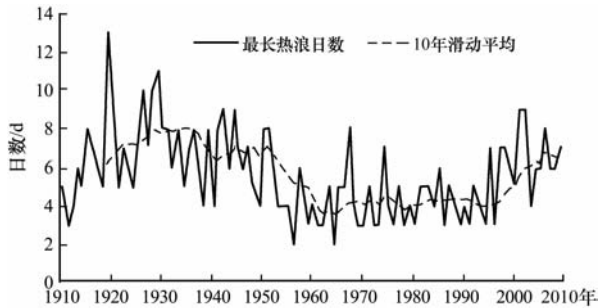


图 4 1910—2009 年天津市最长暖日日数

Fig. 4 The day number of the longest warm day in Tianjin during 1910—2009

从各季节变化看(图略), 春、夏、秋季最长暖日天数变化与全年类似, 均呈“高一低一高”型变化, 春、秋季呈微弱的减少趋势, 夏季呈显著的减少趋势 ( $p < 0.001$ ), 变化速率为  $-0.5\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。冬季呈较弱的增加趋势, 主要是因为 20 世纪 90 年代以后最长暖日天数增加幅度较大。

### 3.4 霜冻日数与最长冷夜日数

1910—2009 年天津霜冻日数呈显著减少趋势 ( $p < 0.001$ ), 变化速率为  $-3.6\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ , 近 100 年来呈波动性减少, 总体可分为 4 个阶段: 1910—1925 年为第一阶段, 平均每年 129.4 天; 1926—1948 年为第二阶段, 较前一阶段略有减少, 平均每年 118.7 天; 1950—1970 年为第三阶段, 平均值减少为 113.0 天; 1971 年以后为第四阶段, 呈显著线性下降趋势(图略)。M—K 跃变检验亦表明, 霜冻日数在 1972 年前后出现了显著的下落 ( $p < 0.05$ )。

从四季来看, 冬、春、秋季霜冻日数均呈显著减少趋势, 春季下降速率最大, 冬季次之。从图 5 中可以看出, 冬季霜冻日数变化与春、秋季霜冻日数存在一定差异, 20 世纪 10 年代开始到 70 年代冬季霜冻日数变化比较平稳, 70 年代以后呈较快的下降趋势。春、秋季霜冻日数在 1970 年代以前趋势变化不明显, 但年际差异较大, 70 年代以后呈较明显的下降趋势。从 M—K 跃变检验来看, 全年和冬、春、秋季霜冻日数均在 70 年代初出现了显著的下落趋势。

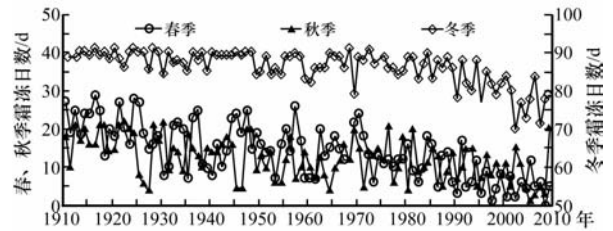


图 5 1910—2009 年天津季霜冻日数

Fig. 5 The day number of seasonal frost duration in Tianjin during 1910—2009

年最长冷夜日数以缩短为主, 呈显著减小趋势 ( $p < 0.001$ ), 变化速率为  $0.74\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。最长冷夜日数年际差异较大(图 6), 20 世纪 10 年代平均最长冷夜日数为 11.2 天, 20~60 年代维持在 7~8 天, 从 70 年代开始明显缩短, 至 2000 年以后, 平均最长冷夜日数仅为 3.1 天。四季最长冷夜日数均为减小趋势, 其中冬季减小幅度最大, 100 年来缩短了 8.3 天, 春季次之, 四季中只有夏季的减小趋势未通过 0.01 显著性水平检验。1960 年以前年最长冷夜日数的方差为 14.7, 1960 年以后时段的方差仅为 6.6, 相差 2 倍多, 从图 6 中也可以清楚地看出, 年最长冷夜日数序列方差明显减少。冬季最长冷夜日数的方差在 1960 年前后两段相差 4 倍

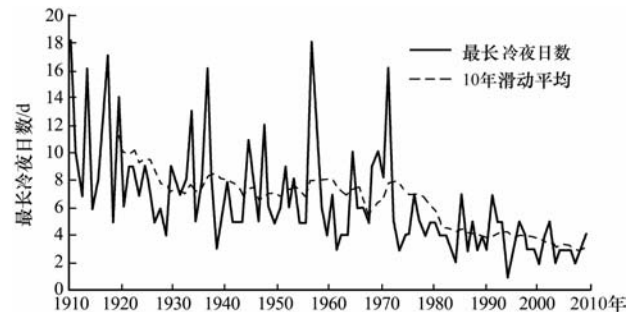


图 6 1910—2009 年天津市最长冷夜日数

Fig. 6 The day number of the longest cold night in Tianjin during 1910—2009

以上,表明1960年以后冬季最长冷夜日数的年际差异变小,出现极端连续冷夜的机会偏少了,春、夏、秋季两时段方差差异较小。M-K跃变检验表明,年最长冷夜日数在1954年发生了显著的减少( $p < 0.05$ ),且冬、春季均在60年代初发生了显著的减少。

## 4 结论与讨论

(1) 近100年来天津平均气温显著上升,冬、春季增温趋势最强,秋季增温幅度较小,夏季趋势不显著。冬、春季最低气温显著增高,近100年来分别升高了 $4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;平均最高气温趋势不显著。全年和夏季高温阈值显著降低,近100年来分别下降了 $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;全年和各季低温阈值呈显著的上升趋势,其中冬季升幅最大,为 $0.54\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ ,最近10年较20世纪10年代升高了 $5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 全年和各季最长暖日日数均呈“高一低一高”型波动变化:20世纪20~40年代处于暖日日数较多的时段,50~80年代处于相对较少的阶段,90年代开始,最长暖日日数又进入一个较多的时段;全年和各季最长冷夜日数均趋于减少,其中冬、春季减少趋势最显著。冬、春季霜冻日数均显著减少。

(3) 全年和各季的平均最低气温、低温阈值,以及冬季的平均最高气温和高温阈值都在1980—1990年代发生了显著突变,即20世纪80年代后期的升温主要在于最低气温和冬季气温的快速升高。近100年来天津平均气温以及平均最高、最低气温、连续最长暖日天数和冷夜天数时间序列,后50年与前50年相比,方差均明显减小,表明气温年际的变异性和极端性正在减弱。

天津气温变化中的城市化影响天津市平均气温、平均最高(低)气温增温速率明显大于全国和华北地区的增温,特别是20世纪70年代以来,增温尤为明显。一方面天津处于我国北方气温增加最显著的地区;另一方面城市化快速发展对局地温度势必造成一定的影响。任国玉等<sup>[17]</sup>指出,华北地区城镇化对年平均气温增加趋势的贡献达到40%,天津约为20%,低于北京、兰州等城市的贡献率<sup>[18-19]</sup>。这主要是因为天津城市站并不位于城市中心,20世纪80年代以来随着城市的发展才进入市区,天津站所记录的温度变化不能完全反映城市

和城市化的影响。另外,天津县站城镇化也很快,很难找到真实的“乡村站”。本文主要分析了天津百年来的气温和极端气温的变化,城市化的影响还需要进一步深入研究。

## 参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[R]// Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 1996.
- [2] 王绍武,叶瑾琳,龚道溢,等. 近百年中国年气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392-401.
- [3] 唐国利,林学椿. 1921-1990年我国气温序列及变化趋势[J]. 气象, 1992, 18(7): 3-6.
- [4] 丁一汇,戴晓苏. 中国百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.
- [5] 唐国利,丁一汇. 由最高最低气温求算的平均气温对我国年平均气温序列影响[J]. 应用气象学报, 2008, 18(2): 187-192.
- [6] 唐国利,任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 791-798.
- [7] 王劲松,陈发虎,张强,等. 亚洲中部干旱半干旱区近100年来的气温变化研究[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1035-1045.
- [8] 尤卫红,傅抱璞,林振山. 云南百年气温变化与8月低温冷害天气[J]. 高原气象, 1997, 16(1): 63-72.
- [9] 李艳春,李艳芳. 宁夏百年来的气候变化及突变分析[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 100-104.
- [10] 崔林丽,史军,周伟东. 上海极端气温变化特征及其对城市化的响应[J]. 地理科学, 2009, 29(1): 93-97.
- [11] 符淙斌,王强. 气象突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.
- [12] 屠其璞. 近百年我国气温变化的趋势和周期[J]. 南京气象学院学报, 1984, 7(2): 151-161.
- [13] 林学椿,于淑秋,唐国利. 中国百年温度序列[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 525-534.
- [14] 翟盘茂,任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418-429.
- [15] 谢庄,曹鸿兴. 北京最高和最低气温的非对称变化[J]. 气象学报, 1996, 54(4): 501-507.
- [16] 江志红,丁裕国. 近百年上海气候变暖过程的再认识——平均温度与最低、最高温度的对比[J]. 应用气象学报, 1999, 10(2): 151-159.
- [17] 任国玉,徐铭志,初子莹,等. 近54年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717-727.
- [18] 周伟东,朱洁华,史军. 近47年上海最高、最低气温的变化特征及城郊差异[J]. 高原气象, 2008, 27(增刊): 124-130.
- [19] 李文莉,李栋梁,杨民. 近50年兰州城乡气温变化特征及其周末效应[J]. 高原气象, 2008, 25(6): 1161-1167.

## Changes of Mean and Extreme Temperatures in Tianjin in Recent 100 Years

GUO Jun<sup>1</sup>, REN Guo-yu<sup>2</sup>, REN Yu<sup>1</sup>

(1. *Tianjin Climate Center/Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074, China;*

2. *Laboratory for Climate Studies/National Climate Center, CMA, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** Mean temperature, mean maximum and minimum temperature series in Tianjin were calculated using the observed data of daily maximum and minimum temperatures during 1910–2009, as well as the several extreme temperature series, including high and low temperature thresholds, the longest warm day and cold night durations, and frost days. Trends and abrupt changes were examined for these temperature series using the linear regression and Mann-Kendall test. It is indicated that the mean temperature in Tianjin significantly increased in the recent hundred years, and the increasing trends of minimum temperature in winter and spring are the most significant. The longest warm day tended to increase since the 1990s, though annual and summer high temperature thresholds significantly decreased in the recent hundred years. Meanwhile, the low temperature thresholds significantly increased through all seasons, and the increasing trends in winter is the most significant. In accordance, the day numbers of frost and the longest cold night days significantly decreased in winter and spring. From the abrupt changes in the recent hundred years, the temperature increasing since the late 1980s main is the rapid increases of minimum temperature and winter temperature. Comparing with the period of 1910–1959, the variances of mean temperature and numbers of the longest warm days/cold night days were smaller in the period of 1960–2009, which indicate moderate annual temperature variations and extremes.

**Key words:** Tianjin; Mean temperature; Extreme temperature