

# 气候变暖对中卫市冬季采暖气候特征的影响分析

庞婷婷<sup>1</sup> 党张利<sup>1</sup> 毛万忠<sup>1</sup> 徐璐娜<sup>2</sup>

1宁夏回族自治区中卫市气象局 2宁夏回族自治区海原县气象局

DOI:10.32629/as.v2i6.1698

**[摘要]** 气候变暖背景下,利用中卫1980–2019年逐日气温资料,以日平均气温稳定通过5℃为冬季采暖临界温度,使用5d滑动平均法、气候倾向率和t-检验等方法,对冬季采暖气候条件变化及其对采暖能耗的可能影响进行研究。结果表明:近39年来中卫市适宜采暖初日推迟、终日提前、采暖日数极显著缩短、采暖强度显著减弱、采暖指数极显著减小,采暖期内平均气温和最低气温升高且温度多变的特点。采暖初日平均每10年推迟2天,采暖终日平均每10年提前3天,相应的整个采暖期将缩短5天左右。21世纪以前,70%的年份中卫市采暖指数为正,65%的年份采暖强度为正距平;21世纪以来,80%的年份中卫市采暖指数为负,79%的年份采暖强度为负距平,说明21世纪以前,大部分年份需要供给的热量大于平均值,21世纪以来的年份需要供给的热量大小于平均值,即:对采暖的自然需求逐渐减小。

**[关键词]** 冬季采暖;采暖期日数;采暖强度;气候变暖;中卫

## 引言

自工业化以来,大气中的CO<sub>2</sub>浓度不断升高,且在不同时期出现不同速率,对全球气候产生了巨大影响,从1880年到2012年,全球地表平均温度大约升高了0.85℃;其中1983–2012年是过去1400年来最热的30年;由于人类活动导致温室气体浓度的增加,造成20世纪50年代以来一半以上的全球气候变化,以气候变暖为主要特征的全球变化已成为不争的事实<sup>[1]</sup>。

冬季采暖是我国北方居民的基本生活需求,随着气候变暖,适宜采暖的起始和终止日期也随之发生变化<sup>[2]</sup>。陈莉等<sup>[3]</sup>研究表明,1980年代中期以来,气候变暖对我国冬季气候条件和能源需求产生了很大影响。随后,北方一些省份陆续开展了气候变暖对冬季采暖气候条件及能源消耗等的影响研究<sup>[4]</sup>,得出一致的结论:随着气候变暖,北方大部分地区采暖初日推迟,终日提前,采暖期缩短,采暖强度减小,理论上采暖耗能降低。倘若按照气候采暖适宜期及采暖强度进行控制供暖,不但会节约相当可观的能源、改善大气环境质量,还可以减少大气污染排放,对减缓气候变暖、改善大气环境质量,尤其减少冬季雾霾有重要意义。然而,很多地方实际上仍然按照常规供暖方式进行供暖,既造成能源浪费,又增加污染物浓度。

中卫市属于典型的温带大陆性季风气候,冬季寒冷且漫长,实际供暖时间集中从当年11月1日开始到次年3月31日结束,供暖长达151天。采暖期长、采暖强度高、采暖能耗多,导致采暖成本高,空气污染严重,对中卫社会经济发展和生态环境造成了明显的不利影响。王俊波等<sup>[5]</sup>研究表明,中卫市1975–2006年来平均气温以0.48℃/10a的倾向率呈显著的上升趋势,高于我国的平均气温增长率0.23℃/10a,气候变暖的趋势更加明显,幅度更大,是我国平均气温升高最明显的地区之一。尤其冬季气温跃变明显,为四季中跃变后增温最明显的季节,且阶段性异常特征显著<sup>[6]</sup>。因此,本文拟利用中卫1980–2019年(10月至次年4月)日平均气温和日最低气温资料,就气候变暖背景下,近39年中卫冬季采暖气候条件变化及其对采暖能耗的可能影响进行研究分析,以期为适应气候变化,科学制定中卫采暖发展计划和规划,合理安排供暖能源储备,实现冬季采暖的节能减排提供参考依据。

## 1 资料与方法

本文所用资料为中卫1980–2019年(10月至次年4月)日平均气温和日最低气温;采用连续5d滑动平均法求得采暖初、终日;采用气候倾向率法分析气候变化。

### 1.1 采暖期初、终日及长度的确定

根据中华人民共和国标准《民用建筑采暖通风与空气调节设计规范》

(GB50736–2012)中的规定,供暖日数按当日平均温度稳定低于或等于采暖室外临界温度的总日数确定。其中,一般民用建筑和工业建筑的采暖室外临界温度采用5℃。采用连续5d滑动平均法,以秋季日平均气温稳定≤5℃的首个5d中第一个日平均气温≤5℃的日期为采暖初日,以春季日平均气温稳定>5℃的首个5d中最后一个日平均气温≤5℃的日期为采暖终日<sup>[3][7][8]</sup>。初终日之间的日数为采暖日数,即采暖期。

另外,由于采暖期跨年,全文中1980年指1980/1981冬季,2010年指2010/2011冬季,其他相同。

### 1.2 采暖期气候变化

利用中卫1980–2019年近39年采暖期日平均气温和日最低气温,采用气候倾向率法对气候变化进行分析。

用 $x_i$ 表示样本量为 $n$ 的某一气候变量,用 $t_i$ 表示 $x_i$ 所对应的时间,建立 $x_i$ 与 $t_i$ 之间的一元线性回归方程: $x_i=a+bt_i, i=1, 2, 3, \dots, n$  (1)

式中, $n$ 为39年, $a$ 为常数, $b$ 为回归系数, $b \times 10$ 即气候倾向率,单位为℃/10a或天/10a或。回归系数 $b$ 表示气候变量 $x$ 的趋势倾向, $b$ 的符号为正,即当 $b>0$ 时,说明随时间 $t$ 的增加 $x$ 呈现上升趋势;当 $b<0$ 时,说明随时间 $t$ 的增加 $x$ 呈现下降趋势。 $|b|$ 的大小表示变化的快慢程度, $|b|$ 越大,则趋势越明显,否则无明显变化趋势。

### 1.3 采暖强度

以度日法表征采暖强度<sup>[4]</sup>,反映采暖期的能源消耗高低。度日法具体表达为采暖期内日平均气温低于基础温度(采暖的临界温度)的二者差值累积度数,度日值越大,表示温度越低,能耗越大;如果日平均气温高于基础温度,则该日的采暖度日值为0。

整个采暖期采暖强度的计算公式如下:

$$D = \sum_{i=1}^n D_i = \sum_{i=1}^n (t_0 - t_i) \quad (2)$$

式(2)中, $D_i$ 为第 $i$ 天的采暖度日值(单位:℃·d); $t_i$ 为第 $i$ 天的日平均气温(单位:℃); $t_0$ 为基础温度( $t_0=5℃$ ); $D_i$ 为第 $i$ 天的采暖度日值; $D$ 为采暖期内的采暖强度。

### 1.4 采暖指数

为了准确描述采暖和能源消耗的关系,用历年采暖日数距平百分率与采暖强度距平百分率相加,构建一个新的指数。采暖指数<sup>[9]</sup>,采暖日数距平百分率权重系数=采暖强度距平百分率权重系数=0.5,即:指数公式:

$$Z_i = 0.5R_i + 0.5Q_i \quad (3)$$

式(2)中,  $Z_i$ 为第*i*年采暖指数;  $R_i$ 为第*i*年采暖期长度距平百分率;  $Q_i$ 为第*i*年采暖强度的距平百分率,其计算方法:

$$R_i = (t_i - \bar{t}) / \bar{t} * 100\%$$

$$Q_i = (q_i - \bar{q}) / \bar{q} * 100\% \quad (4)$$

式(4)中,  $t_i$ 为*i*年采暖日数,  $\bar{t}$ 为平均采暖日数,  $q_i$ 为*i*年采暖强度,  $\bar{q}$ 为平均采暖强度。当采暖指数为正时,表明供给的热量大于平均值;采暖指数为负时,表明供给的热量小于平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候变暖对采暖期气温变化的影响

#### 2.1.1 平均气温

从图1可知,近39年来,中卫市采暖期的平均气温整体在波动中上升,平均气温趋势值为0.14℃/10a。39年中有19年平均气温为负距平,占49%,20年平均气温为正距平,占51%。采暖期最冷的年份为2007/2008,平均气温为-5.6℃,较平均值偏低2.9℃;采暖期次冷年为1983/1984和2017/2018,平均气温均为-4.1℃,较平均值偏低1.4℃。采暖期最暖的年份为2016/2017,平均气温为-0.9℃,较平均值偏高1.8℃;采暖期次暖年为2001/2002,平均气温为-1.2℃,较平均值偏高1.5℃。

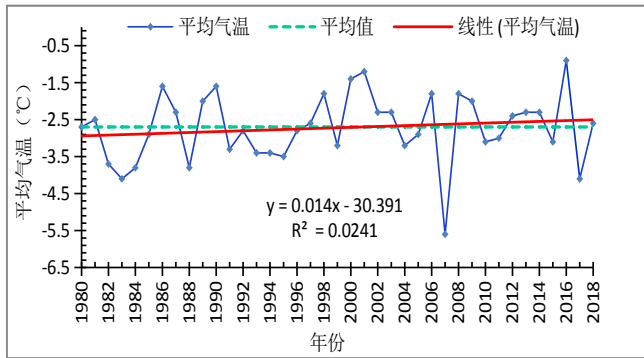


图1 1980-2018年中卫市采暖期平均气温变化曲线

#### 2.1.2 平均最低气温

从图2可知,近39年来,中卫市采暖期的平均最低气温整体也在波动中上升,但平均最低气温上升趋势较平均气温趋势更加明显,最低气温趋势值为0.17℃/10a。39年中有17年最低气温为负距平,占47%,22年最低气温为正距平,占53%。采暖期最冷年出现在2007/2008,平均最低气温为-11.0℃,较平均值偏低2.5℃;次冷年出现在2017/2018,平均最低气温为-10.1℃,较平均值偏低1.6℃。采暖期最暖年出现在2016/2017,平均最低气温为-6.8℃,较平均值偏高1.7℃;次暖年为2001/2002和2013/2014,最低气温为-7.0℃,较平均值偏高1.5℃。

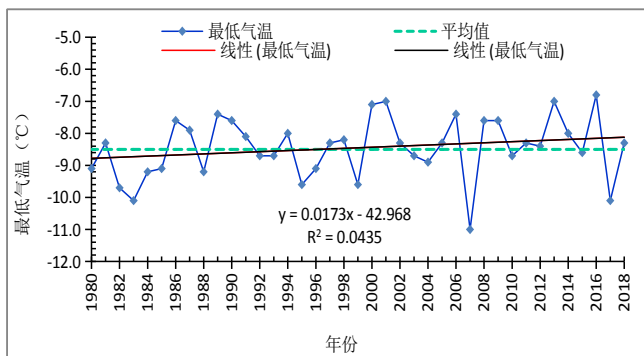


图2 1980-2018年中卫市采暖期最低气温变化曲线

#### 2.1.3 低温日数分布

从图3可知,39年来,中卫市采暖期低温日数整体呈现减少趋势,特别是日最低气温≤-15℃的日数减少趋势更加明显,这与采暖期平均气温和最低气温变化趋势一致。

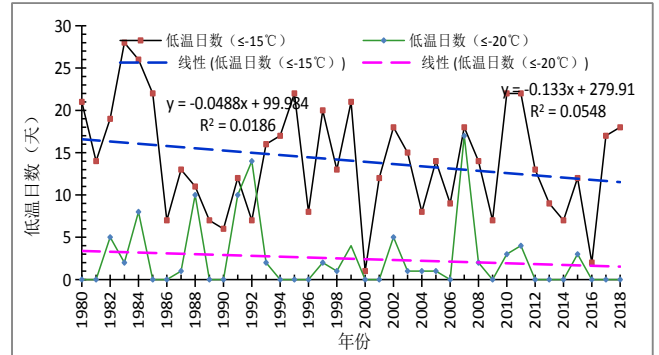


图3 1980-2018年中卫市采暖期最低气温变化曲线

樊宽等<sup>[6]</sup>研究表明:1961-2014年中卫冬季气温在1993年突变,突变后全市的年平均气温比突变前都增加。可见,1993年是一个气温突变年。为了更详细的了解低温日数的变化趋势,这里,分别对1980-1993年和1993-2018年两个阶段的低温日数进行趋势分析。

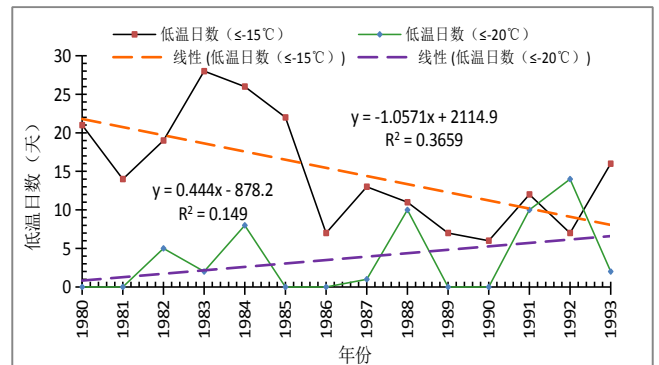


图4 1980-2013年中卫市采暖期最低气温变化曲线

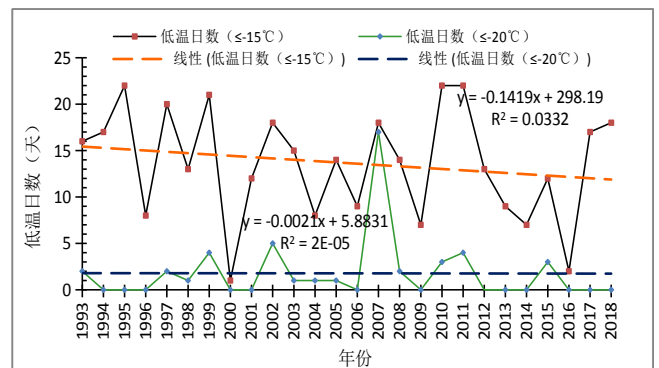


图5 1993-2018年中卫市采暖期最低气温变化曲线

从图4、图5可知,1980-1993年和1993-2018年这两个阶段,中卫采暖期日最低气温≤-15℃的低温日数分别以11d/10a的倾向率和2d/10a的倾向率呈减少的趋势。但是,很明显1980-1993年的低温日数呈显著性的减少趋势(P=0.022,通过了α=0.05的显著性检验)。日最低气温≤-20℃的低温日数在1980-1993年期间,以5d/10a的倾向率呈增加的趋势,但是在1993-2018年期间整体保持稳定,没有变化的趋势。这与郑广芬等<sup>[10]</sup>研究结论“宁夏冬季气温总趋势是变暖的,冬季极端气温的变化具有明显的阶段

性特征”及樊宽<sup>[6]</sup>等研究结论“中卫冬季气温在1993年突变”相一致。

2.2 气候变暖对采暖期采暖初、终日变化的影响

根据采暖期初、终日的确定方法,采用连续5d滑动平均法求得近39年中中卫市采暖期的初、终日变化趋势(图6、图7)。可见,中卫市采暖期呈现采暖初日略推迟,采暖终日略提前的趋势。采暖初日平均每10年推迟3天,采暖终日平均每10年提前2天,相应的整个采暖期将缩短5天左右。

近39年来,平均采暖开始日期为11月6日,比实际开始日期(11月1日)推迟5天;平均结束日期为3月22日,比实际结束日期(3月31日)提前9天。最早开始日期出现在1991年10月17日,最晚开始日期出现在1990年11月18日和2016年11月18日,相差32天。最早结束日期出现在2012年3月5日,最晚出现1995年4月4日,相差20天。

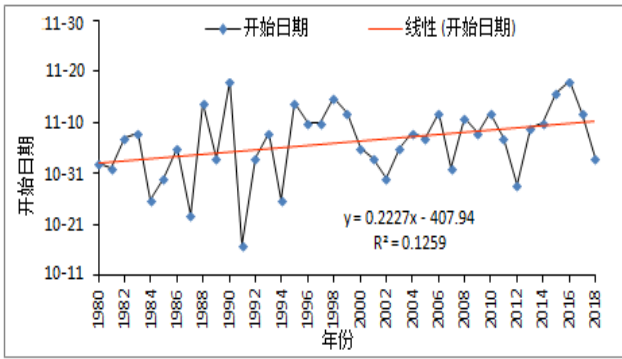


图6 1980-2018年中中卫市采暖期开始日期变化曲线

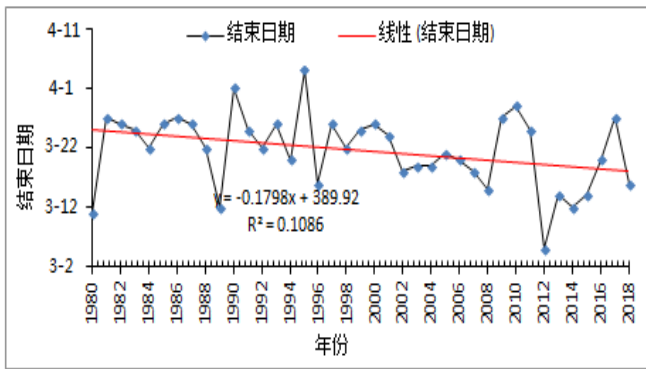


图7 1980-2018年中中卫市采暖期结束日期变化曲线

20世纪80年代中卫市采暖期平均开始日期为11月4日,平均结束日期为3月25日;90年代平均开始日期为11月6日,平均结束日期为3月24日;21世纪以来平均开始日期为11月8日、平均结束日期为3月18日。可见:21世纪以来,采暖初日比80年代推迟4天,采暖终日提前7天,相应的采暖期缩短11天左右;采暖初日比90年代推迟2天,采暖终日提前6天,相应的采暖期缩短8天左右。

2.3 气候变暖对采暖期日数变化的影响

从图8可以看出,近39年来,中卫市采暖期采暖日数以5d/10a的倾向率呈极显著的减少趋势(P=0.0005,通过了 a=0.001的显著性检验)。最短采暖日数为2017/2018,为108天,最长为1991/1992,为161天,相差53天。这与陈莉等<sup>[3]</sup>人研究结论“1995-2004年,采暖期缩短10-15d的地区明显增多,分别是新疆南部、河套部分地区、云南部分地区、四川大部、东北中部及内蒙古东部、长江至珠江流域采暖期长度缩短达15d以上”一致。21世纪以来,中卫的采暖日数比20世纪80年代、90年代分别减少了7天、11天,这与采暖期开始日期推迟、结束日期提前的趋势相吻合。

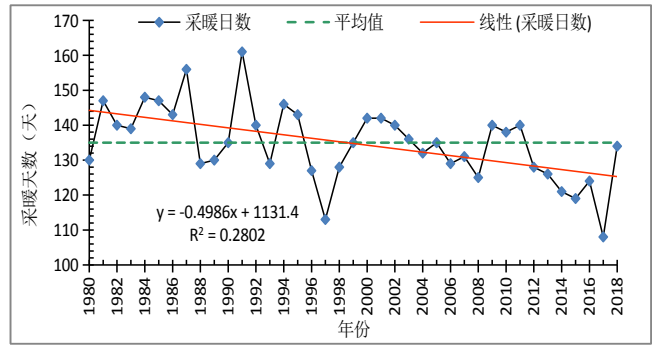


图8 1980-2018年中中卫市采暖期采暖日数变化曲线

2.4 气候变暖对采暖期采暖强度变化的影响

从图9可知,随着气候变暖,近39年来,中卫市采暖期平均采暖强度为1039℃·d,其年际变化以55.8℃·d/10a的倾向率呈显著的减弱趋势(P=0.003,通过了 a=0.05的显著性检验)。最大采暖强度出现在1991/1992,为1329℃·d,最小出现在2016/2017,为765℃·d。21世纪之前,20年中13年采暖强度为正距平,占65%。21世纪以来,19年中有15年为负距平,占79%,特别是2012/2013至2018/2019连续多年出现负距平。当采暖日数一定时,采暖强度越大,消耗的能源就越多;当采暖强度一定时,采暖日数越长,消耗的能源也就越多,反之亦然<sup>[11]</sup>。

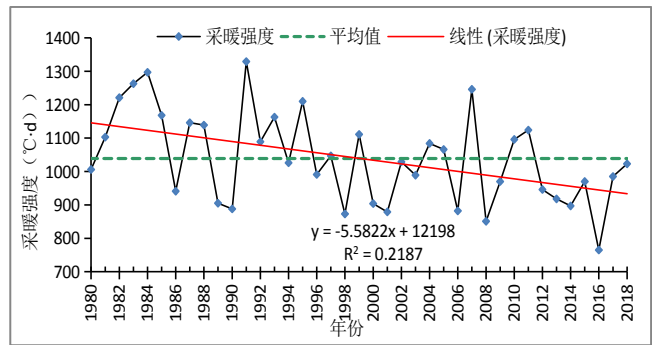


图9 1980-2018年中中卫市采暖期采暖强度变化曲线

2.5 气候变暖对采暖期采暖指数变化的影响

从1980-2018年中中卫市采暖期采暖指数来看(图10),随着气候变暖,采暖指数以9.2%/10a的倾向率呈极显著的减少趋势(P=0.0002,通过了 a=0.001的显著性检验)。采暖指数最大出现在1991/1992,为46%,采暖指数最小出现在2008/2009,为-32%,相差78%。21世纪以前,70%的年份中卫市采暖指数为正,21世纪以来,80%的年份中卫市采暖指数为负,说明21世纪以前,大部分年份需要供给的热量大于平均值,21世纪以来的年份则相反。表明21世纪以来采暖的自然需求逐渐减小。这与中卫冬季气温明显增高有较好的一致性。

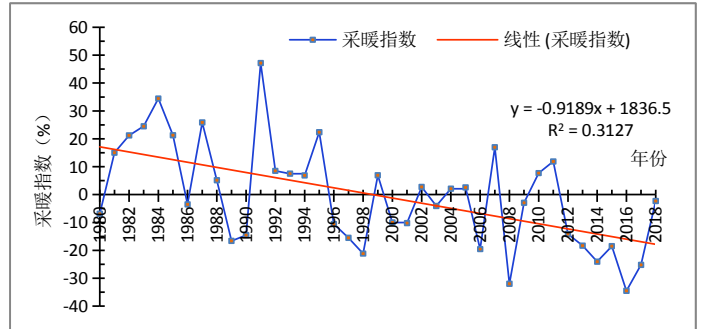


图10 1980-2018年中中卫市采暖期采暖指数变化曲线

综合所知,2007/2008年冬季是新世纪以来最寒冷的冬季,日最低气温

$\leq -15^{\circ}\text{C}$ 和 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 的日数明显偏多,冬季平均气温为 $-8.3^{\circ}\text{C}$ ,较常年同期偏低 $3.4^{\circ}\text{C}$ ,日最低气温 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 的日数为17天,为新世纪以来之最,采暖长度为131天,采暖强度为 $1246^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,采暖耗能较常年同期偏多20%。2016/2017年为典型的暖年,冬季平均气温为 $-2.2^{\circ}\text{C}$ ,较常年同期偏高 $2.7^{\circ}\text{C}$ ,整个采暖期长度为124天,采暖强度 $765^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,采暖耗能较常年同期偏少29%。两者的采暖耗能之差最大可达到49%,采用固定日期和强度采暖,既造成资源的浪费,同时因采暖产生的大气污染将更加严重。因此,建议充分考虑气候变化的背景和天气实况及预测,实施动态采暖,可促进中卫节能减排约束性目标的实现,同时为中卫市政府在集体供暖决策上提供实质性的参考依据。

### 3 结论

(1)近39年来,随着气候变暖,中卫市采暖期平均气温、最低气温整体呈上升趋势,但最低气温上升趋势较平均气温趋势更加明显。采暖期极端低温日数呈减少的趋势,特别是日最低气温 $\leq -15^{\circ}\text{C}$ 的日数减少趋势更加明显,其中1980-1993年日最低气温 $\leq -15^{\circ}\text{C}$ 的低温日数呈显著性的减少趋势。

(2)近39年来,随着气候变暖,中卫市采暖期呈现采暖初日略推迟,采暖终日略提前的趋势。采暖初日平均每10年推迟3天,采暖终日平均每10年提前2天,相应的整个采暖期将缩短5天左右。21世纪以来,采暖初日比80年代推迟4天,采暖终日提前7天,相应的采暖期缩短11天左右;采暖初日比90年代推迟2天,采暖终日提前6天,相应的采暖期缩短8天左右。采暖期采暖日数 $5\text{d}/10\text{a}$ 的倾向率呈极显著的减少趋势。

(3)近39年来,随着气候变暖,中卫市采暖期平均采暖强度为 $1039^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,其年际变化以 $55.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ 的倾向率呈显著的减弱趋势。采暖指数也以 $9.2\%/10\text{a}$ 的倾向率呈极显著的减小趋势。21世纪以前,70%的年份中卫市采暖指数为正,21世纪以来,80%的年份中卫市采暖指数为负,说明21世纪以前,大部分年份需要供给的热量大于平均值,21世纪以来的年份需要供给的热量小于平均值,即:对采暖的自然需求逐渐减小。

(4)气候的变暖,对中卫冬季采暖气候特征的影响很大。本研究结果对明确气候变暖对中卫冬季采暖的气候特征的影响,科学制定中卫冬季采暖发展计划和规划,实现冬季采暖的节约减排具有一定参考意义。但值得说明的是,采暖期的长度、采暖强度以及采暖耗能不仅受气候变化的影响,还与房屋建筑材料、保温措施的改善以及民众对采暖舒适度的需求也有密

切关系。因此,在本研究工作的基础上,统筹考虑气候变化以及社会、经济因素对冬季采暖的综合影响,制定更加符合中卫实际的采暖气候区划和发展规划,是今后有关中卫冬季采暖工作的重点研究方向之一。

### 【参考文献】

- [1] IPCC. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability [M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press, in press, 2014 [2014-02-10]. [http://www.ipccwg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC\\_WG2AR5\\_SPM\\_Approved.pdf](http://www.ipccwg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved.pdf).
- [2] 普宗朝, 张山清, 赵逸舟, 等. 气候变暖对新疆冬季采暖的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(6): 110-116.
- [3] 陈莉, 方修睦, 方修琦, 等. 过去20a气候变暖对我国冬季采暖气候条件与能源需求的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(4): 590-597.
- [4] 王素艳, 郑光芬, 杨建玲, 等. 宁夏冬季采暖期对气候变暖的相应[J]. 干旱气象, 2016, 34(2): 335-341.
- [5] 王俊波, 徐秀梅. 中卫地区气候生产力变化分析[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(08): 68-69+87.
- [6] 樊宽, 毛万忠, 王勇. 中卫市近54 a气候变化特征与突变分析[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2017, 38(04): 420-425.
- [7] 高峰, 姚国友, 朱晓飞, 等. 吉林省冬季气温变化对采暖期的影响[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(4): 22-27.
- [8] 吴素良, 张文静, 王琦. 西安采暖期气温变化对供暖的影响[J]. 陕西气象, 2014, (1): 18-21.
- [9] 刘和平, 代佩玲, 郭学峰, 等. 郑州市冬季采暖期气候变化特征及节能潜力分析[J]. 气象与环境科学, 2010, 32(3): 59-63.
- [10] 郑广芬, 陈晓光, 赵光平, 等. 宁夏冬季气温的变化及同期500hPa环流特征量的变化特征[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 59-63.
- [11] 李欣, 王素艳, 郑广芬. 银川市气温变化对居住建筑冬季能耗影响分析[J]. 宁夏气象, 2015, (3): 13-16.

### 作者简介:

庞婷婷(1989--),女,汉族,宁夏固原人,大学本科,学士学位,助理工程师,主要从事气象服务与应用气象工作。

### 基金项目:

宁夏回族自治区中卫市气象局科研项目资助。