

王素艳,郑广芬,杨建玲,等.宁夏冬季采暖期对气候变暖的响应[J].干旱气象,2016,34(2):335-341, [WANG Suyan, ZHENG Guangfen, YANG Jianling, et al. Response of Winter Heating Period to Climate Warming in Ningxia[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(2):335-341], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-02-0335

## 宁夏冬季采暖期对气候变暖的响应

王素艳<sup>1,2</sup>, 郑广芬<sup>1</sup>, 杨建玲<sup>1</sup>, 李欣<sup>1</sup>,  
张智<sup>1</sup>, 张红英<sup>1</sup>, 周翠芳<sup>1</sup>, 董国庆<sup>1</sup>

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气候中心, 宁夏 银川 750002)

**摘要:**利用1961~2014年(10月至次年4月)宁夏20个气象站气候资料,分析宁夏冬季采暖期的时空变化特征,以及采暖期内气候资源的变化特征及其对采暖强度的影响。结果表明:(1)宁夏由南到北采暖初日推迟,终日提前,采暖强度减弱;(2)与实际供暖初、终日期相比,北部引黄灌区采暖初日偏晚,终日偏早,采暖长度短于供暖长度;中部干旱带两者基本接近;南部山区采暖初日偏早,终日偏晚,采暖长度长于供暖长度;(3)随着气候变暖,近53 a宁夏采暖初日推后,终日提前,终日提前趋势较初日推后趋势更明显,采暖期长度缩短,北部引黄灌区缩短最多;整体上,采暖强度显著减弱,但2002年以后中北部地区气温降低,导致日平均采暖强度及采暖强度有增加趋势;(4)夜间升温对采暖强度减小的贡献大于白天升温的贡献;(5)近53 a日照时数和降水量变化对中南部地区采暖强度的影响大于北部引黄灌区;(6)气候变暖对减少冬季采暖能耗的贡献为12.8%~16.5%,但中北部地区2002年以后对减少采暖能耗的贡献有所降低。

**关键词:**气候变化;采暖期;采暖期气候特征;影响

**文章编号:**1006-7639(2016)-02-0335-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-02-0335

**中图分类号:**P467

**文献标识码:**A

### 引言

中国作为能源消耗大国,冬季采暖是能源消费的主要途径之一。龙惟定<sup>[1]</sup>研究得出,我国建筑能耗中的采暖能耗占总能耗的16.8%。随着建筑业的发展,建筑耗能越来越多,仅民用建筑耗能就占了全国商品能源总耗能的25%左右,其中仍有60%或以上为采暖能耗<sup>[2]</sup>,即采暖能耗占总能耗比例仍在15%或以上。我国采暖区域主要集中在北方,北方城镇采暖能耗占全国城镇建筑总能耗的40%<sup>[3]</sup>。能源消耗影响气候变化,反过来气候变化也影响到能源的消耗<sup>[4]</sup>。同时采暖能耗也是北方地区冬季主要的大气环境污染源之一,节能潜力巨大。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。陈莉等<sup>[5]</sup>研究表明,1980年代中期以来,气

候变暖对我国冬季采暖气候条件和能源需求产生很大影响。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>[2,6-13]</sup>,得出基本一致的结论:随着气候变暖,北方大部地区采暖初日推迟,终日提前,采暖期缩短,采暖强度减小,理论上采暖能耗降低。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,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。

宁夏地域狭小,南北气温差异较大,冬半年供暖期内(11月至次年3月)平均气温 $-6.9\sim-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最低气温 $-32.0\sim-24.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最冷月(1月)平

收稿日期:2015-05-18;改回日期:2015-07-27

基金项目:宁夏自然科学基金(NZ13254)和国家自然科学基金(41475090)共同资助

作者简介:王素艳(1974-),女,宁夏中宁人,硕士,高级工程师,主要从事气候、气候资源及气候灾害评估方面的工作。E-mail:nxwsy\_cn@sina.com

通讯作者:郑广芬(1965-),女,河北献县人,硕士,正研级高工,主要从事气候、气候资源及气候灾害评估方面的工作。E-mail:yeh\_zgf@163.com

均气温  $-9.9 \sim -6.2$  °C。实际供暖全区集中从 11 月 1 日开始,次年 3 月 31 日结束,必然使温度较高地区供暖过早、停暖过迟,从而产生能源浪费,而温度较低地区则供暖过迟、停暖过早,给当地居民生活带来一定不利影响。相关研究表明<sup>[14-19]</sup>,宁夏气候对全球气候变暖响应敏感,但各地响应程度不同,表现为年平均气温明显升高,且变暖幅度较全国平均幅度大,在 1986 年前后发生突变,尤其冬季升温更显著,且阶段性异常特征显著。为提高资源利用效率,实现节能减排约束性目标,积极应对全球气候变化,完成《宁夏绿色建筑行动实施方案》“十二五”期间目标任务,有必要开展宁夏气候资源在落实绿色建筑实施方案中的应用评估,为新建建筑和原有建筑改造提供依据,实现气候资源的最大利用效率,以达到可持续发展的目的。为此,本文结合宁夏供暖实际情况和气候变暖事实,分析各地气候适宜采暖期内气候资源变化特征及其对采暖能耗的影响。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

采用宁夏 20 个气象站 1961~2014 年(10 月至次年 4 月)气温、日照时数、降水量等逐日观测资料。由于宁夏从北到南气候条件、农牧业分布和生态环境状况差异显著,依次将全区分为 3 个区域:北部引黄灌区(11 站)、中部干旱带(5 站)和南部山区(4 站)(图略),主要以各区域气象站平均要素进行分析。

### 1.2 采暖期初、终日的确定

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)规定,供暖日数按当年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 °C。采用连续 5 d 滑动平均法,以秋季日平均气温稳定  $\leq 5$  °C 的首个 5 d 中第一个日平均气温  $\leq 5$  °C 的日期为采暖初日,以春季日平均气温稳定  $> 5$  °C 的首个 5 d 中最后一个日平均气温  $\leq 5$  °C 的日期为采暖终日<sup>[2,5,13]</sup>。初终日之间的日数为采暖日数,即采暖期,本文以采暖长度表示。

### 1.3 采暖强度及供热节能率

以度日法表征采暖强度<sup>[5]</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。

分别从整个采暖期采暖强度和日平均采暖强度两方面进行统计分析。

整个采暖期采暖强度的计算公式如下:

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

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

定义日平均采暖强度为采暖强度与采暖期之比。若每一度日数耗能量基本相同,则用度日数减少的百分数表示因气候变暖在整个冬季建筑物供热节能率  $S_e$ <sup>[5]</sup>:

$$S_e = \frac{\Delta D}{\bar{D}} \times 100\% \quad (2)$$

其中, $\bar{D}$  为参考时段的平均采暖强度, $\Delta D$  为变暖时段与参考时段的平均采暖强度之差。 $S_e$  值可以基本反映因气候变暖而降低的采暖能耗比率。

### 1.4 其他要素及统计

由于采暖期跨年,这里将 1961 年 10 月至 1962 年 4 月时段定义为 1961 年采暖期,依次类推。根据李艳春等<sup>[15]</sup>研究结果“宁夏气候在 1986 年前后发生突变”,以 1986 年为界分别用前后 2 个时段的气象要素进行气候变暖对采暖期气候特征的影响分析,即气候变暖前的时段为 1961~1985 年,气候变暖后的时段为 1986~2013 年。

温度累积频率方法是以 1 °C 为间隔统计各温度段内的频率,然后累加某一数值以下或以上的频率之和。

采用 Mann-Kendall 方法<sup>[20]</sup>对采暖初、终日及采暖强度进行突变分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候变化对采暖期的影响

#### 2.1.1 对采暖初终日及采暖长度的影响

宁夏实际供暖统一从 11 月 1 日开始,次年 3 月 31 日结束,供暖长度为 151 d。表 1 给出宁夏各分区采暖期各特征量的变化。可以看出,宁夏采暖初日由南到北推迟,1961~2013 年南部山区平均日期为 10 月 25 日,较实际供暖日期(11 月 1 日)早了 6 d,中部干旱带为 11 月 1 日,而北部引黄灌区为 11 月 3 日,较实际供暖日期稍晚 2 d。1961 年以来,各地采暖初日均有缓慢推后趋势,但差异不大,在 0.9~1.1 d/10 a 之间。其中,北部引黄灌区和中部干旱带采暖初日年际变化较为一致,突变时间均为 1989 年,较平均气温突变滞后 3 a;突变后的年际波

动增大,尤其是1990年代采暖初日有3 a创最晚记录,且平均日期较突变前推迟3~5 d。南部山区采暖初日2002年发生突变,突变后平均日期较之前推迟6 d。各地气候变暖后平均采暖初日较之前推迟3~5 d。

采暖终日与初日的空间分布正相反,采暖终路由南到北依次提前,南部山区、中部干旱带和北部引

黄灌区多年平均日期分别是4月6日、3月28日和3月22日,分别较实际停暖日期晚6 d,早3 d,9 d;3个区域突变时间相同,均发生在1995年前后;突变后平均日期较之前提前4~7 d;近53 a间,3地区采暖终日均呈显著提前趋势(通过0.001的显著性检验),北部引黄灌区为-2.5 d/10 a,中部干旱带和南部山区均为-2.0 d/10 a,较采暖初日推后趋势明显。

表1 1961~2013年不同时段宁夏各区域采暖期特征量的变化

Tab.1 The changes of characteristic variables during the heating period from 1961 to 2013

	北部引黄灌区	中部干旱带	南部山区
多年平均日期	11-03	11-01	10-25
气候变暖前后平均日期	11-01/11-06	10-30/11-02	10-23/10-26
采暖初日			
突变前后平均日期	11-01/11-06	10-30/11-02	10-24/10-30
突变时间	1989年	1989年	2002年
变化趋势/(d/10 a)	1.1	0.9	1.1
多年平均日期	03-22	03-28	04-06
气候变暖前后平均日期	03-25/03-18	03-30/03-26	04-08/04-04
采暖终日			
突变前后平均日期	03-25/03-18	03-30/03-26	04-08/04-01
突变时间	1995年	1995年	1995年
变化趋势/(d/10 a)	-2.5	-2.0	-2.0
多年平均/d	140	149	164
气候变暖前后/d	145/134	153/145	168/161
采暖长度			
突变前后/d	145/134	153/145	167/155
变化趋势/(d/10 a)	3.6	2.8	3.1

结合采暖初日和终日日期发现,宁夏采暖长度南部山区最长、北部引黄灌区最短,其中南部山区采暖长度为164 d,较实际供暖长度长13 d,而中部干旱带、北部引黄灌区采暖长度分别为149 d和140 d,较实际供暖长度分别短2 d、11 d。另外,由于采暖初日推后和终日提前,采暖长度明显缩短,且气候变暖前后差异明显,表现为气候变暖后采暖长度较之前由北到南分别缩短11 d、8 d和7 d;突变后采暖长度较之前由南到北分别缩短11 d、8 d和12 d。图1给出1961~2013年宁夏采暖长度变化趋势空间分布。可以看出,全区采暖长度变化趋势一致,均呈现缩短趋势,气候倾向率为-4.4~-2.0 d/10 a,由于北部引黄灌区初日推后、终日提前日数最多,其采暖期长度缩短最显著,而中部盐池和南部隆德采暖长度缩短最小;北部引黄灌区、中部干旱带和南部山区缩短趋势分别为3.6 d/10 a、2.8 d/10 a和3.1 d/10 a。

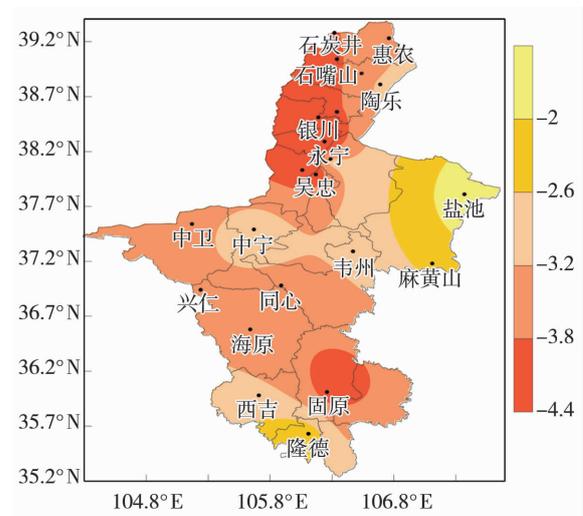


图1 1961~2013年宁夏采暖期长度变化趋势分布(单位:d/10 a)

Fig.1 The change trend distribution of heating days in Ningxia during 1961-2013 (Unit:d/10 a)

随着气候变暖,宁夏采暖初日推后,终日提前,北部引黄灌区和中部干旱带采暖初日偏晚趋势及终日偏早趋势越来越明显,而南部山区初、终日与实际供暖期的初、终日越来越接近。其中,气候变暖前后北部引黄灌区采暖初日与实际供暖初日的差异由一致变为偏晚 5 d,偏晚年份由 50% 升为 78%,最迟初日由 11 月 9 日推迟到 11 月 16 日;中部干旱带由偏早 2 d 变为偏晚 1 d,偏晚年份由 31% 升为 48%,最迟初日由 11 月 8 日推迟到 11 月 14 日;南部山区由偏早 9 d 变为偏早 6 d(表略)。北部引黄灌区和中部干旱带大部分年份采暖终日早于供暖终日,且气候变暖前后北部引黄灌区由早 6 d 增加到早 13 d,最早终日由 3 月 13 日提前到 3 月 3 日,中部干旱带由早 1 d 增加到早 5 d,最早终日由 3 月 14 日提前到 3 月 9 日,而南部山区由晚 8 d 变为晚 4 d。

### 2.1.2 对采暖强度及能耗的影响

由 1961~2013 年宁夏采暖强度分布可见(图 2),宁夏各地采暖强度在  $1046.4 \sim 1448.9 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ,南部山区的西吉最大,北部引黄灌区的中宁最小。其中,北部引黄灌区、中部干旱带和南部山区平均采暖强度分别为  $1164.7 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $1268.7 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}$  和  $1348.8 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。从变化趋势看(图略),随着气候变暖,各地采暖强度显著减弱,减弱幅度由南到北增加,但差异不大;各地采暖强度都发生了突变,其中北部引黄灌区和中部干旱带在 1986 年前后发生突变,南部山区突变时间为 1993 年前后。由此可见,尽管采暖初日和终日对宁夏气候变暖的响应不一致,但大部地区采暖强度对气候变暖的响应较敏感。

图 3 给出 1961~2013 年宁夏北部引黄灌区和中部干旱带采暖强度的年变化。可以看出,近 53 a 间 2 区域采暖强度变化极其相似,大致经历 2 个明显的阶段性变化,2002 年以前采暖强度呈明显减少

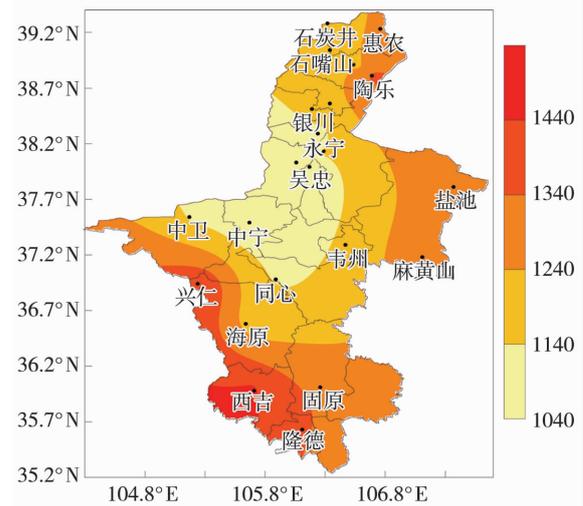


图 2 1961~2013 年宁夏采暖强度分布(单位:  $^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ )

Fig. 2 The spatial distribution of heating intensity in Ningxia during 1961–2013 (Unit:  $^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ )

趋势,北部引黄灌区和中部干旱带减小趋势分别为  $85.8 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}/10 \text{ a}$  和  $88.8 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}/10 \text{ a}$ ,之后有缓慢增加之势,但整体呈显著下降趋势,北部引黄灌区和中部干旱带下降趋势分别为  $65.7 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}/10 \text{ a}$  和  $62.7 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}/10 \text{ a}$ ,说明在宁夏气候变暖有所减缓<sup>[21]</sup>背景下,采暖强度下降幅度也随之减缓。与中北部不同,1961~2013 年南部山区采暖强度呈持续减小趋势,减小幅度为  $62.5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}/10 \text{ a}$ (图略)。

分析 1961~1985 年、1986~2001 年、2002~2013 年 3 个时段采暖强度、日平均采暖强度及采暖长度的变化特征,以揭示 2002 年以来宁夏中北部采暖强度增加趋势的原因。由表 2 可见,北部引黄灌区和中部干旱带采暖长度持续缩短。北部引黄灌区 1986~2001 年间采暖强度较之前减少  $210.7 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ,而与之后的 2002~2013 年间接近,但日平均采暖强度较前后 2 个时段分别减少  $1.1 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 、 $0.4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ;

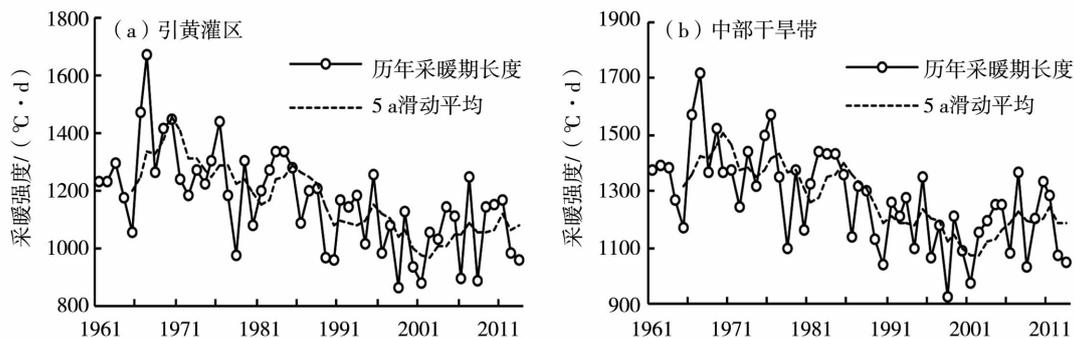


图 3 1961~2013 年宁夏北部引黄灌区(a)和中部干旱带(b)采暖强度年际变化及其 5 a 滑动平均

Fig. 3 Annual change of heating intensity and the five-year moving average in the Yellow River irrigation area (a) and the middle arid area (b) in Ningxia during 1961–2013

表2 1961~2013年宁夏中北部不同时段采暖强度和采暖长度变化

Tab.2 The heating intensity and days during different period from 1961 to 2013 in north and central regions of Ningxia

	1961~1985年		1986~2001年		2002~2013年	
	北部引黄灌区	中部干旱带	北部引黄灌区	中部干旱带	北部引黄灌区	中部干旱带
采暖强度/( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ )	1 276.2	1 369.9	1 065.5	1 156.8	1 064.8	1 187.2
日平均采暖强度/( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ )	9.2	9.5	8.1	8.3	8.5	8.9
采暖长度/d	145	152	136	148	131	142

中部干旱带 1986~2001 年间采暖强度较之前减少 213.2  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 而与之后的 2002~2013 年间接近, 仅低了 0.5  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 但日平均采暖强度较前后 2 个时段分别减小 1.2  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、0.6  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。由此可见, 宁夏中北部 2002 年之后虽然采暖长度缩短, 但由于日平均采暖强度增强, 致使采暖强度有增强趋势。

以北部引黄灌区为例, 按 1  $^{\circ}\text{C}$  间隔分别统计各温度段的频率(图 4)。可以看出:  $-8^{\circ}\text{C}$  以下的各温度段出现频率均为 1986 年以前最高, 其累积频率为 29.7%, 其次为 2002~2013 年时段, 累积频率为 24.2%, 1986~2001 年时段仅为 19.3%;  $-8^{\circ}\text{C}$  以上大部分温度段内, 以 1986~2001 年时段最高, 其次为 2002~2013 年时段。采暖基础温度 5  $^{\circ}\text{C}$  以下的频率 3 个时段分别为 96.6%、95.9% 和 96.1%。可见, 2002 年以后, 日平均气温低于 5  $^{\circ}\text{C}$  的日数增加, 是采暖强度增强的直接原因。

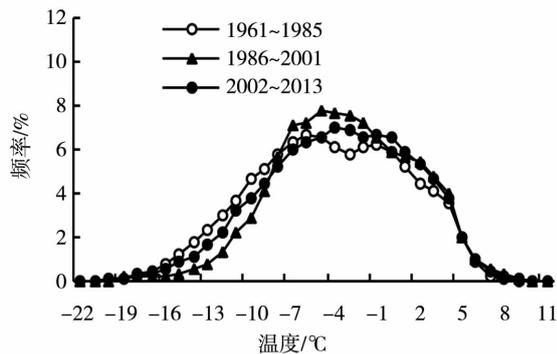


图4 1961~2013年宁夏北部引黄灌区不同时段温度频率变化

Fig.4 The changes of temperature frequency during different period from 1961 to 2013 in the Yellow River irrigation area of Ningxia

宁夏各区域气候变暖后平均采暖强度较之前减少 185.0~211.0  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 为气候变暖前的 12.8%~16.5%, 表明气候变暖对减少冬季采暖能耗的贡献为 12.8%~16.5%, 其中 1986~2001 年和 2002~2013 年与气候变暖前相比, 北部引黄灌区均减小 16.5%, 中部干旱带分别减小 16.1% 和 13.9%, 南

部山区分别减小 10.2% 和 16.2%。

## 2.2 采暖期内气候变化特征及其对采暖强度的影响

### 2.2.1 热量变化特征及其对采暖强度的影响

分别以夜间气温、白天气温及日平均气温分析宁夏各区域热量资源变化特征及其对采暖强度的影响。结果表明: 自 1961 年以来, 宁夏日平均气温整体上呈显著上升趋势, 上升趋势在 0.24~0.27  $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (表略)。由夜间、白天平均气温变化特征可见(表 3), 夜间气温上升趋势在 0.32~0.34  $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  之间, 其中北部引黄灌区最大; 白天气温上升趋势在 0.13~0.20  $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  之间, 由南到北依次减小。可见, 夜间增温更明显。由于中北部 2002 年以后采暖强度有缓慢增加趋势, 故对 1961~1985 年、1986~2001 年和 2002~2013 年 3 个时段的气温变化进行分析(表 3), 发现各区域 1986~2001 年间白天气温和夜间气温均较之前 1961~1985 年间有所升高, 2002 年之后, 北部引黄灌区和中部干旱带白天和夜间平均气温较 1986~2001 年间有所降低, 必然引起日平均气温降低, 进而造成采暖强度增加; 南部山区 1986~2001 年间白天气温较前后 2 个时段偏高, 而夜间气温持续上升, 且 2002 年以后夜间气温上升幅度大于白天气温降低幅度, 导致 2002 年之后南部山区日平均气温上升, 采暖强度减小。

从气温对采暖强度的影响分析发现, 1961 年以来, 平均气温上升 1  $^{\circ}\text{C}$ , 采暖强度相应地减小 114.0~163.8  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 其中南部山区最大, 北部引黄灌区和中部干旱带接近。各区域夜间和白天气温与采暖强度的相关系数都在 0.75 以上, 其中夜间气温上升 1  $^{\circ}\text{C}$ , 采暖强度减小 129.1~141.9  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 而白天气温上升 1  $^{\circ}\text{C}$ , 采暖强度减小 116.5~126.4  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。可见夜间气温上升对采暖强度减小的贡献大于白天气温上升的贡献。就采暖耗能节约而言, 1986~2013 年白天气温升高节约采暖耗能 5.7%~7.0%, 其中 1986~2001 年间和 2002~2013 年间分别节约 6.2%~9.0% 和 2.3%~5.1%; 1986~2013 年间夜间气温升高节约采暖耗能 10.0%~12.5%, 其中 1986~2001 年和 2002~2013 年时段分别节约 8.8%~14.4% 和 8.0%~11.7%。

表3 1961~2013年间不同时段气温及其对采暖能耗的贡献  
Tab.3 The average temperature during different periods and its contribution to heating energy consumption during 1961-2013

	时段	北部引黄灌区		中部干旱带		南部山区	
		夜间	白天	夜间	白天	夜间	白天
平均气温/℃	1961~1985	-9.4	3.7	-9.5	3.6	-8.8	3.3
	1986~2001	-8.1	4.5	-8.0	4.5	-7.9	4.1
	2002~2013	-8.4	3.9	-8.7	4.0	-7.6	3.9
气温变化趋势/(℃/10 a)	1961~2013	0.34	0.13	0.32	0.18	0.32	0.20
气温升高1℃采暖强度减少幅度/(℃·d)	1961~2013	135.8	122.5	129.1	126.4	141.9	116.5
	1986~2013	12.5	5.7	11.6	7.0	10.0	5.8
气候变暖后采暖耗能节约/%	1986~2001	13.8	8.3	14.4	9.0	8.8	6.2
	2002~2013	10.8	2.3	8.0	4.3	11.7	5.1

### 2.2.2 光照变化特征及其对采暖强度的影响

以采暖期内逐日日照时数分析光照资源变化特征及其对采暖强度的影响。1961年以来,宁夏采暖期内日照时数变化趋势南北差异较大,北部引黄灌区呈显著减少趋势(通过0.001的显著性检验),减少趋势为0.127 h/10 a,而中南部地区呈微弱增加趋势,中部干旱带和南部山区增加趋势分别为0.031 h/10 a和0.038 h/10 a。日照时数与白天气温呈正相关,相关性由南到北逐渐减小(中部干旱带和南部山区通过0.05的显著性检验)。日照时数的变化影响白天气温的变化,进而影响采暖强度的变化,中南部地区日照时数增加使得白天气温升高,而北部引黄灌区日照时数减少一定程度上减弱了气候变暖引起的白天升温,但减弱作用有限。从日照时数对采暖强度的影响看,中部干旱带和南部山区日照时数每增加1 h,采暖强度分别减小125.0℃·d和119.9℃·d。

### 2.2.3 降水变化特征及其对采暖强度的影响

利用日降水量分析采暖期内降水资源变化特征及其对采暖强度的影响。近53 a来,宁夏各区域采暖期内降水量均呈减少趋势,减小速率由南到北依次为3.0 mm/10 a、2.5 mm/10 a和1.2 mm/10 a,分别为多年平均降水量的6.5%、11.7%和12.1%(中部干旱带和南部山区通过0.05的显著性检验)。降水量与采暖强度呈正相关,且相关性从强到弱依次为中部干旱带、南部山区、北部引黄灌区,其中中部干旱带和南部山区通过0.05的显著性检验。中部干旱带和南部山区降水量每减小10 mm,采暖强度分别减小52.0℃·d和26.9℃·d。从降水对

气温的影响来看,降水量与日平均气温、夜间平均气温并无明显关系,而与白天平均气温负相关关系较显著(通过0.05的显著性检验),可见,降水量主要通过影响白天气温变化来影响采暖强度,降水量减小,白天气温升高,致使日平均气温升高,采暖强度减小。可能原因是,在地表同一地方,白天气温受太阳辐射影响明显,而日照时数对太阳辐射有直接影响;降水量和日照时数之间密切相关,降水量增加,日照时数减少<sup>[22]</sup>,通过对中南部降水量和日照时数的相关性分析也发现两者呈显著负相关(通过0.001的显著性检验);夜间气温主要受地面辐射影响,降水量的影响不如白天大。

综上所述,气温变化是影响采暖强度的直接因素,宁夏夜间气温升高对采暖强度减小的贡献大于白天气温升高的贡献;日照时数和降水量都对白天气温产生直接影响,进而影响采暖强度,其中影响程度中部干旱带和南部山区大于北部引黄灌区。

## 3 结论

(1)近53 a来,宁夏采暖初日推后,终日提前,且终日提前趋势较初日推后趋势更明显;采暖长度明显缩短,气候变暖前后差异明显,北部引黄灌区、中部干旱带、南部山区在气候变暖后较之前分别缩短11 d、8 d和7 d。

(2)与实际供暖初、终日期相比,南部山区采暖初日偏早,终日偏晚,采暖长度长于供暖长度;中部干旱带两者基本接近;北部引黄灌区采暖初日偏晚,终日偏早,采暖长度短于供暖长度。随着气候变暖,中北部采暖初日偏晚趋势及终日偏早趋势越来越明

显,而南部山区越来越接近。

(3)1961~2013年,采暖强度整体表现为显著减弱趋势,减弱幅度由南到北逐渐增加。2002年以后宁夏中北部虽然采暖长度缩短,但由于夜间、白天气温降低,致使日平均采暖强度增加,采暖强度增加;南部山区夜间气温上升幅度大于白天气温降低幅度,使得日平均气温上升,采暖强度减小。气候变暖对减少冬季采暖能耗的贡献为12.8%~16.5%,其中1986~2001年和2002~2013年各区域减小10.2%~16.5%和13.9%~16.5%。

(4)日平均气温上升1℃,采暖强度减小114.0~163.8℃·d,其中夜间气温、白天气温每上升1℃,宁夏各区采暖强度分别减小129.1~141.9℃·d和116.5~126.4℃·d,夜间升温对采暖强度减小的贡献大于白天升温。

(5)日照时数和降水量变化对宁夏中南部地区的影响大于北部引黄灌区,中部干旱带和南部山区日照时数每增加1h,采暖强度分别减小125.0℃·d和119.9℃·d,降水量每减小10mm,采暖强度分别减小52.0℃·d和26.9℃·d。

#### 参考文献:

- [1] 龙惟定. 试论我国暖通空调业的可持续发展[J]. 暖通空调, 1999, 29(3): 25-30.
- [2] 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.
- [3] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2007[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007. 21.
- [4] 文远高, 连之伟. 气候变暖对建筑能耗的影响[J]. 建筑热能通风空调, 2003, 22(3): 38-42.
- [5] 陈莉, 方修睦, 方修琦, 等. 过去20年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.
- [6] 刘彩红, 苏文将. 气候变暖对青海高原采暖能耗的影响及评估[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2013, 5(6): 494-500.
- [7] 严德行. 高海拔地区采暖指标变化特征及预测方法[J]. 干旱气象, 2012, 30(2): 221-230.
- [8] 曹洁, 邱璨, 王静, 等. 气候变化对济南采暖期的影响及节能潜力分析[J]. 区域供热, 2012, (4): 64-67.
- [9] 陈莉, 方修琦, 李帅, 等. 气候变暖对中国夏热冬冷地区居住建筑采暖降温年耗电量的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 765-771.
- [10] 沈宾, 高峰, 马吉伟. 长春市采暖期气温变化特征分析[J]. 吉林农业, 2011, (11): 239-241.
- [11] 史璐, 郭军, 孙卫国. 1961-2010年气候变化对天津市采暖期和夏季空调期的影响[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(2): 61-67.
- [12] 牡岩, 陈莉, 罗冰. 近55a来中国严寒和寒冷地区主要城镇采暖气候条件的变化研究[J]. 黑龙江气象, 2010, 27(4): 27-30.
- [13] 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.
- [14] 陈晓光, 苏占胜, 郑广芬, 等. 宁夏气候变化的事实分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(6): 43-47.
- [15] 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.
- [16] 郑广芬, 陈晓光, 孙银川, 等. 宁夏气温、降水、蒸发的变化及其对气候变暖的响应[J]. 气象科学, 2006, 26(4): 412-421.
- [17] 陈豫英, 陈楠, 郑广芬, 等. 近45a宁夏气温、降水及植被指数的变化分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(4): 626-633.
- [18] 纳丽, 陈晓光, 郑广芬, 等. 宁夏近40年极端气温变化特征分析[J]. 宁夏工程技术, 2006, 5(1): 4-7.
- [19] 王素艳, 李欣, 郑广芬, 等. 21世纪以来宁夏冬季气温异常及500hPa环流特征[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 569-575.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第2版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007. 63-65.
- [21] 气候变暖有所放缓, 但不会停止[OL]. <http://www.doc88.com/p-7718001471331.html>.
- [22] 虞海燕, 刘树华, 赵娜, 等. 我国近59年日照时数变化特征及其与温度、风速、降水的关系[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(3): 389-398.

(下转至348页)