

基于度-时法的哈尔滨冬季采暖强度评价

刘玉莲^{1,2}, 任国玉^{2,3*}

(1. 黑龙江省气候中心, 哈尔滨 150030; 2. 中国地质大学(武汉)环境学院大气科学系, 武汉 430074;
3. 中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081)

摘要: 采用度时法比度日法更能细致地反映采暖和制冷强度时间分布特征。论文应用度时法分析了哈尔滨采暖期内采暖强度的时间变化特征, 获得如下结论: 1) 哈尔滨集中供暖时间为 183 d, 近 10 a 采暖期平均气温 $-7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均气温距平最高值 $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2007、2008 年)、最低值 $-2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2013 年)。采暖期小时平均气温最高在 14:00 ($-3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$), 最低在 06:00 ($-11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)。2) 2005—2014 年, 哈尔滨年平均采暖强度 $1.1\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 最大 $1.2\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ (2013 年), 最小 $1.0\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ (2007 年)。3) 哈尔滨采暖期小时平均采暖强度为 $25.7\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 日内呈单峰分布, 06:00 采暖强度最大, 为 $29.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 14:00 采暖强度最小, 为 $21.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 。晚上 21:00 到次日早上 9:00, 采暖强度大于日平均值, 而上午 9:00 到晚上 21:00 采暖强度则明显低于日平均水平。4) 采暖期各月平均的小时采暖强度 1 月最大, 为 $35.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 从大到小依次减少顺序是 1、12、2、11、3、10、4, 4 月小时采暖强度仅为 $12.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 。5) 日内小时采暖强度最小值 3、4 月出现在 15:00, 其余月份在 14:00; 最大值 1、2、12 月出现在 07:00, 3、10、11 月在 06:00, 4 月在 05:00。在每年 1 月中旬 06:00~08:00, 出现整个采暖期采暖强度极大值。

关键词: 度日; 度时; 气温; 采暖强度; 哈尔滨

中图分类号: TU832

文献标志码: A

文章编号: 1000-3037(2018)01-0139-10

我国用于建筑供暖、通风和空调等的建筑能耗占总能耗的 20%~25%, 东北地区由于室外温度低, 采暖能耗占建筑能耗达到 50% 以上, 通常也是这部分能耗浪费最多, 节能潜力巨大^[1]。准确估算采暖耗能需求, 以便在保证人们正常生产、生活的前提下, 根据实际需求合理利用能源供暖, 可以节约大量能源, 对于节能减排、缓解城市空气污染治理和应对气候变化, 均具有重要的实际意义。

国内外利用度日方法对全球不同气候带的采暖和制冷能源强度进行了大量研究。20 世纪 90 年代, 张家诚等^[2]指出采暖气候条件包括采暖期长度与采暖强度两个指标; 陈峪等^[3]探讨气候变化对能源需求的影响, 计算分析了中国北方地区采暖度日变化; 白美兰^[4]、轩春怡等^[5]、李丽光等^[6]、曹洁等^[7]、胡轶鑫等^[8]分别评估了内蒙古、北京、辽宁中部城市群、山东省及长白山区采暖度日分布及变化特征; 陈莉等^[9-11]、李明财等^[12]评估了度日与采暖能耗关系, 并对气候变化背景下基于采暖度日的能源消耗需求变化进行了分析。这

收稿日期: 2016-11-21; 修订日期: 2017-01-04。

资助项目: 中国气象局气候变化专项 (CCSF201842); 黑龙江省气象局自立项目 (HQ2016026)。[Foundation items: The Special Project in Climate Change of China Meteorological Administration, No. CCSF201842; Self-reliance Project of Heilongjiang Province Meteorological Bureau, No. HQ2016026.]

第一作者简介: 刘玉莲 (1974-), 女, 黑龙江兰西人, 硕士, 高工, 主要从事气候变化研究。E-mail: liuy174@qq.com

*通信作者简介: 任国玉 (1958-), 男, 辽宁康平人, 研究员, 研究方向为气候变化与古气候研究。E-mail: guoyoo@cma.gov.cn

些研究都是基于日平均气温和度日方法计算分析采暖强度,具有计算方法简便、资料容易获取等优点。但是,基于度日方法和日平均气温资料的分析评价,难以捕捉能源需求的日内变化规律,对于日间和月间能源需求变化特征的描述有时也会出现误差^[13]。

Satman 等^[14]采用度时方法和不同基础温度评估了土耳其的采暖和制冷强度; Papakostas 等^[15]利用度时方法分析评价了希腊两个主要城市(Athens 和 Thessaloniki)的采暖和制冷能源需求。Bolattürk^[16]利用度时方法计算分析了土耳其最暖气候带的采暖和制冷强度,并进一步评价了建筑物墙壁理想绝缘厚度,提出暖热气候条件下针对制冷情况的绝缘墙体采用具有显著节能效果,理想墙体厚度介于 3.2~3.8 cm 之间,而针对采暖节能的理想墙体厚度介于 1.6~2.7 cm 之间。

长期以来,由于缺少高分辨率气温观测资料,国内采用度时方法开展相关研究极为罕见。本文利用哈尔滨地面气象观测站 2005—2014 年的小时气温观测数据,基于度时法计算并分析哈尔滨的采暖强度时间变化特征,其结果可以为政府和供热部门采暖精细化决策服务提供科学依据,并为能源需求与消耗研究提供参考。

1 方法和资料

度日是一个基本的设计参数,最初是用来反映农作物生长中所需热量水平的物理单位,现已广泛应用在居民生活、能源规划、电力、军事、保险等领域^[17-18]。1952 年,美国 Thom 首次用度日分析法研究能源消费与温度变化的关系^[19],1954 年他进一步解释了平均温度和基础温度与平均度日数的关系^[20],1962 年研究了通过月平均温度及其标准差得到月平均度日数的方程^[21]。近年来,度日已经被发展为一个能够反映采暖和制冷所需能源的时间温度指数,把度日分析法作为研究温度和能源关系的基本方法。

所谓某一天的度日就是指日平均温度与规定的基础温度的实际离差。为研究方便,度日又分为两种:采暖度日和降温度日。1 a 的采暖度日数计算公式为

$$HDD = \sum_{i=1}^{N_d} (1 - \gamma_d)(T_b - T_i) \quad (1)$$

式中: N_d 为某一年的天数; T_i 为日平均温度; T_b 为基础温度; γ_d 为采暖判别参数,当日平均温度高于基础温度时为 1,否则为 0。采暖期的采暖度日即为采暖强度。

《采暖通风与空气调节设计规范(GB50019—2003)》^[22]规定:当室内日平均气温在 18℃ 以下,人们开始有采暖的要求,中国建筑热工通常采用的计算采暖强度的基础温度为 18℃,于是采暖期采暖强度计算公式为:

$$HD = \sum_{i=1}^{N_d} (1 - \gamma_d)(18 - T_i) \quad (2)$$

式中: N_d 为采暖期天数; T_i 为采暖期日平均气温; HD 为某一年的采暖强度(℃·d)。

在国内,使用日平均气温计算度日存在两个问题。第一个问题是不同方法计算的日平均气温及其度日数值不同。地面气象观测网日平均气温的计算常用有 3 种:第一种是日内 4 次定时观测值算术平均(T_4 : 02:00、08:00、14:00、20:00 实际观测气温值的算术平均);第二种是 3 次加权平均(T_3 : 适用于夜间 02:00 无观测台站,08:00、14:00、20:00 气温实际观测得到,02:00 气温由当日最低气温与前一天 20:00 气温之和的算术平均值代替);第三种是用日内最高、最低气温算术平均(T_{mn})。显然,如果 24 次定时观测

值算术平均 (T_{24}) 准确表达 1 d 气温的平均状态, 那么这 3 种计算方法都较 24 次观测值平均有差异。例如, 受地方平均太阳时差及纬度影响, 我国北方地区 3 次加权平均值较 4 次平均值偏高^[23]; 西部地区由于地方平均太阳时差, 北方地区夏季由于日落时间偏晚, 3 次加权平均值均将加大 20:00 观测气温 (温度值较高) 的权重, 导致计算的日平均气温值偏高。

第二个问题是日平均气温小于基础温度时, 并不是日内每个时次的气温都小于基础温度。在这种情况下, 用日平均气温计算的采暖强度值, 可能并不与用实际小时气温计算的累积值相等。日内温度具有明显的周期性变化。例如, 初冬或暮春, 白天温度会高于 18 ℃, 此时不需耗能供暖, 按照日平均气温计算采暖强度就会有误差。在哈尔滨市, 4 月中旬日平均气温可能高于 18 ℃, 根据度日法计算的采暖强度为 0, 但如果采用小时气温资料估算采暖强度则可能大于 0。

早期国家地面气象观测站网中只有基准站是每天 24 次观测, 其他都是 8 次、4 次或 3 次观测。2005 年以来, 随着气象自动站的使用, 使得各地面气象台站都有 24 h 气温观测资料, 这就为计算采暖强度使用更精准的度时法提供了可能性。

度时法是在度日法计算基础上, 使用小时气温数据, 计算规定基础温度与日内每个小时平均气温的离差累积值, 单位为度时 (℃·h)。度时法的采暖期采暖强度计算公式为:

$$HH = \sum_{i=1}^{N_d} \sum_{j=0}^{23} (1 - \gamma_d) (18 - T_{ij}) \quad (3)$$

式中: j 为日内时次; T_{ij} 为采暖期日内小时平均气温; HH 为某一年的采暖强度 (℃·h)。

文中所用资料来自于黑龙江省地面气象观测站网 2005—2014 年哈尔滨站地面小时气温数据。

哈尔滨市政府规定的采暖期为每年 10 月 20 日至次年 4 月 20 日。2005—2014 年间, 有两个闰年 (2008、2012 年), 为统一比较, 上半年的采暖期采用儒略日计数法, 取每年的前 110 d, 即平年的 1 月 1 日至 4 月 20 日, 闰年的 1 月 1 日至 4 月 19 日, 则每年哈尔滨采暖期为 183 d。

2005—2014 年采暖期间缺测气温记录有 7 个 (缺测率 0.2‰), 用前后两个相邻时次的气温观测值算术平均插补。由于地面气象台站日资料记录是从前一天的 21:00 到当天的 20:00, 资料中 2014 年 12 月 31 日无当天 21:00、22:00、23:00 记录, 取 2014 年 12 月 26—30 日, 这 5 天 21:00、22:00、23:00 气温与 20:00 气温的距平平均, 加 31 日当天 20:00 气温值代替。

2 采暖期气温特征

2005—2014 年哈尔滨采暖期平均气温为 -7.7 ℃, 近 10 a 中 2007、2008 年采暖期气温最高, 高于平均值 2.6 ℃, 2013 年最低, 低于平均值 2.0 ℃ [图 1(a)]。

采暖期间各月平均气温 (月内实有日数的平均) 4 月最高, 1 月最低 [图 1(b)]。近 10 a 哈尔滨采暖期间 4 月的平均气温为 6.0 ℃, 最高较平均值高 5.7 ℃ (出现在 2007 年), 最低较平均值低 4.6 ℃ (出现在 2013 年); 1 月平均气温 -17.4 ℃, 最高较平均值高 6.0 ℃ (出现在 2008 年), 最低较平均值低 3.6 ℃ (出现在 2013 年)。

哈尔滨每年采暖时间为 183 d。近 10 a 采暖期间每日的平均气温如图 2。可见, 采暖

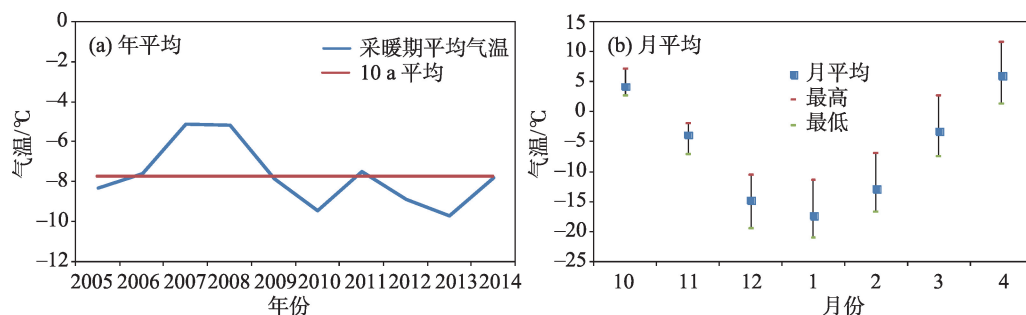


图1 哈尔滨采暖期年平均气温 (a) 及各月平均气温 (b)

Fig. 1 Average temperature of heating period during 2005–2014 (a) and monthly mean temperature of heating period (b) in Harbin City

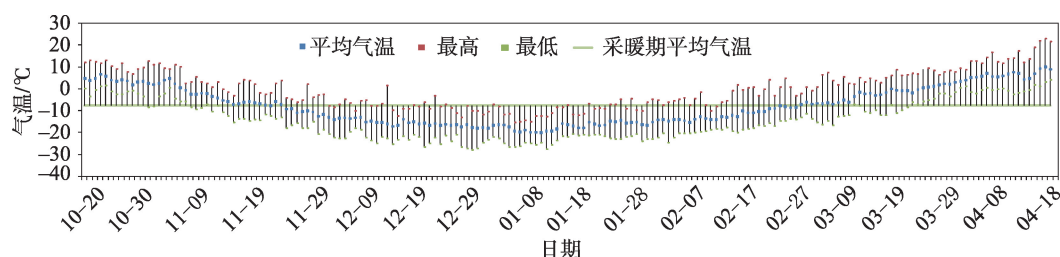


图2 哈尔滨采暖期日平均气温

Fig. 2 Average daily temperature of heating period in Harbin City

期日平均气温最高 $10.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4月19日), 最低 $-20.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1月13日); 日平均气温极端最高 $23.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2008年4月19日), 极端最低 $-27.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2013年1月1日)。采暖期结束阶段的4月16—20日平均气温比开始阶段的10月16—20日平均大约高出 $2.0\sim 3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 但采暖期开始阶段的年际波动也比较大。

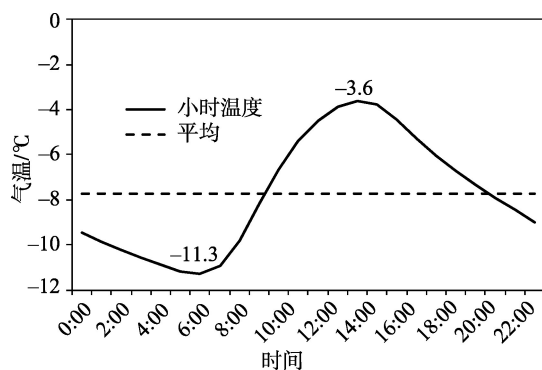


图3 哈尔滨采暖期间日内小时平均气温分布

Fig. 3 Distribution of hourly temperature in a day of heating period in Harbin

采暖期间小时平均气温分布如图3。日内24 h平均气温呈准正弦曲线分布, 最高在午后14:00 ($-3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$), 最低在清晨6:00 ($-11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)。采暖期间的日内气温分布与年平均的日内气温分布略有差异, 这是因为哈尔滨地处北半球 45°N , 采暖期太阳直射点大部分时间在南半球, 日照时间短, 日最高气温出现时间与全年平均接近, 而最低气温出现时次较全年平均晚约1 h, 出现在北京时间早晨6:00~7:00之间。

3 采暖强度

按式 (3) 计算采暖期平均及期间各月采暖强度。2005—2014年, 哈尔滨采暖期平均每年累积采暖强度为 $1.1\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 最大 $1.2\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ (2013年), 最小 $1.0\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ (2007年) (图4)。2007和2008年采暖期气温较高, 采暖强度最小; 2013和2010年气温

偏低, 采暖强度最大。采暖强度分布与采暖期平均气温呈高度负相关, 相关系数达到-0.99。

2005—2014年期间哈尔滨采暖期各月平均采暖强度如图5。各月平均累积采暖强度1月最大, 为 $2.63 \times 10^4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$, 按数值从大到小顺序排列依次为1、12、2、11、3、4、10月, 10月最小, 仅为 $0.40 \times 10^4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 。

采暖期平均的日内小时平均采暖强度分布与日内气温分布呈反位相关关系(图6)。在2005—2014年期间, 哈尔滨采暖期间平均每小时采暖强度为 $25.7 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$; 采暖强度日内呈现单峰分布形态, 高值出现在清晨, 06:00采暖强度最大, 为 $29.3 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$; 低值发生在午后, 14:00采暖强度最小, 平均为 $21.6 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 。图6还表明, 北京时间每天晚上21:00到次日上午09:00, 小时平均采暖强度大于日平均值, 而上午09:00到晚上21:00采暖强度则明显低于日平均水平。

图7给出2005—2014年哈尔滨采暖期各月平均的日内小时平均采暖强度分布。各月平均小时采暖强度1月最大, 为 $35.4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$, 从大到小排列顺序与月累积采暖强度相同, 依次为1、12、2、11、3、10、4月, 4月最小, 仅有 $12.0 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 。10—4月, 随着太阳高度角和日照时间的变化, 日内各小时平均采暖强度分布存在明显差异。日内小时平均采暖强度最小值, 3月和4月发生在午后15:00, 其余月份出现在午后14:00; 小时平均采暖强度最大值, 1、2、12月出现在清晨07:00, 3、10、11月在清晨06:00, 4月在05:00。图7还表明, 在隆冬时节小时平均采暖强度高时(1月和12月), 昼夜采暖强度变化不大; 但在小时平均采暖强度比较小的采暖期开

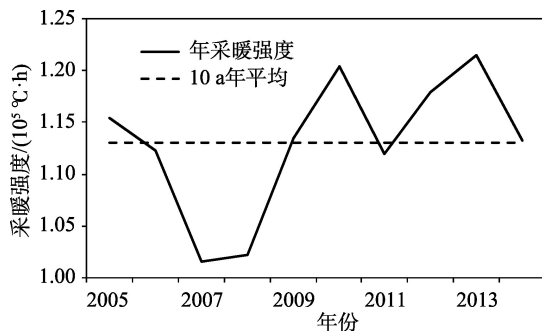


图4 哈尔滨市采暖期每年累积采暖强度
(2005—2014年)

Fig. 4 The annual accumulated heating intensity of heating period in Harbin during 2005–2014

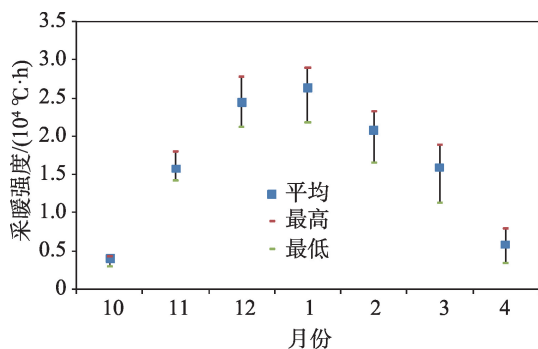


图5 哈尔滨市采暖期各月累积采暖强度
(2005—2014年)

Fig. 5 The monthly accumulated heating intensity in Harbin City during 2005–2014

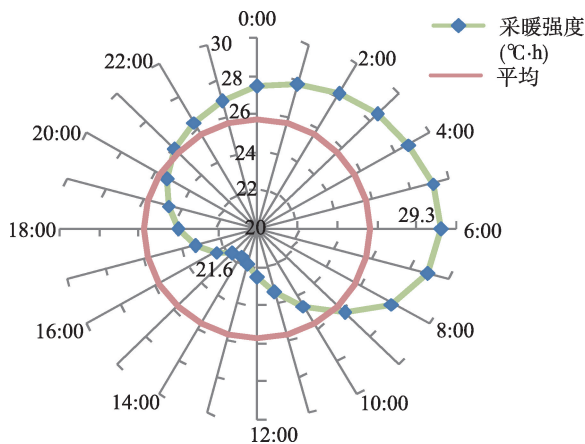


图6 哈尔滨市采暖期小时平均采暖强度分布
(2005—2014年)

Fig. 6 Diurnal distribution of hourly mean heating intensity of heating period in Harbin during 2005–2014

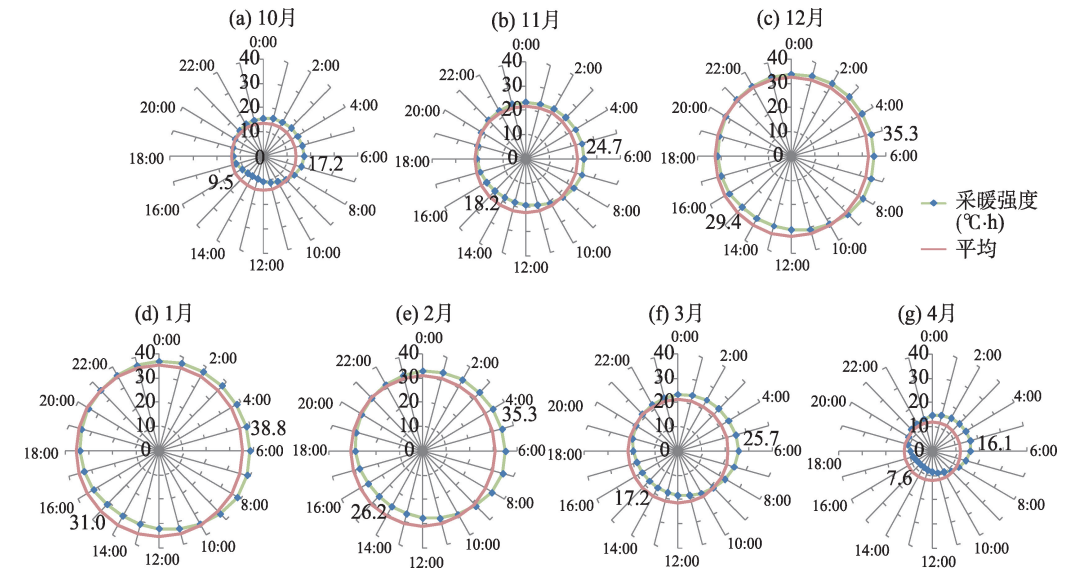
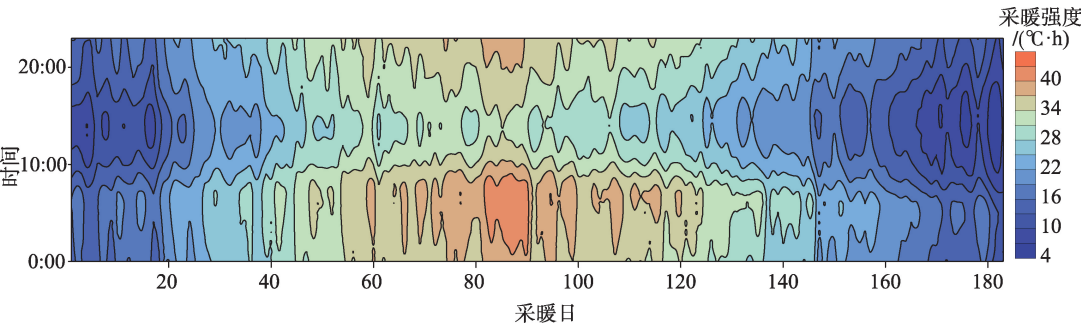


图7 哈尔滨市采暖期各月小时平均采暖强度分布（2005—2014年）

Fig. 7 Hourly mean heating intensity in each month of heating period in Harbin during 2005–2014

始阶段（10月20—31日）和结束前阶段（4月1—20日），昼夜小时平均采暖强度差异愈发明显。

图8表示哈尔滨采暖期小时平均采暖强度的时-日剖面，可以更清楚地看出采暖强度不同时间尺度上的分布规律。小时平均采暖强度最大值为42.4℃·h，出现在第87天（1月14日）清晨07:00、08:00，最小值为4.8℃·h，出现在采暖期末端4月18日下午14:00。在采暖期的两端（10月和4月）以及每天的中午到午后前期，是小时平均采暖强度较小时段；采暖期第60~120天间（12月中旬到2月下旬）采暖强度大，清晨北京时间05:00~08:00尤甚，在第83~93天（1月10—20日）的清晨06:00~08:00，出现整个采暖期的极大值，是采暖强度最高时刻。



注：横坐标日期按下半年采暖初日（10月20日）为第1天，次年上半年采暖终日（4月20日）为第183天。

图8 哈尔滨市小时平均采暖强度时-日剖面图

Fig. 8 Hour-day profile of hourly mean heating intensity in Harbin

4 讨论

哈尔滨是我国地理位置最北的特大城市，每年的采暖耗能较高，采暖燃煤排放导致

的污染较严重。在提高燃煤质量及加强排放过滤的同时,提高能源利用率是很重要的节能减排、防治空气污染措施。本文分析获得的采暖期间各月及其日内采暖强度分布数据,对于合理有效供暖、提高能源利用率和节能减排、防治空气污染,具有实际参考价值。采暖部门可以根据采暖强度小时分布以及时-日剖面分布规律,结合考虑加热到户的滞后延时时间,精准规划给热供暖时间。

本文评价的依据是国标,以室内气温 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为采暖与否的标准。然而,实际上室内气温多数时候高于室外大气温,同时由于建筑使用的材料不同,以及房屋结构等因素,这个室内外气温差异并不相同。因此,在采暖强度计算中,其结果相对真实的采暖需求会存在一个偏大的误差。文中计算没有对这个误差进行考虑处理。此外,集中供热的加热时间与不同距离建筑节点升温的时间差,本文也没有考虑。在实践中参考本文结果,这些问题还需要加以注意。

哈尔滨位于 45°N ,属中温带大陆性季风气候区。依据气象行业标准《气候季节划分》(QA/T152—2012)方法^[24]和1981—2010年基准气候期数据,哈尔滨的冬季(日平均气温稳定低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$)持续时间为 204 d ^[25],始于10月2日,终于次年4月23日。但目前我国实际采暖起讫时间确定基本是以日平均气温稳定低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为标准,这样哈尔滨采暖开始时间是10月20日,终结日期为4月20日,采暖期长度短于气候上的冬季。借助建筑物的绝热和蓄热性质,在采暖开始前和结束后的数日里,室外平均气温接近 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,室内气温一般可以保持在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的室内气温体会感到不舒适,对健康与工作效率都有一定影响,简陋的房屋室内外温差更小,愈发感觉不舒适,严格来说也是存在采暖需求的。随着经济实力增强和人民生活水平提高,在大幅度提高建筑能效的基础上,未来哈尔滨也可能将调整采暖期标准,以提高居民的生活质量和工作效率。但是,本文分析评价的基本结论,对于未来延长采暖期后的供热计划和管理仍然具有参考价值。

观测资料的不确定性主要和观测点位置及其迁站有关。本文使用的 10 a 小时资料,其中2005—2012年是在旧址的观测记录,2013—2014年则是西北城外新址的观测记录。由于分析评价的采暖期平均小时气温和平均采暖强度变化,迁站引起的资料非均一性对于分析结果的影响应该很小。但平均气温和采暖强度最终应主要反映城市近郊附近的情况,而不是城市中心地区,城市热岛强度空间分布非均质性^[26]的影响需要给予关注。由于城市热岛效应存在明显的空间差异,作为一个特大型城市,哈尔滨市中心区域平均气温无疑将比本文给出的结果略偏高,平均采暖强度略偏低;而且城市中心区域小时气温和采暖强度的日内变化也将与现在的计算分析结果略有差异,表现为夜间气温略偏高,采暖强度略偏低。今后,随着城市气象观测网密度加大,这种城市区域内部的气温和采暖强度差异也应该给予进一步分析评价。

5 结论

本文应用度时法和小时气温资料,计算分析了哈尔滨采暖期气温及其采暖强度的时间特征。得到以下主要结论:

1) 哈尔滨集中供暖时间 183 d ,2005—2014年采暖期平均气温 $-7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,其中2007和2008年采暖期平均气温最高,距平值均为 $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,2013年平均气温最低,距平值为 $-2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。采暖期间平均的日内小时平均气温最高出现在午后14:00($-3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$),最低在清

晨06:00 ($-11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

2) 2005—2014年, 哈尔滨平均年采暖强度 $1.1\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 最大 $1.2\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ (2013年), 最小 $1.0\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ (2007年)。

3) 哈尔滨采暖期间小时平均采暖强度为 $25.7\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 日内呈单峰分布, 06:00采暖强度最大, 为 $29.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 14:00采暖强度最小, 为 $21.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$; 晚上21:00到次日上午09:00, 小时平均采暖强度大于日平均值, 而上午09:00到晚上21:00采暖强度则明显低于日平均水平。

4) 采暖期各月平均的小时采暖强度1月最大, 为 $35.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, 从大到小按减少顺序依次是1、12、2、11、3、10、4月, 4月小时采暖强度仅为 $12.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 。

5) 日内小时平均采暖强度最小值3、4月出现在午后15:00, 其余月份在午后14:00; 最大值1、2、12月发生在清晨07:00, 3、10、11月在清晨06:00, 4月在05:00。在每年1月中旬清晨06:00~08:00, 出现整个采暖期采暖强度极大值。

参考文献(References):

- [1] 贺平, 孙刚, 王飞, 等. 供热工程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 9-34. [HE P, SUN G, WANG F, et al. Heating Engineering. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009: 9-34.]
- [2] 张家诚, 高素华, 潘亚茹. 我国温度变化与冬季采暖气候条件的探讨 [J]. 应用气象学报, 1992, 3(1): 70-75. [ZHANG J C, GAO S H, PAN Y R. Investigation on the relationship between temperature change and winter heating in China. Journal of Applied Meteorological Science, 1992, 3(1): 70-75.]
- [3] 陈峪, 黄朝迎. 气候变化对能源需求的影响 [J]. 地理学报, 2000, 55(S1): 11-19. [CHEN Y, HUANG C Y. Impact of climate change on energy demand. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(S1): 11-19.]
- [4] 白美兰. 内蒙古地区冬季持续变暖对采暖的影响 [J]. 内蒙古气象, 2001(1): 26-27. [BAI M L. Impacts of winter continuous warming on heating in Inner Mongolia. Mongolia Meteorology, 2001(1): 26-27.]
- [5] 轩春怡, 高燕虎, 李慧君. 北京市冬季采暖气候条件分析 [J]. 气象科技, 2003, 31(6): 373-375. [XUAN C Y, GAO Y H, LI H J. Analysis of heating climatic condition in winter in Beijing. Meteorological Science and Technology, 2003, 31(6): 373-375.]
- [6] 李丽光, 王宏博, 赵先丽, 等. 辽宁中部城市群度日的变化特征 [J]. 气象科学, 2010, 30(3): 387-392. [LI L G, WANG H B, ZHAO X L, et al. Degree-day characteristics in the city group of middle Liaoning Province. Scientia Meteorologica Sinica, 2010, 30(3): 387-392.]
- [7] 曹洁, 邱黎, 刘彬彬, 等. 山东省采暖与降温度日数的时空分布规律研究 [J]. 气象, 2013, 39(1): 94-100. [CAO J, QIU C, LIU H B, et al. Study on the temporal and spatial distribution of heating and cooling temperature days in Shandong Province. Meteorological Monthly, 2013, 39(1): 94-100.]
- [8] 胡铁鑫, 刘玉英, 张晨琛, 等. 长白山地区采暖度日特征分析 [J]. 气象与环境学报, 2016, 32(4): 144-149. [HU Y X, LIU Y Y, ZHANG C C, et al. Characteristics of heating degree daya in the Changbai Mountains. Journal of Meteorology and Environment, 2016, 32(4): 144-149.]
- [9] 陈莉, 李帅, 方修琦, 等. 中国严寒和寒冷地区城镇住宅采暖耗能影响因素分析——以吉林省为例 [J]. 地理科学, 2009, 29(2): 212-216. [CHEN L, LI S, FANG X Q, et al. Influence factor analysis of urban residential heating energy consumption in severe cold and cold regions in China—A case of Jilin Province. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(2): 212-216.]
- [10] 陈莉, 方修睦, 方修琦, 等. 过去20年气候变暖对我国冬季供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. [CHEN L, FANG X M, FANG X Q, et al. Impacts of climate warming on heating climatic conditions and energy requirements over China in the past 20 years. Journal of Natural Resources, 2006, 21(4): 590-597.]
- [11] 陈莉, 李帅, 覃雪, 等. 东北地区采暖气候条件变化特征及预测 [J]. 自然资源学报, 2014, 29(7): 1185-1195. [CHEN L, LI S, QIN X, et al. Change characteristics and prediction of climatic conditions of heating in Northeast China. Journal of Natural Resources, 2014, 29(7): 1185-1195.]

- [12] 李明财, 郭军, 史珺, 等. 利用采暖/制冷度日分析建筑能耗变化的适用性评估 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(1): 43-48. [LI M C, GUO J, SHI J, et al. Applicability evaluation of cooling/heating degree-days in analyzing building energy consumption changes. *Advances in Climate Change Research*, 2013, 9(1): 43-48.]
- [13] ROSENTHAL D H, GRUENSPECHT H K, MORANET E A. Effects of global warming on energy use for space heating and cooling in the United States [J]. *Energy Journal*, 1995, 16(2): 77-96.
- [14] SATMAN A, YALCINKAYA N. Heating and cooling degree-hours for Turkey [J]. *Energy*, 1999, 20(10): 833-840.
- [15] PAKAKOSTAS K, KYRIAKIS N. Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece [J]. *Renewable Energy*, 2005, 30(12): 1873-1880.
- [16] BOLATTÜRK A. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey [J]. *Build and Environment*, 2008, 43(6): 1055-1064.
- [17] KADIOGLU M, ZEKAI S. Degree-day formulations and application in Turkey [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 1999, 38(6): 837-846.
- [18] 张海东. 气候变化对我国取暖和降温耗能的影响及优化研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007. [ZHANG H D. Influence of Climate Change on Warming/Cooling Energy Consumption and Optimization. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2007.]
- [19] THOM H C S. Seasonal degree day statistics for the United States [J]. *Monthly Weather Review*, 1952, 80(9): 143-147.
- [20] THOM H C S. The rational relationship between hearing degree days and temperature [J]. *Monthly Weather Review*, 1954, 82(1): 1-6.
- [21] THOM H C S. Normal degree days above any base by the universal truncation coefficient [J]. *Monthly Weather Review*, 1962, 94(7): 461-465.
- [22] 中华人民共和国建设部. 采暖通风与空气调节设计规范 (GB50019—2003) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2003: 25-350. [Ministry of Construction, P R china. Code for design of heating, ventilation and air conditioning (GB50019—2003). Beijing: China Planning Press, 2003: 25-350.]
- [23] 刘小宁, 张洪政, 李庆祥. 不同方法计算的气候平均值差异分析 [J]. 应用气象学报, 2005, 16(3): 345-356. [LIU X N, ZHANG H Z, LI Q X. Analyses on average temperature difference resulted from different calculation methods. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2005, 16(3): 345-356.]
- [24] 中国气象局. 气候季节划分 QX/T152—2012 [S]. 北京: 气象出版社, 2012. [China Meteorological Administration. Climatic Seasons QX/T152—2012. Beijing: China Meteorological Press, 2012.]
- [25] 刘玉莲. 1961—2010 年黑龙江省气候季节时空分布及其变化特征 [J]. 气象与环境学报, 2015, 21(2): 89-96. [LIU Y L. Temporal and spatial distribution of climatic season and its variation from 1961 to 2010 in Heilongjiang Province. *Journal of Meteorology and Environment*, 2015, 21(2): 89-96.]
- [26] YANG P, REN G Y, LIU W D. Spatial and temporal characteristics of Beijing urban heat island intensity [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2013, 52: 1803-1816.

Analysis of Heating Intensity in Harbin Based on Degree-hours Method

LIU Yu-lian^{1,3}, REN Guo-yu^{2,3}

(1. Heilongjiang Climate Center, Harbin 150030, China; 2. Department of Atmospheric Science,

School of Environmental Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, CMA, Beijing 100081, China)

Abstract: Compared to degree-day, degree-hour is more realistic to indicate the heating intensity. Using the degree-hour method and hourly temperature data of 2005–2014, the characteristics of temperature and heating intensity of the heating period in Harbin City were analyzed. The main conclusions include: 1) During the 183 days of Harbin heating period, the average temperature was $-7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Higher temperatures appeared in 2007 and 2008, which were $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ higher than the average, and the lower temperature occurred in 2013, which was $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ lower than the average. 2) During the period of 2005–2014, the average annual heating intensity was $1.1\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, with the maximum value $1.2\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ (2013), and the minimum value $1.0\times 10^5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ (2007). The highest heating intensity was in January, and the lowest was in April; the maximum hourly mean heating intensity appeared in the early morning, and the minimum hourly mean heating intensity appeared in the early afternoon. 3) The hourly mean heating intensity of Harbin heating period was $25.7\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, and the diurnal distribution of hourly mean heating intensity was opposite to the temperature. The maximum hourly mean heating intensity, $29.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, was at 06:00 am, while the minimum value, $21.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, was at 14:00 pm. The heating intensity was generally higher than the average during the period from 21:00 pm to 09:00 am, and was lower than the average during the period from 09:00 am to 21:00 pm. 4) January has the maximum hourly mean heating intensity of $35.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$, followed by December, February, November, March, October, and April had the minimum of only $12.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$. 5) The minimum hourly mean heating intensity was at 15:00 pm in March and April, and was at 14:00 pm in other months of the heating period; the maximum hourly mean heating intensity was generally at 07:00 am in January, February and December, and happened at 06:00 am in March, October and November, and 05:00 am in April. The highest hourly mean heating intensity happened from 06:00 am to 08:00 am in mid-January.

Key words: degree-days; degree-hours; temperature; heating intensity; Harbin