

doi:10.11835/j.issn.2096-6717.2019.107



大数据监测平台下的长江流域典型城市 房间空调器温度设置分析

刘猛¹, 晏璐¹, 李金波^{2,3}, 徐振坤^{2,4}, 杜顺开²

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400044; 2. 广东美的制冷设备有限公司, 广东 佛山 528311;
3. 西安交通大学 能源与动力工程学院, 西安 710049; 4. 武汉大学 动力与机械学院, 武汉 430072)

摘要:房间空调器是中国长江流域地区改善室内热环境的重要措施,然而,在以往的房间空调器的行为研究中,只能通过现场实测、问卷调查等方式获取其使用行为,由于数据获取方式本身所存在的局限性,无法对空调的使用行为进行可靠且深入的挖掘,尤其是对于空调的设置温度。为了研究长江流域地区房间空调器的设置温度行为,包括设置温度的分布、设置温度调节习惯、设置温度与一天中不同时间段的关系、设置温度与室外温度的关系,依托于大数据平台下的房间空调器监测数据,针对长江流域地区的 3 个典型城市(重庆、武汉、上海)的房间空调器的设置温度习惯,对重庆地区 575 台房间空调器、武汉地区 430 台房间空调器、上海地区 540 台空调器的夏季上万次运行数据、冬季上千次运行数据进行了基本的统计与相关分析,结果表明:空调器的设置温度及其调节习惯在不同城市之间存在一定差异性,夏季用户在一次空调使用过程中存在对较低设置温度(低于 26 °C)的短时需求情景,同时,设置温度与 1 d 中的不同时刻以及室外温度也有明显关联。

关键词:长江流域;空调器;大数据;设置温度;室内热环境

中图分类号: TU831 文献标志码: A 文章编号: 2096-6717(2019)05-0164-09

Analysis of temperature setting habits of room air conditioners in the typical cities in Yangtze River Basin under the big data monitoring platform

Liu Meng¹, Yan Lu¹, Li Jinbo^{2,3}, Xu Zhenkun^{2,4}, Du Shunkai²

(1. School of Civil Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;
2. Guangdong Midea Air-Conditioning Equipment Co., Ltd, Foshan 528311, Guangdong, P. R. China;
3. School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, P. R. China;
4. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China)

Abstract: Room air conditioner (RAC) is the important facility to improve the indoor thermal environment in the Yangtze River Basin in China. However, the current study couldn't get an in-depth study of the set

收稿日期: 2019-03-21

基金项目: 科技部国家重点研发计划(2018YFD1100704); 重庆市研究生科研创新项目(CYS18027)

作者简介: 刘猛(通信作者), 男, 教授, 博士, 主要从事长江流域室内环境与健康、村镇建筑用能与环境保护、绿色建筑技术研究, E-mail: liumeng2033@126.com.

李金波(通信作者), 男, 教授级高工, 博士, E-mail: lijib@midea.com.

Received: 2019-03-21

Foundation item: National Key R&D Program of China (No. 2018YFD1100704); Graduate Research and Innovation Foundation of Chongqing, China (No. CYS18027).

Author brief: Liu Meng (corresponding author), professor, PhD, main research interests: indoor environment and health in the Yangtze River Basin, energy and environmental protection of village and township buildings, green building technology, E-mail: liumeng2033@126.com.

Li Jinbo (corresponding author), professor-level senior engineer, PhD, E-mail: lijib@midea.com.

temperature behavior of the RAC due to the limitation of the data acquisition method. In order to get the set temperature behavior of the RAC in the Yangtze River Basin, the distribution of the set temperature, the adjustment behavior of the set temperature, the relationship between the set temperature and the time of a day and the relationship between the set temperature and outdoor air temperature were statistically analyzed based on the big monitoring data platform. After the data processing, tens of thousands of times of RAC running data in summer and in winter from a total of 575 room air conditioners in Chongqing, a total of 430 room air conditioners in Wuhan, a total of 540 room air conditioners in Shanghai was obtained, which was aimed at three typical cities in the Yangtze River Basin. The results show that there are some differences between the set temperature behavior and its adjustment behavior in three typical cities. Besides, the short time requirement of the lower set temperature (below 26 °C) exists in once running period in summer and the set temperature is also related with the time of a day and the outdoor air temperature.

Keywords: Yangtze River Basin; air conditioner; big data; set temperature; indoor thermal environment

长江流域地处夏热冬冷地区,夏季炎热,冬季阴冷,室内热环境恶劣。房间空调器是改善室内热环境的重要措施,根据中国统计局的统计年鉴数据,截止到2017年^[1],中国长江流域地区城镇居民每户空调拥有量均已高于1台,其中,上海、浙江、江苏、重庆已超过2台或接近2台,所以,迫切需要对房间空调器的使用进行深入研究。

此前,针对住宅房间空调器的使用已经存在一定的研究,首先,有众多学者采用抄表拆分法、实测记录法等方法对中国各地住宅房间空调器的能耗情况做了大量调查分析^[2-5],得到了住宅分体式房间空

调器的平均能耗水平低,但住户间能耗差异大,住户的空调行为对空调器能耗水平存在较大影响等主要结论。另外,在用户的空调行为方面,主要有以下三方面的研究:从环境因素出发,采用现场实测、问卷调查等方法对室内外环境对空调开启与关闭行为的影响进行分析^[6-10];从房间空调器的运行作息出发,采用现场实测,对空调器的开启、关闭与运行时间进行分析^[3,11-12];通过问卷调查或现场实测的方式对房间空调器的设置温度习惯进行分析^[13-15]。上述研究总结如表1所示。

表1 文献总结表

Table 1 Summary of literatures

文献	调研时间	主要调研参数	数据量	城市	气候分区
[2]	2006 夏季	耗电量	25 户	北京	中国寒冷地区
[3]	2011 年 6—8 月	耗电量、开机率	27 户(69 台空调器)	北京	中国寒冷地区
[4]	2012 年 6—9 月	耗电量	340 户(分体空调)	武汉	中国夏热冬冷地区
[5]	2012 年 6—9 月	耗电量	107 户	福州	中国夏热冬暖地区
[6]	2007 年 6—8 月和 2008 年 1—2 月	夜间开启行为	2 户	日本东京	
[7]	2016 年 5—11 月	室内温度、开启、关闭 开启动作、关闭动作、 室内温度、室外温度	43 户	天津	中国寒冷地区
[8]	2000 年夏季		8 户	日本福冈	
[9]	2009 年 7 月—2010 年 10 月	空调开启时间	7 个城市的 400 台空调器	北京、青岛、武汉、上海、 杭州、成都、广州	寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖地区
[10]		室内温度、开启、关闭	3 户	北京、南昌、广州	寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖地区
[11]	2015 年 9—11 月	使用作息	38 户	马来西亚吉隆坡	
[12]		室内温度、开启、关闭、运行时间	6 户	北京	中国寒冷地区
[13]		设定温度	30 户	科威特	
[14]		设定温度	554 份问卷	香港	
[15]	2016,2017 年夏季	设定温度	6 个住户(22 台空调器)	北京	中国寒冷地区

通过总结前述研究发现,现有的研究主要通过入户问卷调查、现场实测、抄表等主、客观方法对典型样本进行研究,主要研究内容是针对空调器的能耗调查^[2-5],若需要研究用户的空调行为,主要包括空调的开关机行为^[6-10]、运行作息^[3,11-12]、设置温度^[13-15]等,现有的数据获取方式就存在一定的局限性,包括样本量的局限、数据维度的局限、无法在完全不干扰用户的情况下实现对用户空调使用行为的获取等,这对空调行为的研究结果难免存在影响。而近年来,以互联网金融为代表的大数据时代的到来,使更加客观、更大区域、更多样本、更高效率、更全方位的数据监测与获取成为了可能。中国的空调制造商已经可以通过内置于空调器内的传感器在线获取空调器的遥控面板设置参数以及相关空调运行参数,实现了在完全客观、没有任何干扰下对空调用户行为参数的获取。徐振坤^[16]在前期已经基于房间空调器的大数据云平台对长江流域地区空调器的重点运行参数进行了基础分析,该分析主要针对房间空调器运行时的环境参数和能耗情况。本研究同样基于房间空调器大数据云平台中的空调器监测参数,在前述研究的基础上进一步深入挖掘,着眼于空调器的用户行为特征,针对长江流域地区的 3 个典型城市(重庆、武汉、上海)房间空调器的设置温度特点进行详细分析。

1 数据来源及数据处理方法

研究数据来源于某企业房间空调器的大数据监测平台,该数据监测平台通过 wifi 联网上传房间空调器的设定参数、环境监测参数、设备运行参数等房间空调器监测参数。

研究中选取 2016 年 7—8 月份、2016 年 12 月—2017 年 2 月份分别为夏季、冬季的研究周期,利用随机抽样选取重庆地区 575 台房间空调器,武汉地区 430 台房间空调器、上海地区 540 台空调器,对它们在大数据监测平台中的原始监测参数按照一定逻辑进行处理(数据处理思路如图 1 所示),最终得到夏季上万次运行数据、冬季上千次的运行数据,并对它们进行分析。

文中所涉及到的相关统计量及其符号的具体含义见表 2。

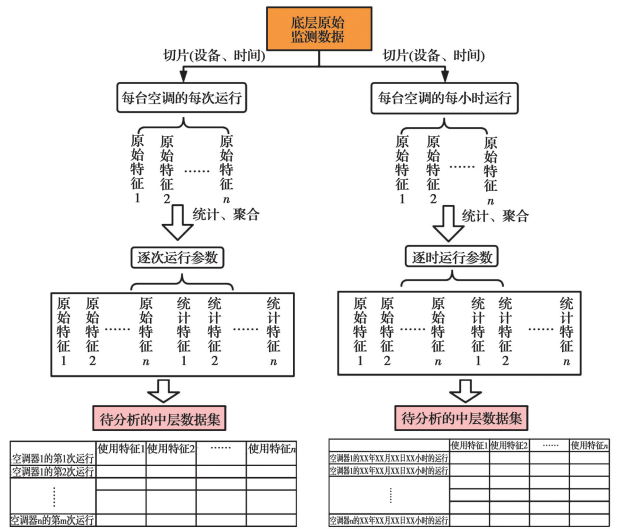


图 1 数据处理流程图

Fig. 1 Data processing flow chart

表 2 统计量及符号含义汇总表

Table 2 Summary of statistics and symbol meanings

统计量名称	符号	含义
设置温度倾向值	$T_{s,q}$	在单次空调运行过程中,使用时间最长的设定温度值
设置温度最低值	$T_{s,min}$	在单次空调运行过程中,所使用的设置温度最低值
设置温度最高值	$T_{s,max}$	在单次空调运行过程中,所使用的设置温度最高值
设置温度平均值	$T_{s,pj}$	在单次空调运行过程中,所使用的设置温度按照使用时长进行加权平均后的设置温度,用以反应用户在单次运行过程中设置温度的平均水平
设置温度使用个数		在单次空调运行过程中,用户所使用的不同设置温度的个数

2 设置温度整体分布

图 2 反映了夏季与冬季 3 个城市加权平均设定温度的使用占比分布情况,在夏季,3 个城市的设定温度分布都集中在 25~28 °C,但上海地区设定温度的整体水平略高于重庆、武汉,重庆和武汉在最低设定温度 17 °C 都有一定的使用比例,而上海则可以忽略不计。在冬季,26 °C 和 30 °C 是选择最多的两个设置温度,重庆在 30 °C 的使用比例超过了 26 °C,且在 30 °C 的使用比例远大于武汉和上海,上海的设定温度略低于武汉、明显低于重庆,其中,上海设置温度超过 26 °C 的比例为 29%,而武汉和重庆则分别达到为 34%和 57%。

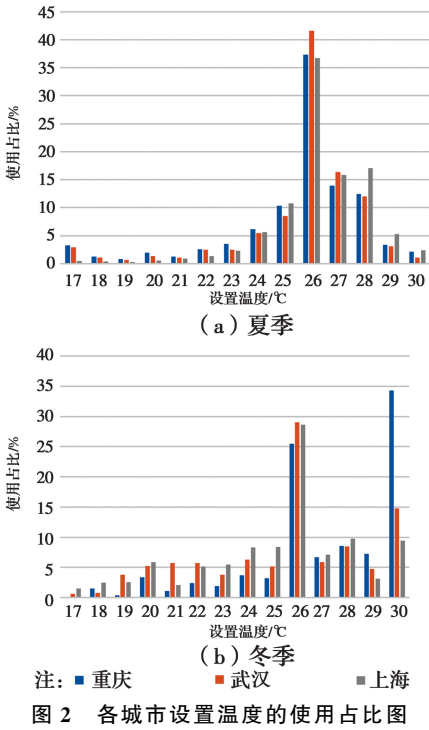


图 2 各城市设置温度的使用占比图

该结果说明,重庆、武汉、上海虽然都处于长江流域地区,但不同城市在对室内温度的需求上却存在差异:夏季,长江下游地区的上海空调用户相比于重庆和武汉,偏好相对更高的室内设置温度;冬季,长江上游地区的重庆空调用户相比于武汉和上海,偏好更高的室内设置温度。3个城市之间,在冬夏出现明显差异的地区分别是上游的重庆(冬季)与下游的上海(夏季),而处于中游的武汉所表现出来的行为特点相对中性,同时,往年气象参数表明,重庆在冬季的室外气象温度高于武汉和上海,上海在夏季的室外气象温度低于武汉和重庆,所以,不同地区的居民对室内热环境需求的差异可能与长江流域不同地区的气候特征以及人员的气候适应性存在关联。

3 设置温度调节需求

3.1 设置温度使用个数

由图 3 可知:夏季,重庆和武汉的空调用户在每次运行时使用的设置温度个数主要集中在 1~3 个,而上海的设置温度个数主要集中在 1~2 个;冬季,武汉和上海的空调用户每次运行时使用的设置温度个数集中在 1~2 个,而重庆则集中在 1 个设置温度上。该结果说明,空调用户在冬季的调温需求弱于夏季,同时,夏季上海的调温需求弱于重庆和武汉,冬季重庆的调温需求弱于武汉和上海。

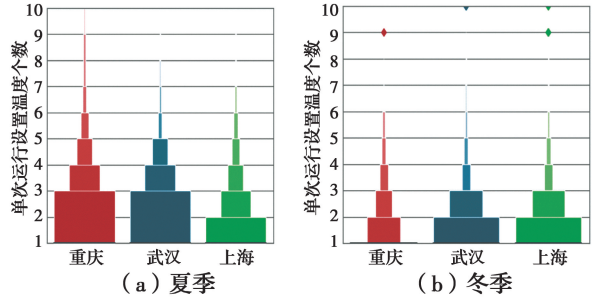


图 3 各城市单次运行时设置温度的使用个数分布

Fig. 3 Distribution of the number of used temperatures in a single operation in each city

该结果表明,空调用户每次使用中会存在使用超过 1 个设定温度的情况,在一次使用过程中会使用 2 个甚至 3 个设置温度,这说明使用人员存在对设定温度的调节需求,可能在不同状态下对室内温度的需求存在差异,例如,当人处于一个动态的热环境时:人从一个相对较热的室外环境刚进入到室内环境时,希望室内温度能够下降的更快一些,于是可能在空调刚开始运行时设置更低的温度,但随着空调的运行,人对室内降温的需求有所下降,可能就会调高设定温度;当人在室内从事不同的活动时:比如人在睡觉和人在清醒状态下可能对室内热环境的需求不同,从而产生设定温度的调节。或者当室内空间存在多个人时,由于不同的人对室内温度的需求存在差异,同样会存在设定温度的调节。

3.2 调温需求

上述研究结果已经表明,空调用户无论是在冬夏,对设定温度都存在一定的调节行为,所以,下面的内容将重点讨论用户的调温细节。

1)夏季 将夏季空调单次运行过程中最低设置温度 $T_{s,min}$ 分别在 17~30 °C 时,该次运行的设置温度的倾向值的分布表现在图 4 中,可以发现,当 $T_{s,min}$ 处于不同区间时,用户对设置温度的需求差异表现明显:当 $T_{s,min} < 26$ °C 时,用户的 $T_{s,q} \neq T_{s,min}$ 的概率明显大于 $T_{s,min} \geq 26$ °C 时,该现象说明,当 $T_{s,min} < 26$ °C 时,用户的调节行为整体上比 $T_{s,min} \geq 26$ °C 时更强。表 3 汇总了图 4 中所表现的重要信息。

表 3 常见 $T_{s,q}$ 与 $T_{s,min}$ 的关系表

$T_{s,min}$ 的范围	常见 $T_{s,q}$	备注
$T_{s,min} < 26$ °C	$T_{s,q} = T_{s,min}$ 或 $T_{s,q} = 26$ °C	
$T_{s,min} = 26$ °C	$T_{s,q} = T_{s,min}$ 或 $T_{s,q} = T_{s,min} + \Delta T$	$\Delta T = 1 \sim 2$ °C
26 °C $< T_{s,min} < 30$ °C	$T_{s,q} = T_{s,min}$ 或 $T_{s,q} = T_{s,min} + 1$ °C	

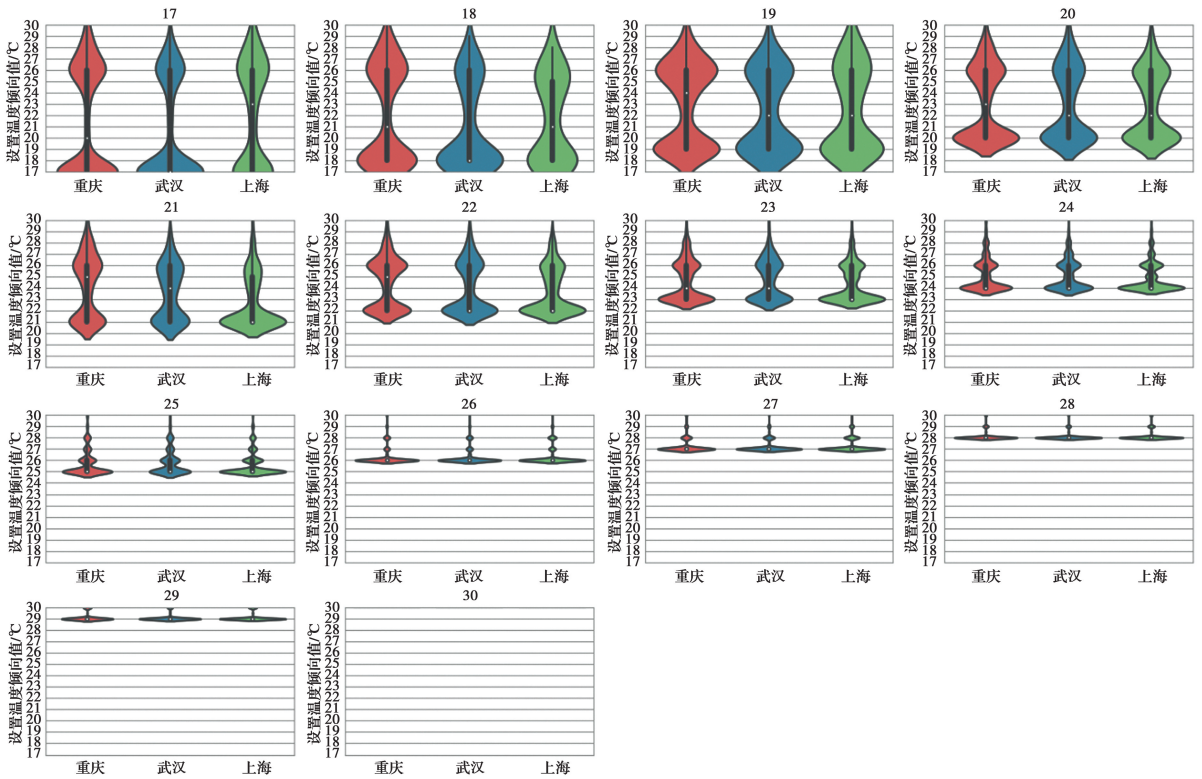


图4 夏季单次运行时最低设置温度分别为17~30 °C时该次运行的设置温度倾向值分布

Fig. 4 Distribution of the set temperature propensity value of the operation when the minimum set temperature in the single operation in summer is 17~30 °C

从上述结果可以推断出,26 °C作为房间空调器在夏季的默认设置温度,在调节行为习惯的划分上同样是一个明显的临界值,当空调在一次使用过程中,设置的最低设置温度低于26 °C时,这次运行过程中发生设置温度调节动作的可能性较大,并且存在一次运行过程中短时间使用一个低于26 °C的设定温度,长时间使用26 °C的情景,此情景下,无论用户在这次运行过程中设置了17~25 °C的任一值,用户在这次运行过程中使用时间最长的都是26 °C,而在此过程中设置温度的调节幅度可大可小,这表明,在一次空调的运行过程中,用户对室内热环境存在持续时间较短的低温需求,这极有可能与人员从一个相对较热的室外环境进入到室内环境时,为了使得室内温度能够下降的更快一些,往往在空调刚开始运行时设置更低的温度有关;另一方面,当空调在一次使用的过程中的最低设置温度大于等于26 °C时,用户倾向于不调节设置温度或是在1~2 °C的范围内小范围调高设置温度。

2) 冬季 将冬季空调单次运行过程中最高设置温度 $T_{s,max}$ 分别在17~30 °C时,该次运行的设置温度的倾向值的分布表现在图5中,可以发现:在冬季,无论 $T_{s,max}$ 如何,用户在这次运行过程中,使用时

间最长的设定温度 $T_{s,q}$ 就是 $T_{s,max}$,这与前面空调用户在冬季的调节需求较弱的结论相一致,说明大多数用户在冬季某次空调运行过程中设定了一个温度值之后就不会再去改变设定温度。

4 设置温度与不同时间段的关系

分别统计每天24 h之中设置温度高于26 °C与低于26 °C的占比,以便分析用户的设定温度习惯与不同时间段的关系。(注:下图中所涉及到的时刻 i 为一天中的24 h,即0~23,其中0时刻指[0:00, 1:00)之间的时间段,1时刻指[1:00, 2:00)之间的时间段,……,依次类推, i 时刻指[i :00, ($i+1$:00)之间的时间段)

1) 夏季 由图6和图7可知,在每天的0:00—6:00点,设置温度高于26 °C的占比明显高于其余时间段,其中,上海在0:00—6:00点设置温度高于26 °C的占比比重庆和武汉高出5%左右;在每天的11:00—13:00点与17:00—21:00点,设置温度低于26 °C的占比明显高于其余时间段,其中,武汉在每个时刻设置温度低于26 °C的占比都比重庆和上海低5%~20%,重庆几乎在所有时刻设置温度低于26 °C的占比都高于其余两个城市,尤其在12:00和20:00点差异最为明显,另外,在17:00—21:00

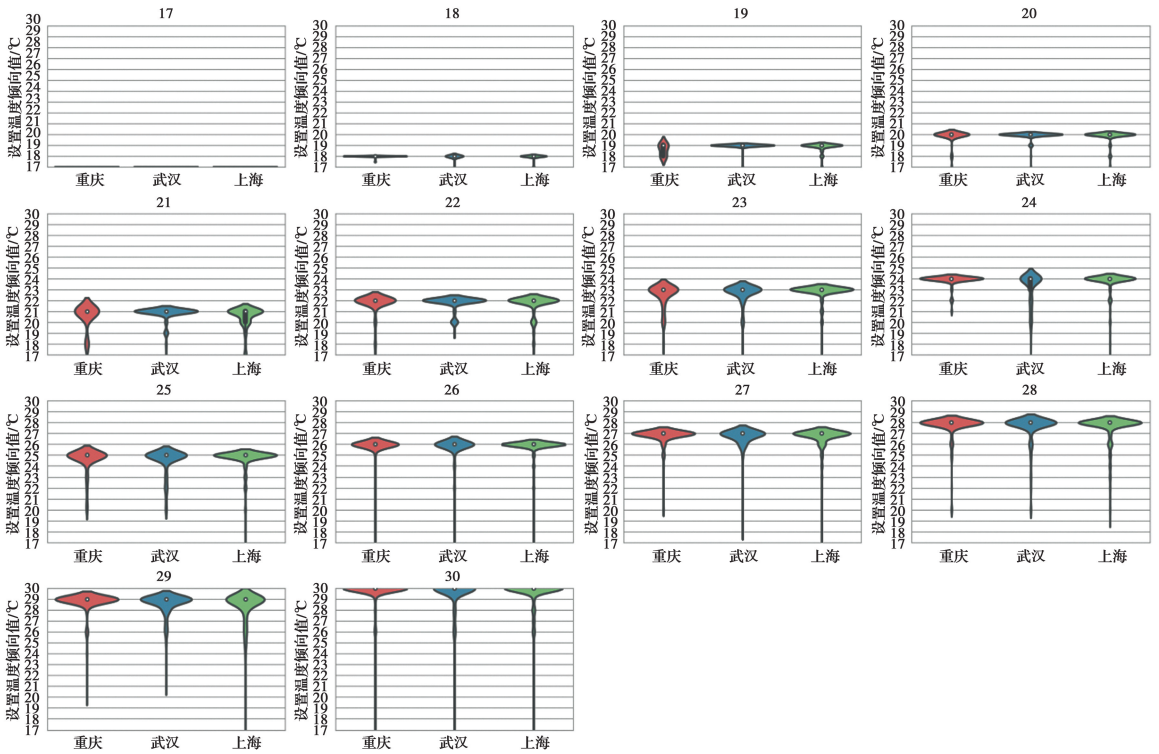


图 5 冬季单次运行时最高设置温度分别为 17~30 °C 时该次运行的设置温度倾向值分布

Fig. 5 Distribution of the set temperature propensity value of the single operation when the maximum set temperature in the single operation in winter is 17~30 °C

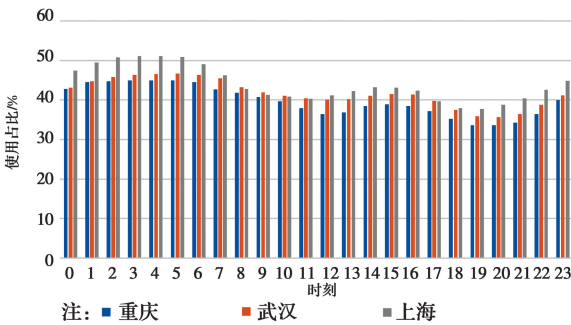


图 6 夏季各个时刻的设置温度高于 26 °C 的使用比例
at various times in summer

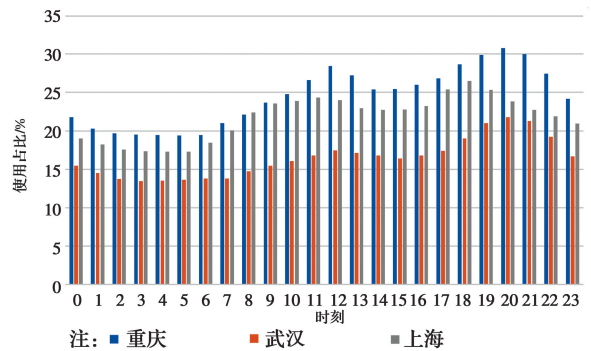


图 7 夏季各个时刻的设置温度低于 26 °C 的使用比例
at various times in summer

这一时间段,每个城市的设置温度低于 26 °C 的集中时间段有所差异,其中,上海的集中时间段最早,位于 17:00—20:00,重庆和武汉的略晚一个小时,位于 18:00—21:00。

上述结果可以表明,在夏季,用户对室内温度的需求与一天中的不同时刻有关,分析出现这种情况的原因,可能与用户在这些时间段所处的特殊活动状态或动作有关:用户在一天之中所需求的设定温度最低的时间段是恰好是位于中午吃饭时刻和晚上太阳落山时刻(吃饭),中午 11:00—13:00,用户可能刚回到家、准备吃午饭或正在做午饭等,傍晚 17:00—21:00,用户可能下班刚回到家、准备吃晚饭

或正在做晚饭、刚散步回到家等,即人们在这两个时刻普遍处于不稳定的状态(瞬态热环境),这些状态下,用户的需求其实相对来说是一个瞬态且暂时性的需求,由于各种原因用户在短时间内希望获得更低的室内温度帮助他们过渡这个瞬态,比如用户刚回到家、吃饭、或做饭导致在瞬态的产热量偏大、希望获得更低的环境温度,过了这几个时刻后,对设定温度的需求又会恢复平常水平,可以理解为用户短时间的瞬态需求被满足了,然后过渡到了稳定的热环境需求之中。在以往的研究中,很少有研究者关注到设置温度与不同时刻的关系,在住宅的空调能

耗模拟中,也很少有学者针对设置温度的时间表深入挖掘,然而,设置温度是影响空调能耗的关键参数,可以对空调能耗模拟中设置温度的输入时间表做出重要参考。

2)冬季 同理,从图8和图9中可以发现,冬季24h设置温度的需求差异不大,图形的变化幅度明显比夏季平缓了许多,可以认为冬季24小时内的设置温度需求并无明显差异。该结果也从侧面印证了人员在冬季使用空调时,对室内热环境的需求较稳定,调节行为较弱。

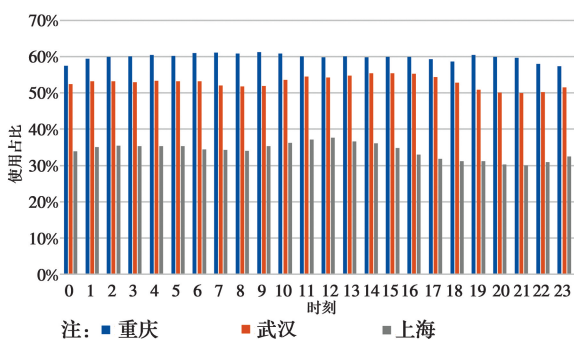


图8 冬季各个时刻的设置温度高于26°C的使用比例

Fig. 8 Proportion of the set temperature above 26 °C at various times in winter

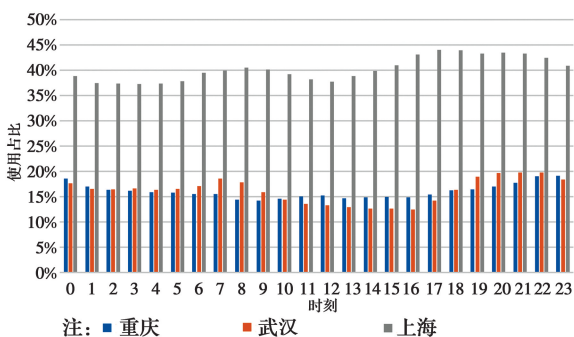


图9 冬季各个时刻的设置温度低于26°C的使用比例

Fig. 9 Proportion of the set temperature below 26 °C at various times in winter

5 设置温度与室外温度的关系

为了获取设置温度随室外温度的变化趋势,分别将夏季与冬季研究周期内每一天所有空调器设置温度平均值与室外温度平均值的散点关系图绘制在上图10与图11中,其中,室外温度采用的是来源于气象网站的日平均室外温度。由图可知,在夏季,上海地区表现出的特征明显区别于重庆和武汉:对于上海,当室外温度上升到31°C的过程中,设置温度有随室外温度上升而升高的趋势,当室外温度大于

31°C时,设置温度的平均值在26~26.5°C的范围趋于稳定;对于重庆和武汉,随着室外温度的升高,设置温度有降低的趋势。在冬季,随着室外温度的变化,设置温度没有表现出特定的变化趋势,设置温度始终处于比较稳定的范围内。

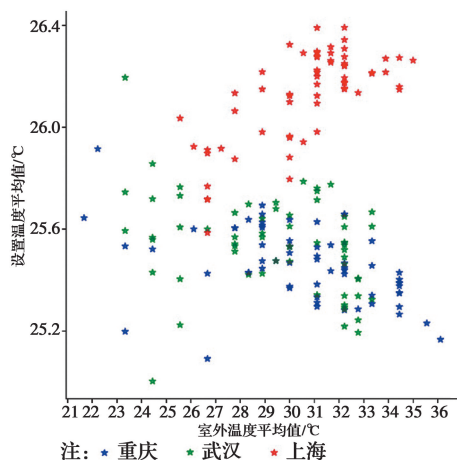


图10 夏季日平均设置温度随日室外平均温度的变化散点图
Fig. 10 Scatter plot of daily mean setting temperature changing with daily outdoor mean temperature in summer

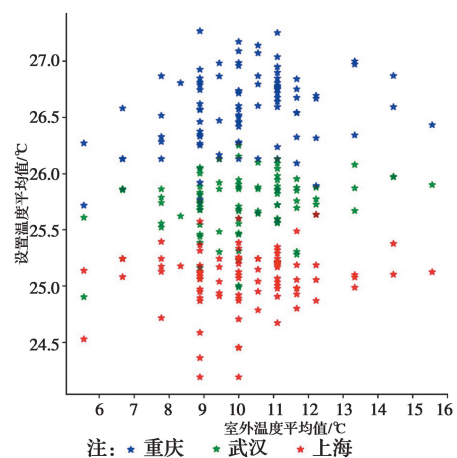


图11 冬季日平均设置温度随日室外平均温度的变化散点图
Fig. 11 Scatter plot of daily mean setting temperature changing with daily outdoor mean temperature in winter

6 讨论

基于大数据监测平台下的监测数据对处于中国夏热冬冷地区与长江流域地区的3个典型城市的房间空调器进行了分析,与以前文献研究不同的是:

1)前期针对房间空调器的调查研究之中,数据量都非常有限,大多数研究都仅仅针对几户或几十户,并且研究对象多来自单一的城市,没有针对不同城市的空调使用习惯进行对比分析。对于中国的研

究,大多数研究都是针对的北京,针对我国长江流域地区,即夏热冬冷地区的空调使用习惯研究明显不足。而本研究中,选取了长江上游、中游、下游3个典型城市总共约1500台空调器进行了分析,相比于以前的研究,更具有普适性和参考价值。

2)以往的研究中,对空调耗电量或空调开启与关闭行为的研究明显多于对空调设置温度的研究,在以前只能通过问卷调研方式得到设置温度的情况下,只能获取用户设置温度的大致范围,无法对设置温度进行详细分析。虽然在文献[15]中,利用智能电表的手机App获取用户的设置温度参数,但该研究中的数据量有限,且该研究仅限于基本的统计分析。而本文重点分析了房间空调器设置温度的基本分布以及设置温度与一些影响因素的相关关系,这是以往的研究中所缺乏的。

7 结论

分别从设置温度的整体分布、设置温度的调节需求以及设置温度与一天不同时间段的关系、设置温度与室外温度的关系4个方面对长江流域地区3个典型城市房间空调器的设置温度情况进行了分析,得出以下主要结论:

1)虽然重庆、武汉、上海都处于长江流域地区,但3个地区的居民对空调运行时室内热环境营造的需求存在明显差异:上海在夏季比重庆和武汉偏好更高的室内设置温度,且调温需求也明显弱于重庆和武汉,重庆在冬季比上海和武汉偏爱更高的设置温度,且调温需求也弱于上海和武汉。未来对长江流域建筑供暖空调的相关研究是否有必要对不同城市进行区分,该结论有一定参考作用。

2)夏季,在一次空调运行过程中,用户实际调控过程中存在短时间内设置较低设置温度(低于26℃),长时间设置26℃这样的设置温度调节情景。该结论可以在一定程度上支撑“使用人员在刚开启空调时偏爱设置较低的温度以使得房间冷的更快”这一在以往研究和工程应用中被广泛假设的使用模式。

3)长江流域地区的空调用户在夏季对室内热环境的需求并不是稳态的,用户在一次空调运行中或者在一天的不同时间段中,对设置温度的需求均会发生变化,主要体现在用户在夏季平均每次开启空调使用1~3个设置温度,在一天中的0:00—6:00

(睡觉)设置温度最高,在一天中的中午11:00—13:00间(午饭)以及傍晚17:00—21:00间(太阳落山时刻、晚饭、散步回家等)设置温度最低,该结果也间接表明了,在某些特殊活动或动作发生的时刻,用户对室内热环境的需求也存在特殊性。该结论是以往的问卷研究中无法获取的,可以为住宅的空调能耗模拟中设置温度的设置时间表提供有效参考。

4)夏季,设置温度与室外温度存在一定的相关关系,并且上海表现出明显区别于重庆和武汉的特点:在上海,设置温度随室外温度的上升有升高的趋势,在重庆和武汉,设置温度随室外温度的上升则有下降的趋势。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴2018 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
National Bureau of Statistics. China statistical yearbook 2018 [Z]. Beijing: China Statistics Press, 2018. (in Chinese)
- [2] 李兆坚, 江亿, 魏庆芑, 等. 北京市某住宅楼夏季空调能耗调查分析[J]. 暖通空调, 2007, 37(4): 46-51.
LI Z J, JIANG Y, WEI Q P, et al. Survey on energy consumption of air conditioning in summer in a residential building in Beijing [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2007, 37(4): 46-51. (in Chinese)
- [3] 李兆坚, 谢德强, 江红斌, 等. 北京市住宅空调开行为和能耗的实测研究[J]. 暖通空调, 2014, 44(2): 15-20.
LI Z J, XIE D Q, JIANG H B, et al. Testing study on operating behavior and energy consumption of air conditioners in residential buildings in Beijing [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2014, 44(2): 15-20. (in Chinese)
- [4] 李兆坚, 王凡, 李玉良, 等. 武汉市住宅不同空调方案夏季能耗对比调查分析[J]. 暖通空调, 2013, 43(7): 18-22.
LI Z J, WANG F, LI Y L, et al. Contrastive survey on summer energy consumption of air conditioning in urban residential buildings with different air conditioning schemes in Wuhan [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2013, 43(7): 18-22. (in Chinese)
- [5] 李兆坚, 刘建华, 田雨忠, 等. 福州市某小区住宅夏季空调能耗调查分析[J]. 暖通空调, 2014, 44(1):

- 65-69.
- LI Z J, LIU J H, TIAN Y Z, et al. Survey and analysis on the energy consumption of air conditioning for urban residential buildings in Fuzhou in summer [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2014, 44(1): 65-69. (in Chinese)
- [6] SCHWEIKER M, SHUKUYA M. Comparison of theoretical and statistical models of air-conditioning-unit usage behaviour in a residential setting under Japanese climatic conditions [J]. Building and Environment, 2009, 44(10): 2137-2149.
- [7] SONG Y R, SUN Y X, LUO S G, et al. Residential adaptive comfort in a humid continental climate-Tianjin China [J]. Energy and Buildings, 2018, 170: 115-121.
- [8] TANIMOTO J, HAGISHIMA A. State transition probability for the Markov Model dealing with on/off cooling schedule in dwellings [J]. Energy and Buildings, 2005, 37(3): 181-187.
- [9] WU J H, LIU C P, LI H Q, et al. Residential air-conditioner usage in China and efficiency standardization [J]. Energy, 2017, 119: 1036-1046.
- [10] REN X X, YAN D, WANG C. Air-conditioning usage conditional probability model for residential buildings [J]. Building and Environment, 2014, 81: 172-182.
- [11] ZAKI S A, HAGISHIMA A, FUKAMI R, et al. Development of a model for generating air-conditioner operation schedules in Malaysia [J]. Building and Environment, 2017, 122: 354-362.
- [12] 简毅文, 李清瑞, 刘建, 等. 住宅空调行为状况的实测分析 [J]. 暖通空调, 2013, 43(3): 91-95.
- JIAN Y W, LI Q R, LIU J, et al. Measurement and analysis of air-conditioning-usage behavior in apartments [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2013, 43(3): 91-95. (in Chinese)
- [13] AL-MUMIN A, KHATTAB O, SRIDHAR G. Occupants' behavior and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences [J]. Energy and Buildings, 2003, 35(6): 549-559.
- [14] LIN Z P, DENG S M. A questionnaire survey on sleeping thermal environment and bedroom air conditioning in high-rise residences in Hong Kong [J]. Energy and Buildings, 2006, 38(11): 1302-1307.
- [15] 李兆坚. 北京市住户空调温度设定行为的案例实测分析 [J]. 暖通空调, 2018, 48(9): 1-5.
- LI Z J. Case analysis of Beijing household air conditioning temperature setting behavior [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2018, 48(9): 1-5. (in Chinese)
- [16] 徐振坤, 李金波, 石文星, 等. 长江流域住宅用空调器使用状态与能耗大数据分析 [J]. 暖通空调, 2018, 48(8): 1-8, 89.
- XU Z K, LI J B, SHI W X, et al. Big data analysis on usage state and energy consumption of residential air conditioners in the Yangtze River basin [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2018, 48(8): 1-8, 89. (in Chinese)

(编辑 胡玲)