

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201710050

居住建筑夏季空调行为驱动特性的分析方法

简毅文^{1,2}, 田园泉¹, 高萌¹, 刘晓霄¹, 王旭¹

(1. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124; 2. 绿色建筑环境与节能技术北京市重点实验室(北京工业大学), 北京 100124)

摘要: 为挖掘和发现居住建筑夏季空调行为的驱动特性, 依托北京城区某高校 28 户学生宿舍, 开展室内热环境、空调开关状况以及空调行为驱动类型的问卷调查及现场实测, 分析统计宿舍空调行为的驱动类型, 采用建筑人行为动作模型获得各个宿舍在不同驱动类型下的空调行为概率曲线及其行为特征参数, 并分析对比相同驱动类型下空调行为概率曲线的变化趋势, 对各个宿舍进行分类, 再对同类宿舍空调行为的平均概率进行拟合。研究表明: 居住建筑空调行为驱动特性存在明显个体差异, 体现在空调行为概率随环境驱动力变化的敏感性上, 也即环境驱动力对不同类宿舍的空调行为呈现不同的驱动力度; 依据概率变化趋势分类和采用平均概率拟合的方法, 对各种驱动类型的空调行为统计归纳出 2~4 组不同的驱动力度, 由此较好地反映出居住建筑夏季空调行为的群体特性。

关键词: 空调行为; 驱动特性; 分析方法; 特征参数; 个体差异

中图分类号: TU831

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2018)10-0175-07

Methodology of determining driving characteristics of air conditioning behaviors in summer

JIAN Yiwen^{1,2}, TIAN Yuanquan¹, GAO Meng¹, LIU Xiaoxiao¹, WANG Xu¹

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Beijing Key Laboratory of Green Built Environment and Energy Efficient Technology(Beijing University of Technology), Beijing 100124, China)

Abstract: To study the driving characteristics of air conditioning behavior, a field survey study was carried out in 28 dormitory rooms during the summer in 2016 in Beijing. Indoor temperature, humidity, occupants' presences at their rooms and their actions on air conditioners were measured. A questionnaire survey was conducted to investigate the driving forces of occupants' actions to turn on or turn off room air conditioners. The field survey data was grouped based on the driving forces to trigger air conditioning behaviors, and individual driving characteristics of air conditioning behavior were described as probability with driving force together with the characteristic parameters using an action-based behavior model. Moreover, driving characteristic parameters were analyzed and probability curves were subdivided under different driving forces. Two to four new probability curves were developed and the corresponding characteristic parameters were determined for each subdivision under different driving forces, which presented a quantitative description about driving characteristics of air conditioning level at group level. The results in this study are useful for further study of driving characteristics of air conditioning behavior on a large scale.

Keywords: air conditioning behavior; driving characteristic; methodology; characteristic parameters; individual difference

建筑人行为不仅决定着建筑的采暖空调能耗^[1-4], 还对技术措施的选择有显著影响^[5-6]。鉴于此, 迫切需要对建筑人行为建立科学的定量描述, 从而对建筑室内热环境和建筑采暖空调能耗进行准确的预测, 这也是国际合作项目 IEA-EBC Annex66 项目^[7]“建筑中人行为定义和模拟”的目标。

对此, 国内外就建筑人行为模型的建立开展了广泛的研究, 清华大学^[8-11]也提出一套基于条件触发的动作模型(以下简称动作模型), 该模型以时间或环境等纯物理量为自变量, 以概率函数形式建立起行为概率与自变量两者之间的相互关系, 并以 u 、 L 和 k 这 3 个特征参数定量地反映行为的发生特性。动作模型的建立为居住建筑空调行为的分析研究提供了基础框架, 已有研究者^[12-14]开展了相关的应用研究, 但在应用过程中发现, 要做到对空调行为环境和能耗影响的合理预测, 还需明确两个关键点: 1) 空调开关动作触发条件也即空调行为的驱动类

收稿日期: 2017-10-13

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFC0700501); 国家自然科学基金面上项目(51278004)

作者简介: 简毅文(1967—), 女, 副教授

通信作者: 简毅文, jianyiwen@bjut.edu.cn

型^[15];2)不同驱动类型下的空调行为特征参数。

上述构成空调行为驱动特性研究的基本内容,因而空调行为驱动特性的把握认识成为了空调行为研究的主要内容,然而目前有关此方面的研究尚未得到充分开展。对此,在实地调研基础上,本文尝试探索一套建立在个体驱动特性基础上的空调行为群体驱动特性的分析方法,并应用此分析确定学生宿舍建筑的夏季空调行为驱动特性。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

在北京市某高校安装分体空调的学生宿舍楼中,选择 28 户学生宿舍,其中包括 17 户男生宿舍和 11 户女生宿舍,每户宿舍的学生数量为 2~3 人,学生年龄在 23~26 岁之间。同宿舍的同学共同生活 1 年以上,相互之间已就空调开关达成默契和认可,形成多人相互作用下学生宿舍的空调开关行为。对此,将同一宿舍的居住者看作一个“典型人”^[10],开展与空调行为驱动特性相关的现场测试和问卷调查研究。

1.2 室内环境及空调开关状况

现场测试时间为 2016 年 7 月 1 日至 8 月 31 日,测试仪器包括温湿度记录仪、功率记录仪和门磁开关记录仪,具体如图 1 所示。采用 Testo175-H2 型温湿度自记录仪对宿舍的温度和湿度进行连续测试,测试时间间隔为 10 min,测试仪器的温度精度为 0.5℃,相对湿度精度为 3%,仪器读数没有受到太阳辐射和室内其他热源、湿源的直接影响。采用 CKJM-1 门磁开关记录仪,对宿舍房间外门的开关动作进行记录,判断人员的在室状况。采用 WGLZY-1 功率记录仪,对房间分体空调的瞬时功率进行记录,由此判断空调的开启和关闭状况,数据的记录时间间隔为 10 min。

测试期间北京地区外温在 60% 的时间内介于 27.5℃~33.3℃,相对湿度最高可达 97.5%,这样高温或高湿的室外气候会导致居住者空调开关动作的频繁发生,相应可为空调行为驱动特性的研究提供更丰富的数据支持。



(a) 温湿度自记录仪 (b) 磁开关记录仪 (c) 电功率记录仪

图 1 测试仪器外观

Fig. 1 Measurement instruments

1.3 问卷调查

在现场测试同时,对各个宿舍开展相关的问卷调查,了解宿舍空调在什么情况下被开启和关闭,也即是房间空调开关产生的触发条件或空调行为的驱动类型。对各个宿舍房间的问卷调查主要在晚上 20 点左右进行,此时的人员在室率较高,房间空调基本开启运行,室内温度和湿度分别在 26.8℃和 62%左右,室内人员的生理和心理处于正常状态。

问卷调查内容主要包括:1)居住者个体基本信息,如性别、年龄、北京居住生活时间等;2)空调开启、关闭驱动类型的信息,如热时开、进门开、睡前开、冷时关、睡觉后关、定时关等;3)单个居住者对房间空调开关的控制情况和控制意愿;4)居住者每日的生活作息等。

2 空调开关的驱动类型分析

已有研究表明:空调开启主要包括进门开、热时开和睡前开 3 种情况,空调关闭主要包括冷时关、睡前关、入睡后关和离开关 4 种情况。这 7 种空调开关情况中,离开关空调是事件驱动型的动作。而对于其他 6 种空调开关行为(进门开、热时开、睡前开、冷时关、睡前关和入睡后关),考虑空调开关本质上是人体对其所经历热湿环境产生不舒适后,为满足自身热舒适需求而产生的行为调节动作,可认为决定这 6 种空调开关行为的驱动力来自室内外的环境状况。对此,文献[16]在理论分析计算的基础上,分析确定出上述 6 种空调开关行为相应的环境驱动力。由此,再加上离开关空调的情况,表 1 汇总出上述共 7 种空调开关行为的驱动信息。

表 1 空调开关行为的驱动类型表

Tab. 1 List of triggers of air conditioning behavior

动作	条件	驱动力参数	备注
开启 空调	进门开	进门时刻室内外平均温度	当前环境 驱动
	热时开	停留时间段内室内温度	累计环境 驱动
	睡前开	睡前时刻室内温度	当前环境 驱动
关闭 空调	冷时关	停留时间段内室内温度	累计环境 驱动
	睡前关	停留时间段内室内温度	累计环境 驱动
	入睡后关	入睡时间段内室内温度	累计环境 驱动
	离开关	住户离开房间	事件 驱动

依据上述 3 种空调开启和 4 种空调关闭的驱动类型,对 28 个宿舍房间开展相关的问卷调查,分析调查结果,确定各个宿舍房间空调每次开启或关闭的驱动类型. 图 2(a)、(b) 分别表示出各个宿舍在不同驱动类型下空调开启或关闭动作发生次数占空调开启或关闭动作发生总次数的比例.

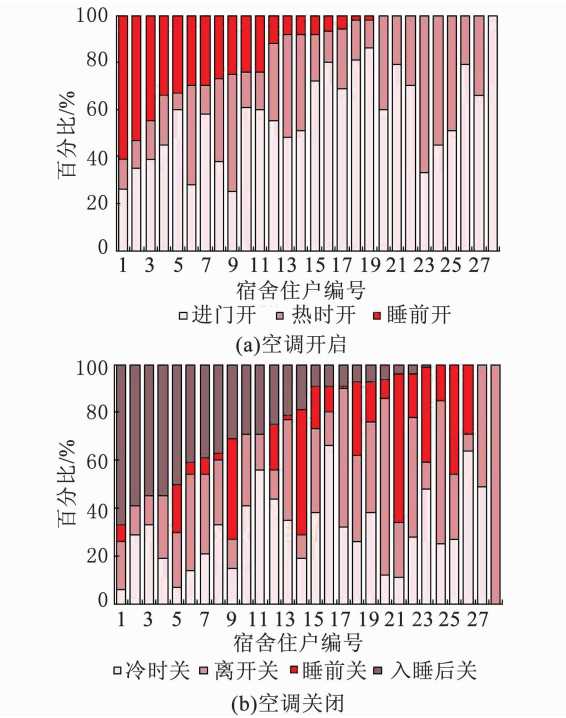


图 2 不同驱动类型下宿舍空调开启和关闭动作发生次数占各自开启和关闭动作发生总次数的比例

Fig.2 The ratio of the numbers of turning on or off air conditioner to the corresponding total numbers

对于空调开启,28 个宿舍均存在进门开的情况. 其中,1 个宿舍空调的开启始终由居住者的进门状态所决定,另外 27 个宿舍的空调同时表现出热时开的情况,这其中又有 19 个宿舍还存在睡前开空调的情况. 至于空调关闭,所有宿舍均表现出冷时关和离开关,而睡前关和入睡后关空调的情况发生在其中的 23 个和 21 个宿舍中.

进门开、热时开、睡前开以及冷时关、睡前关、入睡后关和离开关广泛存在于居住者实际的空调行为中,于是,针对这 7 种空调驱动类型,分别开展相应的驱动特性分析.

3 驱动特性分析

3.1 特征参数的确定方法

确定空调行为驱动类型后,特征参数的分析确定是空调行为驱动特性研究的另一个重要部分,本文采用清华大学^[9]的动作模型分析确定空调行为特征参数,动作模型的概率函数形式见表 2.

表 2 动作模型的基本概率函数形式

Tab.2 Probability function of action-based model

动作模型	开空调	关空调
累计环境驱动	$P = \begin{cases} 1 - e^{-\Delta\tau(\frac{\theta-u}{L})^k}, & \theta \geq u; \\ 0, & \theta < u. \end{cases}$	$P = \begin{cases} 1 - e^{-\Delta\tau(\frac{u-\theta}{L})^k}, & \theta \leq u; \\ 0, & \theta > u. \end{cases}$
当前环境驱动	$P = \begin{cases} 1 - e^{-(\frac{\theta-u}{L})^k}, & \theta \geq u; \\ 0, & \theta < u. \end{cases}$	$P = \begin{cases} 1 - e^{-(\frac{u-\theta}{L})^k}, & \theta \leq u; \\ 0, & \theta > u. \end{cases}$
事件驱动	$P = p$	$P = p$

表 2 中: P 为空调开、关动作的发生概率即空调行为概率; $\Delta\tau$ 为温度测试的时间间隔, min; θ 为概率函数自变量、也即作为环境驱动力的温度,不同驱动类型的环境驱动力选择具体见表 1, $^{\circ}\text{C}$; u 为阈值参数,即导致空调开启或关闭的最大、最小温度, $^{\circ}\text{C}$; L 为尺度参数,表示空调开启率、关闭率达到 1 h 的温度与阈值温度的距离尺度, $^{\circ}\text{C}$; k 为动作发生概率随驱动参数变化的敏感程度,为量纲一的参数; p 为固定概率值.

上述各个变量中, u 、 L 、 k 分别反映空调行为驱动特性的 3 个特征参数. 对于离开关空调的情况,空调关闭的概率 p 恒定为 1,无需确定 u 、 L 、 k 这 3 个参数. 而对于其他 6 种空调开关情况则需要确定 u 、 L 、 k 参数的大小. 对此,针对各个驱动类型,分析计算各个宿舍空调开、关动作发生概率随作为驱动力的温度的变化,获得空调开关动作发生概率的离散数据集,再依据相应的动作模型,采用最小二乘法对离散数据集进行拟合,得出空调开关行为概率曲线,获得相应的行为特征参数 u 、 L 、 k 值,从而完成对空调行为驱动特性的描述.

3.2 个体驱动特性

依据上述的特征参数确定方法,分别在进门开、热时开及睡前开的 3 种空调开启和冷时关、睡前关及入睡后关的 3 种空调关闭情况下,对各个宿舍房间,拟合确定出各自的空调行为概率曲线,具体如图 3 所示.

针对空调开启和关闭的各种情况,不同宿舍的空调行为概率曲线之间均存在相互交错. 这一方面反映出空调行为驱动特性的个体差异,以进门开为例,有宿舍空调在室内外平均温度为 $22.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时就会被开启,但在室内外平均温度为 $35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时开启概率达到 1;另有宿舍空调虽然在 $27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 才会被开启,但在室内外平均温度 $31.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时开启概率已经达到 1,如图 3(a) 的概率曲线 A 和 B 所示. 另一方面也表明 u 、 L 、 k 这 3 个特征参数对空调行为驱动特性描述存在复杂的相互影响和作用,以热时开空调为例,对

于阈值 u 均为 $25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的两个住户,其他两个特征参数 L,k 的不同组合导致空调开启概率的明显差异,如图 3(b) 的概率曲线 C 和 D 所示。

基于各个宿舍在不同驱动类型下空调开关行为概率曲线的拟合结果,图 4 进一步表示出不同驱动类型下空调行为特征参数 u,L,k 值的分布。

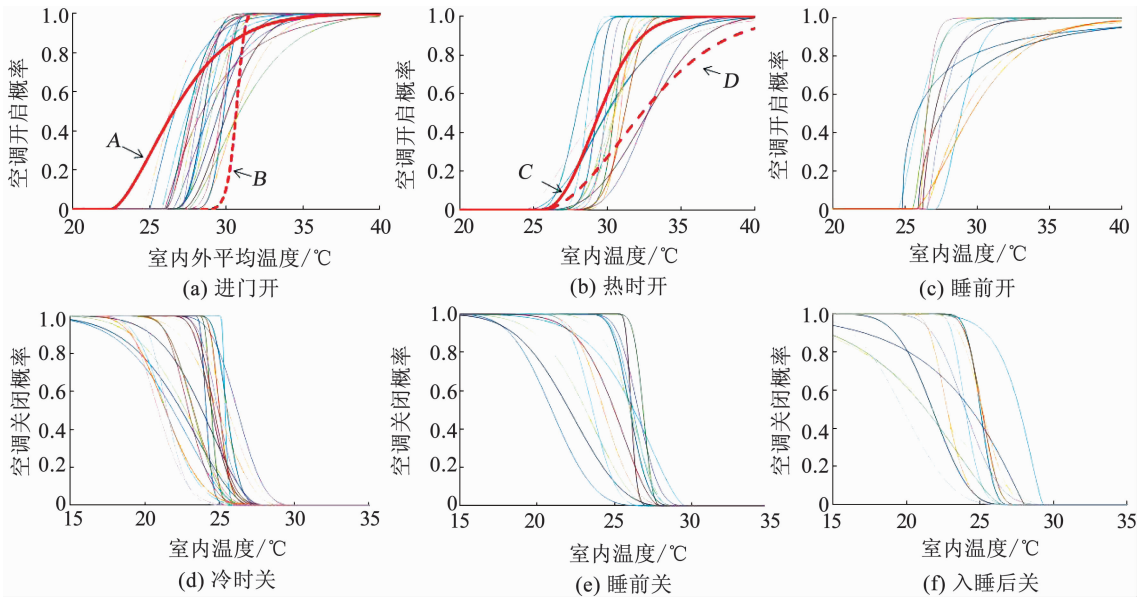


图 3 不同驱动类型下个体空调开关行为概率的变化曲线
Fig. 3 Probability curves of individual air conditioning behavior for different triggers

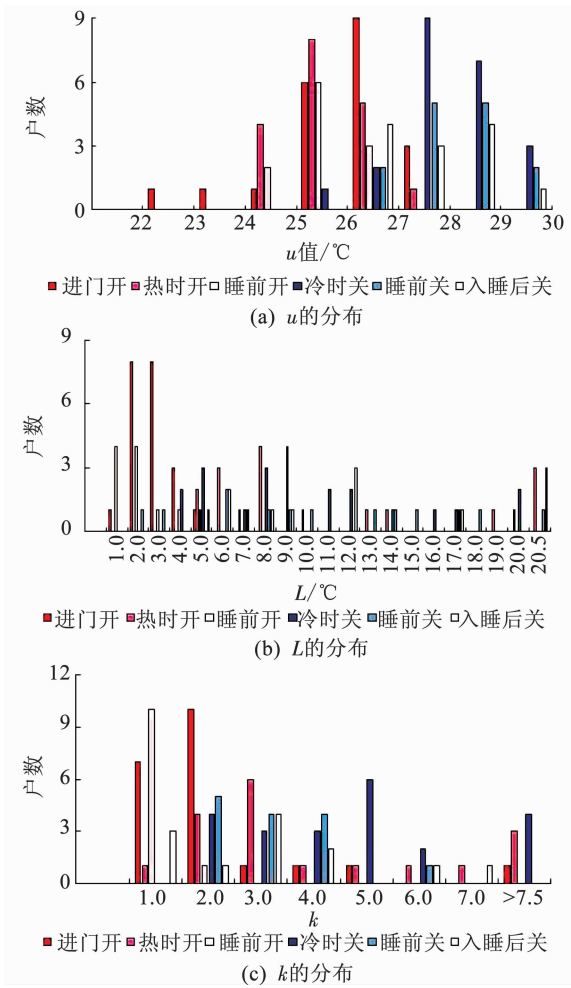


图 4 空调开关行为个体特性的分布

Fig. 4 Distributions of individual characteristic parameters of air conditioning behavior

特征参数分布的统计结果同样反映出空调行为驱动特性的个体差异。进门开和睡前开情况下 L 值分布在 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的较大范围内,热时开情况下 L 值分布的跨度更大,从 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim >20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;空调关闭情况下的 L 值变化在更大的区间内,基本从 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于 k 值的变化,除了睡前开的情况较为集中外,其他 2 种空调开启和 3 种空调关闭情况下的变化较大,从 0.5 增加到 8.0。相比较,特征参数 u 值相对稳定,对于空调开启情况, u 主要在 $25.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内;对于空调关闭的情况,则集中在 $28.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 30.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内。

3.3 群体驱动特性

上述的分析研究反映出居住者空调行为驱动特性的个体状况及相互差异,由此可获得空调行为驱动特性的初步认识。但由于个体差异导致出空调行为概率曲线的相互交错,这种无规律的分布对于正确认识和合理预测空调行为的环境和能耗影响特性没有参考价值。因此,在上述个体特性分析的基础上,还应对不同住户空调行为驱动特性的共性和差异状况给予定量的分析描述,由此分析和挖掘空调行为驱动的群体特性。

概率曲线的相互交错主要由住户空调行为特征参数的差异所导致。对此,以 u,L,k 这 3 个特征参数分别为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}, 5\text{ }^{\circ}\text{C}, 1.00$ 的空调开启行为概率曲线为参考,分析对比 u,L,k 这 3 个特征参数分别改变时,概率曲线形状及概率大小的变化,具体如图 5 所示。

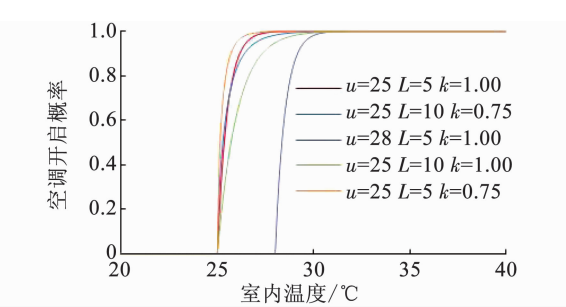


图 5 不同特征参数下概率变化曲线比较

Fig. 5 Probability curves for different characteristic parameters

可以看出, u 、 L 、 k 这 3 个特征参数中, u 值的数学意义表征相同的 L 、 k 下, 概率曲线相对于坐标原点的平移, 也即各自的 L 、 k 参数值相同但 u 值不同的两条概率曲线是平行的或者说曲线形状是完全一致的. 相比较, L 、 k 两个特征参数则共同影响行为概率的变化趋势也即概率曲线的形状. 如对于 u 、 L 、 k 组合分别为 (25 °C、5 °C、1.00) 和 (25 °C、10 °C、0.75) 的两种情况, 两者的概率曲线几乎完全重合, 概率差值最大仅为 0.03. 另一方面, 虽然特征参数 u 的取值不影响曲线形状, 但相比较 L 、 k 值, u 的取值对概率大小的影响更为突出.

基于上述的分析, 根据空调开关行为概率曲线的形状对不同宿舍进行分类, 并同时给出 u 、 L 、 k 这 3 个特征参数数值大小是分析和描述空调行为驱动群体特性的合适手段. 对此, 为更好观察概率曲线变化趋势, 同时考虑实际空调行为阈值 u 相对稳定的特点, 对所有宿舍采用相同的 u 值进行空调行为描述 (空调开启 u 值为 27 °C, 空调关闭 u 值为 30 °C), 由此对各个宿舍实际的空调概率变化曲线进行修正, 在 u 值相等的条件下, 分析观察特征参数 L 、 k 值是如何影响空调开关行为概率的变化. 如果不同宿舍空调行为概率曲线的重合度较高, 则可认为在相同的空调行为驱动类型下, 该组曲线所代表的宿舍有着基本一致的空调行为驱动特性.

以热时开为例, 对应 27 °C 的 u 值, 获得各个宿舍房间相对应的概率曲线, 如图 6(a) 所示, 观察分析所有宿舍的概率曲线, 获得两组形状基本一致的概率曲线 (A 组和 B 组), 对每一组概率曲线, 在不同的室温下分别求取概率平均值, 之后对室温及平均概率数据组重新拟合, 得到反映平均概率变化的拟合曲线 A、B, 如图 6(b)、(c), 并获得相应的特征参数 L 、 k 值, 进而将反映各组平均概率变化的拟合曲线 A、B 汇总在图 6(d), 分别作为两组概率曲线的典型代表. 这两条曲线 A、B 反映出热时开情况下空调行为的群体驱动特性.

进一步, 针对其他 5 种空调开关情况 (进门开、

睡前开以及冷时关、睡前关和入睡后关), 采用上述相同的分析方法, 拟合确定出体现空调行为为群体驱动特性的典型概率曲线, 如图 7 所示, 同时计算得到相对应的 u 、 L 、 k 这 3 个特征参数, 具体见表 3.

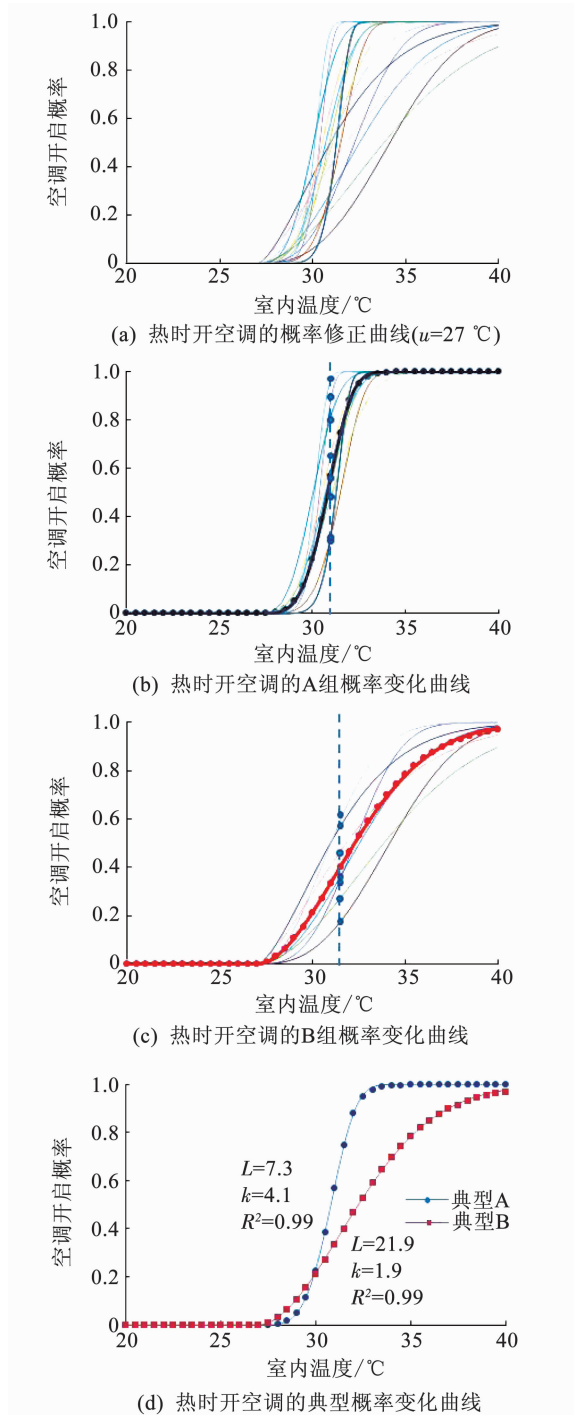


图 6 热时开空调的群体特性分析

Fig. 6 Group characteristics of air conditioning behavior when feeling hot

表 3 的数据结果反映了不同住户的个体差异, 同时对相类似住户的共同性给予定量的反映. 依据此数据结果, 再结合与之相应的驱动类型, 可对本文所研究大学生宿舍夏季空调行为的群体驱动特性给予有规律性的分析描述.

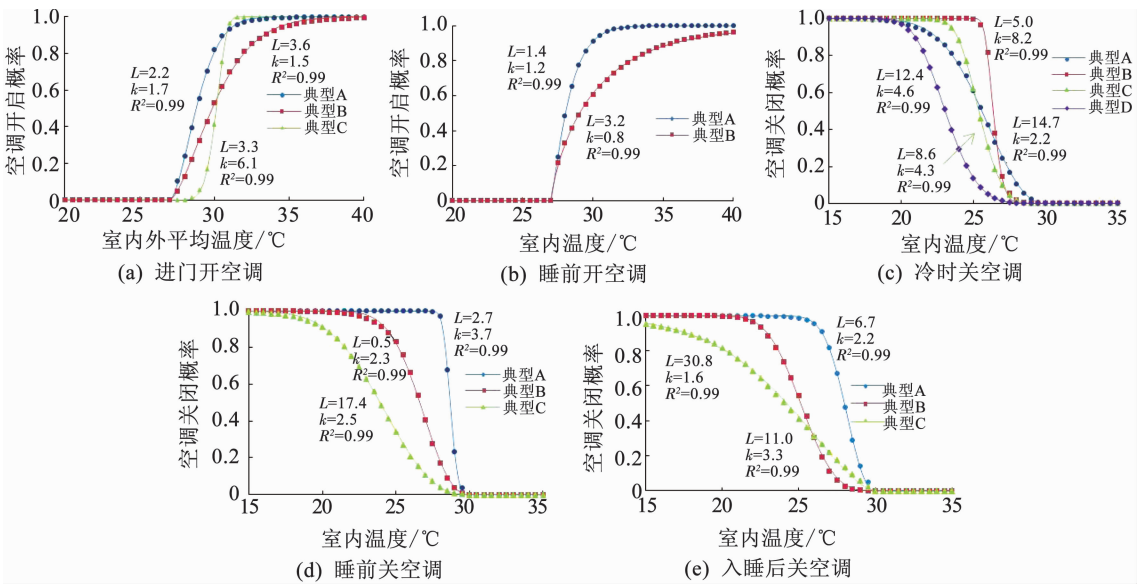


图 7 不同驱动类型下空调典型行为的概率变化曲线

Fig. 7 Probability curves of typical air conditioning behaviors for different triggers

表 3 不同驱动类型下空调典型行为的特征参数
Tab. 3 Characteristic parameters of typical air conditioning behaviors for different triggers

驱动类型	名称	$u/^{\circ}\text{C}$	$L/^{\circ}\text{C}$	k
进门开	典型 A	25.5 ~ 27.5	2.2	1.7
	典型 B	25.5 ~ 27.5	3.6	1.5
	典型 C	25.5 ~ 27.5	3.3	6.1
热时开	典型 A	25.5 ~ 27.5	7.3	4.1
	典型 B	25.5 ~ 27.5	21.9	1.9
睡前开	典型 A	25.5 ~ 27.5	1.4	1.2
	典型 B	25.5 ~ 27.5	3.2	0.8
	典型 C	28.5 ~ 30.5	14.7	2.2
冷时关	典型 B	28.5 ~ 30.5	5.0	8.2
	典型 C	28.5 ~ 30.5	8.6	4.3
	典型 D	28.5 ~ 30.5	12.4	4.6
	典型 A	28.5 ~ 30.5	2.7	3.7
睡前关	典型 B	28.5 ~ 30.5	10.5	2.3
	典型 C	28.5 ~ 30.5	17.4	2.5
	典型 A	28.5 ~ 30.5	6.7	2.2
入睡后关	典型 B	28.5 ~ 30.5	11.0	3.3
	典型 C	28.5 ~ 30.5	30.8	1.6

4 结 论

1)居住建筑中,分体空调向居住者提供了主动控制和调节室内环境的可能性,于是,存在进门开、热时开、睡前开以及冷时关、睡前关、入睡后关和离开关等多种不同的空调开、关情况,使得建筑空调行为的驱动类型呈现出多样化的状况。

2)居住建筑空调行为的驱动特性存在显著的个体差异,体现在空调开关动作发生概率随环境驱动力变化的敏感性上,也即对于相同的空调行为驱动类型,环境驱动力对空调开、关行为的驱动力度在不同宿舍之间有所不同。

3)对于各种驱动类型,统计归类出环境驱动力对空调行为存在 2~4 组不同的驱动力度,也即对各种驱动类型,空调开、关行为概率随环境驱动力的变化可用 2~4 条概率变化曲线加以描述。

4)本文提出了建立在个体驱动特性基础上、并根据概率曲线变化趋势分类和对同类的平均概率进行拟合的方法,由此可较好反映出居住建筑空调行为的群体驱动特性,该方法对居住建筑空调行为特性的大规模和深入研究有重要参考价值。

参考文献

[1] HONG Tianzhen, YAN Da, D'OCA S, et al. Ten questions concerning occupant behavior in buildings: the big picture[J]. Building and Environment. 2017, 114: 518. DOI: 10. 1016/j. buildenv. 2016. 12. 006

[2] 李兆坚, 谢德强, 江红斌, 等. 北京市住宅空调开机行为和能耗的实测研究[J]. 暖通空调, 2014, 44(2): 15

LI Zhaojian, XIE Deqiang, JIANG Hongbin, et al. Testing study on operating behavior and energy consumption of air conditioners in residential buildings in Beijing[J]. HV & AC, 2014, 44(2), 15

[3] 李兆坚, 江亿, 魏庆芄. 环境参数与空调行为对住宅空调能耗影响调查分析[J]. 暖通空调, 2007, 37(8), 67. DOI:10. 3969/j. issn. 1002 - 8501. 2007. 08. 013

LI Zhaojian, JIANG Yi, WEI Qingpeng. Survey and analysis on influence of environment parameters and residents' behaviors on air conditioning energy consumption in a residential building[J]. HV & AC, 2007, 37(8): 67. DOI:10. 3969/j. issn. 1002 - 8501. 2007. 08. 013

[4] 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. DOI: 10.1016/s0378-7788(02)00167-6

[5] GUO Siyue, YAN Da, CUI Yin. Analysis on the influence of occupant behavior patterns to building envelope's performance space heating in residential buildings in Shanghai [C]//Proceedings of 2nd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association. Nagoya: International Building Performance Simulation Association, 2014: 610

[6] 阮方, 钱晓倩, 钱匡亮, 等. 人行为模式对外墙内外保温节能效果的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2017, 49(2): 109. DOI: 10.11918/j.issn.0367-6234.2017.02.018

RUAN Fang, QIAN Xiaoqian, QIAN Kuangliang, et al. Influence on energy saving effects of internal and external wall insulations for different occupant behaviors [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2017, 49 (2): 109. DOI: 10.11918/j.issn.0367-6234.2017.02.018

[7] YAN Da, HONG Tianzhen. IEA-EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings [EB/OL]. [2014-11-12]. <http://www.annex66.org/?q=Publication>

[8] WANG Chuang, YAN Da, JIANG Yi. A novel approach for building occupancy simulation[J]. Building Simulation, 2011, 4(2): 149. DOI: 10.1007/s12273-011-0044-5

[9] 王闯. 有关建筑用能的人行为模拟研究[D]. 北京: 清华大学, 2014

WANG Chuang. Simulation research on occupant energy related behaviors in building[D]. Beijing: Tsinghua University, 2014

[10] 王闯, 燕达, 孙红三, 等. 室内环境控制相关的人员动作描述方法[J]. 建筑科学, 2015, 31(10): 199. DOI: 10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2015.10.30

WANG Chuang, YAN Da, SUN Hongsan, et al. A description method for occupant actions related to indoor environment control [J]. Building Science, 2015, 31 (10): 199. DOI: 10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2015.10.30

[11] 任晓欣. 建筑中人行行为动作模型研究与分析[D]. 北京: 清华大学, 2015

REN Xiaoxin. Research on occupant behavior action model in buildings [D]. Beijing: Tsinghua University, 2015

[12] PENG Chen, YAN Da, WU Ruhong, et al. Quantitative description and simulation of human behavior in residential buildings[J]. Building Simulation, 2012, 5(2): 85. DOI: 10.1007/s12273-011-0049-0

[13] REN Xiaoxin, YAN Da, WANG Chuang. Air-conditioning usage conditional probability model for residential buildings[J]. Building and Environment. 2014, 81: 172. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.06.022

[14] 周翔, 牟迪, 郑顺, 等. 上海地区夏季居民空调器使用行为及能耗模拟研究[J]. 建筑技术开发, 2016, 43(6): 81. DOI: 10.3969/j.issn.1001-523X.2016.06.023

ZHOU Xiang, MU Di, ZHENG Shun, et al. Study on behavior and energy consumption simulation of air conditioner in Shanghai area in summer[J]. Building Technique Development, 2016, 43(6): 81. DOI: 10.3969/j.issn.1001-523X.2016.06.023

[15] STAZI F, NASPI F, D'ORAZIO M. A literature review on driving factors and contextual events influencing occupants' behaviours in buildings[J]. Building and Environment, 2017, 118: 40. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.03.021

[16] 刘昭辉. 空调行为驱动特性研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2016.

LIU Zhaohui. Study on driving characteristics of air conditioning behavior[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2016

(编辑 张 红)