

DOI: 10.11835/j.issn.2096-6717.2023.012



开放科学(资源服务)标识码 OSID:



家庭结构对住宅空调使用时间的影响及 关联性分析

周成栋, 刘猛, 李子桥, 刘欢

(重庆大学土木工程学院; 国家级低碳绿色建筑国际联合研究中心; 绿色建筑与人居环境营造国际合作联合实验室; 风工程及风资源利用重庆市重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 人员行为对建筑能耗存在较大影响, 其中家庭结构是影响人行为的重要因素之一。结合问卷调查与实测方法, 选取重庆地区不同人数、代数以及年龄等家庭结构信息存在差异的12户家庭, 采集夏季空调开启和关闭时刻等运行参数, 利用关联规则算法对家庭结构参数与空调行为间的关联规则进行分析, 结果表明, 家庭结构参数中的人数、代数以及成员最小年龄与空调使用时间(使用时长与开启时间段)存在明显相关性; 代数为不同功能房间空调使用时长的最主要特征, 代数越大, 其空调使用时长越高, 3代家庭在不同功能房间的空调使用时长均大于其他代数的家庭; 最小年龄为不同功能房间的空调使用时长的次要特征, 在同一代数的家庭中, 最小年龄为青少年或学龄前儿童的家庭的空调使用时长会高于最小年龄为青年或中年的家庭。探明了家庭结构特征中与空调使用时间相关的主要参数, 为预测空调能耗, 助力建筑节能减排提供了基础资料。

关键词: 住宅空调; 家庭结构; 使用时间; 关联规则; 住宅建筑

中图分类号: TU831.2 文献标志码: A 文章编号: 2096-6717(2024)02-0188-09

The influence of family structure on operation time of residential air-conditioning and correlation analysis

ZHOU Chengdong, LIU Meng, LI Ziqiao, LIU Huan

(School of Civil Engineering; National Center for International Research of Low-carbon and Green Building; Joint International Research Laboratory of Green Building and Built Environment; Chongqing Key Laboratory of Wind Engineering and Wind Energy Utilization, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Occupants' behaviors have great influence on building energy consumption, and family structure is one of the important factors affecting occupants' behaviors. Based on the questionnaire survey and field measure, 12 families with different family structure information such as number, algebra and age in Chongqing were selected, and collect the operating parameters such as air-conditioning opening and closing time in summer. The association rules between family structure parameters and air-conditioning behavior were analyzed

收稿日期: 2022-11-23

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD1100704)

作者简介: 周成栋(1998-), 男, 主要从事室内环境与大数据应用研究, E-mail: 421722939@qq.com。

刘猛(通信作者), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: liumeng2033@126.com。

Received: 2022-11-23

Foundation items: The National Key R & D Program of China(No.2018YFD1100704)

Author brief: ZHOU Chengdong (1998-), main research interest: big data and indoor thermal environment, E-mail: 421722939@qq.com.

LIU Meng (corresponding author), professor, doctoral supervisor, E-mail: liumeng2033@126.com.

by using association rule algorithm, and it was found that the number, algebra and minimum age of members in family structure parameters were significantly correlated with air-conditioning operation time (operation duration and opening time period). Algebra is the most important feature of air-conditioning operation duration in different functional rooms. The air-conditioning operation duration increases with the increase of the algebra. The air-conditioning operation duration of three generations of families in different functional rooms is longer than that of other generations of families. The minimum age is the secondary characteristic of the air-conditioning operation duration of rooms with different functions. In families of the same generation, the air-conditioning operation duration of families with the minimum age of teenagers or preschool children will be higher than that of families with the minimum age of youth or middle age. The main parameters related to the air-conditioning operation time in the family structure characteristics are found out, which provides basic data for predicting the air-conditioning energy consumption and helps the building to save energy and reduce emissions.

Keywords: residential air-conditioning; family structure; operation time; association rule; residential building

中国建筑能耗约占全国能耗总量的22%,而住宅建筑能耗又占总建筑能耗的46%^[1]。建筑能耗不仅与当地气候条件、建筑热工状况、人员和照明发热等内扰情况有关,还与住户的空调调控行为有较大关系^[2]。住户的空调调控行为呈现出较强的随机性、不可控性、复杂性等,将导致建筑实际能耗与建筑设计能耗产生较大差异。

目前空调使用行为的研究中,主要包括人员位移以及人员动作两个方面^[3],其中关于人员动作方面的研究,主要集中在基于实测数据建立控制模型对人员的设备启停(空调、窗户、照明设备等)与设备参数调整进行分析,并发现其主要受环境因素和事件因素的影响,其中使用时长为影响空调能耗最显著的参数之一^[4-6]。影响空调调控行为的因素较多,主要包括居住者情况和环境因素^[7-9]。其中,家庭结构是居住者常住情况的主要体现。家庭结构是由家庭中成员规模及相互关系和居住模式所决定的家庭的外在表现形式,通常可以根据人数、代数、成员关系和家庭年龄对其划分类型^[10]。McLoughlin等^[11]发现了家庭构成对空调设备用能有显著影响。

现有研究发现不同的人群存在不同的空调使用行为。例如Yang等^[12]通过统计方法和协方差分析发现性别对空调使用能耗存在影响,通常男性在夏季空调使用能耗上高于女性,而女性在冬季空调使用能耗上高于男性。Brounen等^[13]发现儿童的存在往往会增加家庭的能耗需求。Meng等^[14]通过问卷调研发现退休人员的日在室率普遍偏高,而青少年在室时间主要集中在20:00至次日10:00,不同年龄段人群的社会角色不同,例如,6~22岁的人群通常为学生,其在室率与使用行为均与其余人群存在差异性。笔者根据不同年龄段人群所处的社会角色对其进行划分,0~6岁为学龄前儿童,6~22岁为

青少年,22~35岁为青年,35~50岁为中年。不同的家庭包含着不同的人群,因此,不同的家庭结构会导致居住模式以及行为模式产生较大的差异。例如,研究发现两代同堂且有高龄老人的家庭中,在家空调使用时间可能远高于成员年龄偏小的家庭。而处于儿童成长期的两代同堂家庭,生活作息较为规律,在家空调使用时间也比较集中^[11,15]。Estiri等^[16]发现住户特征可以直接影响能耗需求,从而间接塑造住宅能源需求模式。尽管家庭结构与住宅能耗之间存在密不可分的关系,但家庭结构参数种类较多,包括人员规模(人数、代数)、年龄结构、成员关系等,且目前仍缺少具有代表性的家庭结构参数来反映对空调使用行为的影响。卢玫琚等^[17-18]利用多因素方差分析确定了不同年龄段居民对高耗能制冷设备依赖性随年龄增长而降低,但暂不清楚各个年龄段对空调使用行为的具体表现特征。陈淑琴等^[19]利用问卷调研发现了家庭人口数越多,户均用能需求增大,人均用能需求减少,但仍需进一步细化不同人口数的用能行为差别以及在主卧和次卧等不同房间的用能行为差别。除此之外,在探究不同住宅家庭结构对能耗影响的研究中,还发现了数据采集参数不够客观以及传统实地监测获取数据稀松的问题,导致难以捕捉到尽可能多的家庭结构与空调使用行为间的关联性^[20]。笔者利用Apriori算法,构建家庭结构参数与空调使用行为间的联系,探究其与空调使用行为之间的关联性。Apriori算法能够有效地从稀松的数据集中精确提炼出关键结果,且该算法能够高效地探寻不同事务间的关联规则以及关联强度。例如,韩博闻^[21]基于Apriori算法挖掘出了配电网运行维护中各运行因素与运行维护指标之间的显性或隐形关联。

综上,现有研究中尚缺少不同的家庭结构特征参数(人数、代数、年龄等)与空调行为之间的关联

关系以及同一住户空间上空调行为的差异。笔者旨在探究家庭结构的特征参数对夏热冬冷地区中的重庆地区空调使用行为的影响。通过对12户家庭夏季共62 d的空调使用情况(空调开启时间段和空调使用时长)进行实测调研,利用Apriori算法,对每户家庭进行标签化(人数、代数和成员最小年龄),再探究每类标签与空调使用行为之间的关联性,最后挖掘出不同家庭结构特征相关联的家庭空调使用行为,为区域性预测空调能耗工作提供基础资料。

1 研究方法

选取重庆地区城镇住宅建筑用户,收集用户空调使用行为数据与家庭结构背景信息,利用斯皮尔曼相关性分析方法明确家庭结构对空调使用行为的影响程度以及主要因素,并根据Apriori关联规则算法明确家庭结构与空调使用行为的关联性。

1.1 数据收集

为探究家庭结构与夏季空调使用行为的关系,

选取了重庆市不同家庭结构的12户家庭进行了实测。

重庆作为夏热冬冷地区的典型地区,依据《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2010)选取6月15日—8月31日作为供冷季,实测时间为2018年7月1日—2018年8月31日,共62 d。

实测内容包括家庭信息的问卷调查以及家用空调的运行参数记录,问卷调查主要包括住户户型、家庭常住人口、家庭成员构成以及家庭代数,其组成详见表1,实测用户均为3代以内家庭,总人数不超过5人,且人员构成无老年人。主要通过空调伴侣(电量监测插座)监测空调的使用时间来记录空调器的运行时段,空调测试参数主要包括空调开关状态以及空调每日耗电量。

在实测中,共有主卧、次卧以及客厅3种功能房间,每台空调室内机配备一个空调伴侣测试空调运行参数,并记录其对应的功能房间,两室一厅住户安装3个空调伴侣,三室一厅住户安装4个空调伴侣。

表1 重庆市12户家庭结构信息

Table 1 Family structure information of 12 households in Chongqing

住户编号	家庭常住人口	家庭成员构成	代数	住户户型
1	5	中年夫妻+青年夫妻+学龄前儿童	3	两室一厅
2	3	中年夫妻+青少年	2	两室一厅
3	2	青年夫妻	1	两室一厅
4	2	中年夫妻	1	两室一厅
5	1	青年	1	两室一厅
6	3	青年夫妻+学龄前儿童	2	两室一厅
7	4	中年+青年夫妻+学龄前儿童	3	两室一厅
8	2	中年夫妻	1	两室一厅
9	4	中年夫妻+青年+青少年	2	三室一厅
10	4	中年夫妻+青年+青年	2	三室一厅
11	3	中年夫妻+青少年	2	三室一厅
12	3	中年夫妻+青少年	2	三室一厅

注:学龄前儿童代指0~6岁人群;青少年代指6~22岁人群;青年代指22~35岁人群;中年代指35~50岁人群。

1.2 关联规则Apriori算法

Apriori算法是一种挖掘关联规则的频繁项集算法,其核心是基于两阶段频繁项集思想的递推算法,其中频繁项集指的是经常出现在一块的物品的集合,关联规则暗示两种物品之间可能存在很强的关系^[22]。

Apriori算法的整体步骤可分为两步:第1步通过迭代,检索出事务数据库中的所有频繁项集,即支持度不低于设定的阈值的项集;第2步利用频繁项集构造出满足用户最小信任度以及提升度的强关联规则,其流程图如图1所示^[23-24]。

2 研究结果与分析

2.1 家庭结构参数分析

目前关于家庭结构的研究中,主要采用人数、代数、是否有小孩、夫妇平均年龄、最大年龄、最小年龄与平均年龄作为家庭结构的研究参数。通过实测调研结果,主要利用斯皮尔曼相关系数分析验证这些参数的可行性,先计算出家庭结构参数与空调行为之间的相关系数,再计算家庭结构参数的平均相关系数,平均相关系数为该家庭结构参数与所有空调行为相关系数绝对值的平均值。结果如表2所示,其中*代表 p 值小于0.05的情况,即两者存在

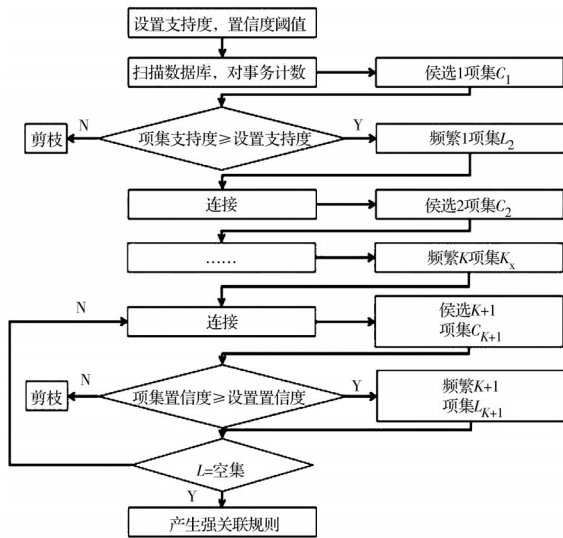


图 1 Apriori算法流程图

Fig. 1 Apriori algorithm flow chart

表 2 家庭结构参数与空调行为的斯皮尔曼相关系数

Table 2 Spearman correlation coefficient between family structure parameters and air-conditioning behavior

家庭结构参数	开关时间段			一天运行时长			平均相关系数
	主卧	次卧	客厅	主卧	次卧	客厅	
人数	-0.02	-0.30*	-0.10*	0.29*	0.41*	0.26*	0.27
代数	0.07	-0.29*	-0.16*	0.25*	0.32*	0.22*	0.25
最小年龄	0.08	0.28*	0.16*	-0.23*	-0.25*	-0.21*	0.22
夫妇平均年龄	-0.12*	-0.32*	0.06	0.04	0.35*	0.06	无
最大年龄	0.11*	-0.18*	0.09*	0.08*	0.32*	-0.11*	0.18
是否有小孩	0.09*	0.10*	-0.09*	0.09*	0.34*	0.11*	0.18
平均年龄	-0.10*	0.08	0.03	-0.13*	0.10*	-0.19*	0.15

注:其中*代表p值小于0.05的情况,即两者存在显著相关性。

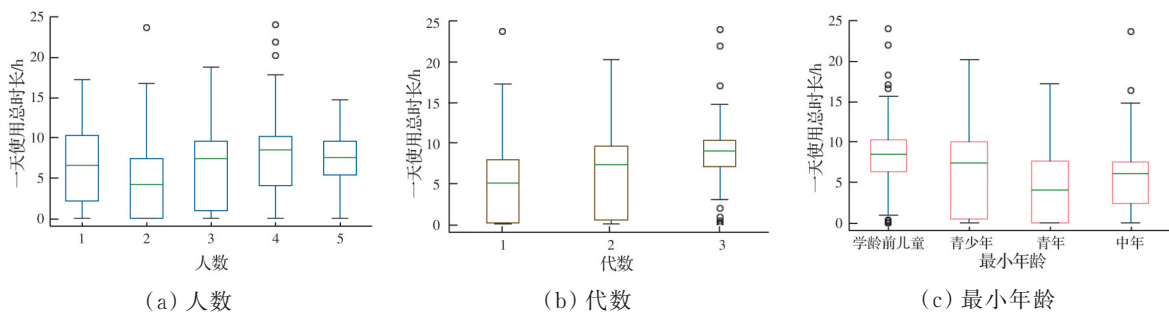


图 2 家庭结构参数在主卧房间上的空调使用时长分布

Fig. 2 Distribution of family structure parameters in air-conditioning operation duration in main bedroom

根据家庭结构参数中的人数、代数和家庭最小年龄等特征参数,对主卧空调开启时间段进行整体分析,结果如图3所示。从整体上看,主卧空调的主要开启时间段集中在21:00。人数与代数越多的家庭,在21:00开启空调的概率越高,而有学龄前儿童以及青少年的家庭,其在21:00开启空调的概率达到了0.5以上,在某个时间段开启概率越高,也就表明了该家庭使用空调的时段越具有规律性。

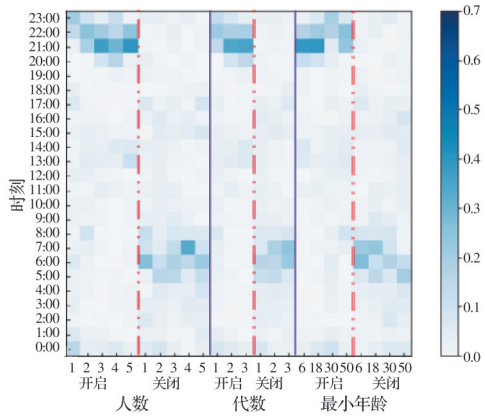
显著相关性,可以发现,人数、代数与最小年龄均和空调使用行为存在显著相关性。因此,选了与空调使用行为平均相关系数最高的3个参数——人数、代数和家庭最小年龄作为家庭结构参数特征。

2.2 主卧使用时长与使用时间段描述

依据相关性分析,以家庭结构参数中的人数、代数和家庭最小年龄为特征参数,图2为主卧的空调使用时长分布。主卧平均每日空调使用时长为7.3 h,主卧的空调使用时长并非随家庭人数增加而增加,1人家庭主卧的使用时长高于2人家庭主卧的使用时长。主卧空调使用时长随家庭代数的增加而增加,3代家庭主卧平均空调使用时长为9.7 h,2代家庭为7.3 h,1代家庭为5.2 h。当家庭中最小年龄为学龄前儿童或青少年时,主卧的空调使用时长高于最小年龄为青年或中年的家庭。

2.3 次卧使用时长与使用时间段描述

图4为次卧空调使用时长分布。次卧平均每日空调使用时长为2.8 h,次卧的空调使用时长随家庭人数增加而有阶梯式增加趋势,1~2人家庭次卧的空调使用时长几乎为0,但3~5人家庭次卧的空调使用时长平均为5~6 h。次卧的空调使用时长随家庭代数的增加而增加,次卧3代家庭平均空调使用时长为7.4 h,2代家庭为1.4 h,1代家庭为0 h。次卧的空调使用主要为最小年龄为青少年的家庭。



注:图中最小年龄6代表学龄前人群、18代表青少年人群、30代表青年人群以及50代表中年人群;方块颜色代表开启概率。

图3 家庭结构参数在主卧的空调开启时间段分布概率

Fig. 3 Distribution of family structure parameters in air-conditioning usage period in main bedroom

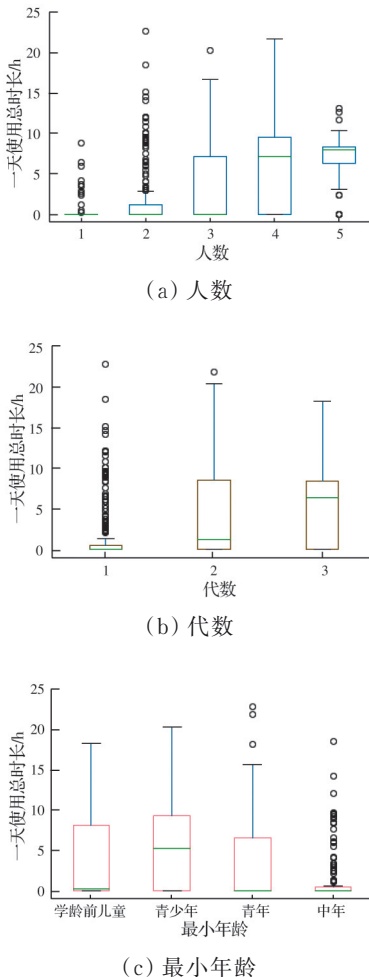
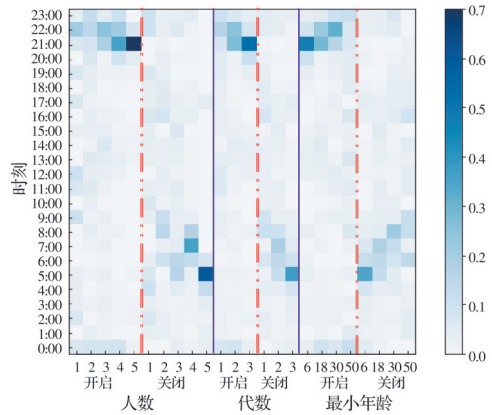


图4 家庭结构参数在次卧上的空调使用时长分布

Fig. 4 Distribution of family structure parameters in air-conditioning operation duration in second bedroom

次卧的空调开启时间段分布结果如图5所示。从整体上看,次卧的主要开启时间段集中在21:00。人数与代数越多的家庭,空调开启的时间段越规律,而有学龄前儿童以及青少年的家庭,其在21:00

开启空调的概率达到了0.6以上。



注:图中最小年龄6代表学龄前人群、18代表青少年人群、30代表青年人群以及50代表中年人群;方块颜色代表开启概率。

图5 家庭结构参数在次卧的空调开启时间段分布概率

Fig. 5 Distribution of family structure parameters in air-conditioning usage period in second bedroom

2.4 客厅使用时长与使用时间段描述

图6为客厅的空调使用时长分布。客厅平均每日空调使用时长为3.3 h,客厅的空调使用时长从2人家庭开始逐渐增加,1人家庭与4人家庭的平均空调使用时长接近。客厅的空调使用时长随家庭代数的增加而增加,客厅3代家庭平均空调使用时长为4.7 h,2代家庭为1.9 h,1代家庭为0.2 h。客厅的空调使用主要为最小年龄为学龄前儿童的家庭,且最小年龄为中年的家庭几乎不使用客厅空调。

客厅的空调开启时间段分布结果如图7所示。从整体上看,客厅空调的主要开启时间段较为分散,无明显集中时间段开启。5人家庭空调开启的时间段相对集中在16:00。

3 讨论

3.1 主卧中空调使用时间与家庭结构的关联规则

为使用Apriori关联规则算法分析家庭结构与空调使用时间的关联性,基于算法结构框架,需要将目前的定量数据转换为定性数据,因此,首先对样本空调使用时长进行分类。Gu等^[25]提出了阈值模型分类方法,并验证了区域尺度空调用户分类的有效性。根据上述空调用户分类方法,基于用户需求,样本可分为低使用时长、中使用时长和高使用时长用户,如表3所示。主卧每日空调使用时长在7.51 h内的归为低使用时长用户,每日空调使用时长在7.51~10.54 h的归为中使用时长用户,每日空调使用时长大于10.54 h的归为高使用时长用户。再对空调开启时间段进行分类,分类按照4段式,即

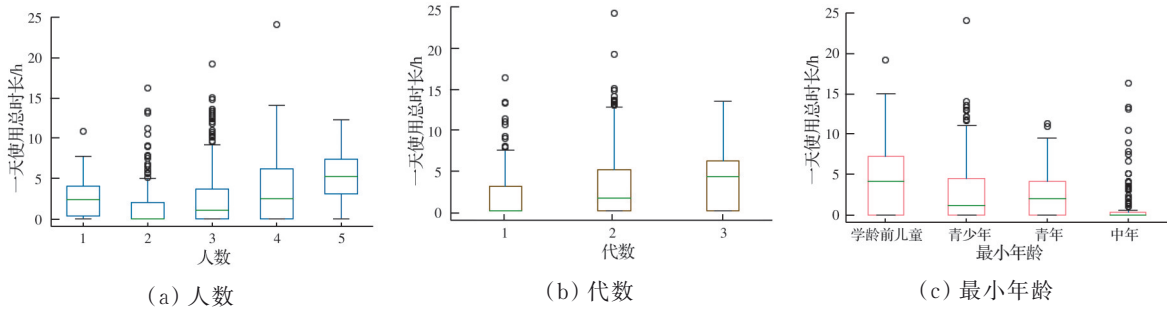
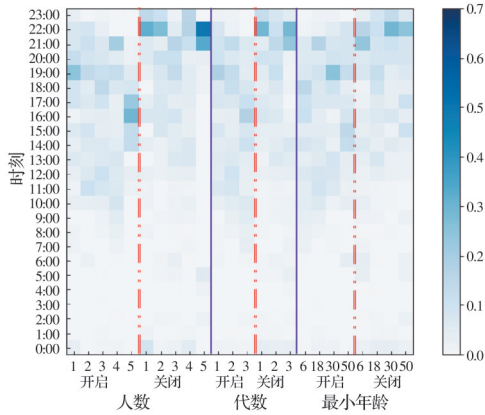


图 6 家庭结构参数在客厅的空调使用时长分布

Fig. 6 Distribution of family structure parameters in air-conditioning operation duration in living room



注:图中最小年龄 6 代表学龄前人群、18 代表青少年人群、30 代表青年人群以及 50 代表中年人群;方块颜色代表开启概率。

图 7 家庭结构参数在客厅的空调开启时间段分布概率

Fig. 7 Distribution of family structure parameters in air-conditioning usage period in living room

0:00—6:00 为深夜,6:00—12:00 为上午,12:00—18:00 为下午,18:00—24:00 为夜晚。

表 3 主卧空调使用时长分类

Table 3 Classification of air-conditioning operation time in main bedroom

低使用时长/h	中使用时长/h	高使用时长/h
<7.51	7.51~10.54	>10.54

根据上述空调开启时长以及使用时间分类,利用 Apriori 关联规则算法分析家庭结构与空调使用时间的关联性。其中,支持度设置为大于 5%,置信度设置为大于 50%,提升度设置为大于 1。关联规则分析结果如图 8 所示。主卧空调的高使用时长用户与人数为 4 人、5 人,代数为 2 代、3 代,最小年龄为学龄前儿童和青少年的家庭关联性强,主卧空调的低使用时长用户与人数为 2 人,代数为 1 代,最小年龄为青年和中年的家庭关联性强。主卧空调的开启时间段主要集中在夜晚 18:00—24:00 时间段,家庭成员最小年龄为青少年的家庭,主卧夜晚开启空调关联性更强。

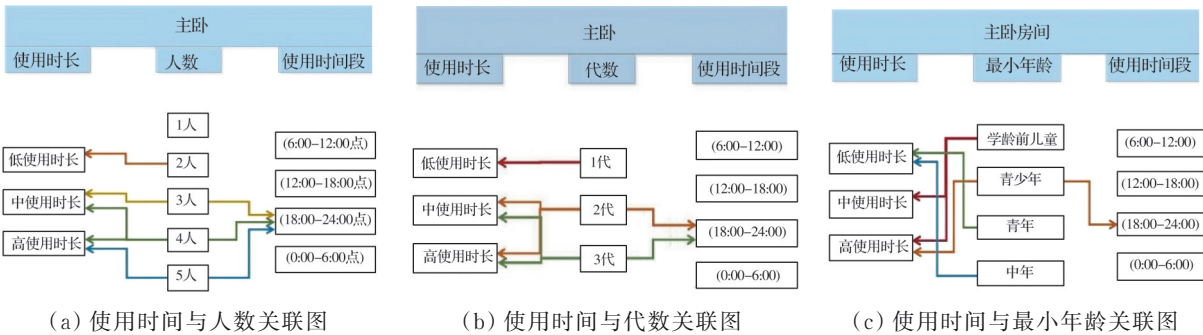


图 8 主卧中空调使用时间与家庭结构关联规则

Fig. 8 Association rules between air-conditioning operation time and family structure in main bedroom

3.2 次卧中空调使用时间与家庭结构的关联规则

如表 4 所示,次卧每日空调使用时长在 1.25 h 内的归为低使用时长用户,每日空调使用时长在 1.25~9.28 h 的归为中使用时长用户,每日空调使用时长大于 9.28 h 的归为高使用时长用户。

次卧空调使用时间与家庭结构关联规则分析结果如图 9 所示。次卧空调的高使用时长用户与人

表 4 次卧空调使用时长分类

Table 4 Classification of air-conditioning operation time in second bedroom

低使用时长/h	中使用时长/h	高使用时长/h
<1.25	1.25~9.28	>9.28

数为 4 人、5 人,代数为 2 代、3 代,最小年龄为学龄前和青少年的家庭关联性强,次卧空调的低使用

时长用户与人数为 1 人、2 人,代数为 1 代的家庭关联性强。可以发现次卧空调的开启时间段主要集中在夜晚 18:00—24:00 时间段,且人数与代数越多

的家庭,其次卧空调开启越规律。家庭成员最小年龄为青少年和学龄前儿童的家庭,次卧夜晚开启空调关联性更强。

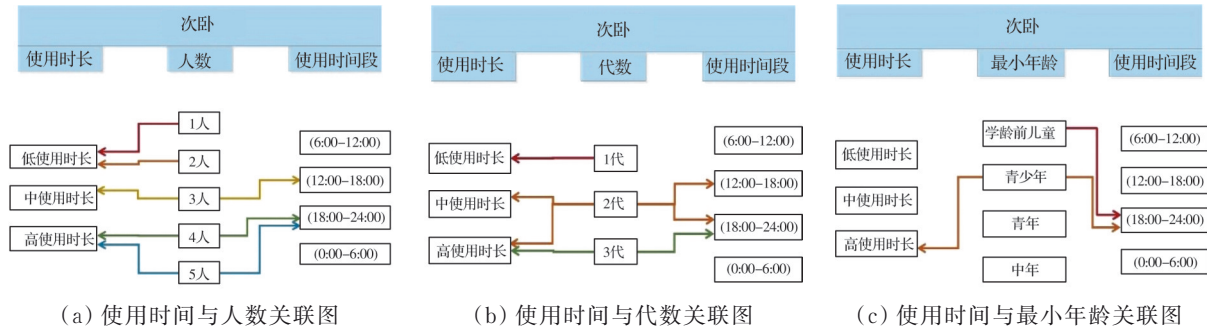


图 9 次卧中空调使用时间与家庭结构关联规则

Fig. 9 Association rules between air-conditioning operation time and family structure in second bedroom

3.3 客厅中空调使用时间与家庭结构的关联规则

如表 5 所示,客厅每日空调使用时长在 2.06 h 内的归为低使用时长用户,每日空调使用时长在 2.06~6.76 h 的归为中使用时长用户,每日空调使用时长大于 6.76 h 的归为高使用时长用户。

表 5 客厅空调使用时长分类情况

Table 5 Classification of air-conditioning operation time in living room

低使用时长/h	中使用时长/h	高使用时长/h
<2.06	2.06~6.76	>6.76

客厅空调使用时间与家庭结构关联规则分析结果如图 10 所示。客厅空调的高使用时长用户与人数为 3 人、4 人,代数为 3 代,最小年龄为学龄前儿童和青少年的家庭关联性强,客厅空调的低使用时

长用户与人数为 2 人、3 人,代数为 1 代、2 代的家庭关联性强。可以发现客厅空调的开启时间段 1 代家庭集中在晚上,2 代家庭集中在上午,3 代家庭集中在下午,而无其余明显关联规则。

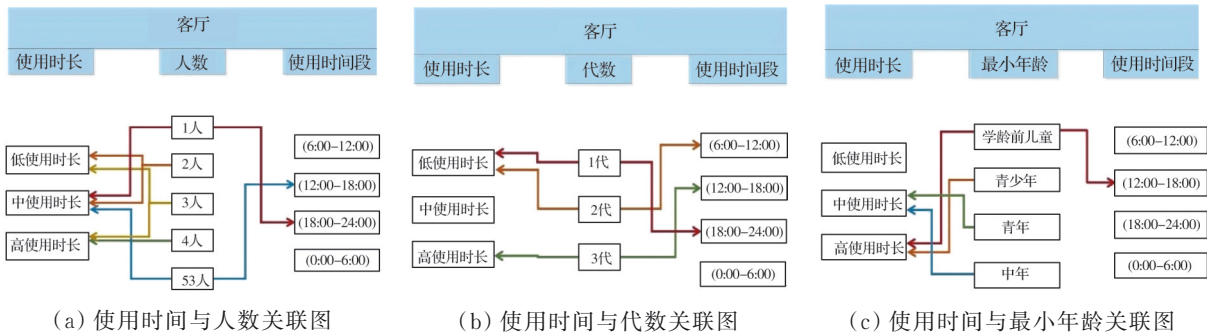


图 10 客厅中空调使用时间与家庭结构关联规则

Fig. 10 Association rules between air-conditioning operation time and family structure in living room

3.4 空调使用时间与家庭结构的关联性结果分析

综合以上主卧、次卧与客厅 3 种不同功能房间的空调使用时长,发现家庭中代数的增加会导致主卧、次卧与客厅的使用时长增加,3 代家庭的整体空调使用时长大于 2 代家庭,而 2 代家庭的空调使用时长大于 1 代家庭。人数的增加不一定会导致客厅空调使用时长的增加,特别是 1 人的家庭,其空调使用行为受个人习惯影响较大,其空调使用时长无强关联规则,但随着人数的增加,空调使用时长也会增加,主要是受代数增加的影响。最小年龄是一个更加复杂的参数,并且与代数和人数在一定方面具有相关性,因为通常 1 代家庭的最小年龄为青年,而

3 代家庭的最小年龄为学龄前儿童或青少年,但在 3 种不同功能房间上,最小年龄为青少年的家庭,都与高使用时长用户关联性较强,则一是反映了最小年龄为青少年的家庭使用时长普遍偏高,二是反映了最小年龄为青少年的家庭使用空调时长较为规律。且次卧的使用与最小年龄为青少年的家庭密切相关,在实测中,只有最小年龄为青少年的家庭大量地使用了次卧的空调。

图 8~图 10 的关联规则结果中的强关联性仅表示在某一个事件下,其高概率发生的结果,并不代表在所有事件下的高概率发生的结果,如图 10 所示,2 代家庭在客厅与上午时段开启空调有强关联

规则,其代表的含义是指客厅在上午时段开启空调的条件下,2代家庭存在这种行为的概率远高于其余代数,因此,该结果并不代表2代家庭不常在夜晚时间段开启空调。综合以上主卧、次卧与客厅3种不同功能房间的空调使用时间段,主卧与次卧空调的开启时间段与家庭结构参数无明显关联规则,都主要集中在夜晚时间段(18:00—24:00)开启,但当代数在1代以及人数在2人以内时,主卧与次卧也存在其他时间段开启情况。其中代数不同的家庭在客厅空调的开启时间段有明显差异,1代家庭在客厅空调使用时间段集中在夜晚,而2代家庭在客厅空调使用时间段集中在上午与夜晚,3代家庭在客厅空调使用时间段集中在下午,这可能是由不同人员在室率导致的,例如1代家庭通常由上班族人群组成,其回家时间可能在夜晚,而3代家庭通常存在长时间居家的人群,则可能下午就开始使用空调。

4 结论

为探究家庭结构参数与空调使用行为之间的关联关系,通过对12户家庭,40个空调器共62d的实测研究,利用关联规则算法探究了家庭结构参数和空调使用行为之间的关联规则。得到以下主要结论:

1)家庭结构参数中的人数、代数与最小年龄均与空调使用时间存在明显相关性,其中代数对空调使用时间的的影响程度最大。

2)代数为不同功能房间的空调使用时长的最主要特征,代数越大,其空调使用时长越高,3代家庭在不同功能房间的空调使用时长均大于其他代数的家庭。在本研究中,主卧3代家庭平均空调使用时长为9.7h,2代家庭为7.3h,1代家庭为5.2h;次卧3代家庭平均空调使用时长为7.4h,2代家庭为1.4h,1代家庭为0h;客厅3代家庭平均空调使用时长为4.7h,2代家庭为1.9h,1代家庭为0.2h。最小年龄为不同功能房间的空调使用时长的次要特征,在同一代数的家庭中,最小年龄为青少年或学龄前儿童的家庭的空调使用时长会高于最小年龄为青年或中年的家庭。对于成员最小年龄为学龄前儿童或青少年的家庭,主卧与次卧的使用时长呈正相关。

3)代数为客厅的空调开启时间段的最主要特征,1代家庭的空调开启时间段集中在夜晚,2代家庭的空调开启时间段集中在上午与夜晚,3代家庭的空调开启时间段集中在下午。无明显家庭结构特征影响主卧与次卧的空调开启时间段,主卧与次卧的空调开启时间段均主要集中在夜晚时间段。

最小年龄为青少年的家庭,其空调开启时间段较为固定且有规律。

参考文献

- [1] 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2021 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021. Building Energy Research Center of Tsinghua University. Annual development research report of building energy efficiency in China-2021 [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021. (in Chinese)
- [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): 15-20. 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)
- [3] 燕达, 丰晓航, 王闯, 等. 建筑中人为模拟研究现状和展望[J]. 建筑科学, 2015, 31(10): 178-187. YAN D, FENG X H, WANG C, et al. Current state and future perspective of occupant behavior simulation in buildings [J]. Building Science, 2015, 31(10): 178-187. (in Chinese)
- [4] 刘猛, 晏璐, 李金波, 等. 基于数据监测平台的重庆地区房间空调器使用作息分析[J]. 暖通空调, 2020, 50(5): 1-9, 116. LIU M, YAN L, LI J B, et al. Analysis of operation schedule of room air conditioners in Chongqing based on data monitoring platform [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2020, 50(5): 1-9, 116. (in Chinese)
- [5] RIJAL H B, TUOHY P, NICOL F, et al. Development of an adaptive window-opening algorithm to predict the thermal comfort, energy use and overheating in buildings [J]. Journal of Building Performance Simulation, 2008, 1(1): 17-30.
- [6] FABI V, ANDERSEN R V, CORGNATI S, et al. Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models [J]. Building and Environment, 2012, 58: 188-198.
- [7] 王闯. 有关建筑用能的人为模拟研究[D]. 北京: 清华大学, 2014. WANG C. Simulation research on occupant energy-related behaviors in building [D]. Beijing: Tsinghua University, 2014. (in Chinese)
- [8] 张振诚, 田佳. 人员行为对住宅建筑热负荷需求的影响研究[J]. 建筑热能通风空调, 2021, 40(9): 10-13, 97. ZHANG Z C, TIAN J. Research on the influence of occupant behavior on the heat load demand of residential building [J]. Building Energy & Environment, 2021, 40(9): 10-13, 97. (in Chinese)

- [9] REN X X, YAN D, WANG C. Air-conditioning usage conditional probability model for residential buildings [J]. *Building and Environment*, 2014, 81: 172-182.
- [10] 宋健, 张晓倩. 从人口转变到家庭转变: 一种理论分析思路[J]. *探索与争鸣*, 2021(1): 129-136, 180.
SONG J, ZHANG X Q. From demographic transition to family transition: A theoretical analysis perspective [J]. *Exploration and Free Views*, 2021(1): 129-136, 180. (in Chinese)
- [11] MCLOUGHLIN F, DUFFY A, CONLON M. Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study [J]. *Energy and Buildings*, 2012, 48: 240-248.
- [12] YANG Y C, YUAN J Q, XIAO Z W, et al. Energy consumption characteristics and adaptive electricity pricing strategies for college dormitories based on historical monitored data [J]. *Energy and Buildings*, 2021, 245: 111041.
- [13] BROUNEN D, KOK N, QUIGLEY J M. Residential energy use and conservation: Economics and demographics [J]. *European Economic Review*, 2012, 56(5): 931-945.
- [14] MENG X, GAO Y N, HOU C P, et al. Questionnaire survey on the summer air-conditioning use behaviour of occupants in residences and office buildings of China [J]. *Indoor and Built Environment*, 2019, 28(5): 711-724.
- [15] 朱小雷, 王博, 余文婷. 家庭结构与多代居住空间关联性: 以广州保障房套型研究为例[J]. *南方建筑*, 2020(6): 8-14.
ZHU X L, WANG B, YU W T. The relationship between family structure and multigenerational dwellings: Design research on Guangzhou security residential buildings [J]. *South Architecture*, 2020(6): 8-14. (in Chinese)
- [16] ESTIRI H. The indirect role of households in shaping US residential energy demand patterns [J]. *Energy Policy*, 2015, 86: 585-594.
- [17] 卢玫璐, 罗乔. 居民用能行为对能耗影响程度分析[J]. *福建建材*, 2020(5): 7-9.
LU M J, LUO Q. Analysis on the influence of residents' energy consumption behavior on energy consumption [J]. *Fujian Building Materials*, 2020(5): 7-9. (in Chinese)
- [18] 卢玫璐, 罗乔, 欧阳金龙. 成都市不同年龄段居民用能行为的调查研究[J]. *四川建筑科学研究*, 2020, 46(3): 79-85.
LU M J, LUO Q, OUYANG J L. Investigation on energy use behavior of residents of different age groups in Chengdu [J]. *Sichuan Building Science*, 2020, 46(3): 79-85. (in Chinese)
- [19] 陈淑琴, 胡佳敏, 黄宇蕊, 等. 广州市城镇住宅用能行为特征聚类及其对用能需求的影响[J]. *暖通空调*, 2022, 52(7): 151-157, 150.
CHEN S Q, HU J M, HUANG Y R, et al. Clustering analysis of occupant behavior and its impacts on energy demand of urban residential buildings in Guangzhou [J]. *Heating Ventilating & Air Conditioning*, 2022, 52(7): 151-157, 150. (in Chinese)
- [20] FLETT G, KELLY N. Modelling of individual domestic occupancy and energy demand behaviours using existing datasets and probabilistic modelling methods [J]. *Energy and Buildings*, 2021, 252: 111373.
- [21] 韩博闻. 基于Apriori关联算法的配电网运行大数据关联分析模型[J]. *上海电力学院学报*, 2018, 34(2): 163-168, 195.
HAN B W. Big data association analysis model of distribution network operation and maintenance based on apriori correlation algorithm [J]. *Journal of Shanghai University of Electric Power*, 2018, 34(2): 163-168, 195. (in Chinese)
- [22] 沈慧娟, 曹晓丽. 基于频集的Apriori关联规则算法的应用研究[J]. *物联网技术*, 2020, 10(10): 57-61.
SHEN H J, CAO X L. Application research of apriori association rule algorithm based on frequency set [J]. *Internet of Things Technologies*, 2020, 10(10): 57-61. (in Chinese)
- [23] 贾克斌, 李含婧, 袁野. 基于Apriori算法的数据挖掘在移动医疗系统中的应用[J]. *北京工业大学学报*, 2017, 43(3): 394-401, 322.
JIA K B, LI H J, YUAN Y. Application of data mining in mobile health system based on apriori algorithm [J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2017, 43(3): 394-401, 322. (in Chinese)
- [24] 朱奎兵, 刘彦戎. 一种优化的Apriori关联规则算法[J]. *信息技术*, 2022, 46(5): 77-81, 87.
ZHU K B, LIU Y R. An optimized Apriori association rule algorithm [J]. *Information Technology*, 2022, 46(5): 77-81, 87. (in Chinese)
- [25] GU X B, LIU M, LI Z Q. Classification of household room air conditioner user groups by running time in the hot summer and cold winter zone of China [J]. *Buildings*, 2022, 12(9): 1415.