

北京住宅房间内热源逐时发热状况的调查分析*

北京工业大学 简毅文[☆]
清华大学 江 亿

摘要 根据北京市 98 户居民住宅室内发热量的问卷调查数据,采用统计分析的方法,从住宅模式、住宅房间的人员逐时出入状况和设备逐时使用状况、设备和照明灯具功率三个方面研究住宅房间内热源的逐时发热状况及其变化规律,并针对 4 种典型的住宅模式,分别建立了描述房间内热源逐时发热状况的住宅室内发热模式。

关键词 内热源 住宅模式 逐时状况

Investigation of hourly emission status of internal heat sources in Beijing residences

By Jian Yiwen[★] and Jiang Yi

Abstract Based on the questionnaire data of 98 households in Beijing, statistically analyses hourly emission status of the internal heat sources and their varying rules under the conditions of different residence type, different hourly occupancy and electrical equipment usage, and different power of electrical appliances and lighting. Establishes indoor heat emission patterns separately for four typical residences.

Keywords internal heat source, residence type, hourly status

[★] Beijing University of Technology, Beijing, China

①

0 引言

住宅室内发热量是指由人体、照明灯具、电器设备及燃气设备等内热源散发到室内的热量,它们对住宅的室内热环境及供暖、空调的能耗状况有着不可忽略的影响,因此,研究现有住宅的室内发热状况及其变化规律对建筑节能有着重要的意义。

由于围护结构的作用,住宅室内发热量对室内热环境的影响存在衰减和延迟的效应,因此,室内热环境除了受室内发热量大小的影响外,还受室内发热量随时间变化趋势的影响。针对日平均值相同的稳态和动态的室内发热量,图 1 表示这两种室内发热量形式对室内热环境的影响状况。

计算结果证实了上述的结论。因此,对住宅全

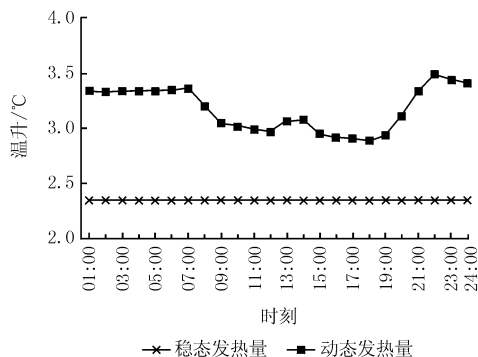


图 1 不同发热量形式对住宅室温的影响

①[☆] 简毅文,女,1967 年 7 月生,工学博士,副教授
100022 北京工业大学建筑工程学院
(010) 67391608-203
E-mail: jianyiwen@bjut.edu.cn

收稿日期:2005-02-23

修回日期:2005-05-17

年室内热环境、尤其是夏季室内热环境及空调能耗状况的合理预测,仅仅靠了解各个内热源的日平均发热量是无法实现的,还必须针对住宅的不同房间,确定各个内热源室内发热量的逐时变化趋势。

研究者愈来愈认识到内热源散热对室内热环境影响的重要性,但相关文献的研究成果多集中在日平均室内发热量的分析上^[1-2]。关于内热源逐时发热状况的研究,K. T. Papakostas 等人以调查问卷的方式,以希腊城市住宅为对象进行了研究,详细分析了住宅内人体及电器设备的发热模式^[3],但此项研究没有涉及照明灯具和燃气设备的逐时发热状况,并且研究对象没有具体到住宅内的房间。因此,现有的研究成果还不能为住宅室内热环境的动态模拟提供有效的计算依据,还有待进一步的深入。

本文根据北京市 98 户居民住宅室内发热量的问卷调查数据,采用统计分析的方法,针对 4 种典型的住宅模式,分别建立了描述房间内热源逐时发热状况的住宅室内发热模式。

1 调查对象和调查内容

调查对象为分布在北京市城区的 98 户居民住宅,具体情况如下。

1) 建筑面积

40~50 m², 12 户; 50~60 m², 44 户; 60~70 m², 7 户; 70~80 m², 25 户; 80~90 m², 3 户; 90~100 m², 7 户。

2) 建筑户型

一室一厅, 25 户; 两室一厅, 50 户; 三室一厅, 23 户。

3) 家庭人员数

2 人, 33 户; 3 人, 44 户; 4 人, 13 户; 5 人, 8 户。

4) 家庭结构

夫妻, 25 户; 父母和子女, 59 户; 夫妻、子女和父母, 14 户。

5) 月收入水平

低于 600 元/人, 4 户; 600~1 500 元/人, 36 户; 1 500~2 500 元/人, 45 户; 高于 2 500 元/人, 13 户。

各种因素中,建筑面积和建筑户型共同决定人体、电器设备等在住宅内的空间分布;家庭人员数和家庭结构则影响住宅内人员活动的频繁程度,相应会影响照明灯具、电器设备及燃气设备的使用状

况;收入水平则主要与电器设备的型号规格、数量及其使用状况有关。

调查内容主要包括住宅的人员逐时出入状况、各个房间照明灯具和电器设备的型号规格及其逐时的使用状况、燃气设备的使用状况以及燃气的月消耗量等。需要说明的是,由于洗衣机和家用空调的电机设备基本不会向室内散热,故调查内容没有包含这两项设备的逐时使用状况。

2 调查结果分析

2.1 住宅模式

住宅模式包含住宅房间的数量及房间功能,而它们由住户的家庭人员数和家庭结构所决定。因此,研究住宅模式必须考虑以上两个因素,根据调查统计的结果,图 2a 和 2b 分别表示住户家庭人员数与家庭结构和建筑户型(房间数量)之间的相互关系。

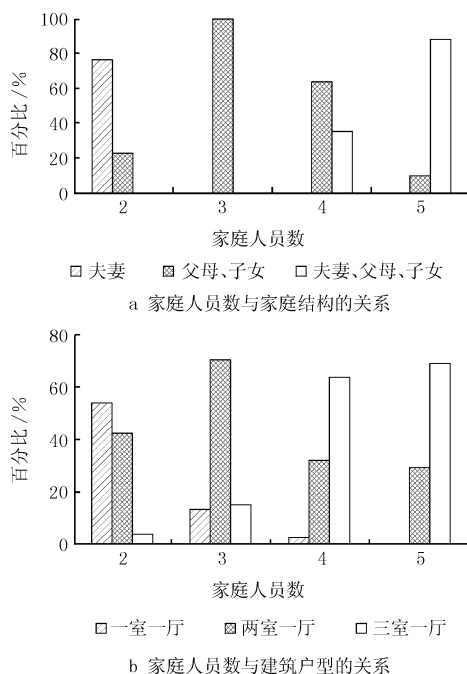


图2 家庭人员数与家庭结构和建筑户型的相互关系

住户家庭人员数、家庭结构以及建筑户型(房间数量)三者之间存在密切的关系。两口之家的家庭结构主要为夫妻,基本的建筑户型为一室一厅和两室一厅;三口之家的家庭结构为父母和子女,建筑户型主要为两室一厅,但同时存在三室一厅的情况,这主要是因为伴随收入水平的提高,住户会相应改善居住条件;五口之家的家庭结构主要为夫妻、父母和子女,建筑户型主要为三室一厅;四口之

家的家庭结构基本属于三口之家或五口之家的特例,其建筑户型也相应为两室一厅和三室一厅。

进一步从内热源散热的角度分析住宅房间的功能。问卷调查的结果表明,由于家用电器的普及以及住户家庭成员需求的多样化,大多数住户的卧室和客厅内同时配有电视;并且由于建筑面积限制而没有单独书房,部分住户的卧室内配有电脑。考虑不同年龄段居住者的生活习惯,确定住宅房间家用电器设备的配置状况为:客厅和老人的卧室内配有电视;书房和成年人卧室两者之一配有电脑;考虑住宅设计中厨房面积增加的趋势及居住者的生活习惯,将冰箱设置在餐厅,而将微波炉和电饭锅设置在厨房。

根据上述的分析,同时考虑住户经济状况的改善和住户购房的心理,提出以下 4 种住宅模式,这 4 种模式基本能涵盖现有住宅在建筑户型(房间数量)、房间功能、家庭人员数以及家庭结构上的实际状况,具体内容见表 1。

表 1 不同住宅模式的建筑户型、房间功能、家庭人员数及家庭结构

	模式 1	模式 2	模式 3	模式 4
建筑户型	两室一厅	两室一厅	三室一厅	三室一厅
房间功能	双人卧室 书房 客厅、餐厅 厨房 卫生间	双人卧室 单人卧室 客厅、餐厅 厨房 卫生间	双人卧室 单人卧室 书房 客厅、餐厅 厨房 卫生间 卫生间	双人卧室 双人卧室 单人卧室 客厅、餐厅 厨房 卫生间
家庭结构	夫妻	父母、子女	父母、子女	夫妻、父母和子女
家庭人员数/人	2	3	3	5

2.2 人员逐时出入状况和设备逐时使用状况

住宅房间的人员逐时出入状况以相同功能房间人员逐时停留时间的平均值表示,同样,设备逐时使用状况以相同房间设备逐时使用时间的平均值表示。对于照明灯具、电器设备和燃气设备,通过对室内发热量调查数据的统计分析,可以计算确定逐时的使用状况;而对于人员出入状况随时间的变化,住户所提供的信息只是针对住宅整体,而没有涉及到其中的各个房间。

因此,应着重针对住宅的房间,研究人员在其中的逐时出入状况。首先分析确定厨房和卫生间的人员出入状况,根据多数住户的生活习惯,人员在厨房的停留时间比较集中,基本为每人每天 0.75 h;人员在卫生间的停留时间短而且分散,故

本文的研究不考虑卫生间的人员出入状况。对于卧室、客厅和餐厅、书房等房间的人员出入状况,可根据房间内照明灯具、电视、电脑等设备的逐时使用状况,在已知住宅的人员出入状况的前提下,推测得到各个房间内逐时停留人员的数量及相应的停留时间,并通过以下两个方面的分析,判断推测数据的合理性。

2.2.1 人员最大停留时间与设备使用时间

人员最大停留时间是指房间内人员停留时间的最大值。人员活动的特点决定了在非睡眠的时间内,只要有人在房间内活动,照明灯具、电视、电脑等设备就会相应地被使用。因此,人员最大停留时间基本可反映住户对房间内照明灯具和电器设备等的最大使用限度。于是,按房间功能分类,采用取平均值的方法,确定住宅房间逐时的人员最大停留时间,分别以卧室、客厅和餐厅为例,分析比较房间人员最大停留时间与照明灯具、电视、电脑等设备使用时间的变化趋势,如图 3a, 3b 所示。

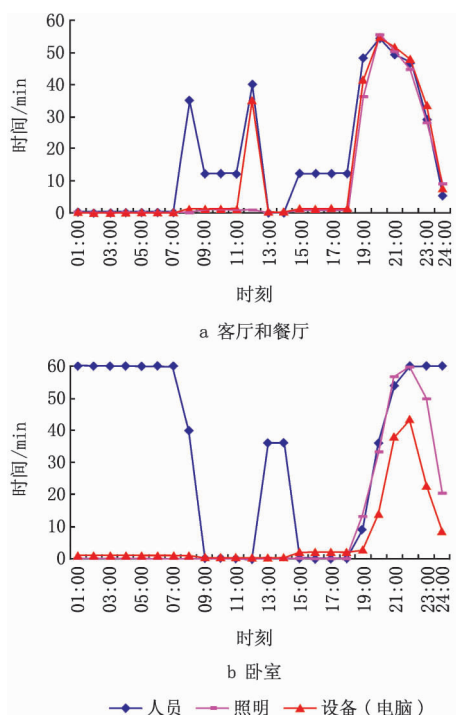


图 3 房间设备使用时间与人员最大停留时间的比较

在晚上和夜间照明灯具、电视或电脑使用的时间内,以上两类房间人员最大停留时间与房间内照明灯具、电视或电脑使用时间的变化趋势一致,大小基本相等。

2.2.2 住宅时间指标与房间时间指标

按住户家庭人员数分类,采用取平均值的方法确定家庭人员每天停留在住宅内的人均时间,称之为住宅时间指标。表 2 列出对应不同家庭人员数的住宅时间指标。

表 2 不同家庭人员数的住宅时间指标

家庭人员数/人	2	3	4	5
住宅时间指标/h	16.6	16.4	16.8	16.8

再按住宅房间功能分类,根据各个时刻住宅房间人员停留时间的推测数据,采用取平均值的方法,确定人员每天停留在住宅房间内的人均时间,称之为房间时间指标。厨房的时间指标定为 0.75 h,卫生间的人员出入状况忽略不计。客厅和餐厅的房间时间指标还受到家庭人员数量的影响。卧室则可分为单人卧室和双人卧室。相应地,表 3 列出对应不同人员数量的房间时间指标。

表 3 住宅房间的时间指标

	客厅、餐厅				卧室	
	2 人	3 人	4 人	5 人	单人	双人
房间时间指标/h	3.4	3.5	3.5	3.6	13.4	11.8

于是,根据住宅各个房间的时间指标可求出相应的住宅时间指标。对于两室一厅(家庭成员 3 人)和三室一厅(家庭成员 5 人)的住户,表 4 分别表示由房间时间指标统计住宅时间指标的计算过程和计算结果。

表 4 房间时间指标与住宅时间指标的关系 h

	两室一厅 (家庭成员 3 人)	三室一厅 (家庭成员 5 人)
双人卧室停留时间	$11.8 \times 2 = 23.6$	$11.8 \times 2 = 23.6$
单人卧室停留时间	13.4	13.4
客厅、餐厅停留时间	$3.5 \times 3 = 10.5$	$3.6 \times 5 = 18$
厨房停留时间	$0.75 \times 3 = 2.2$	$0.75 \times 5 = 3.8$
人员总停留时间	49.7	82.4
住宅时间指标	$49.7/3 = 16.6$	$82.4/5 = 16.5$

对应相同的家庭人员数,表 2,4 的计算结果几乎一致。

综合上述的分析,住宅房间停留人员数量及人员停留时间的推测数据能反映住宅房间人员的逐时出入状况。因此,可通过这些推测数据研究分析住宅房间人体的逐时发热状况。

2.3 设备和照明灯具功率

确定住宅各个房间内热源的逐时发热状况,除了解房间内设备使用状况和人员出入状况随时间的变化外,还需确定照明灯具、电器设备的功率、人体显热量的大小以及燃气的热值。其中,人体显热

量、电器设备功率以及燃气热值基本可看作是定值^[4-5],人体显热量的大小按照静坐的条件取值为 60 W,燃气的热值按天然气的低热值定为 35 MJ/m³,对于电器设备的功率,文献[5]分析确定了家用电器实际功率的测试计算方法并给出一些具体的测定值,再根据我国现有家电市场的调研分析,得到电器设备实际功率的变化范围及分析研究时所采用的计算值,见表 5。

表 5 电器设备实际功率的变化范围及计算值 W

	变化范围	计算值
电视	80~120	100
电脑	125	125
电扇	25~45	35
冰箱	33.3~50.0	41.7
微波炉	1 050~1 350	1 200
电饭锅	600~800	700

与人体、电器设备及燃气设备不同,照明灯具的功率则是随房间功能和住户生活习惯等而随机变化的。按直观的理解,照明灯具的功率在一定程度上应与房间的面积有关,故对调查住户的卧室、客厅和餐厅、书房等房间,计算确定照明灯具功率与房间面积的相关因数,计算结果为:双人卧室,0.12;单人卧室,0.22;客厅和餐厅,0.46;书房,0.21;厨房,0.26。

根据统计分析的理论^[6],只有客厅和餐厅照明灯具的功率与房间面积具有较强的相关性,于是,分析客厅和餐厅照明灯具功率随房间面积的变化趋势,如图 4 所示,其中的房间面积代号 0,1,2,3 分别表示房间面积小于 10 m²,10~15 m²,15~20 m² 和 20~25 m²。

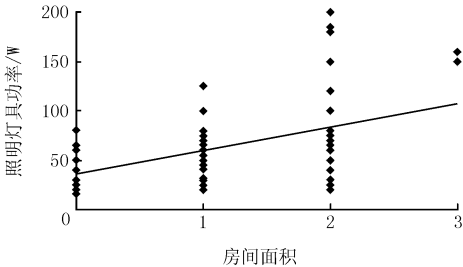


图 4 客厅和餐厅照明灯具功率随房间面积的变化

图 4 中拟合曲线系数的大小定量反映出客厅和餐厅的照明灯具功率随房间面积的变化趋势;对于卧室、书房等其他房间,确定照明灯具功率为相同房间照明灯具功率的平均值。在此基础上,考虑市场上现有照明灯具的型号规格,确定出住宅各主

要房间照明灯具的功率为:双人卧室 65 W;单人卧室 65 W;书房 65 W;厨房 32 W。

客厅和餐厅照明灯具功率 N 按下式计算

$$N = 20E\left(\frac{f-10}{5} + 0.5\right) + 40 \tag{1}$$

式中 f 为客厅和餐厅的房间面积, m^2 。

3 结语

综合建筑户型、房间功能、家庭人员数以及家

庭结构因素,本文归纳出 4 种典型的住宅模式,并通过对住宅室内发热量调查数据的统计分析,对 4 种住宅模式相应给出住宅各个房间内人体、照明灯具、电器设备及燃气具的逐时发热量,以此构成了 4 种典型的住宅室内发热模式,表 6 给出了住宅室内发热模式 3 的具体结果。

本文的研究结果可作为住宅室内热环境的动态模拟分析提供计算依据。

表 6 住宅室内内热源发热量(三室一厅的三口之家)

W

	双人卧室		单人卧室		书房			客厅和餐厅			厨房		
	人体	照明灯具	人体	照明灯具	人体	照明灯具	电器设备	人体	照明灯具	电器设备	人体	照明灯具	燃气、电器设备
00:00~01:00	120.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0
01:00~02:00	120.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0
02:00~03:00	120.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0
03:00~04:00	120.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0
04:00~05:00	120.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0
05:00~06:00	120.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0
06:00~07:00	120.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0
07:00~08:00	48.0	0.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	0.0	41.2	24.0	0.0	278.0
08:00~09:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	44.8	0.0	0.0	0.0
09:00~10:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	43.0	0.0	0.0	0.0
10:00~11:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	44.8	0.0	0.0	0.0
11:00~12:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0	0.0	43.0	12.0	0.0	243.2
12:00~13:00	54.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	12.0	0.0	243.2
13:00~14:00	54.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0
14:00~15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	44.8	0.0	0.0	0.0
15:00~16:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	43.0	0.0	0.0	0.0
16:00~17:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	44.8	0.0	0.0	0.0
17:00~18:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	43.0	18.0	0.0	333.6
18:00~19:00	0.0	11.7	0.0	7.2	7.8	9.8	6.3	117.0	0.61 <i>P</i>	103.4	60.0	22.1	1 139.8
19:00~20:00	6.0	12.4	19.8	24.7	16.2	24.7	28.8	108.0	0.92 <i>P</i>	132.7	24.6	21.8	458.7
20:00~21:00	12.0	15.0	40.8	46.2	41.4	54.0	78.8	86.4	0.84 <i>P</i>	127.2	5.4	4.8	97.3
21:00~22:00	28.8	29.9	44.4	46.8	46.2	57.2	90.0	66.6	0.75 <i>P</i>	121.7	2.4	2.2	55.6
22:00~23:00	70.8	37.1	52.2	41.6	25.2	35.8	46.3	39.6	0.47 <i>P</i>	97.9	1.2	1.0	27.8
23:00~00:00	106.8	23.4	58.2	15.6	7.8	7.8	17.5	7.2	0.15 <i>P</i>	54.0	0.6	0.6	0.0

注: P 为照明灯具的额定功率。

参考文献

[1] Nguyen Anh Tuan. Analysis of household energy demand in Vietnam[J]. Energy Policy, 1996, 24 (12): 1089-1099

[2] 中国建筑科学研究院,重庆大学. JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001

[3] Papakostas K T, Sotiropoulos B A. Occupational and energy behavior patterns in Greek residences [J]. Energy and Buildings, 1997, 26(2): 207-213

[4] ASHRAE. ASHRAE Handbook Fundamentals[M], 1993:168-172

[5] Mohammed H H. Total heat gain and the split between radiant and convective heat gain from office and laboratory equipment in buildings[G]// ASHRAE Trans, 1992, 98(2): 356-365

[6] 阿尔德 H L,罗斯勒 E B. 概率与统计导论[M]. 胡崇能,李隆章,译. 北京:北京大学出版社,1984