

长沙市住宅建筑夏季能源使用结构的调查与分析^{*}

湖南大学 李念平[☆] 关 军 潘尤贵 陈淑琴
 (日本) 东北大学 吉野博
 同济大学 李振海

摘要 对长沙市 100 户居民住宅的能源使用情况进行了现场测试和问卷调查。分析了能源使用结构的形成与住宅建筑基本状况、人的热舒适性要求、生活习惯、家庭收入水平、当地气候特点、地区能源政策等因素的关系, 为有关部门进行能源的政策调整和规划提供参考依据。

关键词 住宅建筑 能源使用结构 现场测试 调查 政策调整

Investigation and analysis on summer energy structure of residential buildings in Changsha

By Li Nianping, Guan Jun, Pan Yougui, Chen Shuqin, Hiroshi Yoshiro and Li Zhenhai

Abstract Tests and investigates through questionnaire the energy utilization structure of 100 residential buildings in Changsha. Analyses the relation of energy structure to building construction, thermal comfort requirement, living custom, family incomings, climatic conditions, and local energy policy, providing reference for related authorities to adjust and layout energy policy.

Keywords residential building, energy utilization structure, site test, investigation, policy adjustment

Hunan University, Changsha, China

①

0 引言

随着社会的进步和我国产业化结构的调整, 城镇居民的能源消费观念正悄然发生着变化。特别是近几年来, 我国可持续发展的战略思想以及相应制定的“西气东输、西电东送”等政策, 给区域性的节能以及能源结构的调整带来了新的课题。因此, 为推动节能工作的深入开展, 更科学地制定能源使用的相关政策和法规, 宏观调控居民消费群体进行合理的能源利用, 系统地、有针对性地开展一系列的调查研究工作显得非常重要。

1 调查方法

本文所涉及的建筑能耗或建筑使用能耗, 根据公认的概念, 是指维持建筑功能所消耗的能量, 包括照明、供暖、空调、电梯、热水供应、烹饪、家用电器以

及办公设备等的能耗。为获得准确、详实的住宅能源使用情况以及可能的影响因素, 本次研究采用了问卷调查与现场测试相结合的方式, 测试地点为湖南省长沙市城区, 时间为 2002 年 8 月 22~26 日。

1.1 调查对象

考虑到长沙地区的地理位置特点, 调查区域分为 6 个部分, 遍及长沙市区中心及周边的各个区域。如图 1 所示, 湘江以西统一划为 A 区, 该区域为新城(新的市政府所在地及主要的风景区), 住宅建筑较为分散; 湘江以东根据方位划分成 B, C, D, E, F 共 5 个区, 这些区域为老城区, 城镇

①[☆] 李念平, 男, 1962 年 4 月生, 博士, 教授, 博士生导师。
 (日) 东北大学大学院工学研究科特别研究员
 410082 长沙市湖南大学土木工程学院
 (0731) 8821532
 E-mail: linianping@sina.com
 收稿日期: 2003-03-14
 修回日期: 2003-09-04

* 日本国文部科学省重大资助项目 (No. 13574007)

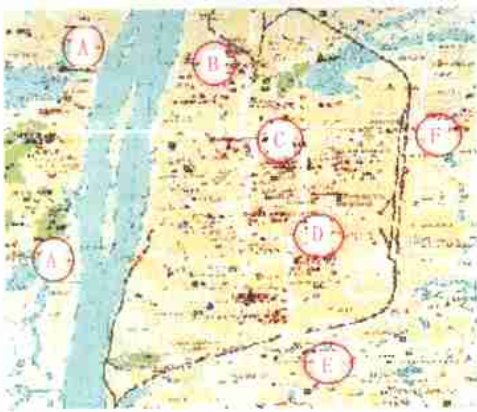


图1 调查对象区域划分

住宅建筑较为集中，工商业较为发达。

对象的选取同时考虑了住户的建筑特点、家庭背景及经济条件等因素。在调查的100户中，84%的建筑不超过7层，8~10层的建筑占7%，超过10层的高层建筑只占9%；81%的建筑为砖混结构。住户的建筑面积主要集中在60~100 m²。人口数从2人/户到5人/户不等，其中以3人/户居多。住户的年收入从6 000元以下到60 000元以上不等，其中36%的住户年收入为2万~4万元，29%的住户年收入为1万~2万元。从上面的数据分析可知，所选取的100户调查对象在包括了不同地域、不同建筑结构及不同经济条件的各类住户的同时，重点突出了当前的普遍情况，具有一定的代表性和典型性。

1.2 问卷调查与测试

具体做法为：调查住户各发1份调查问卷和2枚液晶温度计。请住户填写问卷并记录实测期间的室内温度。液晶温度计在客厅、卧室各放1枚，置于不受任何热源及冷气影响的地方，高度距地板1 m左右。问卷调查的主要内容如表1所示。

表1 问卷表的调查内容

项目	具体内容
住宅结构	建筑总层数、所在楼层、朝向、建筑面积、围护结构、遮阳方式、遮阳时间、使用的遮阳物等
制冷设备	空调方式、功率、电扇的台数以及制冷设备使用的时间段
热水器设备	热水供应方式、使用的能源及热水供应的房间
生活方式	家里人员情况、用餐情况及开窗情况
住宅舒适性	温湿度、通风、日照的满意度及热舒适的感受
室内空气品质	对室内空气的满意度及空气不好时采取的措施
夏季穿衣量	18:00~22:00的穿衣量及当时的温度
能源使用情况	家庭收入、煤气的使用量、用电量
温度	记录测试期间早、中、晚的室内温度情况

室内热环境测试用的仪器为 Thermo Recorder TR-72S 型数字式自动温湿度记录仪，可自动连续记录测点位置的温湿度值^[1]。测试结束后可直接由计算机将数据转换为温湿度曲线。

2 调查数据

2.1 住户基本情况汇总

本文中调查的住宅建筑的建筑概况和建筑结构概况如表2、3所示。

表2 调查对象建筑概况

编号	总户数	每户平均人口数 / 人	每户平均建筑面积 / m ²	楼层数	建造年代
A	20	3.1	85.66	4~7	70年代以后
B	11	2.9	64.51	5~7	90
C	15	3.3	73.29	7~32	90
D	39	3.1	86.57	5~25	70年代以后
E	11	3.2	82.47	5~7	90
F	4	3.3	108.86	6~7	90

表3 调查对象建筑物的材料特性

外墙	厚度 240 mm，加气混凝土墙或红砖墙，外表面贴瓷砖或干刷石或耐防水涂料，内表面刷油漆涂料
内墙	厚度 240 mm 或 140 mm，红砖墙或加气混凝土填充墙，墙体表面油漆涂料或木质墙裙+墙纸，厨卫墙体均贴瓷砖
天花板	预制或现浇混凝土板，油漆涂料或石膏板饰面
地面	预制或现浇混凝土板，瓷砖或木质地板饰面
门窗	铝合金、钢质或木质门窗，单层窗，3~5 mm 厚透明玻璃

2.2 能源的使用量汇总

在调查过程中发现，夏季所有住户使用的能源为电及燃气。图2、3统计了所有住户当年7月份（即调查进行的前一个月）的电、燃气用量。

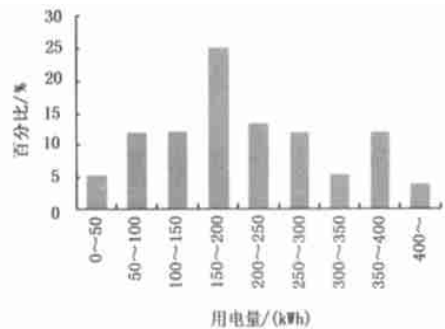


图2 2002年7月住户用电量汇总

2.3 耗能设备构成

图4统计了所有住户的纳凉设备的拥有情况。图5统计了所有住户的夏季纳凉方式。从图4及图5中可以发现，93%的住户都拥有空调，且56%的

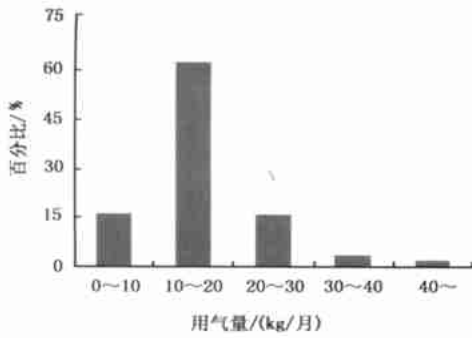


图3 2002年7月住户燃气用量汇总

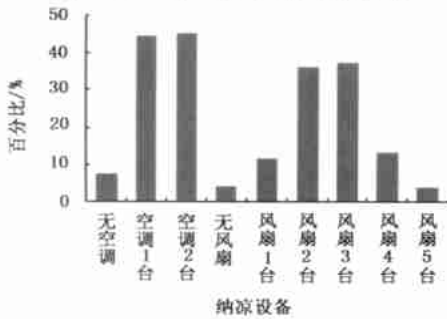


图4 夏季住户纳凉设备拥有量统计

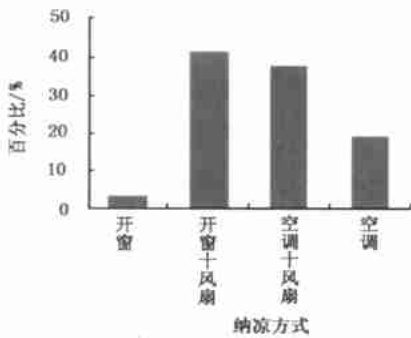


图5 夏季住户纳凉方式情况汇总

住户在夏季一直完全或部分采用了空调的纳凉方式。因此，综合以上的统计结果，结合文献 [2] 及一般推算，在夏季住宅的使用能耗中，占比例最大的当数夏季纳凉用能耗。

3 影响夏季住宅能源使用的因素

3.1 住宅建筑基本状况

住宅建筑的基本状况主要是指建筑物的基本构造（含建筑结构及内外装饰情况等）、朝向、采光、住户的建筑面积及所处楼层位置等。在湖南长沙地区，旧有住宅建筑（20世纪90年代以前兴建）基本上采用砖混结构形式，且楼层较低，围护结构的保温性能及门窗的气密性等均较差；在新建（90年代以后兴建）及在建住宅中，高层及超高层比例较大，且大部分采用了全框架结构，建筑材料的选

用也更多地考虑了轻型、高保温及气密性等因素，从而降低了住宅建筑的能耗。2001年颁布实施的建筑行业标准 JGJ 134 - 2001^[3] 对夏热冬冷地区住宅建筑的平面布置、朝向、窗墙面积比、围护结构各部分的传热系数和热惰性指标等作了相关的规定；并指出，居住建筑通过采用增强建筑围护结构保温隔热性能和提高供暖、空调设备能效比的节能措施，在保证相同的室内热环境指标的前提下，与未采取节能措施前相比，供暖、空调能耗应减少50%。与此同时，由于新标准考虑了采光等因素，照明用能也得到了降低。另外，在本次调研的对象中，7层及7层以下占了84%。根据国家标准 GB 50096 - 1999 的规定，7层以上应设计安装电梯^[4]，因而在住宅总能耗上还应考虑电梯能耗。关于住户建筑面积的影响，考虑到面积的增大会导致家电的拥有量和使用量增加，同时也使得需要的照明电量相应增加，因而住户的能源使用随建筑面积的增加呈递增的趋势^[5]。

3.2 热舒适性要求

根据舒适性方程式^[6]：

$$f(M, I_{cl}, t_a, t_{mrt}, p_a, v, t_{msk}, E_{rsw}) = 0 \quad (1)$$

式中 M ——人体新陈代谢率， W/m^2 ；

I_{cl} ——服装热阻，clo；

t_a ——环境空气温度， $^{\circ}C$ ；

t_{mrt} ——平均辐射温度， $^{\circ}C$ ；

p_a ——水蒸气分压力，kPa；

v ——空气流速，m/s；

t_{msk} ——人体表面平均温度， $^{\circ}C$ ；

E_{rsw} ——人体出汗蒸发热损失， W/m^2 。

对于任何确定的人的活动量 (M) 及着装情况 (I_{cl})，可以找到一种 t_a, t_{mrt}, p_a, v 的最佳组合^[6]。在住户合理用能以改善室内热环境的实际应用中，其主要手段是通过降温设备的正确使用，加强室内的通风换气，以达到最佳的 t_a, t_{mrt}, p_a, v 组合。

3.3 生活习惯

为了保证调查测试数据能如实反映住宅能源利用情况，在调查测试中要求住户保持了正常的生活习惯，如人的活动、着装等。图6为所有住户全天的饮食及开窗情况统计。可以看到，有超过70%的住户选择开窗的时间在5:00~11:00及17:00~21:00，将其与文献 [1] 中反映的室外温度

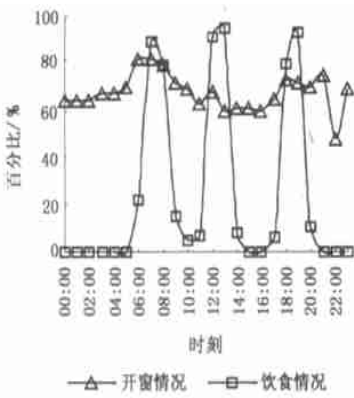


图6 住宅居民生活习惯统计

曲线进行比较得出, 在主要的开窗时间段内室外温度一般较高。从节能的角度而言, 住户对开窗时间的选择是不够科学的。因此, 为减少建筑使用能耗, 将开窗时间安排在 23: 00 ~ 次日 7: 00 是比较合理的。另外, 从

图6中可以反映出, 吃饭时间主要集中在 6: 00 ~ 7: 00, 12: 00 ~ 13: 00 以及 18: 00 ~ 19: 00。考虑到此时间围护结构的传热、太阳辐射得热以及烹饪产生的大量负荷, 易计算得出, 住宅建筑在此时间段内的空调负荷最大。同时, 由于长沙地区住户烹饪主要采用燃气灶, 因此, 在 6: 00 ~ 7: 00, 12: 00 ~ 13: 00 以及 18: 00 ~ 19: 00 期间, 夏季住宅建筑的综合能源使用量最大。

3. 4 家庭收入水平

图7给出了所有住户的家庭年收入情况统计。

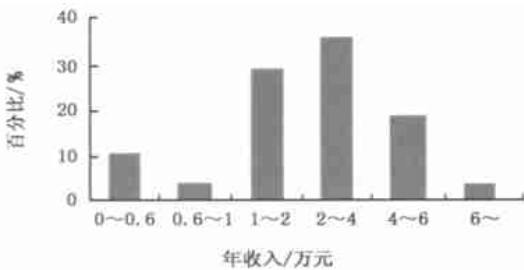


图7 住户年收入情况统计

根据湖南省城镇居民 2000 年全年的可支配收入 6 218. 7元^[7]推算, 家庭年收入在 2 万元以上的为较高收入者, 反之则为较低收入者。表4以 2 万元为分界线给出了两种收入者的总体能源支出情况及不满意度情况。从表中可以发现, 个人经济条件越好, 则能源使用越多, 不满意度越低。

表4 家庭收入水平与能源利用情况比较

家庭收入	用电量 / (kWh/人)	能源消费占总收入比率/%	不满意度/%
低收入 (2 万元以下)	74. 1	11	48
高收入 (2 万元以上)	83. 0	8. 7	27

3. 5 地区能源政策

在城市用电方面, 目前长沙已经建成的电网有 220 kV 变电站 6 座, 城区的最大供电能力为 112 万

kW。然而, 由于用电负荷的峰谷特性日益突出, 造成了用电高峰拉闸限电而用电低谷却电力过剩的不利局面。对此, 电力部门制订了一系列鼓励用户使用低谷电、提高电网的用电负荷率的政策, 如 2002 年 8 月出台的对蓄能式集中电空调、电锅炉的电价优惠政策, 其低谷时段的最低电价达到了 0. 203 元 / (kWh)。然而, 对于城镇住宅而言, 用电设备主要是家电, 电价不分时段均为 0. 503 元 / (kWh)。因此, 住宅用电对城市电网“移峰填谷”的作用并不明显。相反, 电价的整体下调以及生活水平的提高使得住宅用电明显增加。在城镇住宅的用气方面, 国家标准 GB 50028 - 93 对包括住宅居民在内的各类用户的用气指标作了相关规定^[8]。长沙市居民使用燃气规划如表5所示。目前长沙

表5 长沙市居民使用燃气规划

规划年限	耗热定额 / (MJ / (h·a))	气化率 / %	气化户数 / 万户	居民年用气量 / (万 m ³ /a)
2000—2005	2 930	50	23	6 058
2005—2010	3 140	80	48	13 556

市的燃气气化率已达到 82. 92%, 其中管道燃气用户 5 万户, 瓶装液化石油气用户 31. 6 万户。而且随着“川气入湘”工程的实施, 天然气不仅将极大地提高城市气化率, 而且将有效地改变长沙市的能源结构。

3. 6 当地气候和气象特点

长沙属亚热带季风性湿润气候, 春湿多变, 夏秋多晴, 严冬期短, 暑热期长。根据气象站提供的气象资料来看, 测试期间内的室外气温持续保持在 33 ℃左右, 而相对湿度也达到了 80% 以上。夏季长期在此高温高湿的室外环境的影响下, 住宅建筑的空调负荷相应维持在较高水平, 最终增加了建筑的能源使用量。

4 结论

4. 1 影响长沙市住宅建筑能源使用的因素错综复杂, 但可以归纳为 6 个方面, 即住宅建筑基本状况、热舒适性要求、生活习惯、家庭收入水平、地区能源政策、当地气候和气象特点。

4. 2 目前长沙市城镇住宅建筑的能源使用结构依然以电和城市燃气为主, 存在着一定的不合理性。为保证能源调整能科学、有效地实施, 需要充分根据影响能源使用因素的各个方面来分析解决问题。如考虑到生活习惯和家庭收入水平等因素, 适当调

(下转第 70 页)

低温送水 8℃/常温送水 5℃=1.6)。

这样, 常温空调风、水路系统及空调机组投资 3 066.3 万元; 低温空调风、水路系统及空调机组投资 2 010.6 万元, 节省投资 1 055.7 万元。

4.2 送风口投资分析

按 9 万 m² 面积计算, 裙房需送风口 2 500 个, 常温空调散流器送风口 (300 mm×300 mm) 单价 370 元, 400 mm×400 mm×400 mm 静压箱 (橡塑保温) 单价 264 元, 综合单价 634 元, 合计 158.5 万元; 低温送风风口合资产品单价 700 元, 进口单价 1 400 元, 合计 175 万元或 350 万元。投资增加 16.5 万元或 191.5 万元。

5 经济指标比较 (见表 1)

表 1 经济指标比较表

项 目	常规空调系统	蓄冰空调系统
制冷机房设备投资/万元	4 920.31	5 585.16
空调机组投资/万元	648.45	532.4
风系统投资/万元	2 258.5	1 505.7
水系统投资/万元	807.8	504.9
送风口投资/万元	158.5	350
综合投资合计/万元	8 793.56	8 478.16
综合投资差额/万元		-315.4
年节省电费/万元		258.63
制冷机房面积/m ²		+291
变配电室面积/m ²		-150
冷却塔占地面积/m ²		-500
空调机房最小面积/m ²		-170
消峰电负荷/kW		4 000
设计日移高峰电量/(kWh)		15 311
设计日移平峰电量/(kWh)		21 378

注: 1) 未计算空调机房面积减少 170 m² 所增加的销售金额; 2) 未考虑冷却塔占地面积减少 500 m² 对屋面布置带来的益处; 3) 未计算风、水管断面尺寸减少 150 mm 提高商场吊顶而带来的商业价值; 4) 风口按合资计又可节省 175 万元。

6 蓄冰系统计算分析

6.1 设计日冷负荷平衡分析 (见图 2)

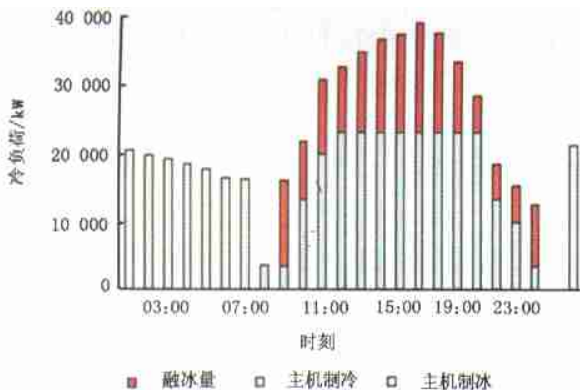


图 2 设计日冷负荷平衡图

6.2 设计日节电费统计 (见表 2)

表 2 设计日节电费统计表

时刻	总冷负荷 /kW	制冷机制冷量/kW		蓄冰槽/kW		节省电费 /元
		主机制冰	主机制冷	储冰量	融冰量	
0:00		20 750		63 900		2 206.6
1:00		20 047		85 460		2 131.8
2:00		19 344		104 733		2 057.0
3:00		18 640		123 303		1 982.2
4:00		17 233		140 465		1 832.6
5:00		16 882		157 277		1 795.2
6:00		16 470		173 740		1 751.4
7:00	3 615		3 615	173 669		0.0
8:00	16 533		6 823	163 889	9 710	-2 368.1
9:00	22 445		20 469	161 842	1 977	-482.0
10:00	31 762		23 880	153 890	7 882	-1 922.1
11:00	33 837		23 880	143 863	9 957	-2 428.1
12:00	36 134		23 880	131 539	12 253	-1 890.8
13:00	38 047		23 880	117 303	14 166	-2 186.0
14:00	38 796		23 880	102 317	14 916	-2 301.6
15:00	40 505		23 880	85 621	16 625	-2 565.3
16:00	38 852		23 880	70 579	14 972	-2 310.3
17:00	34 488		23 880	59 902	10 607	-1 636.8
18:00	29 353		23 880	54 359	5 472	-1 334.6
19:00	18 925		6 823	42 186	12 102	-2 951.3
20:00	15 647		6 823	33 292	8 824	-2 152.0
21:00	12 791		3 411	23 842	9 380	-2 287.5
22:00				23 771		0.0
23:00		21 102		44 803		2 244.0
合计	411 732	150 468	262 889		148 843	-12 815.7

日移高峰电量=15 311 kWh 日移平峰电量=21 378 kWh
注: 1) 全年空调运行时间按 150 天计; 2) 设计日运行 20 天; 3) 80% 负荷运行 60 天; 4) 60% 负荷运行 70 天; 5) 非设计日电费计算略。

由表 2 可计算得: 每年节省电费 237.83 万元。

(上接第 17 页)

整不同使用时段的价格以避免因峰谷用能负荷不合理所导致的一系列问题。

4.3 确定本区域住宅能源利用的远景规划时, 应因地制宜, 积极建立以使用清洁能源和可再生能源为主的新能源格局, 并实现能源供应的小型化、分散化和综合化, 逐步实现住宅的“绿色化”。

参考文献

- 1 Pan Yougui, Li Nianping, Guan Jun, et al. Summer survey and analysis on indoor thermal environment of urban residential buildings in Changsha. The Conference ISHVAC03, 2003
- 2 龙惟定, 张蓓红, 钟婷. 上海住宅空调能源的现状与发展. 见: 全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. 153-161
- 3 JGJ 134-2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准
- 4 GB 50096-1999 住宅设计规范
- 5 武海滨, 朱颖心, 周鹏. 北京市城市居民家用空调器耗电量的调查研究. 见: 暖通空调新技术 2, 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 52-56
- 6 魏润柏, 徐文华. 热环境. 上海: 同济大学出版社, 1994. 120-153
- 7 湖南省统计局. 2001 年湖南统计年鉴 (电子网络版). 2001. <http://www.hntj.gov.cn/>
- 8 GB 50028-93 城市燃气设计规范