

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.04.017



# 重庆城市发展新区村镇住宅建筑用能模型

刘 猛<sup>1</sup>, 凌 疆<sup>1</sup>, 黄春雨<sup>2</sup>, 张 蕴<sup>1</sup>

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045;

2. 奥雅纳工程咨询(上海)有限公司 重庆办事处, 重庆 400045)

**摘 要:**通过对重庆市城市发展新区村镇住宅建筑能耗的全年调研,得到了重庆城市发展新区村镇居民的用能习惯及村镇建筑的能耗水平。采用分类归纳法,对家用电器测试归纳,并对非用电设施调研估算归纳。基于实测数据和调研估算数据建立了重庆城市发展新区村镇住宅建筑用能模型,并进行验证。结果表明,重庆城市发展新区村镇住宅能源消费形式以电为主,为电+燃气+薪柴+煤+太阳能的混合型结构;村镇居民用能习惯在使用何种能源的选择上存在差异,但对同一种能源的使用差异性不大。实测数据表明,所建立的村镇住宅建筑用能模型能准确反映重庆城市发展新区新村镇住宅建筑用能的实际情况。

**关键词:**村镇住宅;用能习惯;能耗;家用电器;模型;

**中图分类号:**TU241.4; TK519 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)04-0125-10

## Energy consumption model of rural households in urban development area of Chongqing

Liu Meng<sup>1</sup>, Ling Jiang<sup>1</sup>, Huang Chunyu<sup>2</sup>, Zhang Yun<sup>1</sup>

(1. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University,

Chongqing 400045, P. R. China; 2. Arup International Consultants (Shanghai) Company

Limited Chongqing Office, Chongqing 400045, P. R. China.)

**Abstract:** Energy consumption survey was carried out to obtain energy use patterns and in urban development area of Chongqing Electricity was the dominant energy source and rural households relied on multi-energy including electricity, gas, firewood, coal, solar to meet their need. Based on the use patterns of different energy sources and electric appliances were analyzed based on the survey. One-min energy consumption data of electric appliances collected using energy monitor instruments were combined with use patterns to establish the energy consumption model of rural households. Energy choices for households in rural area demonstrate diversity, however the daily use patterns of appliances were similar. The model could be used to predict energy consumption of rural households in urban development area of Chongqing.

**Key words:** rural households; energy use pattern; energy consumption; electric appliances; model

收稿日期:2015-03-11

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划重大项目(2013BAJ11B05)

作者简介:刘猛(1979-),男,教授,博士,主要从事绿色建筑技术、建筑节能研究,(E-mail)liumeng2033@126.com。

Received:2015-03-11

**Foundation item:**Key Projects in the National Science & Technology Pillar Program During the Twelfth Five-year Plan Period (No. 2013BAJ11B05)

**Author brief:**Liu Meng(1979-), professor, PhD, main research interests:green building and energy efficiency,(E-mail)liumeng2033@126.com.

国民经济的高速增长以能源消费的高速增长为基础,目前,中国能源消费总量已位居世界第二<sup>[1]</sup>,能源供应压力巨大。随着生活水平的提高及城镇化进程的加快,村镇使用的生物质能逐渐被商品能源取代,村镇住宅建筑能耗巨大。然而,村镇住宅建筑节能尚处于起步阶段,其对社会效益、经济效益和环保效益的影响至关重要,越来越多的研究者已经关注到村镇能耗<sup>[2-3]</sup>,但未研究建立起村镇住宅建筑用能模型。

研究村镇住宅建筑能耗必须对家用电器及其使用习惯进行研究,研究者已经做了大量工作,如 Leahy 等<sup>[4]</sup>、Tso 等<sup>[5]</sup>和 Ouyang 等<sup>[6]</sup>通过问卷调查分别统计了爱尔兰、香港和杭州的家用电器拥有率和使用习惯。相关研究者结合居民使用习惯,建立了住宅家用电器耗电计算模型<sup>[7-11]</sup>。Jones 等<sup>[12]</sup>研究讨论了英国电力消费与社会经济、住宅和家电的关系。Cetin 等<sup>[13]</sup>收集到 40 户住宅的家电能源使用数据,发现家电是电力在美国家庭平均最大的用户。上述研究表明,家用电器耗电量是住宅能耗的重要组成部分。村镇中有大量自然能源可供建筑使用,如生物质能、太阳能等。Saxena 等<sup>[14]</sup>研究认为生物质能是唯一的可再生碳源,物质燃料燃烧的灰渣含有丰富的有机元素,可作为废料还田,减少化肥的使用,可提高能源综合利用水平。王飞等<sup>[15]</sup>分析了中国沼气发展的现状、驱动及制约因素,提出了通过健全后续服务体系、完善相关政策法规等促进中国沼气健康发展的政策建议。罗永成等<sup>[16]</sup>研究认为发展沼气集中供气是推进农村清洁能源的重要途径。李景明等<sup>[17]</sup>全面介绍了各种生物质能开发利用技术及其设施应用情况,指出中国应当优先发展生物质能。太阳能是可再生清洁能源,应当在村镇建筑中推广发展太阳能建筑一体化技术<sup>[18]</sup>。崔晋波等<sup>[19]</sup>和赵珊珊<sup>[20]</sup>分别分析了重庆农村的沼气和太阳能的使用现状、潜力,并给出了建议。

研究村镇住宅建筑用能情况有助于对村镇住宅建筑能耗的了解,通过建立相应用能模型可以找到村镇住宅建筑节能的关注点,为政府制定相应的节能政策提供依据。笔者以重庆城市发展区村镇住宅为例,研究村镇住宅建筑能耗及其用能模型。

## 1 重庆城市发展新区村镇住宅能耗调研分析

### 1.1 调研基本情况

重庆共划分五大功能区,即都市功能核心区、都

市功能拓展区、城市发展新区、渝东北生态涵养发展区、渝东南生态保护发展区,其中城市发展新区为过渡区,最能反映重庆村镇整体情况,笔者以重庆城市发展新区的村镇为主要研究对象。江津区、永川区、长寿区、璧山区是城市发展新区中人口、经济、资源环境最具代表性的 4 个区县,2013 年对这 4 个区县中随机抽取 12 个村镇进行全年调研,随机选取调研住宅建筑样本,调研所得总样本量为 816 份,其中有效总样本量为 654 份。重庆夏季空调供冷需求量大,导致用能量最大;过渡季用能需求量最小;冬季由于部分时间有供暖需求,其用能量处于夏季和过渡季之间。调研有效样本总量中夏季 380 份,过渡季 113 份,冬季 161 份。对于样本的处理有 3 种方法:1)对数据较全的样本,直接使用样本中的数据进行处理;2)对数据部分缺失的样本,其有效数据直接进行处理,对于缺失的数据采用相似样本均值赋值再处理;3)对于数据缺失较多的样本视为无效样本,不作处理。调研周期为每村镇每季节一周,调研内容分 3 部分:家庭及房屋基本信息、家电情况及能源使用情况、用能习惯,具体内容见表 1。

表 1 村镇住宅建筑调研问卷设计内容

Table 1 Content of the questionnaire

各板块名称	具体信息
家庭及房屋基本信息	建筑基本情况(面积、建设年代、类型等),家庭常住人口信息,家庭年收入。
家电情况及能源使用情况	炊事所用能源种类及用量(天然气、煤炉、柴灶、电、液化气罐),生活热水使用来源,用电设备使用情况(种类、台数、功率、使用时间、设备型号),家用电器节能等级,沼气使用(原材料、沼气池容量、沼气使用效果等),太阳能热水器(使用时间、使用效果、不使用原因),其他形式新能源。
用能习惯	家用电器使用习惯、能源使用习惯,空调、采暖(使用方式、使用时间、使用习惯、满意度)。

调研发现,重庆城市发展新区村镇住宅建筑形式简单,建筑分散且不具有规范性和统一性。建筑建造年代集中于 20 世纪 90 年代以后,建造年代分布如图 1 所示。从建筑形式上看,村镇建筑在向城市建筑靠齐,有相当部分居民居住于同一栋楼中,但大多数还是每家一栋建筑。调研的样本中,大部分建筑建造年代较近,且基本符合新农村建设的相关要求,可代表今后的村镇建筑。最常见建筑围护结构热工参数见表 2。建筑外墙材料 90%以上为烧结粘土砖且均未设置保温层。建筑面积变化区间 60~300 m<sup>2</sup>,住宅平均建筑面积 139 m<sup>2</sup>。村镇常住人口

为 2~4 人,平均每户常住人口为 3.5 人,且多为老人和小孩。村镇居民收入主要来源于务农及外出打工,每户年收入平均为 23 924.4 元/a,较 2004 年户均年收入 6 815.5 元同比增长 2.5 倍。

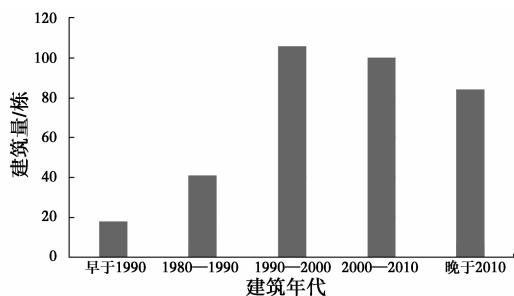


图 1 重庆村镇建筑建造年代分布图

Fig 1 Year of construction of the building in the surveyed area

表 2 重庆村镇住宅建筑围护结构热工参数

Table 2 The thermal performance of the envelop of rural dwelling

围护结构	材 料	传热系数/ (W·(m <sup>2</sup> ·K) <sup>-1</sup> )	遮阳 系数
外墙	20 mm 水泥砂浆+240 mm 红粘土砖+20 mm 水泥砂浆	1.32	
	20 mm 水泥砂浆+240 mm 红粘土砖+20 mm 水泥砂浆		
内墙	红粘土砖+20 mm 水泥砂浆	1.32	
	红粘土砖+20 mm 水泥砂浆		
外窗	普通 6 mm 单玻	5.70	0.85
平屋面	钢筋混凝土防水屋面	1.13	
楼板构件	钢筋混凝土楼板	3.06	

### 1.2 能源结构及能耗水平

通过调研得到重庆城市发展新区村镇住宅建筑中主要拥有家用电器为:灯具、电风扇、空调、电视机、电冰箱、饮水机、电饭煲、电磁炉、洗衣机等,且各类电器耗功率差距不大。平均每户拥有灯具数量最多,为 7~9 盏,功率为 26 W,但使用系数较低。居民白天不使用灯具,从 18:00—19:00 开始使用,晚上 22:00—23:00 就寝、熄灯。除灯具外,每百户家庭拥有量最多为电风扇,为 196 台,其中,客厅吊扇为 80 W,卧室小座扇为 30 W。夏季电风扇的使用分为两种情况:客厅所用的吊扇在午餐时使用,使用时间为 11:50—12:30;座扇使用时间较多,使用时间不固定,使用习惯为全天使用。空调每百户拥有量为 80 台,平均功率为 1 000 W,但为了省电,居民较少开启,多以风扇降温。空调使用习惯为睡前使用,当夜间温度不特别高时,居民选择在睡前使用将房间达到相对较低温度,睡觉时关闭空调,使用时间为 22:00—24:00;当夜间特别热时,使用时间为晚上 22:00 到次日早上 6:00。电视机和电冰箱分别为 139 台和 94 台,平均功率为 70 W 和 485 W。家庭平均每天看电视时间约 12 h,电冰箱则全年全天开启。村镇居民拥有家用电器型号功率及用户使用习惯见表 3。

表 3 主要家用电器型号、功率、用户使用习惯及其测试周期

Table 3 The information of the main appliances (type, use pattern and test period)

用电设备	常见型号	常见功率	使用习惯	测试周期
灯具	节能灯	卧室 11 W/客厅等 26 W	18:00—21:00	卧室 12 月 12 日—18 日 客厅 12 月 18 日—24 日
客厅电风扇	三叶吊扇	80W	11:50—12:30	8 月 13—20 日
卧室电风扇	小座扇	30W	全天不定	8 月 6—13 日
空调	KF-32GW/K B1-N	降温 984 W/制热 1 010 W	22:00—24:00 或 22:00—6:00	采用 DeST 模拟
电视机	SF21366	80W	18:00—22:00 或 9:00—22:00	12 月 3 日—9 日
电冰箱	MideaBCD-206TM	0.47 KWh	全天	12 月 10 日—16 日
饮水机	YLR2-5-X	降温 98 W/制热 500 W	全天	12 月 3 日—9 日
电饭煲	JYF-50YD02	800 W	11:00—12:00 及 17:00—18:00	12 月 30 日—1 月 6 日
电磁炉	WK2102	2 100 W	11:00—12:00 及 17:00—18:00	12 月 30 日—1 月 6 日
洗衣机	TB70-T50181068CL(S)	洗涤 450 W/脱水 450 W	1—2 次/周	12 月 17 日—23 日
脱水机	T68-188C	200 W	1—2 次/周夏季使用较少	12 月 24 日—30 日
微波炉	MG720KG3-NA1	700 W	不定	12 月 30 日—1 月 6 日
电热水壶	HX-18B04 1.8L	1 500 W	8:00—8:20 及 10:00—10:20	12 月 24 日—30 日
电脑主机	台式机 Lenovo-s515	180 W	较少使用	11 月 26 日—12 月 2 日
电脑显示屏	液晶显示屏 S19C200NW	19 W	较少使用	11 月 26 日—12 月 2 日
电热毯	KTA25-8	90W	22:00—6:00	2014 年 1 月 6 日—12 日
电烤火炉	NSB-9	高档 900 W/低档 200 W	不定	2014 年 1 月 12 日—18 日

天然气平均每户使用量为  $25 \text{ m}^3/\text{月}$ , 人均每月使用量约为  $9 \text{ m}^3/(\text{月} \cdot \text{人})$ 。液化石油气平均每月一罐或每两月一罐。380 户居民中仅 10 户居民使用蜂窝煤进行做饭、烧水, 使用比例仅为 2.6%。

使用薪柴作为炊事能源的居民户数为 175 户, 占总户数的 46.1%, 每户薪柴月使用量集中在  $150 \sim 250 \text{ kg}$  范围。在调研所有样本中, 仅 69 户家庭拥有沼气池, 沼气的容量为  $10 \text{ m}^3$  左右。71% 的沼气用户有圈养猪或其他动物, 因此, 沼气产量能满足日常需求的沼气用户比例超过 60%, 其中, 满足且富裕的占 17%, 基本满足的占 43%, 仅约 18% 沼气池不能满足。重庆村镇居民使用太阳能制取生活热水, 约 23% 的家庭使用太阳能热水器, 其满足率在夏季约 90%, 过渡季约 70%, 冬季仅 20%。生物质能和村镇太阳能是有别于传统商业能源的新能源, 值得大力推广和发展。但就目前各类能源的应用情况看, 薪柴的利用比例较高, 但其较低的燃烧效率和随着天然气的发展会使得其使用率减少, 沼气和太阳能的使用率依然不高, 但根据文献[19]和[20]分析得到沼气和太阳能应用于重庆农村建筑是有潜力的, 因此应当采取更多科学可行的措施激励新能源的使用。

综上所述, 重庆城市发展新区村镇住宅能源消费形式以电为主, 为电+燃气+薪柴+煤+太阳能的混合型结构。居民的生活用能习惯在纵向上存在差异, 但在横向上差异不大, 即村镇居民用能习惯在使用何种能源的选择上存在差异, 但对同一种能源的使用差异性不大。

## 2 重庆城市发展新区村镇住宅用能模型

对村镇住宅常用家用电器的用电特性实测, 基于实测结果建立有物理基础的用电模型; 结合调研数据, 理论估算天然气耗量、液化石油气耗量、薪柴耗量、沼气耗量等。结合居民生活作息及用能习惯, 建立村镇住宅建筑用能模型, 将其归类简化并以数学函数表达, 再结合调研数据对村镇住宅建筑用能模型进行验证。

### 2.1 用能模型建立方法

2.1.1 家用电器用能模型建立方法 对重庆村镇主要家用电器实测, 测试内容为使用时间及逐时功率, 每类被测家电为 2 组, 测量结果相互比较验证。测试仪器为 AWE21 系列功率分析仪, 如图 2 所示。

测试时间周期为 7 d, 见表 3。考虑 7 d 中用能量位于中位数那天作为典型日作逐时功率图, 得到家用电器的用电特性曲线, 部分常用家用电器用电特性曲线如图 3 所示。

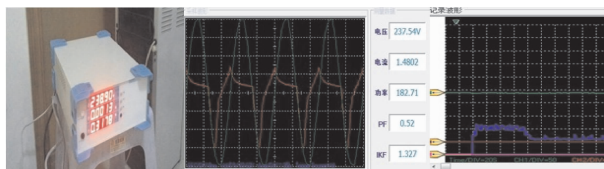


图 2 测试现场及仪器界面

Fig 2 The instrument used to monitor hourly power of main appliance

根据测试得到的部分家用电器用电曲线, 并归纳其特点:

1) 灯具: 常用灯具位于卧室和客厅。居民使用灯具的时间较为固定, 卧室为 18:00—23:30, 客厅为 17:15—18:45, 晚间看电视时有较少部分居民开启客厅灯。卧室灯具实测功率约为  $12 \sim 13 \text{ W}$ , 客厅灯具约为  $20 \sim 22 \text{ W}$ , 日均耗电量约为  $0.057 \text{ kWh}$ 、 $0.044 \text{ kWh}$ 。

2) 电风扇: 常用电风扇为吊扇和小座扇。吊扇位于饭厅, 午饭时间开启, 运行约 1 h, 启动功率达  $90 \text{ W}$ , 正常运行功率为  $70 \text{ W}$ , 日均耗电量约为  $0.066 \text{ kWh}$ 。小座扇使用时间较为灵活, 开启时间为  $5 \sim 6 \text{ h}$ , 功率值分 3 档为  $27$ 、 $30$ 、 $33 \text{ W}$ , 日均耗电量约为  $0.217 \text{ kWh}$ 。

3) 电视机: 位于客厅或主卧, 户均 1 台, 运行时间为 18:00—22:30, 运行功率  $58 \sim 60 \text{ W}$ , 待机功率约  $0.6 \text{ W}$ , 日均耗电量约为  $0.363 \text{ kWh}$ 。

4) 电冰箱: 全天使用, 用电特点为长期间歇运行, 且每段运行均有尖峰功率且功率值不稳定, 通常为  $110 \text{ W}$ , 最高可达  $178.29 \text{ W}$ , 运行功率为  $80 \text{ W}$ , 日均耗电量约为  $0.476 \text{ kWh}$ 。

5) 饮水机: 全天使用, 用电特点为长期间歇运行, 耗功率与饮水量无明显关系, 加热功率约  $560 \text{ W}$ , 待机功率约为  $0.3 \text{ W}$ , 日均耗电量约为  $0.668 \text{ kWh}$ 。

6) 电饭煲: 户均 1 台, 使用频率为  $2 \sim 3 \text{ 次/d}$ 。电饭煲具有两种运行模式: 煮饭时, 功率约为  $520 \text{ W}$ ; 保温状态时, 功率约为  $45 \text{ W}$ 。其耗功率与煮饭量有关, 中午使用的煮饭运行时间和保温运行时间分别为  $32$ 、 $20 \text{ min}$ , 晚上分别为  $22$ 、 $6 \text{ min}$ 。日均耗电量约为  $0.657 \text{ kWh}$ 。

7) 电磁炉: 虽然居民拥有电磁炉户数较多, 但其

使用频率并不高,约 3~4 次/月,且使用时间不固定。额定功率为 2 100 W,分 8 档,炒菜时一般选择

1 200 W 档,运行时长约 15 min,每次耗电量约为 0.346 kWh,日均耗电量估算为 0.05 kWh。

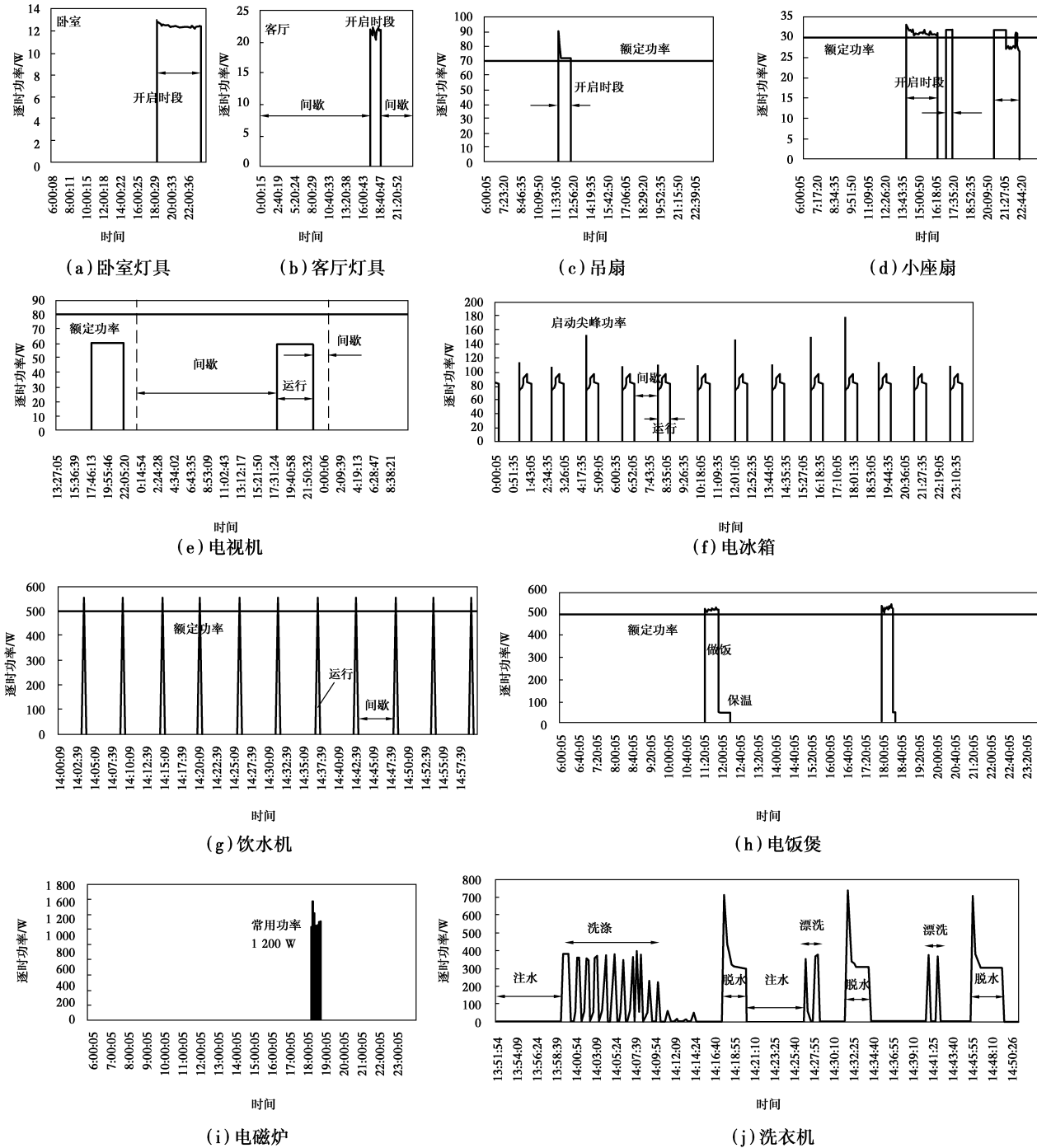


图 3 重庆村镇住宅部分常用家用电器用电特性曲线

Fig 3 The hourly power of main appliances

8) 洗衣机:最常使用的洗衣机为波轮式全自动洗衣机,户均 1 台,使用频率约为 2~3 次/周。运行过程为注水、洗涤、漂洗、脱水 4 个过程,洗涤过程功率与漂洗过程功率基本一致,约为 380 W,脱水功率有两个档,达到顶峰约为 730 W,另一档约为

300 W。每次耗电量约为 0.1 kWh,日均耗电量估算为 0.03 kWh。

2.1.2 非用电设施用能模型建立方法 重庆城市发展新区村镇天然气用于炊事、生活热水。根据调研得到常住人口以及居民洗澡频率和洗澡时间,可

估算出生活热水的天然气耗量。用同样的方法可估算出液化石油气和煤炭耗量。

生物质能用于炊事、生活热水、家畜饲养和取暖。村镇居民将农作物和木材直接燃烧进行炊事，直接燃烧采用传统生物质柴灶，其效率  $\eta_b$  仅为 15%~20%<sup>[21]</sup>，由此采用估算法可得村镇生物质能耗量。沼气原材料来自于粪便，人畜粪便资源量是以人口数、禽畜数、年平均排泄量为基础进行估算，在计算儿童、幼畜的粪便资源量时，要乘以成幼系数<sup>[22]</sup>。不同沼气原料的基础数据见表 4。生物质能余热利用不计入能源消耗模型中。

表 4 不同沼气原料的产气率、含水率值

Table 4 Biogas production rate, moisture content value of various biomass

原料	总固体		原料	总固体	
	产气率/ ( $m^3 \cdot kg^{-1}$ )	含水率/%		产气量/ ( $m^3 \cdot kg^{-1}$ )	含水率/%
人粪	0.43	80	蛋鸡粪	0.31	83
猪粪	0.43	82	羊粪	0.33	68
牛粪	0.21	83	兔粪	0.30	75
肉鸡粪	0.31	70	秸秆	0.41	20

重庆属于太阳能资源贫乏区且具有明显的季节性，5—9 月份的太阳能热水可满足标准要求。村镇居民常用家用真空式太阳能热水器，相关参数见表 5。由此可估算出太阳能产水量和耗电量。

表 5 太阳能热水器型号及参数

Table 5 Details of solar heat water system

型号	真空管 长/mm	管数	水箱容 积/L	外形 尺寸	倾角/ (°)	电辅助 功率/kW
TJ-480-58/	$\Phi 58 \times$	20	160	1 730 mm×	50	1.5
1820-RL	1 800			1 740 mm×		
				1 890 mm		

## 2.2 村镇居民用能习惯

通过调研对重庆城市发展新区村镇居民日常生活规律进行访问，发现与城市居民生活习惯差别较大，主要原因为农村生活有农忙和农闲两个时段。重庆村镇居民种植农作物以粮食作物和蔬菜作物为主，以经济作物和果类为辅，但部分居民以后者为主。农忙时段分别在 10 月中旬秋收和种菜，8 月中旬收水稻，4 月中下旬种植，分别持续半月至一月的时间。据调研发现，农忙和农闲时居民的生活习惯差异较大，主要体现在时间安排上，如平时 6、7 点起

床，农忙时节 5 点就起床；待在家中的时间长短有差异，导致用能的时间有差异。但通过调研数据发现，其对于用能量的影响不大，原因在于：1) 农忙农闲对于炊事用能、照明能耗影响不大；2) 由于城市发展区靠主城较近，大部分村镇居民会选择进城打工，使得农闲时居民也不会长时间呆在家中而产生相应能耗；3) 农忙时，居民较少呆在家里，电扇降温 and 空调能耗会相应减少，但和农闲时并无很大差异；4) 对有小孩或青少年的家庭，农忙和农闲对村镇家庭用能的影响更小。结合调研情况，再采用随机生成法<sup>[7]</sup>，可总结出重庆地区村镇住宅居民农忙和农闲时典型作息时间表、生活用能时间分布如图 4 所示。

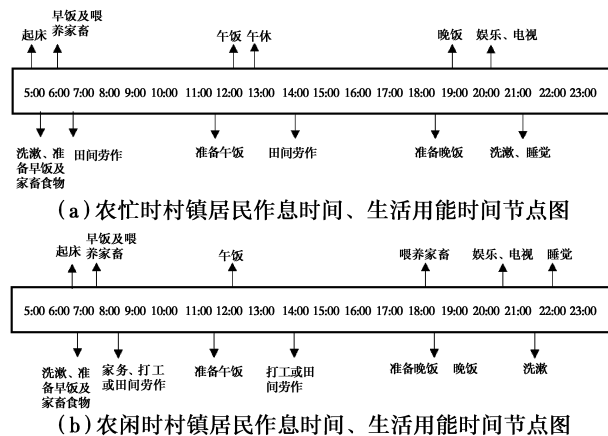


图 4 村镇居民作息时间表、生活用能时间分布图

Fig 4 The daily occupant's behavior

## 2.3 用能模型建立

根据能源种类不同，对每种能源形成相应的用能曲线，可得到 3 种典型用能模型：间歇运行式、周期运行式、多状态运行，用能模型如图 5 所示。结合用电设备平均用电量和不同季节居民用能习惯，建立村镇住宅用能模型，见表 6。

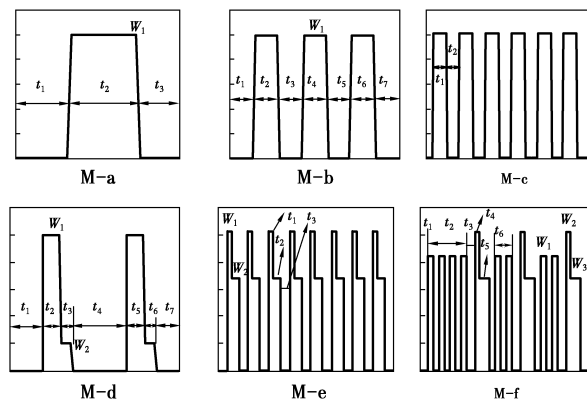


图 5 用能模型示意图

Fig 5 the typical energy consumption of main appliance

表 6 村镇住宅建筑用能模型

Table 6 Energy consumption model of rural dwelling

能源种类	分项用能	用能模型	模型函数表达式
电能	卧室灯具	M-a	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3) + W_1 \times t_2$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 17.77; t_3 = 1.43; W_1 = 12.5 \times 10^{-3}; t_2 = 4.8$
	客厅灯具	M-a	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3) + W_1 \times t_2$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 17.23; t_3 = 5.31; W_1 = 21.9 \times 10^{-3}; t_2 = 1.46$
	吊扇	M-a	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3) + W_1 \times t_2$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 11.08; t_3 = 12.01; W_1 = 71.8 \times 10^{-3}; t_2 = 0.91$
	小座扇	M-b	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5 + t_7) + W_1 \times (t_2 + t_4 + t_6)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 13.9; t_3 = 0.61; t_5 = 3.12; t_7 = 1.55; W_1 = 31.1 \times 10^{-3}; t_2 = 2.4; t_4 = 0.5; t_6 = 1.9$
	空调		家有两台空调:年累计耗电量为 974.32 kWh;家有一台空调:年累计耗电量为 543.71 kWh。
	电视机	M-a	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3) + W_1 \times t_2$ , 式中: $W_0 = 0.612 \times 10^{-3}; t_1 = 18.08; t_3 = 1.39; W_1 = 59.1 \times 10^{-3}; t_2 = 4.53$
	电冰箱	M-e	$Q_d = (W_1 \times t_1 + W_2 \times t_2 + W_0 \times t_3) \times 13.5$ , 式中: $W_1 = 108.6 \times 10^{-3}; t_1 = 0.013; W_2 = 87.23 \times 10^{-3}; t_2 = 0.62; W_0 = 1.5 \times 10^{-3}; t_3 = 1.15$
	饮水机	M-c	$Q_d = (W_1 \times t_1 + W_0 \times t_2) \times 240$ , 式中: $W_1 = 574 \times 10^{-3}; t_1 = 0.0049; W_0 = 0.32 \times 10^{-3}; t_2 = 0.0951$
	电饭煲	M-d	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_4 + t_7) + W_1 \times (t_2 + t_5) + W_2 \times (t_3 + t_6)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 11.42; t_4 = 5.68; t_7 = 5.52; W_1 = 520 \times 10^{-3}; t_2 = 0.54; t_5 = 0.38; W_2 = 45.5 \times 10^{-3}; t_3 = 0.34; t_6 = 0.11$
	电磁炉	M-b	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_9) + W_{01} \times (t_2 + t_8) + W_1 \times (t_3 + t_5 + t_7) + W_{02} \times (t_4 + t_6)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 18; t_9 = 5.2; W_{01} = 1.44 \times 10^{-3}; t_2 = 0.19; t_8 = 0.22; W_1 = 1.273; t_3 = 0.135; t_5 = 0.067; t_7 = 0.063; W_{02} = 5.46 \times 10^{-3}; t_4 = 0.058; t_6 = 0.054$
	洗衣机	M-f	$Q_m = [W_0 \times (t_0 + t_{01}) + W_{01} \times (t_1 + t_3 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10}) + W_1 \times t_2 + W_1 \times t_6 \times 2 + (W_2 \times t_4 + W_3 \times t_5) \times 3] \times (4 \sim 6)$ , 式中: $W_0 = 0; t_0 = 13.87; t_{01} = 9.43; W_{01} = 7.8 \times 10^{-3}; t_1 = 0.12; t_3 = 0.05; t_7 = 0.096; t_8 = 0.046; t_9 = 0.071; t_{10} = 0.025; W_1 = 116.7 \times 10^{-3}; t_2 = 0.25; t_6 = 0.042; W_2 = 716.2 \times 10^{-3}; W_3 = 313.3 \times 10^{-3}$
	脱水机	M-d	$Q_m = [W_0 \times (t_1 + t_4) + W_1 \times t_2 + W_2 \times t_3] \times 8$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 13.27; t_4 = 10.67; W_1 = 213.1 \times 10^{-3}; t_2 = 0.008; W_2 = 135 \times 10^{-3}; t_3 = 0.054$
	微波炉	M-a	$Q_m = W_0 \times (t_1 + t_3) + W_1 \times t_2$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 13.5; t_3 = 10.46; W_1 = 70.8 \times 10^{-3}; t_2 = 0.038$
	电热水壶	M-b	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5) + W_1 \times (t_2 + t_4)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 8.27; t_3 = 6.15; t_5 = 9.36; W_1 = 1.55; t_2 = 0.12; t_4 = 0.1$
	电脑	M-b	假期模式: $Q_m = [W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5) + W_1 \times (t_2 + t_4)] \times 24$ , 式中: $W_0 = 1.32 \times 10^{-3}; t_1 = 10; t_3 = 1.24; t_5 = 3.21; W_1 = 83.2 \times 10^{-3}; t_2 = 1.18; t_4 = 8.37$ 非假期模式: $Q_m = [W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5) + W_1 \times (t_2 + t_4)] \times 4$ , 式中: $W_0 = 1.32 \times 10^{-3}; t_1 = 10; t_3 = 1.24; t_5 = 3.21; W_1 = 83.2 \times 10^{-3}; t_2 = 1.18; t_4 = 8.37$
电热毯	M-a	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3) + W_1 \times t_2$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 21.8; t_3 = 1.37; W_1 = 133.7 \times 10^{-3}; t_2 = 0.83$	
电烤火炉	M-d	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_4) + W_1 \times t_2 + W_2 \times t_3$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 18.97; t_4 = 1.36; W_1 = 853.4 \times 10^{-3}; t_2 = 2.01; W_2 = 173.6 \times 10^{-3}; t_3 = 1.66$	
天然气	M-b	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5 + t_7) + W_1 \times (t_2 + t_4 + t_6)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 6.5; t_3 = 4.5; t_5 = 6.17; t_7 = 5.83; W_1 = 0.31; t_2 = 0.33; t_4 = 0.33; t_6 = 0.33$	
其他商品能	液化石油气	M-b	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5 + t_7) + W_1 \times (t_2 + t_4 + t_6)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 6.5; t_3 = 4.5; t_5 = 6.17; t_7 = 5.83; W_1 = 0.43; t_2 = 0.33; t_4 = 0.33; t_6 = 0.33$
	煤	M-b	$Q_d = W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5 + t_7) + W_1 \times (t_2 + t_4 + t_6)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 6.5; t_3 = 4; t_5 = 5.67; t_7 = 5.33; W_1 = 0.23; t_2 = 0.83; t_4 = 0.83; t_6 = 0.83$

续表

能源种类	分项用能	用能模型	模型函数表达式
生物质能	薪柴	M-b	$Q_a = W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5 + t_7) + W_1 \times (t_2 + t_4 + t_6)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 6.5; t_3 = 4; t_5 = 6; t_7 = 5.5; W_1 = 4.07; t_2 = 0.67; t_4 = 0.67; t_6 = 0.67$
	沼气	M-b	$Q_m = [W_0 \times (t_1 + t_3 + t_5 + t_7) + W_1 \times (t_2 + t_4 + t_6)] \times 10$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 6.5; t_3 = 4.5; t_5 = 6.17; t_7 = 5.83; W_1 = 0.48; t_2 = 0.33; t_4 = 0.33; t_6 = 0.33$
可再生能源	太阳能	M-b	$Q_m = \zeta [W_0 \times (t_1 + t_3) + W_1 \times t_2] (1 - \eta)$ , 式中: $W_0 = 0; t_1 = 17; t_3 = 2.67; W_1 = 1.5; t_2 = 4.33; \zeta_s = 30; \zeta_T = 2 \times 30 / 4; \zeta_w = 2 \times 30 / 5; \eta_s = 100\%; \eta_T = 15.3\%; \eta_w = 8.3\%$

注:表中  $Q_a$  为每天的用能量,  $Q_m$  为月用能量。当能源为电时,量纲为  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ; 当用能量为天然气时,量纲为  $\text{m}^3$ ; 待机能耗记为  $W_0$ ; 运行功率  $W_i$  (量纲: 电为  $\text{kW}$ ; 薪柴为  $\text{kg/h}$ ; 液化石油气为  $\text{kg/h}$ ; 天然气、沼气为  $\text{m}^3/\text{h}$ ); 时间  $t$  (量纲:  $\text{h}$ ); 季节使用系数记为  $\zeta$ , 与洗浴频率一致;  $\zeta_s$  表示夏季使用系数;  $\zeta_T$  表示过渡季节使用系数;  $\zeta_w$  表示冬季使用系数; 不同季节太阳能热水器满足率记为  $\eta$ ; 夏季表示为  $\eta_s$ ; 过渡季节表示为  $\eta_T$ ; 冬季表示为  $\eta_w$ 。

村镇住宅建筑用能模型中,农忙和农闲时段对模型中的时间取值有影响的参数为灯具、电扇、空调、电热水壶和电脑。通过调研发现,农忙和农闲时主要影响的是早起的时间和白天在家待得总时长。白天在家时,不开灯无照明能耗;而农忙早起所产生的灯具照明能耗和农忙时早睡所节省能耗的可大致抵消,因此,农忙和农闲对灯具照明取值时间影响不大。农忙和农闲对电扇、空调使用时间影响较大。但由于城市发展新区离主城较近,家庭主要收入来源不单靠务农,也有进城务工所得,因此,农闲时大部分居民都会选择进城打工,也会减少相应能耗。农忙时,对电热水壶能耗的贡献可为正值也可为负值,部分居民出门务农时都会带上热水,因此,离家之前会多烧几壶水;也有部分居民因为农忙而减少使用电热水壶的次数。据调研,由于村镇居民家中少有电脑,农忙和农闲对此的影响更小。同时发现,若家中有小孩或青少年,农忙和农闲对该家庭能耗的影响更小。综上分析,农忙和农闲时对家庭用能量的影响差别不大,根据调研实际整理得到模型中的用能时间取值。

### 2.4 用能模型验证

基于上述用能模型经过用能逻辑化结合使用系数模拟出重庆城市发展新区村镇住宅的用能量,应用到所调研的全部住宅。再将全年各月所调研的不同住宅的基础数据与模型计算所得用能数据进行对比,用以验证村镇住宅建筑用能模型,夏季电能模型计算值与实际调研值对比,如图 6 所示。

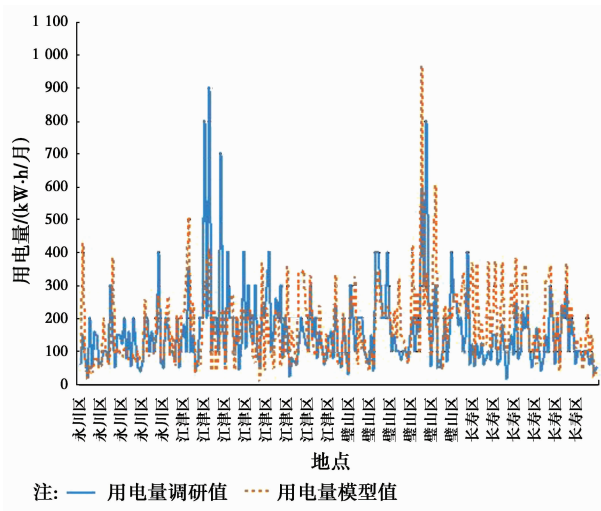


图 6 重庆城市发展新区村镇住宅建筑夏季电能模型计算值与实际调研值对比

Fig 6 Electricity consumption in summer model and survey

通过正态函数检验,用能分布基本符合正态分布或近似正态分布。对模型值与调研值的方差及均值显著性分析,即对其进行  $F$  检验及配对  $T$  检验,采用 SPSS 软件进行计算,结果见表 7。

$F$  检验中显著性水平  $>0.05$ ,说明调研值的方差在满足置信水平为 95% 不存在显著差异,可认为能耗模型值与调研值的方差相等。 $T$  检验中显著性水平  $>0.05$ ,说明模型值与调研值的均值在满足置信水平为 95% 不存在显著差异,说明该模型可反映出村镇住宅建筑用能实际情况。



表7 用能模型值及调研值的F及配对T检验结果

Table 7 The comparison between results of energy consumption model and survey

季节	能源种类	F 检验			配对 T 检验			
		df	F	Sig.	均值	标准误	T	Sig. (双侧)
夏季	电能	449	0.439	0.508	-6.68	3.78	-1.765	0.079
	其他商品能	164	5.187	0.342	3.45	1.56	2.683	<b>0.046</b>
	生物质能	223	3.149	0.850	-47.2	17.5	-5.053	0.314
	可再生能源	34	0.964	0.268	1.83	2.06	0.853	0.423
过渡季	电能	145	0.411	0.522	4.61	4.03	1.144	0.256
	其他商品能	73	5.371	0.231	5.34	2.73	2.834	<b>0.012</b>
	生物质能	64	11.46	<b>0.024</b>	-32.5	50.3	-4.078	<b>0.002</b>
	可再生能源	4	1.453	0.107	2.25	1.64	1.453	0.267
冬季	电能	211	0.206	0.650	3.55	4.48	0.793	0.429
	其他商品能	114	0.003	0.893	0.054	2.03	0.016	0.964
	生物质能	98	0.564	0.493	-41.64	33.67	-1.284	0.454
	可再生能源	6	1.324	0.531	-1.39	1.85	-1.267	0.389

注:表中粗体字,表示其模型值与调研值存在显著差异

### 3 结论

通过对重庆城市发展新区12个村镇的住宅建筑全年调研,得到调研样本总量816份,其中有效调研问卷654份,了解到重庆城市发展新区村镇基本情况包括住宅建筑、居民和居民经济情况,得到重庆城市发展新区村镇居民的用能习惯及其村镇建筑的能耗水平,并得出以下结论:

1)重庆城市发展新区村镇住宅能源消费形式以电为主,为电+燃气+薪柴+煤+太阳能的混合型结构。

2)居民的生活用能习惯在纵向上存在差异,但在横向上差异不大,即村镇居民用能习惯在使用何种能源的选择上存在差异,但对同一种能源的使用差异性不大。

3)生物质能和太阳能等新能源的使用率依然较低,应当采取更多科学可行的措施激励村镇居民使用。

4)建立了重庆城市发展新区村镇住宅建筑用能模型,并对其进行了验证,该模型能准确反映出重庆城市发展新区村镇建筑用能实际情况。

基于村镇住宅建筑用能模型,可以找到村镇住宅建筑节能关注点,从而政府可针对其制定相应的重庆村镇住宅建筑节能政策,更好地实现村镇建筑用能规划,减少村镇建筑能耗。

### 参考文献:

- [1] 许红星. 我国能源利用现状与对策[J]. 中外能源, 2010,15(1):3-14.  
Xu H X. The present situation and countermeasures of energy utilization in China [J]. Sino-Global Energy, 2010, 15(1): 3-14. (in Chinese)
- [2] 高玉磊,张旭,王婧,等. 西北寒冷地区典型村镇能源结构调研及分析[J]. 建筑节能,2011,39(5): 32-36.  
Gao Y L, Zhang X, Wang Q, et al. Energy system research and analysis of the typical villages in the northwest cold area [J]. Building Energy Efficiency, 2011, 39(5):32-36. (in Chinese)
- [3] 卢玫珺,张少伟,魏文立. 寒冷地区农村住宅用能情况及优化策略研究[J]. 住宅科技,2010,30(6): 1-4.  
Lu M J, Zhang S W, Wei W L. Research on energy consumption status of rural residence in cold district and the optimization strategy [J]. Housing Science, 2010, 30(6):1-4. (in Chinese)
- [4] Leahy E, Lyons S. Energy use and appliance ownership in Ireland [J]. Energy Policy, 2010, 38 (8): 4265-4279.
- [5] Tso G K F, Yau K K W. A study of domestic energy usage patterns in Hong Kong [J]. Energy, 2003, 28 (15):1671-1682.
- [6] Ouyang J L, Hokao K. Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China [J]. Energy and Buildings, 2009, 41(7):711-720.
- [7] Yao R M, Steemers K. A method of formulating

- energy load profile for domestic buildings in the UK [J]. *Energy and Buildings*, 2005, 37(6): 663-671.
- [8] Paatero J V, Lund P D. A model for generating household electricity load profiles [J]. *International Journal of Energy Research*, 2006, 30(5):273-290.
- [9] Kavgić M, Mavrogianni A, Mumović D, et al. A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector [J]. *Building and Environment*, 2010, 45(7):1683-1697.
- [10] Sandels C, Widen J, Nordstrom L. Forecasting household consumer electricity load profiles with a combined physical and behavioral approach [J]. *Applied Energy*, 2014, 131: 267-278.
- [11] 任晓欣, 胡姗, 燕达, 等. 基于实测的家用电器用电模型研究[J]. *建筑科学*, 2012(Sup2): 223-231.  
Ren X X, Hu S, Yan D, et al. Research on electricity consumption model of household appliances: A measurement-based analysis [J]. *Building Science*, 2012(Sup2):223-231. (in Chinese)
- [12] Jones R V, Fuertes A, Lomas K J. The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2015, 43:901-917.
- [13] Cetin K S, Tabares-Velasco P C, Novoselac A. Appliance daily energy use in new residential buildings: Use profiles and variation in time-of-use [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 84:716-726.
- [14] Saxena R C, Adhikari D K, Goyal H B. Biomass-based energy fuel through biochemical routes; a review [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(1): 167-178.
- [15] 王飞, 蔡亚庆, 仇焕广. 中国沼气发展的现状、驱动及制约因素分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(1): 184-189.  
Wang F, Cai Y Q, Qiu H G. Current status, incentives and constraints for future development of biogas industry in China [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(1): 184-189. (in Chinese)
- [16] 罗永成. 发展沼气集中供气是推进农村清洁能源的重要途径[J]. *能源与环境*, 2015(1): 95-96.  
Luo Y C. An important way to advance rural clean energy is the development of centralized biogas [J]. *Energy and Environment*, 2015 (1): 95-96. (in Chinese)
- [17] 李景明, 薛梅. 中国生物质能利用现状与发展前景[J]. *农业科技管理*, 2010, 29(2): 1-4, 11.  
Li J M, Xue M. The status quo of biomass utilization and its application prospects in China [J]. *Management of Agricultural Science and Technology*, 2010, 29(2): 1-4, 11. (in Chinese)
- [18] 李峥嵘, 李星, 李鹏. 太阳能建筑一体化技术村镇建筑应用调查研究[J]. *上海节能*, 2010, 12: 18-22.  
Li Z R, Li X, Li P. Investigation on application of building integrated solar technology in town constructions [J]. *Shanghai Energy Conservation*, 2010, 12:18-22. (in Chinese)
- [19] 崔晋波, 高立洪, 李萍, 等. 重庆地区农村沼气发展研究与建议[J]. *农业工程*, 2012(3): 33-36.  
Cui J B, Gao L H, Li P, et al. Suggestions and research of rural biogas development in Chongqing city [J]. *Agricultural Engineering*, 2010(3): 33-36. (in Chinese)
- [20] 赵珊珊. 重庆农村地区太阳能利用情况调查及综合效益分析[D]. 重庆:重庆大学, 2010.  
Zhao S S. The investigation of the utilization of solar energy and analysis of comprehensive benefits in rural areas of Chongqing [D]. Chongqing: Chongqing University, 2010. (in Chinese)
- [21] 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 2012 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
- [22] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙. 生物质能利用原理与技术 [M]. 北京:化学工业出版社, 2005.

(编辑 胡英奎)