

# 武汉市住宅不同空调方案 夏季能耗对比调查分析<sup>\*</sup>

航天低温推进剂技术国家重点实验室 总装备部工程设计研究总院 李兆坚<sup>☆</sup>  
中信建筑设计研究总院有限公司 王 凡  
总装备部工程设计研究总院 李玉良 吴 飞

**摘要** 为了解南方炎热地区城市住宅常用空调方案的夏季能耗状况与差异,2012 年夏季,采用抄表拆分调查法对武汉市某住宅小区中采用不同空调方案的 560 个住户的夏季空调能耗进行对比调查分析。结果表明,采用分体空调的住宅楼的户均空调能耗为 758 kW·h,平均空调能耗指标为 5.68 kW·h/m<sup>2</sup>;采用户式集中空调的住宅楼的户均空调能耗为 1 266 kW·h,平均空调能耗指标为 8.05 kW·h/m<sup>2</sup>。后者空调能耗指标比前者约大 42%,但两者的能耗水平远低于集中空调,因此认为住宅空调应坚持走分散空调的道路。采用分体空调的住宅楼不同住户之间的空调能耗存在很大差异,这表明住户空调需求和空调开机行为存在很大差异。满足不同住户的不同空调需求,充分发挥出住户空调行为节能的潜力,是建筑空调节能技术发展的一个重要方向。

**关键词** 住宅 空调方案 能耗 调查 行为节能 武汉市

## Contrastive survey on summer energy consumption of air conditioning in urban residential buildings with different air conditioning schemes in Wuhan

By Li Zhaojian<sup>★</sup>, Wang Fan, Li Yuliang and Wu Fei

**Abstract** To acquire the status and differences of energy consumption of different air conditioning schemes in urban residential buildings in hot summer zones, uses the power meter data-split method to survey and analyse contrastively the energy consumptions of air conditioning of 560 households with different air conditioning schemes in a residential quarters in Wuhan in summer, 2012. The results show that the average energy consumption for one household is 758 kWh and the average air conditioning energy index is 5.68 kWh/m<sup>2</sup> for the households using split air-conditioners and 1 266 kWh and 8.05 kWh/m<sup>2</sup> for the households using household central air conditioners. The energy index for the latter is 42% higher than that for the former. The level of energy consumption of spilt air conditioner and household central air conditioner is much lower than that of central air conditioning systems. Hence, it is recommended that decentralized air conditioners be adopted for residential buildings. The energy consumption difference of spilt air conditioners among different households is bigger, which shows that there is obviously difference in air conditioning demand and behaviour of using air conditioning among households. It is an important direction for the development of energy saving technology of building air conditioning to satisfy different demands of different households and to make full use of energy saving potential of household air conditioning behaviour.

**Keywords** residence, air conditioning scheme, energy consumption, survey, behaviour energy-saving, Wuhan

<sup>★</sup> State Key Laboratory of Technologies in Space Cryogenic Propellants, Center for Engineering Design and Research under the Headquarters of General Equipment, Beijing, China

①

## 0 引言

空调是住宅用电大户之一,近 10 多年来,随着城镇居民生活水平的快速提高,城镇住宅空调器的拥有量呈现出爆炸性增长的趋势,2010 年我国城镇住宅空调器拥有量高达 2.61 亿台<sup>[1]</sup>。因此防止住宅空调能耗的过快增长已经成为我国建筑节能工作中一个亟待研究解决的重要课题。以往我国住宅空调通常采用分体空调方案,但该方案存在分体空调器能效比不高、空调室外机较多、影响建筑美观等问题,近 20 年来,不少学者、空调厂家和住宅开发商一直在探索新的住宅空调技术方案,希望能够找到更节能、更舒适、更美观的住宅空调方案。20 世纪 90 年代中期<sup>[2]</sup>,被认为集中了分体空调和大型集中空调的优点的户式集中空调方案开始在我国住宅中应用,并得到了较快发展<sup>[3]</sup>,目前户式集中空调在我国住宅中得到了一定规模的推广应用,尤其在高档住宅小区中应用较多。近 10 年来,采用了一些节能技术的集中空调方案被应用于一些高档住宅,并被认为是住宅空调节能技术新的发展方向。摒弃传统的分散式空调、走向集中式空调,实现住宅空调的更新换代,这已经成为我国住宅空调技术发展的主流趋势。为此国内分体空调器厂家纷纷转型,大力发展户式集中空调和集中空调设备。户式集中空调和住宅集中空调成为住宅空调的研究热点,很多理论分析结果表明,户式集中空调的能耗远低于分体空调,其节能效果十分明显。文献[4]通过对上海市不同住宅空调方案的计算对比分析,认为“户式集中空调比传统的分体式空调节能近 40%,户式集中空调是舒适、美观、节能的空调技术方案,是住宅空调的主导方向,分体空调将被户式集中空调所取代”,这代表了住宅空调相关理论研究的主流观点。但近年来的一些实际调查结果却与该观点相反。笔者于 2006 年对北京市某高档住宅小区中采用不同空调方案的住宅楼的空调能耗进行了实测对比调查,发现分体空调、户式集中空调(多联式)、节能集中空调的住宅楼的空调能耗指标的比例为 1:1.8:6.7<sup>[5]</sup>。采用不少节能技术的集中空调节能样板楼的空调能耗指标远高于分体空调和户式集中空调,户式集中空调的能耗指标也比分体空调高 80%。文献[6]于 2010 年通过对武汉市一些户式集中空调使用状况的问卷调查发现,“由于户式集中空调吹风感强,

噪声和共振明显,每月上千元高昂的运行费用使这些家庭在感觉到很热时才会开启空调。户式集中空调并未达到改善室内环境品质的初衷,它并不适合我国大城市的住宅”。可见目前对住宅空调方案节能性的评价存在很大差异,由此对我国住宅空调的发展方向产生了完全不同的看法,因此有必要对这一重要问题进行深入研究。我国住宅分体空调器和户式集中空调设备通常为间歇运行,其能耗不仅与众多客观因素有关,还与住户空调开机的主观行为因素有很大关系,而且不同住户的空调开机行为呈现出很强的差异性、随机性和不确定性,采用现有的理论分析方法还难以对此进行准确计算分析,只有进行实际调查才能获得住宅空调能耗的真实状况。以往不少学者对我国住宅空调能耗进行了调查研究<sup>[5-24]</sup>,但其中绝大多数是针对住宅分体空调方案的能耗调查,对住宅集中空调方案能耗的调查很少,对户式集中空调方案能耗的调查更少。为了解住宅不同空调方案的能耗差异,应在同一地区选择其他条件基本相同而空调方案不同的住宅楼进行空调能耗对比调查。通过文献检索发现这方面的研究文献极少,只有文献[5]在北京市进行了住宅不同空调方案能耗的对比调查,没有发现在我国南方炎热地区进行住宅不同空调方案能耗对比调查研究的报道,为了解南方炎热地区城镇住宅不同空调方案的能耗状况和差异,笔者于 2012 年对被称为“火炉”的武汉市进行了住宅不同空调方案能耗的对比调查研究。

## 1 调查对象和调查方法

调查对象为武汉市汉口地区某高档住宅小区中 8 栋住宅楼的 560 个住户,其中 4 栋采用分体空调方案,共 340 户;另外 4 栋采用户式集中空调方案,共 220 户。这两类住宅楼的热工性能、楼层数、地点、朝向、户型、室外气象条件等客观条件都基本相同,因此在这种情况下对不同空调方案能耗的比较调查结果具有较好的说服力。这些住宅楼基本上都是南北朝向的 11 层板楼,绝大多数是三室一厅或四室一厅的大户型,这是比较适合采用户式集中空调方案的户型。这些住宅楼为 2004—2005 年

①☆ 李兆坚,男,1962 年 8 月生,工学博士,研究员  
100028 北京市 4702 信箱 6 室  
(010) 66354154  
E-mail:Lizj03@126.com  
收稿日期:2012-12-17  
修回日期:2013-02-22

建成的,按现行的住宅节能设计标准,这些住宅楼均为非节能建筑。4栋户式集中空调住宅楼采用了风冷冷水户式集中空调机组,室内采用风机盘管,冬季以户式燃气炉作为热源,这是我国应用较多的一种户式集中空调方案<sup>[3]</sup>。这些户式集中空调系统是由开发商统一配置的。4栋分体空调住宅楼的户均空调器台数达3.4台,部分住户的空调台数达到5台,大多数住户主要房间都装了空调器,实现了“一室一机”,而2011年武汉市城市居民户均空调器台数仅为1.88台<sup>[25]</sup>,这也从一个方面说明调查对象的平均收入水平远高于武汉市的平均收入水平。调查对象的基本情况见表1,2。抄

表1 分体空调住宅楼的基本情况和夏季空调能耗调查结果

	住宅楼编号			
	A	B	C	D
总户数	88	44	88	120
实际居住户数	82	42	82	107
居住率/%	93.2	95.5	93.2	89.2
户均建筑面积/(m <sup>2</sup> /户)	124	160	131	131
总建筑面积/m <sup>2</sup>	10 912	7 040	11 528	15 720
住户空调拥有率/%	95.5	95.5	94.3	95.0
户均空调台数/(台/户)	3.26	3.88	3.2	3.33
户均空调耗电量/(kW·h/户)	750	1 022	747	681
平均单台空调器耗电量/(kW·h)	230.1	263.4	233.0	204.8
全楼空调耗电量指标/(kW·h/m <sup>2</sup> )	6.05	6.39	5.70	5.14

注:全楼空调耗电量指标=全楼空调耗电量/总建筑面积。

表2 户式集中空调住宅楼的基本情况和夏季空调能耗调查结果

	住宅楼编号			
	E	F	G	H
总户数	66	66	44	44
实际居住户数	65	63	40	41
居住率/%	98.5	95.5	90.9	93.2
户均建筑面积/(m <sup>2</sup> /户)	153	153	164	164
总建筑面积/m <sup>2</sup>	10 098	10 098	7 216	7 216
户均空调耗电量/(kW·h/户)	1 120	1 349	1 310	1 318
全楼空调耗电量指标/(kW·h/m <sup>2</sup> )	7.32	8.82	7.99	8.04

表拆分调查法<sup>[26]</sup>是一种间接实测调查法,实证研究表明它具有较高的准确性<sup>[27]</sup>,因此采用该方法进行调查。在夏季(6—9月)和过渡季定期对每一住户的电表进行抄表,通过对过渡季抄表数据的分析,得到住户基础耗电量数据,将夏季总耗电量减去夏季基础耗电量,得到夏季空调耗电量。

## 2 调查结果与分析

### 2.1 气象参数调查结果

室外气象参数对住宅空调能耗有重要影响,通过中国气象局的“中国气象科学数据共享服务网站”<sup>[28]</sup>得到武汉市2012年空调季(6—9月)的室外

平均温度为26.9℃,平均相对湿度为76.8%,十分接近武汉市典型年同期室外温湿度的统计平均值(27.2℃,76.4%)<sup>[29]</sup>。

### 2.2 住户空调能耗调查结果与分析

这8栋住宅楼的夏季空调能耗调查的汇总结果见表1,2。按住户能耗从小到大排列,分体空调的A楼和户式集中空调的F楼的住户空调能耗调查结果见图1,2。

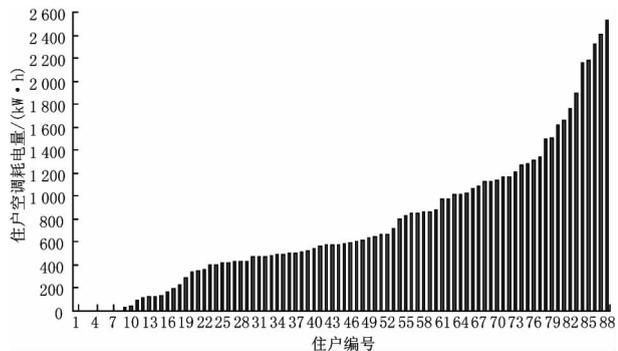


图1 分体空调住宅楼A楼的住户夏季空调能耗调查结果

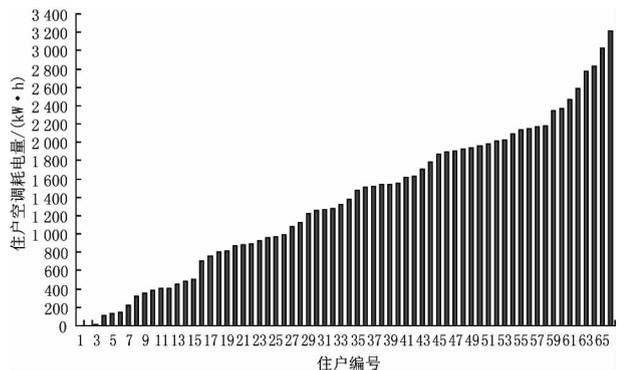


图2 户式集中空调住宅楼F楼的住户夏季空调能耗调查结果

调查分析的主要结果如下:

1) 南方炎热地区住宅分体空调的平均能耗水平较低。尽管调查对象的户均空调台数高达3.4台、住户的平均收入水平较高、实际居住率很高、建筑隔热等热工性能较差、室外气候条件接近典型年统计平均值,但2012年夏季的平均空调能耗指标仅为5.68 kW·h/m<sup>2</sup>。户均空调耗电为758 kW·h,单台空调器能耗平均值为226 kW·h,空调季按120 d计算,平均1台空调器1天的能耗仅为1.88 kW·h。

2) 户式集中空调的户均空调耗电为1 266 kW·h,平均空调能耗指标为8.05 kW·h/m<sup>2</sup>,在其他条件基本相同的情况下,户式集中空调住宅楼的空调平均能耗指标比分体空调住宅楼的空调平均能耗指标高42%。这与以往的一些理论计算研究结

果完全相反<sup>[4]</sup>。通过对户式集中空调用户的抽样调查发现,不少住户抱怨户式集中空调运行电费高,不太敢开空调;甚至一些住户弃用开发商已经安装好的户式集中空调,自己花钱安装了分体空调(见图3)。这说明由于运行能耗和电费高,使得户式集中



图3 户式集中空调住宅楼部分用户改用分体空调的情况

空调用户的空调需求受到一定程度的抑制。但即使在这种情况下,户式集中空调住宅楼的空调能耗指标仍远高于分体空调住宅楼。造成这一状况的主要原因是户式集中空调的系统能效比通常不比分体空调器高;一些户式集中空调住户按全部房间同时空调的模式运行,对一些无人房间进行空调,造成了空调冷量的浪费;即使住户对户内不同房间的空调末端进行节能调控,但户内主要房间空调同时开机的情况很少,大多数情况是一、两个房间需要开启空调,空调实际负荷率很低。2012年8月12日(周日),笔者在6个典型时段对该小区260台分体空调器的运行开机率进行了实际调查,结果表明空调器开机率的最大值为25.2%,全天平均值仅为10.2%,可见住宅楼只是局部空间需要空调,户式集中空调系统的平均负荷率也较低,这会使系统实际运行效率大幅度下降,这是造成户式集中空调的能耗水平显著高于分体空调的另一个重要原因。

3) 根据在北京、南京和武汉对一些集中空调节能样板楼的空调能耗调查结果<sup>[5,22-24,30]</sup>,它们的空调能耗指标为17~22.5 kW·h/m<sup>2</sup>;雷飞等人2007年对武汉某住宅小区地下水地源热泵集中空调系统的能耗测试结果表明,夏季90 d的空调冷水机组和水泵的能耗指标就高达15.2 kW·h/m<sup>2</sup><sup>[24]</sup>。而本文调查结果表明,分体空调住宅楼平均空调能耗指标

为5.68 kW·h/m<sup>2</sup>,户式集中空调住宅楼平均空调能耗指标为8.05 kW·h/m<sup>2</sup>,可见住宅集中空调的能耗远高于住宅分体空调和户式集中空调的能耗。这表明,在南方气候炎热地区,即使采用节能的集中空调方案,也会使住宅空调能耗成倍增加,住宅空调的集中度越高,能耗越高。通过与北方寒冷地区不同住宅空调方案的能耗调查结果<sup>[5]</sup>的对比发现,南方炎热地区不同空调方案的空调能耗差异比北方寒冷地区有所减小,其主要原因是南方地区住宅空调使用率比北方地区高。

4) 采用分体空调和户式集中空调的住宅楼的不同住户之间的空调能耗存在很大差异。采用分体空调的住宅楼D楼中户型和热工状况完全相同的32个住户(中间单元、中间层住户)中,空调能耗最大值为2180 kW·h,最小值为92 kW·h。最大值约为最小值的24倍。采用户式集中空调的住宅楼F楼中户型和热工状况完全相同的18个住户中,空调能耗最大值为2343 kW·h,最小值为356 kW·h,最大值约为最小值的7倍。可见在各种客观条件完全相同的情况下,采用分体空调和户式集中空调的不同住户之间的空调能耗都存在很大差异,采用分体空调不同住户之间的空调能耗差异比户式集中空调更大。由于住户是按自己的空调需求自由地调控分体空调器,这表明不同住户的空调开机行为和空调需求存在很大差异。住宅楼中只是局部空间短期需要空调,因此空调行为节能的潜力很大。分散式空调方式可以很好地适应住宅空调需求的特点,其调控十分方便,通过住户的自适应调节,既可以满足不同住户的不同空调需求,又可以充分发挥住户行为节能的巨大潜力,实现住宅楼部分时间和局部空间的空调,因此其平均空调能耗水平很低。

### 3 结论

3.1 即使在南方炎热地区,采用分体空调住宅楼的平均空调能耗水平仍然很低,调查对象的夏季平均空调能耗指标仅为5.68 kW·h/m<sup>2</sup>,单台空调器能耗平均值为226 kW·h,平均1台空调器1天的能耗为1.9 kW·h。

3.2 采用户式集中空调的户均空调能耗为1266 kW·h,平均空调能耗指标为8.05 kW·h/m<sup>2</sup>,采用户式集中空调住宅楼的平均空调能耗指标比分体空调住宅楼的平均空调能耗指标高42%。住宅

分体空调和户式集中空调的能耗指标都远低于一些住宅集中空调节能样板楼的空调能耗指标,即使在南方炎热地区、采用节能集中空调方案,也会使住宅空调能耗成倍增加,住宅空调的集中度越高,能耗也越高。

3.3 采用分体空调和户式集中空调的不同住户之间的空调能耗差异很大。采用分体空调的不同住户之间的空调能耗差异比采用户式集中空调更大,这表明住户空调开机行为和空调需求存在巨大差异。满足不同住户的不同空调需求,充分发挥住户空调行为节能的潜力,是建筑空调节能技术发展的一个重要方向。

3.4 住户的空调需求存在很强的差异性、随机性和不确定性,住宅楼只是部分时间和局部空间需要空调,分散式空调方式可以很好地适应住宅空调的需求特点,充分发挥住户空调行为节能的巨大潜力,其平均能耗水平很低,因此我国住宅空调应坚持走分散式空调的道路。

3.5 对于采用分散式空调的居住建筑而言,住户空调开机行为是影响住宅空调能耗的最重要因素,这一主观因素的影响远大于建筑热工状况和空调器能效比等客观因素的影响。因此在住宅分体空调和户式集中空调的能耗模拟计算时,应充分考虑住户空调开机行为的影响,否则会产生很大误差,得出与实际情况完全相反的研究结论。

#### 4 致谢

本文的调查工作得到了被调查住宅小区的物业公司、一些住户和相关设计人员的大力配合和支持,在此向他们表示衷心感谢。

#### 参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴 2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011
- [2] 潘秋生. 中国制冷史[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2008
- [3] 寿炜炜, 姚国琦. 户式中央空调系统设计与工程实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005
- [4] 杨迪, 张明星, 余博, 等. 户式中央空调的能耗分析[J]. 节能, 2006(5): 13-15
- [5] 李兆坚, 江亿. 住宅空调方式的夏季能耗调查与思考[J]. 暖通空调, 2008, 38(2): 37-43, 64
- [6] 叶隼, 李运江. 武汉市住宅建筑能耗调查与分析[J]. 四川建筑科学研究, 2012, 38(1): 277-280
- [7] 凌浩恕, 谢静超, 杨威, 等. 北京市住宅除采暖外能耗实测统计分析[J]. 建筑科学, 2012, 28(S2): 266-270
- [8] 简毅文, 李清瑞, 白贞. 住宅夏季空调行为对空调能耗的影响研究[J]. 建筑科学, 2011, 27(12): 16-19, 86
- [9] 徐俊芳, 田昕, 江青文, 等. 北京市住宅小区建筑全年能耗分析[J]. 节能技术, 2011, 29(3): 252-255
- [10] Chen Shuqin, Li Nianping, Guan Jun, et al. A statistical method to investigate national energy consumption in the residential building sector of China[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(4): 654-665
- [11] 余晓平, 彭宣伟, 廖小烽, 等. 重庆市居住建筑能耗调查与分析——以某高校住宅能耗为例[J]. 重庆建筑, 2008(5): 5-8
- [12] 万旭东, 谢静超, 赵耀华, 等. 北京市夏季住宅用节能潜力调查及分析[J]. 建筑科学, 2008, 24(6): 19-24
- [13] 伍星, 李振海, 吉野博, 等. 夏季城市住宅能源消费调查与比较[J]. 能源技术, 2008, 29(1): 41-44
- [14] 马斌齐, 闫增峰, 桂智刚, 等. 西安市节能住宅夏季能源使用结构的调查和分析研究[J]. 建筑科学, 2007, 23(8): 53-56, 60
- [15] 李兆坚, 江亿, 魏庆茂. 北京市某住宅楼夏季空调能耗调查分析[J]. 暖通空调, 2007, 37(4): 46-51
- [16] 胡平放, 江章宁, 冷御寒, 等. 湖北地区住宅热环境与能耗调查[J]. 暖通空调, 2004, 34(6): 21-22, 71
- [17] 张英. 商丘市城市居民住宅能耗调查与分析[J]. 建筑科学, 2007, 23(6): 68-71
- [18] 武茜. 杭州地区住宅能耗问题与节能技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005
- [19] 任俊, 孟庆林, 刘娅, 等. 广州住宅空调能耗分析与研究[J]. 墙材革新与建筑节能, 2003(4): 34-37
- [20] Long Weiding, Zhong Ting, Zhang Beihong. Situation and trends of residential building environment services in Shanghai[C]//Proceedings of the 2003-4th International Symposium on Heating, Ventilating and Air conditioning. Beijing: Tsinghua University Press, 2003: 493-498
- [21] 武海滨, 朱颖心, 周鹏. 北京市城市居民家用空调器用电量的调查研究[M]//暖通空调新技术 2, 北京: 中国建筑工业出版社, 2000
- [22] 程洪涛, 张钦, 王永红. 从朗诗·国际街区看今日住宅节能[J]. 暖通空调, 2007, 37(9): 123-126
- [23] 陈焰华, 祁传斌. 武汉香榭里花园水源热泵空调系统设计[J]. 暖通空调, 2006, 36(3): 82-85
- [24] 雷飞, 胡平放, 黄素逸, 等. 地下水源热泵空调系统的实测以及能效分析[J]. 流体机械, 2012, 40(2): 57-62
- [25] 武汉统计局. 武汉统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012
- [26] 李兆坚, 江亿. 住宅夏季空调能耗调查方法分析[J]. 暖通空调, 2006, 36(9): 35-37
- [27] 李兆坚, 张兵, 王健, 等. 住宅空调能耗调查方法准确性的实证研究[J]. 暖通空调, 2013, 43(4): 30-34
- [28] 地面月统计数据. 中国气象科学数据共享服务网站[EB/OL]. <http://cdc.cma.gov.cn/shishi/month.jsp?stprovid=北京>
- [29] 中国气象局气象信息中心气象资料室, 清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- [30] 李兆坚, 江亿. 对住宅空调方式的综合评价[J]. 建筑科学, 2009, 25(8): 1-5, 38