

北京市住宅空调负荷和 能耗特性研究^{*}

清华大学 李兆坚[☆] 江 亿

摘要 采用调查和模拟相结合的方法,对北京市城镇住宅间歇空调的冷负荷和能耗特性进行了分析研究。结果表明,住宅间歇空调的冷负荷和能耗特性与连续空调大不相同,现有的逐时空调冷负荷设计算法的误差较大;提高建筑围护结构保温性能对减少空调负荷和能耗的效果不明显,并可能起到相反作用;提高空调室温可以使空调能耗显著减少,空调室温提高 1℃,一个空调季空调耗电量(按建筑面积计算)约减少 1.4 kWh/m²;按照目前北京市的电价和空调器价格,节能型分体壁挂式空调器寿命周期的综合费用要比普通空调器多 1 000 多元。

关键词 居住建筑 间歇空调 冷负荷 能耗 模拟 北京

Characteristics of cooling load and energy consumption of air conditioning in residential buildings in Beijing

By Li Zhaojian[★] and Jiang Yi

Abstract Studies the characteristics based on simulation and survey. The results show that the characteristics of intermittent air conditioning are quite different from those of continuous air conditioning, and the present design calculation method of hourly cooling load has a notable error in the calculation of air conditioning cooling load in residential buildings; to improve the thermal insulation performance of building envelope is not an effective method to reduce the cooling load and energy consumption of air conditioning and it may conduct a contrary effect; to raise the temperature of air conditioned room is an effective way to reduce the energy consumption of air conditioning, and the average power consumption of air conditioning is reduced by 1.4 kWh per unit building area when the temperature of air conditioned room is raised by 1℃; general costs of a higher energy efficiency split air conditioner in its life cycle are more than those of a lower energy efficiency air conditioner by more than 1 000 yuan according to the present price of electrical energy and air conditioners in Beijing.

Keywords residential building, intermittent air conditioning, cooling load, energy consumption, simulation, Beijing

★ Tsinghua University, Beijing, China

①

0 引言

随着我国人民生活水平的迅速提高和空调器价格的快速下降,以及居住环境气温的不断升高,近 10 年来,我国住宅空调器数量迅速增加。根据相关统计数据^[1-2],包括城镇和农村居民平均百户

空调器拥有量、人口数、平均每户人数,通过计算分

①[☆] 李兆坚,男,1962 年 8 月生,在读博士研究生,研究员
100028 北京市 4702 信箱 4 室
(010) 62777140 66358595
E-mail: li-zj03@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期:2006-03-31

修回日期:2006-07-11

* 国家自然科学基金资助项目(编号:50578079)

析得出 2000—2004 年我国居民空调器拥有量,见表 1,平均年增长率达到 31%。截至 2004 年底,北京市、上海市和广东省每户居民的空调器平均拥有量分别达到了 1.36 台、1.59 台和 1.56 台,全国住宅空调器拥有量高达 1.36 亿台,其中城镇居民空调器拥有量占 93%。住宅空调器数量的“爆炸式”增长不仅使空调能耗快速增加,而且对夏季用电负荷造成较大冲击,北京夏季空调用电负荷占全社会最大用电负荷的比例接近 40%^[3]。近年来,我国电力供应紧张,不少地方不得不拉闸限电,如何迎峰度夏、确保夏季电力供应和用电安全,是一个令不少地方政府越来越头疼的问题。我国城市住宅建筑面积巨大,2004 年底,全国城镇住宅建筑面积达到 96 亿 m²^[1],占城镇建筑总面积的 65%,住宅空调对建筑能耗和电力供应均有重要影响,因此应加强对住宅空调问题的研究。目前在住宅空调的设计、使用和能耗等方面存在一些问题,例如,住宅空调负荷和能耗的状况如何,住宅空调冷负荷的设计日逐时算法是否准确,加强建筑保温能否有效减少住宅空调能耗,空调设定温度对其能耗有何影响,消费者购买节能型空调器是否省钱?要回答这些问题都必须对住宅空调的负荷和能耗特性进行研究,但其与空调器设置和使用情况、建筑围护结构状况、气候条件、通风状况、人员等内扰变化情况等众多因素有关,而且住宅空调为间歇运行,问题更加复杂化,详细计算分析的工作量和难度都很大。以往有一些学者对住宅空调负荷和能耗进行了计算分析^[4-6],但为了简化计算,均按连续空调工况进行分析,这与实际情况有较大的差异。

表 1 我国居民空调器拥有量的变化情况

| | 2000 年底 | 2001 年底 | 2002 年底 | 2003 年底 | 2004 年底 | 平均年增 长率/% |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 全国/万台 | 4 765 | 5 875 | 8 874 | 11 445 | 13 589 | 31 |
| 北京市/万台 | 211 | 283 | 350 | 409 | 489 | 24 |

笔者对北京市城镇住宅空调实际状况进行了调查分析,在此基础上,采用 DeST 建筑热环境模拟设计软件包^[7-8],对住宅空调间歇运行的冷负荷和能耗特性进行了全工况模拟计算分析,并对相关问题进行了探讨。

1 住宅空调器设置和使用情况调查

计算条件对模拟计算结果的影响较大,为了使模拟分析结果具有代表性,首先对目前北京市住宅空调设置情况进行调查分析,以确定典型计算条

件。

1.1 居民空调器拥有量

2006 年 3 月,对北京市三环内的一栋普通多层住宅楼(30 户)的空调设置情况进行了调查,调查结果见表 2。从表 2 可以看出拥有空调器的家庭比例为 97%,多数家庭设置了 1~2 台空调器,其中设置 2 台空调器的家庭比例最大,平均每户的空调器台数为 1.87 台。根据对近五年来北京市城镇居民平均每百户空调器拥有量统计数据^[1]变化趋势的分析,2006 年北京市城镇居民平均每户空调器拥有量将达到 1.69 台。调查数据与统计数据比较接近,稍高于统计数据,因此所选择的建筑具有代表性。

表 2 住宅空调器设置情况调查结果

| | 无空调 | 有 1 台 空调器 | 有 2 台 空调器 | 有 3 台 空调器 | 客厅设 空调 | 南向卧室 设空调 | 北向卧室 设空调 |
|-------|-----|--------------|--------------|--------------|-----------|-------------|-------------|
| 户数 | 1 | 9 | 13 | 7 | 27 | 22 | 7 |
| 百分比/% | 3 | 30 | 44 | 23 | 90 | 73 | 23 |

注:表中的百分比指与全楼总户数之比。

1.2 户内空调器安装情况

客厅最多,全楼 90%的住户客厅设置了空调器;其次是南向主卧室,设置空调器的比例达到 73%;北向卧室较少。

1.3 空调器类型

绝大多数空调器为分体壁挂式空调器,全楼只有 1 台窗机,仅占空调器总数的 2%。

1.4 空调器装机容量

对住宅空调器实际装机和运行情况的抽样调查结果表明,对于非节能的普通居住建筑,按空调使用面积计算,空调实际冷负荷指标为:顶层和边墙房间约为 200 W/m²,对于使用面积为 15 m² 的房间,通常需要安装一台 KF-32GW 的分体壁挂式空调器;其他房间约为 160 W/m²,对于使用面积为 15 m² 的房间,通常需要安装一台 KF-26GW 的分体壁挂式空调器。

1.5 空调器使用特点

尽管北京市住宅空调普及率很高,但由于空调器耗电量较大,因此住宅空调器均为间歇运行,而且实际运行时间较短,绝大多数居民能够自觉做到人走关空调,因此空调器开关次数较多。老年住户的空调运行时间更短。居民对气温和室温变化的自动调节能力较强,当室温低于可忍受临界温度时,通常不会开空调。可忍受临界温度因人而异,通常为 28

~30℃,女性和老年人的可忍受临界温度通常较高。随着对空调环境适应性和依赖性的不断增强,人们的可忍受临界温度出现下降的趋势。

2 模拟计算条件

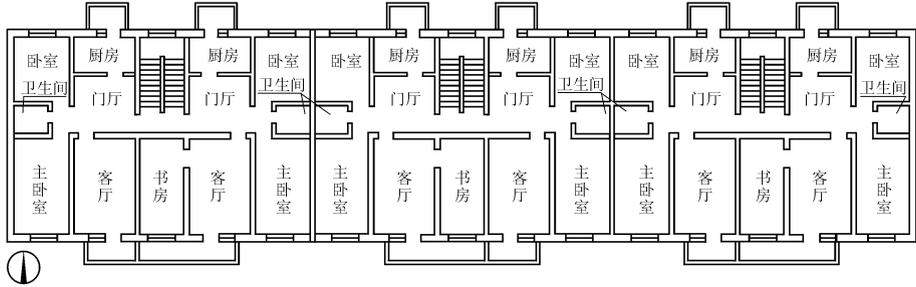


图1 计算对象建筑平面图

底我国城镇居民平均每户住宅建筑面积为75 m²,因此该楼两室一厅(建筑面积为76 m²)的户型是比较典型的情况。客厅和南向卧室(主卧室)均设置空调器,空调室内设定温度为26℃,空调室内相对湿度按60%计算,空调启动后1 h内达到设定温度。客厅的最大人数为3人,卧室最大人数为2人,人员发热量:显热为61 W/人、潜热为73 W/人;卧室外窗尺寸为1500 mm×1500 mm,客厅窗户尺寸为900 mm×1500 mm,阳台门尺寸为900 mm×2400 mm,窗户遮阳系数为0.85,均采用内遮阳,阳台为封闭阳台;主卧室的使用面积为14 m²,客厅使用面积为15.3 m²;客厅照明最大发热量为5 W/m²,卧室照明最大发热量为4 W/m²,客厅设备最大发热量为10 W/m²。室外逐时气象参数按新的典型气象年数据^[9]计算,北京市室外空调计算干球温度为33.6℃,湿球温度为26.3℃。空调季按6月1日到9月1日计算。

2.2 建筑保温情况

考虑到目前北京市既有居住建筑保温性能的多样性,建筑围护结构的保温状况分为下列三种情况。

1) 80年代非节能建筑^[10]:外墙为370 mm厚砖墙, K 值为1.57 W/(m²·K);屋顶 K 值为1.25 W/(m²·K);外窗为单层钢窗, K 值为6.4 W/(m²·K)。

2) 1997年节能标准建筑^[11]:外墙采用外保温, K 值为1.02 W/(m²·K);屋顶 K 值为0.79 W/(m²·K);外窗为铝合金双玻窗, K 值为4 W/(m²·K)。

2.1 计算对象概况

根据调查结果,以最常见情况作为典型计算条件。计算对象为一栋6层住宅楼,层高为2.7 m,建筑平面见图1。根据相关统计数据^[1],2004年

3) 2004年新的节能标准建筑^[12]:外墙采用外保温, K 值为0.58 W/(m²·K);屋顶 K 值为0.59 W/(m²·K);外窗为双玻塑钢窗, K 值为2.8 W/(m²·K)。

目前既有建筑中大部分为非节能建筑,因此第一种情况为典型状况。

2.3 空调运行时间

客厅空调运行时间通常较为规律,多数居民为早上上班离家、晚上下班回家,因此工作日客厅空调开机时间设定为18:00~22:00,周末客厅开机时间设定为10:00~22:00。工作日卧室空调运行时间差异较大,考虑下列三种情形:

1) 卧室空调运行4 h,开机时间为21:00~01:00;

2) 卧室空调运行6 h,开机时间为21:00~03:00;

3) 卧室空调运行10 h,开机时间为21:00~07:00。

周末卧室空调开机时间:中午为13:00~14:00,晚上与工作日相同。对北京市住宅空调器运行情况的调查结果表明,通宵开空调的较少^[13],因此第二种情形为典型情形。

2.4 夏季通风情况

阳台与室外通风换气次数为6 h⁻¹,阳台与客厅通风换气次数为:晚上5 h⁻¹,白天1 h⁻¹,空调期间1 h⁻¹。卧室与室外的通风换气次数:晚上开窗5 h⁻¹,白天关窗1 h⁻¹,空调期间关窗1 h⁻¹。这里的开窗换气次数是根据室温实测数据与模拟计算结果对比分析确定的。

2.5 典型工况

模拟计算中的典型工况为:建筑保温类型为第一种情况;空调开机时间为第二种情形;室内空调设定温度为 26 ℃;卧室夜间空调停机后不开窗。在计算分析各种因素的影响时,均以该典型工况为基础。

3 计算结果与分析

3.1 计算方法的比较

为了考察不同计算方法的差别,针对同一计算对象,采用下列三种算法进行计算。

1) 常规的设计日逐时冷负荷计算方法,用谐波反应法计算;

2) 全工况模拟计算方法,按连续空调模式计算,用 DeST 模拟软件计算;

3) 全工况模拟计算方法,按间歇空调模式计算,用 DeST 模拟软件计算。

三种算法的计算结果见表 3。算法 1)和算法 3)对顶层中间卧室最大负荷日的空调负荷计算结果见图 2。

表 3 空调冷负荷不同算法的计算结果比较

W/m²

| | 西边卧室 | | | 中间卧室 | | | 东边卧室 | | | 客厅 | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 算法 1) | 算法 2) | 算法 3) | 算法 1) | 算法 2) | 算法 3) | 算法 1) | 算法 2) | 算法 3) | 算法 1) | 算法 2) | 算法 3) |
| 顶层 | 97.9 | 99.3 | 185.7 | 85.0 | 90.0 | 176.4 | 101.4 | 99.3 | 187.1 | 91.5 | 73.9 | 178.4 |
| 中间层 | 77.1 | 90.0 | 175.7 | 63.6 | 80.7 | 165.7 | 77.1 | 90.7 | 177.1 | 75.2 | 63.4 | 165.4 |
| 首层 | 87.9 | 80.0 | 138.6 | 67.9 | 70.7 | 126.4 | 87.1 | 80.7 | 140.7 | 79.1 | 49.0 | 110.5 |

注:如无特殊说明,本文中的空调冷负荷和能耗指标均按空调使用面积计算。

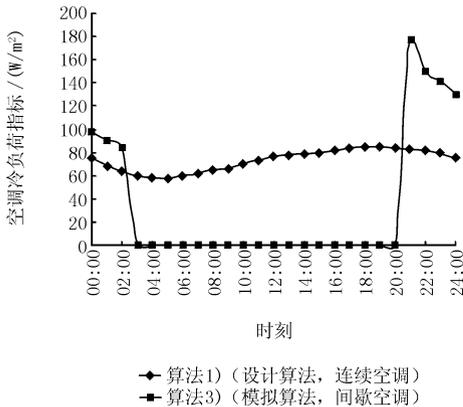


图 2 空调冷负荷两种算法计算结果的比较(顶层中间卧室)

由表 3 和图 2 可以看出,间歇空调的冷负荷特性与连续空调相差很大,由于房间内部的蓄热作用,间歇空调的冷负荷除了常规负荷外,还必须附加消除房间蓄热量的冷负荷,因此其最大冷负荷比连续空调大得多,最大负荷通常出现在开机时。住宅空调冷负荷抽样调查结果表明,顶层和边墙房间约为 200 W/m²,其他房间约为 160 W/m²,算法 3)的计算结果与实际数据比较接近,这说明采用 DeST 全工况模拟的方法可以比较准确地考虑间歇运行的影响,因此本文采用该算法进行模拟计算分析,但其计算复杂,计算工作量较大。对于连续空调的情况,模拟算法与设计算法的差别不大;但对于间歇空调的情况,常规设计算法由于没有考虑间歇运行的影响,计算误差较大,大约只有实测数据的一半。

3.2 建筑保温的影响

三种不同建筑保温情况下的空调冷负荷和累计耗冷量计算结果见表 4,5。从表中可以看出,

表 4 建筑保温情况对空调冷负荷的影响 W/m²

| | 西边卧室 | | | 中间卧室 | | | 东边卧室 | | | 客厅 | | |
|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1) | 2) | 3) | 1) | 2) | 3) | 1) | 2) | 3) | 1) | 2) | 3) |
| 顶层 | 186 | 181 | 172 | 176 | 171 | 167 | 187 | 181 | 172 | 178 | 178 | 179 |
| 中间层 | 176 | 175 | 170 | 166 | 166 | 165 | 177 | 176 | 170 | 165 | 171 | 175 |
| 首层 | 139 | 136 | 129 | 126 | 125 | 123 | 141 | 136 | 129 | 111 | 115 | 118 |

注:1),2),3)指保温情况。

表 5 建筑保温情况对空调季

空调累计耗冷量的影响

kWh/m²

| | 西边卧室 | | | 中间卧室 | | | 东边卧室 | | | 客厅 | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1) | 2) | 3) | 1) | 2) | 3) | 1) | 2) | 3) | 1) | 2) | 3) |
| 顶层 | 32.4 | 32.2 | 31.8 | 31.0 | 31.1 | 31.4 | 32.3 | 32.0 | 31.7 | 49.6 | 51.3 | 53.1 |
| 中间层 | 30.6 | 31.6 | 32.0 | 29.3 | 30.7 | 31.7 | 30.6 | 31.5 | 31.9 | 46.0 | 49.1 | 51.6 |
| 首层 | 17.8 | 17.8 | 17.3 | 15.4 | 16.1 | 16.5 | 18.0 | 17.8 | 17.4 | 28.6 | 31.0 | 32.7 |

注:同表 4。

强建筑保温,可使卧室空调冷负荷略有减少,卧室的累计耗冷量有增有减,但变化不大,然而却使客厅的空调冷负荷和累计耗冷量增加。当围护结构综合传热系数减少约 60%时,卧室空调最大冷负荷平均仅减小 3%,客厅空调最大冷负荷平均增大 5%。阳台窗户保温性能提高,对外散热减少,使阳台温室效应增强,从而使客厅的空调冷负荷和累计耗冷量增加。建筑保温对卧室空调能耗影响的情况比较复杂,与空调季室内外温差变化情况、间歇影响、围护结构对太阳辐射的衰减、通风等因素有关。总体来说,由于在整个空调季,室外气温低于 26 ℃的时间为 1 225 h,高于 26 ℃的时间仅为 998

h,从温差传热角度来说,增强建筑围护结构的保温性能会使空调能耗增大;另一方面,外墙和屋顶的保温性能提高可以增大对太阳辐射的衰减作用,起到减小空调最大冷负荷和能耗的作用,对这两个相反因素和通风换气的综合作用结果难以用定性的方法进行解释。另外,通过计算发现,建筑外墙外保温与内保温相比,冷负荷和能耗均有所增加,但影响很小,通常不大于5%。由于蓄冷转移效应,建筑室内侧的热容量增加,会使间歇空调的节能效果减弱,但由于内墙、地板、顶板和家具等构成了房间热容的主要部分,外墙在房间总热容中所占的比例较小,因此外墙内外保温方式对间歇空调冷负荷和能耗的影响不大。

3.3 空调运行时间与累计耗冷量的关系

卧室空调运行时间与累计耗冷量的关系见表6和图3。由图3可以看出,在计算条件下(空调开机时间大于4h),卧室空调运行时间与累计耗冷量近似呈线性关系,运行时间越长,越接近线性关系。

表6 空调运行时间与累计耗冷量的关系 kWh/m²

| | 西边卧室 | | | 中间卧室 | | | 东边卧室 | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 4 h | 6 h | 10 h | 4 h | 6 h | 10 h | 4 h | 6 h | 10 h |
| 顶层 | 26.1 | 32.4 | 41.5 | 25.4 | 31.0 | 39.0 | 26.1 | 32.3 | 41.3 |
| 中间层 | 24.8 | 30.6 | 38.9 | 24.2 | 29.3 | 36.5 | 24.9 | 30.6 | 38.8 |
| 首层 | 14.7 | 17.8 | 21.7 | 13.1 | 15.4 | 18.2 | 14.9 | 18.0 | 21.7 |

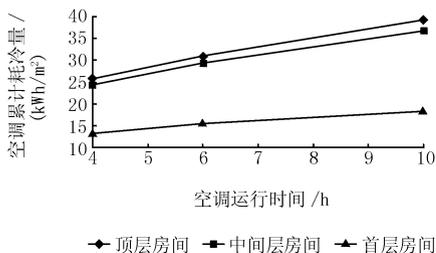


图3 空调运行时间与累计耗冷量的关系(中间卧室)

3.4 住宅空调器能耗分析

现有房间空调器的额定能效比按2.5计算,考虑长期运行的性能衰减、启停损失^[14]等因素,并根据北京市的气象参数及空调压缩机变工况的性能特性^[15],计算出北京市空调器的综合运行能效比与额定能效比的比值约为0.9。按典型工况全楼平均计算,一个空调季主卧室累计耗冷量为389 kWh,耗电量为173 kWh;客厅累计耗冷量为669 kWh,耗电量为297 kWh。根据相关统计数据^[1]分析,2006年北京市城镇居民平均每户空调器拥

有量将达到1.69台,根据表2,90%客厅设置空调器,由此计算出平均每户居民一个空调季的空调耗电量约为404 kWh。按建筑面积计算,北京市住宅一个空调季的空调平均耗电量约为5.3 kWh/m²。

3.5 室内空调温度对能耗的影响

住宅空调室内温度与空调季空调耗电量的关系如图4所示,图中空调耗电指标按空调使用面积计算。计算中考虑了室温降低对空调器能效比的影响^[15]。由图4可见,空调室内温度对空调能耗的影响较大,它们之间近似呈线性关系。空调室温提高1℃,按空调使用面积计算,空调季耗电量减少约3.65 kWh/m²,按建筑面积计算,可节电1.4 kWh/m²,每户空调季平均节电约105 kWh。截至2004年底,北京市城镇实有住宅建筑面积为2.62亿m²,空调温度提高1℃,一个空调季北京市城镇住宅约可节电3.7亿kWh。因此提高空调设定温度的节能效果十分显著,适当提高空调设定温度是减少空调能耗的重要途径。

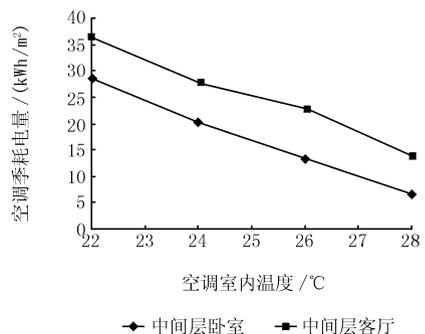


图4 空调室内温度对空调季空调耗电量的影响

3.6 节能型空调器的经济性分析

为了推广节能型空调器,国家制定了新的、更加严格的房间空调器能效限定值标准^[16]。按照有关法规,从2005年开始,我国房间空调器产品必须标贴能效标识。笔者从2005年8月到2006年3月,对北京市一些空调销售点节能空调的实际销售情况进行了调查,结果表明,目前居民购买节能型空调和变频空调的比例很小,不超过10%,绝大多数人仍然购买价格较低的5级空调器。2005年8月,对北京市某知名电器专卖店中53种不同规格、品牌的分体壁挂式空调器价格的调查结果见表7,这些价格是促销优惠后的价格。由表7可以看出,同一型号的分体壁挂式

空调器,1~2 级节能型空调器比 4~5 级普通空调器贵 1 300~1 400 元。2006 年 3 月底,笔者又对同一专卖店分体壁挂式空调器的价格进行了抽样调查,发现由于材料涨价,每台空调器的价格增加了 100~200 元,但节能空调器与普通空调器的价格差没有减小。

表 7 分体壁挂式空调器价格调查统计(2005 年 8 月)

| 规格 | 能效等级 | 定频/变频 | 平均价格/元 | 平均额定能效比 |
|----------|-----------|-------|--------|---------|
| KFR-23GW | 4~5 级 | 定频 | 1 429 | 2.73 |
| KFR-23GW | 节能型,1~2 级 | 定频 | 2 824 | 3.71 |
| KFR-26GW | 4~5 级 | 定频 | 1 727 | 2.74 |
| KFR-26GW | 节能型,1~2 级 | 定频 | 3 023 | 3.50 |
| KFR-26GW | 节能型 | 变频 | 3 244 | 3.17 |
| KFR-32GW | 4~5 级 | 定频 | 1 956 | 2.70 |
| KFR-32GW | 节能型,1~2 级 | 定频 | 3 327 | 3.51 |
| KFR-32GW | 节能型 | 变频 | 4 080 | 3.21 |

根据典型工况的模拟计算和调查的结果,小客厅和卧室通常设置 KFR-26GW 分体壁挂式空调器。在经济性计算中,平均额定能效比按表 7 中数据计算,空调耗电量的算法与 3.4 节相同,目前北京市居民电价为 0.48 元/(kWh),家用空调器的寿命按 10 年计算。由于空调器寿命期内电价增加和投资利率变化的不确定性较大,为了简化考虑,假设空调寿命期内电价增加和空调器一次投资的利率因素相抵。住宅空调器的经济性计算结果见表 8,从表中可以看出,购买节能型空调器,综合考虑投资和运行费用,用户还需要多掏 1 000 多元钱,出现“节能空调多花钱”的状况。我国住宅空调器

表 8 住宅空调器的经济性比较

| | 主卧室空调 | 客厅空调 |
|------------------------|-------|-------|
| 空调季累计冷负荷/(kWh) | 389 | 669 |
| 空调季普通空调器耗电量/(kWh) | 152 | 271 |
| 空调季节能空调器耗电量/(kWh) | 119 | 212 |
| 普通空调器寿命期电费/元 | 730 | 1 302 |
| 节能空调器寿命期电费/元 | 571 | 1 019 |
| 普通空调器寿命期总费用/元 | 2 457 | 3 029 |
| 节能空调器寿命期总费用/元 | 3 594 | 4 042 |
| 节能空调器与普通空调器寿命期总费用的差值/元 | 1 137 | 1 013 |

的数量巨大,采用 1~2 级的节能空调器可以使空调能耗减少 20%~30%,因此意义重大。但由于目前节能空调的价格比普通空调器高得多,消费者购买节能空调不仅没有带来实惠,而且还多花钱,因此用户没有购买节能型空调器的积极性,这严重制约了节能空调的推广和应用和发展。由此反映了

两方面问题:节能空调器的价格过高,能源价格偏低。随着矿物能源的不断减少,能源价格的上涨是不可避免的;国家应制定相应鼓励政策,减小节能空调器与普通空调器的价格差,厂家也要采取措施降低节能空调器的成本。在目前电价的情况下,节能空调与普通空调的差价不宜大于 200 元,这样才能充分发挥市场的巨大作用,淘汰不节能的空调产品,促进住宅空调节能水平的提高。

4 结论

4.1 住宅空调负荷与运行方式有较大关系,间歇空调负荷和能耗特性与连续空调大不相同。由于没有考虑间歇运行的影响,设计日逐时空调冷负荷算法的误差较大,其计算结果大约只有实测结果的一半。对于住宅间歇空调而言,以实测数据为基础的冷负荷指标估算法比现有的设计日逐时算法更准确。采用 DeST 软件进行全工况模拟的方法可以考虑间歇运行的影响,计算结果比较接近实际情况。

4.2 提高建筑围护结构的保温性能对减小冬季供暖负荷有较大作用,但对减小空调负荷和能耗的效果不明显,并且在一定的情况下可能起到相反作用。封闭阳台的保温性能提高将使客厅空调冷负荷和能耗增加。建筑外墙内外保温方式对间歇空调冷负荷和能耗的影响不大。

4.3 根据典型条件下住宅空调能耗的模拟计算结果得出,目前北京市城镇住宅一个空调季的空调平均耗电指标约为 5.3 kWh/m²(按建筑面积计算)。

4.4 空调室内温度对空调能耗的影响较大,它们之间近似呈线性关系,空调室温提高 1℃,按空调使用面积计算,空调季耗电量减少约 3.7 kWh/m²,按建筑面积计算节电 1.4 kWh/m²。

4.5 目前节能型空调器寿命周期综合费用比普通空调器多 1 000 多元,出现“节能空调多花钱”的不合理状况,这是造成目前节能空调器市场占有率低的重要原因,因此国家应制定相应鼓励政策,减小节能空调与普通空调的价格差别。在目前电价的情况下,节能空调器与普通空调器的差价不宜大于 200 元,这样才能发挥市场的作用,促进节能空调的推广应用。

最后需要说明的是,上述结论是根据北京市住宅空调的典型条件,通过模拟计算得到的,当具体条件与典型条件相差较大时,得到的结论也可能不同。

火区间隧道的风速较大,最大值为 5 m/s 左右,仅有极少量烟气从联络通道顶部进入未着火区间隧道内。图 8d 中联络通道内的风速为 6 m/s 左右,烟气在联络通道内的扩散完全得到了抑制。考虑到 6 m/s 的风速人是可以承受的,因此未着火区间隧道两端的最佳送风速度应该控制在 1~1.5 m/s 之间。

4 结论

4.1 比较分析了带有一个联络通道的区间隧道火灾常见的四种通风排烟模式,得出了当列车停靠在靠近中部联络通道位置,并且火灾发生在列车中部时对应的火灾通风排烟模式为该区间隧道的最复杂模式。

4.2 对于 10 MW 火灾强度的地铁区间隧道火灾,保证着火区间隧道烟气不发生回流的临界风速范围为 2.6~2.9 m/s。

4.3 在着火区间隧道保持 2.9 m/s 的纵向通风速度下,未着火区间隧道两端的最佳送风速度范围为 1~1.5 m/s,在此送风速度范围内,联络通道内具有速度为 6 m/s 左右的指向着火区间隧道的气流,既保证了烟气无法通过联络通道扩散进入未着火

区间隧道,又不会影响人员的安全疏散。

参考文献

- [1] Woodburn P J, Britter R E. CFD simulation of a tunnel fire—part I [J]. Fire Safety Journal, 1996, 26(1):35-62
- [2] Kumar S, Cox G. Mathematical modeling of fires in road tunnels[C]// 5th International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, 1985
- [3] 卢平, 丛北华, 廖光焯, 等. 纵向通风水平隧道火灾烟气流动特性研究[J]. 中国工程科学, 2004, 6(10): 59-64
- [4] 郑晋丽. 隧道火灾模拟和烟气控制[J]. 地下工程与隧道, 1999(2):38-47
- [5] 张悦, 贺利工. 火灾运行模式模拟计算中最复杂模式的确定[J]. 制冷与空调, 2005(1):19-21
- [6] Ingason H. Heat release rate measurements in tunnel fires[C]//Proc Int Conf on Fires in Tunnels, Boras, Sweden, 1994: 86-103
- [7] 陶文铨. 数值传热学[M]. 2 版. 西安:西安交通大学出版社, 2001
- [8] 国家统计局. 中国统计年鉴(2001)-(2005)[M]. 北京:中国统计出版社, 2001-2005
- [9] 北京市地方志编纂委员会. 北京年鉴(2001)-(2005) [M]. 北京:北京年鉴社, 2001-2005
- [10] 温权, 李敬如, 赵静. 空调负荷计算方法及应用[J]. 电力需求侧管理, 2005, 7(4): 16-18
- [11] 王忠锋, 张旭. 长江中下游地区高层住宅建筑空调负荷特点研究[J]. 制冷空调与电力机械, 2003, 24(1): 11-14
- [12] 刘迎云, 王汉青, 汤广发. 住宅建筑空调动态负荷计算及其分析[J]. 流体机械, 2003, 31(3): 47-49
- [13] 陈刚, 刘泽华, 宁勇飞. 住宅建筑空调负荷分析与同时使用系数的计算[J]. 流体机械, 2003, 31(7): 47-49
- [14] 简毅文, 江亿. 住宅供暖空调能耗计算模式的研究[J]. 暖通空调, 2005, 35(2): 11-14
- [15] 燕达, 谢晓娜, 宋芳婷, 等. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第一讲 建筑模拟技术与 DeST 发展简介[J]. 暖通空调, 2004, 34(7): 48-56
- [9] 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
- [10] 杨善勤. 民用建筑节能设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- [11] 北京市建筑设计研究院. DBJ 01-602-97 民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997
- [12] 北京市建筑设计研究院. DBJ 01-602-2004 民用建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004
- [13] 简毅文, 江亿. 住宅房间空调器运行状况的调查分析 [J]. 中国建设信息供热制冷, 2005(6): 66-68
- [14] 周子成. 定转速压缩机的房间空调器的季节能效比(续)[J]. 制冷, 1995(3): 19-24
- [15] 赵军朋, 王智忠, 束鹏程. 空调用滚动转子式压缩机的变工况特性研究[J]. 家电科技, 2004(2): 92-93
- [16] 国家技术监督局. GB 12021.3-2004 房间空气调节器能效限定值及能源效率等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004

(上接第 6 页)

参考文献