

# 几个节能措施对夏热冬冷地区居住建筑能耗的敏感性分析<sup>\*</sup>

同济大学 张 旭<sup>☆</sup> 李魁山

**摘要** 用 BIN 法计算了上海典型居住建筑全年能耗。在满足《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》的条件下,对影响能耗的因素包括外墙、外窗的传热系数作了定量计算。同时分析了改变室内设计参数、提高空调能效比等措施对建筑物能耗的影响,结果表明外墙传热系数对能耗的影响大于外窗传热系数的影响。最后选取上海地区某典型节能建筑,对过渡季及冬季室内、外温度进行实测,测试结果表明,在冬季,围护结构保温可增大墙体热惰性,减小由于室外温度波动对室内温度的影响。

**关键词** 建筑节能 夏热冬冷地区 能耗 敏感性分析

## Sensitivity analysis of energy consumption for residential buildings in hot summer and cold winter zone

By Zhang Xu<sup>★</sup> and Li Kuishan

**Abstract** Investigates the all-year energy consumption of a typical residential building in Shanghai with the BIN method. Based on the *Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and cold winter zone*, calculates the heat transfer coefficients of walls and windows to figure out their effects on the energy consumption. Analyses the impacts of indoor design parameters and energy efficiency ratio on building energy consumption. The results show that the influence of wall heat transfer coefficient is greater than the window heat transfer coefficient. Selects one building in Shanghai to measure the outdoor and indoor air temperatures in transition and winter seasons, and the data show that the wall thermal insulation can increase the thermal inertia and improve the indoor environment.

**Keywords** building energy efficiency, hot summer and cold winter zone, energy consumption, sensitivity analysis

★ Tongji University, Shanghai, China

①

## 0 引言

经过几十年的探索和经验积累,同时借鉴国外已有的节能技术,我国严寒地区和寒冷地区居住建筑节能的基本思路已经比较清晰,即减小窗墙比、加强保温、集中供热和优化调控。但夏热冬冷地区居住建筑节能的基本思路尚待进一步明确,主要原因是由于在计划经济时代,这一地区是传统不采用集中供暖地区,所以在《夏热冬冷地区居住建筑节能

设计标准》(JGJ 134—2001)<sup>[1]</sup>(以下简称《标准》)中,对围护结构主体和外窗的传热系数的限值都定得较高:外墙传热系数  $K \leq 1.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外窗传热系数  $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq K \leq 4.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,换气次数为  $1 \text{ h}^{-1}$ ,并给出了单位面积全

①☆ 张旭,男,1955 年 12 月生,博士,教授,博士研究生导师,所长  
200092 上海四平路 1239 号同济大学暖通空调及燃气研究所

(021) 65983605

E-mail: zhangxu-hvac@mail.tongji.edu.cn

收稿日期:2007-07-09

\* 国家自然科学基金资助项目(编号:50578113)

年能耗指标。近年来,随着夏热冬冷地区人民生活水平的提高,对室内舒适要求不断提高,冬季供暖越来越普遍。目前主要的供暖方式是电驱动的空调热泵,冬季供暖需求的增加导致冬季供暖用电逐年增加。图 1 为 2000—2006 年上海冬、夏季用电能耗峰值年变化情况。从图中可以看出,冬季用电能耗逐年增加,2006 年冬季用电能耗峰值基本达到了 2000 年的 2 倍,其中空调能耗占总用电能耗的 45%。空调使用量的不断增加,冬季供暖需求日益增加,这种生活方式的改变,必然导致这一地区建筑节能思路发生变化,所以分析常用的几个节能措施对全年能耗的影响,对进一步明确这一特殊气候区的居住建筑节能思路显得相当重要。

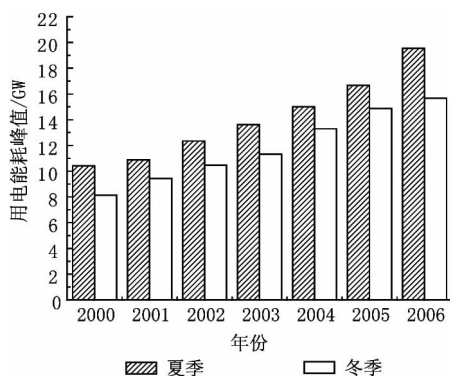


图 1 上海冬、夏季用电能耗峰值比较

本文以上海地区某典型节能建筑为对象,用 BIN 法对采用不同保温结构的典型建筑冬、夏季能耗影响因素作了定量计算。通过改变保温层厚度,分析不同外墙、外窗、室内环境设计参数对建筑全年能耗的影响。同时由于 2005 年 1 月《房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》(GB 12021.3—2004)的实施,现行市场准入的空调能效比与《标准》规定限值相比有了显著的提高,因此本文分析了空调器能效比的变化对冬、夏季及全年能耗的影响。

## 1 典型建筑及计算条件

### 1.1 计算建筑的基本参数

计算的典型建筑位于上海,总建筑面积 150 m<sup>2</sup>,体形系数 0.4,窗墙比 0.4,朝向正南。围护结构的参数见表 1。

### 1.2 上海地区 BIN 参数<sup>[1]</sup>(见表 2)

根据《标准》,能耗分析的计算条件如下:夏季室内设计温度 26℃,能效比 2.3;冬季室内设计温

表 1 围护结构参数

| 围护结构组成(由外到内)及尺寸/mm |                                                                 | 传热系数/<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 外墙                 | 外粉刷 10+聚苯乙烯泡沫塑料(EPS) 30+钉板及钢网抹灰 10+黏土多孔砖 240+内粉刷 10             | 0.75                             |
| 屋面                 | 钢筋混凝土 40+水泥砂浆 20+聚苯板 40+水泥膨胀珍珠岩 50+水泥砂浆 20+钢筋混凝土 120+石灰、砂、砂浆 15 | 0.57                             |
| 外窗                 | 平板玻璃 5+热流水平(垂直)10+平板玻璃 5                                        | 3.20                             |
| 外门                 | 平板玻璃 6+热流水平(垂直)12+平板玻璃 6                                        | 2.50                             |

表 2 上海地区全年 BIN 参数

| 时间/h | 室外温度/℃ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|      | -4     | -2  | 0   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  |  |
| 时间/h | 13     | 52  | 72  | 202 | 421 | 519 | 544 | 640 | 477 | 514 | 503 |  |
| 时间/h | 室外温度/℃ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|      | 18     | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  |     |  |
| 时间/h | 564    | 555 | 765 | 781 | 673 | 728 | 444 | 203 | 68  | 22  |     |  |

度 18℃,能效比 1.9。外墙传热系数  $K \leq 1.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外窗传热系数:  $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq K \leq 4.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,空调机组全年能耗  $\leq 55.06 \text{ kWh}/\text{m}^2$ 。夏季空调运行 1 440 h,平均每天运行 10 h;冬季空调运行 942 h,平均每天运行 10 h。空调全年运行 2 382 h。

同时根据《房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》(GB 12021.3—2004)对空调能效等级的规定<sup>[3]</sup>,假定外墙传热系数  $K=0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外窗传热系数  $K=2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 保持不变。分别计算夏季能效比从 2.3~3.8 变化和冬季能效比从 1.9~2.8 变化的能耗及全年总能耗。

## 2 围护结构参数变化对建筑能耗的影响分析

夏季室内温度取 28℃,冬季室内温度取 16℃,BIN 法计算能耗的结果为:夏季总负荷为 70.96 kWh/m<sup>2</sup>,冬季总负荷为 37.33 kWh/m<sup>2</sup>。从计算结果中得出,冬季总负荷占全年总负荷的 34%左右。以下在窗墙比为 0.4 固定不变的条件下,空调能效比采用文献<sup>[3]</sup>中的数据,分别讨论外墙和外窗传热系数变化对全年总能耗的影响。

### 2.1 外墙传热系数变化对能耗的影响分析

假定外窗传热系数  $K=2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 不变,外墙传热系数从 0.3~1.5 W/(m<sup>2</sup>·K)变化,计算结果见图 2。

可以看出,在外墙传热系数从 1.5 W/(m<sup>2</sup>·K)减小到 0.3 W/(m<sup>2</sup>·K)的过程中,冬季外墙传热系数变化对能耗的影响要大于夏季。这是因为

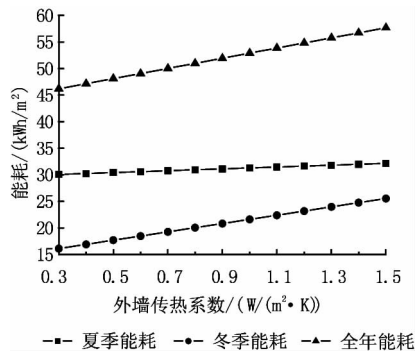


图 2 外墙传热系数对能耗影响

冬季建筑物内外温差要大于夏季,所以增加墙体保温厚度、减小外墙传热系数对冬季建筑节能的贡献要大于对夏季的贡献。由此,若夏热冬冷地区只考虑夏季供冷,外墙传热系数可以取《标准》中的上限,但若考虑冬季供热,应合理确定外墙保温,把外墙传热系数控制在一个合理的范围。外墙传热系数必定有一个值使得全年能耗最小,该问题本文不作深入研究。

## 2.2 外窗传热系数变化对能耗的影响分析

假定外墙传热系数  $K = 0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  不变,外窗传热系数从  $2.0 \sim 4.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  变化,在此条件下对围护结构能耗进行计算,结果如图 3 所示。

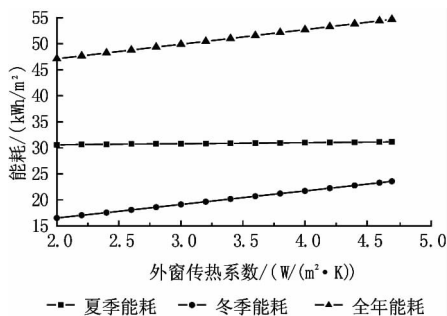


图 3 外窗传热系数对能耗影响

从图 3 可以看出,冬季外窗传热系数变化对能耗的影响要大于夏季。

## 3 室内温度变化和围护结构保温耦合作用对能耗的影响分析

对不同的围护结构保温层厚度,室内设计温度不同,同样会对建筑能耗产生影响。下面在不同围护结构传热系数下改变室内设计温度,计算建筑物的能耗,以分析室温和围护结构保温对建筑能耗的耦合作用。计算中,夏季室内温度设定为  $22 \sim 28^\circ\text{C}$ ;冬季室内温度设定为  $12 \sim 22^\circ\text{C}$ 。图 4~7 分别

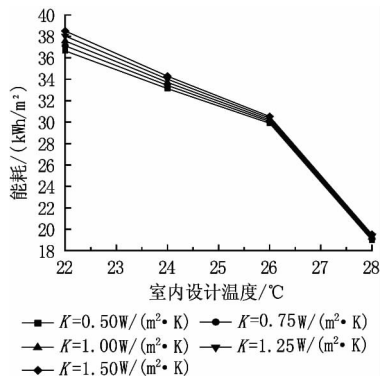


图 4 夏季能耗随外墙传热系数变化

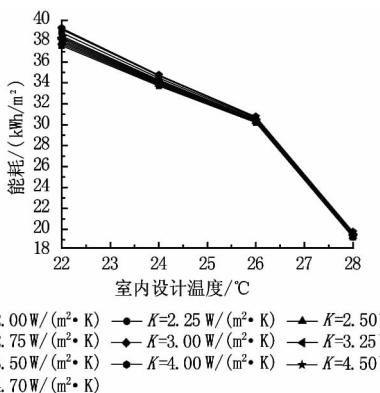


图 5 夏季能耗随外窗传热系数变化

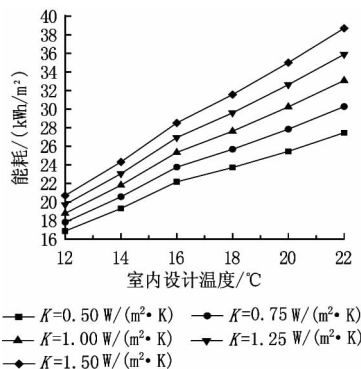


图 6 冬季能耗随外墙传热系数变化

为夏季和冬季在不同室内设计温度条件下能耗随外墙及外窗传热系数变化的情况,图 4 和图 6 中维持外窗传热系数  $K = 2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  不变,图 5 和图 7 中维持外墙传热系数  $K = 1.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  不变。

比较图 4 和图 6,在外墙传热系数变化相同的条件下,夏季能耗变化最大为  $1.86 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ,而冬季变化最大为  $13.28 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ;比较图 5 和图 7 可以得出类似的结论。类似地,比较图 4 和图 5,在室内设计温度相同的条件下,改变外墙传热系数对能耗的影响大于改变外窗的传热系数;比较图 6 和

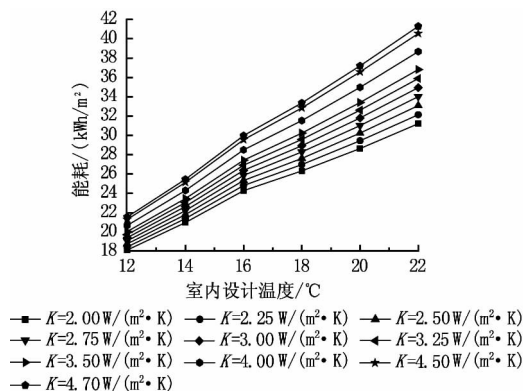


图7 冬季能耗随外窗传热系数变化

图7,可以得出相同的结论。围护结构传热系数和室内设计温度对建筑能耗的耦合影响过程表明,夏季,随着室温的升高,建筑能耗对围护结构传热系数的变化将变得不敏感;冬季,随着室温的降低,建筑能耗对围护结构传热系数的变化也将变得不敏感。

综上,在夏季供冷期间,建筑能耗主要对室内设计温度的变化敏感,而受围护结构传热系数变化的影响不突出,所以夏季提高室内温度比增加保温(降低外墙传热系数)节能效果明显;而在冬季供暖期间,建筑能耗对室内设计温度和围护结构传热系数变化的影响均很明显。相比较而言,冬季改变传热系数将对建筑能耗产生更大影响,且室内设计温度改变时建筑能耗也将更敏感地发生变化。因此,在冬季,随着室温的提高,增加外墙保温的意义将越来越突出。简言之,随着外墙保温厚度的增加,建筑能耗的降低是明显的。

#### 4 空调能效比对能耗影响分析

图8和图9分别为夏季和冬季空调能效比和能耗的变化关系。从图中可以看出,能效比对全年能耗影响较大。夏季能效比从2.3增加到3.4,全

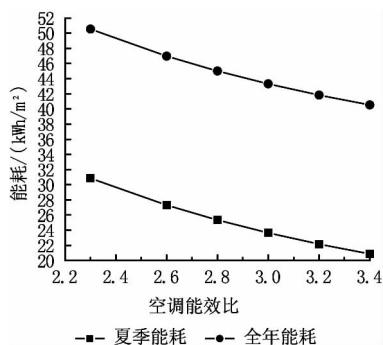


图8 夏季能效比对能耗的影响

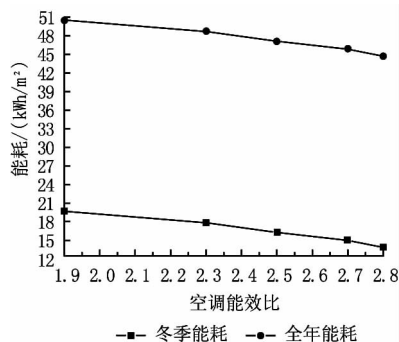


图9 冬季能效比对能耗的影响

年能耗降低 10 kWh/m²;冬季能效比从 1.9 增加到 2.8,全年能耗减小 6.3 kWh/m²。相比较而言,增加能效比对降低夏季能耗的作用更突出,提高空调机的能效比是降低能耗的有利措施。

同外墙、外窗传热系数的改变对能耗的影响相比而言,增加空调能效比对降低能耗的效果更明显。当夏季空调能效比增加到 3.0 以上时,全年能耗小于图 2,3 中外墙或外窗传热系数取最小值时的能耗。在冬季,增加能效比对能耗的影响没有夏季明显。当能效比增加到上限值 2.8 时,总能耗同外墙传热系数或外窗传热系数降低到最小值时的能耗基本相等。

#### 5 围护结构保温对节能影响的测试及分析

##### 5.1 测试目的

对上海某典型节能建筑进行了实测,用大量测试数据分析室内温度受室外温度波动的影响,进而分析围护结构保温的影响。测试建筑采用了外墙外保温技术,保温厚度为 60 mm,外墙传热系数  $K=0.46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外窗传热系数  $K=2.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。其余参数见表 1。通过测试过渡季及冬季室内外温度,分析保温围护结构热惰性对室温波动的影响,以间接分析夏热冬冷地区围护结构保温对建筑能耗的作用。

##### 5.2 测试仪器

###### 1) 室内测试仪器

HOBO H8 系列记录仪。测量的数据包括室内温度和相对湿度。该仪器含内置温/湿度传感器,记录容量达 7 943 个测量数据,可用光学 HOBO 梭读出和设定。用户校准无需精密设备,在 0~95%相对湿度范围内,不结露、不起雾,可适用于环境温度、相对湿度的在线测量和记录。

###### 2) 室外测试仪器

ZZ11 环境监测气象仪。ZZ-11 环境监测气象仪由分向风速传感器、温湿度传感器、气压传感器和主机构成,能有线遥测并数字显示逐时风向和风速、空气温度和相对湿度。

### 5.3 测试参数及测试时间

1) 测试对象为上海某节能建筑,包括 1,2,3,4 四个房间,其中房间 1 在 1 层,房间 2 和 3 在 5 层,房间 4 在 4 层,朝向均为正南,冬季室内温度设定为 18℃。

2) 测试参数:室内、外逐时温度。

3) 测试时间:2006 年 4 月 8 日 10:00~5 月 23 日 18:00;2007 年 1 月 22 日 10:00~24 日 17:00。供暖系统开启时间为 06:00~22:00。1 月 25 日在室内供暖系统全部关闭的条件下,同时记录室内外温度。

## 5.4 测试结果分析

### 5.4.1 过渡季测试分析

图 10 为室内、外日平均温度比较。从图中可以看出,尽管过渡季室外温度变化较大,但室内温度受室外温度波动影响并不大,其波动范围仅在 3℃左右。图 11 为室外日最大温差,波动范围为 4~

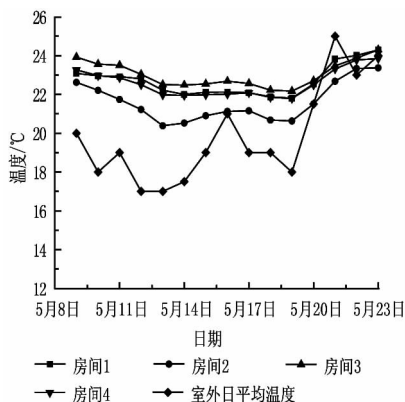


图 10 室内、外日平均温度比较

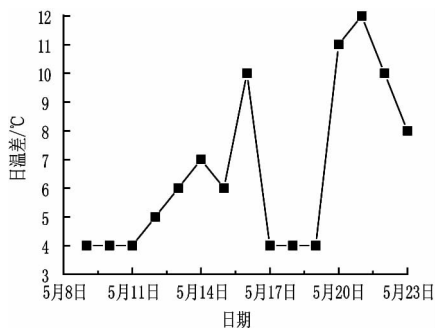


图 11 室外日最大温差

12℃。测试结果表明,围护结构保温所增强的热惰性延缓和降低了室外温度降低时室内温度的降低,从而可以减小围护结构的能耗。

### 5.4.2 冬季测试分析

图 12 为供暖系统开启时室内、外温度的变化曲线。图 13 为供暖系统关闭时室内、外温度变化曲线。如图 12 所示,在第一天 10:00 开始供暖,房间温度较低,随着室内供暖的持续,房间温度逐渐升高,并在 14:00 达到最高值 20℃ 左右。显然,透过玻璃的日射得热以及围护结构温差传热的共同作用导致室内温度升高。在室外气温最高点同步出现室内温度最高点的根本原因是太阳辐射透射在之前的累积在此刻达到了最大效应。图 13 为所有房间供暖设备关闭后的测试结果,其中房间 4 在测试期间一直没有供暖。分析图 13 所示的 1 月 25 日房间 1~4 室内温度变化可知,室温并没有随供暖系统的关闭而明显下降,甚至在太阳辐射作用下出现了升高。冬季的测试结果表明:该居住建筑

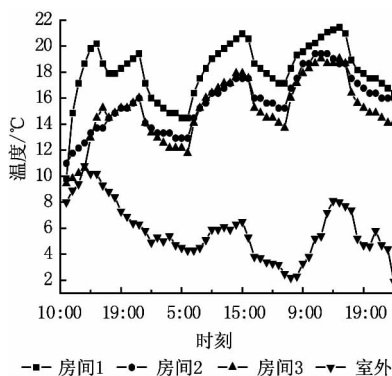


图 12 室内、外温度变化(1月22~23日)

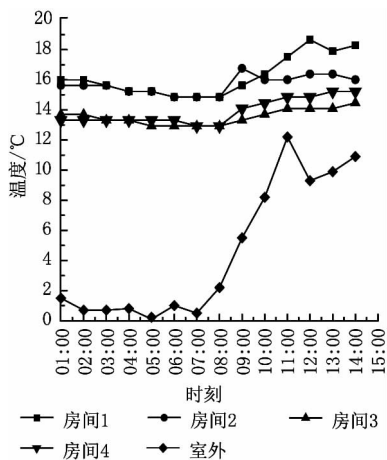


图 13 室内、外温度变化(1月25日)