



窗墙比对住宅供暖空调总能耗的影响^{*}

北京工业大学 简毅文[☆]
清华大学 江 亿

摘要 以上海地区的居住建筑为研究对象,采用 DeST 软件对建筑全年的供暖、空调能耗进行了动态模拟,研究分析在不同朝向,窗墙比对建筑全年供暖能耗、全年空调能耗以及全年供暖、空调总能耗的影响规律。结果表明,东(西)、北向窗墙比的加大会导致建筑全年供暖、空调总能耗的增加;在夏季采用外窗遮阳和有效夜间通风的条件下,南向窗墙比的加大有利于建筑全年供暖、空调总能耗的降低。

关键词 窗墙比 住宅 供暖能耗 空调能耗 朝向

Influence of window-wall ratio on annual energy consumption for heating and air conditioning in residential buildings

By Jian Yiwen[★] and Jiang Yi

Abstract Dynamically simulates the annual energy consumption for a typical residential building in Shanghai using DeST software, and studies the influence of window-wall ratio in different building orientations. The results show that the total energy consumption for heating and air conditioning will increase with the greater east (west) or north window-wall ratio and that the total energy consumption will be reduced with the greater south window-wall ratio on condition that window shading and night ventilation in summer.

Keywords window-wall ratio, residential building, heating energy consumption, air conditioning energy consumption, orientation

★ Beijing University of Technology, Beijing, China

①

0 引言

在各项降低建筑能耗的措施中,建筑本体热性能的改善是首要和关键的。对于居住建筑,其热性能的状况最终是通过建筑形式及围护结构的热工性能来体现的,建筑窗墙比即是其中的一个重要参数。窗墙比加大一方面会导致房间太阳辐射得热增加,另一方面会增强室内、外的热量交换。前者有利于冬季室内热环境的改善,但会导致夏季空调能耗的增加;后者使得冬季房间的热量消耗增大,

但却有利于夏季的室内散热。这意味着窗墙比加大对冬季和夏季的室内热环境都分别存在有利和不利方面。因此,为充分有效地利用太阳能,实现建筑节能,必须合理地确定窗墙比。

在窗墙比对居住建筑供暖、空调能耗影响规律的研究方面,目前已有大量的相关报道^[1-3]。研究

①[☆] 简毅文,女,1967年7月生,博士研究生,副教授
100022 北京工业大学建筑工程学院建筑环境与设备工程系
(010) 67391608-203 (0) 13520505622
E-mail: jianyiwen@bjut.edu.cn
收稿日期:2005-08-01
修回日期:2005-12-25

结果显示空调能耗与窗墙比基本呈正线性关系,但在供暖能耗的变化规律以及窗墙比最终的合理取值方面,各项研究结果不太一致。

对于夏热冬冷的上海地区,文献[1]通过对建筑能耗状况的动态模拟,指出房间的供暖耗热量与南向窗墙比呈二次幂函数关系,而与其他朝向的窗墙比则基本呈正线性关系,当南向窗墙比为 0.4 时,房间的供暖能耗达到最低,于是,南向以外其他朝向的窗墙比越小越有利于建筑节能,至于南向窗墙比对住宅供暖、空调总能耗的影响在文献中未加以讨论,从而无法确定其最终的合理取值。文献[2]则基于稳态的计算方法,指出供暖耗热量与所有朝向的窗墙比都呈正线性关系,显然,窗墙比越小越有利于建筑节能。我国现行的《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》采用动态模拟分析的方法,研究分析各个朝向窗墙比的合理取值与外窗保温性能的关系,指出只有外窗传热系数降低到 $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,南向窗墙比最大才可定为 0.5;而同时,对于东、西向的外窗,如果采用太阳辐射透过率低于 0.2 的外遮阳设施,则窗墙比也可加大到 0.5。

本文的研究力图澄清上述有关窗墙比影响规律的认识。以上海地区的住宅建筑为研究对象,采用动态模拟分析的方法,研究分析在不同朝向下,窗墙比对建筑全年供暖能耗、全年空调能耗以及全年供暖、空调总能耗的影响规律,为居住建筑窗墙比的合理取值提供参考数据。

1 研究方法

通过模拟软件 DeST 计算单位建筑面积的全年供暖耗热量和空调耗冷量,进而确定单位面积的供暖、空调年耗电量,以此研究分析窗墙比对建筑全年供暖、空调能耗的影响规律。

在对住宅室内热环境的影响状况上,外窗与外墙相比较,前者具有较强的传热性能,并且能透过太阳辐射热。外窗这两方面的性能主要由材料性质及构造所决定,此外,透过外窗的太阳辐射热还受到外窗朝向以及外窗遮阳状况的影响。

另一方面,外窗的传热性能与太阳辐射得热性能之间是相互影响的。例如,表面镀膜或增加玻璃层数会增强外窗的保温隔热性能,但同时也会由于玻璃表面光学性能的改变而导致太阳辐射得热性能的降低,也即外窗保温性能的改善是以太阳得热

性能的降低为代价的。

因此,应针对不同的外窗保温性能和太阳辐射得热性能,逐一分析窗墙比对建筑全年供暖、空调能耗的影响规律。综合考虑影响外窗热工性能的各个因素及其相互关系,确定具体的研究内容如下:

1) 对于外墙、屋顶等构件符合现行节能标准的上海地区的居住建筑,在东(西)、南、北三个不同的朝向下,针对塑钢单玻窗、塑钢中空窗以及塑钢中空镀膜窗三种常见类型的外窗,模拟分析单位建筑面积的供暖年耗电量随房间窗墙比的变化趋势。

2) 在分析供暖年耗电量计算结果的基础上,模拟分析房间朝向、外窗类型(保温性能和太阳辐射得热性能)、外窗遮阳状况以及房间自然通风状况对单位建筑面积空调年耗电量随房间窗墙比变化趋势的影响。

3) 分析全年供暖、空调总耗电量随房间窗墙比的变化趋势。

2 研究对象

研究对象为上海地区一钢筋混凝土结构多层板式住宅楼,平面布局如图 1 所示。

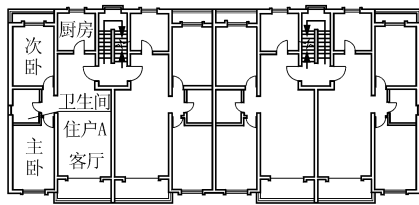


图 1 研究对象平面布局

为研究问题的方便,本文仅研究客厅和主卧房间窗墙比变化的影响,而次卧、厨房和卫生间的窗墙比则保持不变,分别为 0.25, 0.15 和 0.18。

外墙为 180 mm 厚钢筋混凝土板加 30 mm 厚聚苯板外保温,平均传热系数为 $0.97 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;屋面为 130 mm 厚钢筋混凝土圆孔板加 50 mm 厚聚苯板外保温,平均传热系数为 $0.76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [4]。外墙和屋面的保温隔热性能满足《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》的要求。至于外窗的类型,对于客厅和主卧,考虑塑钢单玻窗、塑钢中空窗和塑钢中空镀膜窗三种类型,其他房间则采用塑钢中空窗。上述三种类型外窗的热工参数如表 1 所示。

表 1 外窗的热工参数

	传热系数 $K/$ ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	太阳辐射得热 系数 $SHGC$
塑钢单玻窗	4.7	0.79
塑钢中空窗	3.2	0.58
塑钢中空镀膜窗	2.5	0.48

单元住宅的建筑面积为 $78 m^2$,住宅内各个房间人体、照明灯具、电器设备及燃气灶具逐时发热量数据见文献[5]。图 2 给出客厅内人体、照明灯具及电器设备三个内热源的逐时发热状况。

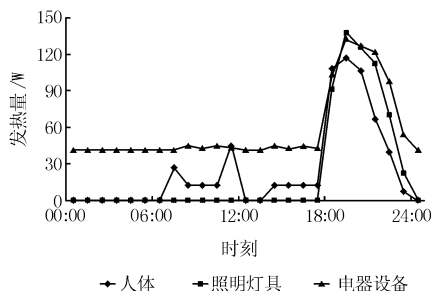


图 2 客厅内热源的逐时发热状况

供暖、空调设备的运行方式为间歇运行,供暖设备的使用时间为:客厅 17:00~23:00,卧室、卫生间 17:00~8:00,厨房 17:00~23:00;空调设备的使用时间为:客厅 17:00~23:00,卧室 20:00~8:00。

供暖、空调的室内设定温度分别为 $18^\circ C$ 和 $26^\circ C$,冷热源为空气源热泵型空调器,额定能效比的取值与现行的《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》一致,供暖为 1.9,空调为 2.3。

房间的通风状况首先考虑采用全年 $1 h^{-1}$ 换气次数的固定通风方式。

3 计算结果分析

3.1 对全年供暖耗电量的影响

在房间间歇供暖、内热源动态发热以及固定 $1 h^{-1}$ 换气次数的计算条件下,考虑主卧和客厅两个房间的外窗分别位于南、北、东三个不同的朝向,在此基础上,针对塑钢单玻窗、塑钢中空窗及塑钢中空镀膜窗三种外窗,模拟分析单位建筑面积的供暖年耗电量随主卧和客厅窗墙比的变化趋势,计算结果如图 3~5 所示。

北向和东向窗墙比的加大均会导致建筑全年供暖能耗的增加,北向窗墙比变化所导致供暖能耗增加的幅度要远大于东向;而与北向和东向相反,南向窗墙比的加大则有利于全年供暖能耗的降低。另一方面,供暖能耗随北向窗墙比增加的幅度将随着外窗保温性能的增强而降低,而南向和东向窗墙

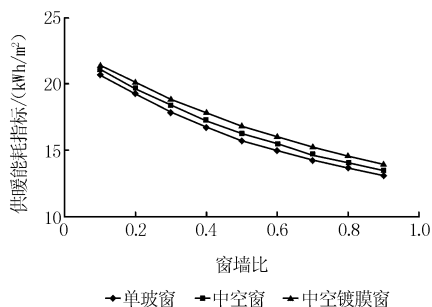
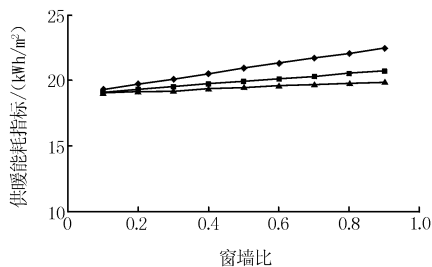
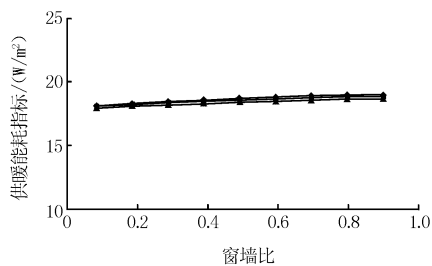


图 3 南向窗墙比对供暖能耗的影响



图例同图 3

图 4 北向窗墙比对供暖能耗的影响



图例同图 3

图 5 东向窗墙比对供暖能耗的影响

比变化对供暖能耗的影响程度则几乎与外窗类型无关。

综合考虑外窗的传热特性和对太阳辐射的透过特性,从外窗净得热的角度进一步分析窗墙比对供暖能耗的影响。按式(1)计算上述三个朝向、三种类型外窗供暖季的平均净得热量^[6],计算结果如图 6 所示。

$$Q_z = \frac{-K \int_0^{\Delta\tau} (t_n - t_w) d\tau}{\Delta\tau} + \frac{(1-A) \int_0^{\Delta\tau} Q_s (SHGC) d\tau}{\Delta\tau} \quad (1)$$

式中 Q_z ——供暖季外窗的平均净得热量, W/m^2 ;

t_n ——室内温度, $^\circ C$;

t_w ——室外温度, $^\circ C$;

τ ——时间, h ;

$\Delta\tau$ ——供暖季总时间, h;
 A ——窗框比;
 Q_s ——落在垂直面上的太阳辐射热量, W/m^2 。

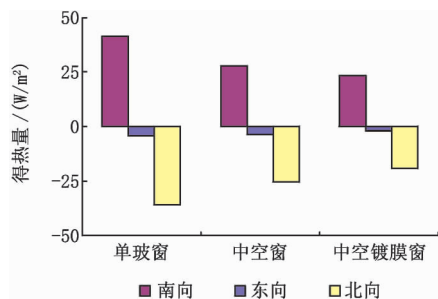


图6 供暖季外窗的平均净得热量

从图6可以看出,对于现有常见类型的外窗,处于南向时为净得热构件,也即是透过单位面积外窗的太阳辐射得热量要大于通过外窗的传热损失;而处于北向和东向时则为净失热构件,也即是透过单位面积外窗的太阳辐射得热量要小于通过外窗的传热损失。显然,这与不同朝向窗墙比对供暖能耗的影响规律是一致的。南向窗墙比的加大将有利于降低供暖能耗,而北向和东(西)向窗墙比的加大将会导致供暖能耗的增加。

上述外窗净得热或失热的变化规律与各个朝向太阳辐照度的变化规律是一致的,供暖季南向太阳辐照度最大,房间获得的太阳辐射热最多,东向次之,北向最小。

3.2 对全年空调耗电量的影响

由于玻璃对太阳辐射透过性能及较强的传热性能,无论哪个朝向,加大窗墙比对夏季空调能耗的降低显然都是不利的。综合窗墙比对供暖能耗影响规律的分析,可以看出,对于东(西)向和北向,窗墙比的加大会导致全年供暖、空调总能耗的增加。因此无论对于塑钢单玻窗、塑钢中空窗还是塑钢中空镀膜窗,在这些方向上应限制窗墙比的大小。

对于南向,由于外窗在供暖季是净得热构件,全年供暖能耗随窗墙比的加大而降低,这样,加大窗墙比对全年供暖、空调总能耗的影响就有可能是有利的,也有可能是不利的。因此,有必要对全年空调能耗随南向窗墙比变化的程度作定量的分析和研究。

设定主卧和客厅朝南。在房间间歇空调、内热源动态发热以及固定 $1 h^{-1}$ 换气次数的计算条件下,选择太阳辐射得热和传热得热性能最强和最弱

的塑钢单玻窗和塑钢中空镀膜窗,模拟计算单位建筑面积的空调年耗电量随主卧和客厅南向窗墙比的变化趋势,计算结果如图7所示。

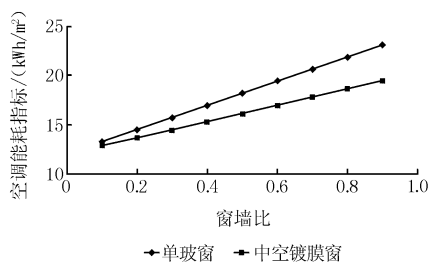


图7 南向窗墙比对空调能耗的影响

建筑全年空调能耗同样随南向窗墙比的增大而加大,但单玻窗和中空镀膜窗两种不同类型的外窗相比较,由于中空镀膜窗保温性能的增强和太阳辐射得热的减少,窗墙比变化对空调能耗的影响程度明显降低。

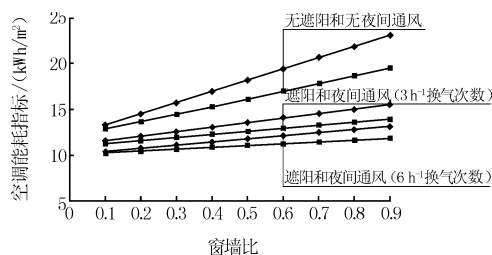
以上的计算结果是在全年 $1 h^{-1}$ 换气次数的固定通风方式下得出的,而实际情况是住户在夏季和过渡季往往会采取外窗遮阳和夜间通风等调节措施以改善室内热环境。住宅自然通风状况实测研究的结果表明,对于住户反映通风状况较差的房间,房间的通风换气次数主要在小于 $6 h^{-1}$ 的范围内变化;而对于住户反映通风状况一般的房间,通风换气次数出现在 $6 \sim 20 h^{-1}$ 范围内的比例明显增加;当住户感觉房间的自然通风状况比较理想、甚至吹风感十分强烈时,通风换气次数最高甚至达到 $50 h^{-1}$ [5]。

从自然通风状况一般甚至较差的房间着手,分别考虑换气次数最大为 $3 h^{-1}$ 和 $6 h^{-1}$ 的夜间通风方式,采用太阳辐射反射率为 0.5 的浅色布艺窗帘,窗帘拉上的时间为 8:00~17:00。模拟计算全年空调能耗随主卧和客厅南向窗墙比的变化趋势,并与未采用遮阳和夜间通风的情况相比较,计算结果如图8所示。

采用遮阳和夜间通风后,建筑的空调能耗明显降低,更主要地在于降低了增大窗墙比对全年空调能耗不利影响的程度。并且夜间通风的影响将随着换气次数的加大而增强。

3.3 对全年供暖、空调总耗电量的影响

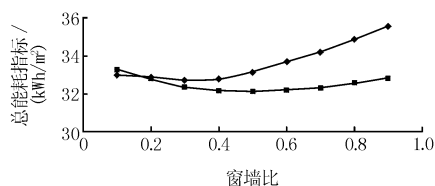
根据不同计算模式下,建筑全年供暖能耗和全年空调能耗的计算结果,在夏季不采用遮阳和无夜间通风以及采用遮阳和夜间通风,但通风能力有所



图例同图 7

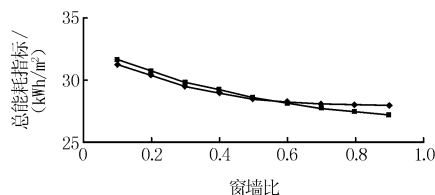
图 8 不同通风状况下南向窗墙比对空调能耗影响的比较

不同的居住行为方式下,研究分析建筑全年供暖、空调总能耗随南向窗墙比的变化趋势,结果如图 9~11 所示。

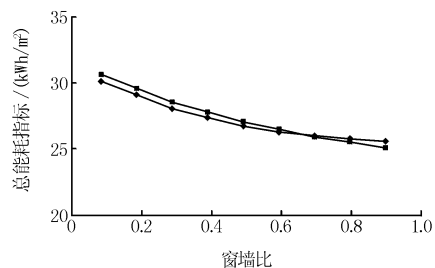


图例同图 7

图 9 无遮阳和无夜间通风条件下,南向窗墙比对全年供暖、空调总能耗的影响



图例同图 7

图 10 遮阳和夜间通风(最大换气次数 3 h^{-1})条件下,南向窗墙比对全年供暖、空调总能耗的影响

图例同图 7

图 11 遮阳和夜间通风(最大换气次数 6 h^{-1})条件下,南向窗墙比对全年供暖、空调总能耗的影响

计算结果显示出外窗类型(传热性能和太阳辐射得热性能),尤其外窗遮阳状况和房间自然通风状况对南向窗墙比合理取值的影响和制约。

在夏季外窗无遮阳和固定 1 h^{-1} 换气次数的计算条件下,对于塑钢单玻窗,住宅全年的供暖、空调

总耗电量在窗墙比约为 $0.3 \sim 0.4$ 时达到最低;而对于中空镀膜窗,住宅全年的供暖、空调总耗电量则在窗墙比为 $0.5 \sim 0.6$ 时达到最低。在此条件下,主要是外窗的保温性能决定窗墙比的合理取值,增强外窗保温性能,可以适当加大南向窗墙比。

采用外窗遮阳和夜间通风后,加大窗墙比对全年空调能耗不利影响的程度得以降低,当此不利的影响程度低于对供暖能耗的有利影响程度时,加大南向窗墙比就会导致全年供暖、空调总能耗降低。从图 10,11 可以看出,当夜间通风的换气次数大于 3 h^{-1} 时,即使对于塑钢单玻窗,南向窗墙比的增大都始终有利于建筑全年供暖、空调总能耗的降低;对于塑钢中空镀膜窗,加大南向窗墙比的有利影响则更为明显。

4 结论

研究分析建筑全年供暖、空调总能耗随窗墙比的变化趋势应考虑朝向、外窗类型(传热性能和太阳辐射得热性能)、外窗遮阳状况以及房间通风状况的影响。

东(西)、北向窗墙比的加大会导致建筑全年供暖、空调总能耗的增加,因此,在这些方向上应限制窗墙比的大小。

而南向窗墙比所导致建筑全年供暖、空调总能耗的变化幅度则在很大程度上受到外窗类型、外窗遮阳状况和房间通风状况的影响和制约。其中,外窗遮阳和房间通风方式的影响更为明显,对于具有一般通风能力的住宅房间,若在夏季采用外窗遮阳和夜间通风,则加大南向窗墙比始终有利于建筑全年供暖、空调总能耗的降低。

参考文献

- [1] 侯余波,付祥钊. 夏热冬冷地区窗墙比对建筑能耗的影响[J]. 建筑技术, 2002, 32(10): 661-662
- [2] 李玉云,陈国鸣. 围护结构对中央空调能耗的影响[J]. 武汉科技大学学报, 2003, 26(3): 256-258
- [3] 中国建筑科学研究院,重庆大学. JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001
- [4] 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, 1997
- [5] 简毅文. 住宅热性能评价方法的研究[D]. 北京: 清华大学, 2003
- [6] 薛志峰,曾剑龙,刘晓华,等. 超低能耗建筑技术及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004