

上海低密度住宅墙体热工性能分析

瞿燕, 魏黎, 潘毅群, 黄治钟

(同济大学 机械工程学院, 上海 200092)

摘要: 根据上海地区的实际情况和低密度住宅现状的调查结果,以《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》为参考,借助于能耗分析软件 TRACE™ 700 对目前低密度住宅的一些常见墙体形式和新型墙体材料进行热工性能模拟,并进行简单的经济分析,得出一些结论和提出建议。

关键词: 建筑节能; 低密度住宅; 热工性能

中图分类号: TU111.4, TU83

文献标识码: A

文章编号: 1006-3443(2006)02-0040-05

0 引言

由于世界工业的高速发展和人们对居住环境改善的渴望,促进了世界各国建筑业的蓬勃发展,但在满足了人们需要的同时也由此带来了一些负面的影响。由于建筑能耗的急剧增长引发了一系列环境、能源和社会问题。我国的建筑能耗占全国能耗量的 1/4 以上,其中建筑采暖、空调、照明占 14%,建筑建造能耗为 11%^[1]。而且在我国经济比较发达的中心城市中建筑能耗还会有很大的增长空间,它将逐步取代工业能耗而成为这些城市中能源消费的主体。因此实施建筑节能不仅可以有效地节约能源,减少对环境造成的直接或间接的压力,而且还能降低电网的负荷,保证社会的稳定。

实现建筑节能,需要增强建筑围护结构的保温隔热性能和提高采暖、空调设备的效率。本文着重讨论建筑围护结构部分的外墙体热工性能。在建筑物采暖、空调负荷中,围护结构的传热占了很大一部分,墙体是建筑围护结构的主要组成部分,通过外墙传热所造成的能耗约占建筑的外围护结构总能耗的 48%^[2]。

上海不属于冬季采暖区,历年来建筑设计对于围护结构的保温隔热性能没有给予特殊重视,因此该地区建筑围护结构的保温隔热性能要比采暖地区差很多。然而随着生活水平的不断提高,空调和采暖的使用日益增多,使得建筑能耗迅速增长,建筑节能也显得愈加重要。低密度住宅因其自身的特点,与其他类型的住宅建筑相比建筑能耗较高,所以对其进行热工性能分析有着迫切的现实意义。笔者针对上海地区

2003 年新建低密度住宅的墙体材料的使用现状做了详细的调研,并根据调研结果,采用美国特灵公司开发的能耗模拟软件 TRACE™ 700,模拟一幢典型的两层独立式住宅,分析由于不同墙体形式对建筑负荷与能耗的综合影响,并选择几种墙体进行了简单的经济分析。

1 上海整体环境以及低密度住宅材料使用现状的调研结果

1.1 上海整体环境

从上海的气候条件看,上海属于夏热冬冷地区。在夏季连晴的高温天气中,室内温度超过 30℃,冬季室内外温差只有 1~4℃,室内阴冷,温度不到 12℃,人在室内坐久,则感到寒气袭人。从经济条件看,上海的人均生活水平普遍较好,住宅改革颇见成效,人民的居住观念、健康意识和消费观念逐渐发生转变,人们对住宅的舒适度提出了更高的要求。

在建筑节能实践的层面上,上海与西方国家相比还存在相当大的差距,具体数据参见表 1。英国标准在

表 1 不同标准的建筑传热系数比较

位置	W/(m ² ·℃)					
	上海节能标准	瑞典	丹麦	英国	德国	美国
外墙	≤1.5	0.17	0.35	0.45	0.5	0.3~0.5
窗户	≤3.2	2.0	2.9		1.5	2.0~2.6
屋顶	≤1.0	0.12	0.2	0.45	0.22	0.15

注:上海地区窗户传热系数值的规定是在窗墙面积比大于 0.25 且小于或等于 0.35 的前提条件下设定。

能源危机前外墙传热系数值为 $1.6\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{C})$ ，现已降至 $0.45\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{C})$ ，而上海的节能标准规定，外墙体的传热系数上限值为 $1.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{C})$ ，可见差距是非常大的。因此迫切需要对住宅建筑的外墙体进行革新，提高建筑围护结构的保温隔热性能，实现建筑节能。

1.2 上海低密度住宅材料应用现状的调查与分析

2004年4月我们就上海地区低密度住宅材料使用的现状作了一次随机抽样调查。低密度住宅就是指建筑容积率不大于0.9或套密度不大于3.5套/1000 m^2 ，且层数在四层以下的住宅^[9]。本次调研活动的对象是2003年在上海新建成的独立式住宅、联排式住宅、叠加别墅或低于六层的多层住宅。共发放问卷250份，收回问卷60份，其中有效问卷42份，涉及调研人员125人，被访楼盘覆盖上海10大区域（浦东新区、杨浦区、闸北区、长宁区、普陀区、宝山区、青浦区、闵行区、南汇区、嘉定区）。因此能基本和客观地反映目前上海新建低密度住宅建筑材料使用的主流现状。调研数据总结如下：

- (1)楼地：多为混凝土碎石和砖块楼地；
- (2)地坪以上外墙体材料：100%为混凝土或石材墙体，组成略有不同，所占比例参见表2；
- (3)地坪以上墙体：100%无保温材料；
- (4)楼板：多为钢筋混凝土楼板；
- (5)屋顶和阁楼：100%有保温，其中95%的保温材料为膨胀珍珠岩，5%为聚苯板；
- (6)门和窗：室外以复合门、钢门和实木门居多，室内多为木门；窗见表3。

表2 外墙体中各材料的比例

编号	各材料组成	所占比例
1	100%现浇钢筋混凝土	25%
2	20%现浇混凝土+80%空心粘土砖	50%
3	50%现浇混凝土+50%加气混凝土	15%
4	混凝土砌块	10%

表3 窗框使用材料

编号	窗框材料	所占比例
1	铝合金	60%
2	塑钢	31%
3	不锈钢	7%
4	实木	2%

由于低密度住宅有其特殊的消费群体，因此在以往的设计理念中，往往从美学、功能、地位等角度加以重点设计，从根本上忽略其建筑节能的问题。所以从如今低密度住宅的能耗现状看，它的耗能与普通住宅

相比是较大的，据笔者所做的统计可知，普通住宅全年支付的单位面积电力能耗费平均为8~38元/ m^2 ，仅为低密度住宅的35%左右。

根据此次调查结果，我们看到上海地区新建低密度住宅材料的使用还比较单一。屋顶和楼地的保温措施不够完善，达不到良好的保温隔热要求。窗墙比0.25~0.50，且逐渐有增大趋势，建筑很少有外遮阳，塑钢窗的应用还不是很普遍，门窗气密性不高。外墙大都是混凝土结构或砖混结构，还仅仅局限于单一墙体材料的使用，墙体一般不采取保温隔热措施。

与我市普通的多层住宅相比，屋顶、楼地板、窗户以及外墙体等围护结构的材料使用并没有太大差别，尤其是外墙体部分，基本达不到节能标准所定的要求（传热系数值不大于 $1.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{C})$ ^[13]）。这与国家的节能大潮不相符，也体现不出低密度住宅与普通住宅的特殊之处，因此我们要重视低密度住宅的建筑节能问题，运用科学的节能技术和可持续发展的理念使其真正达到长效、低耗、舒适的目标。

2 不同墙体材料热工性能模拟、分析和比较

通过调研结果，得到了目前上海低密度住宅材料使用的主流现状，笔者运用能耗分析软件模拟一幢典型的两层独立式住宅，通过变换不同的外墙墙体材料，使热工性能中的关键性指标——传热系数K值发生变化，从而对全年建筑负荷和能耗量产生影响。在该模拟试验中，建筑朝向、体形系数、窗墙比、窗、门和屋顶的材料、通风系数、热扰等参数均定为常量，唯一的变量就是改变外墙体材料使传热系数K值发生变化。

2.1 建筑模型描述

该建筑模型为两层独立式住宅，建筑面积为215.4 m^2 ，体形系数为0.3，屋顶为角度30°的坡屋顶，窗墙比为0.30，具体平面布置参见图1。该住宅选用风冷热泵机组作为空调冷、热源，空调末端为风机盘管，空调面积为168 m^2 。夏季室内设计温度为26 C ，冬季室内设计温度为18 C ，室内设计相对湿度为60%。在模拟中全年24h空调系统运行。天气参数采用典型气象年的逐时气象资料。除外墙外其他围护结构的传热系数如表4所示。在该模型中，人员结构为五口之家，按照居民的生活习惯和家用电器使用情况，对室内负荷进行了设定，如表5、6所示。新风量按30 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 计算，房间与室外的冷风渗透量为0.2次/h。

2.2 五种墙体热工性能分析以及经济收益的比较

表4 围护结构的构成和传热系数K

围护构件参数	外窗	屋顶	楼板	楼地
材料	铝合金型材双 玻璃窗(断热)	水泥膨胀珍 珠岩屋面	110 钢筋混 凝土楼板	混凝土 碎石楼地
K, W/(m ² ·°C)	3.20	1.00	2.72	4.41

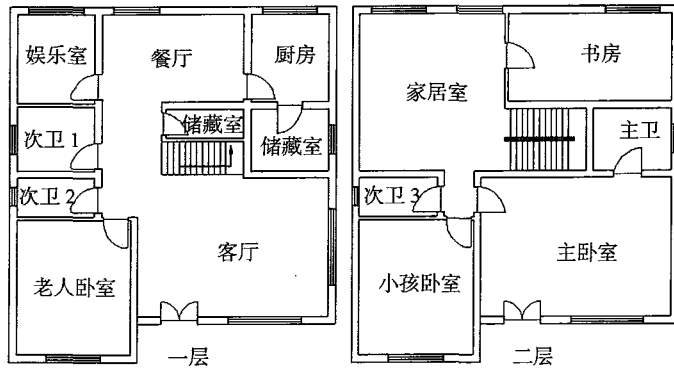


图1 两层独立式住宅平面布置

表5 人员、照明和设备负荷率 %

房间类型	人员时段负荷率		照明时段负荷率		设备时段负荷率	
娱乐室	8:00~11:00	20	19:00~21:00	50	8:00~11:00	40
	14:00~16:00	20	其余	0	14:00~16:00	40
	19:00~21:00	20			19:00~21:00	40
	其余	0			其余	0
餐厅	7:00~9:00	100	13:00~20:00	100	10:00~12:00	10
	11:00~13:00	40	其余	0	18:00~20:00	10
	18:00~20:00	40			其余	0
	其余	0				
厨房	7:00~9:00	80	17:00~20:00	100	7:00~9:00	80
	11:00~13:00	100	其余	0	11:00~13:00	80
	17:00~19:00	100			17:00~19:00	80
	其余	0			其余	0
客厅	10:00~12:00	30	19:00~21:00	70	10:00~12:00	50
	15:00~17:00	30	其余	0	15:00~17:00	50
	19:00~21:00	20			19:00~21:00	50
	其余	0			其余	0
老人卧室	20:00~7:00	100	19:00~22:00	90	22:00~7:00	5
	13:00~15:00	80	其余	0	13:00~15:00	40
	其余	0			19:00~22:00	60
起居室	19:00~22:00	40	19:00~21:00	80	其余	0
	其余	0	其余	0	19:00~21:00	80
书房	19:00~23:00	90	19:00~23:00	100	其余	0
	其余	0	其余	0	19:00~23:00	80
主卧室	20:00~23:00	50	20:00~21:00	90	其余	0
	23:00~7:00	100	其余	0	20:00~22:00	50
	其余	0			其余	0
小孩卧室	20:00~7:00	100	20:00~22:00	100	20:00~22:00	50
	其余	0	其余	0	其余	0

2.2.1 参数的设定

传热系数K值参见表7。1号、2号、3号墙体数据来自于本次调查,代表了目前上海低密度住宅外墙材料使用的主流现状。4号墙体数据是在2号墙体的基

表6 人员、照明和设备负荷

房间类型	人员密度 人/m ²	照明负荷 W/m ²	设备负荷 W/m ²
娱乐室	0.6	10	5
餐厅	0.35	10	3.5
厨房	0.25	10	15
客厅	0.2	15	8
老人卧室	0.12	8	5
次卫1	无	8	3
次卫2	无	10	8
家居室	0.2	10	5
书房	0.18	12	10
主卧室	0.07	8	5
小孩卧室	0.255	8	5
主卫	无	15	8
次卫3	无	8	3

础上添加内保温层,粘贴6mm厚的水泥聚苯板,使K下降。5号墙体数据则是在2号墙体的基础上加外保温层,挂贴30mm厚的EPS聚苯板,K值下降效果更好。

表7 五种墙体的构成和传热系数K值

序号	外墙构成	传热系数K W/(m ² ·°C)
1	钢筋混凝土墙体	2.91
2	钢筋混凝土与空心砖的混合墙体	1.89
3	钢筋混凝土与加气混凝土的混合墙体	1.94
4	钢筋混凝土与空心砖混合墙体、 内贴6mm水泥聚苯板	1.50
5	钢筋混凝土与空心砖混合墙体、 外贴30mmEPS聚苯板	0.70

2.2.2 建筑负荷以及全年能耗量的模拟结果

从模拟结果(图2、图3)可以清楚地看到:当外墙体的传热系数K值从1号墙体的2.91W/(m²·°C)逐步降低到5号墙体的0.70W/(m²·°C)时,建筑冷负荷从26.04kW减小到20.49kW,建筑热负荷从19.44kW减小到12.32kW,同时全年耗电量也呈明显的下降趋势,从11980kWh降低到8250kWh。

建筑总负荷中的围护结构负荷以及室内负荷的详细数据参见表8,其中围护结构冷负荷占建筑总冷负荷的69%~75%,围护结构热负荷则占建筑总热负荷的95%~97%,相对而言室内冷负荷占建筑总冷负荷的比例仅在21%~27%左右,所占比例较小。在这种围护结构传热负荷所占比例很大的建筑中,提高外墙的保温绝热性能,相对于围护结构传热负荷所占比例较小的商业建筑或工业建筑,其作用是比较显著的。

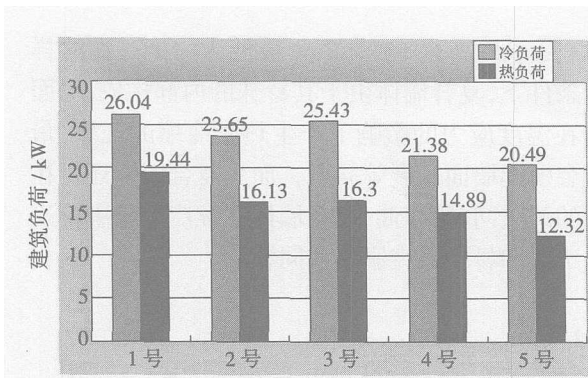


图2 不同墙体形式下的建筑负荷

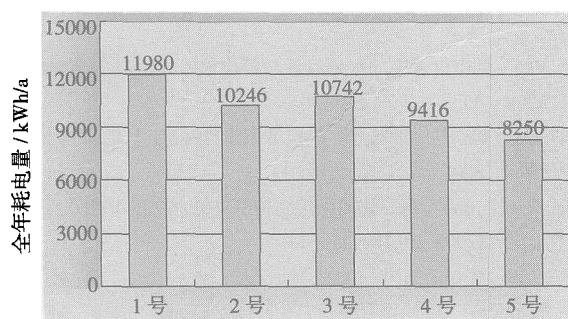


图3 不同墙体形式下的全年耗电量

表3 各墙体总建筑负荷值

负荷种类	1号墙体		2号墙体		3号墙体		4号墙体		5号墙体	
	冷负荷	热负荷	冷负荷	热负荷	冷负荷	热负荷	冷负荷	热负荷	冷负荷	热负荷
围护结构负荷	19.52	18.80	17.12	15.49	18.90	15.66	14.85	14.25	13.95	11.68
室内负荷	5.65	0	5.65	0	5.65	0	5.65	0	5.65	0
通风负荷等	0.87	0.64	0.88	0.64	0.88	0.64	0.88	0.64	0.89	0.64
总建筑负荷	26.04	19.44	23.65	16.13	25.43	16.30	21.38	14.89	20.49	12.32

图4为全年12个月的电力消耗情况,其中峰值出现在7月和8月,谷值则出现在4月、5月、10月和11月,墙体传热系数数值降低,全年能耗随之降低,其中冬、夏季能耗降低比较显著,而过渡季变化很小。说明提高建筑围护结构的热工性能,增强其保温隔热能力,能够减小建筑负荷以及全年耗能量,达到建筑节能的目的。

2.2.3 经济分析

目前上海低密度住宅的外墙体普遍采用2号墙体,其造价最低。在表9中,我们从经济收益的角度简单比较了三种墙体,可以明显地看到,要提高墙体热工性能,降低墙体传热系数值必然会增加墙体的初投资。达到节能标准的4号、5号墙体和未达到节能标准的2号墙体相比,增加的初投资分别为25元/m²和55元/m²,而年节约费用分别为420元和1011元,投资回收期则分别为21a和17.9a(银行贷款利率按6%计,且仅记入材料费而未计入人工费用)。

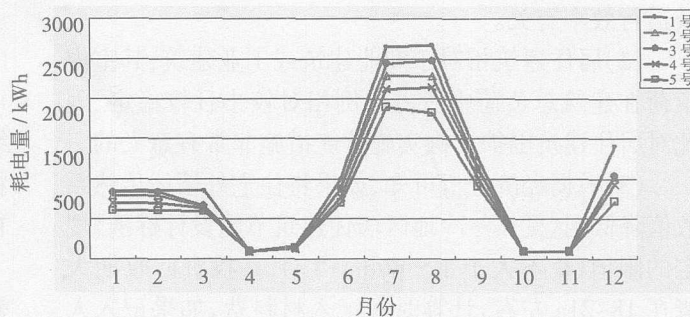


图4 全年逐月耗电量

从投资回收期的角度看,21a和17.9a这个回收周期并不理想,这也给节能墙体的推广带来了一定的难度,也无怪乎上海的某些房产开发商不积极响应国家对于建造节能墙体的号召。从房地产开发商的角度看,投资最小化而能达到利益最大化是他们的根本目标,因此实施节能墙体对于他们而言只是增加了初投资,其余没有任何有利之处,因此就造成了节能事业举步维艰的局面。但是房地产开发商应当换一个角度去思考这个问题,节能墙体的建造应该可以增加楼盘的卖点,从而可以相应的提高出售价格。

目前对于建筑业来讲,实施节能的方法很多,但是否有人响应和实施才是关键所在。从国家的整个大环境出发,建造节能建筑,实施节能标准势在必行,而且于国于民都是意义深远。因此笔者认为,如果国家要有效地推动房地产业的

规范化和合理化,使其能够自觉地遵守节能标准就十分有必要出台一些经济奖励制度或惩罚制度,从根本上推动上海地区节能事业的有效发展。

表9 墙体的经济收益比较

墙体类型	传热系数值 W/(m ² ·°C)	墙面面积 m ²	增加造价 元/m ²	年节约费用 元	投资回收期 a
2号墙体	1.89	199	/	/	/
4号墙体	1.50	199	25	420	21
5号墙体	0.70	199	55	1011	17.9

3 结语

(1)经模拟分析可知,墙体传热系数K值在一定范围内逐渐减小,可以降低建筑负荷、减少建筑能耗,但同时也会增加墙体的初投资。因此在墙体传热系数K值、建筑能耗和墙体初投资这三者间,必然存在一个综合最优值,它与住宅的各项参数和所采用的设备以

及运行效率有关。

(2)居住建筑相对于商业建筑或工业建筑,其室内负荷在建筑总负荷中所占比例相对较小且较稳定,因此对居住建筑围护结构实施节能措施非常有意义的。

(3)根据经济分析可知,如果将住宅外墙体传热系数数值降低到《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》规定的限值(K 不大于 $1.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$),其投资回收期大概在 18~21a 左右,计算时只记入材料费,如果记入人工费,则投资回收期还要相应延长。由于回收周期较长,给节能标准的实施带来一定的困难,政府应出台相关政策以便推动和鼓励节能事业的健康发展。

(4)承重用的单一墙材,如砖砌墙体、混凝土墙体,其本身传热系数较大,在常见墙体厚度的情况下难以同时满足建筑的承重、保温、隔热要求。要做到符合建筑节能的要求,单纯增加墙体厚度既不合理又不经济,应当积极推广新型墙材的使用,用强度高的材料和导热系数小的保温材料分层组合成复合墙体,是节能墙体的主要发展方向。但是,它也存在不少弊端,根据现场测试结果,上海地区全年外墙体墙面表面温度跨

度较大,夏季最高达 50C ,冬季最低为 -10C ,在这样的环境条件下,复合墙体由于其特殊的内部构成,墙面可能会在温度应力的影响下产生热胀冷缩的现象,最终可能会引起墙面开裂等问题,而且复合墙体还存在粘结剂的耐久问题。因此,复合墙体在推广过程中应当在制造工艺和材质上克服这些问题。

参考文献:

- [1] 龙惟定. 建筑节能与建筑能源管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 邹焱, 商宏伟. 浅谈建筑墙体的节能技术[J]. 应用能源技术, 2000, 59(1): 21 ~ 22.
- [3] 聂兰生, 舒平. 低密度住宅的规划设计与新技术的应用[J]. 世界建筑, 2003, (7): 28 ~ 30.
- [4] JGJ134-2001, 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.
- [5] 董海荣, 刘加平, 杨柳. 多层住宅围护结构整体性保温的节能效应研究[J]. 工业建筑, 2003, 33(10): 11 ~ 13.

收稿日期: 2005-08-01

修回日期: 2005-10-13

Analysis of the Thermodynamics Features of the Wall in Low-density Residences in Shanghai

QU Yan, WEI Li, PAN Yi-qun, HUANG Zhi-zhong
(Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the help of TRACE™ 700 software, simulated the thermodynamics features of several common wall constructions and new-type wall materials to used in low-density residences, based on the surveying results in Shanghai. The simple economic analysis was carried out, and the conclusions and suggestions were drawn.

Key words: building energy conservation; low-density houses; thermodynamics performance

作者简介: 瞿燕(1981-), 女, 上海人, 硕士研究生, 研究方向: 建筑节能。

广告索引

彩色广告

封面: 浙江盾安人工环境设备股份有限公司
封拉: 浙江国祥制冷工业股份有限公司
封拉: 浙江国祥制冷工业股份有限公司
封底: 哈瓦特换热机组(北京)有限公司
封二: 光洋电子(无锡)有限公司
封三: 上海显真水处理工程有限公司

前插一: 深圳麦克维尔空调有限公司
前插二: 舒瑞普板式换热器(北京)有限公司
前插三: 网易电子样本
前插四: 盾安人工环境设备股份有限公司
中插一: 烟台冰轮股份有限公司
中插二: 杭州华电华源环境工程有限公司
中插三: 杭州华电华源环境工程有限公司
中插四: 山武环境控制技术有限公司
中插五: 山武环境控制技术有限公司
中插六: 北京海淀永大机电设备制造有限公司

中插七: 泰州雪梅制冷设备公司
中插八: 北京嘉利晟业水源热泵空调有限公司
中插九: 约克国际(北亚)有限公司
中插十: 开利空调销售服务(上海)有限公司
中插十一: 湖南中野高科技特种材料有限公司
中插十二: 上海诺地乐通风制造设备有限公司
后插一: 广州国际电热技术与设备展
后插二: 丹佛斯(上海)自动控制有限公司