

小框体复合保温墙体热工性能分析

李建光, 童丽萍

(郑州大学 土木工程学院 河南 郑州 450001)

摘要: 基于墙体非稳定传热的物理模型, 以热力学能量理论写出非稳定传热的导热微分方程, 并根据房屋内外壁实测的温度拟合简谐温度波作为外部扰量, 采用第三类边界条件, 计算出小框体复合保温隔热体系的内壁面温度、热流密度、衰减倍数及延迟时间等性能指标, 在此基础上计算出不同构造墙体的热流量, 计算结果表明, 该体系相对于聚氨酯保温隔热体系热流量单位面积内降低 3.4%; 相对于聚苯乙烯保温隔热体系热流量单位面积内降低 7.1%, 从而证明了小框体复合保温隔热体系的优越性。

关键词: 小框体; 热工性能; 衰减倍数; 延迟时间; 热流密度

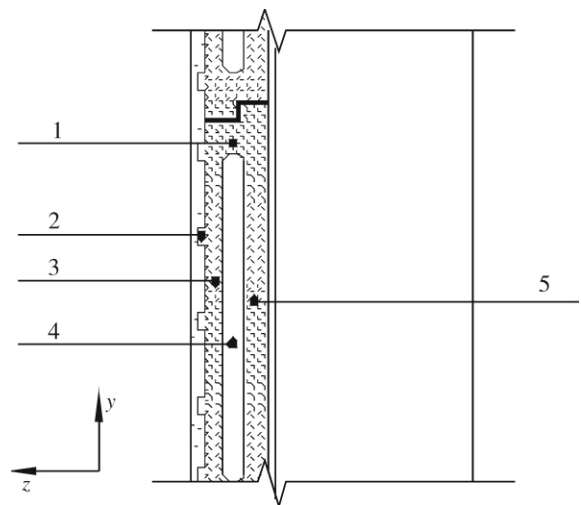
中图分类号: TU 761 文献标志码: A 文章编号: 1671-6841(2011)04-0116-05

0 引言

随着我国现代化进程的不断加快, 能源问题已经严重制约社会经济的发展, 建筑节能已经成为构建和谐社会及实行能源可持续发展的国家战略举措^[1]. 针对国家“十二五”节能减排目标及当前建筑节能存在的质量通病, 郑州大学建筑节能课题组研发了小框体复合保温隔热体系(简称“XKT”), 并获得国家专利(专利号: ZL200820220705.4)^[2].

XKT 主要由结构体系、保温隔热体系、连接构造体系 3 部分组成. 保温隔热体系如图 1 所示. 保温板依据所在地的气候特点、节能标准等条件选择匹配的保温材料, XKT 的保温隔热体系是由聚氨酯保温材料与空气夹层组合而成. 该体系将成本廉价的空气通过巧妙的构造形成封闭不流动的保温隔热层, 使得保温隔热体系在几乎不增加成本的基础上能较大幅度提高保温隔热效率^[2]. 同时, 该封闭空气夹层的存在有利于阻止裂缝开展后继续向近墙面的内侧板开展, 并能有效地将水聚集在空气分离层的空间里, 由于内侧板相对于现在的一个整体的板块很难出现裂缝, 则外部渗水也就很难进入砂浆层及墙体, 进而提高了围护墙体的整体稳定性及耐久性.

依据民用建筑热工设计规范(GB 50176—1993)^[3]中的技术要求, 与河南省居住建筑节能设计标准(寒冷地区)(DBJ41/062—2005)^[4]中的 2 种复合墙体构造形式进行对比, 计算出小框体复合保温隔热体系的热工性能指标, 证明了小框体复合保温隔热体系的优越性.



1. 保温隔热复合板; 2. 外表面防裂抗剪键; 3. 外侧板;
4. 空气分离层; 5. 内侧板

图 1 XKT 保温隔热体系剖面图

Fig. 1 Thermal insulation system section of XKT

收稿日期: 2011-05-23

基金项目: 河南省重大公益科研项目 编号 081100910400; 郑州市重大科技攻关项目 编号 082SGZS32079; 郑州大学研究生科学研究基金资助项目 编号重点类 A181.

作者简介: 李建光(1980-), 男, 博士研究生, 主要从事建筑节能与结构性能研究, E-mail: lijian7553@163.com.

1 复合保温墙体组合形式

3种复合保温墙体构造均采用外墙外保温形式.其中,小框体复合保温隔热墙体记作W-I,由室内到室外顺序为:20 mm厚水泥砂浆粉刷层、KPI多孔砖、XKT保温板、20 mm厚外饰砂浆层.文献[4]中2种用于对比的构造形式分别记作W-II和W-III.W-II由室内到室外顺序为:20 mm厚水泥砂浆粉刷层、KPI多孔砖、聚氨酯保温层、20 mm厚外饰砂浆层.W-III由室内到室外顺序为:20 mm厚水泥砂浆粉刷层、KPI多孔砖、聚苯乙烯保温层、20 mm厚外饰砂浆层.以上各材料的物理参数见表1.

表1 复合墙体各层材料的物理参数^[2,4-5]

Tab.1 Physical parameters of various materials in composite walls

各层材料	导热系数/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	蓄热系数/ (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	热惰性指标	比热容/ (J·g ⁻¹ ·K ⁻¹)	密度/ (kg·m ⁻³)
含空气层聚氨酯板	0.027	0.43	0.63	1.01	18
聚氨酯保温板	0.033	0.43	0.63	1.38	30
聚苯乙烯保温板	0.042	0.36	0.35	1.38	30
水泥砂浆	0.93	11.30	0.24	1.05	1 700
KPI多孔砖	0.58	7.92	3.25	1.03	1 300

2 数值分析

2.1 计算假定

结合文献[6],数值分析采用以下基本假定:①各层材料材质均匀,各向同性;②热物理特性不随室内外温度的变化而变化;③不考虑内部热量扰值.

2.2 数理方程

在不考虑墙体内热源的情况下^[6],无论是均质墙体还是复合墙体的非稳态传热微分方程均可写为

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

从垂直于墙体厚度方向的整体传热过程分析时,由于建筑外墙的高度、宽度远大于其厚度,墙体传热可视为一维传热,且采用一维模型可以获得足够精确的近似解^[6].基于此及上述假设,方程(1)可简写为

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0, \quad (2)$$

式中: T 为单元体的温度; t 为时间; λ 为构件的导热系数; z 为建筑物外表面到计算单元的距离; ρ 为建筑保温材料的密度; c 为建筑保温材料的比热容.

计算中考虑到外保温复合墙体内表面与周围空气的接触作用,采用热结构分析中的第三类边界条件^[7]:夏季外墙内表面换热系数为8.7 W/(m²·K),外表面换热系数取19 W/(m²·K);冬季外墙内表面换热系数为8.7 W/(m²·K),外表面换热系数取23 W/(m²·K).

2.3 外部扰量

围护结构非稳定传热计算时,视室外空气综合温度 T_{out} 为墙体外侧的连续扰量.在进行能耗计算时采用差分法计算可获得满意的精度,一般以1 h为步长进行离散,对任意一个周期函数 $f(\tau)$ 都可以分解为若干个频率呈整数倍的正弦或者余弦的函数^[8],即

$$f(\tau) = \frac{A_0}{2} + \sum_n A_n \cos(n\omega\tau + \varphi_n), \quad (3)$$

式中: A_n 为 n 阶谐波的振幅; φ_n 为 n 阶的初相位; ω 为函数的基频,等于 $2\pi/T$, T 为函数的周期.然而把间隔为

1 h 的周期室外综合温度离散数据进行函数化,利用这些等间隔的离散数据近似求得有限项傅氏级数,进行函数变化的谐波分析,最终得到室外综合温度的傅氏展开式.

以郑州市(寒冷(B)区)^[5]冬日某小区试点工程南墙面某天的实测温度拟合简谐温度波作为其外部扰量,拟合温度简谐波方程为

$$T(t) = -1.3 + 12.68 \cos \left[\frac{\pi}{12}(t - 14.6) \right]. \quad (4)$$

3 计算及结果分析

3.1 延迟时间及衰减倍数

根据文献[3]中计算方法,延迟时间计算结果如图2所示.外墙延迟时间最大为W-I,其次为W-II,最小为W-III.依据河南省居住建筑节能设计标准(寒冷地区),在传热系数同样满足规范限值0.75的情况下,W-I需要保温层厚22 mm,延迟时间为11.15 h;W-II需要保温层厚27 mm,延迟时间为11.12 h;W-III需要保温层厚35 mm,延迟时间为10.98 h.

同样根据河南省居住建筑节能设计标准(寒冷地区),并参照文献[3]中计算方法,衰减倍数计算结果如图3所示.在同一墙材KPI多孔砖组成复合墙体时,在传热系数相同情况下,不同构造组合时其衰减倍数大小依次为:W-I > W-II > W-III. W-I保温层厚22 mm,衰减倍数为16.8;W-II保温层厚27 mm,衰减倍数为16.4;W-III保温层厚35 mm,衰减倍数为15.8.

由图3可知,随保温层厚度的增加,W-I的衰减倍数相对其他两种墙体形式增长较快,这也说明W-I抵抗室外温度波变化的能力更强,热稳定性更好;W-II和W-III次之.

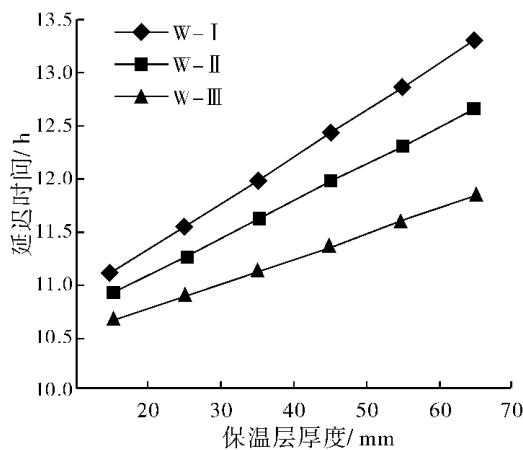


图2 复合墙体延迟时间

Fig. 2 Delay time of the composite walls

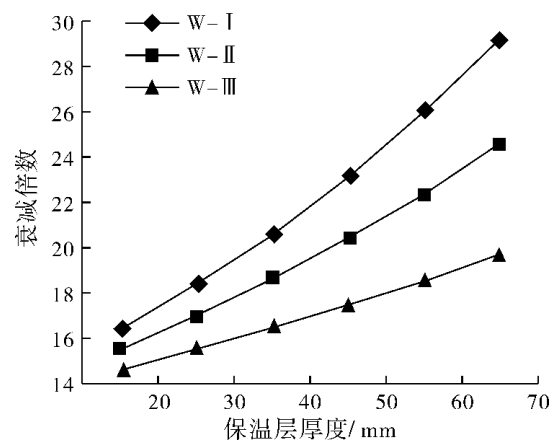


图3 复合墙体衰减倍数

Fig. 3 Attenuation coefficient of the composite walls

3.2 内壁面温度

由于复合墙体延迟时间这一自身属性的存在,因此,在进行计算时从延迟时间过后开始计时,内壁面热流密度的计算同此.

在外部扰量温度波式(4)的作用下,复合墙体内壁面温度计算结果如图4所示.对比传热系数同为0.75的复合墙体,内壁面温度W-I最高,W-II次之,W-III最低;且W-I的内壁面温度波动最小,该指标也说明在同一温度波连续作用下,当墙体传热系数相同时,墙体的内壁面温度更接近室温18℃,热稳定性更好.因此,对于XKT保温隔热体系来说,空气层与聚氨酯的组合更具有优越性.

3.3 内壁面热流密度

热流密度是评价建筑节能的一个重要指标.热流密度越小,单位时间内通过复合墙体的热流量就越小,墙体吸收的热量就越少,温度就升高得越慢,室内空调制冷(制热)的时间就越短,其需要的电能量就越小,消耗的能源量也越小,从而达到建筑节能的目的.

外部扰量 $T(t)$ 作用下,各墙体热流密度计算结果如图5所示.由计算结果可知,3种墙体热流密度大小依次为: $W-I < W-II < W-III$ 表明在同一外部温度扰量作用下,通过墙体 $W-I$ 的热量最小, $W-II$ 次之, $W-III$ 最大.即在冬季保温指标要求下,室内温度维持在 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右时,通过复合墙体 $W-I$ 的能耗最低, $W-II$ 和 $W-III$ 的能耗依次增大.

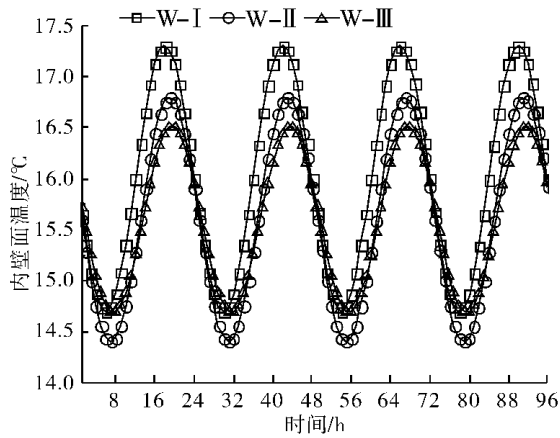


图4 各墙体内壁面温度变化图

Fig.4 The inside temperature chart of each wall

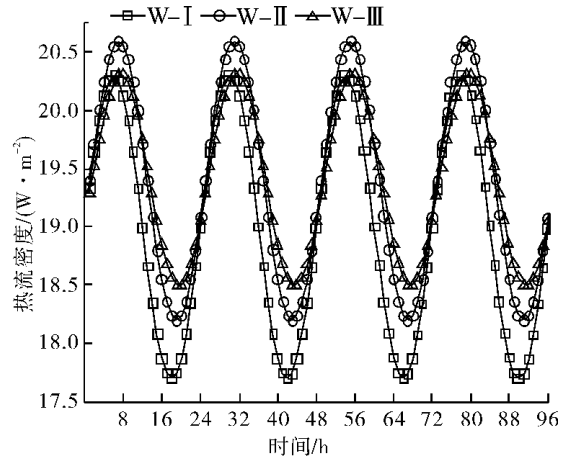


图5 各墙体内壁面热流密度变化图

Fig.5 The inside heat flux density chart of each wall

3.4 热负荷总量

由式(2)及文献[9]中的SIMPLE算法可求得3种复合保温隔热墙体在外部扰量下24h的单位面积内热流总量,结果如图6所示.

由计算结果可知:在同一工况条件下, $W-I$ 相对于 $W-II$ 热流量单位面积内降低3.4%;相对于 $W-III$ 热流量单位面积内降低7.1%.

通过上述分析可得:复合墙体 $W-I$ 与复合墙体 $W-II$ 的保温材料同为聚氨酯板,前者加入封闭空气层后,其各项保温隔热指标均有改善,同时也证明了封闭空气层保温隔热的合理性及可行性.与文献[5]中给出的复合墙体保温隔热体系相比,在满足传热系数限值0.75的情况下, $W-I$ 可节省保温材料近30%,不但提高了节能效果和降低了能耗,而且降低了对保温材料的需求量,也同时降低了后期废料的产生量.

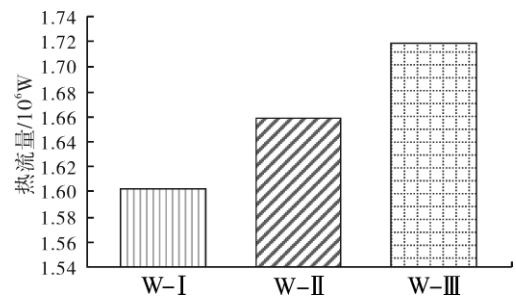


图6 三种复合墙体的热流总量

Fig.6 Total heat flows of three composite walls

4 结语

通过上述数值计算的方法获得3种保温隔热复合墙体的相应指标,得到如下结论:

1) 同一热工环境及指标情况下,延迟时间:小框体复合保温隔热体系 > 聚氨酯保温隔热体系 > 聚苯乙烯保温隔热体系;衰减倍数:小框体复合保温隔热体系 > 聚氨酯保温隔热体系 > 聚苯乙烯保温隔热体系.相对于聚氨酯复合保温隔热体系及聚苯乙烯复合保温隔热体系,小框体复合保温隔热体系不仅降低了对保温材料的需求量,而且能较好地延迟外部环境温度变化带给室内热环境的影响,并有效降低对室内热环境影响的幅度.

2) 同一热工环境及指标情况下,小框体复合保温隔热体系相对于聚氨酯保温隔热体系热流量单位面积内降低3.4%;相对于聚苯乙烯保温隔热体系热流量单位面积内降低7.1%.

3) 不同组成材料在传热系数相同时,墙体 $W-I$ 抵抗室外温度波变化能力更强,热稳定性更好,室内舒适性也更好.

小框体复合保温隔热体系通过合理构造封闭空气层能显著提高保温隔热性能,并降低对保温材料的需求量,既能满足第三阶段节能标准,又能给居住环境带来较好的热舒适度,在目前同类体系中具有一定的优势。

参考文献:

- [1] 童丽萍. 从能源危机看建筑节能的必然趋势[J]. 郑州大学学报: 理学版, 2008, 40(4): 105-109.
- [2] 童丽萍, 李建光, 曹源, 等. 一种空腔式小框体保温隔热复合板: 中国, ZL200820220705.4 [P]. 2010-02-03.
- [3] 中国建筑科学研究院. GB 50176—1993 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [4] 河南省建筑科学研究院. DBJ41/062—2005 河南省居住建筑节能设计标准(寒冷地区) [S]. 北京: 中国广播电视出版社, 2005.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ26—2010 严寒和寒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, 2010.
- [6] 章熙民, 任泽霖, 梅飞鸣. 传热学[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993: 66-75.
- [7] 任玲玲. EPS板保温系统裂缝问题的数值分析[D]. 郑州: 郑州大学, 2010: 45-66.
- [8] 清华大学 DeST 开发组. 建筑环境系统模拟分析方法: DeST[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006: 26-30.
- [9] 汤莉, 汤广发. 三种墙体保温隔热性能的数值分析[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2008, 35(2): 31-34.

Thermal Technical Performance Analysis For Xiaokuangti External Wall Insulation System

LI Jian-guang, TONG Li-ping

(College of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Based on the physical model of unsteady heat transfer, the unsteady heat-conduction differential equations under the third boundary on the principle of the thermodynamic theory were written. With the measured amount of outdoor temperature for the external disturbance, the heat flux density, attenuation coefficient, delay time and other performance indicators of the xiaokuangti composite thermal insulation system were calculated; and the results of the heat flux of different structural walls were also got according to the inner and outer wall temperature of the pilot projects under the same environmental conditions. Data showed that the heat flow per unit area decreased by 3.4% and 7.1% according to the comparison between xiaokuangti with the system of polyurethane and polystyrene. Therefore, the superiority of xiaokuangti external wall insulation system was proved.

Key words: xiaokuangti; thermal technical performance; attenuation coefficient; delay time; heat flux density