

7 种木塑材料墙体的热工性能分析

董升忠¹, 王美燕², 孙钢强², 杨 飞², 章益梁², 许少春², 吴杭冬², 周瞿龙²

(1. 浙江农林大学 基建处, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 园林与建筑学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 木塑材料具有良好的装饰性、加工安装性能和物理力学性能, 经济环保, 是近年来新兴的一种新型材料。运用“热流计法”, 测量了 5 种木塑复合墙体和 2 种木塑单一板材墙体的传热系数, 参照 JGJ134-2010《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》的要求, 得出以下结论: ①普通砖墙(10 mm 厚水泥砂浆+240 mm 厚实心黏土砖+10 mm 厚水泥砂浆)已不能满足新规范的热工要求。②当建筑的体型系数 ≤ 0.4 时, 4 种复合墙体都能满足规范要求。当体型系数 > 0.4 时, 试件 2(普通砖墙+40 mm 厚木塑龙骨+20 mm 厚木塑板)不能满足规范要求; 试件 3(普通砖墙+40 mm 厚木塑龙骨+外喷 25 mm 厚发泡聚氨酯+20 mm 厚木塑板)、试件 4(普通砖墙+40 mm 厚木塑龙骨+30 mm 厚木塑板, 内填发泡聚氨酯)、试件 5(普通砖墙+20 mm 厚木塑龙骨+60 mm 厚木塑板, 内填发泡聚氨酯)均能满足规范要求。③试件 3 的传热系数最小, 热工性能最好, 构造最经济合理。④单一板墙比复合墙体厚度薄、自重轻, 保温性能较高, 更适用作隔墙。60 mm 厚单一板墙即可满足内隔墙的最低热工要求。120 mm 厚单一板墙可满足外墙的热工要求。图 3 表 3 参 10

关键词: 木塑复合材料; 传热系数; 热流计法; 复合墙体; 单一板墙

中图分类号: S7-05; TU804 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2011)06-0931-06

Thermal performance of several wood-plastic composite (WPC) walls

DONG Sheng-zhong¹, WANG Mei-yan², SUN Gang-qiang², YANG Fei²,
ZHANG Yi-liang², XU Shao-chun², WU Hang-dong², ZHOU Qu-long²

(1. Infrastructure Maintenance Department, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Wood-plastic composites (WPCs), in regards to ornamentation, processing, installation, and physical and mechanical performance, have favorable energy efficiency qualities for residential buildings. To analyze newly developed residential building materials, a “heat flow meter method” was used to measure the heat transmission coefficient of five walls: [W1. common brick wall (CBW) (10 mm cement mortar + 240 mm common brick + 10 mm cement mortar); W2.(CBW + 40 mm WPC keel + 20 mm WPC board); W3.(CBW + 40 mm WPC keel + 25 mm polyurethane foam sprayed on the WPC board + 20 mm WPC board); W4.(CBW + 40 mm WPC keel + 30 mm WPC board filled with polyurethane foam); and W5.(CBW + 20 mm WPC keel + 60 mm WPC board filled with polyurethane foam)] and two kinds of single-material walls: [60 and 120 mm single-material boards (SMBs)]. These walls were compared with reference to design standard (JGJ 134-2010) for energy efficiency of residential buildings in hot summer and cold winter zones. Results showed that: (1) W1 did not meet the new thermal specification requirements. (2) When the building shape coefficient was ≤ 0.4 , all four composite walls (W2-W5) met requirements. However, when the building shape coefficient was > 0.4 , W2 did not meet requirements, whereas W3-W5 did. (3) W3 had the minimum heat transmission coefficient and best thermal performance with the most inexpensive and most rational structure. (4) Compared

收稿日期: 2011-05-19; 修回日期: 2011-07-01

基金项目: 浙江省发展新型墙体材料办公室资助项目(2451002041)

作者简介: 董升忠, 工程师, 从事土木工程技术研究。E-mail: sddong@zafu.edu.cn。通信作者: 王美燕, 讲师, 从事建筑技术研究。E-mail: wangmeiyan0600@163.com

with composite walls, single-material walls were thin and light weight with high thermal insulation performance. The 60 mm SMBs met the lowest thermal technology requirement for the inner partition wall, and the 120 mm SMBs met the thermal technology requirement for the outer wall. Thus, single-material walls were more suitable for use as partition walls. [Ch, 3 fig. 3 tab. 10 ref.]

Key words: wood-plastic composites; heat transmission coefficient; heat flow meter method; composite wall; single-material wall

资源危机和生态环境问题引发了全世界对社会经济可持续发展与生态环境保护研究的热潮,许多节能环保的新材料不断涌现。木塑复合材料(wood-plastic composites, 缩写为 WPC)就是目前极具潜力的一种新型材料。WPC 在国外发展迅速,特别是美国和加拿大等国^[1-2]。近年来,中国对 WPC 在建筑领域的应用也展开了积极的研究。另一方面,夏热冬冷地区夏季炎热、冬季湿冷,这些地区的建筑既要满足夏季隔热又要满足冬季保温。因此,在新颁布的 JGJ134-2010《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》中对建筑围护结构提出了更高的性能要求。本研究旨在通过实验室测量几种典型 WPC 墙体的热工性能,分析其热工性能能否满足该地区居住建筑的节能要求,为这些地区墙体构造设计提供借鉴。

1 WPC 概述

1.1 WPC 的性能

WPC 是利用热塑性树脂(聚乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯等)和木粉、竹粉、稻壳和秸秆等废植物纤维混合,添加偶联剂和添加剂,经挤压、模压制成的一种新型复合材料^[1]。WPC 原材料来源广泛,其中植物纤维比例可占 70%以上,塑料原料可利用回收的废料,因此,WPC 制品可 100%回收利用,有利于保护环境;WPC 经压模、抛光处理后,具有天然木材的色泽和纹理,且无节疤;WPC 密度高,通常是木材的 2~4 倍;内含塑料,具有较好的弹性模量,强度比塑料高,表面硬度高;耐腐蚀,不会繁殖细菌,不易被虫蛀;吸水率小,不会吸水变形,不会产生裂缝、翘曲,且使用寿命长;WPC 可锯、可刨,安装方法与木材类似,可榫接或用钢钉、螺钉固定^[3-4]。

1.2 WPC 在建筑中的应用

WPC 在建设领域的应用占木塑制品总量的 75%^[5]。WPC 防水性能好,但防火性能差,在室外园林建筑中应用较多,如地板、扶手栏杆、户外亭廊等^[6]。随着 WPC 技术的发展,WPC 在建筑上的运用也越来越广,如作为外墙挂板、建筑隔墙等。WPC 具有良好的物理力学性能,其主要成分是塑料和纤维质材料,导热系数低。如能采取合理的构造措施,WPC 在建筑上的应用将更加广泛。

2 实验原理

2.1 传热系数

传热系数 K 是指在稳定传热条件下,围护结构两侧空气温度之差为 1 °C 时,1 h 内通过 1 m² 面积的传热量^[7]。即:

$$K = \Delta q / \Delta t. \quad (1)$$

式(1)中 Δq 为单位时间内单位面积围护结构传递的热量(W·m⁻²); Δt 为围护构件两侧的空气温度差(°C)。

传热系数 K 与传热阻 R_0 互为倒数关系;传热阻 R_0 为试件热阻与内外表面换热阻之和,即:

$$R_0 = R_i + R + R_e. \quad (2)$$

式(2)中 R_i 为内表面换热阻,取 0.11 m²·W⁻¹; R_e 为外表面换热阻,取 0.04 m²·W⁻¹。

K 值是反映围护结构传热能力的一个重要指标,单位时间内传递的热量越多,围护结构保温隔热性能越差。JGJ 134-2010《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》中对该地区建筑墙体在热惰性指标和传热系数提出了要求中对该地区建筑墙体的传热系数提出了要求(表 1)。

2.2 实验原理

本实验运用“热流计法”原理,用 JTRG-I 型墙体及玻璃制品保温性能检测装置和 JTRG-II 型建筑热工温度与热流自动测试系统来测量各试件的传热系数 K ^[8]。JTRG-I 型墙体及玻璃制品保温性能检测装置由

表 1 JGJ 134-2010《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》中关于墙体热工性能的规定

Table 1 Provision on thermal technology performance of the wall in Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and cold winter zone (JGJ 134-2010)

体形系数	墙体类型	传热系数 $K/(W \cdot m^{-2})$	
		热惰性指标 $D \leq 2.5$	热惰性指标 $D > 2.5$
≤ 0.4	外墙	1.0	1.5
	分户墙、楼梯间隔墙、外走廊隔墙		2.0
> 0.4	外墙	0.8	1.0
	分户墙、楼梯间隔墙、外走廊隔墙		2.0

说明：JGJ134-2010《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》中所规定的传热系数是指包括热桥在内的墙体平均传热系数，在本研究中则没有考虑热桥的影响，仅针对墙体主体部分而言。2. D 为热惰性指标。

试件架、冷箱和热箱 3 部分组成（图 1）。冷箱和热箱分别模拟墙体的室内外环境。试件安装在试件架上，并分别在试件的冷侧和热侧粘贴若干热电偶和热流计片，测量试件两侧的壁面温度和流经试件的热流量^[8]。根据式(1)式(2)即可测得围护结构传热系数 K 。

3 实验过程

3.1 试件

针对目前建筑中常见的墙体类型，设计了 2 类试件：木塑复合墙体和木塑单一板墙(表 2, 图 2)。实验材料为杭州市临安金磊企业提供的木塑型材，发泡聚氨酯密度为 $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。考虑到便于比较各墙体的热工性能及试件更换，试件 2 和试件 3 的基层墙体构造同试件 1；试件 3 中的发泡聚氨酯喷涂在挂板上(实际施工中喷涂在基层墙体上)。

3.2 实验步骤

步骤 1：在试件架上砌筑 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 墙体(试件 1)，用取暖器烘烤，直至试件干燥。

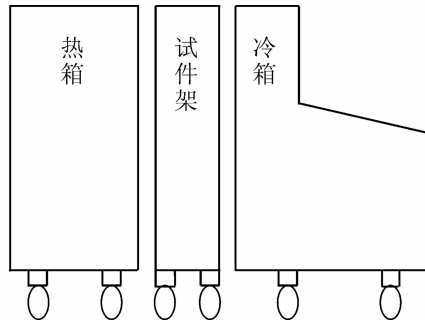


图 1 JTRG-I 型墙体及玻璃制品保温性能检测装置
Figure 1 JTRG-I wall and glass thermal insulation performance detection device

表 2 试件的构造做法

Table 2 Construction of specimens

墙体类型	编号	基本构造	厚度/mm
复合墙体	试件 1	10 mm 厚水泥砂浆+240 mm 厚实心黏土砖+10 mm 厚水泥砂浆	260
	试件 2	普通砖墙+40 mm 厚木塑龙骨+20 mm 厚普通外墙挂板	320
	试件 3	普通砖墙+40 mm 厚木塑龙骨+外喷 25 mm 厚发泡聚氨酯+20 mm 厚木塑板	320
	试件 4	普通砖墙+40 mm 厚木塑龙骨+30 mm 厚木塑板(内填充发泡聚氨酯)	330
	试件 5	普通砖墙+20 mm 厚木塑龙骨+60 mm 厚木塑板(内填充发泡聚氨酯)	340
单一墙体	试件 6	80 mm 厚木塑板(内填 60 mm 厚发泡聚氨酯)	80
	试件 7	80 mm 厚木塑板(内填 60 mm 厚发泡聚氨酯)+30 mm 厚木塑板材(内填充发泡聚氨酯)	110

步骤 2：试件干燥后，在冷箱、热箱内各布置 1 个热电偶，悬挂在箱体内部，测量冷热箱内空气温度。在试件冷、热箱壁面对应位置粘贴 4 个热电偶，在热箱壁面粘贴 4 个热流计片，分别测量冷热箱两侧的壁面温度和流经试件的热流量；热电偶和热流计均匀布置在墙体上，并与墙体边缘保持 24 cm，冷热箱与试件架合拢扣紧(图 3)。

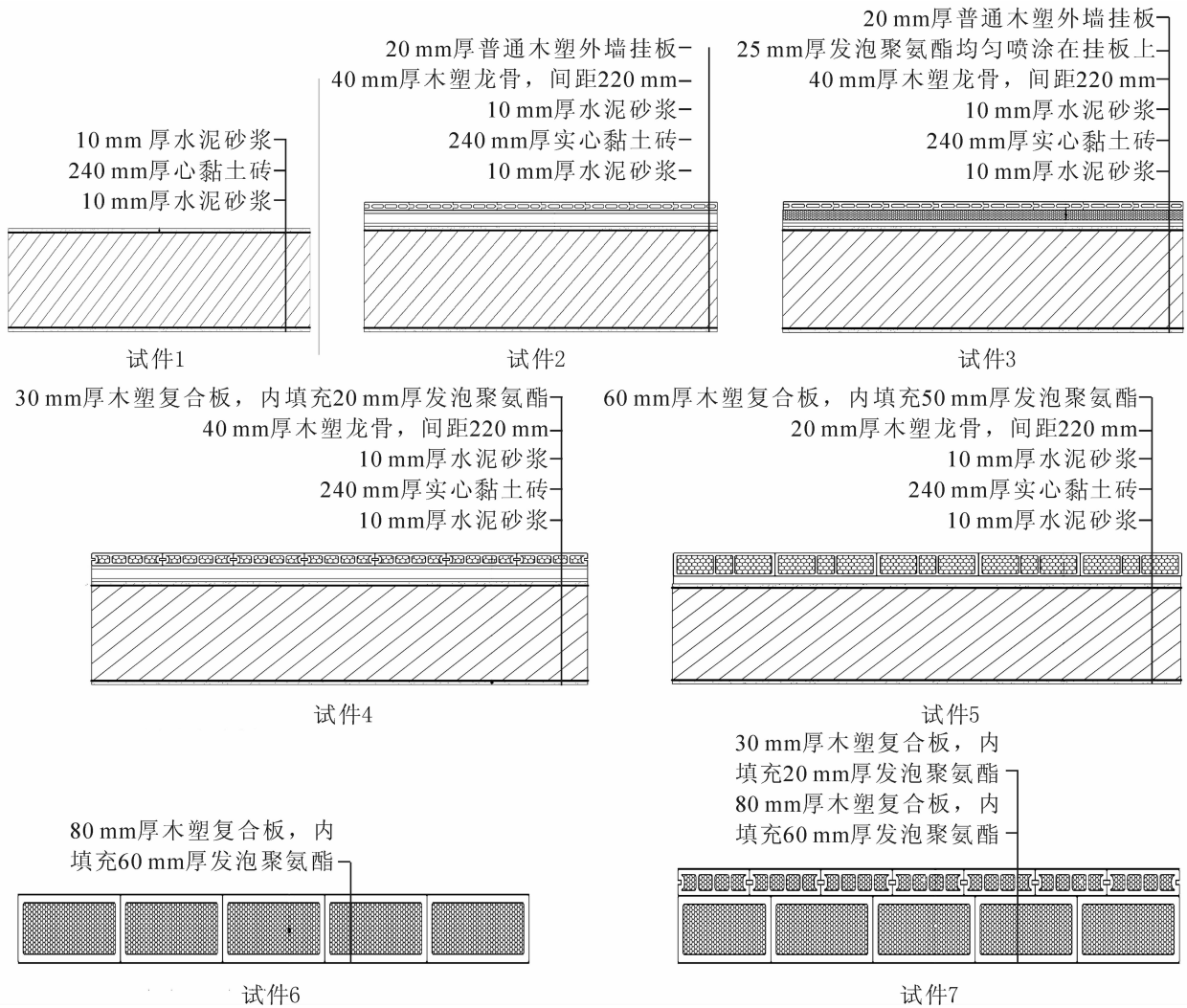


图 2 试件构造示意图

Figure 2 Schematic structure of specimen

步骤 3: 连接冷热箱电源线及各控制线等。检查完线路后, 开启冷箱电源, 冷箱温度设定为 3 ℃。冷箱内气温接近控温点后, 依次开启热箱风扇电源、控温仪控温开关, 并将热箱温度设定为 26 ℃, 保证冷热箱之间 20 ℃ 以上的温差。开启“JTRG-II 型建筑热工温度与热流巡回自动检测仪”, 隔 15 min 自动记录热流值和温度值。

步骤 4: 冷箱 2 个压缩机交替开启, 单个压缩机工作时间不超过 6 h。每组试件连续测量 4 d, 温度、热流稳定后, 导出原始数据。

试件 2~试件 5 除墙体外的其他部分贴紧试件 1 安装在热箱一侧, 试件和试件架之间的缝隙用发泡聚氨酯密封, 板缝用玻璃胶密封, 重复上述步骤 2~步骤 4。试件 6 和试件 7 待试件 1~试件 5 实验完成拆除后, 直接安装在试件架上, 周边用发泡聚氨酯密封, 板缝用玻璃胶密封, 再按上述步骤进行实验。

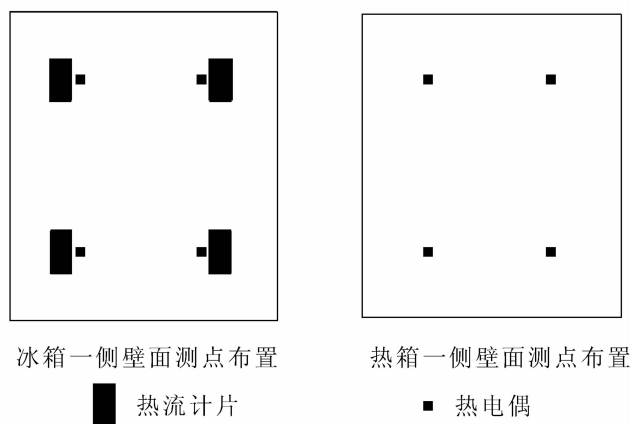


图 3 试件两侧壁面测点布置

Figure 3 Measuring points on both sides of specimen wall

3.3 实验结果

在导出的原始数据中选择热流稳定、温差起伏不大的区段, 去除偏差较大的数据, 按照式(1)和式(2)进行计算。结果见表 3。

4 结论

通过上述实验, 可得出以下结论:

240 mm 厚普通实心砖墙 (试件 1) 无法满足规范的最低标准要求。

夏热冬冷地区太阳辐射强烈, 外围护结构严重受到不稳定温度波的作用。对于温度波幅很大的非稳态传热条件下的围护结构来说, 只采用传热系数指标不能全面评价围护结构的热工性能, 还应该用表征抵抗温度波和热流波在围护结构中传播能力的热惰性指标 D 来评价^[9]。(JGJ 134-2010)《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》规定:“当砖……的面密度 $\rho \geq 200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 时, 可不计算热惰性指标, 直接认定热惰性指标满足要求。”试件 1 的面密度约 $468 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 热惰性指标 $D > 2.5$ 。因此, 对于体型系数较小 (≤ 0.4) 的建筑外墙, 试件 2, 试件 3, 试件 4 和试件 5 的热工性能都能满足规范要求。试件 2 虽然只能达到规范的最低要求, 但构造简单经济, 适用于既有建筑的节能改造。

对于体型系数较大 (> 0.4) 的建筑外墙, 试件 3, 试件 4 和试件 5 都能满足要求。试件 3 和试件 5 的热工性能优于试件 4。试件 3 厚度较小 (320 mm), 发泡聚氨酯能均匀喷涂在龙骨之间, 施工简单, 且能避免围护结构中热桥的不利影响。试件 5 厚度较大 (340 mm), 质量大, 不经济; 发泡聚氨酯填充在板材内部, 容易填充不均匀。

木塑材料自重大, 在使用过程中为减轻自重, 往往加工成空心板材。在 WPC 空心板材内部填充发泡聚氨酯做成的板材墙体, 蓄热系数小 (< 2.5), 不利于夏季隔热散热。当建筑的体型系数较小时 (≤ 0.4), 试件 7 能满足规范要求; 当建筑的体型系数较大时 (> 0.4), 试件 7 尚不能满足热工性能的最低要求。由试件 5 进行推算 (由于空气层的传热很复杂, 其热阻值很难用计算公式求得^[10]。在工程设计中, 空气层的热阻可按文献[2]取最不利的冬季工况, 即龙骨间 20 mm 厚封闭空气间层热阻 $0.39 \text{ m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ 考虑, 当试件厚度达到 120 mm 厚 (由 2 块 60 mm 厚板材内部填充发泡聚氨酯组成) 时, 能满足体型系数较大时建筑外墙的热工要求。

试件 1~试件 7 都能满足做为分户墙、楼梯间隔墙、外走廊隔墙的热工要求。试件 6, 试件 7 为单一板材墙体, 相比其他试件, 厚度薄、自身轻, 保温性能较高, 更适合用作隔墙。由试件 5 推算, 60 mm 厚板材内部填充发泡聚氨酯也能满足传热系数 ≤ 2.0 的要求。但是, 隔声性能能否满足, 还要做进一步的测量。

目前, 普通黏土砖的使用受到限制, 然而各种性能更好的新型墙体材料层出不穷, 如各类多孔砖、蒸压(养)砖等。因此, 上述各试件的基层墙体如用新型墙体材料代替, 墙体的热工性能将会更好。

本实验中所测的各种 WPC 墙体没有考虑热桥的不利影响, 但在实际的建筑中, 难免存在各式各样的热桥, 特别是金属骨架墙体。热桥对整个墙体的热工性能影响很大, 但每堵墙的热桥布置不同, 很难在实验室中进行模拟实验。今后将继续改进和完善实验方法, 在这方面做更加深入的研究。

参考文献:

参考文献:

[1] 董淑娟, 周根树. 木塑复合材料的研究与展望[J]. 材料导报, 2009, 23 (5): 61 - 64.

DONG Shujuan, ZHOU Genshu. Research and prospect of wood plastic composites [J]. Mater Rev, 2009, 23 (7): 61 -

表 3 试件 1~7 处理后的传热系数 K

Table 3 Heat transmission coefficient K after being treated of specimen 1-7

试件号	传热系数 $K/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$
1	2.08
2	1.48
3	0.67
4	0.96
5	0.69
6	1.31
7	0.82

64.

- [2] 雄戈. 塑木复合材料的技术进步及应用拓展[J]. 国外塑料, 2008, **26** (11): 70 – 73.
XIONG Ge. Plastic-wood composite materials technology and application development [J]. *World Plast*, 2008, **26** (11): 70 – 73.
- [3] 伍波, 张求慧, 李建章. 木塑复合材料的研究进展及发展趋势[J]. 材料导报, 2009, **23** (7): 62 – 64.
WU Bo, ZHANG Qiuhui, LI Jianzhang. Research status and development trend of wood plastics composites [J]. *Mater Rev*, 2009, **23** (7): 62 – 64.
- [4] 王燕. 浅论木塑复合材料的组成及其性能提高[J]. 化学工程与装备, 2010 (9): 130 – 132.
WANG Yan. Discussion on composition and performance improvement of wood-plastic composites [J]. *Chem Eng & Equ*, 2010 (9): 130 – 132.
- [5] 方明锋, 黄华. 木塑复合材料的研究及应用[J]. 现代农业科技, 2009 (3): 8 – 11.
FANG Mingfeng, HUANG Hua. Research and application of wood-plastic composites [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2009 (3): 8 – 11.
- [6] 吴恬静, 张万荣, 谢磊. 木塑复合材料(WPC)在园林中的应用研究[J]. 现代园林, 2010 (1): 55 – 57.
WU Tianjing, ZHANG Wanrong, XIE Lei. Research on application of wood plastic composites in garden [J]. *Mod Landscape Archit*, 2010 (1): 55 – 57.
- [7] 国家技术监督局, 中华人民共和国建设部. GB 50176 –1993 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2004.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10295–2008 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定热流计法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 134–2010 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, 2010.
- [10] 张译文, 张双喜, 刘杰, 等. 新型钢结构木塑外墙保温性能的研究[J]. 新型建筑材料, 2008 (11): 48 – 51.
ZHANG Yiwen, ZHANG Shuangxi, LIU Jie, *et al.* Investigation on thermal insulation performance of new steel structure wood-plastic exterior wall [J]. *New Build Mater*, 2008 (11): 48 – 51.