

预制木质外墙挂板在建筑节能改造中的应用

张晓凤, 孙友富, 杨茹元

(南京林业大学材料科学与工程学院木结构建筑系, 江苏南京 210037)

摘要: 改变墙体的热工性能以满足室内热舒适性要求, 是建筑节能技术的关键。基于国内建筑节能改造现状以及外墙木质挂板、木构墙体等相关保温技术的研究成果, 提出一种集节能、环保、防火、美观一体化的预制木质外墙挂板设计方案, 并分析其热工性能和材料成本。

关键词: 预制; 木质外墙挂板; 建筑改造; 节能

中图分类号: TS65; TU366.2 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2019) 02-0030-05

Application of Prefabricated Wooden Exterior Siding Panels for Energy Saving Building Renovation

ZHANG Xiao-feng, SUN You-fu, YANG Ru-yuan

(Department of Wooden Structure Construction, College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Optimizing thermal performance of building walls is the key to save energy and to meet indoor thermal comfort demands. The authors reviewed current situation of domestic energy-saving renovations as well as research and development of thermal insulation techniques, like wooden exterior siding panels and wooden frame walls. Prefabricated wooden exterior siding panels were designed with integrated characteristics of energy saving, environmentally consciousness, fire proof and aesthetics. Thermal performance and costs of the panels was analyzed. The panels were featured with energy conservation and could meet the requirements of sustainable development in potential market.

Key words: prefabricated; wooden exterior siding panels; building reconstruction; energy saving

建筑节能有利于保护生态环境, 是当代世界建筑发展的一个基本趋向^[1]。根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》确定的节能降耗主题, 建筑节能已成为我国节能事业的重要组成部分。

若不考虑后期拆除与处理的能耗, 我国建筑能耗总量约占社会能耗总量的 26.7%; 考虑建筑全生命

周期, 建筑总能耗则占社会总能耗的 30%~40%^[2]。改变墙体的热工性能以满足室内热舒适性的要求, 是建筑节能技术的关键^[3]。20世纪80年代前的大量建筑, 尤其是传统木构民居建筑, 并未对墙体保温措施进行充分考量, 改造势在必行。

预制外墙挂板因其良好的保温性能及独特的美学效果, 能够满足建筑节能及外立面改造的审美需求^[4-6]。笔者对木构墙体节能技术、外墙挂板的种类与优势等进行归纳并提出设计建议, 期待预制木质外墙挂板可为我国建筑节能改造提供新方式, 在我国建筑节能改造中发挥作用。

收稿日期: 2018-05-22; 修改日期: 2019-02-25

作者简介: 张晓凤(1985—), 女, 南京林业大学材料科学与工程学院博士研究生。

责任作者: 孙友富, 南京林业大学材料科学与工程学院教授。

1 建筑节能技术与预制木质外墙挂板研究现状

国内外围绕木结构建筑节能指数、建筑墙体保温技术等展开了大量研究，为建筑节能改造奠定了基础。

1.1 木结构建筑材料的节能特点

根据 GB 50176-2016《民用建筑热工设计规范》所列建筑材料的热阻值可知，木材的热阻大，属热的不良导体。图 1 为常用建材的热阻值对比。在同样厚度的条件下，木材的热阻值比标准混凝土的热阻值高 16 倍，比钢材高 400 倍，比铝材高 1 600 倍^[7]。

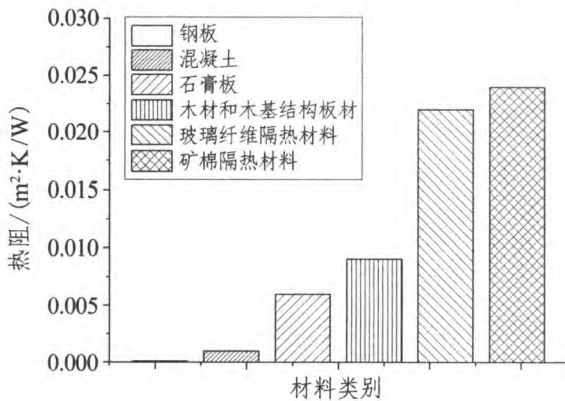


图 1 常用建材的热阻值对比

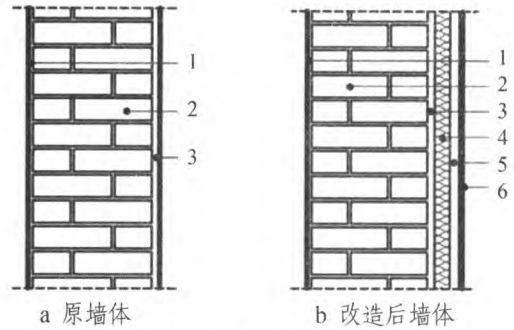
Fig.1 Thermal resistance value of traditional building materials

木结构墙体和屋架体系通常是由木方、板材、保温棉填充而成，相比钢或混凝土结构建筑，具有更优异的隔热性能，能显著降低采暖制冷能耗，以经济的方式保持舒适的温度。有研究证明，150 mm 厚的木结构墙体，其保温能力相当于 610 mm 厚砖墙，比混凝土结构节能 50%~70%^[8]。

1.2 建筑墙体保温材料及应用

旧建筑改造可采用木质外墙挂板的外墙保温技术，有效提高节能等级。图 2 所示为 1950 年的建筑，原墙体（图 2a）未设置保温层，其传热系数为 1.244 W/m²·K^[4]；采用木质外墙挂板结合保温层改造后（图 2b），墙体的传热系数降至 0.393 W/m²·K^[4]。

结构用木质保温板（Structural insulated panels, SIPs），是一种夹芯结构的保温复合板，由两片高性能面板与芯板粘合而成，具有轻质、高强、节能环保、安装迅速等特点，在欧、美、日等国家广泛使用^[9]。我国的相关研究起步晚，市场应用尚不普遍，但近年来关注度提高。



注：1—15 mm厚砂浆层；2—38 mm厚砖墙；3—25 mm厚砂浆层；4—50 mm厚保温层；5—50 mm厚空气层；6—复合材料外墙挂板。

图 2 改造前后建筑墙体节点示意图^[4]

Fig.2 Schematic diagram of traditional and renovated building walls

图 3 所示为 SIPs 在我国贵州传统木结构建筑改良示范项目中的成功应用，不仅有效地解决了现实生活与旧建筑之间的矛盾，而且保护了传统建筑珍贵的历史与文化^[3]。

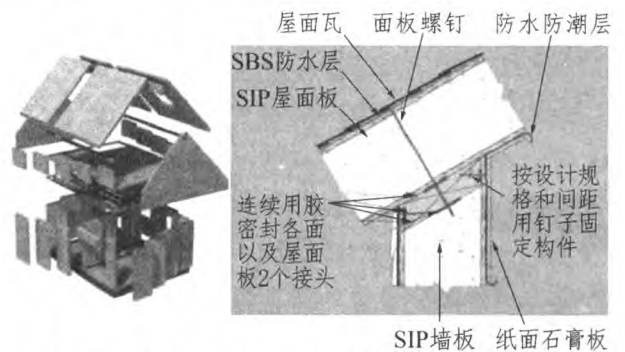


图 3 SIPs 体系在传统木结构民居改造项目中的应用^[3]

Fig.3 Application of SIPs system in renovation for a traditional wood timber building

但我国南方地区湿度过高，易引起墙体内部冷凝受潮，影响结构保温的性能及耐久性，尚待进一步研究。

现代轻型木结构中，大量采用外墙保温技术，通过增加墙骨柱间距、选用大截面墙骨柱、增加保温材料厚度等技术，能有效提高建筑的保温效果^[10]，这些技术对梁柱式木结构建筑同样适用。

此外，国内外对模块化外墙构件、混凝土与木材组合的预制挂板已有大量研究^[4-6, 11]，为建筑节能改造开拓了新的技术手段。

1.3 保温外墙挂板的特点及分类

预制外墙挂板作为一种保温材料，通过干挂等方法与外墙连接，可有效减少热桥效应，达到保温

或装饰的目的,是目前国内外墙体保温材料中发展最快的一个方向^[5-6,12-13]。

外墙挂板必须具备良好的阻燃特性、耐高温、防腐防虫及尺寸稳定等性能,同时需满足造型美观、施工便捷等要求,集外墙装饰面、保温于一体,尤其需要在工厂生产一次成型,尽可能缩短现场施工的时间^[14]。

目前市场上常见的外墙挂板类型有:石材挂板、金属挂板、纤维水泥挂板、PVC挂板和木质挂板等。前三者在公共建筑中较为常见,但材料热阻值较小,保温效果较差;PVC外墙挂板适用于非承重墙体,质轻、可防水,热物理性能优于钢筋混凝土、夯实黏土,但脆性较大,耐候性欠佳^[14-15],目前使用并不广泛。

木质外墙挂板主要有实木和木质复合材料挂板两种类型,处理不当的实木外墙挂板易褪色、霉变,而物理或化学方式改性的木材及木塑复合材料等墙板的耐久性较好。

1.4 预制木质外墙挂板的优势

围护结构节能改造中,以外墙节能最为复杂^[8],单纯外墙挂板无法达到保温及节能需求,特别是在严寒地区,需结合保温材料设计,组成一体化的保温系统(国外称作“连环甲系统”),以实现较好的保温效果。预制木质外墙挂板可以实现上述目标,其特点:

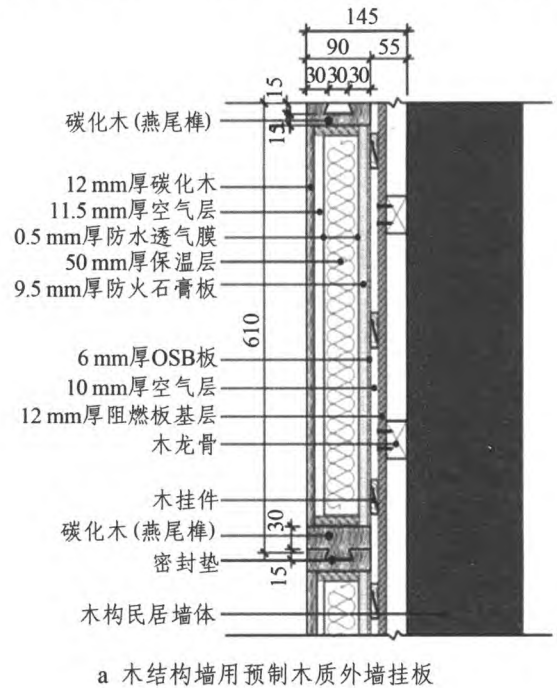
- 1) 木材本身具有高热阻的优势;
- 2) 木材轻质高强,在建筑改造时,对原建筑荷载影响较小,可降低额外的加固工作量;
- 3) 耐久性好。经过热处理的木材尺寸稳定性、耐久性、防腐性能均得到显著改善^[4]。
- 4) 安装灵活,不受制于建筑结构以及建筑表皮的破损程度。主要有两种安装方式:

① 铲除原有外墙装饰面,用新的木质外墙挂板或木质复合材料外墙挂板取代原装饰材料;② 在原粉刷或瓷砖铺贴的建筑外墙上,设置一个子结构连接件,辅以木质复合材料外墙挂板^[4]。特别是在寒冷季节,是一种非常快捷的改建方案。

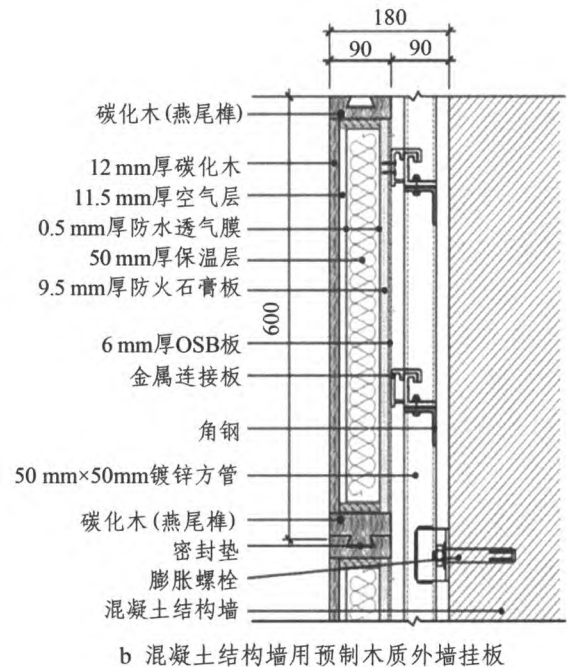
5) 成本低。外墙挂板可实现工厂化生产,组装过程及施工过程需用的劳动力少,且后期维护、更换方便。

2 预制木质外墙挂板一体化设计建议

现有预制外墙挂板的研究,主要集中在混凝土保温与装饰一体化组合板设计方面,而对预制木质外墙挂板一体化的研究开发不足。基于木材优异的保温特性以及当前保温技术研究成果,笔者提出预制木质外墙挂板一体化设计方案,结构如图4所示。



a 木结构墙用预制木质外墙挂板



b 混凝土结构墙用预制木质外墙挂板

图4 预制木质外墙挂板构造节点图

Fig.4 Wall structure diagram of prefabricated wood-based exterior siding panels

材料组成由外到内依次为：12 mm 厚碳化木板材（碳化木端头加工为燕尾榫形式）、11.5 mm 厚空气层、0.5 mm 厚防水透气膜、50 mm 厚保温层、0.5 mm 厚防水透气膜、9.5 mm 厚防火石膏板、6 mm 厚 OSB 板。实际生产时，可以根据各地区对材料的热工需求，灵活调节保温层的厚度。

2.1 材料选择

木质外墙挂板必须根据设计标准合理选择树种。国外主要选用菠萝格、红雪松等，国内可选樟子松、杉木、落叶松等材性优良、纹理优美的树种，经碳化或表面处理应用。

经热处理的碳化木纹理自然，耐久性较好，尺寸稳定性高^[16]，耐腐耐虫；木塑复合材料颜色丰富，尺寸稳定性好，但需解决其紫外线辐射老化的问题，可采用无机纳米材料进行表面特殊涂层处理^[17]。

2.2 建议尺寸

根据木结构建筑模数规格，预制木质外墙挂板一体化设计，可设定为厚度 90 mm，规格 610 mm×610 mm 的标准组合挂板，可与石材、钢化玻璃等材料搭配使用，丰富建筑立面。

2.3 连接方式

连接方式涉及挂板之间的连接，以及挂板与墙体之间的连接，是施工技术的重点。

1) 挂板之间连接端头的衔接处是影响保温性能的重要部位，设计时可选择燕尾榫形式，且内置弹性密封垫，以达到良好的密封效果。燕尾榫亦可加强挂板之间的整体性，用于每块挂板的水平方向及垂直方向连接。

2) 挂板与墙体之间的连接，根据原建筑墙体构造，选用不同类型的连接件，既可用于木构民居建筑节能改造（图 4a），亦可用于混凝土结构墙体节能改造（图 4b）。

组合挂板与墙体的连接可采用干挂方式，即现场使用专用可调节式的固定件和膨胀螺栓，将组合件快捷地固定在外墙体之上；与其他外墙装饰材料，如石材等搭接处，可用耐候型硅酮胶将组合件间的缝隙封闭，达到防水和密闭的效果。

2.4 热工性能理论计算

预制挂板每层材料视为匀质材料，材料的导热系数参照 GB 50176-2016 取值，挂板每层材料的热阻

根据公式 1 计算；预制挂板的理论热阻 R_0 根据公式 2 计算。

$$R = \delta / \lambda \quad (1)$$

$$R_0 = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2)$$

式中： R —每层材料热阻， $m^2 \cdot K/W$ ； δ —每层材料厚度， m ； λ —材料的导热系数， $W/(m \cdot K)$ ； R_1 、 R_2 、…… R_n 为各层材料的热阻， $m^2 \cdot K/W$ 。

各层材料以及预制挂板的理论热阻值计算结果列于表 1，预制挂板的 R_0 为 $1.735 m^2 \cdot K / W$ 。

表 1 预制木质外墙挂板的理论热阻

Tab.1 Theoretical thermal resistance of prefabricated wooden exterior siding panels

预制挂板 结构组成	材料厚度/ mm	导热系数/ (W/m ² ·K)	材料热阻/ (m ² ·K/W)
碳化木	12.0	0.130	0.092
空气层	11.5	—	0.140
防水透气膜	0.5	0.038	0.013
保温材料（玻纤棉）	50.0	0.035	1.430
防水透气膜	0.5	0.038	0.013
防火石膏板	9.5	0.330	0.029
OSB	6.0	0.338	0.018
预制挂板	90	0.909	1.735

注：材料的导热系数参照 GB 50176-2016。

2.5 材料成本估算

以 610 mm×610 mm 标准模块为例，根据当前材料市场价格，估算预制挂板材料成本，列于表 2。

表 2 预制木质外墙挂板的材料费用

Tab.2 Cost of prefabricated wooden exterior siding panels

预制挂板 材料组成	单价/ (元·m ⁻²)	规格/ mm×mm×mm	用量/ m ²	价格/ 元	损耗率/ %
碳化木	80	90×4 000×12	0.3025	24.20	5
碳化木	160	90×4 000×30	0.0696	11.14	5
空气层	-	-	-	-	-
防水透气膜	6	1 500×50 000×0.5	0.6050	3.03	10
玻璃纤维棉	8	1 200×18 000×50	0.3025	2.42	5
防火石膏板	20	1 200×2 400×9.5	0.3025	6.05	5
OSB	25	1 200×2 400×6.0	0.3025	7.56	5
模块成本/(元/块)			58.11		
单价/(元/m ²)			156.17		

注：材料成本计算中，未包含连接件、密封胶、人工费等其他费用。

对旧民居木结构建筑，采用预制木质挂板进行节能改造，墙体材料成本节约 23.83 元/m²^[18]。以一

套 180 m² 普通两层楼的黔东南民居为例, 墙板面积约 600 m², 将节约材料成本 14 298 元/套。

相对重型木结构建筑, 以外墙厚度 100 mm 计, 将节约材料成本 543.83 元/m²^[18], 上述 180 m² 两层普通民居建筑改造, 节约 97 889.4 元/套。

在上述材料成本基础之上, 考虑连接件、胶黏剂、人工制作费用等成本, 预制挂板与其他外墙饰面材料相比, 将体现更大成本优势。原因在于其安装为干式作业, 施工工序简化, 原建筑表面的幅面材料无需大面积铲除, 也大大减少建筑垃圾的堆砌、运输和处理。

3 建议

我国木结构及相关领域发展迅速, 然而木结构建筑节能的发展仍面临许多困难, 需要理性思考与处理, 从而更好地推进预制木质挂板的应用, 推动我国木结构建筑产业的可持续发展^[19]。

1) 重新审视建筑节能改造机制。

德国在建筑节能改造方面, 法律法规完善、政策连续、措施齐全, 节能改造技术和产品世界领先, 对国有借鉴价值和参考价值^[20]。可利用建筑节能软件, 对建筑能耗进行改造之前模拟和分析, 有针对性地改善建筑的热工性能^[21]。

2) 正确认知预制木质外墙挂板的优势。

预制木质挂板是以建筑节能改造为出发点, 并综合考虑安全性与美观性等, 集节能、环保、防火、美观为一体。其表层使用碳化木具有天然木材纹理装饰性强且环保; 内置防水透气膜可防止湿气进入, 即使受潮也能及时排除湿气, 具有较好的防潮性能; 中间采用玻璃纤维棉保温层, 总热阻为 1.735 m²·K/W, 保温特性良好; 防火石膏板的设置有效提升建筑外墙的防火等级, OSB 板尺寸稳定性好。

3) 木质外墙挂板预制化程度高, 符合当装配式绿色建筑可持续发展战略。期待能够在建筑节能改造中充分发挥作用, 改善室内热舒适性, 在全球倡导绿色节能建筑大背景之下独树一帜。

参考文献:

- [1] 王晓欢, 费本华. 木结构建筑节能发展与研究现状[J]. 建筑节能, 2008(3): 24-28.
- [2] 朱治华. 外挂板复合墙体热工性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [3] 阙泽利, 陈秋韵, 徐伟涛, 等. 模块化 SIPs 在贵州传统木构民居改良中的应用[J]. 林产工业, 2017(11): 3-8.
- [4] Jelena Ivanovic Sekularac, Jasna Cikić Tovarovic, Nenad Sekularac. Application of wood as an element of façade cladding in construction and reconstruction of architectural objects to improve their energy efficiency[J]. Energy and Buildings, 2016, 115(3): 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.047>.
- [5] Svein Ruud, Leif Östman, Philip Orådd. Energy savings for a wood based modular pre-fabricated façade refurbishment system compared to other measures [J]. Energy Procedia, 2016, 96(9): 768-778. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.139>.
- [6] Giada Malacarne, Gabriele Pasetti Monizzab, Julia Ratajczaka, Daniel Krausea, Cristina Benedettia, Dominick T Matab. Prefabricated timber façade for the energy refurbishment of the Italian building stock: the Ri.Fa.Re. project [J]. Energy Procedia, 2016, 96(9): 788-799. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.141>.
- [7] 杨晓梅. 木结构住宅的优点以及在我国的发展[J]. 林产工业, 2007(5): 12-13.
- [8] 张卫, 叶华. 湖南历史类木构建筑的节能改造关键技术研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2009(4): 129-134.
- [9] 刘晓娜, 周海滨. 结构用木质保温板(SIPs)的产业现状及发展前景[J]. 木材工业, 2017, 31(2): 14-18.
- [10] 孙辰. 轻型木结构墙体保温及传热性能研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [11] 黄茜. 节能建筑模块化体系设计与评价及仿真优化方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- [12] 何勇智. 外墙外保温系统几个关键问题的探讨[J]. 保温材料与节能, 2005(5): 48-50.
- [13] 陈亚兵. 外墙外保温及不同材料的技术性能比较[J]. 建筑施工, 2005(12): 31-33.
- [14] 高强. 装配式框架—剪力墙结构形式和拼装技术研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2014.
- [15] 田先玲, 李大纲, 吴正元. 木塑外墙挂板结构与性能研究[J]. 新型建筑材料, 2010(9): 49-52.
- [16] 丁涛, 顾炼百, 蔡家斌. 热处理对木材吸湿特性及尺寸稳定性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(2): 143-147.
- [17] 王百灵, 冯苗, 詹红兵. 木材表面功能化改性的研究进展[J]. 中国表面工程, 2013, 26(6): 9-17.
- [18] 唐志方, 唐岩明. 一种低成本木结构墙体及其制作方法[P]. 中国: CN104831834A, 2015-08-12.
- [19] 姜万里, 任海青. 木结构建筑的特征及在我国的发展前景[J]. 木材工业, 2015, 29(5): 20-23.
- [20] 张海运. 德国既有建筑节能改造-经济学视角的分析[D]. 吉林: 吉林大学, 2014.
- [21] 张颖璐, 孙友富. BECS 软件在建筑节能设计中的应用[J]. 建筑节能, 2011(9): 69-71.

(责任编辑 向琴)

本刊微信公众号: mucaigongye 微信扫码(见封面)订阅更便捷、更优惠
全国各地邮局办理订阅(邮发代号: 2-311) 投稿请认准本刊唯一官网: mcgy.criwi.org.cn