

Analysis on Integrated Design of the Insulation External Wall of Green Housing

Shengjie Yu Yong Huang Lihui Nian

Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Xuzhou, Jiangsu, 221116, China

Abstract

In view of the sustainable development demand of high-quality green residential buildings, the paper summarizes the characteristics of general external wall thermal insulation structure types, combined with the characteristics of common thermal insulation materials, puts forward the integrated structural design of foam concrete external wall thermal insulation; The heat transfer coefficient of the exterior wall when filled with different insulation materials was calculated, and the results showed that the integrated structure meets higher energy-saving design goals; The thermal performance of the integrated structure of foam concrete external wall thermal insulation is tested. The results show that the designed integrated thermal insulation external wall has excellent thermal insulation and fire resistance.

Keywords

insulation performance; integrated design; foam concrete; thermal property

绿色住宅外墙保温一体化设计分析

喻圣洁 黄勇 年立辉

江苏建筑职业技术学院, 中国 · 江苏 徐州 221116

摘要

针对绿色住宅高品质的可持续发展需求, 论文总结了一般外墙保温构造类型的特点, 结合常用保温材料特点, 提出了泡沫混凝土外墙保温一体化构造设计; 计算了填充不同保温材料时外墙传热系数, 结果表明, 一体化构造满足更高的节能设计目标; 测试了泡沫混凝土外墙保温一体化构造的热工性能, 结果表明, 设计的一体化保温外墙具有优良的保温性、耐火性能。

关键词

保温性能; 一体化设计; 泡沫混凝土; 热工性能

1 引言

外墙保温技术起源于 20 世纪 40 年代的德国, 发展于 20 世纪 70 年代, 广泛应用于 20 世纪 80 年代的欧洲, 20 世纪 90 年代引入中国^[1]。随着中国经济的高质量发展, 绿色低碳建筑应用越来越广泛, 能耗指标已成为建筑设计考虑的重要因素。高能耗建筑浪费大量的能源, 加剧环境污染和气候变化, 因此, 建筑节能成为国家能源战略的重要组成部分。中国近年来大力推动建筑节能工作, 并取得了一定成果, 然而, 现有住宅节能技术如外墙外保温和外墙内保温等存在诸多缺陷, 如饰面易裂、二次装修不便、冷热桥结露、施工工

艺要求高等, 开发新的建筑节能技术成为建筑低碳节能发展的重要需求。保温外墙一体化技术工序简单、施工便捷、安全耐久, 已成为建筑节能技术发展的重要方向。

2 外墙保温构造类型

目前, 国内外常见外墙保温构造主要有四种^[2-5]: 外墙内保温、外墙外保温、外墙夹芯保温和墙体自保温, 各类型外墙保温构造分析见表 1。

结合表 1 可知, 内保温构造存在热桥、易开裂、装修不便等不足, 外保温构造存在工艺要求高、外墙饰面单一更新不便、耐火耐候性较差等问题。夹心保温构造将保温材料包夹于内外叶混凝土墙之间, 可有效弥补外保温和内保温构造的不足, 提高住宅外墙耐火性和耐候性, 减少冷热桥的体量, 提高了外墙的保温性能, 提高了外墙的安全性, 是应用最广泛的外墙保温构造类型。

【基金项目】2016 年度江苏省建设系统科技项目(指导类)(项目编号: 2016ZD54); 2019 年度江苏省建设系统科技项目(指导类)(项目编号: 2019ZD086)。

【作者简介】喻圣洁(1989-), 男, 中国江苏新沂人, 硕士, 讲师, 从事结构工程研究。

表 1 外墙保温构造类型分析表

类型	主要材料	优势	不足	主要应用情况
内保温	增强石膏复合聚苯保温板、聚合物砂浆复合聚苯保温板、增强水泥复合聚苯保温板等	施工方便、造价低、对外墙垂直度要求不高	内饰面易开裂、二次装修不便、占用室内空间、冷热桥结露	旧建筑改造或建筑外立面有特殊要求的建筑，新建建筑应用较少
外保温	保温隔热材料（如聚苯板、岩棉板等）	主体结构受温差作用小、温度变形小、冷（热）桥少、不占室内使用面积、不影响室内装修、综合经济效益高	工艺要求高、保温层粘结强度不足、易开裂起鼓、耐久性耐候性较差	广泛应用，墙体节能体系的主要形式
夹心保温	优异保温、绝热功能的材料（如聚苯乙烯泡沫、岩棉等）	力学性能好、能耗低、保温效果好、耐久、施工灵活	易形成“热桥”现象、接缝和墙体裂缝会影响保温性能	应用广泛
自保温	隔热效果好的砌体材料（如轻骨料混凝土砌块、加气混凝土砖等）	墙体隔热性能、抗震性能好、节能效果好、保温与建筑同寿命	强度低易开裂、热工性能难以达到要求、保温制品工艺复杂	应用越来越少

3 外墙保温一体化设计

3.1 保温形式

结合各类保温构造特点，对比分析各类构造做法的优劣，考虑保温材料空间位置，文章初步选择夹心保温这种形式，将外墙承重结构和保温构造进行一体化设计，以预制钢筋混凝土复合保温外墙板作为设计原型，综合考虑工艺、成本和热工性能等因素，采用保温效果好、耐久耐火性好、耐腐蚀性强的夹心保温形式，得到保温材料一体化保温外墙板构造，一体化保温外墙由三部分构成：预制混凝土外叶墙片、内叶墙片、保温材料填充腔体。外叶墙厚度 h_o 取 50~80mm，中间保温层厚度 h_l 根据工程实际设计目标计算确定，内叶墙厚度 $h_i=h-h_o-h_l \geq 120\text{mm}$ ，内外叶墙板边缘浇筑混凝土围成全封闭腔体，腔体内浇筑填充保温材料，保温材料与大气完全隔离，大幅度降低墙外环境对热工性能的影响。

3.2 保温层计算

一体化保温外墙保温材料根据工程实际选取，墙体构

造根据墙体传热系数 λ 和节能设计目标计算确定。参照国家现行行业标准《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准（JGJ 134—2010）》，普通外墙围护结构 $K \leq 1.5\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。论文设计的一体化保温外墙，其节能设计目标按 25% 考虑，即墙体传热系数 $K_0 \leq (1-25\%)=0.75 \times 1.5=1.125\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。外叶墙厚 $h_o=55\text{mm}$ 、保温层厚 $h_l=40\text{mm}$ 、内叶墙厚 $h_i=180\text{mm}$ ，混凝土导热系数取 $\lambda=1.28\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，则一体化夹芯保温外墙保温计算结果见表 2。

由表 2 可知，保温层厚 $h_l=40\text{mm}$ 时，保温材料选用发泡聚苯板、挤塑聚苯板、YX 隔离式聚苯板、TPS 板和泡沫混凝土均达到保温设计目标，可见，一体化外墙夹心保温构造设计，适用多种保温材料。对于未达到保温设计目标的无机保温砂浆和泡沫玻璃或导热系数相当的保温材料，可通过调整保温层厚度至 70mm 实现设计目标。设计的结构与保温一体化建筑围护体系，通过理论计算确定了符合低于国家建筑节能标准 25% 的保温材料。对于泡沫混凝土保温系统，通过试验检测的方式验证了其热工性能，结果表明该体系具有良好的保温效果和防火性能。

表 2 不同保温材料时墙体传热系数计算表

保温材料类型	导热系数 $\lambda[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	墙体传热系数 $K[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	K_0	节能比率 (%)	是否达到设计目标
发泡聚苯板 (EPS)	0.042	0.927	1.125	38.2	是
挤塑聚苯板 (XPS)	0.030	0.716	1.125	52.3	是
YX 隔离式聚苯板	0.045	0.975	1.125	35	是
TPS 板	0.036	0.877	1.125	41.5	是
无机保温砂浆	0.075	1.222	1.125	18.5	否
泡沫玻璃	0.070	1.168	1.125	22.1	否
泡沫混凝土	0.066	1.122	1.125	25.2	是

3.3 保温材料选取

保温材料选择, 优先考虑导热系数 λ 小、干密度 ρ 小、线膨胀系数 αt 小、蓄热系数 S 大、易加工、耐久、不易吸湿、成本低等因素^[6], 以此为选择依据, 对当前几种主要外墙保温材料进行对比分析 (见表 3)。

由表 3 可知, 有机类保温材料质轻、 λ 较小保温效率高、耐火性较差、 S 较小热稳定性较差、经济成本较高, 连接拼接缝处易形成热桥降低保温效果。无机类保温材料 λ 较大, 可整体浇筑成型减少热桥影响。考虑原材料获取成本和工程适应性, 文章选取防火和耐久性能好、热工性能稳定的泡沫混凝土进行一体化保温外墙的设计。

4 热工性能测试

通过在预制厂安装模板、铺设钢筋、浇筑混凝土、浇筑保温材料、养护制作试件后, 测试试件各种物理热工性能参数, 试验结果见表 4 和表 5。

由表 4 可知, 泡沫混凝土干表观密度、导热系数、抗压强度、抗拉强度、吸水率、干燥收缩值、碳化系数、软化系数以及放射性等指标均符合标准要求, 尤其是导热系数 λ 较低, 为 $0.052\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 远低于无机保温砂浆和泡沫玻璃等材料。一体化墙体试件热阻 $R=0.75\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, 墙体热导系数 $\lambda=0.367\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 符合相关标准规范对住宅建筑节能的要求。

表 3 常见保温材料性能对比分析表

材料名称	ρ (kg/m ³)	λ	S [W/(m ² ·K)]	优势	缺点
膨胀聚苯板 (EPS)	18~20	0.042	0.36	质轻、易加工、导热系数小、成本适中	强度低、易吸湿、热工性能易衰减、抗冲击和碰撞能力弱
挤塑聚苯板 (XPS)	25~32	0.030	0.32	结构更致密、强度更高、热工性能优良	成本较高
岩棉板	230~250	0.060	1.02	耐火性能好	导热系数较大、耗材较多
无机保温砂浆	350	0.075	1.19	耐火性能好	容重较大、易吸湿、工艺多、干缩性大
泡沫玻璃及泡沫混凝土	200~250	0.066	1.07	工艺成熟、原材料来源广、工程适应性强	泡沫玻璃价格较高、泡沫混凝土价格较低
膨胀珍珠岩与膨胀蛭石	250	0.072	1.24	制品热工性能好	散粒材料使用不便、吸水性大、造价较高
相变材料 (PCMs)	240~300	—	—	自动调节功能	成本高、性能不稳定、储热容量小
真空绝热板 (VIPs)	60~100	< 0.004	—	热工性能优异	强度低、成本高、耐久性差、易碎
纳米气凝胶	< 3	0.01	—	轻质、隔热性能优异	强度低、成本高

表 4 泡沫混凝土基本物理性能测试结果

基本物理性能参数		标准要求	测试结果
ρ (kg/m ³)		≤ 250	199
λ [W/(m·K)]		≤ 0.06	0.052
f_c (MPa)		≥ 0.40	0.42
f_t (MPa)		≥ 0.13	0.16
W_v (%)		≤ 10.0	9.2
干燥收缩率 (mm/m)		≤ 0.80	0.68
碳化系数		≥ 0.80	0.88
软化系数		≥ 0.80	0.85
放射性	内照射指数 I_{ra}	≤ 1.0	0.13
	外照射指数 I_{γ}	≤ 1.3	0.13
燃烧性能 (A1 级)	炉内平均温升 (°C)	≤ 50	1
	持续燃烧时间 (s)	≤ 20	0
	质量损失率 (%)	≤ 50	17

表 5 泡沫混凝土一体化外墙保温试件热工性能测试表

测试参数	测试结果
墙体内表面温度 T_1 (°C)	38.9
墙体外表面温度 T_2 (°C)	29.1
墙体内外表面温度差 ΔT (°C)	9.8
墙体热流量值 Q (W/m ²)	13.03
墙体热阻值 R (m ² ·K/W)	0.75
墙体导热系数 λ	0.367

5 结语

论文分析了常见外墙保温类型特点,设计了绿色住宅泡沫混凝土一体化夹心保温外墙,墙体保温层厚 40mm 时,保温材料采用发泡聚苯板、挤塑聚苯板、YX 隔离式聚苯板、TPS 板和泡沫混凝土,墙板传热系数均满足低于国家节能标准 25% 以上的设计目标,调整保温层厚度,无机保温砂浆和泡沫玻璃可以达到设计目标。

泡沫混凝土一体化外墙保温、防火性能优良,适用于工业化生产,对降低建筑能耗、提高能源利用效率、推动外墙保温技术发展、推动建筑高效环保可持续发展具有一定意义。

参考文献

[1] 刘国敏,陈焱,殷玥.外墙保温研究现状及发展趋势[J].绿色建筑

筑,2024(5):84-89+100.

- [2] 姜传,陆江,翁建涛.外墙内外组合保温体系研究与工程应用的现状及发展趋势[J].建设科技,2017(8):65-68.
- [3] 杨恒亮,李婧,陈浩.浅析外墙外保温技术的应用现状及发展趋势[J].江苏建筑,2016(1):106-109.
- [4] 梁旭琳.岩棉板外墙保温施工技术及质量控制要点[J].广东建材,2024,40(11):153-156.
- [5] 王海军,刘琳,巴特尔.建筑外墙自保温体系应用分析[J].硅酸盐通报,2016,35(1):179-184+191.
- [6] 成妮妮.基于绿色建筑节能目标的外墙保温材料评价及选用[J].建材发展导向,2024,22(13):1-3.