

# Research on the Development of Energy-Saving Technology for Exterior Wall Insulation

Jing Li, Yan Qu, Chengming Li, Lin Fang

East China Architectural Design Institute Co., Ltd., Shanghai  
Email: [Jing\\_li7@arcplus.com.cn](mailto:Jing_li7@arcplus.com.cn)

Received: July 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: July 22<sup>nd</sup>, 2019; published: July 29<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

This paper summarizes the technical characteristics of common thermal insulation materials and external wall thermal insulation system, and points out the existing problems of common thermal insulation materials and external wall thermal insulation system: the performance of external wall thermal insulation materials needs to be improved, and the structure system of external wall thermal insulation needs to be improved. In order to reduce the complexity of construction, speed up the construction progress, reduce the thermal bridge caused by construction problems and improve the thermal insulation effect, it is necessary to develop new thermal insulation materials and new composite walls to solve the thermal insulation problem of external walls by building industrialization, so as to meet the needs of the rapidly developing building energy-saving market.

## Keywords

Thermal Insulation Material, External Wall Insulation System, New Composite Wall

---

# 外墙保温节能技术的发展研究

李 婧, 瞿 燕, 李承铭, 方 林

华东建筑设计研究院有限公司, 上海  
Email: [Jing\\_li7@arcplus.com.cn](mailto:Jing_li7@arcplus.com.cn)

收稿日期: 2019年7月7日; 录用日期: 2019年7月22日; 发布日期: 2019年7月29日

---

## 摘 要

本文总结归纳了常见的保温材料、外墙保温体系的技术特点, 指出目前常用的保温材料和外墙保温体系

存在的问题，外墙保温材料的性能和构造体系有待提升。为了降低施工的复杂程度，加快施工进度，减少由于施工问题产生的热桥，提高保温效果，有必要研发新的保温材料和新型复合墙体，以适应迅猛发展的建筑节能市场的需求。

## 关键词

保温材料，外墙保温体系，新型复合墙体

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

当今世界资源的紧缺和环境问题的凸显使建筑节能成为建筑设计的主要趋势。在传统建筑的热量散失体系中，通过外墙散失的热量位居建筑物热损失之首，占比可达约 1/3 [1]。因此提高外墙的热学性能，减少通过外墙损失的热量，是进一步降耗的有效手段。

目前我国的墙体保温材料发展较为成熟，外墙保温做法也形成了一定的体系和标准，这些都极大地促进了建筑节能的发展[2] [3] [4] [5]。但是随着国内节能标准的不断提高和实际工程的日趋复杂，对外墙材料的综合性能和保温做法体系提出了更高的要求，现有的保温材料和做法体系已经逐渐无法满足新时代建筑多方面的综合要求。为了降低施工的复杂程度，加快施工进度，同时提高保温效果，减少由于施工问题产生的热桥，有必要研发新的保温材料和新型复合墙体，以建筑工业化的方法解决外墙保温的问题，以期带来良好的经济和社会效益。

## 2. 常见墙体保温材料

### 2.1. 外墙保温材料选用原则

保温材料从技术角度主要考虑以下几个方面[6]：

- 1) 保温性能：材料应具有较低的导热系数，材料导热系数越低，所需设计厚度越薄。
- 2) 尺寸稳定性：保温材料应具有良好的尺寸稳定性，如果板材发生翘曲变形，就容易导致外饰面开裂渗水乃至脱落等问题。
- 3) 吸水性能：保温材料在吸水状态下保温性能会降低，因此工程所用的保温材料应是吸水率低的。
- 4) 防火性能：保温材料用于外保温时，为避免安全隐患对其防火性能要求较高。
- 5) 施工便捷性：薄抹灰系统作为常见的保温体系，施工技术较为成熟，但是由于施工平整度较难控制，甚至可能出现严重的饰面开裂、脱落等质量事故。而很多新型材料缺少相应的施工便捷性，例如真空绝热板、发泡水泥板等板材现场都难以裁切，对基层墙面的适配性较低。

### 2.2. 常用保温材料特性分析

用于围护结构的保温材料选择范围很广，保温材料按其化学成分分析，包括有机材料、无机材料和其他类型材料[6] [7] [8] [9] [10]。

- 1) 常见的有机材料包括挤塑聚苯板 XPS 板、石墨聚苯板 EPS 板。

XPS 是聚苯板的一种，只不过生产工艺是挤塑成型。它是以聚苯乙烯树脂或其共聚物为主要成分，

添加少量添加剂, 通过加热挤塑成型而制得的具有闭孔结构的硬质泡沫塑料制品。该材料的燃烧性能可以达到 B1 级。

挤塑聚苯板是集防水和保温作用于一体的, 刚度大、抗压性能好、导热系数低, 用于屋面、地面、地下室墙体覆土内的保温是非常合适的。但是这种板材透气性差, 尺寸稳定性差, 与无机粘结砂浆的可粘结性也较差, 用于外墙体保温中常见系统脱落、饰面开裂等质量事故, 而且造价较贵。

EPS 也是聚苯板的一种, 是以含有挥发性液体发泡剂的可发性聚苯乙烯珠粒为原料, 经加热发泡后在模具中加热成型的保温板材, 具有质轻、隔热、隔音、耐低温等特点, 主要用于建筑墙体和屋面的节能保温。模塑聚苯板抗压强度相对较低, 但是柔韧性好, 不易开裂, 稳定性较好, 不易受温度和湿度影响而变形。该材料的燃烧性能可以达到 B1 级。

### 2) 常见的无机材料包括岩棉板和发泡水泥板。

岩棉板是指以天然岩石为主要原料, 经高温熔融、离心喷吹制成的一种矿物质纤维, 在掺入一定比例的粘结剂和添加剂后压制并裁割而成的憎水型保温板材。岩棉板保温在欧洲是仅次于聚苯板保温材料应用第二广泛的。岩棉板具有 A 级燃烧性能, 并且具有较好的热工性能。

发泡水泥板以水泥、粉煤灰、硅灰等为主要原料, 经发泡、养护、切割等工艺制成的闭孔轻质发泡水泥板, 也称为复合发泡水泥板。发泡水泥板的保温性能较差, 不适用于高节能要求的外保温项目中。

### 3) STP 超薄绝热保温板。

真空绝热板, 该板材是由无机纤维芯材与高阻气复合薄膜通过抽真空封装技术, 外覆专用界面砂浆, 制成的一种高效保温板材。真空绝热板的导热系数是现有保温材料中最低的。

其最大的优势, 也就是其保温性能可以傲视所有其他类型的保温材料。不过该板材也有隐患问题: 若是发生破损, 板材的保温性能即会骤降; 其次, 现有施工工艺导致板缝太多, 热桥太多, 引发结露的风险很大; 再者, 施工平整度也较难以控制, 薄抹灰系统脱落的风险也较大。

一般情况下, 无机材料的耐久性好, 耐化学腐蚀性强, 也能耐较高的温、湿度作用, 而有机材料有良好的保温性能。在实际项目中, 由于不同保温材料对项目的适配性不同, 实际选用时会受到各种制约。表 1 对比分析了几种常见的保温材料的性能。

**Table 1.** Performance comparison of common insulation material

**表 1.** 常见保温材料性能对比

性能	有机材料		无机材料		其他材料
	XPS 板	EPS 板	岩棉板	发泡水泥板	STP (超薄绝热保温板)
导热系数, 25°C, W/(m·K)	≤0.032	≤0.041	≤0.045	≤0.06	≤0.01
抗压强度, MPa	≥0.15	≥0.10	≥0.04	≥0.40	≥0.50
抗拉强度, MPa	≥0.15	≥0.10	≥0.075	≥0.13	≥0.10
尺寸稳定性, %	≤1.2	≤0.3	≤1.0	≤1.0	/
吸水率, %	≤1.5	≤3	≤10	≤10	/
防火性能	B1/B2	B1	A	A	A
与水泥基砂浆的 粘结性能	不易粘结	不易粘结	较易粘结	较易粘结	不易粘结
技术特征	保温效果好, 防火性差, 粘结性差, 透气性差	保温效果好, 防火性差, 强度较低	保温效果较好, 防火性能好, 吸水率高	保温效果一般, 防火性能好, 吸水率高	保温和防火性能都好, 但对施 工工艺要求较高, 若安装不当 保温性能将大幅降低

### 2.3. 保温材料应用现状

根据表 1 的分析可以归纳出保温材料的应用现状。一般而言,保温材料很少同时兼具高效的保温性能和优良的防火性能。

目前常用的材料中,仅真空绝热板同时兼具了保温和防火性能:导热系数  $\leq 0.01 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,防火性能为 A 级。但这种材料用于建筑保温时,对施工工艺要求较高,系统质量受施工影响较大,若安装不当保温性能将大幅降低。

建筑领域目前采用的有机保温材料主要包括 XPS 挤塑聚苯板、EPS 石墨聚苯板等,这些材料的导热系数普遍低于  $0.04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。通过添加阻燃剂等措施,防火性能可达到 B1 级,相比于无机保温材料而言,防火性能较差。

无机保温材料主要包括岩棉板、发泡水泥板等。这些材料的防火性能可以达到 A 级,但是同厚度的保温层墙体节能效率较差,其导热系数一般在  $0.04\sim 0.06 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  之间。

## 3. 常见的外墙保温做法体系

当前,我国关于外墙保温的研究技术比较成熟,根据保温材料与主体结构位置的不同,主要分为外墙内保温体系、外墙夹心保温体系和外墙外保温体系。

### 3.1. 外墙内保温体系

外墙内保温主要有以下几种系统:复合板内保温系统,保温板内保温系统,保温砂浆内保温系统,喷涂硬泡聚氨酯内保温系统,玻璃棉、岩棉、喷涂硬泡聚氨酯龙骨内保温系统等[2]。

图 1 是外墙内保温的典型构造做法,主要做法体系由外到内可归纳为:基层墙体、粘结剂、锚栓、保温层、饰面层[2]。

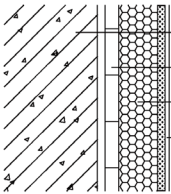
构造示意图	① 基层墙体	保温系统构造			
		② 粘结层	③ 复合板		④ 饰面层
			保温层	面板	
	钢筋混凝土墙体 各种砌体墙体	胶粘剂或 粘结石膏 + 锚栓	模塑聚苯乙烯泡沫塑料(EPS) 挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS) 硬泡聚氨酯(PU)	纸面石膏板 (厚度 $\geq 9.5$ ) 无石棉纤维水泥平板 (厚度 $\geq 6$ ) 无石棉硅酸钙板 (厚度 $\geq 6$ )	腻子层 + 涂料 或墙纸(布) 或面砖

Figure 1. Typical structural sketch of internal thermal insulation for exterior wall

图 1. 外墙内保温做法典型构造示意图

由于保温材料在室内使用,外墙内保温体系相比于其他保温体系,对保温材料的性能要求较低,相应造价也较低。适合于间歇性采暖的房间使用。

但内保温相比于外保温,也存在诸如不能阻断热桥、不便于二次装修等缺陷。随着我国节能标准的逐渐提高,这种保温体系已经越来越少见。

### 3.2. 外墙夹心保温体系

外墙夹心保温体系是将保温材料置于外墙的内、外侧墙片之间,形成复合夹芯保温三明治板。该技

术不但可以提高外墙的施工速度，还可以集外墙的维护、保温及装饰效果等多种性能于一体。目前市场上常见的装配式预制保温墙板是指将上述外墙节能保温墙板进行单元化，通过制定合理的生产加工流程实现工厂化生产，只需现场安装施工即可满足墙体使用要求[11]。图2是外墙夹心保温的典型构造做法，主要做法体系由外到内可归纳为：饰面层、外叶墙板、夹心保温层、内叶墙板[3]。

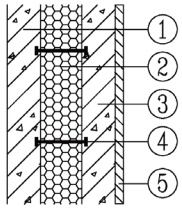
构造示意图	基本构造				
	① 内页墙板	② 夹心保温层	③ 外页墙板	④ 连接件	⑤ 饰面层
	钢筋混凝土	保温材料	钢筋混凝土	A、FRP连接件 B、不锈钢连接件	A、腻子+涂料 B、饰面砖、石材 C、无饰面 (清水混凝土)

Figure 2. Typical structural sketch of sandwich insulation for exterior wall

图2. 外墙夹心保温做法典型构造示意图

外墙夹心保温体系的优点是：

- 1) 对内侧墙片和保温材料形成有效的保护，对保温材料的选材要求不高；
- 2) 对施工季节和施工条件的要求不高，不影响冬期施工。

但这种体系也存在一些较大的缺点：

1) 外叶墙有掉落风险。由于预制夹心保温墙板是由三层组成，因此设计时必须考虑整体性，为了达到结构要求，设置拉结件将外叶墙、保温层及内页墙连接在一起。但日常工程应用中常常出现拉结件松动或者放置不到位的现象，可能导致拉结件出现脆断，增加了外叶墙掉落的风险。

同时保温层外贴外叶墙一般采用增大保温板材的粗糙度来提高混凝土层与保温层的粘结力。由于温度变化会使得保温层与外叶墙的弯曲收缩程度不同，若增大粗糙度，容易导致粘结部位松动，增加了外叶墙脱落的危险系数。

2) 外围护结构的“热桥”较多，整体保温性能不如同厚度的外墙外保温体系。

3) 外侧墙片受室外气候影响大，昼夜温差和冬夏温差大，容易造成墙体开裂和雨水渗漏等问题。

装配式节能复合墙板因其优良的特点得到应用和推广，但由于目前还存在较多问题，因而在实际工程中使用并不广泛。

### 3.3. 外墙外保温体系

国家行业标准《外墙外保温工程技术规程》(JGJ144-2008)推荐的外保温体系包括：粘贴泡沫塑料保温板外保温系统，胶粉EPS颗粒保温浆料外墙外保温系统，EPS板现浇混凝土外保温系统，EPS钢丝网架板现浇混凝土外保温系统，胶粉EPS颗粒浆料贴砌保温板外保温系统，现场喷涂硬泡聚氨酯外墙外保温系统，保温装饰板外保温系统等[4]。

图3是外墙外保温的典型构造做法，主要做法体系由内到外可归纳为：基层墙体、粘结剂、保温层、抗裂抹面砂浆和钢丝网或玻纤布、锚固件(根据工程需要选用)、饰面层等组成[4]。

外墙外保温是当前外墙保温的主流做法，具有如下优点[12]：

1) 保护主体结构，延长建筑物寿命。采用外墙外保温时，内部墙体将受到保护，不管室外气候如何变化，内部温度变化都较为平缓，热应力减少，因而主体墙产生裂缝、变形、破损的危险大为减轻，寿

命得以大大延长，有效地提高了主体结构的耐久性。

2) 不占用室内建筑面积。

3) 有利于消除热桥的影响。采用外保温可以防止热桥部位产生结露。而采用内保温的墙面上难以悬挂物件，会破坏保温结构，甚至连安装散热器都困难。

4) 有利于室温的稳定。外保温墙体由于蓄热能力较大的结构层在墙体内侧，当室内受到不稳定热作用时，室内空气温度上升或下降，墙体结构层能够吸引或释放热量，有利于室温保持稳定。

5) 有利于既有建筑的改造。在对既有建筑进行节能改造时，可大大减轻对居民的干扰。

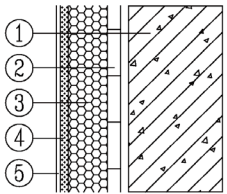
构造示意图	系统的基本构造				
	① 基层墙体	② 粘结层	③ 保温层	④ 抹面层	⑤ 饰面层
	钢筋混凝土墙 各种砌体墙 (砌体墙需用 水泥砂浆找平)	胶粘剂 (粘贴面积 不得小于保温板 面积的40%) (锚栓)	EPS板 PUR板(板两面需刷 界面剂) XPS板(板两面需 使用界面砂浆时,宜使 用水泥基界面砂浆)	抹面胶浆复合玻纤 网格布(加强型增设一 层耐碱玻纤网格布)	涂料或饰面砂浆

Figure 3. Typical structural sketch of external thermal insulation for exterior wall

图 3. 外墙外保温做法典型构造示意图

但是外保温施工较复杂，可能产生如下问题：

1) 由于保温材料难以兼顾保温和防火性能，保温性能好的材料往往防火性能仅为 B1 或 B2 级，需要设置防火隔离带，施工较复杂。

2) 薄抹灰系统由于施工平整度较难控制，设计和施工单位未按要求处理构造，可能出现严重的饰面开裂、脱落等质量事故。

3) 设计和施工时，如果没处理好板缝，或者破坏了保温板(如真空绝热板极易破损从而大幅度降低保温性能)会产生热桥，由此产生室内反霜、结露等质量问题。

4) 耐候性和粘结性不足，特别是随着高层建筑项目的日益增多，风压问题容易造成保温板脱落。

### 3.4. 外墙保温体系对比

对目前常见的外墙外保温体系、外墙内保温体系和夹心保温体系进行横向分析，见表 2。

Table 2. Comparison of common exterior wall insulation systems

表 2. 常见外墙保温体系对比

	外墙内保温体系	外墙夹心保温体系	外墙外保温体系
优点	<ul style="list-style-type: none"> <li>性能要求低</li> <li>造价较低</li> <li>适合于间歇性采暖的房间使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提高外墙施工速度</li> <li>适合产业化生产</li> <li>对保温材料的选材要求不高</li> <li>对施工条件要求不高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>保护主体结构，延长建筑物寿命</li> <li>不占用室内建筑面积</li> <li>有利于消除热桥的影响</li> <li>有利于室温的稳定</li> <li>有利于既有建筑的改造</li> </ul>
缺点	<ul style="list-style-type: none"> <li>不能阻断热桥</li> <li>不便于二次装修</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>外叶墙有掉落风险</li> <li>“热桥”较多</li> <li>外侧墙片受气候影响大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>对保温材料性能要求高</li> <li>施工较复杂</li> <li>耐候性和粘结性不足</li> </ul>
保温性能	不能阻断热桥，性能一般	热桥较多，不利于保温	综合性能最佳
实际使用	较少使用	一般	大规模推广

## 4. 外墙保温技术发展趋势

### 4.1. 现状问题

根据前文的论述，目前的外墙保温技术主要存在两大问题：

1) 外墙保温材料的性能有待提高。

随着建筑节能要求的不断提高，建筑对保温和防火性能的要求也在不断提高，但是现有保温材料一般难以同时兼顾保温性能和防火性能，仅有的几个高性能产品因为施工较复杂等问题应用也较少。

2) 外墙保温构造体系有待提升。

传统墙板的三种保温体系中：内保温体系和夹心保温体系由于存在较多问题，在实际工程中应用较少；外墙外保温作为目前国内建筑业的主流做法，由于施工工艺复杂、工程质量不稳定、施工作业周期长等问题，也渐渐不能满足现代建筑产业化发展的要求。

### 4.2. 发展趋势

1) 未来的外墙保温材料应具有良好的综合性能。同时兼具一些必要的性能，如保温、防火、防水、耐久性等，满足现代建筑对保温材料的综合性能要求。

研发出的材料还应方便施工。避免像真空绝热板那样，一旦施工过程中出现破损，就会对保温性能产生极大的破坏。

同时，保温材料也应该向绿色化发展。建筑保温材料在原料来源，生产加工制造过程，使用过程和产品的使用功能失效、废弃等方面满足绿色建材的要求是必然趋势。如合理利用固体废弃物包括粉煤灰、矿渣等。

2) 未来外墙保温体系将会向新型复合墙体发展。如通过研发防火、保温、装饰一体化的自保温体系，可以大幅度降低施工的复杂程度，加快施工进度，减少由于施工问题产生的热桥，提高保温效果，从而提升围护结构保温的工程质量和技术水平。

这种新型复合墙体应具备如下几个特点：良好的保温性能，能够达到有机保温材料的保温性能；良好的防火性能，能够达到 A 级防火等级；良好的抗弯性能；良好的隔声性能；良好的耐久性；较低的吸水率；具有装饰性，适合建筑工业化生产及施工，实现防火保温装饰性能一体化。

## 5. 小结

随着建筑业的蓬勃发展，外墙保温作为建筑节能的关键环节，已经引起了越来越多的重视。本文总结归纳了当前常用的保温材料、外墙保温体系，通过分析保温材料和保温体系在工程运用中的优缺点，指出了保温技术的发展方向：1) 研发具有综合性能同时兼顾施工便利性的绿色环保保温材料；2) 新型复合墙体，如研发防火、保温、装饰一体化的自保温体系，大幅度降低施工的复杂程度，加快施工进度，减少由于施工问题产生的热桥，提高保温效果，从而提升围护结构保温的工程质量和技术水平。

## 基金项目

国家重点研发计划资助(项目编号：2017YFC0702900) [National Key R & D Program of China (No. 2017YFC0702900)]。

## 参考文献

- [1] 谷燕成, 陈思诺, 黄恩兴. 建筑节能保温材料的现状及发展[J]. 建筑节能, 2016, 44(6): 34-38.
- [2] 11J121 《外墙内保温建筑构造》[S]. 北京: 中国计划出版社有限公司, 2009.

- [3] DGTJ 08-2158-2015《预制混凝土夹心保温外墙板应用技术规程》[S]. 上海: 同济大学出版社, 2015.
- [4] 10J121《外墙外保温建筑构造》[S]. 北京: 中国计划出版社有限公司, 2007.
- [5] JGJ144-2008《外墙外保温工程技术规程》[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [6] 孟庆博, 王栋, 王学成. 建筑常用保温材料导热性能分析[J]. 建筑节能, 2011, 39(2): 61-63.
- [7] 张垚, 牛建刚, 金国辉. 建筑保温材料节能性能及经济厚度优化研究[J]. 建筑科学, 2017, 33(10): 149-156.
- [8] 宋德萱. 节能建筑设计与技术[M]. 上海: 同济大学出版社, 2003.
- [9] 巩永忠, 苑峰, 孙艳. 国内建筑外墙外保温材料现状与发展前景[J]. 新型建筑材料, 2006(10): 42-43.
- [10] 徐艳. 外墙外保温材料的选用及施工技术的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- [11] 马晓刚, 陆海英. 装配式预制夹心保温墙板的热工性能分析[J]. 上海建材, 2014(5): 26-28.
- [12] 杨杰. 建筑外墙外保温技术体系发展分析[J]. 山东建筑大学学报, 2010, 25(1): 70-73+84.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)