

# 木质纤维素保温材料的阻燃改性及建筑应用研究

欧阳卉

九江恒远建设工程质量检测有限公司，江西九江，332000；

**摘要：**木质纤维素保温材料以农林废弃物为原料，具有天然可再生、导热系数低及环境友好等特点，在绿色建筑领域应用潜力巨大。但该材料易燃且燃烧时释放浓烟，严重限制其实际推广。本文围绕木质纤维素保温材料的阻燃改性与建筑应用展开研究，分析材料结构特性及燃烧风险根源。通过对比无机阻燃、复合阻燃等不同改性技术的作用机制与效果，筛选出环保高效的适配方案。结合建筑工程对保温材料的性能需求，探讨改性材料的应用场景与施工关键要点，为其在建筑领域的安全应用提供理论与实践支持。

**关键词：**木质纤维素；保温材料；阻燃改性；建筑应用；绿色建材

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.11.095

## 引言

“双碳”目标推动下，建筑节能成为低碳发展的重要抓手，保温材料的性能升级尤为关键。木质纤维素保温材料凭借资源可再生、保温效果好、易降解等优势，成为传统保温材料的重要替代选择。但木质纤维素的易燃特性使其在建筑使用中存在严重安全隐患，遇火易燃烧且产生大量有毒烟雾，制约其规模化应用。目前相关阻燃改性研究中，多数技术存在阻燃效率低、环保性差或成本偏高问题，改性后材料的建筑应用适配性研究也较为欠缺。因此，开展本研究对突破材料应用瓶颈、促进绿色建材发展具有重要现实意义。

## 1 木质纤维素保温材料的特性及燃烧风险分析

### 1.1 结构组成与保温机理

木质纤维素主要由纤维素、半纤维素和木质素构成，三者通过氢键和共价键形成稳定的三维网状结构。纤维素作为主体成分，分子链间排列形成的微孔结构为材料提供了基础框架；半纤维素具有较多支链，增强了成分间的结合力；木质素则填充在孔隙中，起到粘结与支撑作用。这种天然多孔结构使材料内部包含大量静止空气，空气的低导热特性显著降低了热量传递速率，从而实现保温效果。同时，木质纤维素的分子结构中含有大量羟基，可通过吸附水分子调节环境湿度，进一步提升建筑居住舒适度。

### 1.2 核心性能优势

木质纤维素保温材料的性能优势体现在多个方面。在资源利用方面，其原料来源于农林生产废弃物，实现了资源的循环利用，降低了对不可再生资源的依赖，符

合绿色发展理念。在保温性能方面，其导热系数普遍低于传统无机保温材料，能有效减少建筑内外热量交换，提升建筑节能效率。在施工应用方面，材料质地轻便，具有良好的柔韧性和加工性，可根据建筑造型灵活裁剪，适配不同施工场景。此外，材料在废弃后可自然降解，不会产生环境污染，相比合成保温材料具有显著的环境优势。

### 1.3 燃烧特性及风险

木质纤维素保温材料的燃烧风险与其化学组成和结构密切相关。材料中的纤维素和半纤维素主要成分为碳水化合物，在高温下易分解产生可燃气体的，如甲烷、氢气等，这些气体与空气混合后易引发燃烧。木质素在燃烧过程中则会产生大量烟雾和焦油，不仅阻碍逃生视线，还可能对人体造成毒害。材料的多孔结构在燃烧时会形成通风通道，加速火势蔓延，导致火灾范围迅速扩大。在建筑应用中，一旦发生火灾，该材料的燃烧特性会增加火灾扑救难度和人员伤亡风险，因此必须通过阻燃改性降低其燃烧隐患，才能满足建筑安全使用要求。

## 2 木质纤维素保温材料的阻燃改性技术路径

### 2.1 无机阻燃剂改性

无机阻燃剂改性是木质纤维素保温材料常用的改性方式，主要采用氢氧化铝、氢氧化镁、硼酸锌等无机化合物作为阻燃剂。其作用机制主要包括冷却、稀释和阻隔三个方面。阻燃剂在高温下分解吸收大量热量，降低材料表面温度，抑制热分解反应；分解产生的水蒸气等惰性气体能稀释可燃气体浓度，减少燃烧所需的氧气量；同时，分解生成的无机氧化物会在材料表面形成致密的保护层，阻隔热量和氧气与内部材料接触，从而阻

止火势蔓延。该技术具有阻燃效果稳定、成本较低、环境兼容性好等优点,但也存在添加量较大时可能影响材料力学性能的问题,实际应用中需合理控制添加比例。

## 2.2 有机-无机复合阻燃

有机-无机复合阻燃技术通过将有机阻燃剂与无机阻燃剂协同复配,实现优势互补,提升阻燃效果。有机阻燃剂如磷酸酯类、卤代烃类,具有阻燃效率高、添加量少的特点,能通过抑制自由基反应阻止燃烧链式反应进行;无机阻燃剂则能发挥降温、成膜阻隔作用。两者复合后,可避免单一有机阻燃剂烟密度大、有毒性,以及单一无机阻燃剂添加量大、影响材料性能的缺陷。复合过程中,需通过界面改性技术改善有机与无机成分的相容性,确保阻燃剂在木质纤维素基质中均匀分散,从而实现稳定持久的阻燃效果。

## 2.3 表面包覆阻燃改性

表面包覆阻燃改性是通过物理或化学方法在木质纤维素保温材料表面形成一层阻燃包覆层。物理包覆常采用浸渍、喷涂等方式,将阻燃剂溶液附着在材料表面;化学包覆则通过单体聚合等反应,使阻燃成分与材料表面分子形成化学键结合,提升包覆层的附着力和稳定性。包覆层在遇火时可迅速碳化形成阻隔层,阻止热量向材料内部传递,同时防止内部可燃气体逸出。该技术的优势在于无需大量添加阻燃剂,能最大程度保留材料原有的保温和力学性能。针对不同应用场景,可通过调整包覆层厚度和成分,实现不同等级的阻燃要求,具有较强的灵活性。

## 3 阻燃改性木质纤维素保温材料的性能评价

### 3.1 阻燃性能评价

阻燃改性后的木质纤维素保温材料,其阻燃性能评价需依据相关建筑材料标准,采用多种指标综合判定。常用评价指标包括极限氧指数、垂直燃烧等级和烟密度等级。极限氧指数反映材料燃烧所需的最低氧气浓度,指数越高说明阻燃性能越好;垂直燃烧等级通过观察材料垂直放置时的燃烧速度、滴落情况等,判断其火焰传播能力;烟密度等级则用于评估材料燃烧时的产烟量,避免因烟雾过大造成二次危害。检测方法上,极限氧指数采用氧指数测定仪测试,垂直燃烧等级通过垂直燃烧试验机完成,烟密度则使用烟密度测试仪进行测量,确保评价结果的客观性和准确性。

### 3.2 保温性能保持

保温隔热性能是木质纤维素保温材料的核心功能,

阻燃改性后需重点关注该性能的保持与优化。保温性能主要通过导热系数衡量,导热系数越小,保温效果越佳。阻燃改性过程中,阻燃剂的添加和改性工艺可能会改变材料的孔隙结构,进而影响导热系数。若阻燃剂分散不均或添加量过大,可能导致材料孔隙堵塞或结构致密化,使导热系数升高,降低保温效果。因此,在改性研究中,需通过调整阻燃剂种类、添加比例及改性工艺参数,在保证阻燃性能的同时,最大限度保留材料原有的多孔结构,维持甚至优化其保温隔热性能,确保材料满足建筑节能要求。

## 3.3 力学与耐老化性能

力学性能和耐老化性能是保障木质纤维素保温材料长期稳定应用的关键。力学性能主要评价材料的抗压强度、抗拉强度和柔韧性,以确保材料在运输、施工及使用过程中不易破损。阻燃改性可能会影响材料内部的结合力,导致力学性能下降,因此需通过优化改性工艺,如选用相容性好的阻燃剂、采用复合改性技术等,减少对力学性能的负面影响。耐老化性能则关注材料在光照、温湿度变化等环境因素作用下的性能稳定性,避免材料因老化出现开裂、粉化等问题,延长使用寿命。评价方法主要通过人工加速老化试验,模拟自然环境条件,测试材料老化后的性能变化。

## 4 阻燃改性木质纤维素保温材料的建筑应用适配性

### 4.1 建筑部位适配方案

阻燃改性木质纤维素保温材料在建筑中的应用需根据不同部位的环境特点和性能要求,制定针对性的适配方案。外墙外保温部位长期暴露在自然环境中,需承受风雨、温湿度变化等考验,应选用耐老化性强、粘结力好的改性材料,并配套防水保护层;外墙内保温部位对材料的环保性和防火等级要求较高,需确保材料燃烧时产烟量低、无有毒释放;屋面保温部位则需考虑材料的抗压强度和耐热性,避免因屋面荷载和夏季高温导致材料性能下降。此外,在门窗框保温、地板保温等部位,需结合部位尺寸和施工方式,选择相应规格和形态的保温材料,确保适配性和保温效果。

### 4.2 连接工艺与施工规范

阻燃改性木质纤维素保温材料与建筑主体结构的连接工艺及施工规范,直接影响保温系统的稳定性和安全性。连接方式主要包括粘结连接、机械固定连接及两者结合的复合连接。粘结连接需选用与材料相容性好的

专用粘结剂,确保粘结牢固,避免出现空鼓、脱落;机械固定连接适用于荷载较大的部位,通过锚固件将保温材料固定在主体结构上,锚固件的数量和位置需根据计算确定。施工过程中,需严格遵循施工规范,控制基层处理质量、保温层铺设厚度及接缝处理工艺。基层应平整、清洁,保温层铺设需错缝排列,接缝处采用密封材料填充,防止热量流失。同时,施工人员需做好安全防护,确保施工操作符合消防安全要求。

### 4.3 环保与经济分析

阻燃改性木质纤维素保温材料的建筑应用需综合考虑环保性与经济性。环保性方面,材料本身以天然原料制成,生物降解性好,相比合成保温材料对环境影响更小。但需关注阻燃剂的环保性,避免使用含重金属、卤代物等有毒有害成分的阻燃剂,确保材料在生产、使用及废弃全生命周期内的环境安全性。经济性方面,虽然阻燃改性会增加材料的生产成本,但原料来源于农林废弃物,原料成本较低,整体成本与传统保温材料相比具有一定竞争力。从长期来看,材料优异的保温性能可降低建筑能耗,减少后期使用成本,同时其可再生性也能降低资源消耗成本,具有良好的经济效益。

## 5 木质纤维素保温材料阻燃改性的发展趋势

### 5.1 高效环保阻燃剂研发

高效环保型阻燃剂的研发是木质纤维素保温材料阻燃改性的核心发展方向。当前研发重点集中在无毒、低毒、低烟的阻燃剂种类,如纳米级无机阻燃剂、生物基阻燃剂等。纳米级无机阻燃剂凭借小尺寸效应,能在较低添加量下实现优异阻燃效果,同时减少对材料性能的影响;生物基阻燃剂以天然可再生资源为原料,如植物提取物、壳聚糖等,具有良好的生物相容性和环境友好性,符合绿色发展趋势。研发过程中,需通过分子设计、表面改性等技术,提升阻燃剂与木质纤维素的相容性和阻燃效率,实现阻燃性能与环保性能的双重提升。

### 5.2 改性技术集成化智能

阻燃改性技术的集成化与智能化发展,是提升木质纤维素保温材料改性效果和生产效率的重要趋势。集成化发展体现在将多种改性技术相结合,如将表面包覆技术与复合阻燃技术集成,实现多维度阻燃防护;同时,将改性过程与材料成型过程一体化,减少生产工序,提高生产效率。智能化发展则借助大数据、人工智能等技术,对改性工艺参数进行优化。通过建立改性工艺与材

料性能之间的关联模型,利用算法模拟不同工艺参数下的材料性能,快速筛选出最优改性方案,降低研发成本。此外,智能化生产设备的应用可实现改性过程的精准控制,确保产品质量的稳定性。

### 5.3 生命周期性能优化

基于生命周期的材料性能优化策略,强调从原料获取、生产加工、建筑应用到废弃处理的全生命周期,对木质纤维素保温材料的性能进行系统优化。原料获取阶段需注重资源的可持续利用,选择产量大、易收集的农林废弃物,减少资源浪费;生产加工阶段通过优化工艺参数,降低能源消耗和污染物排放;建筑应用阶段确保材料性能稳定,延长使用寿命;废弃处理阶段则需提升材料的可回收利用性和生物降解性,实现资源循环。该策略通过综合考虑各阶段的环境、经济和社会影响,实现材料的可持续发展,符合绿色建筑的整体要求。

## 6 结论

木质纤维素保温材料作为绿色环保的保温材料,其阻燃改性是推动其在建筑领域规模化应用的关键。本文通过对材料特性及燃烧风险的分析,明确了木质纤维素的多孔结构是其保温优势的核心,也使其存在易燃烧、火势易蔓延的风险。对比不同阻燃改性技术发现,有机-无机复合阻燃技术和表面包覆阻燃技术能在保证阻燃效果的同时,较好保留材料原有的保温和力学性能,具有较高的实用价值。改性后的材料需根据建筑不同部位的要求制定适配方案,并严格遵循施工规范,才能确保应用效果。未来,高效环保阻燃剂研发、改性技术集成化智能化及全生命周期优化将是该领域的主要发展方向,相关研究成果可为木质纤维素保温材料的推广应用提供有力支撑。

### 参考文献

- [1] 夏季,王于峰,张明粮,等.热压工艺提升木质纤维素膜强度与防水性能的研究[J].中国造纸,2025,44(10):15-23.
- [2] 王岩,朱贤青,黄云,等.木质纤维素类生物质与微藻共热解过程协同效应及生物炭结构演变规律研究[J].太阳能学报,2025,46(10):1-12.
- [3] 周家安,高乐,李忠秋,等.人工智能在木质纤维素酶工程中应用的研究进展[J].动物营养学报,2025,37(09):5811-5823.