

# 新型环保涂料与保温材料集成应用——工业建筑低碳化实践

刘丽 严佳敏 莫晶晶 程浩  
中国五洲工程设计集团有限公司 北京 100053

**摘要:** 本文聚焦新型环保涂料与保温材料集成应用,探讨工业建筑低碳化实践。先阐述工业建筑低碳化与材料集成核心理论,包括概念、理论基础及关联机制;接着介绍新型环保涂料与保温材料体系及筛选方法;随后构建材料集成应用技术体系,明确原则、方案、工艺、质量把控及碳排放核算方法;最后通过三个典型工业建筑案例分析集成应用效果。研究表明,该集成应用可有效降低工业建筑全生命周期碳排放,提升建筑性能与经济效益。

**关键词:** 环保涂料;保温材料;集成应用;工业建筑

**引言:** 在全球积极推动碳达峰、碳中和的大背景下,工业建筑领域面临着巨大的节能减排压力。传统工业建筑在能源消耗与碳排放方面问题突出,寻求低碳化发展路径迫在眉睫。新型环保涂料与保温材料凭借各自优势,为工业建筑低碳化带来新契机。本文深入探讨二者集成应用,旨在通过理论剖析、材料筛选、技术体系构建及案例分析,为工业建筑低碳化实践提供切实可行的方案与参考。

## 1 工业建筑低碳化与材料集成核心理论

### 1.1 核心概念界定

工业建筑低碳化,是在其全生命周期内,借助优化设计、选低碳材料、改进施工、提升运营效率等方式,最大程度降低能源消耗与碳排放,保障结构安全与生产功能,涵盖建材生产、施工、运营、拆除回收等阶段的碳减排。材料集成则是依据工业建筑使用需求与低碳目标,把多种不同功能建筑材料系统性组合优化,形成协同作用的材料体系,并非简单堆砌,而是追求材料性能互补、功能协同及碳减排效应叠加,达成建筑整体性能提升与碳排放降低的统一。

### 1.2 理论基础

其理论基础涉及多学科。生命周期评价理论为碳减排分析搭建框架,量化评估建筑全生命周期各阶段碳排放,明确减排关键环节。材料科学理论助力低碳材料研发与性能优化,指导新型材料成分设计与性能提升,提供物质基础。系统工程理论提供方法论,从整体统筹材料选择组合,实现功能与减排效益最优。可持续发展理论明确导向,要求兼顾工业生产需求与环境、经济、社会效益协调统一,引领发展方向<sup>[1]</sup>。

### 1.3 材料集成与工业建筑低碳化的关联机制

材料集成通过多层次机制推动工业建筑低碳化。建材生产阶段,集成选用低碳与再生原材料,直接减少生产碳排放,优化材料性能降低用量,间接减排。建筑运营阶段,集成形成的复合体系提升保温隔热等性能,减少设备能源消耗,降低运营碳排放。拆除回收阶段,预先集成设计便于材料分类回收循环利用,减少建筑垃圾,降低废弃物处理碳排放。

## 2 新型环保涂料与保温材料体系及筛选

### 2.1 新型环保涂料体系及低碳特性

新型环保涂料体系主要包括水性涂料、粉末涂料、高固体分涂料等类型。水性涂料以水为稀释剂,替代传统溶剂型涂料中的挥发性有机化合物,在施工过程中可减少有机废气排放,且其生产原料多采用可再生资源,降低生产阶段的碳排放。粉末涂料不含溶剂,施工过程中无废气挥发,且涂料利用率高达95%以上,剩余涂料可回收再利用,减少材料浪费。高固体分涂料通过提升固含量降低溶剂用量,既减少挥发性有机化合物排放,又降低单位面积涂料施工的材料消耗。这些涂料体系的低碳特性还体现在后期使用过程中,部分功能性环保涂料可提升建筑表面的反射率,减少建筑对太阳辐射的吸收,降低空调系统的能源消耗,间接实现碳减排。

### 2.2 新型保温材料体系及节能特性

新型保温材料体系涵盖真空绝热板、气凝胶保温材料、复合保温材料等多种类型。真空绝热板采用真空封装技术,内部芯材选用超细玻璃棉或无机纤维,导热系数极低,仅为传统保温材料的1/3-1/5,相同保温效果下可大幅减少材料使用厚度,降低建材消耗。气凝胶保温材料以纳米级多孔结构为核心,具有超高孔隙率和极低导热系数,且耐高温、耐老化性能优异,在高温工业厂房

中应用可有效减少热量流失,提升能源利用效率<sup>[2]</sup>。复合保温材料通过将不同保温性能的材料进行分层复合,实现优势互补,如将无机保温层与有机保温层结合,既保证保温效果,又提升材料防火性能,其节能特性可使工业建筑围护结构传热系数降低30%-50%,显著减少运营阶段的能源消耗。

### 2.3 工业建筑场景下的材料筛选体系

工业建筑场景下的材料筛选体系以低碳性、功能性、经济性和安全性为核心指标,构建多维度综合评价框架。低碳性指标通过检测材料全生命周期碳排放量,优先选用碳排放系数低、可循环利用的材料,同时结合材料的节能效益进行综合评估。功能性指标根据工业建筑的生产特性确定,如高温车间侧重材料耐高温性能,潮湿车间强调材料防潮防霉性能,精密制造车间关注材料的隔音减震效果。经济性指标涵盖材料采购成本、施工成本及后期维护成本,通过全生命周期成本分析,选择性价比最优的材料。安全性指标包括材料的防火性能、抗压强度、抗腐蚀性能等,需满足工业建筑的结构安全和生产安全要求,筛选过程中采用量化评分法对各指标进行加权计算,确保筛选结果科学合理。

## 3 材料集成应用的技术体系与实现路径

### 3.1 材料集成应用的核心原则与协同目标

材料集成应用的核心原则包括功能协同原则、低碳优先原则、适配性原则和经济性原则。功能协同原则要求集成的材料在性能上互补,如将保温材料与防火材料集成,既实现节能目标,又保障消防安全;低碳优先原则强调在材料选择与组合过程中,始终将碳减排作为核心导向,优先选用低碳材料并优化集成方案以降低整体碳排放。适配性原则要求材料集成方案与工业建筑的结构类型、生产工艺、使用环境相匹配,避免材料性能过剩或不足。协同目标包括实现建筑全生命周期碳排放量降低20%-30%,提升建筑围护结构综合性能30%以上,同时降低建筑全生命周期成本10%-15%,最终达成低碳性能、使用功能与经济效益的协同优化。

### 3.2 不同工业建筑围护结构的集成技术方案

针对不同类型工业建筑的围护结构特点,需量身定制差异化的材料集成技术方案。在墙体结构方面,重型钢结构厂房采用“低碳钢材骨架+真空绝热板+水性环保涂料”的集成方案。钢材选用高强度低碳钢,在保证结构强度的同时减少钢材用量,降低生产阶段的碳排放。真空绝热板填充于骨架间,其导热系数极低,能有效阻止热量传递,提升保温性能。外侧涂刷水性防腐涂料,不仅环保无污染,还能增强墙体的防腐能力,延长使用

寿命。化工行业混凝土厂房则采用“高性能低碳混凝土+复合保温层+抗腐蚀涂料”方案。混凝土中掺入工业废渣替代部分水泥,减少水泥生产过程中的碳排放,同时提升混凝土性能。复合保温层采用气凝胶与无机保温板复合结构,充分发挥两者的优势,实现高效保温。外侧涂刷耐酸碱防腐涂料,可抵御化工生产环境中的酸碱腐蚀,保障墙体结构安全。屋面结构方面,轻型工业厂房采用“轻型钢结构屋面+光伏组件+保温卷材”集成方案。屋面铺设光伏组件,将太阳能转化为电能,实现能源自给,降低对传统能源的依赖。基层采用高弹性保温卷材,提升屋面的保温效果,减少室内热量散失。

### 3.3 集成应用的施工工艺与质量控制

材料集成应用的施工工艺着重强调流程标准化与技术协同化。施工前,必须进行专项技术交底,详细明确各材料的施工顺序与衔接要求。以墙体集成施工为例,需严格按照“骨架安装→保温材料填充→防腐涂料涂刷”的流程进行操作。骨架安装要保证垂直度和平整度,为后续施工提供良好基础;保温材料填充时要注意填充密实,避免出现空鼓现象;防腐涂料涂刷要均匀,确保涂层厚度符合设计要求<sup>[3]</sup>。各工序间隔时间控制在24小时以上,以保证前一工序的施工质量达到稳定状态后再进行下一工序。施工过程中采用模块化施工技术,对部分集成组件进行工厂预制,现场拼装。这种方式不仅能减少现场作业时间,降低施工难度,还能有效减少碳排放。质量控制采用“过程检测+成品验收”双重机制。过程中重点检测材料拼接缝隙、粘结强度等关键指标,如保温材料拼接缝隙宽度不超过2毫米,粘结强度不低于0.3MPa,确保材料之间的连接牢固可靠。成品验收时采用红外热像仪检测保温层完整性,查看是否存在热桥等缺陷;采用涂层厚度仪检测涂料厚度,确保符合设计要求。

### 3.4 集成应用的碳排放核算方法

材料集成应用的碳排放核算采用全生命周期核算方法,涵盖建材生产、施工建造、运营使用及拆除回收四个阶段。建材生产阶段通过收集各材料的碳排放系数,结合材料用量计算碳排放,如低碳钢材碳排放系数按1.8吨CO<sub>2</sub>/吨计算,真空绝热板按0.3吨CO<sub>2</sub>/立方米计算。施工建造阶段核算施工设备能耗、运输能耗及现场材料损耗产生的碳排放,采用施工日志记录设备运行时间与能耗数据,按设备能耗系数换算碳排放量。运营使用阶段通过监测建筑能源消耗数据,结合能源碳排放系数计算,如电能按0.785吨CO<sub>2</sub>/万千瓦时计算,天然气按2.16吨CO<sub>2</sub>/万立方米计算。拆除回收阶段核算拆除设备能耗及材料回收利用的碳减排量,回收材料的碳减排量按其

再生利用节省的碳排放量计算，最终汇总各阶段数据得到总碳排放量。

#### 4 集成应用实践：典型工业建筑案例分析

##### 4.1 案例1：重型钢结构厂房（汽车零部件制造）

该汽车零部件制造重型钢结构厂房建筑面积12000平方米，采用“低碳高强度钢材+真空绝热板+水性防腐涂料”集成方案。钢材选用Q690低碳高强度钢，相比传统钢材减少20%的材料用量，生产阶段碳排放降低18%；墙体填充真空绝热板，导热系数 $0.008W/(m \cdot K)$ ，屋面采用“保温卷材+反射涂料”组合，使厂房围护结构传热系数降低45%。施工采用工厂预制模块化拼装技术，现场施工周期缩短30天，施工阶段碳排放减少25%。运营阶段通过材料集成提升的保温性能，使空调系统年能耗降低32%，年减少碳排放120吨。经核算，厂房全生命周期碳排放量较传统方案降低28%，投资回收期为5.2年，同时水性防腐涂料的应用使厂房防腐寿命延长至15年，减少后期维护成本。

##### 4.2 案例2：化工行业混凝土厂房

大型化工厂房建筑面积8000平方米，针对化工生产高温、高腐蚀的特点，采用“工业废渣掺合低碳混凝土+气凝胶复合保温层+耐酸碱环保涂料”集成方案。混凝土中掺入30%的粉煤灰和钢渣替代水泥，生产阶段碳排放降低22%；墙体采用气凝胶与无机保温板复合结构，导热系数 $0.012W/(m \cdot K)$ ，外侧涂刷耐酸碱环保涂料，涂层厚度80微米，耐酸碱等级达A级。施工过程中对保温层拼接处采用专用密封胶处理，密封性能提升40%；涂料施工采用无气喷涂工艺，利用率达92%。运营阶段，厂房冬季采暖能耗降低38%，夏季降温能耗降低35%，年减少碳排放95吨。经检测，厂房在使用5年后，保温层性能衰减率仅5%，涂料表面无腐蚀破损现象，满足化工生产长期使用要求<sup>[4]</sup>。

##### 4.3 案例3：轻型工业厂房（电子元器件组装）

该电子元器件组装轻型厂房建筑面积15000平方米，对洁净度和隔音性要求较高，采用“轻型低碳钢材+高效保温岩棉+水性环保面漆+隔音层”集成方案。钢材选用Q355低碳钢，采用薄壁型钢骨架设计，材料用量减少25%，生产碳排放降低20%；墙体中间填充高效保温岩棉，导热系数 $0.035W/(m \cdot K)$ ，内侧增设50毫米厚隔音棉，隔音量达40分贝，外侧涂刷水性环保面漆，VOC含量低于10g/L。施工采用装配式施工技术，现场拼装效率提升50%，施工阶段碳排放减少30%。运营阶段，厂房空调系统年能耗降低30%，洁净车间通风能耗降低25%，年减少碳排放130吨。水性环保面漆的应用使厂房室内空气质量达标率100%，隔音层满足电子元器件组装对环境噪音的严格要求，产品合格率提升2%。

#### 结束语

新型环保涂料与保温材料集成应用为工业建筑低碳化开辟了新路径。通过理论探索、材料筛选、技术体系构建及案例实践，证实其在降低碳排放、提升建筑性能和经济效益方面成效显著。未来，应持续研发更低碳环保的材料，优化集成方案，加强施工管理，完善碳排放核算体系，推动工业建筑低碳化发展，为实现碳达峰、碳中和目标贡献力量，助力建筑行业可持续发展。

#### 参考文献

- [1]廖恒,韩武平.建筑节能材料在施工中的可持续性应用与推广策略研究[J].建筑与施工,2024,3(10):49-50.
- [2]李耀翔.新型建筑外墙保温材料的性能优势与应用前景分析[J].居舍, 2025, (18):56-58.
- [3]赵永杰,江爱玲.建筑保温材料的研发趋势与应用分析[J].居舍, 2025, (01):63-65+72.
- [4]何昱.新型建筑墙体材料及建筑节能保温技术研究[J].陶瓷,2020(07):75-77.