

绿色低碳设计在铝塑复合板生产中的应用研究

王晓冬

吉祥新材料股份有限公司 浙江嘉兴 314000

【摘要】在“双碳”战略推进与绿色制造产业升级背景下，铝塑复合板凭借轻质、耐腐、装饰性强等优势广泛应用于建筑装饰领域，但传统生产因缺乏系统性绿色低碳设计，存在高能耗、高排放、资源利用率低等问题。本文基于绿色低碳设计内涵，梳理铝塑复合板生产现状，分析全流程设计痛点，构建“原材料绿色设计+生产工艺低碳设计+废弃物资源化设计+全生命周期低碳设计”一体化体系，结合试验与工程实例验证可行性。研究表明，该体系可使生产能耗降低25%以上，碳排放减少30%以上，废弃物回收利用率提升至90%以上，VOCs排放达标，兼顾环保与经济性，为产业绿色转型提供支撑。

【关键词】绿色低碳设计；铝塑复合板；生产应用；工艺设计；节能减排

Research on the Application of Green and Low-Carbon Design in Aluminum-Plastic Composite Panel Production

Wang Xiaodong

Jixiang New Materials Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang 314000

【Abstract】Against the backdrop of advancing the "Dual Carbon" strategy and upgrading green manufacturing industries, aluminum-plastic composite panels have found widespread application in architectural decoration due to their lightweight, corrosion-resistant, and high decorative properties. However, traditional production methods, lacking systematic green and low-carbon design, suffer from high energy consumption, substantial emissions, and low resource utilization efficiency. This study examines the current state of aluminum-plastic composite panel production based on the principles of green and low-carbon design, identifies key design challenges across the entire process, and establishes an integrated framework encompassing "green raw material design + low-carbon production processes + waste resource recovery design + full life-cycle low-carbon design." The feasibility of this approach is validated through experimental and engineering case studies. Results demonstrate that the system reduces production energy consumption by over 25%, cuts carbon emissions by more than 30%, increases waste recycling rates to over 90%, ensures compliance with VOC emission standards, and balances environmental sustainability with economic viability, thereby supporting the industry's green transformation.

【Key words】Green and low-carbon design; Aluminum-plastic composite panel; Production application; Process design; Energy conservation and emission reduction

一、绪论

1.1 研究背景

我国“双碳”目标推动制造业向绿色低碳转型，铝塑复合板作为建筑装饰核心材料，生产涉及铝合金加工、塑料熔融、复合粘合等多环节，传统模式因缺乏系统绿色设计，导致能耗偏高、VOCs与温室气体排放突出，成为节能减排重点管控对象。铝塑复合板由铝合金面板、塑料芯层及粘结层复合而成，兼具铝与塑料的优势，广泛应用于建筑外墙、吊顶等场景，市场需求旺盛，但传统生产中再生原材料利用率低、工艺粗放、废弃物回收不足，随着新版《铝（塑）复合板单位产品能源消耗限额》等标准的实施，倒逼产业必须通过绿色设计实现升级。

1.2 研究意义

理论层面，完善绿色低碳设计在铝塑复合板生产领域的应用体系，填补“重技术、轻设计”的空白，为同类建材低碳设计提供参考。工程应用层面，提出可落地的设计方案，解决传统生产的环保与资源痛点，降低企业成本，提升产品竞争力，推动产业与绿色制造融合，助力“双碳”目标，同时为下游建筑行业提供绿色原材料，推动全产业链升级。

1.3 国内外研究现状

国外起步较早，德国研发无溶剂胶粘剂与低温复合设计，日本聚焦原材料绿色选型与废弃物资源化设计，回收利用率达95%以上，且广泛应用LCA碳足迹管控。国内研究多集中于单一工艺改造，缺乏全流程设计，部分企业通过工艺与产品设计优化实现减排，但整体仍处于初级阶段，在再

生原材料利用、全生命周期设计等方面与国外存在差距，亟需构建一体化体系。

1.4 研究内容与方法

核心内容：梳理绿色低碳设计内涵与铝塑复合板生产现状，分析全流程设计痛点，构建一体化应用体系，通过试验与工程实例验证效果，提出产业转型建议。研究方法采用文献研究法、试验研究法、案例分析法与数值模拟法，结合相关国家标准与国际标准，确保研究科学合规。

二、相关理论基础

2.1 绿色低碳设计核心内涵

绿色低碳设计以“节能减排、资源循环、全生命周期优化”为核心，区别于末端治理，从源头融入原材料选型、工艺设计、废弃物处理等全流程，实现环保、高效、经济协同发展，核心包括原材料绿色化、工艺低碳化、废弃物资源化、全生命周期低碳化四个层面，同时兼顾铝塑复合板核心使用性能。

2.2 铝塑复合板分类与生产工艺

铝塑复合板按用途分为建筑外墙用、室内装饰用、幕墙专用等，主要由 3003/5052 系列铝合金面板、聚乙烯/聚氯乙烯塑料芯层及胶粘剂组成。核心生产工艺包括原材料预处理、铝合金加工、塑料芯层制备、复合粘合、表面处理、成品加工及废弃物处理，各环节均存在绿色设计优化空间。

2.3 绿色低碳设计核心评价指标

结合行业标准，构建涵盖能耗、排放、资源利用、设计合理性的评价体系：单位产品综合能耗 ≤ 320 kgce/t，二氧化碳排放量 ≤ 750 kg/t；VOCs 排放量 ≤ 10 mg/m³，废水废气排放达标；原材料利用率 $\geq 92\%$ ，废弃物回收利用率 $\geq 90\%$ ；产品全生命周期碳足迹 ≤ 35 kgCO₂e/m²，使用寿命 ≥ 25 年，契合绿色建材三星级认证要求。

2.4 相关标准与规范

严格遵循《绿色制造 术语》《建筑幕墙用铝塑复合板》(GB/T 17748-2016)、《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB 37822-2019)等国家行业标准，参考欧盟相关标准，结合 LCA 评价方法，确保设计方案符合环保与质量要求。

三、铝塑复合板生产现状及绿色低碳设计痛点

3.1 生产现状

我国铝塑复合板产业已形成完整体系，以中小型企业为主，多数采用传统设计模式，存在再生原材料利用率低、工艺粗放、废弃物回收不足、全生命周期设计缺失等问题，绿色建材认证覆盖率不足 30%，难以适应产业升级需求。

3.2 核心绿色低碳设计痛点

3.2.1 原材料绿色设计不足

优先选用原生原材料，再生铝利用率不足 30%，塑料芯层未优化配比，高 VOCs 胶粘剂仍广泛使用，预处理设计简单，未考虑材料可回收性。

3.2.2 生产工艺低碳设计粗放

塑料挤出仍采用 200℃以上高温，热效率低；复合粘合环节 VOCs 排放大；表面处理未设计环保工艺与 VOCs 处理系统，生产流程衔接不畅。

3.2.3 废弃物资源化设计缺失

未设计废弃物分类回收与再生利用流程，铝边角料、塑料废料多被丢弃，废水简单处理排放，资源浪费严重。

3.2.4 全生命周期低碳设计缺失

仅关注生产环节，忽视原材料获取、产品使用及废弃回收，未建立碳足迹评价体系，全生命周期碳足迹偏高。

3.3 痛点成因分析

企业绿色设计意识薄弱，过度追求短期效益；绿色设计技术研发不足、成本偏高，缺乏专业人才；相关激励政策不完善，缺乏统一设计标准，环保监管存在漏洞。

四、绿色低碳设计在铝塑复合板生产中的应用体系构建

4.1 应用原则

遵循“源头设计、全流程优化、协同高效、成本可控、可推广”原则，兼顾环保、性能与经济性，适配不同规模企业与应用场景，契合绿色建材推广政策。

4.2 原材料绿色设计

铝合金面板优先选用利用率 $\geq 35\%$ 的再生铝，优化筛选提纯工艺；塑料芯层选用 40%以上再生塑料+10%~15%生物降解塑料；全面选用高分子膜，确保粘结强度 ≥ 1.5 MPa；优化预处理流程，提高原材料利用率，设计可回收标识。

4.3 生产工艺低碳设计

塑料芯层采用 160~180℃低温挤出工艺，热效率提升至 80%以上；铝合金面板优化冷轧与低温阳极氧化工艺；复合采用 140~160℃低温工艺，配套 VOCs 收集处理系统；表面处理采用低 VOCs 涂料与全自动喷涂，废水循环利用 $\geq 80\%$ 。

4.4 废弃物资源化设计

构建“分类收集-分离提纯-再生利用”体系，铝塑分离效率 $\geq 98\%$ ，铝边角料、塑料废料再生用于生产，废弃胶粘剂提纯后二次利用；废水经处理后循环使用，VOCs 转化为热能回收利用，废弃物回收利用率 $\geq 90\%$ 。

4.5 全生命周期低碳设计

优先选用低碳、本地原材料，建立碳足迹核算体系；优化产品结构，延长使用寿命至 25 年以上，提升节能性能；设计可拆解结构与回收标识，构建“生产-使用-回收-再生”

循环模式，全生命周期回收利用率 $\geq 85\%$ 。

4.6 设计方案适配性优化

室外外墙用板强化耐候性与防火性设计，防火等级达 A 级；室内用板强化环保与装饰性；幕墙用板强化力学与防火性能，适配不同场景需求。

五、试验验证与结果分析

5.1 试验材料与方案

选取传统设计（对照组）与本研究设计（试验组）铝塑复合板，每组 3 个试样，对照组采用传统原材料与工艺，试验组采用本研究一体化设计方案。按照相关标准测试低碳指标与产品核心性能，对比分析应用效果。

5.2 试验结果与分析

低碳指标：试验组单位产品综合能耗 282 kgce/t（降 26.8%），二氧化碳排放量 627 kg/t（降 35.8%），VOCs 排放量 8.5 mg/m³，废弃物回收利用率 92.3%，全生命周期碳足迹 32kgCO₂e/m²，均达设计目标。

产品性能：试验组粘结强度 1.6 MPa、抗拉强度 22 MPa，耐候性与防火性能均优于对照组，燃烧性能达 A 级，满足核心使用要求，实现低碳与性能协同提升。

经济性：试验组初期改造投入增加 12%，但原材料与能源成本降低，单位产品成本降 8.3%，且可享受绿色建材政策优惠，具备良好经济性。

5.3 试验结论

本研究构建的绿色低碳设计体系可有效解决行业痛点，兼顾环保、性能与经济性，符合相关标准要求，为铝塑复合板低碳生产提供可行路径。

六、工程实例验证

6.1 工程概况

某商业综合体项目总建筑面积 10.5 万 m²，铝塑复合板用量 7.1 万 m²，要求绿色低碳、防火环保，契合绿色建筑三星认证，采用本研究设计方案验证可行性。

6.2 设计方案实施

严格按照一体化设计方案生产施工：再生铝利用率 40%，再生塑料利用率 45%，采用低温熔融与复合工艺，配套 VOCs 处理与废弃物回收系统，针对不同场景优化设计，施工环节遵循绿色施工要求。

6.3 应用效果

跟踪检测 1 年表明，生产能耗降 27.5%，碳排放降 36.2%，VOCs 排放量 ≤ 8 mg/m³，废弃物回收利用率 92.5%，产品性能稳定，项目成功通过绿色建筑二星级认证，综合造价降 6.2%，验证了方案的可行性与推广价值。

七、结论与展望

7.1 研究结论

- 1.我国铝塑复合板生产存在明显绿色低碳设计缺失，导致能耗高、排放大、资源利用率低；
- 2.构建的一体化设计体系可有效解决上述痛点，符合相关标准；
- 3.试验与工程验证表明，方案可实现低碳与性能协同提升，具备环保与经济性；
- 4.该体系适配工程需求，可推动产业绿色转型，助力“双碳”目标。

7.2 研究展望

未来将优化再生原材料提纯技术，扩大新型低碳原材料应用；创新低碳工艺，引入智能化设计；完善全生命周期碳足迹核算与数字化监测；推动建立统一设计标准，完善激励政策，加强国际合作，推动产业高质量发展。

参考文献

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑幕墙用铝塑复合板 (GB/T 17748-2016)
- [2]中国国家标准化管理委员会, 生态设计产品评价通则 (GB/T 32161-2015)
- [3]中华人民共和国工业和信息化部, 铝(塑)复合板单位产品能源消耗限额 (GB 30185-2025)
- [4]中华人民共和国住房和城乡建设部, 建筑节能与可再生能源通用规范 (GB 55015-2021)
- [5]国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会.绿色工厂评价通则 (GB/T 36132-2025)
- [6]国家发改委 机械设备制造企业 温室气体排放核算方法与报告指南 (试行)
- [7]中华人民共和国生态环境部, 大气污染物综合排放标准 (GB16297-1996)
- [8]中华人民共和国生态环境部, 污水综合排放标准 (GB 8978-1996)
- [9]中华人民共和国生态环境部, 挥发性有机物无组织排放控制标准 (GB 37822-2019)
- [10]中国国家标准化管理委员会, 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南 (GB/T 24067-2024)