

低碳环保型人造板制造工艺优化及性能提升研究

蔡楠

湖北宝源木业有限公司 湖北 荆门 448000

【摘要】：传统人造板制造模式工序管控粗放，生产能耗与碳排放数值偏高，成品板材普遍存在力学承载力不足、尺寸稳定性较差等问题，行业长期存在低碳生产与产品提质难以兼顾的技术矛盾。为改善这一现状，本文以低碳清洁生产为前置约束，聚焦人造板综合性能提升，对板材生产全流程工艺开展系统性优化。研究采用绿色无醛胶黏剂替代传统化学胶料，结合分段式热压、恒温精细化养护的改良方案，设置传统工艺为对照组开展多维度对比试验。试验结果表明，优化工艺可有效提升板材力学性能与耐潮稳定性，彻底消除甲醛释放隐患，显著降低生产能耗。该工艺实操性强、适配工业化批量生产，可为低碳高性能人造板的规模化制造与工程应用提供可靠技术参考。

【关键词】：人造板；工艺优化；力学性能；低碳生产；绿色建材

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.072

引言

伴随“双碳”战略深入实施与绿色建筑产业持续升级，人造板行业逐步向低碳化、精细化、高品质化方向转型，市场与行业标准对板材生产清洁度、成品使用品质提出双重更高要求。传统人造板生产工序管控较为粗放，大多沿用脲醛树脂胶黏剂与恒定参数热压成型工艺，不仅生产能耗与碳排放偏高，不符合绿色产业发展趋势，成型板材还存在内部结构疏松、力学承载力有限、受潮易变形等质量缺陷，难以满足现代家装与装配式建筑的高品质应用需求。目前国内相关研究多聚焦胶黏剂单一改性、工序局部节能改造等方向，普遍侧重环保降碳研究，对板材核心使用性能的系统性提质研究较为欠缺，难以破解低碳生产与产品性能受限的行业矛盾。基于上述研究短板与行业痛点，本文结合工业生产实际，在低碳生产的硬性约束下对人造板全工序工艺进行针对性改良，通过对照试验系统验证工艺优化对板材力学性能、稳定性能及生产效益的改善效果，探索一套适配产业发展的低碳环保、高性能人造板制造工艺，为行业技术升级提供实践依据。

1 试验材料与研究方案

1.1 试验材料与检测标准

本次试验选用常规木质基材、绿色无醛胶黏剂及配套功能性改性助剂为核心试验材料，对比传统化工胶料与常规原料的应用短板，凸显绿色材料在清洁生产与板材提质方面的应用优势，为后续工艺优化奠定坚实材料基础。试验全程采用标准化板材制备、性能检测与能耗监测设备，统一仪器运行参数与检测精度，所有测试流程严格遵循国家及行业现行标准执行，有

效规避试验误差，保障各项测试数据真实可靠，为试验结果分析与结论推导提供严谨的数据支撑。

1.2 研究思路与综合评价体系

本文以低碳节能、无醛环保为前置约束，以补强板材力学性能、提升尺寸稳定性为核心目标，构建原料精细化处理、精准施胶、分段稳压热压、应力缓释养护的全流程工艺优化体系。研究设置传统生产工艺为空白对照组、优化改良工艺为试验组，通过两组工艺平行对比试验验证改良效果。同时搭建多维度综合评价体系，涵盖板材力学性能、耐久性能、环保性能与生产能耗四大维度，重点检测静曲强度、内结合强度、吸水厚度膨胀率、甲醛释放量及单位生产能耗等核心指标，全面客观评判新工艺的综合应用价值。

2 传统人造板工艺缺陷及性能劣化机制分析

2.1 传统工艺生产粗放问题梳理

传统人造板生产流程包含原料筛分、施胶混合、热压成型、静置固化等核心工序，整体管控模式粗放，各工序缺乏精细化参数调控标准，是造成板材性能缺陷与生产高能耗的主要原因。原料预处理阶段筛分、烘干管控不规范，原料粒径混杂、含水率波动较大，导致板材成型后内部纤维分布不均，易产生局部应力集中。施胶环节多为人工粗放作业，施胶精度与均匀度不足，易出现局部胶合薄弱问题，引发板材分层、开裂缺陷。传统热压采用恒定温压参数加工，无法适配板材动态成型规律，易造成板材内部结构疏松、孔隙率偏高，整体力学与防潮性能偏弱。

2.2 性能劣化机制与行业适配短板

传统人造板生产工艺缺少专业成型后养护工序,热压过程产生的温度应力与压合应力无法有效缓释,长期累积易造成板材后期翘曲、变形,大幅降低尺寸稳定性与使用寿命。随着装配式建筑与高端家装行业品质标准持续升级,传统人造板力学性能不足、耐潮性差、稳定性弱等缺陷愈发突出,难以适配高品质、高耐久的工程应用场景。同时传统工艺高能耗、高污染的生产模式,不符合“双碳”背景下人造板产业绿色转型要求,工艺老旧、性能受限、环保性不足的多重问题,亟须通过精细化工艺改良实现技术升级与产品提质。

3 低碳环保约束下的人造板制造工艺优化

3.1 原料预处理工艺优化

传统原料预处理工序管控粗放,原料粒径混杂、含水率波动区间维持在 12%~18%,不均匀的原料状态会导致板材成型后内部纤维分布杂乱,产生局部应力集中问题,弱化板材基础力学性能。本文针对上述问题开展参数化精准优化,统一筛分设备规格,筛选留存 3~8mm 标准木质颗粒,彻底剔除杂质与不合格物料。同时采用匀速烘干、分级冷却方式,将原料含水率精准调控至 8%~10%的最佳成型区间。精细化预处理可规整原料状态,让板材热压成型受热、受力更为均匀,从源头规整板材内部结构,提升成品整体性,同时减少原料浪费与烘干能耗,契合低碳生产基本要求。

3.2 绿色施胶工艺优化

传统工艺多采用脲醛树脂胶黏剂,12%~15%的偏高施胶量搭配人工喷洒作业,施胶均匀度较差,板材易出现缺胶、积胶问题,不仅胶合稳定性不足,还存在甲醛残留隐患。本文同步优化施胶材料与工艺参数,选用绿色无醛改性胶黏剂替代传统化工胶料,从源头消除甲醛污染。结合板材成型需求将施胶量下调至 9%~11%,在保障胶合质量的基础上减少物料消耗,降低生产能耗。工艺改用机械雾化施胶搭配低速分段补胶模式,保证胶料均匀覆盖木质颗粒表面,形成致密稳定的胶合界面,有效改善板材分层、开裂缺陷,提升板材内部结合强度与环保品质^[1]。

3.3 分段式节能热压工艺优化

传统热压采用恒温恒压单一加工模式,固定 185℃、3.5MPa、320s 参数,无法适配板材动态成型规律,易造成板材表层焦边、内部结构疏松、孔隙率偏高,直接影响板材强度与防潮性能^[2]。本文改用分段式梯度热压工艺,分阶段调控温压参数:165℃、2.2MPa 预压 80s 排出内部气体,实现纤维初步贴合;180℃、3.0MPa 保压 160s,完成木质纤维紧密压合;

小幅泄压保温 80s 完成板材定型。分段式热压可有效规避成型缺陷,提升板材结构致密性与力学承载力,精简无效作业时长,降低设备能耗与生产碳排放,同步实现产品提质与工序降碳。

3.4 恒温养护工艺优化

传统人造板成型后直接静置堆放,无专项养护工序,热压成型产生的温度应力与压合应力无法释放,板材后期极易出现翘曲、变形、开裂问题,尺寸稳定性与使用寿命难以保障。本文在生产流程中增设恒温恒湿养护工序,设定养护温度 45~50℃、湿度 55%~60%,固定养护时长 24h,为板材内部残余应力提供缓释条件。稳定的温湿度环境可让板材内部纤维结构逐步趋于平衡,有效解决传统工艺应力残留引发的形变问题,大幅提升板材长期使用稳定性。该工序无需高能耗设备支撑,不会增加生产碳排放,可在契合低碳生产标准的基础上,优化板材耐久性能^[3]。

4 优化工艺后人造板性能提升效果及综合效益分析

4.1 核心力学性能提升效果分析

为直观验证工艺优化对人造板综合性能的提升效果,本次研究对传统工艺与优化工艺制备的板材开展统一标准性能检测,各项核心性能与能耗指标对比如表 1 所示。

表 1 传统工艺与优化工艺人造板性能指标对比

检测指标	传统工艺板材	优化工艺板材	指标变化效果
内结合强度/MPa	0.42	0.58	显著提升
静曲强度/MPa	18.6	24.3	显著提升
吸水厚度膨胀率/%	8.25	5.12	明显降低
甲醛释放量/(mg/L)	0.85	0	完全消除
单位生产能耗/(kW·h/m ³)	26.8	20.5	有效降低

4.2 人造板使用性能提质效果分析

结合表 1 试验检测数据可知,经多工序协同工艺优化后,人造板力学性能与稳定性能提升效果十分显著。本研究通过原料精细化筛分、含水率精准调控、机械雾化均匀施胶及分段式梯度热压的组合改良方式,全方位优化板材成型工艺,有效规整板材内部木质纤维排布结构,大幅提升板材整体致密性与纤维胶合强度。对比传统工艺板材,优化后板材内结合强度由 0.42MPa 提升至 0.58MPa,静曲强度由 18.60MPa 提升至

24.30MPa, 彻底改善了传统人造板结构松散、胶合强度弱、受力易开裂破损的力学缺陷, 有效提升了板材承载能力与结构稳定性。在耐潮与尺寸稳定性方面, 分段式梯度热压工艺可有效压缩板材内部孔隙, 优化纤维排布结构, 阻隔外部水分渗透, 使板材吸水厚度膨胀率由 8.25% 降至 5.12%, 耐潮性能大幅提升。同时, 新增的恒温恒湿养护工序可充分缓释板材热压成型产生的残余内应力, 平衡内部纤维结构, 有效规避环境温湿度波动引发的板材翘曲、变形等问题, 解决了传统人造板长期使用稳定性差、易形变的应用短板, 显著延长板材使用寿命^[4]。

4.3 人造板环保特性与低碳生产效益分析

环保性能与低碳生产效益是本次工艺优化的核心亮点, 也是绿色人造板工业化推广的核心评价指标。传统人造板生产普遍采用脲醛树脂胶黏剂, 成品板材存在明显甲醛残留问题, 检测甲醛释放量可达 0.85mg/L, 无法满足现代高端人居环境与绿色建筑用材标准。本次优化工艺采用绿色无醛胶黏剂全面替代传统化工胶料, 生产全过程无有害助剂添加、无污染物析出, 从生产源头彻底根除甲醛释放隐患, 实现成品板材零甲醛释放, 完全符合绿色建材规范与高品质家装、装配式建筑的环保使用要求。在低碳节能生产层面, 精细化原料预处理可有效筛除无效杂质、规整原料规格, 减少原料加工损耗, 显著提升木质资源利用率。同时, 分段式梯度热压工艺摒弃了传统持续高

温高压的粗放加工模式, 通过分阶段动态调控温压参数, 精简无效能耗输出, 使单位生产能耗由 $26.8\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 降至 $20.5\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$, 有效降低生产电力消耗与工序碳排放量^[5]。整套改良工艺无需新增生产设备, 无需额外增加生产成本, 在显著提升板材综合使用性能与环保品质的基础上, 实现了节能降碳、清洁生产的双重目标, 契合人造板行业双碳转型高质量发展趋势, 具备极强的实际生产应用价值与工业化推广前景。

5 结论

本文立足人造板行业低碳转型与品质升级需求, 针对传统制造工艺粗放、成品性能缺陷突出、环保与品质难以协同的痛点, 在低碳生产约束下完成全流程工艺精细化优化。研究通过整合原料精细化处理、绿色无醛施胶、分段节能热压、恒温应力养护多道改良工序, 从板材内部结构、纤维胶合、应力调控层面解决了传统板材力学偏弱、易受潮变形、存在甲醛污染、生产能耗偏高等问题。对照试验数据证实, 优化工艺可有效提升人造板承载能力与尺寸稳定性, 实现生产零甲醛、低能耗的双重效益。整套改良工艺操作简便、成本可控, 具备良好的工业化推广价值。本次研究仅测试常规环境下板材静态性能, 后续可围绕极端工况耐受性与长期老化稳定性开展深入研究, 进一步完善相关制造技术体系。

参考文献:

- [1] 邹淼, 张镭, 唐启恒, 等. 高强度木单板/异氰酸酯复合材料制备及性能优化[J]. 林业工程学报, 2024, 9(1): 45-52.
- [2] 吴义强, 李新功, 左迎峰, 等. 农林剩余物无人造板研究进展[J]. 林业工程学报, 2016, 1(1): 8-15.
- [3] 麻馨月, 陈冠志, 张志雅, 等. 木质素基木质人造板胶黏剂研究进展[J]. 林产工业, 2026, 63(1): 10-17.
- [4] 赵东洋, 杨煜, 陈峰, 等. 环保型秸秆人造板的研究与展望[J]. 山东林业科技, 2023, 53(5): 106-112+105.
- [5] 方胜, 黄素涌, 王建和, 等. 非结构用竹木正交复合板材的关键物理力学性能测试与分析[J]. 林业工程学报, 2026, 11(2): 58-65.