

提高红木家具配料环节出材率的研究

张齐水

绍兴市雍华木艺有限公司 浙江 绍兴 312368

摘要：红木家具作为中国传统工艺与文化的瑰宝，其原材料——名贵硬木资源日益稀缺，价格持续攀升。在红木家具制造全流程中，配料环节是决定原材料利用率的关键工序，直接影响企业的成本控制、经济效益与可持续发展能力。本文聚焦于红木家具配料环节，系统分析当前影响出材率的主要因素，包括原材料特性、传统配料模式缺陷、信息化水平不足及人员经验依赖等。在此基础上，提出一套融合现代信息技术、优化工艺流程与强化管理策略的综合解决方案。研究重点探讨了基于计算机辅助设计（CAD）与人工智能（AI）算法的智能配料系统构建。同时，文章还从企业管理和行业生态层面，提出了建立标准化数据库、推行精益生产以及加强行业协作等配套措施。研究表明，通过技术革新与管理优化双轮驱动，可显著提升红木家具配料环节的出材率，对缓解资源压力、推动产业绿色转型具有重要的理论与实践意义。

关键词：红木家具；配料；出材率；智能优化；资源节约；可持续发展

引言

在红木家具的制造成本构成中，原材料成本占比高达60%~70%，是决定产品最终售价和企业利润的核心要素。而在整个生产流程中，从原木到成品的转化过程损耗巨大，其中配料环节尤为关键。配料是指根据家具图纸，将锯解后的板材或方料进行合理裁切、搭配，以获取所需规格零部件的过程。这一环节的效率直接决定了“出材率”——即有效利用的木材体积与投入总木材体积之比。目前，国内多数红木家具企业的配料出材率普遍徘徊在40%~60%之间，意味着有近半甚至更多的珍贵木材被作为边角料废弃，造成了巨大的资源浪费和经济损失。因此，如何科学、高效地进行配料，最大限度地提高出材率，不仅是企业降本增效、提升核心竞争力的迫切需求，更是响应国家“双碳”战略、实现红木产业可持续发展的必然选择。本研究旨在深入剖析配料环节的痛点，探索并构建一套切实可行的技术与管理路径，为行业提供理论参考与实践指导。

1 红木家具配料环节现状与问题分析

1.1 配料流程概述

典型的红木家具配料流程通常包括以下几个步骤：（1）原料准备：对干燥处理后的板材/方料进行初步分选，按材质、等级、颜色大致分类。（2）图纸分解：根据家具设计图纸，将整套家具分解为所有需要的零部件清单（BOM表），明确每个零件的名称、数量、三维尺寸及特殊要求（如纹理方向）。（3）人工排料：经验丰富的配料师傅根据BOM表，在选定的板材上用粉笔或记号笔手工绘制切割线^[1]。此过程高度依赖个人经验、眼力和空间想

象力。（4）裁切加工：工人按照绘制的线条，使用带锯、推台锯等设备进行裁切。（5）余料处理：将裁切后产生的边角余料进行收集、分类，部分较大余料可能用于小件制作，大部分则作为废料处理。

1.2 影响出材率的关键因素

1.2.1 原材料的高度不确定性

红木原材天然形成的缺陷无法避免。一块看似完整的板材，内部可能存在隐裂，表面可能有无法预测的色差区域。配料时必须避开这些缺陷区，这极大地增加了排料的复杂性和随机性，导致有效可用面积远小于板材总面积。

1.2.2 传统配料模式的主观性与低效率

手工排料模式存在固有缺陷。首先，人脑难以在短时间内对复杂的几何形状进行全局最优规划，往往只能做到局部最优，容易产生“先入为主”的思维定式，错过更优方案。其次，不同师傅的经验和习惯差异巨大，导致配料结果不稳定，缺乏标准化和可追溯性。再者，手工排料耗时长，无法适应快速响应的订单需求。

1.2.3 信息孤岛与数据缺失

设计部门、采购部门、生产车间之间信息割裂。设计图纸中的美学要求（如某面板必须为一木连做、纹理需对称）未能有效传递至配料环节。同时，企业缺乏对历史配料数据、余料数据、缺陷分布规律的系统性记录与分析，无法形成知识沉淀，每次配料都如同“从零开始”。

1.2.4 余料管理体系不健全

余料被视为“废料”，缺乏有效的分类、编码、入库和再利用机制。有价值的余料散落在车间各处，无法被

后续的配料任务有效检索和调用,造成二次浪费。

2 提高红木家具配料出材率的综合策略

本文基于系统工程思想,提出一个“技术—流程—管理”三位一体的综合优化框架。该框架强调以智能技术为驱动核心、以精益流程为实施载体、以科学管理为保障机制,三者协同发力,形成闭环优化体系,从而实现红木家具配料环节出材率的系统性、可持续性提升。

2.1 技术驱动:构建智能配料优化系统

2.1.1 系统架构设计

该系统应具备高度集成性与可扩展性,其整体架构可分为四大功能模块:

(1) 数据采集与建模模块:此为系统感知层。通过部署高分辨率工业相机或三维激光扫描设备,对每一块待配料的红木家具进行非接触式数字化采集。系统不仅获取其精确的长、宽、厚尺寸,更同步记录表面纹理图像、颜色分布及天然缺陷(如节疤、裂纹、虫孔、矿物线、变色区等)^[2]。借助图像处理技术,可初步生成带有缺陷标注的“数字孪生板材”,为后续智能决策提供真实、结构化的输入数据。该过程可由操作员辅助确认,确保数据准确性。

(2) 需求输入与规则定义模块:作为系统的“指令中枢”,该模块负责接收来自产品设计端的信息流。系统可直接对接企业现有的CAD/CAM平台,自动导入家具零部件的BOM(Bill of Materials)清单,包含每个零件的三维几何参数、数量及工艺属性。更重要的是,系统允许用户以自然语言或图形化界面定义复杂的、非量化的美学与工艺约束规则。例如:“面板必须为一木连做,不得拼接”、“圈椅背板纹理方向需严格竖直”、“相邻扶手与靠背的颜色色差 $\Delta E \leq 5$ ”、“瘦木区域优先用于视觉焦点部件”等。这些规则将被转化为算法可识别的逻辑条件或权重参数。

(3) 智能优化引擎模块:这是整个系统的大脑与核心。针对红木家具配料这一典型的多约束、多目标二维不规则切割问题(Nesting Problem),系统采用混合智能优化策略。对于基础几何布局,可采用改进型遗传算法(GA)、模拟退火(SA)或高效的启发式算法(如Bottom-Left-Fill, BLF及其变种)进行快速求解;对于美学与工艺约束,则将其嵌入目标函数中,构建多目标优化模型:

$$\max(w_1 \cdot \text{出材率} + w_2 \cdot \text{美学匹配度} - w_3 \cdot \text{加工复杂度})$$

其中, w_1 , w_2 , w_3 为可调节权重。系统支持Pareto前沿分析,为用户提供多个在不同目标间权衡的可行方案,供人工最终决策。

(4) 可视化与输出模块:优化结果以直观的2D排料

图或3D虚拟装配形式呈现,清晰标注每块零件的位置、编号及对应板材。同时,系统自动生成标准化的数控加工代码(G-code),可直接驱动CNC裁板机、带锯等智能设备执行精准切割,实现“所见即所得”的数字化制造闭环,彻底消除人工绘图误差与信息传递失真。

2.1.2 关键技术突破点

(1) 缺陷智能识别技术:利用深度学习中的卷积神经网络(CNN),特别是U-Net、YOLO等目标检测与分割模型,训练专用AI模型对红木家具图像中的各类缺陷进行自动识别、定位与分类。通过大量标注样本的训练,模型可达到90%以上的识别准确率,极大减轻人工质检负担,并为优化引擎提供可靠的缺陷规避依据。

(2) 多目标协同优化机制:系统摒弃“唯出材率论”,引入美学满意度指数(如基于HSV色彩空间的色差计算、纹理连续性评分)和加工便捷性指标(如切割路径总长度、换刀次数),构建综合评价体系。用户可根据订单等级(如收藏级vs实用级)动态调整各目标权重,实现柔性化、个性化配料。

(3) 动态余料库集成与闭环利用:系统内置一个实时更新余料数据库,对每次裁切后产生的边角料进行自动测量、编码、拍照并入库。在新任务配料时,系统优先检索余料库,尝试用现有余料满足小尺寸、低要求零件的需求。这不仅提高了整体材料利用率,也减少了仓储空间占用,真正实现“变废为宝”的循环经济理念。

2.2 流程再造:推行精益配料管理

2.2.1 制定标准化作业流程(SOP)

企业应编制详细的《智能配料作业指导书》,明确从原木开料、板材干燥、入库分拣、数据录入、系统排料、方案审核、数控裁切到余料回收的全链条操作规范。每个环节均需规定标准工时、质量验收标准、异常处理流程及责任人^[3]。例如,规定“所有待配料板材必须在24小时内完成数字化建模并录入系统”,“排料方案须经工艺主管与设计师双签确认后方可执行”。通过SOP固化最佳实践,消除经验主义带来的波动性与浪费。

2.2.2 构建红木特征知识库

系统性地收集、整理并结构化存储不同红木树种(如交趾黄檀、檀香紫檀、大果紫檀等)的基础物性数据(密度、干缩系数、硬度)、典型缺陷图谱、纹理美学评价标准(如山水纹、鬼脸纹的价值等级)以及历史成功配料案例。该知识库不仅是智能系统规则设定的依据,也是新员工培训和工艺传承的重要载体,将隐性经验转化为显性知识资产。

2.2.3 强化设计-生产协同(DFM)

推动设计理念变革, 倡导“面向制造与装配的设计”(Design for Manufacturing and Assembly, DFMA)。鼓励设计师在方案初期就与工艺、配料部门协同, 优先选用标准化、模块化的构件, 减少异形曲面件和超大整板的使用。例如, 将大型桌面设计为可拆卸拼接结构, 在保证美观的前提下大幅降低对单块大料的依赖。通过早期介入, 从源头上提升材料的可规划性与可利用率。

2.3 管理赋能: 构建长效机制

2.3.1 建立科学的绩效考核与激励机制

将“配料综合出材率”(考虑主料与余料利用)作为核心KPI, 纳入配料组长、操作员及相关管理人员的月度/年度考核。设立“节材能手”“创新应用奖”等专项奖励, 对通过优化排料显著节约成本的团队或个人给予物质与精神双重激励^[4]。同时, 将系统使用熟练度、数据录入准确性等纳入技能等级评定, 引导员工主动拥抱数字化转型。

2.3.2 加强复合型人才培养与知识传承

一方面, 组织针对现有资深配料师傅的“数字技能提升班”, 帮助其掌握系统操作、数据解读与方案评估能力, 使其从“经验匠人”转型为“数字工匠”; 另一方面, 与职业院校、行业协会合作, 定向培养既精通传统红木工艺、又掌握CAD/CAM、数据分析等现代技术的复合型人才。通过“师徒制+数字化平台”相结合的方式, 确保宝贵经验与先进技术同步传承。

2.3.3 推动行业协作与资源共享生态建设

单个企业的努力终有边界。建议由国家级或省级红木家具行业协会牵头, 搭建“红木余料信息共享与交易平台”。平台采用区块链技术确保交易透明可信, 企业可将自身无法消化的大宗优质余料(如直径>30cm的圆盘

料、长度>1.5m的直纹板)信息发布其上, 供其他企业按需采购。此举可在全行业层面盘活存量资源, 减少整体资源消耗, 构建绿色、协同、共赢的产业生态。

3 结语

本研究系统探讨了提高红木家具配料环节出材率的路径。研究表明, 单纯依赖传统经验和手工操作已无法满足当代红木产业高质量、可持续发展的要求。通过深度融合现代信息技术, 特别是人工智能与大数据技术, 构建一个能够综合处理红木材质特殊性与美学复杂性的智能配料优化系统, 是破局的关键。同时, 必须辅以精益化的流程再造和科学的管理机制, 才能确保技术成果真正落地并产生实效。未来的研究方向可进一步深化: 一是算法精进: 探索更高效的多目标、多约束优化算法, 以应对更复杂的红木家具结构。二是全链路集成: 将智能配料系统向上游延伸至原木优选, 向下游延伸至智能制造, 打造覆盖“原木-板材-家具”的全流程数字化管控平台。三是循环经济模式: 深入研究红木余料的高值化利用途径, 如开发文创小件、艺术镶嵌等, 将“废料”彻底转变为“资源”, 构建红木产业的循环经济生态。

参考文献

- [1]高嘉南, 祁忆青. 提高红木家具配料环节出材率的研究[J]. 家具与室内装饰, 2020, (12): 40-41.
- [2]陈年. 红木家具企业如何提高红木材料利用率[J]. 南方林业科学, 2015, 43(03): 64-65.
- [3]薄苒桦. 餐桌类红木家具配料成本优化方案设计[D]. 中南林业科技大学, 2022.
- [4]李兴畅, 胡宇翀. 红木家具用材尺寸稳定性处理方法[J]. 轻工科技, 2024, 40(01): 148-151.