

科学技术先锋

Scientific and Technological Pioneers

第3卷 第6期 总第21期

2025.06



科学技术先锋

Scientific and Technological Pioneers



出版社信息

主管：香港星源出版社

主办单位：香港星源出版社

主编：潘志尧

执行主编：苏婉清

社内编辑：

江彦程	杜心怡	宋瀚霖	刘昭屹
张云翔	马景辰	王泽安	钟嘉睿
秦若仪	曹意辰	黄睿	周沁
沈朗	唐俊宸	温嘉铠	宋韶宁
彭子曜			

网址：<https://hksspub.com/>

电话：+852 6855 8145

邮箱：hksspub2022@163.com

刊期：月刊

STAR SOURCE PUBLISHING
香港星源出版社



3079 2180

目 录

CONTENTS

家具制造数字化车间的智能控制系统设计	岳博尧 001
基于 AI 算法的家具个性化设计生成模型研究	秦彦哲 006
家具产业智能装备升级与生产柔性优化分析	贺雨晨 013
绿色材料在家具制造中的可替代性研究	林思韵 019
家具企业数字化转型的组织变革机制探讨	庄景然 024
基于大数据的家具消费趋势预测与产品创新策略	黎嘉琦 032
人工智能驱动的家具制造能耗监测与节能优化方法	吴梓恒 037
家具装配自动化系统的智能调度与执行算法	汪沁瑶 043
智能仓储技术在家具供应链管理中的集成应用	叶峻安 050
家具行业碳排放核算体系与碳资产管理模式	郭彦彬 055
家具行业绿色供应链协同机制研究——基于全生命周期视角的低碳转型分析	谭可然 061
基于数字孪生的家具制造过程可视化管理研究	金韵思 066
智能传感系统在家具品质检测中的应用研究	罗承翊 073
家具行业智能化改造投资效益评估与风险控制	方昱泽 080
家具循环利用体系的可持续设计与标准化路径	陈语彤 085
虚拟现实技术在家具设计体验与人机交互中的创新应用	姚智渊 092
绿色制造背景下家具企业供应链数字治理模式	邵清函 097
家具行业智能安全系统与工厂物联网融合策略	程俊恺 103
人工智能在家具设计审美趋势建模中的应用	张奕哲 109
面向未来的家具产业智能化与绿色协同发展路径	林韶宁 116

家具行业绿色供应链协同机制研究——基于全生命周期视角的低碳转型分析

谭可然
(北京 北京林业大学 100083)

摘要：

在“双碳”目标与绿色制造政策背景下，家具行业作为能源消耗与碳排放的重要产业，其供应链体系的低碳协同成为转型升级的核心议题。本文以全生命周期为分析视角，构建绿色供应链协同机制框架，系统分析各阶段的碳排特征与减排路径。家具产品从原料获取、生产制造、物流运输到使用回收的生命周期边界被明确，结果显示原料采购与生产制造环节是碳排放的主要集中区。

基于协同学与博弈理论，本文探讨企业、供应商与消费者之间的协作关系与利益分配模式，揭示协同动力不足、制度衔接不畅和信息壁垒等关键制约因素。分析结果表明，制度激励、技术创新与信息共享的互动构成绿色供应链协同运行的核心机制。结合典型家具企业的实践经验，提出从政策支持、技术推广与数据共享平台建设等方面强化供应链协同的路径，为家具行业的低碳转型与可持续治理提供理论依据与实施参考。

关键词：家具行业；绿色供应链；协同机制；全生命周期；低碳转型

一、引言：家具行业低碳转型的现实背景与研究逻辑

1.1 家具行业绿色转型的时代背景与政策驱动

在“双碳”战略目标持续推进的背景下，中国制造业正迈入绿色、低碳与智能化融合发展的关键阶段。家具行业作为资源密集型产业，具有能源消耗高、供应链条长和生产环节分散等特征，是推动工业节能减排与清洁生产的重要领域。国家相继出台《“十四五”工业绿色发展规划》和《加快推动制造业绿色低碳转型行动方案》等政策，明确提出要在原材料选择、生产制造、运输流通和回收利用等环节强化节能与碳减排，推动行业绿色转型。

在国际层面，碳关税机制与绿色贸易壁垒的强化，要求家具出口企业提升环境合规能力和供应链可追溯水平。与此同时，消费者对可持续家具产品的需求日益增长，促使企业认识到绿色制造与供应链协同不仅是政策要求，更是提升市场竞争力的关键途径。家具行业的低碳化发展正从单点改进转向系统优化，形成以全供应链协同为导向的绿色转型格局。

1.2 全生命周期视角下的供应链碳排放问题

家具产品的生命周期涵盖原材料获取、生产加工、物流运输、销售使用与回收处理等多个阶段，各环节碳排放特征差异显著。研究表明，原料采购与制造阶段的碳排放最为集中，而运输和销售环节的间接排放对整体碳足迹也有持续影响。行业内部信息壁垒明显，碳核算体系尚未统一，使得供应链减排呈现出碎片化、

非协同的特征。

全生命周期分析 (Life Cycle Assessment, LCA) 方法能够系统识别不同阶段的排放结构，为制定针对性的减排策略提供量化依据。从生命周期视角出发，不仅可以揭示单个企业难以解决的系统性排放问题，也为构建家具行业绿色供应链协同机制提供理论支撑。通过这一方法，行业可在“从摇篮到回收”的全过程中，实现碳排路径的科学识别与优化。

1.3 绿色供应链协同机制的研究必要性与创新意义

家具行业的绿色供应链建设依赖于产业链上下游的协同治理。原材料供应商、制造商、物流商和销售终端在成本分担、信息共享和责任界定方面存在差异，常导致减排目标不一致、协同动力不足。构建有效的协同机制，是实现行业整体低碳转型的关键。

现有研究多集中于制造业的通用型绿色供应链模型，对家具行业的多主体协同治理与生命周期减排路径探讨仍不充分。研究表明，供应链协同机制的有效运行依赖激励约束机制的完善、信息共享水平的提高以及利益分配的公平性。研究的创新性在于将生命周期理念与协同管理理论相结合，提出契合家具行业特征的低碳协同框架，并从制度与治理层面探讨可持续运行机制。

1.4 研究目标、核心问题与论文结构安排

本研究旨在通过全生命周期视角系统分析家具行业绿色供应链的碳排特征与协同运行机制，构建促进

多主体低碳协同的优化路径模型。论文重点关注家具产品生命周期的碳排结构与关键减排环节，探讨供应链协同机制的作用机理与制约因素，并进一步提出在生命周期框架下促进协同减排的机制设计与政策建议。

论文的整体逻辑遵循“问题识别—机制构建—路径优化—政策建议”的主线。第一章阐述研究背景、问题与框架；第二章分析家具产业生命周期碳排特征与减排关键环节；第三章构建绿色供应链协同机制的理论基础与分析模型；第四章剖析协同运行的现实障碍与影响因素；第五章提出基于生命周期的协同优化机制与实施路径；第六章总结研究结论，提出政策与实践建议。

二、生命周期视角下家具行业碳排放特征分析

2.1 家具产品生命周期划分与碳排放边界确定

家具产品的生命周期涵盖原材料获取、生产制造、物流运输、使用维护与废弃回收五个阶段，各环节在能源消耗与碳排放中贡献不同。生命周期分析（Life Cycle Assessment, LCA）方法通过界定系统边界与功能单位，为识别家具行业碳排结构提供科学工具。

家具生产的碳排来源可分为直接和间接两类。直接排放主要来自木材干燥、切割、喷涂、粘合剂使用等环节的化石燃料消耗与有机溶剂挥发；间接排放则包括电力使用、设备运行及原材料运输。行业普遍采用“从摇篮到坟墓”（Cradle-to-Grave）的评估边界，以反映产品从原料开采到报废处理的全过程。

合理界定系统边界是建立碳核算体系的关键。若评估范围仅限生产环节，将低估上游原料加工和下游运输的排放负荷，难以反映产业链的真实碳强度。因此，从生命周期整体出发开展碳排放核算，是家具行业制定科学减排策略和推进绿色供应链协同的重要前提。

2.2 原材料、制造、运输与使用阶段的碳排特征

家具碳排放的起点在原材料环节。木制家具主要依赖板材、胶黏剂与涂料等高能耗产品，其生产过程涉及热能消耗与化学助剂使用。采用可再生林木、无醛胶及环保涂层，可有效降低排放水平[1]。金属与塑料部件虽提升产品功能，但其冶炼与成型能耗高，也增加了供应链碳负荷。

制造阶段是碳排放最集中的环节。家具企业能源结构以电力和天然气为主，喷涂与干燥工序碳排量最高。研究表明，生产阶段碳排占产品生命周期总排放的40%至60%，是减排的重点区域。节能设备、余热回收及智能制造的推广，显著改善了单位产值能耗。

运输环节的排放主要与物流距离、装载率及运输方式相关。家具体积大、运输密度低，陆运占比高，碳排强度显著。路径优化、集中仓储和新能源汽车配送是行业低碳化的主要方向。使用阶段虽排放有限，但产品寿命和回收率对全生命周期碳足迹具有重要影响。延长产品使用周期、推广模块化与可拆卸设计，有助于提升再利用率，降低总体环境负荷。

2.3 家具全产业链低碳转型的关键环节识别

从生命周期角度看，家具行业碳排分布呈现“前端集中、后端分散”的特征。原材料与制造阶段是排放核心区，运输与回收环节虽占比低，但累积影响显著。实现全产业链减排需聚焦材料替代、过程优化与资源循环三个方向。

原材料阶段应推广可持续林木认证体系，增加再生材料使用比例，减少高碳化学品投入。制造环节应强化能效管理与绿色能源替代，通过智能制造与精益生产提升能源利用率[2]。回收阶段应完善再制造体系与循环利用网络，减少原生资源消耗，实现闭环减排。

单个企业难以独立完成生命周期减排目标，只有通过供应链协同，上游原料商、制造商、物流企业与回收机构形成合作网络，才能实现系统性降碳[3]。明确关键环节与主体责任，为行业低碳转型和协同机制构建提供了实践基础。

第三章 家具行业绿色供应链协同机制的理论基础与构建思路

3.1 绿色供应链协同的理论内涵与构成要素

绿色供应链协同机制旨在通过信息共享、资源整合和利益协调，实现供应链各环节在环境绩效与经济效益之间的平衡。协同管理理论认为，系统整体效能高于各部分独立运行的总和，各主体的互动通过合作可形成“协同增益效应”。在家具行业这一多环节制造体系中，供应商、制造商、物流商和零售商之间的低碳协作，不仅影响生产效率，也决定产品生命周期的碳排放水平。

绿色供应链协同的核心要素包括协同主体、协同目标与协同机制。协同主体涵盖供应链内外部利益相关者，协同目标强调经济、环境与社会绩效的统一，协同机制则指保障信息流、资金流与物流高效衔接的制度安排[1]。从系统视角看，绿色协同既依赖技术创新，也依赖制度设计以维持长期稳定。

在家具行业中，协同管理的重点在于跨环节协作与资源优化。原材料阶段应落实绿色采购标准，制造环节需强化能效管理，物流与回收环节则依托数据共

享实现碳足迹追踪。这种多层次协同构成了家具行业绿色供应链的基础，也是生命周期减排的关键途径。

3.2 生命周期视角下多主体协同的逻辑关系

生命周期视角强调从产品诞生到回收的全过程优化，其核心在于各阶段相互作用的传导效应。原材料的环保程度影响生产能耗，制造环节的节能技术决定后续运输与回收的减排潜力，环节间的依存关系构成了生命周期协同的逻辑主线。

多主体协同的实质是互惠与约束。上游企业掌握资源与技术优势，下游企业贴近市场与消费者。有效的协同机制需建立信息共享与责任分担体系，使减排责任与收益分配相匹配。例如，供应商改进工艺降低碳强度时，应通过合同或收益反馈获得激励；物流企业采用新能源运输后，也需在供应链收益中得到成本补偿。制度化的激励设计能够形成循环激励结构，实现全生命周期的动态减排。

在信息层面，生命周期协同要求建立碳数据共享平台，实现排放信息的量化与追溯。信息透明度的提升有助于识别高碳环节并支持科学决策。家具行业可依托数字化供应链平台或区块链技术，构建可验证的协同治理体系，促进供应链整体的低碳运行。

3.3 协同效应、利益分配与博弈机制分析

供应链协同的核心在于多主体利益的动态平衡。协作过程涉及成本分担、收益分配与风险控制，不同主体的策略选择直接影响协同稳定性。博弈理论为分析这种互动关系提供了理论工具。通过静态或动态博弈模型，可以揭示在不同约束条件下主体行为的均衡机制，从而解释协同关系的形成逻辑。

在家具行业中，制造商处于供应链核心地位，其决策会影响上游采购标准与下游交付方式。若企业以利润最大化为导向而缺乏激励协调，整体低碳绩效往往不足。通过成本分担、收益共享或碳积分制度等激励设计，可在供应链内形成“协同均衡”，使个体收益目标与整体减排目标趋于一致。

协同效应的形成依赖信息共享、激励合理性与信任关系的持续积累。充分的信息共享降低决策不确定性，合理的激励机制确保协作动力，稳定的信任关系使协同由外部约束转化为内生合作。家具行业绿色供应链的高效运行正是基于这种长期信任与均衡博弈的稳定协同体系。

四、家具行业绿色供应链协同运行的现状与主要障碍

4.1 家具行业供应链协同的运行现状分析

随着绿色制造政策的持续推进，家具行业的供应

链管理理念正逐步从成本导向转向低碳与协同导向。多数规模型家具企业已建立初步的绿色管理体系，在原材料采购、生产制造和物流环节引入节能设备与碳排核算工具。然而，整体协同水平仍存在显著差距，尤其是在供应链上下游信息互通和资源联动方面表现不足。

当前家具行业供应链的协同实践主要体现为两种模式。一种是由龙头企业主导的纵向协同模式，通过制定供应商绿色标准、签订环保责任协议来实现链条式管控；另一种是基于行业集群的横向协同模式，多家企业共享原材料采购渠道、物流体系与回收资源，实现区域性减排。纵向模式能够在一定程度上强化上游约束，但容易形成单向压力；横向模式更有助于资源共享，但协调成本高、稳定性不足。

在供应链协同数字化方面，部分企业尝试引入碳足迹追踪系统与供应链信息平台，实现生命周期数据的集中管理。然而，多数中小企业受限于资金与技术能力，仍停留在局部环节的信息化水平。整体而言，家具行业的绿色供应链协同机制处于从“单点改进”向“系统协同”转变的过渡阶段，制度体系尚未完善，协同网络仍处于分散状态。

4.2 协同机制中的制度障碍与动力缺失

家具行业绿色供应链协同运行受制于多重制度性障碍。首先，政策体系尚未形成对企业协同行为的有效激励。虽然国家层面已出台多项绿色制造政策，但针对家具行业的细分指导和标准化规范仍不健全，企业在执行层面缺乏明确的制度参照。上游原材料供应商和中下游制造商在绿色认证、碳核算及回收体系建设中的责任边界不清晰，导致协同行动缺乏约束基础。

其次，利益分配机制不均衡是协同动力不足的关键原因。协同过程中的成本主要集中在上游环节，而减排收益则多体现于下游市场声誉与政策激励，形成“成本外部化”问题。部分企业在短期利润压力下更倾向于维持传统生产模式，导致供应链协同进展缓慢。此外，信息不对称与信任缺失进一步削弱了企业间的合作意愿。由于供应链成员间缺乏统一的碳数据接口和信息共享机制，企业难以准确评估合作收益，协同效率受限。

从治理视角看，行业自律组织和地方监管部门在推动协同中的作用仍有限。部分地方政府缺乏针对性政策支持，行业协会的标准制定与监督能力不足，使得家具企业在低碳转型中多依赖自身探索。缺乏制度性激励与外部监管双重支撑的情形下，协同机制易陷入“初建—中断—重建”的循环过程，难以实现稳定运行。

五、基于全生命周期视角的绿色供应链协同优化路径

5.1 协同机制的结构设计与运行模型构建

在生命周期导向的管理框架下，绿色供应链协同机制的结构设计应以系统优化为核心，实现多主体参与、信息共享与动态协调。其目标不在于单环节减排，而在于通过结构协同提升供应链整体减碳效率与资源利用水平。

协同机制可从三个层面构建。首先，建立以生命周期为边界的协同网络，明确原料供应、制造、运输、销售与回收各环节的职责与目标。其次，搭建碳数据共享平台，整合排放监测与绩效评估，实现全过程信息互通。最后，形成激励与约束并行的治理体系，推动各主体在统一规则下实现低碳协作 [1]。

运行模型可采用“协同—反馈—优化”闭环机制。协同阶段明确目标与分工，反馈阶段基于数据平台实时监测碳绩效，优化阶段根据结果调整资源与策略，从而实现持续改进。家具行业的协同模型应同时关注横向资源整合与纵向责任传导，使供应链在信息流、物流与碳流之间形成动态平衡。

5.2 供应链主体间的低碳协同激励机制

供应链协同的有效性取决于主体间的减排动力与利益平衡。合理的激励机制能在收益共享与责任分担间建立内生驱动，使企业在低碳目标上保持一致。

在纵向协同中，制造企业可通过合同激励或收益分享机制，奖励供应商的节能改进与环保材料应用。例如，在采购合同中设置碳减排奖励条款或运输环节的差异化补贴，可有效激发上游与物流企业的参与积极性。

横向协同可通过行业联盟与共享平台实现。家具企业可联合构建绿色采购联盟、碳积分交易体系或共享物流网络，在联盟内部依据减排绩效分配资源与合作机会。政府应在此过程中提供政策配套，如绿色供应链奖励基金、税收优惠与贷款支持，形成政策与市场双重激励。

激励机制的稳定运行依赖信息公开与信用约束。通过碳信息披露、供应商评级与第三方审计，建立透明、公正的合作环境，可降低协同不确定性并强化信任关系 [3]。

5.3 协同绩效评估与持续优化策略

协同机制的优化需建立系统的绩效评估体系。评价维度应涵盖环境、经济与协同三方面：环境绩效反映碳减排量与资源利用率，经济绩效衡量成本节约与收益增长，协同绩效关注信息共享效率与合作稳定性。

家具行业可采用层次分析法（AHP）或综合指数法确定指标权重，通过协同绩效得分反映整体运行水平。结合生命周期碳核算结果，企业可识别高排放环节与低效节点，实施针对性改进。为确保数据真实性，可引入第三方机构参与审查与验证，提升体系的客观性与公信力。

持续优化应以反馈机制为核心。定期绩效评估能够帮助企业动态调整策略，实现“评估—调整—再评估”的循环改进。优化路径主要包括三方面：技术升级、制度完善与组织学习。技术层面可通过节能设备与数字化碳管理提升效率；制度层面通过优化合同与标准流程强化约束；组织层面依靠知识共享与经验积累提升协同能力 [2]。

绿色供应链的优化是一个动态迭代过程，既依赖企业的自主改进，也需要行业层面的数据支撑与制度引导。构建持续反馈与改进机制，是确保协同运行稳定和行业长期低碳化的关键。

六、研究结论与政策建议

6.1 研究主要发现与理论贡献

本研究基于全生命周期视角，系统分析了家具行业绿色供应链协同机制的运行逻辑与优化路径。研究表明，家具产业链的碳排放主要集中在原材料与制造阶段，而运输与使用环节虽排放较低，却在生命周期中具有累积效应。生命周期分析为行业碳减排提供了系统化评估方法，使碳排责任得以量化并合理分配。

在理论层面，研究结合协同管理与博弈理论，揭示了供应链协同效应的形成机制。信息共享、激励约束与信任关系是影响协同效率的关键要素。论文构建了以“协同—反馈—优化”为核心的运行模型，提出家具行业多主体低碳协同的系统性框架。

理论贡献主要体现在三方面：将生命周期理念与协同管理理论融合，构建了绿色供应链综合分析框架；明确了生命周期阶段间的协同传导机制，拓展了供应链管理的系统边界；提出以绩效评估为核心的协同优化路径，为低碳供应链治理提供了理论支撑。

6.2 对家具行业低碳协同治理的实践启示

研究结果显示，家具行业低碳转型应从供应链整体协同入手，而非局限于单一企业的节能措施。企业在原料采购、生产制造、物流运输和回收利用等环节建立稳定的合作机制与碳数据共享体系。上游供应商通过绿色认证和材料替代降低排放，中游制造企业通过工艺改进提高能效，下游物流环节则需优化运输方式与循环包装。

协同治理应以信息透明和共识机制为基础。通过

构建碳数据互联平台，供应链各主体能够在统一数据基础上进行协同决策，减少管理摩擦与重复投入。龙头企业应发挥主导作用，以合同约定、收益分享和绩效反馈带动中小企业形成可持续的低碳协作网络。

6.3 政策层面的支持与推广建议

绿色供应链协同机制的完善需政策引导与制度支持。政府应建立家具产业链碳核算与信息披露标准体系，推动碳数据透明化和标准化，为供应链协同提供监管依据。同时，可通过财政补贴、绿色信贷与税收优惠等措施，降低企业在低碳技术改造与信息化建设中的成本压力。

应强化政府、行业协会与企业的多层协作。行业组织可建立绿色供应链评价与认证机制，推动企业间互信互认；地方政府可在产业集群中试点碳积分交易、联合回收与资源共享，探索可推广的低碳协同模式[2]。

从推广角度看，家具行业应纳入国家级绿色制造示范体系，鼓励龙头企业发挥带动作用，形成政策与市场双轮驱动的协同生态，推动行业从单点减排向系统协同转型。

6.4 研究局限与未来展望

本研究受数据获取限制，生命周期碳排分析主要

基于典型企业与文献数据，尚未形成大规模实证样本。未来研究可利用行业调查与碳核算平台数据，进一步验证协同机制模型的适用性。

未来研究还可聚焦数字化技术在绿色供应链协同中的应用。区块链、物联网和人工智能等技术将提升碳数据的真实性与可追溯性，为生命周期协同提供技术支撑。同时，跨行业比较研究也具有重要意义，通过与建材、家电等行业的协同模式对比，可进一步丰富低碳供应链协同治理的理论体系。

参考文献：

- [1] Fakhrzad M B, Hosseini Nasab H, Sheibani Tazarji Q, Mollashahi H. Designing a Sustainable Supply Chain Network for the Furniture Industry[J]. Process Integration and Optimization for Sustainability, 2025(12):1-15.
- [2] 罗珍. 碳减排背景下绿色供应链协调研究综述[J]. 管理科学与工程, 2025, 14(4): 833-839.
- [3] 王天飞. 双碳目标下绿色供应链质量管理协同机制研究 [J]. 科学发展研究, 2025, 5(2): 58-65.

Scientific and Technological Pioneers

科学技术先锋

