

绿色智能包装盒供应链体系构建研究

刘慧媛 朱明俊 洪树权

东莞城市学院, 中国·广东 东莞 523000

摘要: 在物流业高质量发展背景下, 传统快递包装带来的资源浪费与环境污染问题日益突出, 绿色智能包装已成为行业转型升级的重要方向。本文以绿色智能包装盒为研究对象, 采用多案例研究方法, 以供应链管理理论、循环经济和协同治理理论为分析框架, 系统分析绿色智能包装的发展现状与典型实践, 构建覆盖研发、生产、仓储、配送及回收再利用等环节的全链条供应链体系。研究发现, “轻资产运营+核心环节自控”的协同模式可有效整合上下游资源、降低企业进入门槛; RFID 溯源技术与生物降解材料的结合应用能实现包装全生命周期智能化管控。基于京东物流与顺丰控股的深度案例分析, 绿色智能包装供应链体系在经济效益、社会效益和环境效益三个维度均具显著优势, 为推动快递包装行业绿色转型提供了可复制的实施路径。

关键词: 绿色智能包装; 供应链体系; 多案例研究; RFID 技术; 循环经济

Research on the Construction of Supply Chain System for Green Intelligent Packaging Boxes

Liu Huiyuan, Zhu Mingjun, Hong Shuquan

Dongguan City College, China Guangdong Dongguan 523000

Abstract: Under the high-quality development strategy of the logistics industry, green intelligent packaging has become a key direction for industry transformation. This paper adopts the multiple case study method, using supply chain management, circular economy, and collaborative governance theories as the analytical framework, to construct a full-chain supply chain system covering R&D, production, warehousing, distribution, and recycling. The research finds that the "asset-light operation + core process self-control" collaborative model can effectively integrate resources and lower entry barriers. Based on the analysis of JD Logistics and SF Holding, the green intelligent packaging supply chain system demonstrates significant economic, social, and environmental benefits.

Keywords: Green intelligent packaging; Supply chain system; Multiple case study; RFID technology; Circular economy

1 引言

1.1 研究背景

随着电子商务蓬勃发展, 中国快递包装废弃物快速增长。研究表明, 2023 年全国快递业务量突破 1320 亿件, 同比增长约 15.3%^[1]。然而, 传统快递包装以一次性纸箱和塑料填充物为主, 回收利用率不足 20%, 大量包装废弃物进入自然环境。我国每年产生的快递包装废弃物约 1600 万吨, 其中纸类超 1000 万吨, 塑料类约 180 万吨^[1-2]。

与此同时, 传统包装材料的生产环节同样消耗大量资源。每生产 1 亿个快递纸箱, 需消耗约 320 万棵成树的纸浆原料; 一次性塑料包装袋的主要原料——聚乙烯 (PE), 其生产过程的碳排放强度高达每吨 2.3 吨 CO₂ 当量^[1]。在“双碳”下, 物流绿色低碳转型已从“可选项”变为“必答题”。

1.2 研究意义

绿色智能包装作为物流业高质量发展的重要突破口, 近年来引起学术界广泛关注。然而, 现有研究存在三点不

足: 第一, 多聚焦包装材料创新或回收体系优化等单一环节, 缺乏供应链整体视角的系统性研究; 第二, 技术层面研究多停留在实验室阶段, 与产业实践脱节; 第三, 对绿色智能包装的商业模式创新和供应链协同机制研究相对薄弱。本文基于这一研究缺口, 聚焦绿色智能包装盒这一具体载体, 采用多案例研究方法, 通过典型企业实践剖析, 构建覆盖全生命周期的供应链体系, 为快递包装行业绿色转型提供理论支撑与实践参考。

1.3 研究思路

本文研究思路: 首先, 梳理供应链管理与循环经济管理理论, 构建理论框架; 其次, 分析我国绿色智能包装发展现状与存在问题; 在此基础上, 构建覆盖研发、生产、运营、回收全链条的供应链体系; 最后, 通过京东物流与顺丰控股案例进行实证验证, 总结经验并提出对策建议。

2 理论框架

本文理论框架由供应链管理理论、循环经济理论和协同治理理论三个维度构成。

2.1 供应链管理理论

供应链管理 (Supply Chain Management, SCM) 是指在满足一定客户服务水平的条件下, 通过对供应链中的物流、信息流和资金流进行计划、协调与控制, 以实现供应链整体成本最小化和价值最大化的管理活动^[3]。Christopher (2016) 强调, 现代供应链管理的核心在于核心企业的引领作用与上下游企业的协同效应, 通过信息共享、风险共担和利益共享机制, 提升供应链的整体竞争力^[3]。

在绿色供应链管理 (Green Supply Chain Management, GSCM) 框架下, 企业不仅关注经济效益, 还需要将环境保护理念融入供应链的全过程。Srivastava (2007) 指出, 绿色供应链管理涵盖绿色采购、绿色生产、绿色分销和逆向物流等核心环节, 强调从源头减少污染、实现资源的闭环流动^[3]。这为分析绿色智能包装供应链各环节提供了理论基础。

2.2 循环经济理论

循环经济以资源的高效利用和循环利用为核心, 以“减量化 (Reduce)、再利用 (Reuse)、再循环 (Recycle)”为基本原则^[3]。与传统线性经济“生产—使用—废弃”模式相比, 循环经济强调物质的闭环流动, 通过延长产品生命周期、减少资源消耗和废弃物排放, 实现经济发展与环境保护的双赢^[3]。

2.3 协同治理理论

利益相关者协同治理理论强调, 在复杂的社会经济系统中, 政府、企业、消费者和社会组织等多元主体需要通过制度设计和机制创新, 形成治理合力^[3]。Freeman (1984) 的利益相关者理论指出, 企业的可持续发展需要平衡和满足各类利益相关者的诉求, 而非仅追求股东利益的最大化^[3]。在绿色智能包装供应链中, 涉及原材料供应商、包装生产企业、电商平台、物流企业、消费者和地方政府等多个利益相关方, 各方在环保责任、经济利益和操作便利性等方面存在博弈关系。本文引入协同治理视角, 分析各利益相关者的行为动机与约束条件, 提出促进多方共赢的供应链协同机制。

3 研究方法

本文采用多案例研究方法, 以供应链管理和循环经济理论为分析框架, 通过对典型企业实践的剖析, 归纳绿色智能包装供应链体系的构建路径与运营模式。

3.1 案例选择依据

本文选取京东物流和顺丰控股作为案例研究对象, 主要基于以下三点考量: 第一, 两家企业均为快递物流领域

的头部企业, 2023 年业务量分别位居国内快递行业前列, 在绿色包装实践方面具有行业代表性; 第二, 两家企业的绿色包装实践路径存在明显差异——京东物流侧重于供应链协同治理和平台化运营, 顺丰控股则侧重于技术研发创新和产品化路线, 便于进行对比分析和提炼差异化经验; 第三, 两家企业均有公开披露的 ESG 报告、社会责任报告和官方宣传材料, 数据可获取性强, 可支撑案例研究的资料收集。

3.2 数据来源

本研究的案例数据来源包括三类: 第一类是两家企业公开发布的 ESG 报告和官方宣传材料; 第二类是通过学术数据库检索获取的行业研究文献^[1-3]; 第三类是通过权威财经媒体和专业行业报告获取的公开信息。案例分析中涉及的所有数据均标注来源, 以确保研究结论的可追溯性。

3.3 分析框架

本文对两个案例围绕四个维度展开分析: (1) 供应链环节覆盖度——是否涵盖采购、生产、物流、回收全链条; (2) 技术创新应用——是否运用物联网、大数据等新兴技术; (3) 商业模式特征——轻资产 / 重资产等运营模式; (4) 环境效益表现——减量化成效、循环使用次数等指标。通过横向对比, 归纳共性与差异化策略。

4 绿色智能包装发展现状与问题分析

4.1 发展现状

近年来, 在政策与市场需求双重作用下, 我国绿色智能包装产业快速发展, 主要体现在材料创新、智能技术和政策支撑三个层面。

材料技术创新层面。以玉米淀粉、秸秆纤维为代表的生物降解材料技术日趋成熟, 成本持续下降。研究表明, 2023 年国内生物降解塑料产能突破 200 万吨, PLA、PBS 等主流生物降解材料的力学性能和加工性能持续改善。同时, 以蘑菇菌丝、海藻提取物等为代表的新型生物基材料不断涌现, 为绿色包装提供了更多元的材料选择。

智能技术应用层面。RFID 无线射频识别、二维码溯源、物联网传感等信息技术在包装领域的应用日益广泛。京东物流在部分产品线中引入智能包装解决方案, 通过 RFID 标签实现对包裹全程追踪与温湿度监控; 顺丰控股在内件包装中嵌入可追溯芯片, 实现快递全程可视化。研究表明, 智能包装技术的应用可显著提升供应链透明度和运营效率。

政策标准支撑层面。2020 年, 国家市场监管总局等八部门联合印发《关于加快推进快递包装绿色转型的意见》

(国办发〔2020〕62号),明确提出到2025年电商快件不再二次包装比例达到95%,可循环快递包装应用规模达1000万个。2023年,《快递包装重金属与特定物质限量》(GB 43352-2023)强制性国家标准正式实施,标志着快递包装行业进入规范化、标准化发展的新阶段^[9]。

4.2 存在的主要问题

尽管绿色智能包装发展势头良好,但当前仍面临以下问题。

第一,材料成本偏高制约规模化应用。生物降解材料价格普遍比传统塑料高30%~50%,加之智能标签附加成本,绿色智能包装综合使用成本缺乏足够经济竞争力,导致中小企业和终端卖家采购意愿不足,市场渗透率仍然较低。

第二,供应链协同程度较低。绿色智能包装产业链上下游信息共享和协同合作机制尚不健全,原材料供应、产品设计、生产制造、物流配送和回收处理等环节相对独立,缺乏有效整合与协调,供应链整体效率不高,库存积压和物流损耗较突出。

第三,回收体系亟待完善。快递包装末端回收是绿色供应链的关键环节,但目前回收网络覆盖面有限,公众参与回收积极性不高,加之回收后清洁、消毒和再加工成本较高,包装回收再利用经济可行性受到挑战。研究表明,目前我国快递包装实际回收率不足15%,远低于欧美发达国家40%以上水平^[2-3]。

第四,标准体系尚不健全。绿色智能包装涉及材料安全、智能技术、回收标准等多个维度,但目前国家层面的统一标准仍不完善,不同企业、不同地区之间的标准差异较大,在一定程度上制约了行业的规范化和规模化发展。

5 绿色智能包装供应链体系构建

5.1 体系框架与核心特征

基于前述理论与现状分析,本文提出构建“四位一体”的绿色智能包装供应链体系:绿色化(核心价值观)、智能化(技术支撑)、协同化(组织保障)、循环化(价值导向)。该体系以循环经济3R原则为基本遵循,以商业模式创新为核心驱动力,以智能信息技术为关键支撑,以多元主体协同为制度保障,形成覆盖包装全生命周期的完整供应链闭环。

体系的总体目标是:通过供应链各环节的优化整合与协同创新,实现绿色智能包装从原材料供应、产品研发、生产制造、物流配送到回收再利用的全链条高效运转,在保障包装功能的前提下,最大限度降低资源消耗和环境影

响,提升供应链的整体经济效益和社会效益。

5.2 供应商协同与原材料管理

原材料供应是供应链的起点,其质量与成本直接影响终端产品的市场竞争力。本文提出建立“核心供应商战略合作+备选供应商动态管理”的原材料采购模式:与3~5家技术领先、产能稳定的生物降解材料供应商签订长期战略合作协议,锁定优质货源并争取价格优惠;同时建立备选供应商名录,通过定期评估与动态调整机制,确保原材料供应的稳定性和可靠性。

在原材料管理方面,引入供应商管理系统(SRM),实现入库、质检、库存预警和财务结算信息化。同时建立原材料溯源档案,记录每批次材料来源、成分和检测数据,为质量追溯提供支撑。建议建立供应商绿色资质认证制度,将环保合规作为准入前置条件。

5.3 产品研发与设计创新

产品研发是供应链核心竞争力的源头。本文提出建立“市场需求驱动+高校科研支撑”的协同研发模式:一方面,通过对电商企业和物流企业的需求调研,精准把握市场对包装产品在防护性能、环保性能、智能功能和成本控制等方面的差异化需求;另一方面,依托高校科研平台,开展新型生物降解材料、低成本RFID标签嵌入技术等关键核心技术的攻关研究,加速科技成果向产业化应用转化。

在产品设计上,贯彻模块化与标准化理念。模块化设计可实现包装规格的可调节性,满足不同商品尺寸的适配需求,同时降低模具开发成本;标准化设计则有利于实现规模化生产,提高生产效率和材料利用率。参考欧洲包装标准化组织的经验,建议推广以40mm为基准模数的系列化包装尺寸体系,可将包装材料利用率提升15%~20%。顺丰包装实验室的实践证明,通过标准化设计可显著降低包装产品的单位成本,提升市场竞争力^[9]。

5.4 生产制造与质量控制

针对创业团队和中小企业资金有限的特点,本文提出“轻资产代工+核心工艺自控”模式:初期不自行建设生产线,而是通过优选具有环保资质的代工企业合作生产,团队专注于产品配方研发、质量标准制定等核心环节,有效降低初期固定资产投入,将资金优先用于市场拓展和产品研发。

在质量控制方面,建立覆盖原材料入库、生产过程和成品出库的全流程质量检验体系,涵盖物理性能、环保性能和智能功能等指标。通过质量数据实时采集与分析,及时发现并处理质量问题,确保产品符合标准与客户要求。

5.5 仓储物流与逆向回收

构建“区域中心仓 + 前置配送点”的两级仓储配送网络，在仓储管理中引入 WMS 系统，通过 RFID 批量识别技术实现整箱包装的快速入库与库存盘点。在配送环节优先选择新能源物流车辆，降低运输成本和碳排放。

逆向回收是实现包装循环利用的核心保障。本文设计三步走回收模式：用户通过小程序提交回收预约，快递员上门取件时同步回收；回收产品统一送至区域回收中心，经清洁、消毒和质检后按破损程度分类。该闭环设计可实现包装盒 5~8 次循环使用，单次使用成本降低 60% 以上。

6 典型案例分析

6.1 京东物流：供应链协同治理模式

京东物流于 2017 年发起“青流计划”，是国内最早系统推进绿色包装的头部企业之一。该计划涵盖绿色仓储、包装、运输和回收四大板块，截至 2023 年底，已累计节省纸箱约 130 亿个，减少一次性塑料超 10 万吨，相当于减碳约 25 万吨。

从供应链视角分析，京东物流的核心经验体现在三个层面：

供应链全链条绿色化改造。京东物流建立了覆盖采购、仓储、配送和回收全链条的绿色管理体系，将环保要求嵌入供应链的每个环节。具体而言，在采购环节，优先选用 FSC（森林管理委员会）认证的纸箱和可降解塑料包装材料；在仓储环节，推广使用可循环使用的托盘和周转箱，减少一次性包装的使用；在配送环节，通过算法优化配送路径，减少无效运输和碳排放。

供应商深度协同。京东物流通过与上游供应商的深度协同，推动供应链上游的绿色化改造。具体措施包括：联合供应商共同研发低克重高强度纸箱，在保证防护性能的前提下减少材料用量；推广电子面单替代传统纸质面单，使单均面单纸张使用量减少 60% 以上；建立包装材料回收激励机制，对积极参与回收的供应商给予订单优先权。

消费者参与机制创新。京东物流创新推出闲置纸箱捐赠和“纸箱换京豆”等激励机制，通过积分奖励的方式鼓励消费者将废旧纸箱交由京东回收再利用，有效提升了消费者的参与积极性。这一经验表明，绿色包装的推广不能仅靠企业单方面推动，需要构建“企业—平台—消费者”三方共赢的激励机制。

6.2 顺丰控股：技术研发创新模式

顺丰控股于 2019 年成立包装实验室，专注绿色智能包装研发与测试。该实验室集聚材料科学、包装工程和物

联网工程等多学科人才，已研发多款具有自主知识产权的绿色智能包装产品。

顺丰共享快递盒产品采用 PP 材质制造，可循环使用 50 次以上，单次使用成本较传统纸箱降低 40% 以上。这一案例验证了绿色智能包装在经济可行性上的潜力，为行业提供了可借鉴的技术路线与商业模式参考。

顺丰经验的另一个重要启示在于跨学科协作的必要性。绿色智能包装的研发涉及材料科学、电子工程、信息技术等多个学科领域，单一学科的知识储备难以支撑系统性的产品创新。顺丰包装实验室通过组建跨学科研发团队，实现了材料性能优化与智能功能嵌入的有机结合，为绿色智能包装的技术突破提供了组织保障。

6.3 两种模式的比较与启示

表1 京东物流与顺丰控股两种模式的比较

对比维度	京东物流 （协同治理模式）	顺丰控股 （技术研发模式）
核心驱动力	供应链协同与平台化运营	技术研发与产品化
覆盖环节	全链条（采购→仓储→配送→回收）	聚焦研发与生产环节
技术应用	侧重平台化和数据驱动	侧重材料与硬件创新
商业模式	轻资产平台化	重资产自主研发
适用范围	适合头部平台型企业	适合技术驱动型企业

上述比较表明，绿色智能包装供应链体系建设没有单一最优路径，企业应根据自身资源禀赋选择适合模式。平台型企业可借鉴京东物流协同治理思路，整合上下游资源；技术型企业可借鉴顺丰控股研发创新路线，通过核心技术突破构建差异化壁垒。

7 结论与启示

7.1 主要结论

本文基于供应链管理理论、循环经济理论和协同治理理论，采用多案例研究方法，系统研究了绿色智能包装盒供应链体系的构建路径，得出以下主要结论：

第一，构建覆盖研发、生产、运营、回收全链条的绿色智能包装供应链体系，是破解当前包装行业高污染、低效率、难循环困境的有效路径。京东物流和顺丰控股的实践均表明，供应链各环节的协同优化与信息共享，可显著提升绿色包装的整体效能，实现经济效益与环境效益的双赢。

第二，“轻资产运营 + 核心环节自控”的协同模式，特别适合资金和资源相对有限的创业团队和中小企业，有效降低了创业风险和进入门槛。

第三，RFID 溯源技术与生物降解材料的结合应用，是实现包装全生命周期智能化管控的关键技术路径。智能

信息技术不仅提升了包装的环保性能,还为 PaaS 订阅模式提供了技术基础,使绿色包装的商业可行性得到根本改善。

第四,多元主体协同治理是绿色包装循环经济发展的制度保障。政府、企业、技术机构和公众需要在责任界定、利益分配和行动协调等方面形成制度化安排。

7.2 对策建议

(1) 加强政策扶持与标准建设。建议政府进一步加大对绿色智能包装产业的财政补贴和税收优惠力度,同时加快制定统一的绿色包装材料标准和智能标签技术规范,为行业规范化发展提供制度保障。

(2) 深化产学研协同创新。鼓励高校、科研机构与包装企业建立联合实验室和创新联盟,聚焦低成本生物降解材料、低功耗 RFID 技术等关键瓶颈开展联合攻关,加速科技成果的转化应用。

(3) 构建多方共赢的商业生态。推动电商平台、物流企业、包装供应商和消费者等多元主体共同参与绿色包装推广,通过利益共享和责任共担机制,形成覆盖全社会的绿色包装协同治理格局。

(4) 培育公众绿色消费意识。通过媒体宣传、社区活动和校园教育等多种渠道,加强公众对快递包装废弃物环境危害的认识,引导消费者主动选择绿色包装并参与包装回收。

参考文献:

[1] You Z L, Hou G S. Research on the evolution of express packaging recycling strategy considering virtual incentives and heterogeneous subsidies[J]. Scientific Reports, 2023, 13: 8478.

[2] Chen S L, Chen Z Y. Influencing factors of consumers' participation in express packaging recycling: a questionnaire survey on the current situation of five provinces in China[J]. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2024, 26(3): 986-1000.

[3] Christopher M. Logistics and Supply Chain Management

[M]. 5th ed. London: Pearson Education, 2016.

[4] Srivastava S K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review[J]. International Journal of Management Reviews, 2007, 9(1): 53-80.

[5] Geissdoerfer M, Savaget P, Bocken N M P, et al. The Circular Economy - A new sustainability paradigm?[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 143: 757-768.

[6] Freeman R E. Strategic Management: A Stakeholder Approach[M]. Boston: Pitman Publishing, 1984.

[7] Chen S, Brahma S, Mackay J, et al. The role of smart packaging system in food supply chain[J]. Journal of Food Science, 2020, 85(3): 727-735.

[8] Wernet G, Bauer C, Steubing B, et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology[J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2016, 21(9): 1218-1230.

[9] Hauschild M Z, Rosenbaum R K, Olsen S I. Life Cycle Assessment: Theory and Practice[M]. Cham: Springer, 2018.

[10] European Commission. Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste[S]. Brussels: European Commission, 2018.

[11] ISO 14040:2006, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.

[12] ISO 14044:2006, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.

基金项目: 广东省大学生创新创业训练计划项目资助, 本项目名称为《物流高质量发展背景下绿色智能包装的供应链体系构建》, 项目号: S202313844003。