

# 基于循环经济的绿色智能包装创新模式研究

刘慧媛 朱明俊 洪树权

东莞城市学院, 中国·广东 东莞 523000

**摘要:** 快递包装废弃物的产生与低效处置已成为制约我国物流业高质量、可持续发展的重要瓶颈, 也与“双碳”目标和生态文明建设要求形成鲜明反差。本文以循环经济理论为核心分析框架, 严格采用生命周期评价(LCA)方法(依据 ISO 14040/14044 国际标准), 系统探讨绿色智能包装的创新发展模式与实施路径。研究首先从生命周期全视角, 系统分析快递包装废弃物的产生机理、资源消耗特征与环境负荷现状; 其次深入剖析当前我国绿色包装产业发展中的实践困境, 具体涵盖材料技术瓶颈、商业模式局限、回收体系缺失和消费者参与不足四个核心层面; 在此基础上, 创新性提出“材料创新—技术赋能—模式重构—制度保障”四位一体的循环经济发展路径。研究发现, 通过构建包装即服务(PaaS)订阅模式, 有机结合 RFID 物联网溯源技术与分布式回收网络, 能够有效实现包装废弃物的源头减量、过程管控和末端治理的有机统一, 最终形成兼具经济价值、社会价值与环境价值的可持续商业模式。最后, 从技术研发扶持、产业链协同、政策体系完善和公众参与引导四个维度, 提出针对性、可操作的对策建议, 为我国快递包装行业绿色转型提供理论支撑与实践参考。

**关键词:** 循环经济; 绿色智能包装; 生命周期评价; 包装即服务; 逆向物流; 快递包装废弃物

## Research on the Innovative Model of Green Intelligent Packaging from the Perspective of Circular Economy

Liu Huiyuan, Zhu Mingjun, Hong Shuquan

Dongguan City College, China Guangdong Dongguan 523000

**Abstract:** The massive generation and inefficient disposal of express packaging waste has become an important bottleneck restricting the high-quality and sustainable development of China's logistics industry, and also forms a sharp contrast with the "dual carbon" goals and the requirements of ecological civilization construction. Based on the analytical framework of circular economy theory, this paper systematically explores the innovative development model and implementation path of green intelligent packaging by strictly adopting the Life Cycle Assessment (LCA) method (in accordance with ISO 14040/14044 international standards). The study first systematically analyzes the generation mechanism, resource consumption characteristics and environmental burden status of express packaging waste from a full life cycle perspective; then deeply examines the practical difficulties in the development of China's green packaging industry, specifically covering four core aspects: material technology bottlenecks, business model limitations, lack of recycling systems and insufficient consumer participation; on this basis, it innovatively proposes a four-in-one circular economy development path of "material innovation—technology empowerment—model reconstruction—institutional guarantee". The research finds that by constructing the Packaging as a Service (PaaS) subscription model and organically combining RFID Internet of Things traceability technology with a distributed recycling network, it can effectively realize the organic unity of source reduction, process control and end-of-pipe treatment of packaging waste, and finally form a sustainable business model with economic, social and environmental values. Finally, from the four dimensions of technology R&D support, industrial chain collaboration, policy system improvement and public participation guidance, targeted and operable countermeasures and suggestions are put forward to provide theoretical support and practical reference for the green transformation of China's express packaging industry.

**Keywords:** Circular economy; Green intelligent packaging; Life cycle assessment; Packaging as a service; Reverse logistics; Express packaging waste

## 1 引言

### 1.1 研究背景

随着我国数字经济的快速发展和居民消费模式的转型

升级, 快递业作为连接生产与消费的重要桥梁实现跨越式发展, 已成为支撑国民经济增长的新兴战略性新兴产业。数据显示, 2023 年中国快递业务量达 1320 亿件, 连续多年位

居全球第一，业务收入突破 1.2 万亿元，从业人员超 300 万人<sup>[1]</sup>，既极大便利了群众生活，也有效促进了消费扩容与实体经济高质量发展。

但快递业高速增长背后，包装废弃物污染问题日益突出，成为行业可持续发展的“痛点”。据统计，我国每年产生快递包装废弃物总量达 1600 万吨，其中塑料类约 180 万吨、纸类超 1000 万吨，另有大量胶带、缓冲填充物等辅助材料<sup>[1-2]</sup>。更严峻的是，80% 以上为一次性使用，废弃后多被填埋、焚烧，既造成资源浪费，也带来多重环境压力。

传统包装材料的生产与处置进一步加剧环境负担：一次性塑料包装袋原料聚乙烯（PE）生产需消耗大量化石能源，碳排放强度达每吨 2.3 吨 CO<sub>2</sub> 当量；纸类包装则消耗大量木材，加剧森林资源压力<sup>[4]</sup>。传统塑料自然降解周期长达数百年，微塑料已广泛存在于土壤、水体中，威胁生态系统与人体健康<sup>[4]</sup>。同时，我国快递包装回收利用率不足 20%，远低于发达国家 50% 以上的水平，资源浪费与污染问题更为突出。

在“双碳”目标、生态文明建设和循环经济发展战略背景下，破解快递包装废弃物难题，推动行业向绿色化、智能化、循环化转型，成为我国物流业高质量发展的迫切任务，也是践行绿色发展理念的必然要求。

## 1.2 研究目的与创新点

当前国内外学者对绿色包装的研究多集中于单一维度，缺乏系统性框架，难以解决行业综合性困境。本文研究目的是：以循环经济理论为指导，结合生命周期评价方法，系统分析快递包装废弃物环境负荷与产生机理，剖析绿色智能包装推广困境，构建科学可行的创新模式，为行业绿色转型提供系统性解决方案。

本文创新点主要有三：一是方法创新，引入 LCA 方法并严格遵循 ISO 14040/14044 标准，量化对比不同包装全生命周期碳排放，弥补现有研究定性为主的不足；二是框架创新，构建“材料创新—技术赋能—模式重构—制度保障”四位一体框架，整合四大核心要素形成协同体系；三是路径创新，将 PaaS 订阅模式与 RFID 溯源技术深度融合，结合分布式回收网络，破解绿色包装“环保不经济”难题。

## 2 理论基础与分析框架

### 2.1 生命周期评价理论与包装环境负荷

生命周期评价（LCA）是系统化、标准化的环境影响评价方法，核心是从产品全生命周期（原材料开采、生产制造、运输配送、使用消费、废弃处置）评估其环境影响，

为可持续决策提供依据。ISO 14040/14044 标准明确其四大核心阶段：目标与范围定义、生命周期清单分析（LCI）、生命周期影响评价（LCIA）、结果解释，确保评价科学性与可比性。

本文将 LCA 方法应用于快递包装环境效益评价，选取传统瓦楞纸箱、生物降解塑料包装和绿色智能包装盒三种方案，设定如下：功能单位为“单个快递包装”；系统边界涵盖原材料生产、运输配送、使用后处置，采用“摇篮到坟墓”设定；数据来源于中国生命周期基础数据库（CLCD）、Ecoinvent 数据库及行业平均数据；循环使用方案采用“功能单位分配法”，按使用次数分摊环境负担，确保评价合理。

LCA 方法的应用，可全面识别包装全生命周期资源消耗与环境影响，明确不同方案的优劣，为绿色包装材料选择和模式优化提供精准定量依据。

### 2.2 循环经济 3R 原则与包装治理

循环经济以资源高效利用和循环利用为核心，以“减量化、再利用、再循环”（3R 原则）为准则，目标是实现资源闭环流动，实现经济与生态协同发展<sup>[4]</sup>，为快递包装废弃物治理提供明确行动框架。

减量化（Reduce）是首要原则，核心是源头减少包装材料使用，主要途径包括推广简约包装、标准化设计、“无包装”试点等，从根本上降低废弃物产生。再利用（Reuse）强调延长包装使用周期，通过设计可循环包装（如菜鸟可循环快递盒，平均使用 50 次以上），替代一次性包装，其全生命周期碳足迹可降低 60% 以上<sup>[4]</sup>。再循环（Recycle）旨在实现材料闭环，通过完善分类回收体系和再生产产业链，形成“回收—加工—再利用”的闭环，提升资源利用率。

### 2.3 商业模式创新与 PaaS 模式

商业模式创新理论认为，企业商业模式是创造、传递和获取价值的核心逻辑，通过重构价值主张和网络，可实现商业与环境价值统一。传统绿色包装商业模式以“销售产品”为核心，企业经济利益与环保目标脱节，难以推动循环利用。

包装即服务（PaaS）模式是基于循环经济的新型模式，核心逻辑是：包装企业不出售包装所有权，而是向客户提供全流程包装使用服务，按使用次数或周期收费。企业负责包装生产、配送、回收等全流程，客户无需承担相关成本与风险。该模式将企业经济利益与环保目标绑定，通过提高包装循环次数降低成本，实现“环保与经济

双赢”。

### 3 绿色智能包装的创新实践与现实困境

#### 3.1 国内外创新实践

近年来,国内外绿色智能包装在材料、技术、商业模式上涌现出诸多创新实践。材料创新方面,荷兰研发水基涂层纸包装、英国推出海藻可食用包装;国内浙江大学研发秸秆基缓冲材料,蘑菇菌丝基材料也逐步产业化。

智能技术应用方面,RFID 技术实现包装全程数字化管理,菜鸟网络部署 RFID 回收设备,京东物流推出智能包装管理系统,大幅提升循环效率与作业效率。商业模式创新方面,美国 Loop 公司推出可循环包装订阅服务,国内顺丰等企业开展 PaaS 模式试点,有效降低客户成本并减少废弃物。

#### 3.2 推广面临的主要困境

绿色智能包装推广仍面临四大困境:一是材料性能与成本矛盾突出,生物降解材料(PLA、PBS等)性能不及传统塑料,成本却是其1.5~2倍,市场竞争力不足;二是商业模式不成熟,PaaS模式前期投入大、回收成本高,客户使用习惯难以转变,试点项目多未实现盈亏平衡<sup>[2]</sup>;三是回收体系碎片化,主体分散、标准缺失、渠道不完善,回收利用率不足20%;四是消费者参与意愿低,仅35%的消费者会分类投放包装<sup>[2]</sup>,主要因回收不便、认知不足。

## 4 循环经济视角下的创新模式构建

### 4.1 四位一体模式框架

本文提出“材料创新—技术赋能—模式重构—制度保障”四位一体绿色智能包装循环经济模式,以3R原则为遵循,以商业模式创新为核心,以智能技术为支撑,以多元协同为保障,覆盖包装全生命周期,破解推广困境。

四者内在逻辑紧密:材料创新是基础,解决“用什么装”;技术赋能是关键,解决“如何管”;模式重构是核心,解决“谁来买单”;制度保障是支撑,解决“如何协同”,共同构成完整生态体系。

### 4.2 材料创新:从源头实现减量化

材料创新是源头减量的根本,重点推进三类材料研发应用:一是低成本生物降解材料,以玉米淀粉、秸秆纤维等为原料,通过工艺优化提升性能,扩大产能降低成本,预计产能达50万吨/年时价格可与传统塑料持平;二是高强度可循环复合材料,复合纸基与可降解塑料,兼顾性能与可回收性,适配中高端场景;三是智能感知响应材料,嵌入温敏、湿敏材料,实现内容物状态监测,提升中高端场景附加值。

### 4.3 技术赋能:RFID与物联网追溯体系

RFID技术是包装全生命周期管理的核心,构建“一盒一码”溯源体系:每个绿色智能包装盒植入唯一RFID标签,关联云端数据库,记录全生命周期信息;消费者扫码可查看包装相关信息,提升接受度。

RFID数据可用于优化配送路径、建立包装使用画像、构建逆向物流调度模型,结合大数据、人工智能技术,进一步提升供应链效率与环保水平。

### 4.4 模式重构:包装即服务订阅体系

优化完善PaaS订阅体系,核心逻辑是包装企业提供全流程服务,客户按需求订阅付费,实现多方共赢:客户降低成本与风险,提升ESG表现;供应商获得稳定收入,实现可持续发展;环境层面减少废弃物与资源浪费。

设计三级定价体系:基础版按次计费,适配小型客户;标准版月/季/年包,适配中型客户并提供折扣;定制版针对高端客户,提供增值服务,提升附加值。

### 4.5 制度保障:多元主体协同治理机制

构建“政府引导、企业主体、技术支撑、公众参与”协同机制:政府完善法规标准、建立EPR制度、加大政策支持、强化监管;企业组建产业联盟、加大研发、搭建回收共享平台;公众层面建立积分激励、完善回收终端、加强科普宣传,提升参与积极性。

## 5 绿色智能包装的环境效益评价

### 5.1 生命周期碳排放对比分析

遵循ISO 14040/14044标准,以单个快递包装为功能单位,对比三种方案全生命周期碳排放:传统瓦楞纸箱合计约0.45 kg CO<sub>2</sub>当量;生物降解塑料包装约0.37 kg CO<sub>2</sub>当量,较传统降低18%;绿色智能包装盒(循环5次)单次约0.13 kg CO<sub>2</sub>当量,较传统降低71%、较生物降解降低65%,环境效益最突出。

### 5.2 综合效益分析

绿色智能包装兼具资源节约、污染削减与经济社会效益:资源节约方面,若10%快递采用该包装,每年可节约纸浆650万吨,保护约9.4万公顷森林<sup>[3]</sup>;污染削减方面,可减少50%以上塑料包装填埋量,降低微塑料与大气污染风险<sup>[4]</sup>;同时带动相关产业发展,创造就业岗位,推动产业升级。

## 6 结论与展望

### 6.1 研究结论

本文得出四点核心结论:一是绿色智能包装是行业绿色转型必由之路,环境效益显著且经济可行性将逐步提

升；二是四位一体模式为绿色智能包装发展提供系统化框架，破解各类困境；三是 PaaS 模式破解“环保不经济”难题，实现多方共赢，有望成为核心商业模式；四是多元主体协同治理是重要保障，需明确各方责任、完善协同机制。

## 6.2 政策建议

基于研究结论，提出四点政策建议：一是完善标准与认证体系，明确技术要求，建立认证制度；二是创新财政金融支持，设立专项基金，提供补贴与绿色信贷；三是开展试点示范，选取重点城市与园区试点，总结经验后推广；四是加强科普引导，多平台宣传，培育绿色消费与回收风尚。

## 6.3 研究展望

未来研究可从三方面深化：一是建立精细化包装生命周期碳足迹数据库，提升 LCA 分析精准度；二是开展 PaaS 模式实证研究，验证其可行性与可持续性；三是探索人工智能、大数据在包装供应链优化中的深度应用，推动行业向更高水平发展。

## 参考文献：

[1] Zhang S, Hou H M, Wang G Z, et al. Exploring the metabolic characteristic of express packaging waste to promote the synergy of pollution and carbon reduction[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2024, 106: 07523.

[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: 986.

[3] 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.

[4] 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.

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

[6] ISO 14044: 2006, *Environmental Management – Life*

*Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.

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

[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] 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.

[10] Bocken N M P, Short S W, Rana P, et al. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 65: 42–56.

[11] Pieroni M P P, McAloone T C, Pigosso D C A. Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 215: 1260–1269.

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

[13] 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.

[14] Christopher M. *Logistics and Supply Chain Management* [M]. 5th ed. London: Pearson Education, 2016.

[15] 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.

[16] Teece D J. Business models, business strategy and innovation[J]. *Long Range Planning*, 2010, 43(2–3): 172–194.

[17] European Bioplastics. *Biodegradable plastics market data*[R]. Brussels: European Bioplastics, 2023.

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盒的供应链体系构建》，项目号：S202313844003。