 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.11162

Path Analysis of Resource Utilization of Solid Waste in Urban Old Renovation Based on Full Life Cycle

Guang Yue

Shandong Vocational College of Science and Technology, Weifang, Shandong, 261000, China

Abstract

Against the backdrop of urban renewal, the conflict between the surge in construction solid waste and environmental pressure has become prominent. This paper adopts the Life Cycle Assessment (LCA) method to systematically analyze the environmental and economic impacts across various stages from waste generation, transportation, treatment to recycled application. Key resource utilization pathways are proposed, including source reduction, classified transportation, efficient treatment, and application of recycled products. The research indicates that full life cycle management can significantly enhance the resource utilization rate and reduce carbon emissions. This study holds significant practical value for optimizing engineering management, promoting the circular economy, and achieving sustainable urban development, providing theoretical support for relevant policy formulation.

Keywords

urban old renovation; solid waste; full life cycle; resource utilization; engineering management

基于全生命周期的城市旧改固体废弃物资源化利用路径分析

岳光

山东科技职业学院，中国·山东 潍坊 261000

摘　要

城市更新背景下，建筑固体废弃物激增与环境压力矛盾凸显。本文采用全生命周期评价方法，系统分析废弃物从产生、运输、处理到再生应用各阶段的环境与经济影响。提出源头减量、分类运输、高效处理及再生产品应用等关键资源化路径。研究表明，全生命周期管理能显著提升资源化率，降低碳排放。该研究对优化工程管理、推动循环经济及实现城市可持续发展具有重要实践意义，为相关政策制定提供理论支撑。

关键词

城市旧改；固体废弃物；全生命周期；资源化利用；工程管理

1 绪论

1.1 研究背景

随着我国城镇化进程加快，城市发展已进入"存量更新"阶段。旧改项目产生的建筑固体废弃物数量巨大，传统填埋方式不仅占用宝贵土地资源，还造成严重环境污染，资源化利用势在必行。

1.2 研究意义

从工程管理角度，分析废弃物资源化对降低工程成本、缩短工期的价值；从技术角度，探讨再生材料应用对建筑质量的保障，实现经济效益与环境效益双赢。

1.3 研究内容

明确本文基于全生命周期理论，构建废弃物管理流程，分析关键节点技术与管理策略，旨在提出系统性解决方案，为行业提供参考。

【作者简介】岳光（1988–），中国山东高密人，讲师，从事工程管理、建筑工程技术研究。

2 城市旧改固体废弃物产生特征与管理现状

2.1 废弃物产生特征分析

结合旧改工程特点，废弃物主要成分为混凝土块、砖瓦、金属及木材等。旧改废弃物具有分布分散、成分复杂、含杂率高等特征，增加了处理难度。不同结构类型建筑产生的废弃物比例差异显著，具体见表 2-1。

表 2–1 不同结构类型建筑废弃物成分比例对比表

结构类型	混凝土块 (%)	砖瓦 (%)	金属 (%)	木材 (%)	其他 (%)
砖混结构	30-40	40-50	3-5	5-8	5-10
框架结构	60-70	10-20	5-8	3-5	5-10
钢结构	20-30	5-10	40-50	5-10	10-15

2.2 现行管理模式及问题

当前多采用"产生 - 运输 - 填埋"的线性管理模式。存在的问题包括：源头分类缺失导致后续处理成本高，混合垃

圾难以高效分选；运输过程监管不到位造成遗撒和二次污染，扰乱城市交通；再生产品市场认可度低，消纳渠道不畅，导致资源化率低，大部分仍流向填埋场，浪费资源。

2.3 资源化利用的制约因素

制约因素主要体现在三方面：一是技术标准缺失，再生材料性能不稳定，设计规范不完善，设计师不敢用；二是经济激励不足，处理成本高而收益低，企业缺乏动力，市场机制失灵；三是管理协同性差，产生、运输、处理各环节脱节，信息不透明，难以形成闭环管理。此外，环境监管力度不足，非法倾倒现象时有发生。

3 基于全生命周期的废弃物资源化理论框架

3.1 全生命周期评价（LCA）边界界定

定义本研究的生命周期边界：涵盖旧建筑物拆除、废弃物现场分拣、物流运输、工厂化加工、再生产品制造及工程回用全过程。排除原材料开采阶段，聚焦于废弃物产生后的管理流程。明确各阶段输入输出关系，确保评价结果的准确性与可比性，为后续路径分析奠定基础。全生命周期评价系统边界如图 3-1 所示。

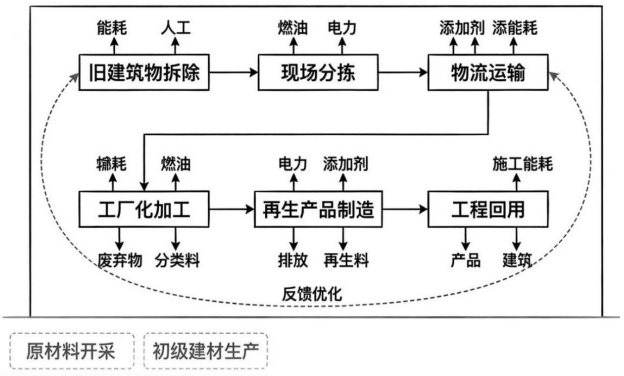


图 3–1 全生命周期评价系统边界图

3.2 资源化流程模型构建

构建 " 源头控制 - 过程管理 - 末端利用 " 的闭环流程模型。强调各阶段的信息流与物质流协同，引入 BIM 技术辅助废弃物量化管理，实现数据共享与流程优化。模型强调反馈机制，末端应用数据反馈至源头，指导拆除方案优化，形成持续改进的管理闭环。

3.3 评价指标体系

建立包含环境负荷（碳排放）、经济效益（处理成本）、资源效率（再生率）的综合评价指标，为路径选择提供量化依据。通过权重分析，确定各阶段关键控制点，指导工程实践。指标体系需兼顾宏观政策目标与微观企业利益，确保方案的可落地性与推广价值。在 LCA 方法应用上，采用 ISO14040 标准，确保科学性。目前 77% 的中国 LCA 研究采用国外影响评价方法，存在指标及基准值亟须更新、模型系统性和完整性需加强等问题 [1]。全生命周期评价指标体系详见表 3-1。

综合评价指标计算公式如下：

$$S=\sum_{j=1}^{m}(w_j\times N_j)$$

$$N_j=\frac{X_j-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}}$$

式中：S 为综合评价得分；w_j 为第 j 项指标权重；N_j 为第 j 项指标标准化值；X_j 为第 j 项指标实际值；X_{max}、X_{min} 为指标最大值和最小值。

碳排放总量计算公式：

$$E_{total}=\sum_{i=1}^{n}(E_i\times EF_i)$$

式中：E_{total} 为全生命周期碳排放总量（t CO_2-eq）；Ei 为第 i 阶段能源消耗量（GJ 或 kWh）；EF_i 为第 i 阶段碳排放因子（t CO_2-eq/GJ）；n 为生命周期阶段数。

资源化率计算公式：

$$R=\frac{M_{recycled}}{M_{total}}\times 100\%$$

式中：R 为资源化率（%）；$M_{recycled}$ 为资源化利用废弃物量（t）；M_{total} 为废弃物产生总量（t）。

表 3–1 全生命周期评价指标体系

一级指标	二级指标	计算方法 / 单位	权重	指标说明
环境负荷 (0.60)	碳排放量	t CO_2-eq	0.35	全生命周期温室气体排放总量
	能耗	GJ	0.15	各阶段能源消耗总量
	污染物排放	kg	0.10	SO_2、NOx、粉尘等排放量
经济效益 (0.25)	处理成本	元 /t	0.15	单位废弃物处理费用
	运输费用	元 /t · km	0.10	单位运输距离费用
	再生产品收益	元 /t	0.05	再生材料销售收入
资源效率 (0.15)	材料回收率	%	0.05	废弃物回收利用比例
	天然材料替代率	%	0.05	再生材料替代天然材料比例

4 固体废弃物资源化利用关键路径与实施策略

4.1 源头减量与分类路径

技术层面：推广机械化拆除与现场预分拣技术，利用移动破碎设备减少外运量，降低运输成本。采用智能识别技术辅助分类，提高纯度。

管理层面：在工程策划阶段编制废弃物管理计划，实

施分类堆放与计量考核。将废弃物减量指标纳入施工单位绩效考核，激励源头控制。在源头分类中，应制定详细的分类标准，区分惰性废物与非惰性废物，确保后续处理效率。

4.2 高效运输与物流优化

规划专用运输路线，避开交通高峰，采用封闭式运输车辆防止遗撒。利用物联网技术建立运输监管平台，实现轨迹追踪与调度优化，降低物流碳排放。建立区域中转站，减少长距离运输，优化物流网络。运输环节需结合城市交通状况，利用大数据预测路况，实现动态调度，减少空驶率。

运输碳排放计算公式：

$$E_{transport}=\sum_{k=1}^{p}(D_k\times M_k\times EF_{transport})$$

式中：$E_{transport}$ 为运输阶段碳排放（t CO_2-eq）；D_k 为第 k 次运输距离（km）；M_k 为第 k 次运输质量（t）；$EF_{transport}$ 为运输碳排放因子（t CO_2-eq/t·km）。

4.3 再生处理关键技术

介绍多级破碎、筛分及除杂工艺，确保骨料级配合理。重点阐述再生骨料强化技术，如机械研磨去除旧砂浆、化学改性增强界面粘结，以提升再生混凝土的力学性能，满足结构或非结构构件要求。开发高性能再生建材，提升产品附加值。处理技术方面，需研发低成本强化工艺，解决再生骨料吸水率高的问题，确保材料稳定性。不同再生骨料强化技术对比如表 4-1 所示。

经济效益计算公式：

$$B=R_{income}-(C_{treatment}+C_{transport}+C_{operation})$$

式中：B 为净经济效益（元）；R_{income} 为再生产品销售收入（元）；$C_{treatment}$ 为处理成本（元）；$C_{transport}$ 为运输成本（元）；$C_{operation}$ 为运营管理成本（元）。

4.4 再生产品应用场景拓展

工程应用：推荐用于道路基层、透水砖、非承重墙体等，逐步向结构构件拓展。政策与市场：建议政府强制采购再生产品，建立绿色建材认证体系，通过税收优惠激励施工单位使用再生材料。加强宣传，消除市场偏见，培育稳定需求。应用场景上，可结合海绵城市建设，推广再生透水材料，扩大市场消纳能力。再生产品具体应用场景及性能参数见表 4-2。

表 4–1 再生骨料强化技术对比表

技术类型	强化原理	强化效果	成本水平	适用场景	技术成熟度
机械研磨	去除旧砂浆，改善表面特性	吸水率↓ 15-20%，压碎指标↓ 10-15%	中	大规模处理厂，普通再生骨料生产	成熟
化学改性	增强界面粘结，填充微裂缝	强度↑ 20-30%，耐久性↑ 25%	高	高性能再生混凝土，重要工程	较成熟
碳化处理	CO_2 矿化养护，生成碳酸钙	密度↑ 10-15%，碳化深度↓ 30%	中	环保要求高项目，固碳需求	发展中
聚合物浸渍	填充孔隙，形成保护膜	耐久性↑ 25%，抗冻性↑ 40%	高	特殊工程，恶劣环境应用	较成熟
生物矿化	微生物诱导碳酸钙沉淀	强度↑ 15-20%，环保性好	中高	绿色建材，示范项目	研发阶段

表 4–2 再生产品应用场景及性能参数表

产品类型	应用场景	再生骨料掺量	主要性能指标	执行标准	市场成熟度
再生路基材料	道路基层、底基层	70-100%	压实度≥ 93%，CBR 值≥ 80%	CJJ/T 247-2016	成熟，广泛应用
再生透水砖	人行道、广场、海绵城市	60-80%	透水系数≥ 0.1mm/s，抗压强度≥ Cc30	JC/T 945-2005	较成熟，推广中
再生砌块	非承重墙体、隔墙	50-70%	强度≥ MU5.0，密度≤ 1400kg/m³	GB/T 25779-2010	成熟，应用广泛
再生混凝土	结构构件（梁、板、柱）	30-50%	强度≥ C30，坍落度 180±20mm	GB/T 51254-2017	发展中，示范应用
再生砂浆	砌筑、抹灰砂浆	40-60%	强度≥ M10，保水率≥ 88%	GB/T 25181-2019	较成熟，逐步推广
再生景观材料	路缘石、树池、花坛	80-100%	抗压强度≥ Cc40，抗冻性≥ D50	CJ/T 506-2017	成熟，应用广泛

由表 4-2 可知，再生路基材料、再生砌块和再生景观材料技术成熟度高，已大规模应用；再生透水砖结合海绵城市建设需求，市场前景广阔；再生骨料混凝土力学性能、抗冻性及抗碳化性整体弱于普通混凝土，但可满足护坡工程等性能要求 [2]。再生混凝土和再生砂浆作为结构材料，正处于示范推广阶段，需进一步完善技术标准和工程实践。建筑废弃物升级回收研究中，再生混凝土废弃物是主要研究对象，物理加工是最常用的升级回收方法 [6]。建议优先推广成熟产品，同时加强高性能再生建材的研发与应用。

4.5 全过程协同管理机制

构建建设单位主导，施工、运输、处理企业协同的利益共享机制。引入第三方监管，确保全生命周期数据真实可追溯。建立信息管理平台，实现各环节数据互通，提升管理效率，确保资源化路径顺畅实施。协同机制中，应明确各方责任边界，建立风险分担机制，确保合作稳定。

利益共享与风险分担机制如表 4-3 所示，明确各方在利益分配和风险承担中的权重关系。

表 4–3 利益共享与风险分担表

参与方	风险分担	利益共享	说明
建设单位	40%	35%	承担主要投资责任，享受政策红利
施工单位	25%	30%	承担现场管理责任，获得成本节约
运输企业	15%	15%	承担运输安全风险，获得稳定业务
处理企业	20%	20%	承担技术和市场风险，获得处理收益

通过建立合理的利益共享与风险分担机制，实现各方共赢，推动资源化利用可持续发展。

5 结论与展望

5.1 主要结论

总结全生命周期管理能显著提升废弃物资源化率，降低环境负荷。明确源头分类与再生骨料强化技术是核心路径，能有效提升再生材料性能。提出工程管理与技术集成是实现目标的关键，需多方协同配合。

5.2 不足与展望

指出本文在再生材料长期耐久性数据方面的局限，缺乏大规模工程实证。展望未来结合大数据与人工智能，实现废弃物智能化管理与精准匹配，优化资源配置。推动城市旧改绿色可持续发展，构建无废城市，为行业转型提供新思路。

参考文献

[1] 谢明辉, 王洪涛, 刘滨, 等. 生命周期影响评价方法及其在我国本地化研究进展[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(3): 891-900. DOI:10.12153/j.issn.1674-991X.20210544

[2] 常洪雷, 王起才, 张戎令, 等. 再生骨料混凝土用于护岸工程的可行性研究[J]. 材料导报, 2020, 34(S2): 206-211. DOI: 10.11896/cldb.20070127

[3] 张名杰，郭志光，赵铁军. 再生骨料混凝土性能研究[J]. 中国粉体技术, 2015, 21(4): 78-82. DOI: 10.13732/j.issn.1008-5548.2015.04.019

[4] 黄祖坚, 刘加平. 建筑全生命周期碳排放：内涵、计算与减排[J]. 工程, 2024, 10(1): 45-56. DOI: 10.1016/j.eng.2023.08.019

[5] 李雪迎, 刘征, 张颖, 等. 我国终点型生命周期影响评价模型及基准值初步研究[J]. 环境科学研究, 2021, 34(9): 2145-2154. DOI:10.13198/j.issn.1001-6929.2021.08.05

[6] CHEN Y, ZHANG Z, WANG J, et al. Life cycle assessment of construction and demolition waste upcycling: A critical review of studies from 2010 to 2025[J]. Developments in the Built Environment, 2025, 21: 100685. DOI:10.1016/j.dibe.2025.100685