

基于系统动力学的建筑废弃物供应链合作研究

龙泓宇*

四川大学锦江学院 智能建造学院

DOI:10.32629/eep.v8i11.2982

[摘要] 建筑废弃物闭环供应链的高质量发展有利于提高建筑废弃物资源化率并实现建筑行业绿色发展,其中,供应链主体合作行为发挥重要作用。为研究建筑废弃物资源化供应链主体合作行为的影响因素,首先运用系统动力学从经济效益、环境效益、社会效益三维度识别出主要影响因素,再利用熵权法和障碍度模型分析出关键影响因素。主要研究结论为:(1)主要因素共11个,包括政府监管力度、非法倾倒单位罚款、回收利用意识等。(2)关键因素共3个,包括回收利用意识、资源化单位补贴和非法倾倒单位罚款。

[关键词] 建筑废弃物资源化; 供应链管理; 主体合作行为; 系统动力学

中图分类号: F416.9 **文献标识码:** A

Research on Cooperation in Construction Waste Supply Chain Based on System Dynamic

Hongyu Long*

School of Intelligent Construction, Sichuan University Jinjiang College

[Abstract] The development of a high-quality closed-loop supply chain for construction waste contributes to green development in the construction industry and increases the resource recovery rate for construction waste. Supply chain entities' cooperative behavior is crucial. First, dynamics are used to identify the main influencing factors from the three dimensions of economic benefits, environmental benefits, and social benefits in order to study the influencing factors of cooperative behavior in the construction waste resource recovery supply chain. Next, the entropy weight method and the obstacle degree model are used to analyze the critical influencing factors. The main research conclusions are as follows: (1) There are 11 main factors, including government supervision intensity, fines for illegal dumping units, and recycling awareness. (2) There are 3 key factors, including recycling awareness, subsidies for resource recovery units, and fines for illegal dumping units.

[Key words] Resource recovery of construction waste; Supply chain management; Collaborative behavior of stakeholders; System dynamics

资源化被认为是处理建筑废弃物的最好方式。虽然现阶段资源化试点城市的资源化率能达到40%,但发达国家建筑废弃物资源化率已超过90%^[1]。建筑废弃物闭环供应链的高质量发展有利于提高建筑废弃物资源化利用率并实现建筑行业绿色发展。其中,作为供应链主体,生产单位和回收单位的合作行为对供应链高质量发展起着至关重要的作用。然而,目前供应链主体合作效果相对较差。我国建筑废弃物资源化强制型政策占总体的49.8%、激励型政策为40.6%、自愿型政策为9.6%^[2],强制性政策远多于自愿型政策。供应链主体缺乏内驱力积极参与资源化合作,因此政府只能强制干预。为促进供应链主体合作,识别建筑废弃物资源化供应链主体合作行为决策的影响因素成为基础性工作。

1 模型构建

1.1 数据收集

建筑废弃物管理可以从经济角度、社会角度和环境角度影响社会。本文系统动力学模型中主要参数和函数的收集采用文献调研,具体步骤如下:首先,进行建筑废弃物资源化影响因素全面的检索,通过检索论文标题、摘要、关键词,主要涵盖了“系统动力学”、“经济、社会和环境因素”以及“建筑”、“拆除”、“废物”,提取目标文献并进行初步筛选。第二步,通过整理分析得到模型主要参数和函数^[3-5]。

1.2 存量模型

本文以各供应链主体视角将建筑废弃物管理分为环境效益、经济效益和社会效益三个子系统,其具体分析如下:

1.2.1 本文主要考虑能源消耗和温室气体排放的影响。建筑废弃物资源化整个过程中运输和机械设备使用都会消耗大量的

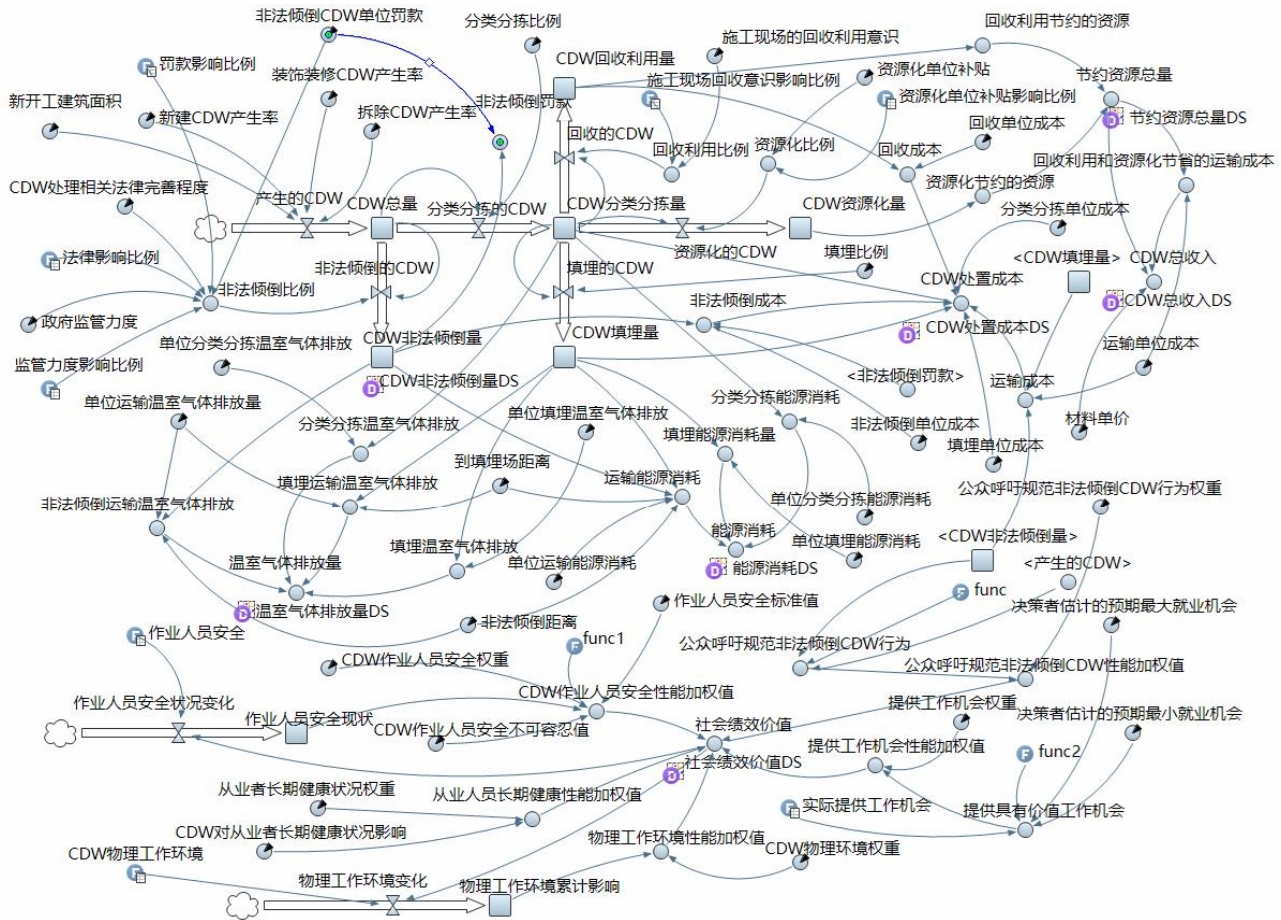


图 1 系统动力学模型

燃油、电能等能源并排放温室气体,具体包括非法倾倒运输和填埋运输时消耗的能源以及分类分拣和填埋时的机械设备使用时消耗的能源。能源消耗中会排放温室气体,具体有非法倾倒运输和填埋运输中消耗能源而排放温室气体、分类分拣以及填埋过程中由于使用机械设备消耗能源而排放温室气体。

1.2.2 供应链主体作出相关决策时经济效益是供应链主体决策时首要考虑因素。因此,本文主要考虑建筑废弃物资源化过程中涉及到的各项成本以及可能获得的收入两方面,具体包括非法倾倒成本、非法倾倒罚款、分类分拣成本、填埋成本、运输成本、回收成本、节约资源收益、运输节约收益等,并将这些影响因素作为经济效益的评估子系统。由于可资源化建筑废弃物种类较多但回收机制不同,考虑混凝土在建筑废弃物中产量最多,因此本文以商品混凝土为例进行研究。

1.2.3 本文考虑了供应链主体在建筑废弃物处理过程中对社会的绩效表现,主要包括作业人员安全、健康、工作环境、工作机会和公众意愿等五个方面,其中健康特指建筑废弃物对从业人员呼吸道疾病的影响,而安全则主要涉及噪音安全问题。

基于上述分析,本文利用Anylogic软件建立影响建筑废弃物资源化供应链主体合作行为系统动力学模型,如图1所示。

1.3 敏感性分析

表1 主要因素

维度	指标体系	编号	内涵
环境效益	政府监管力度	A ₁	政府对建筑废弃物非法倾倒行为的监督管理程度
	非法倾倒单位罚款	A ₂	政府根据相关规定对非法倾倒建筑废弃物的企业进行一定金额的处罚
	回收利用意识	A ₃	供应链主体对建筑废弃物进行回收和再利用的意识和观念
	资源化补贴	A ₄	政府或相关机构为鼓励和支持建筑废弃物的资源化利用而提供的经济支持
	到填埋场距离	A ₅	施工现场到最近废弃物填埋场之间的距离
经济效益	运输单位成本	B ₁	建筑废弃物运输的资金投入
	材料单价	B ₂	本文特指商品混凝土单价
	填埋成本	B ₃	废弃物进行填埋处理的费用
	非法倾倒单位成本	B ₄	废弃物进行倾倒产生的费用
社会效益	建筑废弃物对从业者长期健康状况影响	C ₁	在建筑废弃物从产生到处置完毕的全生命周期过程中排放的 SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ 等污染物对呼吸道疾病的影响
	作业人员安全标准值	C ₂	保护作业人员在建筑工地上安全而设定的一些参考数值或限制条件

基于建筑废弃物资源化供应链主体合作行为系统动力学模型,再利用Anylogic中的敏感性分析实验,从环境效益、经济效益和社会效益3个维度识别出影响建筑废弃物资源化供应链主体合作的11个主要因素,如表1所示。

1.4 关键因素分析

本文以施工单位为调研对象,基于识别出的11个主要因素进行了问卷设计。通过问卷调研获取213份有效问卷。本文样本数据效度为0.7且巴特利特显著性水平为0,该组数据适用于因子分析。

为了进一步探讨各个维度和指标对建筑废弃物资源化供应链主体合作行为的影响,本文首先引入熵权法确定各指标权重,再利用障碍度模型分析影响建筑废弃物资源化供应链主体合作行为的障碍因子及其影响程度,找出制约供应链主体合作的关键因素。障碍度模型包括三个部分:因子贡献度、指标偏离度和障碍度。

2 建筑废弃物资源化供应链主体合作分析

根据建筑废弃物资源化供应链主体合作行为特点和指标体系构建准则,并考虑了数据的可得性,建立了影响建筑废弃物资源化供应链主体合作指标体系。评价指标体系包括3个准则层、11个指标层。根据指标的标准化数据,利用熵权法计算各指标的权重。回收利用意识、资源化补贴、材料单价和非法倾倒单位罚款占据较大的权重,应重点关注并对其进行改善。

根据测量出的各次级指标障碍度,回收利用意识(A3)的障碍程度最高,障碍度的平均值为19.03%;其次是资源化补贴(A4),其平均障碍度为16.30%;第三是非法倾倒罚款(A2),平均障碍度为12.06%。因此,促进建筑废弃物资源化供应链主体合作行为研究可以采取以下措施。

2.1 提高各供应链主体建筑废弃物资源化利用意识

从“被动参与”到“主动合作”的观念转变。开展分层、精准的宣传教育,普及建筑废弃物资源化的意义。政府牵头“进工地、进企业、进高校”系列公益培训,增强其参与合作的信心。

2.2 优化资源化补贴政策

补贴能降低资源化处理的相对成本,确保参与合作的企业能获得稳定收益。精准补贴处理环节,从“单一补贴”到“全链条激励”的合作驱动。创新补贴方式与对象,补贴向上游延伸,

与产业链上下游更多供应链主体建立协同联动。

2.3 加强非法倾倒罚款

罚款旨在大幅提高非法倾倒行为的成本和风险,迫使各方选择合法的合作路径。建立连带责任与信用惩戒体系,一旦发现非法倾倒,不仅重罚运输方,还要向上追溯至产生该废弃物的建设单位或施工总承包单位,追究其管理不当的责任。迫使上游企业必须选择有资质的、信誉好的下游合作伙伴。

3 结论

(1)基于系统动力学,利用Anylogic从环境效益、经济效益和社会效益三个子系统构建建筑废弃物资源化供应链主体合作行为的系统动力学模型,并识别各因素之间的关联度,并通过敏感性分析识别出影响建筑废弃物资源化供应链主体合作行为11个主要因素。

(2)为了缩小其影响因素范围,本文利用熵权法与障碍度模型识别出了3个关键障碍因素,分别为:回收利用意识、资源化单位补贴和非法倾倒单位罚款。

[基金项目]

《四川大学锦江学院青年教师科研基金》QNJJ-2025-B18。

[参考文献]

[1]郑兆昱,邓鹏,黄靛,等.基于动态物质流的建筑垃圾减量与资源化分析——以湖南省为例[J].中国环境科学,2023,43(2):702-711.

[2]陈起俊,张瑞瑞,李超伟,等.政策工具视角下我国建筑废弃物政策分析——基于2003—2018年的国家政策文本[J].生态经济,2020,36(06):196-203.

[3]Yuan H. A model for evaluating the social performance of construction waste management[J]. Waste Management, 2012, 32(6):1218-1228.

[4]刘婷婷,张劼,胡鸣明.建筑废弃物资源化环境效益分析:以重庆为例[J].中国环境科学,2018,38(10):3853-3867.

[5]汤青慧,徐雅琪,张喆.青岛市建筑废弃物资源化利用研究[J].辽宁工业大学学报(自然科学版),2022,42(3):183-188+192.

作者简介:

龙泓宇(1994--),女,汉族,四川省成都市人,研究生,讲师,主要研究方向绿色发展和废弃物资源化管理。