

基于ISM-MICMAC的装配式建筑绿色供应链风险分析

严 斌, 张淑婧

扬州大学, 江苏 扬州

收稿日期: 2022年11月22日; 录用日期: 2022年12月12日; 发布日期: 2022年12月26日

摘 要

在绿色发展理念的背景下, 装配式建筑绿色供应链是一种建筑业新型可持续发展模式。本文采用文献研究、调查问卷、灰色关联分析等方法识别出装配式建筑绿色供应链中的14个风险因素, 结合Python运用解释结构模型(ISM)构建了装配式建筑绿色供应链影响因素的7级递阶结构模型, 并运用交叉影响矩阵相乘法(MICMAC)分析影响因素的驱动力和依赖性, 并提出改进建议。结果表明: 政策制度不完善和缺少绿色运行管理经验驱动力最强, 是影响装配式建筑绿色供应链的深层次影响因素。利润分配不均、合作关系差和企业之间缺乏信任是最直接的影响因素, 受其他因素影响较大, 依赖性较强。本文为评估和降低装配式建筑工程项目绿色供应链中的风险提供了有效的方法。

关键词

装配式建筑, 绿色供应链, 风险分析, ISM, MICMAC

Risk Analysis of Prefabricated Building Green Supply Chain Based on ISM-MICMAC

Bin Yan, Shujing Zhang

Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: Nov. 22nd, 2022; accepted: Dec. 12th, 2022; published: Dec. 26th, 2022

Abstract

Under the background of green development concept, assembly building green supply chain is a new sustainable development model of construction industry. This paper uses literature research, questionnaires, grey correlation analysis and other methods to identify 14 risk factors in the

green supply chain of prefabricated buildings. Combined with Python, it uses Interpretative Structural Modeling Method (ISM) to build a seven level hierarchical structure model of the influencing factors of the green supply chain of prefabricated buildings, and uses Matrices Impacts Croises-Multiplication Appliance Classement (Micmac) to analyze the driving force and dependence of the influencing factors, and puts forward suggestions for improvement. The results show that the imperfection of policies and systems and the lack of green operation management experience are the strongest driving forces, which are the deep-seated factors affecting the green supply chain of prefabricated buildings. Uneven profit distribution, poor cooperative relationship and lack of trust between enterprises are the most direct factors, which are greatly influenced by other factors and highly dependent. This paper provides an effective method to evaluate and reduce the risk in the green supply chain of prefabricated construction projects.

Keywords

Prefabricated Buildings, Green Supply Chain, Risk Analysis, ISM, MICMAC

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

国务院印发的《2030年前碳达峰行动方案》中提出推广绿色低碳建材和绿色建造方式, 加快推进新型建筑工业化, 大力发展装配式建筑, 推广钢结构住宅, 推动建材循环利用, 强化绿色设计和绿色施工管理。为实现绿色发展的理念, 推动我国的生态文明建设, 促进我国建筑业的高质量发展, 必须大力发展绿色建筑的绿色供应链。装配式建筑绿色供应链具有供应链条长、涉及企业多、寿命周期阶段多等特点, 是一种新型供应关系网络, 它推动和实现装配式建筑全生命周期中各个环节的绿色低碳目标。

装配式建筑绿色供应链中参与者及涉及环节众多, 面临着巨大的挑战和风险。目前, 国内关于装配式建筑绿色供应链模型的研究已有很多, 但少有结合装配式建筑和绿色供应链并对二者耦合的风险研究, 因此, 本文将对此进行深入研究。

2. 文献梳理

绿色供应链模型层面, 王凯等[1]构造了标准体系与供应链的耦合系统, 从多方面探讨了装配式建筑标准体系与建筑绿色供应链耦合互动机制。石振武等[2]对装配式建筑绿色供应链的关键节点问题应用层次聚类-TOPSIS 综合评价模型进行评价识别。

供应链风险层面, Clyde 和 Luo [3] [4]从利益相关者角度研究了装配式建筑供应链中的进度风险。周校培等[5]运用多层次灰色评价模型对风险进行评估, 并对该模型进行验证。黄桂林等[6]采用 SNA 方法研究装配式建筑绿色供应链中利益相关者相关风险的基础网络。张学森等[7]对企业实际运行状况获取数据, 识别绿色供应链的影响因素和传播路径, 为企业在实际运行中降低或阻隔绿色供应链脆弱性风险传播路径提出新方法。卢茂盛等[8]通过建立斯塔克尔伯格(Stackelberg)博弈模型以研究制造商和零售商不同风险态度对绿色供应链最优决策的影响。梁晓蓓[9]和傅端香[10]通过构建博弈模型, 探究政府补贴及供应链成员风险规避的影响。熊峰等[11]聚焦供应链成员风险偏好对双渠道绿色供应链

的影响, 在构建以供应商为主导的双层供应链模型基础上, 研究人员间风险规避系数对产品绿色度、线上以及线下销售价格的影响。冯颖等[12]探究制造商承担社会责任及政府对制造商实施补贴对供应链运作的影响。

研究方法层面, 严玲等[13]将 ISM 和 MICMAC 方法结合, 研究并分析了影响房屋建筑工程总承包商选择的深层次因素以及各影响因素的地位与作用。刘光忱等[14]运用 ISM 模型和 MICMAC 方法研究影响装配式建筑质量的因素及层级关系, 并对政府和企业提出质量改进的对策建议。

ISM 作为分析复杂社会经济系统结构问题而开发的一种方法, 该模型具有将系统中众多因素复杂、紊乱关系结构化, 以清晰、多级递阶的结构形式呈现的优点, 能够实现对系统中诸因素的互动关系及关联机理进行揭示。装配式建筑绿色供应链既涉及生产技术、标准规范等装配式建筑施工的问题, 又涉及信息不对称和成员的自利性等绿色供应链运作过程中的问题, 同时系统要素众多, 二元关系众多, 具有复杂的网络结构, 系统功能较多。对于理清要素间关系和确定要素及需求层级的问题, ISM 方法是最合适的。

鉴于此, 本文采用文献研究、调查问卷、灰色关联分析等方法对装配式建筑绿色供应链风险因素进行识别, 并利用 ISM 模型和 MICMAC 方法对影响因素进行深入分析, 对各因素的影响层次梳理和分析。

3. 主要影响因素识别

本研究首先基于文献研究法初步识别出与装配式建筑绿色供应链相关的影响因素, 然后通过问卷调查采集数据, 对收集到的结果对影响因素进行灰色关联分析, 筛选出主要影响因素。

3.1. 确定影响因素清单

通过在 CNKI 数据库中检索“绿色供应链风险”、“装配式建筑供应链”、“建筑绿色供应链”等关键词, 限定期刊级别为核心期刊及以上, 筛选出有关装配式建筑绿色供应链风险的文献, 对文献中影响因素进行归纳和整合, 初步识别出 17 个影响因素。

3.2. 灰色关联分析

利用 Likert 五点量表设计调查问卷, 对 17 项初步确定的影响因素进行评分。评分规则为: 完全不影响为“1”, 影响不大为“2”, 一般影响为“3”, 较大影响为“4”, 非常影响为“5”。调查问卷以电子问卷为主, 通过“问卷星”平台进行数据统计。本调查共发放 300 份调查问卷, 剔除有显著规律性、未接触过装配式建筑的绿色供应链等无效调查问卷, 获得 248 份有效调查问卷, 回收率达 82.7%。

用 SPSS 软件对以上得到的 248 组问卷数据进行灰色关联分析, 得到各个因素的关联度, 从而确定各因素对装配式建筑绿色供应链的影响程度, 其结果如表 1 所示。

Table 1. Correlation degree and ranking table of influencing factors

表 1. 影响因素关联度及排序表

评价项	关联度	排名
政策制度不完善	0.909	1
利润分配不均	0.890	2
技术不完备	0.888	3
缺少绿色运行管理经验	0.887	4
市场需求不稳定	0.846	5

Continued

企业文化存在差异	0.846	6
企业之间缺乏信任	0.722	7
合作关系差	0.694	8
消费者需求波动	0.639	9
信息不对称	0.638	10
废弃物回收处理环节缺失	0.597	11
现场施工装配效率和管理水平偏低	0.588	12
住宅销售和物业管理服务水平不高	0.582	13
自然环境影响	0.581	14
城市化水平	0.428	15
通货膨胀和汇率变动	0.425	16
企业职业道德水平	0.418	17

关联度表示各影响因素与装配式建筑绿色供应链风险之间的关联程度, 关联度值介于 0~1 之间, 该值越大表示影响因素与装配式建筑绿色供应链风险相关性越强, 意味着两者之间关系越紧密。

3.3. 聚类筛选

使用 SPSS 对表 1 得到的影响因素关联度进行聚类分析, 将影响因素分为两大类, 排除城市化水平、通货膨胀和汇率变动、企业职业道德水平 3 个影响较小的因素, 选取影响较大的 14 个因素, 开展后续研究。根据装配式建筑绿色供应链的特点, 将指标分为供应链外部风险、内部风险和链间风险三个大类, 在此基础上进行细分, 最终得到 14 个指标, 如表 2 所示。

Table 2. Table of influencing factors

表 2. 影响因素表格

一级指标	二级指标	编号
外部风险 R1	装配式建筑市场风险	S ₁
	自然环境影响	S ₂
	消费者需求波动	S ₃
	政策制度不完善	S ₄
内部风险 R2	技术不完备	S ₅
	现场施工装配效率和管理水平偏低	S ₆
	废弃物回收处理环节缺失	S ₇
	住宅销售和物业管理服务水平不高	S ₈
	缺少绿色运行管理经验	S ₉
链间风险 R3	信息不对称	S ₁₀
	利润分配不均	S ₁₁
	企业文化存在差异	S ₁₂
	合作关系差	S ₁₃
	企业之间缺乏信任	S ₁₄

4. 论文格式编排 ISM 模型构建

利用 ISM 模型分析筛选出的 14 个装配式建筑绿色供应链的影响因素。本文 ISM 方法的基本流程如图 1 所示。



Figure 1. Basic process of ISM
图 1. ISM 方法基本流程

4.1. 判定因素间二元关系

根据 ISM 工作原理, 构建邻接矩阵 $A_{ij} = (a_{ij})n \times n$, 其中 a_{ij} 为 i 行 j 列元素, 二元关系如下:

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, S_i \text{对} S_j \text{无影响} \\ 1, S_i \text{对} S_j \text{有影响} \end{cases}, i, j = 1, 2, \dots, 14 \quad (1)$$

本文以专家访谈的方式得到每个元素的得分。邀请 6 位专家, 其中 2 位专家为具有 20 年以上相关专业经验的高校教授, 2 位专家为负责建筑绿色供应链方面的政府人员, 2 位专家为建筑绿色供应链相关单位人员, 判定 14 个影响因素之间的作用关系。

4.2. 构建邻接矩阵

依据专家访谈得到的得分, 对得分进行判断整合, 构建装配式建筑绿色供应链影响因素的邻接矩阵 A:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3. 计算可达矩阵

可达矩阵可以体现各因素之间直接或间接的影响关系。对邻接矩阵 A 与单位矩阵 I 相加得矩阵 $(A + I)$, 并按布尔运算规则, 运用 Python 计算可达矩阵, 最终可得 $M = (A + I)^4 = (A + I)^3 \neq (A + I)^2 \neq (A + I)$, 结果如下:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

4.4. 构建 ISM 结构模型

可达矩阵中行元素为 1 的列对应元素集为可达集 $R(S_i)$, 列元素为 1 的行对应元素集为先行集 $A(S_i)$, 两者交集为 $C(S_i) = R(S_i) \cap A(S_i)$ 。得出各关键影响因素关系集合如表 3 所示。

Table 3. Collection of key influencing factors

表 3. 关键影响因素关系集合

S_i	$R(S_i)$	$A(S_i)$	$C(S_i)$
S_1	1,3,8,10,11,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	1,3,8,10
S_2	1,2,3,6,8,10,11,13,14	2,4,5,7,9	2
S_3	1,3,8,10,11,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	1,3,8,10
S_4	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,13,14	4	4
S_5	1,2,3,5,6,7,8,10,11,13,14	4,5,9	5
S_6	1,3,6,8,10,11,13,14	2,4,5,6,7,9	6
S_7	1,2,3,6,7,8,10,11,13,14	4,5,7,9,	7
S_8	1,3,8,10,11,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	1,3,8,10
S_9	1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,13,14	9	9
S_{10}	1,3,8,10,11,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	1,3,8,10
S_{11}	11,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	11,13,14
S_{12}	11,12,13,14	12	12
S_{13}	11,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	11,13,14
S_{14}	11,13,14	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	11,13,14

在可达矩阵 M 中找到只受其他因素影响而不影响其他因素的因素, 将要素层级分为 7 层, 如表 4 所示。

Table 4. Hierarchy division
表 4. 层级结构划分

层级	影响因素	表示
第一层	利润分配不均、合作关系差、企业之间缺乏信任	$L_1 = \{S_{11}, S_{13}, S_{14}\}$
第二层	装配式建筑市场风险、消费者需求波动、住宅销售和物业管理服务水平低、信息不对称、企业文化存在差异	$L_1 = \{S_1, S_3, S_8, S_{10}, S_{12}\}$
第三层	现场施工装配效率和管理水平低	$L_1 = \{S_6\}$
第四层	自然环境影响	$L_1 = \{S_2\}$
第五层	废弃物回收处理环节缺失	$L_1 = \{S_7\}$
第六层	技术不完备	$L_1 = \{S_5\}$
第七层	政策制度不完善、缺少绿色运行管理经验	$L_1 = \{S_4, S_9\}$

根据装配式建筑绿色供应链的层级结构划分(如表 4 所示)和各影响因素间的相互关系, 构建装配式建筑绿色供应链影响因素多层递阶结构模型, 如图 2 所示。

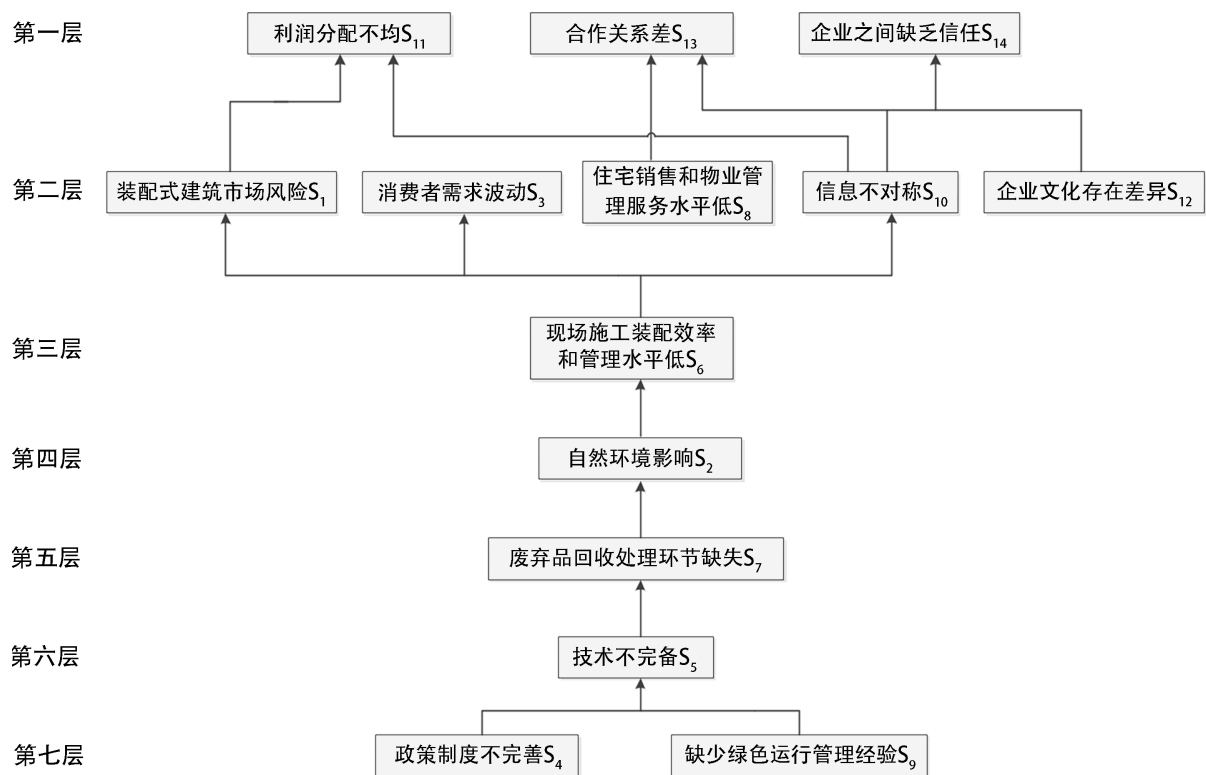


Figure 2. Hierarchical structure of main influencing factors of green supply chain for prefabricated buildings

图 2. 装配式建筑绿色供应链主要影响因素递阶结构

4.5. ISM 层级结构分析

通过图 2 的解释结构模型可知, 14 个影响装配式建筑绿色供应链的风险因素被划分为七层, 全面深入的反映了装配式建筑绿色供应链影响因素之间的作用机理, 进一步分析可知:

- 1) 政策制度不完善 S_4 和缺少绿色运行管理经验 S_9 两项处于最底层的, 从深层次影响其余因素, 是

根本影响因素, 在装配式建筑绿色供应链中需重点关注。

2) 处于中间层(第 2~6 层)的 9 个影响因素是装配式建筑绿色供应链的间接影响因素, 受底层影响因素的作用, 将影响依次传递给顶层影响因素, 起到桥梁的作用。

3) 利润分配不均 S_{11} 、合作关系差 S_{13} 和企业之间缺乏信任 S_{14} 处于第一层, 是最直接的影响因素。这三个因素产生的问题通常需要通过解决下面层次的因素的问题来最终解决。

5. MICMAC 分析与对策建议

5.1. MICMAC 分析方法

运用交叉影响矩阵相乘法(MICMAC)分析影响装配式建筑绿色供应链风险因素的依赖性和驱动力, 并对其在不同区域的定位和作用进行了探讨, 并据此制定了相应的对策建议。利用以上得到的可达矩阵 M , 可以算出各个因素的驱动力和依赖性, 驱动力数值为可达矩阵上行的各元素之和, 依赖性数值为可达矩阵上列的各元素之和, 并在表 5 中给出了计算结果, 在此基础上, 利用不同影响因素依赖性和驱动力, 分别用坐标轴对影响装配式建筑绿色供应链的各个因素进行了分类, 将因素划分为自治簇 I、独立簇 II、联动簇 III 和依赖簇 IV, 如图 3 所示。

Table 5. Driving force and dependency value of influencing factors

表 5. 影响因素驱动力、依赖性数值

因素	驱动力	依赖性
S_1	7	10
S_2	9	5
S_3	7	10
S_4	12	1
S_5	11	3
S_6	8	5
S_7	10	4
因素	驱动力	依赖性
S_8	7	10
S_9	12	1
S_{10}	7	10
S_{11}	3	14
S_{12}	4	1
S_{13}	3	14
S_{14}	3	14

5.2. MICMAC 结果分析

对装配式建筑绿色供应链影响因素进行 MICMAC 分析可以得到以下结论:

1) 属于自治簇(第 I 象限)的影响因素有企业文化存在差异 S_{12} , 自治簇的影响因素通常驱动力和依赖性较低, 大多位于 ISM 模型中间层。这类因素相对独立客观, 均为间接影响因素中不受其他因素影响的因素, 与其他因素关联较少。

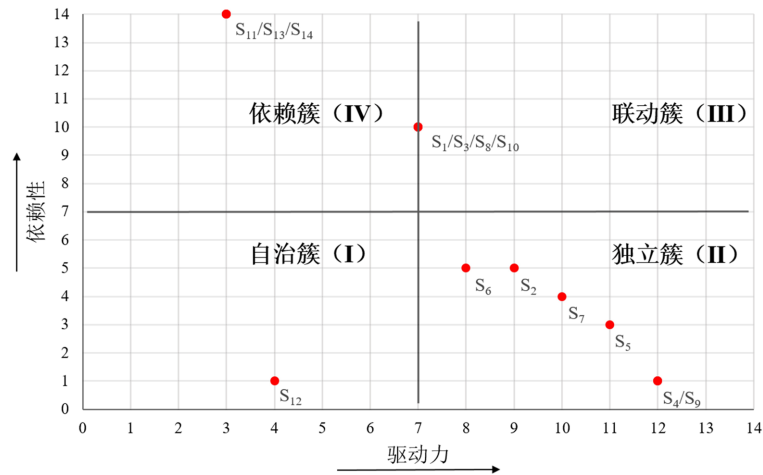


Figure 3. Influencing Factor Dependence-Driver Classification
图 3. 影响因素依赖性 - 驱动力分类

2) 属于独立簇(第 II 象限)的影响因素有自然环境影响 S_2 、政策制度不完善 S_4 、技术不完备 S_5 、现场施工装配效率和管理水平偏低 S_6 、废弃物回收处理环节缺失 S_7 、缺少绿色运行管理经验 S_9 ，独立簇的因素具有较强的驱动力和较低的依赖性，在 ISM 模型中位于最下层，是深层次的影响因素，主要为根本因素以及对其他因素产生较大影响的间接因素。其中政策制度不完善 S_4 、缺少绿色运行管理经验 S_9 是影响装配式建筑绿色供应链的根本因素，其驱动力最强。该象限的因素如果能较好解决，将对其他因素的解决产生积极作用。

3) 图中显示没有属于联系簇(第 III 象限)的影响因素，该象限表明依赖性和驱动力较高，此结果表明所选取的装配式建筑绿色供应链影响因素通常不会通过单一作用，而是通过相互之间的关联性来增加影响。

4) 属于依赖簇(第 IV 象限)的影响因素有装配式建筑市场风险 S_1 、消费者需求波动 S_3 、住宅销售和物业管理服务水平不高 S_8 、信息不对称 S_{10} 、利润分配不均 S_{11} 、合作关系差 S_{13} 、企业之间缺乏信任 S_{14} ，依赖簇的因素通常具有较高的依赖性和较低的驱动力，处于递阶结构图顶部，主要为直接因素以及受其他因素影响较大的间接因素，是最表层的影响因素，它们需要依赖其他因素的解决而被解决。

5.3. 对策建议

根据 ISM 和 MICMAC 的分析结果可知，装配式建筑绿色供应链影响因素间互相关联，

1) 目前我国政策制度关于建筑绿色供应链方面有待完善，标准体系有待健全。国家及地方政府关于装配式建筑节能减排、绿色供应链等方面的政策结合度不高，可操作性低。标准规范的制定和实施需要政府强有力的推广和支持，现有的标准体系与装配式建筑匹配度较低。法律法规具有强制性，对规范建筑市场、促进绿色施工的执行具有直接而显著的效果。政府制定科学的政策，提高企业供应链管理的绿色意识，促进企业参与绿色供应链是十分必要的，对绿色供应链的健康发展均有正向作用。

在装配式建筑中，要实现绿色供应链的管理，必须要有政府的参与，要有政策的指导，才能实现绿色供应链全过程的运作。政府要充分运用法律的力量，引导和推进绿色建筑的绿色供应链，把绿色施工的要求融入相关法律法规中，对绿色施工实施强制性调控。

2) 在可持续发展背景下，装配式建筑的开发，涉及众多的绿色材料和技术，关键环节通常需要多个参与方共同参与，多参与方在合作过程中会涉及一系列物流、资金流以及信息流的流动，由于不同参与方追求的利益不同，供应链链间企业利润分配不均，会导致一些企业成本过高，而整个装配式建筑绿色

供应链的总利润是一定的, 若某些企业获得的利润过低, 会产生对绿色环保行为要求的消极态度, 甚至延伸到企业间的合作, 使合作破裂, 违背绿色供应链的目标。

同时, 在合作过程中, 合作双方发生不协调现象, 比如组织混乱、分工不明确等, 导致合作伙伴之间关系不佳, 除此之外, 各个主体之间的趋利避害、过于维护自身利益而不顾他人利益, 造成部分组织不作为, 为了企业自身利益的最大化, 会互相隐藏一些商业信息, 缺乏企业间的信任, 导致信息传递不佳, 各个节点企业难以了解供应链运行情况, 最终导致供应链的运作受到影响。由于装配式建筑企业缺乏对绿色企业文化的重视, 以及对利润的追逐, 导致了供应链企业之间缺乏信任, 只注重利润最大化, 忽视了生产过程中的绿色化, 从而阻碍了绿色供应链的发展。

装配式建筑绿色供应链涉及到不同的利益相关者, 需要通过协调、合作、博弈等途径使各参与成员得以知识共享与互利共赢, 通过供应链整体推动节点企业的可持续发展, 通过协作提升企业的整体运营效率, 实现企业的绿色供应链管理。

3) 完备的技术是发展装配式建筑绿色供应链的关键, 我国装配式建筑和绿色供应链的研究目前还不成熟, 与发达国家相比有很大差距, 绿色运行管理经验不足, 技术不完备。缺少绿色运行管理的经验会导致工期延误、安全事故、质量问题和运行成本的增加等。

建设绿色供应链的建设需要引入专门的技术人员, 加强相关专业的技术培训, 以有效地提升企业的绿色经营管理水平。完备的技术可以使绿色建筑的运营得到协调, 降低供应链运作成本, 提升建筑的质量, 提高企业核心能力, 推动建筑绿色供应链的高效运转, 促进建筑业的可持续发展。此外, 建筑绿色供应链专业人才的培养, 既能提高供应链中各个主体的竞争能力, 又能有效地降低企业的绿色供应链管理成本。

6. 结语

本研究通过文献研究、调查问卷、灰色关联分析等方法收集 14 个装配式建筑绿色供应链中的风险因素, 运用 ISM 技术构建装配式建筑绿色供应链主要风险因素的层级结构模型, 利用 Python 软件进行相关计算, 得到多层递阶结构图, 并通过 MICMAC 理清主要因素间的层级关系和驱动力 - 依赖性大小, 并制定相应的风险应对措施。研究表明: 政策制度不完善和缺少绿色运行管理经验是影响装配式建筑绿色供应链的深层次影响因素, 其驱动力最强。利润分配不均、合作关系差和企业之间缺乏信任是最直接的影响因素, 依赖性较强。本研究为评估和降低装配式建筑工程项目绿色供应链中的风险提供了有效的方法, 有助于提高风险识别能力。

参考文献

- [1] 王凯, 徐瑞良. 标准化视阈下装配式建筑绿色供应链运作逻辑研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(8): 86-92.
- [2] 石振武, 王金茹. 绿色供应链视角下装配式建筑可持续性评价研究[J]. 工程管理学报, 2020, 34(2): 32-37.
- [3] Li, C.Z., Hong, J., Xue, F., et al. (2016) Schedule Risks in Prefabrication Housing Production in Hong Kong: A Social Network Analysis. *Journal of Cleaner Production*, **134**, 482-494. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.123>
- [4] Luo, L., Shen, G.Q., Xu, G., et al. (2019) Stakeholder-Associated Supply Chain Risks and Their Interactions in a Prefabricated Building Project in Hong Kong. *Journal of Management in Engineering*, **35**, 94-107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000675](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000675)
- [5] 周校培, 陈建明. 基于多层次灰色评价模型的建筑供应链风险评估及管理研究[J]. 工程管理学报, 2016, 30(2): 45-49.
- [6] 黄桂林, 张闯. 基于 SNA 的装配式建筑绿色供应链风险[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(2): 41-49.
- [7] 张学森, 汪刘凯, 李慧宗, 王向前. 绿色供应链脆弱性风险传播机制研究[J]. 财贸研究, 2017, 28(3): 104-109.
- [8] 卢茂盛, 李佳星, 黄红梅, 柳键. 基于风险厌恶的绿色供应链决策优化[J]. 科技管理研究, 2022, 42(6): 182-192.

- [9] 梁晓蓓, 江江, 孟虎, 杨以雄. 考虑政府补贴和风险规避的绿色供应链决策模型[J]. 预测, 2020, 39(1): 66-73.
- [10] 傅端香, 张子元, 原白云. 政府补贴政策下考虑风险规避的绿色供应链定价决策研究[J]. 运筹与管理, 2019, 28(9): 33-40+84.
- [11] 熊峰, 王琼林, 魏瑶瑶, 李知远, 邵乐. 考虑成员风险规避的双渠道绿色供应链定价与绿色投入决策研究[J/OL]. 中国管理科学: 1-16.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2022&filename=ZGGK202208024&uniplatform=NZKPT&v=Nd7LtefyLHgxBTY38eUie72BazQa1VNfUK0eFP7DSKbrticOcMdCotQhuqknPi-,2022-04-21>.
- [12] 冯颖, 汪梦园, 张炎治, 冯春花. 制造商承担社会责任的绿色供应链政府补贴机制[J/OL]. 管理工程学报: 1-12.
https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDAUTO&filename=GLGU202206013&uniplatform=NZKPT&v=6D3yca4QpM1ewI3S7zKr_sWyRy5MFLRz0CLRfzCp6WWV03aVHDd9Jq4T_HPqcT-,2022-04-21.
- [13] 严玲, 李政道, 崔英子. 基于 ISM-MICMAC 的房屋建筑工程总承包商选择影响因素研究[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(5): 1-6+28.
- [14] 刘光忱, 温振迪, 何雪礼, 沈静. 基于 ISM-MICMAC 的装配式建筑质量影响因素[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(5): 33-39.