

基于 DEMATEL-AISM 的装配式建筑 绿色供应链影响因素分析

尹正,王世柳

(安徽建筑大学经济与管理学院,安徽 合肥 230022)

摘要:装配式建筑作为建筑产业转型升级的主要方向之一,对其绿色供应链进行研究具有重要意义。基于既有研究成果和相关政策法规,结合调查问卷结果,从装配式建筑绿色供应链的外部 and 内部两个方面分别识别了影响因素并构建了指标体系。运用 DEMATEL-AISM 对关键影响因素进行了分析,并系统评估了这些影响因素之间的层级关系。研究表明,装配式建筑绿色供应链的关键影响因素为政策法规、宣传与普及力度、社会效益、供应链协同水平、绿色设计与管理及行业监管力度。

关键词:装配式建筑;绿色供应链;影响因素;DEMATEL-AISM

中图分类号:F426.92 **文献标志码:**A

引用格式:尹正,王世柳.基于 DEMATEL-AISM 的装配式建筑绿色供应链影响因素分析[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2024,26(2):155-163.

当前,建筑行业朝着智能、低碳、优质高效的方向发展,如装配式建筑、绿色建筑、绿色供应链等已成为该行业研究的热点与趋势。装配式建筑绿色供应链是指以装配式建筑为最终产品的绿色供应链体系^[1],环境保护和资源节约的理念贯穿于装配式建筑供应链的全过程。装配式建筑绿色供应链是由设计单位、管理单位、材料供应商、制造商、运输商、建设单位、运营单位及回收单位组成的,以信息流、物流、资金流及知识流构成的功能性网络系统^[2]。基于概念分析,装配式建筑绿色供应链具有目标一致性、主体复杂性、产品绿色性和环境适应性等特征。因此,坚持系统思维并以全生命周期视角探究装配式绿色供应链的影响因素具有重要意义。

目前,国内学者在装配式建筑绿色供应链方面取得了较为丰硕的研究成果。黄桂林

等^[3]通过引入供应链运作参考模型构建了装配式建筑绿色供应链模型。高德生等^[4]基于供应链管理视角识别出了装配式建筑可持续发展的关键影响因素并从装配式建筑可持续发展速度和效果两个方面进行了情境仿真,分析了3种关键供应链管理行为对装配式建筑可持续发展竞争优势的影响机理,以此归纳出关键的供应链管理行为包括设立标准、利益共享契约及生态设计。刘子琦等^[5]基于 SCOR 理论,利用云物元评价模型从设计、采购、生产、运输、施工、运营和回收环节探究了装配式建筑供应链可持续发展的影响因素。石振武等^[6]从绿色供应链全生命周期角度建立了装配式建筑可持续发展评价指标体系,利用层次聚类-TOPSIS 综合评价模型识别出其关键节点问题为绿色规划设计、绿色供应链协同、绿色生产、绿色运输与仓

储。黄桂林等^[7]利用社会网络分析的风险分析模型识别出了装配式建筑绿色供应链的关键风险并有针对性地提出了降低风险的策略。国外学者大多以整个建筑业作为研究主体对绿色供应链开展研究,如 Kosanoglu F 等^[8]从环境、社会、经济这 3 个维度评估了土耳其建筑业可持续供应链的管理水平。近年来,决策实验室分析法(Decision-making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)和对抗解释结构模型法(Adversarial Interpretive Structure Modeling Method, AISM)被引入建筑业领域的相关研究。魏宏亮等^[9]构建了基于 DEMATEL-AISM 的预制构件成本影响因素模型,直观展示了预制构件成本的关键

影响因素及其作用路径。此外,有学者基于 DEMATEL-AISM 对建筑业数字化转型、老旧小区改造的可持续推进及装配式钢结构建筑构配件成本的关键因素进行了分析^[10-12]。然而,基于 DEMATEL-AISM 对绿色供应链影响因素开展的研究较少。

基于此,本研究立足于装配式建筑全生命周期构建了装配式建筑绿色供应链模型(见图 1),运用 DEMATEL-AISM 找出了装配式建筑绿色供应链的关键影响因素并阐述了各因素之间的层级关系,最后尝试提出了提升建议,旨在为装配式建筑绿色供应链管理的理论研究提供新的视角。

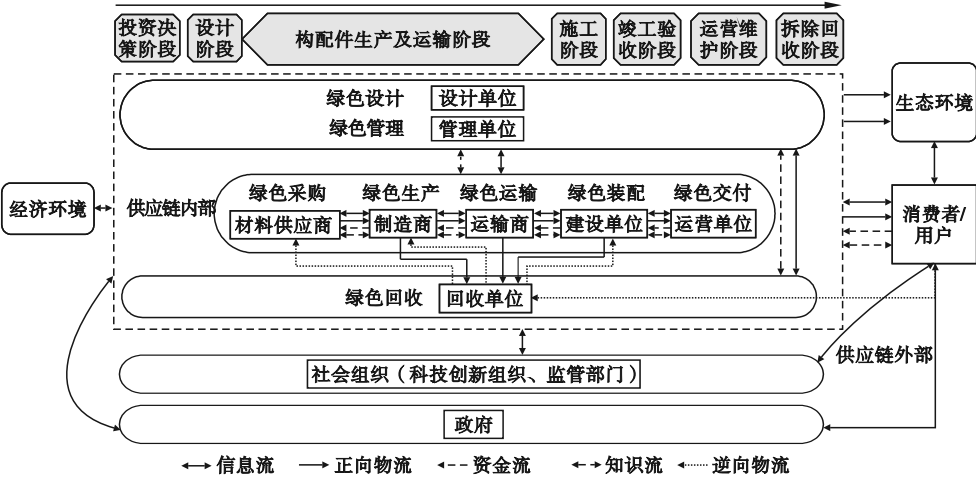


图 1 基于全生命周期的装配式建筑绿色供应链模型

一、影响因素的确定

装配式建筑绿色供应链的发展需要利益相关方共同参与支持。在参考了装配式建筑绿色供应链研究^[1-7]及相关政策法规的基础上,从环境、技术、经济、人员、组织与协调等方面初步选定了 22 个影响因素。在与相关专家学者进行访谈后,排除了交叉因素与不合理因素,再次对影响因素进行归纳和整合,最终确定了装配式建筑绿色供应链的 19 个影响因素(见表 1),并将其划分为供应链外部和内部两大类。

1. 外部环境影响因素

(1) 政策法规(F_1)

为推进建筑领域的绿色低碳发展,近年

表 1 装配式建筑绿色供应链影响因素文献来源		
影响因素	含义	文献来源
F_1	政策法规	[1]、[6]
F_2	规范标准	[4]、[5]
F_3	宣传与普及力度	[6]
F_4	行业监管力度	[6]
F_5	市场需求	[6]、[7]
F_6	社会效益	[1]
F_7	技术创新	[1]、[2]、[4]、[7]
F_8	绿色建材	[4]
F_9	绿色设计与管理	[2]、[4]、[5]、[6]
F_{10}	构件绿色生产	[4]、[5]
F_{11}	绿色施工与运输	[4]、[7]
F_{12}	绿色回收	[2]、[4]、[6]
F_{13}	成员的绿色理念	[4]、[6]
F_{14}	成员的经验与能力	[1]、[2]、[6]、[7]
F_{15}	信息平台建设	[2]、[3]、[5]、[7]
F_{16}	供应链协同水平	[2]、[3]、[5]、[6]
F_{17}	风险防范与分担	[2]、[3]、[5]、[7]
F_{18}	经济效益	[1]、[7]
F_{19}	智能化水平	[7]

来,国家和各省市政府纷纷出台了一系列引导企业打造绿色供应链的相关政策,如《工业绿色发展规划(2016—2020 年)》《“无废城市”建设试点工作方案》和《天津市绿色供应链管理试点实施方案》等,这些政策旨在鼓励该领域的相关利益方投身于绿色供应链的实践创新工作。

(2) 规范标准(F_2)

与其他行业相比,建筑业的绿色供应链相关实践起步较晚。中国建筑业绿色供应链的管理体系虽已较为成熟,但其行业标准还有待规范与细化,装配式建筑绿色供应链的行业标准包括各成员的行为准则、各环节的运作标准及绿色建筑评价标准等。

(3) 宣传与普及力度(F_3)

对装配式建筑绿色供应链开展宣传和普及工作,一方面可以提高消费者对绿色建筑商品的认知程度和对绿色建筑商品的购买需求,另一方面可以提升装配式建筑供应链上各成员的绿色生产意识,进而促使其进行绿色生产。

(4) 行业监管力度(F_4)

行业内的有效监督能确保装配式建筑供应链成员的绿色行为具备真实性和可靠性。在传统供应链体系中,大部分企业在环保信息的披露方面存在透明度不足的问题,这给行业内的监管工作带来了不小的挑战。

(5) 市场需求(F_5)

当今世界的环境污染问题愈发严峻,作为一种新兴的建筑形态,装配式建筑在绿色建筑领域具有巨大的发展潜力和优势。同时,装配式建筑的巨大市场需求也能推动其供应链向绿色发展的方向迈进。

(6) 社会效益(F_6)

结合绿色供应链管理能够解决企业当前存在的环境管理问题,在提高企业综合竞争力的同时帮助企业实现可持续发展目标。此外,随着大众对绿色供应链的关注度和认可度的提高,企业积极参与其中也能获得政府和相关机构的支持和奖励,从而进一步提升其社会声誉和影响力。

(7) 技术创新(F_7)

技术创新在提升供应链效率和绿色化水平方面扮演着至关重要的角色。当代企业通常以与高校、科研机构开展合作的方式,利用其学术资源和技术优势来实现技术创新。然而,尽管高校和科研机构在相关领域具备丰富的研究经验和专业知识,但由于其大多缺乏对商业运营和市场需求的深入了解,往往导致了科研成果的转化率较低。

(8) 绿色建材(F_8)

为确保绿色建材相较于传统建材在环保性能和质量方面更为优越,通常需要对其投入更多资源。然而,这也导致了绿色建材的生产成本相对较高,供应链上相关企业必须面对由此带来的对成本控制的挑战,这从某种程度上限制了绿色供应链的发展。

2. 供应链内部影响因素

(1) 绿色设计与管理(F_9)

在装配式绿色供应链中,绿色设计的主要关注点包括构件的可拆分性、逆向物流、构件可回收性及系统集成等;绿色管理涵盖了构件的运输与仓储管理、施工管理及逆向物流管理等环节。因此,绿色设计和管理的有效实施对于装配式绿色供应链的发展至关重要。

(2) 构件绿色生产(F_{10})

采用先进的生产技术和设备可以显著降低企业生产过程中所产生的能源消耗量和污染物排放量,这也是实现绿色生产的一个重要表现。此外,模数化和标准化的装配式构件生产方式是实现绿色生产的方式之一,这种生产方式不仅可以有效减少废物产生量、避免由工人造成材料浪费,还能提高构件的可重复利用性和再制造性,从而实现资源利用最大化。

(3) 绿色施工与运输(F_{11})

与传统现浇建筑相比,装配式建筑具有施工流程更简单和更加环保的优点,实现绿色施工的关键在于对施工细节的精准把控;合理的绿色仓储与绿色运输方案也能够有效减少构件在运输途中发生的损坏,且能提高物流的时效性。

(4) 绿色回收(F_{12})

绿色回收不仅包括对建筑废弃物的回收与集中处理,还包括对废弃物中可用物资的回收和再利用(属于逆向物流环节)。长期以来,中国对建筑业逆向物流的重视不够,导致目前装配式建筑供应链在逆向物流方面存在如管理和组织机制尚未得到充分发展、技术和设施支持有待加强、法律法规和政策需进一步完善等多方面不足。

(5) 成员的绿色理念(F_{13})

目前,装配式绿色供应链体系中的企业部分员工对于减少企业碳排放量、提升产品耐用性及提高资源循环利用率等环保问题的关注还有待提升。尽管近年来国家深度践行绿色发展理念、大规模推广绿色建筑,但行业从业人员对于绿色理念的认知和实践水平还有待加强。

(6) 成员的经验与能力(F_{14})

在节约资源的基础上为保证建筑产品质量,相关企业成员除积极践行绿色理念外,还应具备充足的理论知识、经验和能力。例如,建筑企业的管理者应具备丰富的绿色运营理论知识与实践经验、全生命周期思维和大数据分析能力,而建筑施工人员则需要熟练掌握相关的操作技能。

(7) 信息平台建设(F_{15})

目前,装配式建筑绿色供应链参与各方之间存在信息不对称的问题,通过建设和完善信息平台可以有效提升信息交换的时效性,加大各主体间的信息共享力度,从而对装配式绿色供应链产生积极影响。

(8) 供应链协同水平(F_{16})

装配式建筑绿色供应链涉及众多主体,这些参与主体的利益诉求呈现出多样化的特点。参与主体间利益分配不均是该供应链各方合作面临的最大问题,可能会导致供应链的参与方互相间缺乏信任,严重制约了装配式建筑绿色供应链协同管理的效率^[13]。

(9) 风险防范与分担(F_{17})

由于装配式建筑绿色供应链囊括多个环节且节点间力量分散,加之成员的自利性使

其选择绿色活动行为时存在风险^[3]。为应对此类风险,采取有效的风险防范措施和建立多方共同参与的风险分担机制至关重要。建立风险防范与分担机制有助于及时识别、评估、应对和控制风险,从而提升装配式建筑绿色供应链的稳定性。

(10) 经济效益(F_{18})

装配式建筑绿色供应链成员采取绿色行为的一个重要目的是提高经济效益。随着绿色经济效益的提升,装配式建筑绿色供应链各参与方的采纳意愿也将提升。若该供应链上的利益相关方所得利益超出预期,将会提高各方成员的参与积极性,进而推动装配式建筑绿色供应链的发展。

(11) 智能化水平(F_{19})

将智能化、信息化和数字化理念引入装配式建筑绿色供应链领域可以提高供应链的智能化管理水平和数据共享效率,是新时代促进装配式建筑绿色供应链发展的创新举措。例如,可将 BIM、GIS、互联网、物联网、大数据和云计算等技术应用于装配式建筑绿色供应链管理过程中。

二、模型的建立

DEMATEL 是一种运用图论和矩阵工具的系统分析方法。通过系统中各要素之间的逻辑关系和直接影响矩阵,可以计算出各要素对其他要素的影响度和被影响度,进而确定各要素的原因度和中心度。解释结构模型法(Interpretative Structural Modelling Method, ISM)是通过将复杂系统拆解为多个子系统要素,并将其组合形成一个多级递阶结构模型的方法。AISM 在 ISM 的基础上融入了博弈对抗(Adversarial)思想,即在 ISM 结果优先的层级抽取规则的基础上,加入与之对立的原因优先的层级抽取规则,从而建立一组对抗的层级拓扑图。DEMATEL 与 AISM 所表达的内容并不重叠且结果可相互校对和佐证。DEMATEL 通过确定各影响因素的中心度和原因度,能揭示各影响因素间的因果关系及其在系统中的重要程度。

AISM 能够简化复杂系统,并通过对抗层级结构模型图(拓扑图)直观展示各影响因素所处的层级及其内在逻辑关系。装配式绿色供应链的影响因素众多且关系复杂,故笔者综合运用这两种方法探究其系统内各因素之间的层级关系,具体流程如图 2 所示。

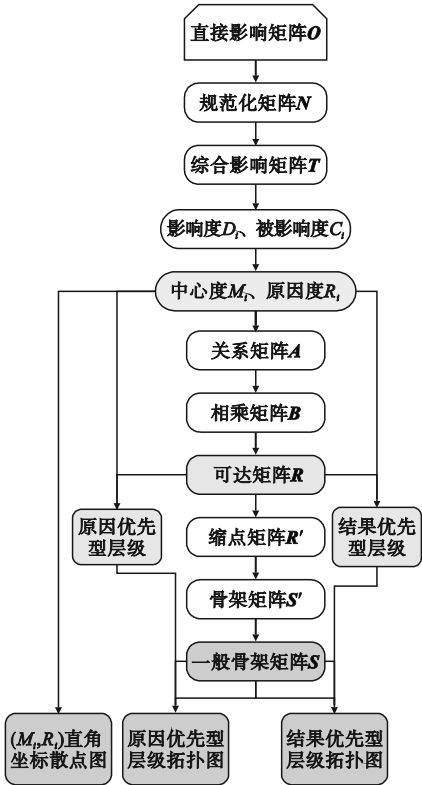


图 2 DEMATEL-AISM 运算流程

1. DEMATEL 运算流程

(1) 确定直接影响矩阵 O

使用具体数值(4,3,2,1,0)来量化因素之间的影响强度,其中 4 代表强烈影响,3 代表较强影响,2 代表一般影响,1 代表较小影响,0 代表没有影响。邀请专家学者对各影响因素间关系强弱进行评估,取其平均值确定直接影响矩阵 $O = (o_{ij})_{n \times n}$ 。其中, n 为矩阵维度; o_{ij} 为第 i 行的因素 F_i 对第 j 列的因素 F_j 的影响强度,且当 $i = j$ 时, $o_{ij} = 0$ 。

(2) 计算综合影响矩阵 T

$$N = \frac{O}{\max(\sum_{j=1}^n o_{ij})} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$T = (N + N^2 + N^3 + \dots + N^k)$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} N^k = N(I - N)^{-1} \quad (2)$$

式中: N 为规范化矩阵; I 为单位矩阵; $T = (t_{ij})_{n \times n}$ 。

(3) 计算影响度 D_i 和被影响度 C_i

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$C_i = \sum_{i=1}^n t_{ji}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中: t_{ij} 为矩阵 T 中第 i 行第 j 列的数值; t_{ji} 为矩阵 T 中第 j 行第 i 列的数值。

(4) 计算中心度 M_i 和原因度 R_i

$$M_i = D_i + C_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$R_i = D_i - C_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

2. AISM 运算流程

(1) 邻接矩阵 A 的建立

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & t_{ij} \geq \lambda \\ 0, & t_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (7)$$

式中:阈值 λ 为综合矩阵 T 值的平均值与标准差之和; $A = (a_{ij})_{n \times n}$; a_{ij} 为矩阵 A 中第 i 行第 j 列的数值。

(2) 可达矩阵 R 的建立

$$B = A + I \quad (8)$$

$$R = B^{k+1} = B^k \neq B^{k-1}, k = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

式中: I 为单位矩阵; B 为相乘矩阵。

(3) 一般骨架矩阵 S 的建立

骨架矩阵 S' 的计算见式(10),将回路因素代入 S' 得到一般性骨架矩阵 S

$$S' = R' - (R' - I)^2 - I \quad (10)$$

式中: R' 为可达矩阵 R 删除重复路径所得结果。

(4) 层级抽取

由可达矩阵 R 建立影响因素 F_i 的可达集 $P(F_i)$ 、先行集 $Q(F_i)$ 、共同集 $L(F_i)$ 。根据结果优先层次划分规则($P(F_i) = L(F_i)$)、原因优先层次划分规则($Q(F_i) = L(F_i)$)进行层级抽取。

$$\begin{cases} P(F_i) = \{F_i | F_i \in F, r_{ij} = 1\} \\ Q(F_i) = \{F_i | F_i \in F, r_{ji} = 1\} \\ L(F_i) = \{F_i \in F | P(F_i) \cap Q(F_i) = P(F_i)\} \end{cases} \quad (11)$$

式中: r_{ij} 为矩阵 R 中第 i 行第 j 列的数值; r_{ji} 为矩阵 R 中第 j 行第 i 列的数值。

(5) 绘制层级拓扑图

结合骨架矩阵所呈现的邻接二元关系与层级抽取结果,以有向弧连接各因素,并用数

值标注各因素影响度和中心度的排序,形成一组对抗的层级结构模型图。

三、实证结果与分析

实证调查采用问卷调查的方式进行。笔

者对装配式建筑、建筑供应链和绿色建筑研究领域的学者及装配式建筑绿色供应链行业内的资深项目经理、设计人员发放调查问卷共 32 份,有效回收问卷 29 份。取调查结果的平均值作为直接影响矩阵 O 。

$$O = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 3 & 0 & 3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 4 & 3 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 3 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 2 & 3 & 3 & 4 & 0 & 0 & 1 & 3 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 4 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 3 & 2 & 0 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 4 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 3 & 3 & 3 & 3 & 1 & 0 & 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 4 & 4 & 3 & 0 & 1 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 3 & 1 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

1. 中心度和原因度分析

运用 Matlab 对直接影响矩阵 O 进行处理和计算后得到各因素的影响度、被影响度、中心度及原因度结果(见表 2)。其中,中心度的数值越大,表示在系统中该因素与其他因素之间的关联越密切,因此在综合考虑影响因素的各项指标时,将中心度视作一个重要的衡量指标。由表 2 可知,中心度值最大的 5 个影响因素依次为 F_6 、 F_{12} 、 F_{18} 、 F_3 和 F_{16} ,也就是说这 5 个影响因素能对装配式建筑绿色供应链的发展产生重要影响,若要有效推动装配式建筑绿色供应链的发展应优先考虑以上因素。

根据中心度和原因度的结果绘制了中心度-原因度分布图(见图 3)。当原因度大于 0 时该因素为原因因素,反之则为结果因素。

表 2 相关因素的综合影响情况

编号	影响度	被影响度	中心度	原因度
F_1	1.962	0.045	2.007	1.917
F_2	1.212	0.140	1.352	1.071
F_3	1.670	0.932	2.602	0.738
F_4	1.709	0.610	2.319	1.098
F_5	1.321	0.955	2.276	0.366
F_6	1.490	2.152	3.642	-0.663
F_7	1.588	0.551	2.139	1.037
F_8	0.377	0.606	0.982	-0.229
F_9	0.938	1.593	2.531	-0.655
F_{10}	0.433	1.309	1.742	-0.877
F_{11}	0.296	1.799	2.094	-1.503
F_{12}	0.417	2.613	3.031	-2.196
F_{13}	1.578	0.816	2.394	0.762
F_{14}	1.283	0.045	1.329	1.238
F_{15}	1.127	0.794	1.921	0.333
F_{16}	0.581	1.986	2.567	-1.405
F_{17}	0.491	0.683	1.174	-0.193
F_{18}	0.599	2.039	2.638	-1.441
F_{19}	0.930	0.327	1.257	0.602

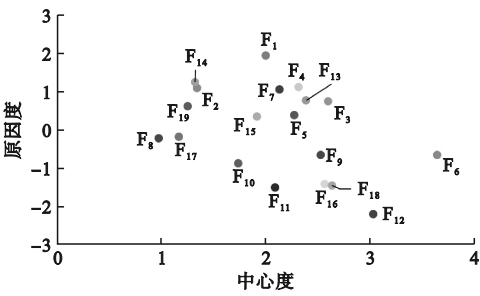


图 3 中心度 - 原因度分布情况

在原因因素中,原因度值最大的 5 个影响因素依次为 F_1 、 F_{14} 、 F_4 、 F_2 和 F_7 ,也就是说这 5

个影响因素对其他因素的影响程度最大,可利用这些因素对其他因素的影响实现间接控制。在结果因素中,原因度绝对值最大的 5 个影响因素依次为 F_{12} 、 F_{11} 、 F_{18} 、 F_{16} 和 F_{10} ,也就是说这 5 个影响因素易受到其他因素影响。

经计算,阈值 λ 为 0.121 2,对可达矩阵 R 进行缩减并代入得到一般骨架矩阵 S ,结合可达矩阵 R 进行层级抽取,得到了包含 7 个层级(L1 ~ L7)的装配式建筑绿色供应链影响因素系统(见表 3)。

$S =$

0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3 对抗层级抽取结果

层级	结果优先结果	原因优先结果
L1	F_{10} 、 F_{18} 、 F_{11} 、 F_{12} 、 F_{17}	F_{18} 、 F_{11} 、 F_{12}
L2	F_8 、 F_9 、 F_{16}	F_{10} 、 F_9 、 F_{16}
L3	F_{14} 、 F_2 、 F_3 、 F_5 、 F_6 、 F_{13}	F_3 、 F_5 、 F_6 、 F_{13}
L4	F_4	F_4 、 F_{17}
L5	F_1 、 F_{15}	F_{15}
L6	F_{19}	F_{19}
L7	F_7	F_8 、 F_1 、 F_2 、 F_7 、 F_{14}

2. 回路分析

基于以上结果绘制了对抗层级结构模型图(见图 4)其中, F_i 为影响因素,Ⓢ为中心度排序,Ⓜ为原因度排序(实框为正值排序,

虚框为负值排序)。由图 4 可知,装配式建筑绿色供应链影响因素系统中有 1 组回路: $\{F_3, F_5, F_6, F_{13}\}$,也就是说这组回路中的影响因素互为因果关系且联系紧密。

3. 层级与因果全系列分析

基于 AISM 对装配式建筑绿色供应链影响因素进行了层级划分,形成了 7 级 3 阶的有向层次结构:L7 的因素构成了本质致因阶,L2 ~ L6 的因素构成了过渡致因阶,L1 的因素构成了临近致因阶。本质致因阶中的因素对其他因素的影响程度最大,临近致因阶

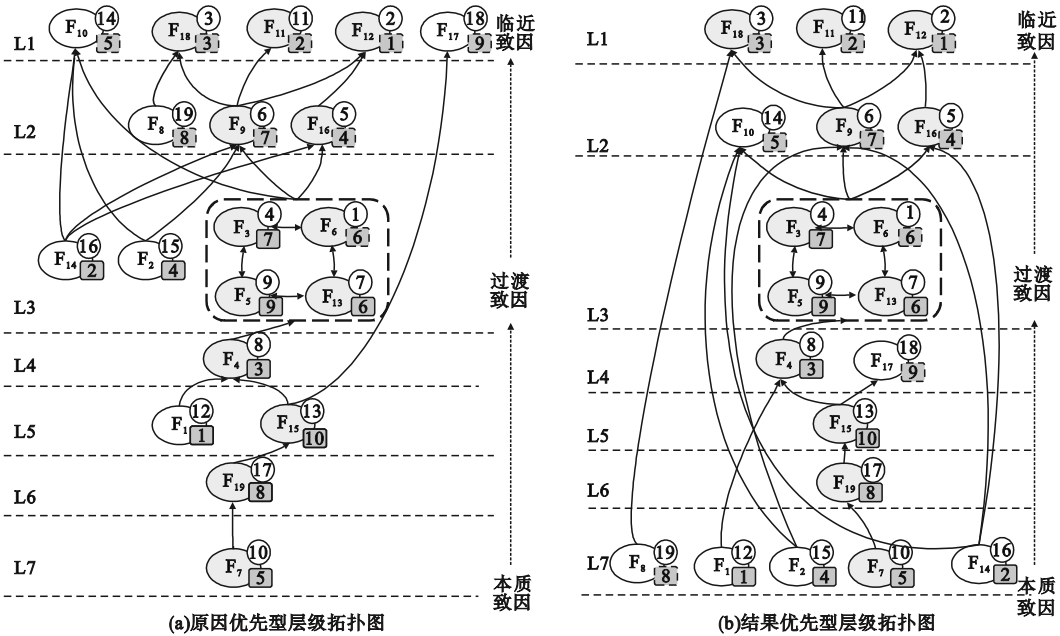


图 4 基于 DEMATEL-AISM 的对抗层级结构模型

中的因素更容易被其他因素影响。

为推动装配式建筑绿色供应链的可持续发展,应重点关注本质致因,因为其能通过影响其他因素对装配式建筑绿色供应链的整体产生影响。本质致因包含的影响因素有: F_1 、 F_2 、 F_7 、 F_8 和 F_{14} 。其中, F_1 的原因度值最高,故该因素为关键因素。

F_{10} 、 F_{11} 、 F_{12} 、 F_{17} 和 F_{18} 为临近致因,此类因素是影响装配式建筑绿色供应链发展的直接因素。为促进装配式建筑绿色供应链的快速发展,可从这 5 个因素着手。另外,由于此类因素容易受到其他因素的强烈影响,因此要注重对其前因因素的管控,必要时应当切断其与前因因素的联系。

在过渡致因中,中心度较高的因素包括: F_6 、 F_3 、 F_{16} 、 F_9 、 F_{13} 和 F_4 。其中, F_6 和 F_3 都处于强相关性回路中,位于 L2 的 F_{16} 和 F_9 都可直接影响临近致因, F_4 的原因度值较高(排名第三),因而这 5 个因素是影响装配式建筑绿色供应链发展的关键因素。

四、结 语

本研究基于 DEMATEL - AISM 对装配式绿色供应链的关键影响因素进行了识别并系统分析了各因素之间的层级关系,通过模

型构建、实证调查和结果分析得出以下结论:装配式建筑绿色供应链的关键影响因素为政策法规、宣传与普及力度、社会效益、供应链协同水平、绿色设计与管理及行业监管力度,其中宣传与普及力度和社会效益这两个因素互为因果关系且联系紧密。

未来可以从以上关键影响因素着手,持续完善装配式绿色供应链的各个方面,进一步推动装配式建筑的绿色可持续发展。例如:加强政策支持,以供应链全生命周期为导向、以利益相关方全员参与为原则,制定专项支持和资金补助等新政策;进一步提高供应链协同水平,通过建立合理的利益分配机制,实现供应链各方和整体的利益最优;提高相关企业的绿色设计与管理水平,通过提高构件的标准化和模块化程度实现企业绿色设计水平的提升,并利用 BIM、大数据等技术实现企业绿色管理水平的提升。

参考文献:

[1] 张驰,张文杰,何坤,等. 装配式建筑绿色供应链的利益分配研究[J]. 建筑经济,2023,44(3):79-87.
[2] 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.

[3] 黄桂林,张闯,魏修路. 装配式建筑绿色供应链模型研究[J]. 建筑经济,2019,40(7):48-52.

[4] 高德生,张云宁,欧阳红祥,等. 供应链管理视角下装配式建筑可持续发展分析[J]. 工程管理学报,2019,33(4):15-20.

[5] 刘子琦,张云宁,欧阳红祥,等. 基于云物元理论的装配式建筑供应链可持续性评价[J]. 土木工程与管理学报,2020,37(3):109-115.

[6] 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.

[7] 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.

[8] KOSANOGLU F,KUS H T. Sustainable supply chain management in construction industry: a Turkish case [J]. Clean technologies and environmental policy. 2021, 23 (9): 2589 - 2613.

[9] 魏宏亮,牛昌林,刘福江,等. 基于 DEMATEL - AISM 法的装配式建筑预制构件成本影响因素分析[J]. 建筑经济,2021,42(10):83-88.

[10] 何晓川,李英攀,彭波,等. 基于 DEMATEL - AISM 的建筑业数字化转型影响因素研究[J]. 工程管理学报,2022,36(2):18-22.

[11] 姚文婷,刘莎. 老旧小区改造持续推进影响因素研究[J]. 工程管理学报,2022,36(6):66-71.

[12] 王颖林,李煜龙,庾明贝. 智慧生产视域下装配式钢结构建筑构配件成本影响因素研究[J]. 建筑经济,2023,44(2):89-97.

[13] 刘光忱,朱甜. 基于总承包商视角的装配式建筑供应链协同管理影响因素研究 [J]. 沈阳建筑大学学报 (社会科学版), 2022, 24 (5): 496 - 502.

Influencing Factors Analysis of Green Supply Chain for the Assembled Building Based on DEMATEL-AISM

YIN Zheng, WANG Shiliu

(School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China)

Abstract: As one of the main directions for the transformation and upgrading of the construction industry, the research on the green supply chain of assembled buildings is of great significance. Based on the established research results, relevant policies and regulations, combined with the results of the questionnaire, the influencing factors were identified and the index system was constructed from the external and internal aspects of the green supply chain of assembled buildings. The key influencing factors were analyzed using DEMATEL-AISM, and the hierarchical relationship between these influencing factors was systematically evaluated. The results show that the key influencing factors of the green supply chain for assembled buildings are policies and regulations, publicity and popularization efforts, social benefits, supply chain synergy level, green design and management, and industry supervision efforts.

Key words: prefabricated building; green supply chain; influencing factors; DEMATEL-AISM
(责任编辑:徐聿聪 英文审校:林 昊)