

基于 DEMATEL-ISM 的装配式建筑 发展制约因素研究

李强年¹, 陈瑞军¹, 马岷成²

(1. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050, E-mail: 2752674307@qq.com;

2. 甘肃省建设设计咨询集团有限公司, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 目前, 我国装配式建筑在预制、运输、安装过程中, 受到专业人才缺乏、节点连接技术不成熟、成本偏高等因素的制约, 导致我国装配式建筑的发展速度缓慢。运用文献查阅和问卷调查法, 从建筑施工企业的角度, 识别出制约我国装配式建筑发展的主要因素。应用 DEMATEL 分析了各制约因素的中心度和原因度, 运用 ISM 构建了制约因素的多级递阶结构模型, 将两个模型进行耦合构建组合模型, 通过组合模型理清了各制约因素间的逻辑关系和层级关系及相对重要程度。研究发现, 制约我国装配式建筑发展的根本原因是缺乏专业人才。根据原因因素的中心度排序, 确定出主要制约因素, 制定出提升我国施工企业装配式建筑施工水平的应对措施, 为推动我国装配式建筑的发展提供一定的建议和指导。

关键词: 装配式建筑; 制约因素; DEMATEL; ISM

中图分类号: TU741 文献标识码: A 文章编号: 1674-8859(2020)02-038-06 DOI: 10.13991/j.cnki.jem.2020.02.008

Research on the Constraints of the Development of Prefabricated Buildings Based on DEMATEL-ISM

LI Qiang-nian¹, CHEN Rui-jun¹, MA Min-cheng²

(1. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Gansu 730050, China, E-mail: 2752674307@qq.com;

2. Gansu Construction and Design Consulting Group Co. Ltd., Gansu 730050, China)

Abstract: At present, the lack of professional talents, immature node connection technology and high cost in the process of manufacturing, transportation and installation process slows the development of prefabricated buildings in China. Using literature review and questionnaire survey methods, the main factors restricting the development of prefabricated buildings in China were identified from the perspective of construction companies. DEMATEL was used to analyze the centrality and cause of each constraint, ISM was used to build a multi-level hierarchical structure model of the constraint. These two models were coupled to build a composite model. Through the combination of models, the logical and hierarchical relations and relative importance of each constraint were clarified. The research found that the fundamental reason restricting the development of prefabricated buildings in China was the lack of professional talents. According to the centrality ranking of the cause factors, the main constraints were identified, and the measures to improve the construction level of the prefabricated buildings of construction enterprises were proposed to provide certain suggestions and guidance for the development of prefabricated buildings in China.

Keywords: prefabricated building; constraints; DEMATEL; ISM

近年来, 随着社会经济发展水平的不断提高, 我国劳动力资源的优势已经消失, 建筑行业正面临劳动力短缺和劳动力成本不断升高等问题, 装配式

建筑较传统建筑对劳动力的需求大幅降低, 缓解了劳动力短缺。传统的现场湿作业施工方式由于其生产方式和管理模式的粗放, 造成了环境污染和资源浪费, 装配式建筑具有工厂化生产、装配化施工和信息化管理的特点, 避免了环境污染和资源浪费等

收稿日期: 2020-02-17.

基金项目: 甘肃省兰州市科技计划项目(2018-1-27).

问题。为深入贯彻落实我国“绿色、环保、可持续发展”战略, 大力发展装配式建筑显得尤为迫切。目前, 装配式建筑已经在欧洲、日本、新加坡等发达国家取得了预期的成果, 但我国在推广装配式建筑时却受到了一定程度的制约^[1]。

国内外学者对我国装配式建筑发展制约因素进行了研究。Zhang 等^[2]采用模糊层次分析法分析影响中国装配式建筑发展的主要因素是缺乏专业人才、未形成完整的产业链以及相关规范标准不完善。Hong 等^[3]以实际案例为背景, 分析发现中国装配式建筑较传统建筑成本偏高的主要原因是新增了构件的运输费用和装配费用。Xue 等^[4]通过社会网络分析 (SNA) 和结构方程模型发现缺乏创新是中国装配式建筑推广受阻的主要原因之一。Wu 等^[5]从技术推广的角度研究了中国装配式建筑发展的状况, 并从行业、公司、技术、政府、市场 5 个方面构建影响因素模型, 结果发现技术对装配式建筑的影响程度比成本大。陈文萍等^[6]运用因子分析法研究影响我国装配式建筑发展因素间的相对重要程度, 认为成本偏高和市场需求不高是主要原因。桑培东等^[7]采用主成分分析法将影响装配式住宅发展的因素归纳为供应链、技术创新、管理因素、市场因素、政策与法规、成本因素六大类, 并通过多元回归法得出政策与法规是最主要的原因。李德智等^[8]从建设单位的角度出发, 利用二元回归法分析影响我国装配式建筑的主要阻碍因素是建设工期和建安成本。叶浩文^[9]认为监管机制不完善和物流运输系统不完善阻碍了装配式建筑的快速发展。秦旋等^[10]利用解释结构模型 (ISM) 理清了各影响因素之间的层级关系, 认为标准化与多样化的矛盾和关键技术不成熟也是不可忽略的影响因素。

综上, 国内外学者对我国装配式建筑发展制约因素的研究大多停留在理论研究与定性分析阶段, 缺乏对制约因素间的相互关系以及作用机理的研究。因此, 本文以施工企业为视角, 通过文献查阅及问卷调查, 将决策试验评价实验 (DEMATEL) 分析出的制约因素的中心度和原因度融入到解释结构模型 (ISM) 的多级递阶结构图中, 构建组合评价模型, 分析各制约因素之间的相互关系和作用机理。避免了 DEMATEL 不能表达制约因素间的相互联系和逻辑关系的不足, 也避免了 ISM 不能准确地分析各制约因素对复杂系统的影响程度的不足。通过组合模型找出关键制约因素, 针对关键制约因素提出相应的建议与解决措施, 可为施工企业提升

装配式建筑施工综合水平提供理论指导, 为推动我国装配式建筑的发展提供科学合理的指导意见。

1 识别装配式建筑推广受阻的制约因素

通过文献查阅^[1-10], 识别出制约我国装配式建筑发展的 21 个因素, 从施工企业的角度, 对其进行问卷调查, 剔除对我国装配式建筑发展影响弱的制约因素, 最终确定出 13 个主要制约因素, 并根据制约因素本身具有的层次性和系统性以及制约因素的内涵, 将其划分为政策、经济、市场、技术四大类, 已确定的制约因素的内涵解释如表 1 所示。

表 1 制约因素的内涵解释与分类

影响因素	内容解释
政策 S ₁	政策推广力度不够 S ₁₁ 我国虽然大力提倡发展装配式建筑, 也出台了一些激励政策, 但大多数体现在建设方, 对施工企业的激励政策并不显著
	相关标准、规范不完善 S ₁₂ 装配式建筑较传统建筑其施工过程更复杂, 由于目前相关标准规范不完善, 致使在施工过程中无章可循
	监管机制不完善 S ₁₃ 目前我国装配式建筑的相关监管机制尚未健全, 导致装配式建筑在施工过程中监管不到位, 管理混乱
经济 S ₂	建造成本偏高 S ₂₁ PC 构件在生产过程中较传统建筑会产生大量的模具费用, 以及新增运输费和施工过程中额外的构件连接成本
市场 S ₃	市场认可度不高 S ₃₁ 消费者主观认为预制结构整体性和抗震性差, 对装配式建筑的认可度不高。建筑企业参与装配式建设的积极性也不高主要是因为短期内无法获得预期的经济效益
	未形成完整的产业链 S ₃₂ 上世纪在我国政策的影响下, 大量的 PC 构件停产, 致使我国在推广装配式建筑时, 很难在短时间内生产出符合市场要求的构件
	物流运输系统不完善 S ₃₃ 由于 PC 构件的自身特征, 施工企业需要完善的物流运输系统才能作出经济合理的进度安排。然而目前我国 PC 构件的运输方式不能满足施工企业的要求
技术 S ₄	缺乏创新 S ₄₁ 我国在引进国外成功经验时, 由于没考虑我国目前现场施工的特点, 导致装配式建筑在施工过程中问题频出
	标准化与多样化的矛盾 S ₄₂ 建筑产品具有多样性, 因此不能过分追求标准化而限制多样化的发展, 也不能不发展标准化而强调多样化。针对标准化设计, 我国装配式建筑仍处于设计定型阶段, 难以满足市场需求
	PC 构件模数不完善 S ₄₃ PC 构件配套性差、各构件之间的模数协调难度大, 给现场装配化施工带来了较大的困难
	缺乏专业人才 S ₄₄ 缺乏专业的技术人才、缺乏现场管理人才、缺乏相应的产业工人、缺乏专业的施工队伍等
	现场管理模式不成熟 S ₄₅ 装配式建筑由于其自身现场化装配的施工特点, 使现场管理的难度增大, 传统的现场管理模式已经不适应装配式建筑的发展。BIM 的成功应用对装配式建筑的施工现场管理具有重要的意义, 而我国对于 BIM 的应用还不广泛
	关键技术不成熟 S ₄₆ 关键节点处的连接问题尚未得到解决, 并且生产加工的 PC 构件精度难以满足市场需求, 导致施工质量得不到保证

2 构建 DEMATEL 和 ISM 的组合模型

2.1 方法模型基本原理分析

ISM (Interpretive Structural Modeling) 即解释结构模型, 用于研究复杂系统而开发的一种模型。基于有向图、矩阵和计算机技术等工具, 构建出一个多级递阶结构模型^[10]。DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboration) 即决策试验评价实验法, 它是一种以图论和矩阵为工具简化复杂系统结构的科学方法^[11]。本文组合模型是将 DEMATEL 中的中心度、原因度融入到 ISM 的多级递阶结构中, 不仅可以理清各制约因素的层级关系也对制约因素的相对重要度进行了研究, 使分析的结果更加客观合理, 构建的模型如图 1 所示。

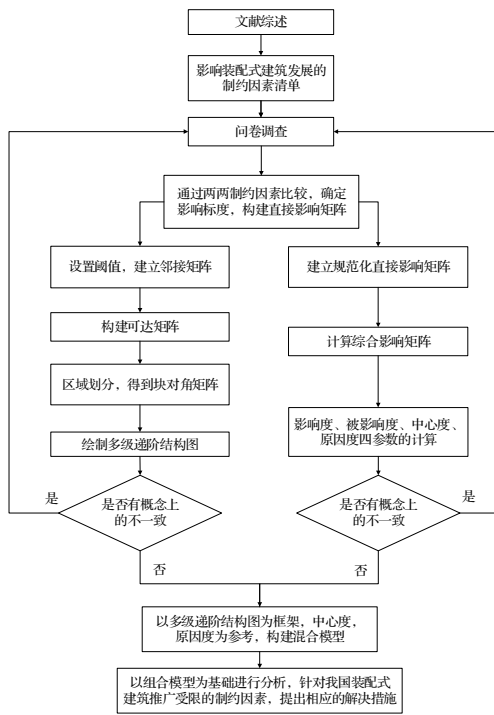


图 1 组合结构模型框架图

构建组合模型步骤如下:

(1) 确定制约因素集 $S = \{S_i \mid i=1, 2, \dots, n\}$ 。

(2) 确定要素影响标度, 通过专家知识和经验确定要素间的相互影响关系, 得到直接影响矩阵 $V = [v_{ij}]_{n \times n}$ 。其中 v_{ij} 表示要素 S_i 对要素 S_j 的影响程度, 当 $i=j$ 时 $v_{ij}=0$ 。

(3) 计算直接影响矩阵 V 得到规范化直接影响矩阵 X 。 $X = [x_{ij}]_{n \times n} = V / \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$ 。

(4) 计算规范化直接影响矩阵 X 得到综合影响矩阵 T 。 $T = X(I - X)^{-1}$, I 表示单位矩阵。

(5) 计算制约因素的影响度 f_i 、被影响度 e_i 、中心度 z_i 、原因度 y_i 。计算公式如下:

$$f_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}, \text{ 其中 } 1 \leq i \leq n;$$

$$e_i = \sum_{j=1}^n t_{ji}, \text{ 其中 } 1 \leq j \leq n;$$

$$z_i = f_i + e_i;$$

$$y_i = f_i - e_i。$$

(6) 对直接影响矩阵 $V = [v_{ij}]_{n \times n}$ 设置阈值 λ , 若 $v_{ij} > \lambda$, 则 $a_{ij}=1$; 若 $v_{ij} \leq \lambda$, 则 $a_{ij}=0$, 得到新的矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 。用矩阵 A 代替 ISM 中的邻接矩阵既能简化邻接矩阵复杂的求解过程又能实现 DEMATEL 和 ISM 的深度融合^[12]。

(7) 计算可达矩阵 $M = [m_{ij}]_{n \times n}$, $M = (A+I)^r$, 其中 $(A+I) \neq (A+I)^2 \neq \dots \neq (A+I)^{r-1} \neq (A+I)^r = (A+I)^{r+1} = \dots = (A+I)^n$ 且遵循布尔代数运算规则。

(8) 对可达矩阵划分区域和级位。确定可达集 $R(S_i)$ 、先行集 $A(S_i)$ 、共同集 $C(S_i)$ 。整理出高级要素, 逐级别除高级要素, 直至解出最低要素集合^[13]。

(9) 根据上述计算结果, 绘制我国装配式建筑发展制约因素的多层递阶结构模型图。以多级递阶结构模型图框架, 中心度、原因度为依据构建组合模型。

2.2 问卷设计及数据的收集与处理

在上述问卷调查的基础上, 对这 13 个制约因素间的相互关系再次进行问卷调查, 其中受调研对象主要是从事装配式建筑的设计人员、施工人员、现场管理人员、预制构件生产人员以及高校从事装配式建筑相关领域研究的科研人员, 他们都具有从事装配式建筑的相关经验, 如设计经验、施工经验、监管经验和现场管理经验等。本次选择专家 50 人 (其中高校从事装配式建筑相关领域研究的教师为 10 人, 业主为 12 人, 设计单位为 8 人, 施工单位为 14 人, 咨询/监理单位为 6 人) 作为此次调研的对象, 采用 0~3 标度 (0-无影响; 1-影响弱; 2-影响一般; 3-影响强) 对要素间的相互关联程度进行打分。由于各专家在主观认识方面存在一定程度的差异, 本文在收集到各位专家对装配式建筑发展制约因素间的相互关联程度打分的问卷后, 对打分结果取平均值, 进行客观分析, 若要素 S_i 对要素 S_j 的影响程度只有一种结果, 即 $(v_{ij} = \{0\}, \{1\}, \{2\}, \{3\})$, 则直接取其值作为影响标度, 若要素 S_i 对要素 S_j 的影响程度有两种连续的结果, 即 $(v_{ij} = \{0,1\}, \{1, 2\}, \{2, 3\})$, 则取平均值作为影响标度; 若要

素 S_i 对要素 S_j 的影响程度有其他结果出现时, 则需要通过排列图法, 分析出累计百分比为 80% 的结果, 并将这些结果做平均值, 作为影响标度。若通过排列图法得出的结果差值等于 3, 则需要对其重新进行问卷调查。根据上述原理, 对收集的数据进行处理, 可以得到装配式建筑发展制约因素的直接影响矩阵 V 。

2.3 DEMATEL 分析

2.3.1 综合矩阵 T 的计算

在问卷调查数据处理的基础上可以得到直接影响矩阵 V , 通过上述步骤 (3) 和 (4) 对直接影响矩阵 V 进行规范化处理和综合处理, 得到综合影响矩阵 T , 为了提高矩阵计算的精度和便于大量数据的处理, 上述矩阵的运算都是借助 Matlab 软件处理的, 计算结果如下:

$$T = \begin{bmatrix} 0.16 & 0.19 & 0.21 & 0.42 & 0.34 & 0.24 & 0.26 & 0.22 & 0.21 & 0.22 & 0.28 & 0.25 & 0.25 \\ 0.06 & 0.02 & 0.02 & 0.09 & 0.08 & 0.05 & 0.07 & 0.06 & 0.06 & 0.07 & 0.08 & 0.07 & 0.09 \\ 0.14 & 0.05 & 0.05 & 0.23 & 0.19 & 0.10 & 0.13 & 0.13 & 0.13 & 0.14 & 0.17 & 0.14 & 0.13 \\ 0.25 & 0.13 & 0.14 & 0.33 & 0.41 & 0.26 & 0.29 & 0.26 & 0.29 & 0.31 & 0.32 & 0.30 & 0.31 \\ 0.23 & 0.10 & 0.10 & 0.37 & 0.24 & 0.23 & 0.26 & 0.23 & 0.24 & 0.28 & 0.30 & 0.27 & 0.28 \\ 0.20 & 0.09 & 0.10 & 0.40 & 0.32 & 0.15 & 0.23 & 0.21 & 0.22 & 0.23 & 0.25 & 0.23 & 0.23 \\ 0.24 & 0.09 & 0.10 & 0.43 & 0.35 & 0.25 & 0.20 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.32 & 0.30 & 0.25 \\ 0.22 & 0.09 & 0.09 & 0.38 & 0.33 & 0.22 & 0.25 & 0.18 & 0.28 & 0.30 & 0.32 & 0.28 & 0.31 \\ 0.14 & 0.09 & 0.08 & 0.28 & 0.24 & 0.13 & 0.16 & 0.14 & 0.13 & 0.26 & 0.24 & 0.17 & 0.16 \\ 0.11 & 0.06 & 0.06 & 0.30 & 0.21 & 0.13 & 0.16 & 0.14 & 0.20 & 0.14 & 0.21 & 0.15 & 0.16 \\ 0.19 & 0.09 & 0.10 & 0.37 & 0.33 & 0.18 & 0.29 & 0.30 & 0.31 & 0.30 & 0.24 & 0.33 & 0.29 \\ 0.14 & 0.07 & 0.07 & 0.26 & 0.22 & 0.12 & 0.23 & 0.15 & 0.14 & 0.16 & 0.22 & 0.13 & 0.14 \\ 0.14 & 0.07 & 0.08 & 0.33 & 0.26 & 0.15 & 0.17 & 0.20 & 0.17 & 0.18 & 0.23 & 0.17 & 0.15 \end{bmatrix}$$

2.3.2 计算 f_i 、 e_i 、 z_i 、 y_i

通过上述步骤 (5) 可计算得出装配式建筑发展制约因素的影响度 f_i 、被影响度 e_i 、中心度 z_i 、原因度 y_i 。其中, 中心度是评价影响因素本身对复杂系统影响程度的重要指标, 原因度是影响因素对其他因素影响程度评价的重要指标。若原因度大于零, 则为原因因素, 若原因度小于零, 则为结果因素^[14]。最后对中心度的大小进行排序, 计算结果如表 2 所示。

表 2 我国装配式建筑发展制约因素的综合影响关系

因素	影响度 f_i	被影响度 e_i	原因度 y_i	中心度 z_i	中心度排序
S_{11}	3.25	2.22	1.03	5.47	6
S_{12}	0.82	1.14	-0.32	1.96	13
S_{13}	1.73	1.20	0.53	2.93	12
S_{21}	3.62	4.19	-0.57	7.81	1
S_{31}	3.12	3.53	-0.41	6.65	2
S_{32}	2.85	2.21	0.64	5.06	7
S_{33}	3.29	2.71	0.58	6.00	4
S_{41}	3.24	2.46	0.78	5.70	5
S_{42}	2.22	2.64	-0.42	4.86	10
S_{43}	2.04	2.84	-0.80	4.88	9
S_{44}	3.31	3.19	0.12	6.50	3
S_{45}	2.07	2.78	-0.71	4.85	11
S_{46}	2.29	2.76	-0.47	5.05	8

2.4 ISM 分析

2.4.1 构建邻接矩阵及可达矩阵

对直接影响矩阵 $V=[v_{ij}]_{n \times n}$ 设置阈值 $\lambda=2$, 可以得到邻接矩阵 A 。以此为基础, 根据步骤 (7) 并遵循布尔代数运算原理, 得到可达矩阵 M 。其最终计算结果如下:

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

2.4.2 绘制多级递阶结构图

对可达矩阵 M 进行步骤 (8) 运算, 详细过程不再赘述。本研究为了使制约因素的内部关系更加清楚, 在考虑制约因素的相互关系时, 只考虑它们之间是否有关。若既有直接影响关系, 又有间接影响关系, 只考虑直接影响关系。根据上述计算结果构建我国装配式建筑发展制约因素的 ISM 模型, 如图 2 所示。

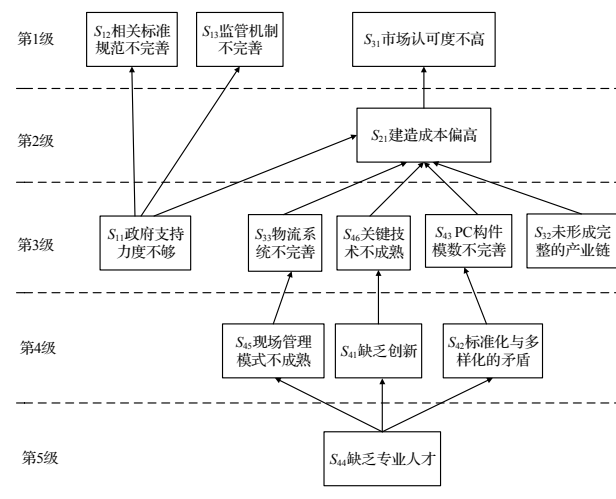


图 2 装配式建筑发展的制约因素多级递阶结构图

2.5 构建组合模型

通过 DEMATEL 分析结果, 将我国装配式建筑发展制约因素的原因度根据其正负可分为原因集合和结果集合, 并对中心度的大小进行排序; 同时以 ISM 模型中的多级递阶结构图为框架, 构建组合模型, 如图 3 所示。

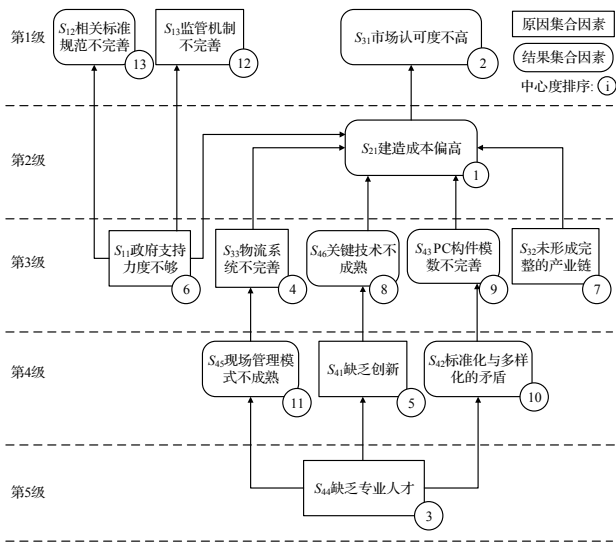


图 3 组合模型图

(1) 对图 3 进行分析, 显然, 处于最底层的制约因素只有缺乏专业人才 (S_{11}), 是原因因素, 且其中心度为 3。说明缺乏专业人才 (S_{11}) 是制约我国装配式建筑发展的最根本原因, 也是最重要原因之一, 在装配式建筑推广过程中它是需要重点关注的对象。

(2) 处于最顶层的制约因素有相关标准规范不完善 (S_{12})、监管机制不完善 (S_{13}) 和市场认可度不高 (S_{31})。 S_{13} 是原因因素, 主要影响其他制约因素; S_{12} 和 S_{31} 是结果因素, 它们易受其他制约因素的影响。

(3) 间接影响复杂系统的因素处于底层和顶层之间, 中间层有两个相对独立的制约因素是政策支持力度不够 (S_{11})、未形成完整的产业链 (S_{32})。 S_{11} 和 S_{32} 是原因因素; 建造成本偏高 (S_{21}) 是结果因素, 其中心度排序为 1, S_{21} 是装配式建筑推广受限的首要原因, 它是装配式建筑在推广过程中需要首先考虑的因素。

综上分析, 将 13 个制约因素按中心度由大到小进行排序, 依次为 S_{21} 建造成本偏高、 S_{31} 市场认可度不高、 S_{44} 缺乏专业人才、 S_{33} 物流运输系统不完善、 S_{41} 缺乏创新、 S_{11} 政府支持力度不够、 S_{32} 未形成完整的产业链、 S_{46} 关键技术不成熟、 S_{43} PC 构件模数不完善、 S_{42} 标准化与多样化的矛盾、 S_{45} 现场管理模式不成熟、 S_{13} 监管机制不完善、 S_{12} 相关标准规范不完善。其中原因因素排序依次为 S_{44} 缺乏专业人才、 S_{33} 物流运输系统不完善、 S_{41} 缺乏创新、 S_{11} 政府支持力度不够、 S_{32} 未形成完整的产业链、 S_{13} 监管机制不完善。

3 建议和措施

根据 DEMATEL 与 ISM 构建的组合模型分析可知, 原因因素是制约我国装配式建筑发展的主要因素, 对原因因素提出相应的解决措施, 可解决结果因素对我国装配式建筑发展的制约问题。因此本研究立足于施工企业视角, 按原因因素的中心度排序, 制定出提升施工企业装配式建筑施工水平和管理水平的应对措施, 为推动我国装配式建筑的发展提供一定的建议和指导。

(1) 完善人才培养体系。装配式建筑在施工过程中主要缺乏专业技术人才、现场管理人才、专业的施工队伍等。建议政府出台相关政策完善装配式建筑人才培养体系, 如在高校开设装配式建筑的设计、施工和管理等相关课程, 加强科研单位对装配式建筑施工技术的研究, 同时将装配式建筑相关知识纳入建筑工程执业资格考试大纲中, 完善装配式建筑专业人才需求。施工企业应加强专业技术人才、专业施工队伍和施工现场管理人才的培养, 以及引进 BIM 人才, 为施工企业装配化施工、信息化管理提供一个平台, 指导装配式建筑的施工过程^[15]。

(2) 完善物流运输系统。在预制构件的运输过程中主要存在时间难以控制、质量难以保障等问题。建议政府对施工企业给予政策上的支持, 如在预制构件的运输方面, 地方交通运输部门应给予施工企业绿色通道的保障, 使施工企业的施工进度能满足施工要求; 协调和要求设计单位尽量减少大尺寸构件的设计, 在满足设计要求和功能的同时, 要求预制构件的设计向着模块化、标准化方向发展。施工企业应规划好运输路线, 加强与当地交通管理部门的沟通和预制构件运输过程中的管理, 避免由于路线规划不合理、操作不当和路面不平整等问题影响预制构件的质量, 同时借鉴目前电商物流运输方式, 根据其下单、商品运输动态和售后服务, 制定出适合运输预制构件的物流运输系统。

(3) 激励创新。现有的关键节点连接技术和构件精确定位技术等不能满足目前的施工要求, 给现场装配化施工带来一定的困难。政府应鼓励高校和科研单位加强装配式建筑施工管理方法的创新, 促进装配式建筑的快速发展。施工企业应加强装配式建筑施工工艺的创新, 根据施工现场特点, 总结施工经验, 为构件精确定位和关键节点连接等技术的创新提供数据支撑, 为提升自身装配式建筑施工综合水平和其他施工企业发展装配式建筑提供一

定的指导。

(4) 加大政府支持力度。在宣传和政策优惠等方面,政府的支持力度还不够。应以政府为主导,施工企业和设计单位积极配合,完善装配式建筑的施工规范和设计标准等,同时政府应以传统建筑监管机制为参考加强装配式建筑监管机制的建设,避免装配式建筑在实施过程中出现交叉管理和无人管理的现象,同时出台相关优惠政策,如通过减免预制构件加工厂的构件税费,进一步降低装配式建筑的建设成本。施工企业需要联合政府宣传装配式建筑性能的优越性,消除消费者对装配式建筑性能的误解,提高装配式建筑在市场上的认可度。

(5) 形成完整的产业链。由于我国目前装配式建筑的设计、预制、安装之间的联系不紧密,导致我国装配式建筑的产业链不完善。政府应对具备生产预制构件能力的企业进行政策上的优惠,大力支持预制构件供应企业的建设,如对具备生产能力的施工企业给予优先使用其生产预制构件的优惠,促进施工企业对装配式建筑的积极性。施工企业应加强设计、预制、安装一体化建设,推动其上下游产业的整合,进一步降低装配式建筑的建设成本。

4 结语

本文从建筑施工企业的角度,通过决策试验评价实验(DEMATEL)和解释结构模型(ISM)构建的组合评价模型,对制约我国装配式建筑发展的因素进行了研究,分析发现,建设成本偏高是制约我国装配式建筑发展的首要原因,市场认可度不高是最直接的原因,缺乏专业人才是最根本的原因。根据原因因素的中心度排序,确定出关键制约因素,并针对关键制约因素提出了相应的建议与解决措施,以期为施工企业提升装配式建筑施工水平提供理论指导,为我国装配式建筑发展提供一定的参考价值。但本研究也存在一些不足:一是收集的样本有限,本次问卷仅限甘肃省内的项目,以后可以在全国范围内进行问卷调查;二是本研究仅在建筑施工企业的视角下,对我国装配式建筑发展的制约因素进行了研究,未来可以在开发方、设计方、供应方等相关利益方的角度,研究我国装配式建筑发展的制约因素。

参考文献:

[1] 王 俊,赵基达,胡宗羽.我国建筑工业化发展现状与思考[J].土木工程学报,2016,49(5):1-8.

- [2] Zhang X, Skitmore M, Yi P. Exploring the challenges to industrialized residential building in China[J]. Habitat International, 2014, 41 (41): 176-184.
- [3] Hong J, Shen G Q, Li Z, et al. Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost-benefit analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2018 (172): 649-660.
- [4] Xue X, Zhang X, Wang L, et al. Analyzing collaborative relationships among industrialized construction technology innovation organizations: A combined SNA and SEM approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 173: 265-277.
- [5] Wu G, Yang R, Li L, et al. Factors influencing the application of prefabricated construction in China: From perspectives of technology promotion and cleaner production[J]. Journal of Cleaner Production, 2019.
- [6] 陈文萍,李玉美.基于因子分析法的装配式建筑发展制约因素研究[J].价值工程,2019,38(17):223-225.
- [7] 桑培东,王延杰.装配式住宅发展的制约因素研究——基于主成分分析法[J].工程管理学报,2018,32(6):23-28.
- [8] 李德智,王 艳.建设单位主动采用装配式建筑的驱动及阻碍因素[J].土木工程与管理学报,2019,36(3):7-11.
- [9] 叶浩文.新型建筑工业化的思考与对策[J].工程管理学报,2016,30(2):1-6.
- [10] 秦 旋,李奥蕾,张 榕,谢 祥.建筑工业化影响因素层级结构关系研究:来自厦门的调查[J].重庆大学学报(社会科学版),2017,23(6):30-40.
- [11] Tseng M L. A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach[J]. Expert Systems With Applications, 2009, 36(1): 7738-7748.
- [12] 周德群,章 玲.集成DEMATEL/ISM的复杂系统层次划分研究[J].管理科学学报,2008,11(2):20-26.
- [13] 汪应洛.系统工程[M].机械工业出版社,2015:45-48.
- [14] 解涛瑞,余健俊,宋家仁.基于关键成本影响因素分析的BIM应用推进对策[J].土木工程与管理学报,2018,35(1):152-163.
- [15] 彭书凝.BIM+装配式建筑的发展与应用[J].施工技术,2018,47(10):20-23,60.

作者简介:

李强年(1970-),男,教授级高工,硕士生导师,研究方向:项目管理;

陈瑞军(1993-),通讯作者,男,硕士研究生,研究方向:项目管理;

马岷成(1970-),男,高级工程师,硕士生导师,研究方向:装配式建筑。