

文章编号:1673-9469(2025)04-0077-06

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2025.04.011

## BIM 技术应用于装配式建筑的制约因素分析

韩立红,周广胤\*,史学鹏

(青岛理工大学管理工程学院,山东 青岛 266000)

**摘要:** 为找出影响 BIM 技术应用于装配式建筑的制约因素,从政策、经济、市场、技术 4 个维度中选择 11 个影响因素构成因素集。首先,采用决策与实验室法分析评价制约因子间的中心度与原因度;然后,运用解释结构模型建立制约因子的多层次结构模型;最后,利用交叉影响矩阵相乘法获得制约因子的驱动力-依赖度矩阵。将三种模式进行耦合建立复合模式,并在此基础上理清制约因子之间的逻辑关系、层次关系、相对重要性。结果表明,设计方和施工方抵制是制约 BIM 技术在装配式建筑中应用的首要原因,缺乏创新能力、缺乏专业人才是根本原因。

**关键词:** BIM;装配式建筑;制约因素;决策与实验室法;解释结构模型;交叉影响矩阵相乘法

**中图分类号:** TU17;TU741

**文献标识码:** A

## Analysis of Constraints on the Application of BIM Technology in Prefabricated Buildings

HAN Lihong, ZHOU Guangyin\*, SHI Xuepeng

(School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao, Shandong 266000, China)

**Abstract:** In order to identify the constraints that affect the application of BIM technology in prefabricated buildings, 11 influencing factors were selected from the four dimensions of policy, economy, market, and technology and organized into a factor set. Firstly, the decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) method was used to evaluate the centrality and causality among the constraints; then, the interpretive structural modeling (ISM) was employed to establish a multi-level structure model of the constraints; finally, the cross-impact matrix multiplication applied to classification (MICMAC) method was utilized to obtain the driver-dependency relationship matrix of the constraints. The three modes were coupled to establish a composite mode, and on this basis, the logical relationship, hierarchical relationship, and relative importance among the constraints were clarified. The results show that the resistance of the design and construction parties is the primary reason for the restraint of BIM technology in prefabricated buildings, and the lack of innovation and professional talents are the fundamental reasons.

**Key words:** BIM; prefabricated buildings; constraints; DEMATEL; ISM; MICMAC

2020 年中国首次提出“双碳”目标后,人们更关注建筑的能耗情况。为实现建筑的低碳排放,工业建筑需要向更加节能和减少碳排放的方向发展。装配式建筑凭借其高效、绿色可持续等显著优势,已成为传统建筑业转型升级的关键路径。方丰灵<sup>[1]</sup>认为设计与采购、施工、装修环节之间存在割裂,以及目前施工过程中存在的组织协调问

题,都是我国装配式建筑推广过程中面临的主要阻碍,而 BIM 技术可以有效解决这些问题。事实上,在施工设计中应用 BIM 技术,可以使施工环节之间的连接更加顺畅,能够提前在源头上消除设计错误,极大地降低了建筑的成本,BIM 技术的应用可以提升装配式建筑资源调配效率与管理精细化水平,在装配式建筑全生命周期中有着巨大的

收稿日期:2024-05-06

基金项目:山东省自然科学基金青年项目(ZR2023QE217)

第一作者:韩立红(1975—),女,吉林长春人,博士,副教授,从事建筑经济方面的研究。

\* 通信作者:周广胤(1999—),男,山东滨州人,硕士研究生,从事建筑经济方面的研究。

应用价值。随着工业 4.0 时代的到来, BIM 技术与装配式建筑的融合成为必然<sup>[2]</sup>。但值得注意的是, 两者在融合过程中却催生出特有的风险, 因此对 BIM 技术应用于装配式建筑的制约因素进行系统分析就显得尤为重要。

由于我国 BIM 技术发展时间较短, 在与装配式建筑的融合推广中存在较多问题需要研究解决。潘雯等<sup>[3]</sup>构建装配式建筑 BIM 应用的指标体系, 采用层次分析法进行量化研究。研究表明, 在装配式建筑中应用 BIM 技术的主要阻碍是 BIM 技术人才短缺以及软件兼容性不足; 高强<sup>[4]</sup>基于 BIM 技术在装配式建筑全流程中的应用指出, 整合优化上下游的产业链、有效协调综合性高级技术人才才能实现 BIM 模型在装配式建筑中的最大化利用; 张悦等<sup>[5]</sup>从设计、生产、施工、运营四个阶段发现影响 BIM 技术应用的问题是标准体系不完善、软件版本落后、人才资源缺乏; 赵金煜等<sup>[6]</sup>建立指标体系, 采用 AHP-熵权法对某项目进行案例分析, 研究表明, 专业人员短缺、企业领导支持力度不足、数据交互操作性差、利益相关者责任关系不明确是该工程项目 BIM 应用受阻的关键因素; 唐根丽等<sup>[7]</sup>利用主成分分析法分析各因素对 BIM 技术发展的影响程度并确定各因素权重, 发现人才、技术是最有影响力的因素; 张云鹏等<sup>[8]</sup>从价值分析的角度提出, 信息传递低效、构件制造水平欠缺阻碍了装配式建筑与 BIM 的融合进程; 侯斯婕等<sup>[9]</sup>从建筑技术融合的角度切入, 结合 BIM 技术在绿色建筑和装配式建筑中的具体应用指出, 缺乏专业人员和协调机制不健全是制约性最强的因素。

综上所述, 国内外关于 BIM 技术在装配式建筑中制约因素的研究多停留在理论层次、定性层次, 缺乏对因素间内在联系的深入研究。本文采

用文献研究与问卷调查相结合的方式, 运用决策与实验室 (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)、解释结构模型 (Interpretive Structural Modeling, ISM)、交叉影响矩阵相乘 (Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification, MICMAC) 方法, 得到制约因素的中心度与原因度, 划分制约因素层次关系, 分析各制约因素之间的关系和作用机理, 以确定关键制约因素。

## 1 识别 BIM 与装配式建筑结合的制约因素

以“装配式”“BIM 技术”和“制约因素”为检索主题, 通过中国知网平台, 筛选得到 43 篇有效价值文献, 获得 19 个初始制约因素。使用德尔菲法删除重复性因素以及表述模糊的因素。经过三轮专家学者的修正优选, 将制约因素划分为政策、经济、市场、技术四大类, 最终确定了 11 个制约因素, 其内涵解释与分类如表 1 所示。

## 2 研究方法

### 2.1 方法基本原理分析

DEMATEL 通过分析因素之间的相互作用, 得到因素的中心度与原因度; ISM 可以借助多种工具构建多级递阶结构模型<sup>[17]</sup>; MICMAC 方法将自治、依赖、关联和独立因素划分, 明确因素在系统中的实质作用<sup>[18]</sup>。将 DEMATEL 中的中心度和原因度与 ISM 的多级递阶结构相结合, 利用 MICMAC 的因素划分方法, 不仅可以清楚地理顺各制约因素的层级关系, 还对制约因素的相对重要性和实质作用进行了详细研究, 使得研究结果更具客观性和合理性。

表 1 制约因素的内涵解释与分类

Tab. 1 Explanation and classification of constraints

维度	制约因素	内容解释
政策 S <sub>1</sub>	政策支持力度较低 S <sub>11</sub>	传统施工理念影响了政府在政策上的支持与推动力度 <sup>[10]</sup>
	相关标准、规范不完善 S <sub>12</sub>	多级别的标准、规范对整体施工效率产生了不可忽视的负面影响 <sup>[11]</sup>
经济 S <sub>2</sub>	高成本、低利用率 S <sub>21</sub>	无法充分利用人力资源, 导致投入与产出的比例失衡 <sup>[12]</sup>
市场 S <sub>3</sub>	建设单位推动力度低 S <sub>31</sub>	业主关注力度不足, 限制了我国 BIM 技术应用与推广 <sup>[13]</sup>
	设计方和施工方抵制 S <sub>32</sub>	高昂的投入成本使得企业无法迅速获得回报 <sup>[14]</sup>
	缺乏创新能力 S <sub>41</sub>	目前尚未出现适合我国的 BIM 软件 <sup>[15]</sup>
	缺乏专业人才 S <sub>42</sub>	国内大部分工程师无法将 BIM 技术的效益发挥到最大
技术 S <sub>4</sub>	数据交互性差 S <sub>43</sub>	由于 BIM 软件兼容性差, 多个软件协同应用效果不佳
	设计与生产施工脱节 S <sub>44</sub>	构件规格缺乏标准化, 模具重复利用率较低, 导致生产施工效率不高 <sup>[16]</sup>
	危害数据安全和隐私 S <sub>45</sub>	BIM 涉及大量的建筑项目信息, 容易造成敏感信息和数据泄露
	需要大量数据输入 S <sub>46</sub>	BIM 需要大量的数据输入与整理, 且需要更新大量准确数据

### 2.2 具体步骤

步骤一 确定制约因素,四个维度分别用  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  表示,制约因素用  $S_{1i}$ 、 $S_{2i}$  表示,  $i=1, 2, \dots, n$ 。

步骤二 对制约因素间的相互关系进行问卷调查,邀请专家学者作为此次调研的对象,采用 0—4 评分法,0 为没有影响,4 为极强影响。

步骤三 计算回收数据的平均值,建立直接影响矩阵  $O=[O_{ij}]_{n \times n}$ , 对角线数据全部取 0。

步骤四 对矩阵  $O$  规范化处理,计算得到综合影响矩阵  $T=[t_{ij}]_{n \times n}$ ,  $E$  是单位矩阵,  $N$  是规范化影响矩阵。

$$N = [n_{ij}]_{n \times n} = \frac{[O_{ij}]_{n \times n}}{W_{\max}} \quad (1)$$

$$T = N \times (E - N)^{-1} \quad (2)$$

步骤五 计算影响度( $D_i$ )、被影响度( $C_i$ )、中心度( $M_i$ )、原因度( $R_i$ )。

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

$$C_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (4)$$

$$M_i = D_i + C_i \quad (5)$$

$$R_i = D_i - C_i \quad (6)$$

步骤六 为了充分体现要素之间的因果关系,设置矩阵  $T$  的阈值  $\lambda$ ,  $\lambda$  的取值为矩阵  $T$  各因

$$T = \begin{pmatrix} 1.0 & 2.0 & 1.7 & 2.8 & 2.7 & 1.1 & 2.0 & 1.5 & 1.3 & 1.2 & 0.7 \\ 1.8 & 1.4 & 3.8 & 4.0 & 3.9 & 2.0 & 2.6 & 3.5 & 3.2 & 1.6 & 2.0 \\ 2.1 & 1.1 & 2.0 & 3.1 & 3.2 & 2.2 & 1.4 & 2.6 & 2.3 & 0.6 & 0.9 \\ 1.3 & 1.8 & 2.8 & 2.1 & 3.0 & 2.2 & 2.2 & 2.6 & 1.7 & 0.6 & 1.0 \\ 2.4 & 2.3 & 3.5 & 3.9 & 2.8 & 2.7 & 2.9 & 3.1 & 2.9 & 0.8 & 1.3 \\ 2.9 & 2.5 & 4.5 & 4.5 & 4.6 & 2.3 & 3.0 & 3.8 & 3.6 & 1.8 & 2.4 \\ 2.8 & 2.6 & 4.5 & 4.7 & 4.6 & 3.5 & 2.3 & 4.0 & 3.8 & 1.0 & 2.4 \\ 2.4 & 1.3 & 3.6 & 3.7 & 3.6 & 2.6 & 1.8 & 2.2 & 3.0 & 0.8 & 2.2 \\ 2.6 & 1.6 & 4.1 & 4.2 & 4.2 & 3.0 & 2.8 & 3.5 & 2.2 & 0.9 & 2.3 \\ 1.3 & 1.9 & 2.7 & 3.2 & 3.2 & 1.3 & 1.4 & 2.5 & 1.5 & 0.6 & 0.8 \\ 1.9 & 1.5 & 3.9 & 4.1 & 4.1 & 2.9 & 0.6 & 3.6 & 2.9 & 1.7 & 1.3 \end{pmatrix}$$

由式(3)—(6)可计算出制约因素的影响度  $D_i$ 、被影响度  $C_i$ 、中心度  $M_i$ 、原因度  $R_i$ ,结果如表 2 所示。其中,原因度大于 0 则为原因因素,原因度小于 0 则为结果因素<sup>[20]</sup>。

影响度较高的因素有缺乏专业人才、缺乏创新能力、设计与生产施工脱节、需要大量数据输入,此类因素对其他因素的综合影响较大,属于主

素均值与标准差之和,最终得到邻接矩阵  $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 。

$$\lambda = \bar{X} + \bar{S} \quad (7)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 0 & a_{ij} < \lambda \\ 1 & a_{ij} \geq \lambda \end{cases} \quad (8)$$

步骤七 计算可达矩阵  $M=[m_{ij}]_{n \times n}$ ,遵循布尔代数运算规则<sup>[19]</sup>,计算可达矩阵。

$$M = (A + I)^r \quad (9)$$

步骤八 通过可达矩阵  $M$  计算可达集、先行集、共同集。根据上述计算结果绘制 BIM 在装配式建筑中的应用障碍因素的多层递阶结构模型图。

步骤九 计算驱动力( $Q_i$ )和依赖度( $Y_i$ )。构建驱动力-依赖度矩阵。

$$Q_i = \sum_{i=1}^n m_{ij} \quad (10)$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad (11)$$

## 3 研究过程

### 3.1 制约因素中心度、原因度计算

邀请专家学者对调查问卷中的制约因素进行打分,对所有打分结果的平均值进行信度检验。由评分结果得到直接影响矩阵  $O$ ,根据式(1)(2)得到综合影响矩阵  $T$ 。

要制约因素。被影响度较高的因素分别是建设单位推动力度低、设计方和施工方抵制、高成本、低利用率、数据交互性差,该类因素易受到其他因素的影响和支配。中心度较高的因素有设计方和施工方抵制、缺乏创新能力、建设单位推动力度低、缺乏专业人才,此类因素在制约因素体系中发挥的作用较大,占据核心地位,属于重要影响因素。

表 2 制约因素综合影响关系

Tab. 2 Interrelated influence of constraints

因素	影响度	被影响度	中心度	原因度	因素类型	中心度排序
S <sub>32</sub>	2.86	3.97	6.83	-1.12	结果	1
S <sub>41</sub>	3.60	2.59	6.18	1.01	原因	2
S <sub>31</sub>	2.12	4.03	6.15	-1.91	结果	3
S <sub>42</sub>	3.63	2.50	6.12	1.13	原因	4
S <sub>43</sub>	2.72	3.30	6.02	-0.58	结果	5
S <sub>44</sub>	3.12	2.83	5.95	0.29	原因	6
S <sub>21</sub>	2.15	3.71	5.86	-1.56	结果	7
S <sub>12</sub>	2.97	2.03	5.00	0.94	原因	8
S <sub>46</sub>	3.06	1.74	4.80	1.32	原因	9
S <sub>11</sub>	1.81	2.33	4.14	-0.51	结果	10
S <sub>45</sub>	2.13	1.15	3.28	0.99	原因	11

原因度大于0的因素分别是缺乏专业人才、需要大量数据输入、缺乏创新能力、危害数据安全和隐私、相关标准和规范不完善、设计与生产、施工脱节。这6个因素具有很强的制约性和推动性,在制约因素体系中起着重要的基础性作用。而原因度小于0的制约因素,在制约因素体系中偏向于受其他因素影响,属于结果因素,其敏感性较高且易受到影响和改变,因此需要特别重视。

缺乏专业人才、缺乏创新能力、设计与生产施工脱节这三个因素的原因度和中心度都较高且为正值,这三个因素具有很强的制约性和带动性,因此将这三个因素确定为关键制约因素。

### 3.2 基于ISM的制约因素层次关系划分

通过式(7)计算可得  $\lambda = \bar{X} + \bar{S} = 0.25 + 0.11 = 0.36$ ,建立邻接矩阵A,布尔代数运算得到图1,

因素	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>21</sub>	S <sub>31</sub>	S <sub>32</sub>	S <sub>41</sub>	S <sub>42</sub>	S <sub>43</sub>	S <sub>44</sub>	S <sub>45</sub>	S <sub>46</sub>
S <sub>11</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S <sub>12</sub>	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
S <sub>21</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S <sub>31</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S <sub>32</sub>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
S <sub>41</sub>	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0
S <sub>42</sub>	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0
S <sub>43</sub>	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
S <sub>44</sub>	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
S <sub>45</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
S <sub>46</sub>	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1

图 1 可达矩阵 M

Fig. 1 Achievable matrix M

依据可达矩阵 M,按照矩阵 M 绘制多级递阶结构图<sup>[21]</sup>(图 2)。

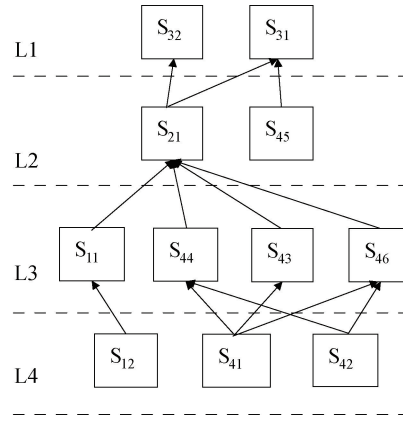


图 2 制约因素递阶结构关系模型

Fig. 2 Hierarchical structure model of constraints

最顶层的制约因素有建设单位推动力度低、设计方和施工方抵制,这些属于直接影响因素,也是表层因素,是 BIM 技术与装配式建筑融合过程中需要首先关注的目标。第二层和第三层中的因素为过渡因素,他们受本质因素影响,同时又影响着表层因素。这些因素的状态极易发生改变,容易受到其他因素的影响,稳定性差。第四层中缺乏专业人才、缺乏创新能力、相关标准及规范不完善为本质因素,通过与各层次间因素的联系对整体起到深层次的调控作用,说明这三个因素是制约 BIM 与装配式建筑融合的最根本因素。

### 3.3 基于 MICMAC 方法的制约因素驱动力-依赖度矩阵构建

MICMAC 方法主要用于分析系统中各因素之间的相互影响和依赖关系<sup>[22]</sup>,制约因素的驱动力和依赖度结果如表 3 所示。

表 3 各制约因素的驱动力和依赖度

Tab. 3 Driving force and dependence of each constraint factor

因素	驱动力	依赖度
S <sub>11</sub>	1	1
S <sub>12</sub>	4	1
S <sub>21</sub>	1	7
S <sub>31</sub>	1	8
S <sub>32</sub>	2	7
S <sub>41</sub>	1	6
S <sub>42</sub>	6	1
S <sub>43</sub>	4	4
S <sub>44</sub>	4	3
S <sub>45</sub>	1	1
S <sub>46</sub>	5	1

从驱动力、依赖度矩阵模型分析可见:高驱动力、低依赖度的独立型制约因素,包括缺乏创新能力、缺乏专业人才、数据输入需求庞大、数据交互效率低下、设计与生产施工脱节,构成了 BIM 应用的根本性制约。该类因素对其他影响因子具有显著的直接作用,而自身受外部因素的关联影响较弱,体现出较强的独立性特征。低驱动力、高依赖度的依赖型制约因素,包括高成本及低利用率、建设单位推动力度低、设计方和施工方抵制,这类因素的作用机制高度依赖于其他关联因素的动态变化。低驱动力、低依赖度的自治型制约因素,包括政策支持力度较低及危害数据安全和隐私,依赖度和驱动力都较低,这两个因素虽然相对独立,但其对 BIM 技术应用的制约效应具有直接性与隐蔽性,是不容忽视的影响因素。

#### 4 结论

1) 利用决策与实验室方法识别出三个较为关键的制约因素即缺乏专业人才、缺乏创新、设计与生产施工脱节,这些因素对 BIM 在装配式建筑中的应用影响较大,在其他因素中占据核心地位,需引起重视,其中设计方和施工方抵制是制约 BIM 技术在装配式建筑中应用的首要原因,缺乏创新能力、缺乏专业人才是根本原因。

2) 采用 ISM-MICMAC 法将制约 BIM 在装配式建筑中应用的制约因素系统划分为 4 个层级,4 个集群包括自治、依赖、关联、驱动。其中缺乏专业人才、缺乏创新能力、相关标准规范不完善为本质因素,驱动力最大,连带作用最强,是最根本因素。

3) 高成本、低利用率属于过渡因素,在驱动力中等的情况下保持较高的依赖度,是不可忽视的较强因素,加强对过渡致因的提升管理,可以降低表层致因的发生概率。

#### 参考文献:

- [1] 方丰灵. BIM 对装配式建筑的驱动机制研究[D]. 北京:中国矿业大学, 2020.  
FANG F L. Research on the driving mechanism of BIM for prefabricated buildings[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2020.
- [2] 范贺凡, 马军旗, 陈军程. BIM 技术在我国装配式建筑中的应用与发展[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(10): 168-172.  
FAN H F, MA J Q, CHEN J C. Application and development of BIM technology in prefabricated buildings in China[J]. Technology Innovation and Application, 2023, 13(10): 168-172.
- [3] 潘雯, 曹晓娟. 装配式建筑 BIM 技术应用障碍因素分析及对策研究[J]. 价值工程, 2022, 41(7): 22-24.  
PAN W, CAO X J. Analysis of barrier factors and countermeasures for BIM technology application in prefabricated buildings [J]. Value Engineering, 2022, 41(7): 22-24.
- [4] 高强. BIM 技术在装配式建筑应用过程中存在的问题及对策[J]. 建设科技, 2020(1): 83-85.  
GAO Q. Problems and countermeasures in the application of BIM technology to prefabricated buildings[J]. Construction Science and Technology, 2020(1): 83-85.
- [5] 张悦, 卢彦峰, 符惠萍, 等. 论装配式建筑项目在全生命周期中应用 BIM 技术的问题及对策[J]. 科技风, 2022(11): 75-77.  
ZHANG Y, LU Y F, FU H P, et al. Problems and countermeasures of BIM technology application in the whole life cycle of prefabricated building projects[J]. Technology Wind, 2022(11): 75-77.
- [6] 赵金煜, 王悦, 王定河. 基于 AHP-熵权法的建筑工程 BIM 应用障碍因素研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(S2): 182-187.  
ZHAO J Y, WANG Y, WANG D H. Research on barrier factors of BIM application in construction engineering based on AHP-entropy weight method [J]. Construction Economy, 2020, 41(S2): 182-187.
- [7] 唐根丽, 张梦婷, 张恒. 装配式建筑发展的影响因素实证分析[J]. 武汉轻工大学学报, 2020, 39(6): 61-65.  
TANG G L, ZHANG M T, ZHANG H. Empirical analysis of influencing factors for prefabricated building development [J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2020, 39(6): 61-65.
- [8] 张云鹏, 汪洋, 孟令鸿, 等. BIM 技术助力装配式机房智慧建造[J]. 建筑结构, 2023, 53(S2): 2078-2083.  
ZHANG Y P, WANG Y, MENG L H, et al. BIM technology assists smart construction of prefabricated mechanical rooms [J]. Building Structure, 2023, 53(S2): 2078-2083.
- [9] 侯斯婕, 陈蓉, 王震. BIM 技术背景下绿色建筑与装配式建筑融合发展的趋势研究[J]. 散装水泥, 2021(3): 62-64.  
HOU S J, CHEN R, WANG Z. Research on the integration trend of green buildings and prefabricated buildings under BIM technology [J]. Bulk Cement, 2021(3): 62-64.
- [10] 李彦苍, 陈雅楠, 刘郑. BIM 技术在装配式建筑中的应用[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2019, 36(2): 51-55.  
LI Y C, CHEN Y N, LIU Z. Application of BIM tech-

- nology in prefabricated buildings[J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2019, 36(2):51-55.
- [11] 周杨,刘梦梦,王宝雨,等.基于BIM技术与风险评估体系的装配式建筑施工安全管理研究[J].建筑结构,2023,53(S2):2089-2093.  
ZHOU Y, LIU M M, WANG B Y, et al. Safety management of prefabricated building construction based on BIM technology and risk assessment system[J]. Building Structure, 2023, 53(S2):2089-2093.
- [12] 何梦瑶,李伟丽,冯雨欣,等.绿色建造背景下BIM技术与装配式建筑融合研究[J].科技创新与应用,2023,13(31):181-184.  
HE M Y, LI W L, FENG Y X, et al. Integration of BIM technology and prefabricated buildings under green construction[J]. Technology Innovation and Application, 2023, 13(31):181-184.
- [13] 张海东,胡克楠,王振伟,等.沙特吉达保障房项目结构分析与BIM应用[J].建筑结构,2023,53(13):129-134.  
ZHANG H D, HU K N, WANG Z W, et al. Structural analysis and BIM application of Saudi Jeddah affordable housing project[J]. Building Structure, 2023, 53(13):129-134.
- [14] 郑志刚,华晶晶,张士前,等.基于全过程系统集成的装配式建筑标准化设计[J].建筑结构,2023,53(S1):1183-1189.  
ZHENG Z G, HUA J J, ZHANG S Q, et al. Standardized design of prefabricated buildings based on whole-process system integration[J]. Building Structure, 2023, 53(S1):1183-1189.
- [15] 左颖.基于BIM技术的装配式建筑太阳能集成设计优化探究[J].太阳能学报,2023,44(5):490.  
ZUO Y. Optimization of integrated solar design for prefabricated buildings based on BIM technology[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2023, 44(5):490.
- [16] 王作言.基于BIM技术的装配式建筑施工流程优化研究[J].中国建筑装饰装修,2025(5):86-88.  
WANG Z Y. Research on construction process optimization of prefabricated buildings based on BIM technology[J]. China Architecture Decoration & Renovation, 2025(5):86-88.
- [17] 秦旋,李奥蕾,张榕,等.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.  
QIN X, LI A L, ZHANG R, et al. Research on the hierarchical structure of influencing factors for construction industrialization: a survey from Xiamen[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2017, 23(6):30-40.
- [18] 代田莉,李玉峰,徐璞.基于ISM-MICMAC模型分析我国生鲜电商发展影响因素[J].北方园艺,2021(20):155-163.  
DAI T L, LI Y F, XU P. Analysis of influencing factors for fresh e-commerce development in China based on ISM-MICMAC model[J]. Northern Horticulture, 2021(20):155-163.
- [19] 李强年,陈瑞军,马岷成.基于DEMATEL-ISM的装配式建筑发展制约因素研究[J].工程管理学报,2020,34(2):38-43.  
LI Q N, CHEN R J, MA M C. Research on constraints of prefabricated building development based on DEMATEL-ISM[J]. Journal of Engineering Management, 2020, 34(2):38-43.
- [20] 杨慧.基于DEMATEL-ISM的江苏地区建筑工程安全事故风险分析与防范措施研究[D].北京:北京建筑大学,2020.  
YANG H. Research on risk analysis and preventive measures for construction safety accidents in Jiangsu based on DEMATEL-ISM[D]. Beijing:Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2020.
- [21] 陈永伟.装配式建筑BIM技术应用障碍与对策[J].住宅与房地产,2019(21):152+183.  
CHEN Y W. Barriers and countermeasures of BIM technology application in prefabricated buildings[J]. Housing and Real Estate, 2019(21):152+183.
- [22] 方昱楚.基于BIM的建筑工程管理智能化研究[J].建筑科学,2024,40(1):173.  
FANG Y C. Intelligent management of construction engineering based on BIM[J]. Building Science, 2024, 40(1):173.

(责任编辑 王利君)