

# 装配式建筑施工安全风险因素研究

李思晗，朱会霞

辽宁工业大学经济管理学院，辽宁 锦州

收稿日期：2024年12月17日；录用日期：2025年1月8日；发布日期：2025年1月20日

---

## 摘要

为实现对建筑施工安全风险的有效把控，本文识别了来自人、物、技术、管理和环境5个方面的15个关键施工安全风险影响因素。利用DEMATEL-ISM建模方法，首先得到各因素的中心度和原因度，其次构建多层递阶结构模型，最后分析得出建筑施工安全风险的根本影响因素。研究表明：装配式建筑施工过程中安全风险的影响因素可划分成3阶6层递阶结构，包括4个直接影响因素，8个中间影响因素和3个根本影响因素。

---

## 关键词

装配式建筑，施工风险，风险因素，DEMATEL，解释结构模型(ISM)

---

# Research on Safety Risk Factors in Prefabricated Building Construction

Sihan Li, Huixia Zhu

School of Economics and Management, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: Dec. 17<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 8<sup>th</sup>, 2025; published: Jan. 20<sup>th</sup>, 2025

---

## Abstract

In order to effectively control the construction safety risk, this paper identifies 15 key construction safety risk influencing factors from five aspects: people, things, technology, management and environment. Using the DEMATEL-ISM modeling method, the centrality and cause degree of each factor are obtained firstly, then the multi-layer step-by-step structure model is constructed, and finally the fundamental influencing factors of construction safety risk are analyzed. The results show that the influencing factors of safety risk in the construction process of prefabricated buildings can be divided into 3-stage and 6-layer progressive structures, including 4 direct influencing factors, 8 intermediate influencing factors and 3 fundamental influencing factors.

## Keywords

Prefabricated Building, Construction Risks, Risk Factors, DEMATEL, Interpretive Structural Model (ISM)

Copyright © 2025 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

随着中国社会发展进程的不断加快，建筑业作为国民经济发展中的支柱产业，建筑行业对于提升人们的生活环境以及提高生活质量起到了至关重要的作用。近几年来，我国正积极推进装配式建筑的发展，各地相继出台相关政策支持，导致装配式建筑的数量稳步增长，标志着该领域已迈入加速发展期。在这个过程中，装配式建筑展现出了它的优势，相比于传统建筑，它具备更高的生产效率以及更少的环境污染。

目前，已有国内外学者对装配式建筑施工安全风险进行研究。Saeed Reza Mohandes 等提出了风险评价模型，确定指标权重，通过灰色关联度分析，得出最终风险程度排名，以此为基础为装配式建设项目提出相应的规避措施，以减少施工风险的发生[1]。Chai S 等运用扎根理论识别装配式建筑项目的风险，构建全阶段风险体系；并引入 ISM 理论分析风险因素之间的相互关系，得出不同的风险水平；最后针对深层次因素提出了具体的风险控制措施，为装配式建筑的发展提供了新思路[2]。朱蕾等在文献分析的基础上，结合专家的意见进行对装配式建筑供应链影响因素的初步识别，并运用解释结果模型进行了筛选，并分析各影响因素之间的关系[3]。王雷等对装配式建筑发展的制约因素方面进行了研究，其从区域的角度出发，结合 DEMATEL 法对影响因素进行了分析，并确定了关键的影响因素[4]。代霞等人辨识了装配式建筑的建设过程中的安全风险因素，并运用熵权法、层次分析法等方法，来分析建设过程中的安全风险等级，从而为管理者进行科学的管理与决策奠定了基础[5]。段永辉等从人、管理、技术、机械、环境五个方面通过灰色关联度法建立风险评价体系，利用 SEM 拟合样本数据，进行指标权重的计算，规避了风险指标体系的主观性较强的问题，并结合数据结果，对施工风险因素提出一定的策略和建议，为装配式建筑项目施工风险的评价提出了新的思路和方法[6]。常春光等在对装配式建筑进行了大量的研究后，其在风险因素识别方面，运用层次分析法对风险影响因素进行了筛选[7]。

综合来看，目前国内外的研究在风险因素的逻辑关系层次和重要性方面的研究仍然是不足的。本文通过文献研究以及专家访谈的方式进行了识别和总结。利用 DEMATEL 方法与 ISM 方法的综合应用，建立了一个多层次的递阶结构模型，旨在明确这些风险元素对系统造成的具体影响。

## 2. 装配式建筑施工安全风险因素识别

通过 CNKI 数据库，检索关键词“装配式建筑施工”和“装配式建筑施工安全风险”，借鉴相关文献，最终从人、物、技术、管理和环境 5 个方面，选取了 15 个风险因素，形成施工安全风险因素清单。如表 1 所示。

**Table 1.** List of safety risk factors in prefabricated building construction

**表 1.** 装配式建筑施工安全风险因素清单

风险分类	风险因素
人的因素	作业人员的技术水平 U <sub>1</sub>

续表

人的因素	作业人员的安全意识 U <sub>2</sub> 作业人员的受教育程度 U <sub>3</sub>
物的因素	预制构件的生产质量 U <sub>4</sub> 临时支撑的承载强度 U <sub>5</sub> 机械设备的运行及养护 U <sub>6</sub>
技术因素	预制构件吊装技术 U <sub>7</sub> 构件连接技术 U <sub>8</sub> 时变结构安全监测技术 U <sub>9</sub>
管理因素	施工现场安全教育及培训 U <sub>10</sub> 施工安全管理机构及制度 U <sub>11</sub> 施工现场安全监督与应急管理 U <sub>12</sub>
环境因素	自然环境 U <sub>13</sub> 施工机具及构件的存放环境 U <sub>14</sub> 吊装的作业环境 U <sub>15</sub>

### 3. 基于 DEMATEL-ISM 的装配式建筑施工安全风险影响因素模型构建

根据识别出的装配式建筑施工安全风险因素清单，本文利用 DEMATEL 法分析系统中各风险因素的重要性，运用 ISM 法分析这些风险因素之间的层级关系。

#### 3.1. 构建直接影响矩阵

根据 DEMATEL 法，将影响程度分为：0——没有影响，1——较弱影响，2——中等影响，3——较强影响。编制调查问卷，邀请专家等人对风险因素之间的关系进行评分，从而得到直接影响矩阵  $X$ 。即

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

#### 3.2. 构建综合影响矩阵

为了得到综合影响矩阵，将直接影响矩阵  $X$  规范化处理，从而得出规范化影响矩阵  $Y$ 。公式如下：

$$Y = \frac{X}{\max_{1 \leq i \leq 15} \sum_{j=1}^{15} X_{ij}}$$

考虑到各个风险因素之间的直接或间接影响，将矩阵通过累加的方式结合起来，计算得到综合影响矩阵  $Z$ 。公式如下：

$$Z = \sum_{k=1}^{\infty} Y^k = Y(I - Y)^{-1}$$

式中， $I$  为单位矩阵。

$$Z = \begin{bmatrix} 0.0510 & 0.1618 & 0.0176 & 0.0112 & 0.1579 & 0.1654 & 0.2260 & 0.2060 & 0.1081 & 0.0177 & 0.0020 & 0.2095 & 0.0000 & 0.1248 & 0.1461 \\ 0.1111 & 0.0469 & 0.0129 & 0.0100 & 0.1053 & 0.1132 & 0.1636 & 0.1154 & 0.1353 & 0.0130 & 0.0015 & 0.1541 & 0.0000 & 0.1479 & 0.1068 \\ 0.1913 & 0.1658 & 0.0300 & 0.0137 & 0.1541 & 0.1986 & 0.2712 & 0.1740 & 0.1341 & 0.1100 & 0.1188 & 0.2210 & 0.0000 & 0.1586 & 0.1747 \\ 0.0512 & 0.0150 & 0.0065 & 0.0062 & 0.1495 & 0.1479 & 0.1662 & 0.1309 & 0.0122 & 0.0066 & 0.0008 & 0.0780 & 0.0000 & 0.0133 & 0.0091 \\ 0.0085 & 0.0070 & 0.0047 & 0.0023 & 0.0164 & 0.0541 & 0.0979 & 0.0968 & 0.0041 & 0.0047 & 0.0005 & 0.0561 & 0.0000 & 0.0068 & 0.0028 \\ 0.0133 & 0.0089 & 0.0057 & 0.0399 & 0.1011 & 0.0292 & 0.1158 & 0.1475 & 0.0424 & 0.0058 & 0.0007 & 0.0686 & 0.0000 & 0.0086 & 0.0038 \\ 0.0082 & 0.0067 & 0.0045 & 0.0023 & 0.0515 & 0.0522 & 0.0230 & 0.0934 & 0.0040 & 0.0046 & 0.0005 & 0.0541 & 0.0000 & 0.0066 & 0.0027 \\ 0.0140 & 0.0116 & 0.0078 & 0.0027 & 0.0555 & 0.0578 & 0.1010 & 0.0266 & 0.0056 & 0.0079 & 0.0009 & 0.0933 & 0.0000 & 0.0114 & 0.0046 \\ 0.0555 & 0.0187 & 0.0091 & 0.0033 & 0.0659 & 0.0686 & 0.1174 & 0.1135 & 0.0102 & 0.0092 & 0.0010 & 0.1085 & 0.0000 & 0.0170 & 0.0106 \\ 0.1796 & 0.1873 & 0.0973 & 0.0142 & 0.1362 & 0.1859 & 0.2502 & 0.1906 & 0.0904 & 0.0266 & 0.0112 & 0.2323 & 0.0000 & 0.1840 & 0.1004 \\ 0.1487 & 0.1525 & 0.0674 & 0.0113 & 0.1666 & 0.1457 & 0.2139 & 0.1885 & 0.1227 & 0.1394 & 0.0078 & 0.2332 & 0.0000 & 0.1493 & 0.0923 \\ 0.1633 & 0.1361 & 0.0918 & 0.0112 & 0.1116 & 0.1577 & 0.1826 & 0.1301 & 0.0458 & 0.0926 & 0.0106 & 0.0961 & 0.0000 & 0.1332 & 0.0541 \\ 0.0683 & 0.0723 & 0.0093 & 0.0852 & 0.1466 & 0.1483 & 0.2036 & 0.1530 & 0.0205 & 0.0093 & 0.0011 & 0.1104 & 0.0000 & 0.0676 & 0.1355 \\ 0.0317 & 0.1023 & 0.0109 & 0.0460 & 0.1294 & 0.1670 & 0.1120 & 0.1002 & 0.0220 & 0.0110 & 0.0013 & 0.1306 & 0.0000 & 0.0301 & 0.0925 \\ 0.0730 & 0.1095 & 0.0147 & 0.0095 & 0.1691 & 0.1729 & 0.1932 & 0.1141 & 0.0267 & 0.0148 & 0.0017 & 0.1756 & 0.0000 & 0.0742 & 0.0249 \end{bmatrix}$$

### 3.3. 计算影响度、被影响度、中心度、原因度

根据矩阵  $Z$ ，影响度  $a_i$  为每行元素相加，被影响度  $b_i$  为每列元素相加， $a_i$  与  $b_i$  相加得到中心度  $c_i$ ， $a_i$  与  $b_i$  相减得到原因度  $d_i$ ，计算公式如下：

$$a_i = \sum_{j=1}^{15} Z_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 15)$$

$$b_i = \sum_{i=1}^{15} Z_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 15)$$

$$c_i = a_i + b_i$$

$$d_i = a_i - b_i$$

通过上述公式计算，得出装配式建筑施工安全风险因素在系统中的影响度、被影响度、中心度以及原因度。结果如表 2 所示。

**Table 2.** List of safety risk factors for prefabricated building construction, influence, centrality and cause  
**表 2.** 装配式建筑施工安全风险因素清单影响度、被影响度、中心度以及原因度

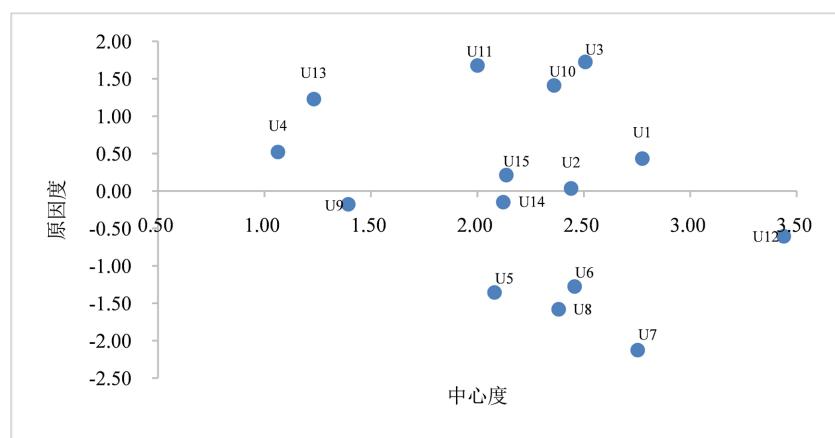
	影响度	被影响度	中心度	原因度
U <sub>1</sub>	1.6050	1.1691	2.7740	0.4359
U <sub>2</sub>	1.2370	1.2023	2.4394	0.0347
U <sub>3</sub>	2.1160	0.3904	2.5064	1.7256

续表

U <sub>4</sub>	0.7934	0.2692	1.0626	0.5243
U <sub>5</sub>	0.3630	1.7167	2.0798	-1.3537
U <sub>6</sub>	0.5914	1.8647	2.4560	-1.2733
U <sub>7</sub>	0.3143	2.4378	2.7521	-2.1234
U <sub>8</sub>	0.4007	1.9805	2.3811	-1.5798
U <sub>9</sub>	0.6086	0.7840	1.3926	-0.1754
U <sub>10</sub>	1.8863	0.4733	2.3596	1.4130
U <sub>11</sub>	1.8393	0.1604	1.9998	1.6789
U <sub>12</sub>	1.4170	2.0216	3.4386	-0.6045
U <sub>13</sub>	1.2311	0.0000	1.2311	1.2311
U <sub>14</sub>	0.9871	1.1335	2.1206	-0.1464
U <sub>15</sub>	1.1740	0.9609	2.1349	0.2131

### 3.4. 绘制因果关系图

根据各施工安全风险因素的影响度、被影响度、中心度以及原因度的计算结果, 绘制因果关系图, 如图 1 所示。



**Figure 1.** Causal relationship diagram of safety risk factors in prefabricated building construction  
**图 1.** 装配式建筑施工安全风险因素因果关系图

### 3.5. 构建可达矩阵

考虑到各风险因素缺乏对其本身的影响, 因此, 根据矩阵  $Z$ , 计算整体影响矩阵  $M$ , 计算公式为:

$$M = I + Z \quad (I \text{ 为单位矩阵})$$

通过矩阵  $M$ , 拟定阈值  $\lambda$ , 目的是剔除影响程度较小的风险因素。将矩阵  $Z$  中元素的均值  $\alpha$  和标准差  $\beta$  之和作为阈值  $\lambda$ ,  $\alpha = 0.0736$ ,  $\beta = 0.0702$ , 得出阈值  $\lambda = \alpha + \beta = 0.0736 + 0.0702 = 0.1438$ , 从而确定可达矩阵  $N$ 。在可达矩阵中, 若  $n_{ij} = 1$  为直接影响; 若  $n_{ij} = 0$  为无直接影响。计算公式为:

$$n_{ij} = \begin{cases} 1, & m_{ij} \geq \lambda \\ 0, & m_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 15)$$

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

### 3.6. 构建多层次递阶结构模型

层次化矩阵  $N$ , 通过计算得出风险因素的可达集  $E(U_i)$ 、先行集  $F(U_i)$  以及共同集  $H(U_i)$ 。公式为:

$$\begin{aligned} E(U_i) &= \{U_j \mid n_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, 15\} \\ F(U_i) &= \{U_j \mid n_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, 15\} \\ H(U_i) &= E(U_i) \cap F(U_i) (i = 1, 2, \dots, 15) \end{aligned}$$

当某个风险因素的可达集等于共同集时, 该风险因素被视为最高层的风险因素。重复上述操作, 最终可以将风险因素划分为不同的层级。结果如表 3 所示。

**Table 3.** Risk factor stratification table

**表 3. 风险因素分层表**

风险因素	可达集	先行集	共同集
1	[1, 2, 5, 6, 7, 8, 12, 15]	[1, 3, 10, 11, 12]	[1, 12]
2	[2, 7, 12, 14]	[1, 2, 3, 10, 11]	[2]
3	[1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 15]	[3]	[3]
4	[4, 5, 6, 7]	[4]	[4]
5	[5]	[1, 3, 4, 5, 11, 13, 15]	[5]
6	[6, 8]	[1, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15]	[6]
7	[7]	[1, 2, 3, 4, 7, 10, 11, 12, 13, 15]	[7]
8	[8]	[1, 3, 6, 8, 10, 11, 13]	[8]
9	[9]	[9]	[9]
10	[1, 2, 6, 7, 8, 10, 12, 14]	[10]	[10]
11	[1, 2, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14]	[11]	[11]
12	[1, 6, 7, 12]	[1, 2, 3, 10, 11, 12, 15]	[1, 12]

续表

13	[5, 6, 7, 8, 13]	[13]	[13]
14	[6, 14]	[2, 3, 10, 11, 14]	[14]
15	[5, 6, 7, 12, 15]	[1, 3, 15]	[15]

最终层次化处理结果为: 第一层  $L1 = \{5, 7, 8, 9\}$ , 第二层  $L2 = \{6\}$ , 第三层  $L3 = \{4, 12, 13, 14\}$ , 第四层  $L4 = \{2, 15\}$ , 第五层  $L5 = \{1\}$ , 第六层  $L6 = \{3, 10, 11\}$ 。根据上述结果, 建立多层递阶结构模型图, 如图 2 所示。

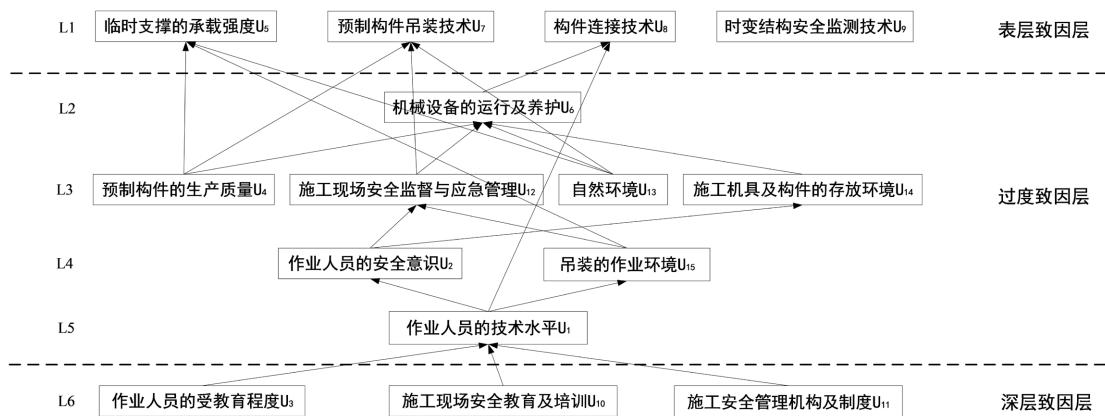


Figure 2. Multi-layer hierarchical structure model of construction safety risk factors

图 2. 施工安全风险因素多层次递阶结构模型

## 4. DEMATEL-ISM 模型结果分析

### 4.1. DEMATEL 模型结果分析

(1) 影响度: 前三位的因素依次为作业人员的受教育程度  $U_3$ 、施工现场安全教育及培训  $U_{10}$ 、施工安全管理机构及制度  $U_{11}$ , 表明这三项风险因素对其他因素的影响较明显。

(2) 被影响度: 前三位的因素依次为预制构件吊装技术  $U_7$ 、施工现场安全监督与应急管理  $U_{12}$ 、构件连接技术  $U_8$ , 表明其受到其他风险因素的影响程度较大。

(3) 中心度: 施工现场安全监督与应急管理  $U_{12}$ 、作业人员的技术水平  $U_1$ 、预制构件吊装技术  $U_7$  的中心度排名为前三位, 对于装配式建筑施工来说, 这三个风险因素的影响尤为显著, 对施工安全构成了最大的威胁, 因此需要对其进行严密的控制。

(4) 原因度: 原因因素(原因度  $>0$ )前三位包括作业人员的受教育程度  $U_3$ 、施工安全管理机构及制度  $U_{11}$ 、施工现场安全教育及培训  $U_{10}$ , 应对其予以高度重视。结果因素(原因度  $<0$ )前三位包括施工机具及构件的存放环境  $U_{14}$ 、时变结构安全监测技术  $U_9$ 、施工现场安全监督与应急管理  $U_{12}$ , 这三项风险因素更容易受到其他因素影响。

### 4.2. ISM 模型结果分析

由图 2 可知, 将装配式建筑施工安全风险因素分为表层致因层  $L1$ 、过渡致因层  $L2$ 、 $L3$ 、 $L4$ 、 $L5$ 、深层致因层  $L6$ 。

(1) 表层致因层: 临时支撑的承载强度  $U_5$ 、预制构件吊装技术  $U_7$ 、构件连接技术  $U_8$ 、时变结构安全

监测技术 U<sub>9</sub>为直接因素，这三个风险因素对施工安全产生了直接影响。

(2) 过渡致因层：作业人员的技术水平 U<sub>1</sub>、作业人员的安全意识 U<sub>2</sub>、预制构件的生产质量 U<sub>4</sub>、机械设备的运行及养护 U<sub>6</sub>、施工现场安全监督与应急管理 U<sub>12</sub>、自然环境 U<sub>13</sub>、施工机具及构件的存放环境 U<sub>14</sub>、吊装的作业环境 U<sub>15</sub>，这些风险因素在整个系统中起到了连接上下层的作用。

(3) 深层致因层：作业人员的受教育程度 U<sub>3</sub>、施工现场安全教育及培训 U<sub>10</sub>、施工安全管理机构及制度 U<sub>11</sub>，通过不同的方式影响到过渡层和表层的因素，最终影响到整个系统。

## 5. 结论与建议

本文从 5 个方面选取了 15 个影响装配式建筑施工安全风险的因素，将 DEMATEL 和 ISM 方法相结合，分析装配式建筑施工安全风险因素。综合上述研究结果，从人的因素、物的因素、技术因素、管理因素和环境因素 5 个方面提出以下建议：

(1) 人的因素：施工企业需要加强对技术人员的专业技能训练，开展安全教育与培训活动，提升员工的技术能力和安全意识，并积累施工经验，以此确保施工安全的基础更加牢固。

(2) 物的因素：施工现场材料的入场检查至关重要，以保证预制构件的强度和质量。建立多主体构件质量管理体系及质量管理机构，对进场的预制构配件进行严格检查并做好相关登记。同时，为了避免因操作不当或设备故障老化引起的事故，需要制定机械设备的维修保养计划，根据不同设备性质进行保养，并制定设备操作规范，确保操作人员完全掌握。

(3) 技术因素：为了保证预制构件吊装技术的安全性，施工单位需进行技术交底并制定风险防控措施，确保无关人员禁止进入吊装区域，定期检查吊具绳索，并在起吊一段高度后停稳检查设施安全再放进目的区域。对于构件和节点连接技术，施工人员需了解具体实施过程，现场管理人员掌握总体进度安排做好安全准备工作。此外，明确安全检测方法及监测重点，对易发生安全风险的施工环节和工艺进行检测，确保施工过程中的安全。

(4) 环境因素：在施工作业前，应分析施工区域的土质和历年天气情况，通过天气预报等手段预测天气变化，做好应对措施，减少恶劣环境带来的风险。并保证施工机具堆放合理且吊装作业环境安全。

(5) 管理因素：施工政策环境和安全管理体系是装配式建筑施工中至关重要的因素。建筑企业应当优化其安全管理体系，并借助信息技术提高施工安全管理的效率。与此同时，政府部门需要制定相应的施工管理规范和制度，加强对施工企业的监督和管理。

## 参考文献

- [1] Mohandes, S.R. and Zhang, X. (2021) Developing a Holistic Occupational Health and Safety Risk Assessment Model: An Application to a Case of Sustainable Construction Project. *Journal of Cleaner Production*, **291**, Article ID: 125934. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125934>
- [2] Chai, S., Liu, M., Zhang, Z. and Li, S. (2021) Study on Risk Identification and Key Risks of Prefabricated Building Supply Chain Based on Grounded Theory. *E3S Web of Conferences*, **275**, Article No. 03076. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127503076>
- [3] 朱蕾, 陈静怡, 袁竞峰. 基于 ISM 的装配式建筑供应链韧性关键影响因素研究[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(5): 108-114.
- [4] 王雷, 赵国良, 王诚杰, 等. 基于 DEMATEL 模型的装配式建筑发展影响因素识别分析[J]. 河北水利电力学院学报, 2020, 30(3): 64-69.
- [5] 代霞, 周兆银, 张婷, 等. 装配式建筑施工阶段安全风险因素识别方法选择研究[J]. 重庆建筑, 2020, 19(8): 20-22.
- [6] 段永辉, 周诗雨, 郭一斌, 等. 基于 SEM 的装配式建筑施工安全风险及策略[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(2): 70-75+121.
- [7] 常春光, 颜蕊蕊, 李腾坤. 基于 SD 的装配式建筑施工安全评价及管理措施[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2018, 20(4): 371-376.