

# 基于DEMATEL-AISM法的装配式建筑预制构件成本影响因素分析\*

魏宏亮, 牛昌林, 刘福江, 吴星蓉, 祁生旺

(甘肃建投科技研发有限公司, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:**以装配式预制构件成本影响因素为研究对象,通过文献查阅、现场调研及专家咨询的方式,在总结形成预制构件成本因素体系的基础上,构建了基于DEMATEL-AISM法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,分析了预制构件成本影响因素系统中各因素间的相互影响及逻辑关系,并提出相关建议。研究成果以为装配式建筑预制构件的成本管理提供参考依据。

**关键词:** 预制构件; 成本; DEMATEL; ISM; 装配式建筑

中图分类号: TU723.3; F426.92 文献标识码: A 文章编号: 1002-851X(2021)10-0083-06

DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.202110083

[引用本文] 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.

## Research on Factors Influencing the Cost of Prefabricated Building Components Based on DEMATEL-AISM Method

WEI Hongliang, NIU Changlin, LIU Fujian, WU Xingrong, QI Shengwang

(Gansu Construction Investment Technology Research and Development Co., Ltd, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Taking prefabricated building prefabricated component cost influencing factors as the research object, through literature review and expert consultation, on the basis of constructing prefabricated building prefabricated component cost factor system, this paper constructs prefabricated building prefabricated component cost influencing factor model based on DEMATEL and AISM method. This paper intuitively shows the key influencing factors and their action path of prefabricated building component cost, and analyzes the logical relationship between the elements of prefabricated building component cost factor system. Finally, puts forward some targeted suggestions, which can provide ideas for component cost management of prefabricated buildings.

**Keywords:** prefabricated component; cost; DEMATEL; ISM; prefabricated building

### 1 引言

装配式建筑是指采用标准化设计、工业化生产、装配式施工、一体化装修技术建造而成的建筑,具有现场人工用量少、施工安装效率高及绿色环保节能等优点。2016年9月,国务院办公厅《关于大力发展装配式

建筑的指导意见》(国办发〔2016〕71号)指出,力争用10年左右的时间,使装配式建筑占新建建筑面积的比例达到30%。然而在部分地区,目前装配式建筑发展仍面临着“政策热、市场冷”的情况,这一定程度上影响了我国装配式建筑发展的良好势头。建造成本高是制约当地装配式建筑发展的主要原因之一。相关研究表明:在装配式建筑的成本构成中,预制构件成本的占比高达40%~80%,是制约装配式建筑成本最关键的因素之一。因此,科学、有效地对预制构件的成本进行分析与控制,是降低装配式建筑成本的重要手段。

预制构件的成本主要包括生产所必须的人、材、

\*基金项目:住房和城乡建设部科技计划项目(2018-K9-072);中共甘肃省委组织部人才项目(2020-RCXM-138)

作者简介:魏宏亮,男,生于1984年,甘肃会宁人,高级工程师,主要从事装配式建筑方面工作。

收稿日期:2021-05-24

机和运输成本等，同时厂区基建、管理费、利润等也会分摊在构件的成本中，受到来自设计阶段、模具设计生产阶段、构件现场制作阶段及运输阶段等影响，涉及到设计方、模具生产方、构件生产方、运输方及接受方等多个利益相关者。同时，当地政策的发布与落地情况、标准的健全情况、建筑业与装配式建筑的发展情况以及原材料价格等也会对预制构件的成本有着重要的影响。

由此可见，预制构件成本受到多种因素的影响，这些因素的来源并不相同，产生与作用时间以及影响的大小也不相同，且这些因素之间相互影响，复杂交错。因此，若要实现预制构件成本的有效控制，很有必要对影响构件成本的因素进行梳理总结，理清各因素之间的内在联系，确定关键影响因素，进而提出合理的控制措施。

基于此，本研究在现有研究的基础上，通过文献调查、专家咨询以及现场调研，对影响预制构件成本的因素进行识别与归纳，引入决策与试验评价实验室法（DEMATEL）与抗解释结构模型法（AISM），构件影响因素模型，确定关键影响因素，分析各影响因素之间的关系，提出成本控制策略，为预制构件的成本控制提供理论依据。

## 2 预制构件成本影响因素识别

通过文献查阅与现场调研访谈，初步梳理出34个预制构件的成本影响因素。在此基础上，遵循层次分明、系统完整、简明科学的原则，经研究小组讨论与专家咨询，将原有的34个影响因素精炼整合15个，并将其分为环境因素、设计因素、生产因素及其他因素四组，见表1。

## 3 预制构件成本影响因素DEMATEI-AISM模型的构建

### 3.1 模型构建方法

#### 3.1.1 DEMATEI法

##### (1) 确定直接影响矩阵O

设定影响因素关系的专家评价语义标度（表2），运用德尔菲法邀请25位装配式建筑领域的专家学者评估预制构件成本各影响因素间关系的强弱，得到初始直接影响矩阵O。

##### (2) 计算综合影响矩阵T

对初始直接影响矩阵O进行规范化处理，得到规范

表1 预制构件成本影响因素体系F

分类	编码	影响因素
环境因素	F1	政策法规
	F2	当地建筑业发展状况
	F3	标准规范
	F4	工人工资
	F5	原材料价格
	F6	税金
设计因素	F7	预制率与装配率
	F8	总体设计水平
	F9	拆分的合理性和标准化程度
生产因素	F10	从业人员水平
	F11	生产调度水平
	F12	工业生产程度
	F13	生产规模
	F14	运输距离
其他因素	F15	信息化技术水平

表2 专家评价语义标度

语义变量	没有影响	较小影响	一般影响	较强影响	强烈影响
标度	0	1	2	3	4

影响矩阵N，具体计算公式如式（1）所示：

$$N=O/\max \left( \sum_{j=1}^n o_{ij} \right) \quad (1)$$

考虑预制构件成本影响因素之间的直接影响及间接影响，采用直接影响和间接影响累加的方式，根据式（2），计算综合影响矩阵T。

$$T=(N+N^2+N^3+\dots+N^k)=\sum_{k=1}^{\infty} N^k=N(I-N)^{-1} \quad (2)$$

##### (3) 计算各影响因素影响度与被影响度

根据式（3）、式（4）计算各影响因素影响度 $D_i$ 、被影响度 $C_i$ 。其中影响度 $D_i$ 为因素 $F_i$ 所对应行的行和，被影响度 $C_i$ 为因素 $F_i$ 所对应列的列和。

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

$$C_i=\sum_{j=1}^n t_{ji}, (i=1, 2, 3, \dots, n,) \quad (4)$$

##### (4) 计算各影响因素影响度与被影响度

根据式（5）、式（6）计算各影响因素的中心度 $M_i$ 与原因度 $R_i$ 。其中，中心度 $M_i$ 为影响度 $D_i$ 与被影响度 $C_i$ 之和，原因度 $R_i$ 为影响度 $D_i$ 与被影响度 $C_i$ 之差。

根据原因度大于0为原因因素、小于0为结果因素的原则, 对各因素的因果属性进行判断, 并分别进行排序。

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

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

### 3.1.2 AISM法

(1) 计算整体关系矩阵Z

为简化系统结构, 引入阈值  $\lambda (\lambda \in [0, 1])$ , 根据式 (7) 计算基于综合影响矩阵T的关系矩阵B。

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

式中,  $\lambda = \bar{x} + \sigma$ ,  $\bar{x}$  为矩阵T的各因素的平均值,  $\sigma$  为标准差。

进一步, 考虑因素自身的影响作用, 根据式 (8) 计算整体关系矩阵Z。

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

(2) 根据式 (9), 对整体关系矩阵Z进行连乘, 得可达矩阵K。

$$K = Z^{k+1} = Z^k \neq Z^{k-1} \quad (9)$$

(3) 根据式 (10) 及可达矩阵K, 建立各因素  $F_i$  的可达集  $R(F_i)$ 、前因集  $A(F_i)$  及共同集  $L(F_i)$ , 分别以结果优先 (划分法则:  $L(F_i) = R(F_i)$ ) 与原因优先 (划分法则:  $L(F_i) = A(F_i)$ ) 规则进行对抗层级划分。

$$\begin{cases} R(F_i) = \{F_j | F_i \in F, k_{ij} = 1\} \\ A(F_i) = \{F_j | F_i \in F, k_{ji} = 1\} \\ L(F_i) = \{F_j \in F | R(F_i) \cap A(F_j) = R(F_i)\} \end{cases} \quad (10)$$

(4) 计算骨架矩阵F

对可达矩阵K进行缩点处理, 检查可达矩阵K各层级中的强连接因素 ( $F_i$  与  $F_j$  满足  $k_{ij} = k_{ji} = 1$  的关系, 则  $F_i$  与  $F_j$  为强连接因素), 将其进行缩点处理为一个因素, 得到缩点矩阵K; 进一步地, 删除已具备邻接二元关系因素间的越级二元关系, 得到缩边矩阵K<sup>''</sup>。最后; 剔除缩边矩阵K<sup>''</sup>中因素自身可达的二元关系, 即将矩阵K<sup>''</sup>主对角线元素“1”全部改为“0”, 得到骨架矩阵F。

(5) 根据表5最终对抗层级划分结果与骨架矩阵F, 融入中心度与原因度排序结果, 绘制对抗多级递阶结构模型图。

### 3.2 模型构建结果

根据专家所评估的各因素之间的影响程度结果, 得出直接影响矩阵O。

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
F1	0	4	4	2	1	4	3	0	0	1	0	2	2	1	4
F2	4	0	4	4	4	1	1	1	0	2	0	2	4	0	3
F3	0	2	0	2	1	0	4	4	4	0	1	3	1	0	2
F4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0
F5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
F7	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	2	3	0	0
F8	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	3	3	1	0	0
F9	0	1	1	0	0	0	3	3	0	1	3	4	3	1	0
F10	0	0	0	4	0	0	4	4	4	0	2	4	2	0	0
F11	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	4	2	4	0
F12	0	0	0	4	4	0	0	0	0	2	4	0	4	0	1
F13	0	2	0	4	4	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0
F14	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0
F15	0	2	0	0	0	0	1	3	4	0	2	4	2	0	0

对直接影响矩阵按照式 (1) 进行规范化处理, 然后根据式 (2) 求得综合影响矩阵T。基于影响矩阵T, 按照式 (3)、(4)、(5)、(6) 求得各影响因素的影响度、被影响度、中心度、原因度。以中心度为横坐标, 原因度为纵坐标, 绘制如图1所示原因结果图。

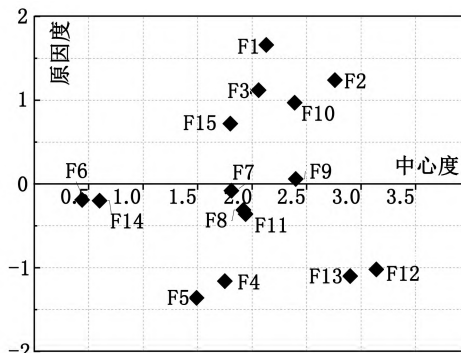


图1 各影响因素的原因结果

根据综合影响矩阵T, 依次按照式 (7)、(8)、(9) 计算可达矩阵K, 在可达矩阵K的基础上, 按照式 (10) 进行对各因素进行对抗层级划分, 最终层次化划分结果如表3所示。

对可达矩阵K进行缩检处理, 得到骨架矩阵F。

	{F1, F2}	F3	F4	F5	F6	F7	{F8, F9}	F10	{F11, F12, F3}	F14	F15
F1, F2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
F3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
F4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
{F8, F9}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
F10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
{F11, F12, F3}	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
F14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

表3 最终层次化划分结果

层级	结果优先	原因优先
L <sub>1</sub>	F4, F5, F6, F14	F4, F6, F14
L <sub>2</sub>	F11, F12, F13	F11, F12, F13
L <sub>3</sub>	F8, F9	F8, F9
L <sub>4</sub>	F7, F15	F7
L <sub>5</sub>	F3, F10	F3, F6, F15
L <sub>6</sub>	F1, F2	F1, F2, F10

进一步地,根据层次化分析结果及骨架矩阵F,绘制对抗多级递阶结构模型图,见图2。

### 4 模型分析

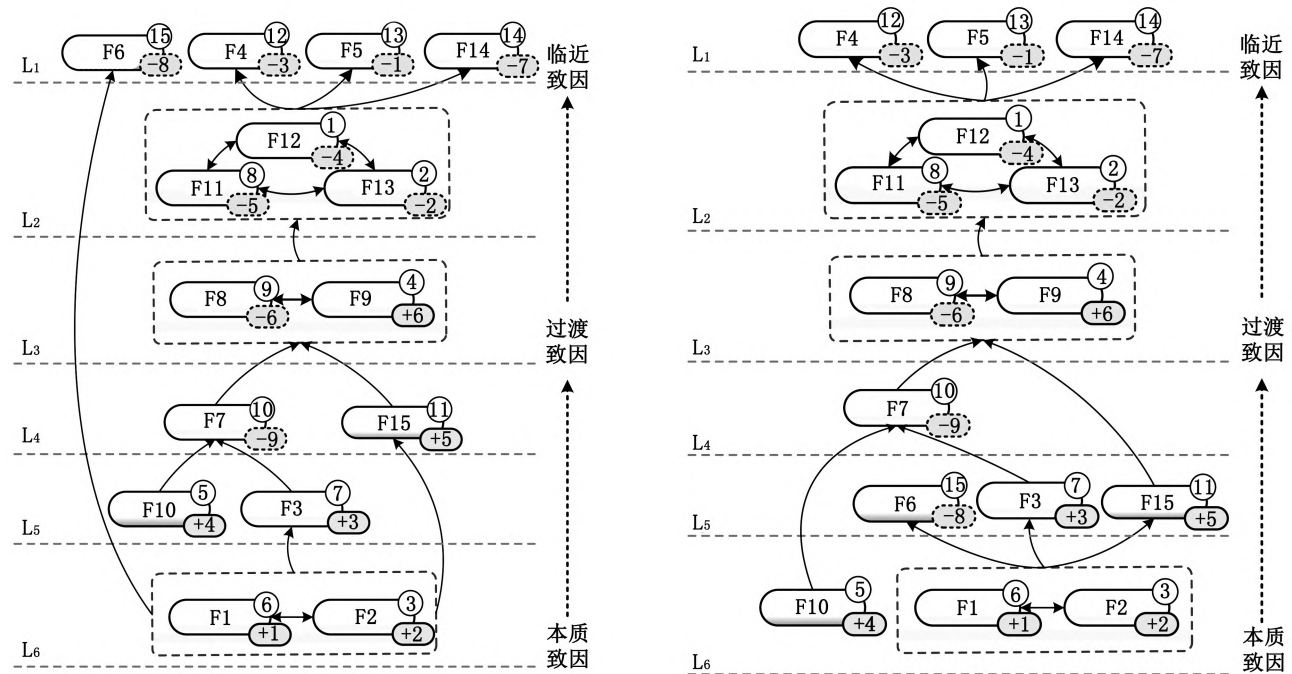
#### 4.1 回路分析

多级递阶结构图中各因素间存在有向箭线,表示因素间存在因果关系。若因素间为双向箭线,该连接方式被称为回路,即为强连接,表示该组因素互为因果关系。从图2可看出,预制构件成本影响因素系统中存在3组回路: {政策法规F1,当地建筑业的发展现状F2}、{总体方案设计水平F8,拆分的合理性与标准化程度F9}及{生产调度水平F11,工业化生产程度F12,生产规模F13},表明该3组因素组内部本身连接紧密、互为因果。因此,在进行预制构件成本管控时,应对上述3组回路因素组采用一体化管理方式进行控制以提高管理效力。

F9)及{生产调度水平F11,工业化生产程度F12,生产规模F13},表明该3组因素组内部本身连接紧密、互为因果。因此,在进行预制构件成本管控时,应对上述3组回路因素组采用一体化管理方式进行控制以提高管理效力。

#### 4.2 层级及因果全系列分析

从图2还可以看出,装配式预制构件的成本影响因素形成了自上而下6级3阶的有向递阶层次化结构。系统分为3阶:最下层(L<sub>6</sub>)因素构成的本质致因阶,中层(L<sub>2</sub>-L<sub>5</sub>)因素构成的过渡致因阶,最上层(L<sub>1</sub>)因素构成的临近致因阶。越下的层级表示原因属性(影响



注:  $F_i$   $\begin{matrix} y \\ x \end{matrix}$  —中心度排序  
—原因度排序(实线框为正值排序,虚线框为负值排序)  
—风险因素

图2 基于DEMATEL-AISM装配式建筑预制构件成本影响因素对抗多级递阶结构模型

属性)越强,越上的层级表示结果属性(被影响属性)越强。

本质致因阶,即对抗层级图中最下层因素的并集{政策法规F1,当地建筑业发展现状F2,从业人员水平F10},本质致因阶因素只发出有向箭线,而不接收有向箭线,即只影响其他因素而不被其他因素所影响,表明本质致因阶因素是影响装配式预制构件成本的最根本原因。若要对装配式预制构件成本进行根本管理,应注重政策法规F1、当地建筑业发展现状F2及从业人员水平F3的关注或控制。

临近致因阶,即对抗层级图中最上层因素的并集{工人工资F4,原材料价格F5,运输距离F14,税金F6}。临近致因阶因素只接收有向箭线,而不发出有向箭线,即只被其他因素影响而不影响其他因素,表明本质致因阶因素是影响装配式预制构件成本的最直接因素。要对装配式预制构件成本进行快捷有效的调控,可从临近致因阶因素入手。但是,临近致因阶因素易受其他因素的影响,因此,在对临近致因阶的因素进行控制时,还要注意其前因因素的控制,或切断其与前因因素之间的联系。

过渡致因阶,即除去本质致因阶与临近致因阶因素后位于对抗层级图中层的因素,其既接收有向箭线、又发出有向箭线,既可能被其他因素所影响、又影响其他因素。过渡致因阶因素在系统中既承担着传播(过渡)影响的作用,其自身也可成为影响源,影响其他因素。因此,对于过渡致因阶因素的控制十分必要,尤其是高中心度的因素:工业化生产水平F12、生产规模F13及拆分的合理性与标准化程度F9及高原因度的因素标准规范F3、信息化水平F15。此外,在大多数情况下,生产单位对部分本质致因阶因素的控制是十分困难甚至不可能的,如政策法规F1、当地建筑业发展现状F2,但可通过对过渡致因阶可控因素(如生产调度水平F11)进行调控,从而降低风险传播带来的影响。

此外,从上述分析可看出,相较于ISM法,采用AISM法对系统结构进行层次化划分更加综合全面且只需增加极小的工作量,并能客观清晰地刻画出从结果与原因两个角度出发时,系统层级划分的差异性,而基于此所构建的对抗多级递阶结构模型也为管理者从原因与结果两个角度思考和解决问题提供了更具针对性的模型基础。本文所采用对抗多级递阶结构图取并集的处理方法仅为AISM法最为直接简单

的应用,更为深入、系统的研究与应用有待进一步探讨。

### 4.3 原因度与中心度分析

#### 4.3.1 中心度分析

中心性是用于分析网络的最广泛使用和最重要的概念工具之一,中心度是中心性的一种度量方式,属正向指标,即数值越大越重要。从图2可以看出,预制构件成本各影响因素按中心度由大到小前五的排序依次为:工业化生产程度F12、生产规模F13、当地建筑业发展现状F2、拆分的合理性和标准化程度F9及从业人员水平F10。因此,上述因素在预制构件成本分析和控制时应重点考虑。

#### 4.3.2 原因度分析

原因度反映因素的原因结果属性,分为正值原因度、负值原因度:正值为原因因素,数值越大越容易影响其他因素;负值为结果因素,绝对值越大越容易被其他因素所影响。从图2可以看出:

预制构件成本影响因素正值原因度由大到小前五的排序依次为政策法规F1、当地建筑业发展现状F2、标准规范F3、从业人员水平F10及信息化水平F15。高正值原因度的因素很容易影响其他因素,因此,在对预制构件成本进行控制时,应注重对上述高正值原因度因素的管理。

预制构件成本各影响因素负值原因度由大到小(绝对值)前五的排序依次为原材料价格F5、生产规模F13、工人工资F4、工业化的生产程度F12及生产调度水平F11。高负值原因度因素很容易受到其他因素的影响,因此,在对高负值原因度因素进行控制时,还需注意对与之连接的上游因素的控制。

### 4.4 DEMATEL法和AISM法结果对比分析

此外,图2还表明,基于DEMATEL法计算出的因素中心度与基于AISM法所划分的层级并无明显的关联关系,这是由于因素中心度是因素影响度与被因素影响度相加得来的,综合了因素影响度与被因素影响度两种属性,淡化了其因(影响)与果(被影响)属性,使其与表达影响作用传递关系(即因果关系)的递阶结构模型的关系不强。而图2的结果却显示原因度与层级化结果有着较为显著的关系:总体而言,正值原因度数值越大,因素的层级越靠下,即因素的原因属性越强;负值原因度绝对值越大,因素的层级越靠上,即因素的结果属性越强。显然,这是由因素的自身属性决定的。这也表明,两种方法所得出的因素的原因结果性质可相互佐

证、校对与解释。

## 5 建议

### 5.1 加大政策扶持力度, 推动装配建筑产业发展

政策法规与当地装配式建筑业发展现状是影响装配式预制构件成本的最根本的因素。因此, 应从政策层面支持装配式建筑预制构件供给与需求的发展, 加快当地建筑业转型升级发展, 促进技术成熟与规模推广, 以降预制构件的成本。具体而言, 根据当地的经济与建筑业发展情况因地制宜地制定装配式建筑的发展目标与预制率要求, 在建设初期加强财政、金融及税收等支持力度, 给予预制构件厂与装配建筑项目行业扶持, 如土地划拨、行政审批绿色通道等, 在给预制构件(厂)提供市场与发展基础的同时, 以缓解其前期基建的摊销费与相关的“学习成本”, 降低预制构件的生产成本。

### 5.2 完善技术标准体系, 提升工业化生产水平

标准规范是除政策法规与当地装配式建筑业发展现状外成本影响因素系统原因度最高的因素, 而工业化的生产水平与生产规模是整个系统中心度最高的因素。从三者关系来看, 标准化是工业化的基础, 也是实现扩大生产规模的必要条件。通过相关标准的制定与实施, 提高预制构件的标准化程度, 减少预制构件与模具的种类并降低制造难度, 从而促进预制构件生产的工业化程度。同时, 政府和行业要积极作为, 合力加快建立完善、协调的产业链, 解决装配式建筑整个产业链上下优化的问题, 以规范标准为抓手, 提升预制构件设计、采购、生产、运输及施工的标准化程度, 提高行业的集约化程度, 从而促进预制构件生产乃至装配式建筑的规模效应, 降低预制构件的成本。

### 5.3 控制人、材及运输成本, 降低构件成本造价

工人工资、原材料价格、运输距离是影响预制构件成本的最直接因素, 也是控制预制构件最有效的手段。通过改进生产工艺与流程, 提高生产的自动化与智能化程度, 优化生产调度, 提高生产效率, 减少窝工与不必要的加班, 降低人工成本; 做好原材料的询价与定价, 与材料供应商签订长期优惠的合作协议, 同时在生产时, 减少不必要的浪费, 从而控制预制构件的原材料的成本; 合理规划最适宜的运输线路, 选择合适的运输车辆, 根据车辆与构成特点科学布置的装配方法, 提高车辆的运输率, 在运输时的保护, 制

定安全高效运输方案, 防止预制构件破损, 降低运输成本。

### 5.4 强化信息化技术应用程度, 做好精细化管理

加强装配式建筑项目管理信息化技术应用比例和水平。在设计时, 采用BIM技术辅助设计, 提高设计的效率与质量, 优化预制构件与模具的标准化与通用程度; 在生产时, 利用信息化手段与计算机技术, 优化预制构件生产调度以及固定模台和流水线生产工艺, 合理配置作业人员, 提高模具周转次数和机械的利用率; 在构件运输时, 采用信息化的管理手段, 结合二维码技术, 合理科学规划布局预制构件存放, 优化平面和空间存放, 高效调取库存, 减少二次倒运; 在运输时, 利用BIM+GIS技术, 辅助进行运输线路的选择与构件的摆放, 提高车辆运输的效率与空间利用率。

### 5.5 提高从业人员技能水平, 建立高素质产业队伍

从业人员的水平隶属本质致因阶, 是影响预制构件成本构成的最深层影响因素之一, 同时也是原因度最高的因素之一。因此, 很有必要对从业人员水平进行提升与管理以控制预制构件的成本。通过人才引进、重点培养等方式培养技术实力高超、具有管理视野和推广统筹能力的复合型人才, 做好当地装配式建筑发展的顶层设计, 推动规模发展及技术成熟; 培养专业的装配式建筑设计人员, 逐步提高装配式建筑的整体设计水平以及预制构件拆分与模具设计的合理性与标准化程度, 为预制构件工业生产打下良好的基础; 通过岗前培训、考试以及要求持证上岗等手段, 提高产业工人的技术水平、职业素养及生产熟练程度, 提高生产效率, 从而降低预制构件生产成本; 此外, 专业管理人员的培养对于预制构件的成本控制也是也不可少的。▲

## 参考文献

- [1] 常春光, 张瑜. 装配式建筑构件生产成本控制问题与措施研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2016(5): 470-475.
- [2] 肖光朋, 项健, 郭丹丹. 装配式混凝土结构高成本成因分析[J]. 建筑经济, 2021(2): 68-70.
- [3] 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(2): 20-26.
- [4] 倪标, 黄伟. 基于对抗解释结构模型的军事训练方法可推广性评价模型[J]. 军事运筹与系统工程, 2020(2): 46-51.