

基于SEM-FAHP的装配式建筑预制构件 供应商选择

陈艳,柴访,谢运慧

(青岛理工大学管理工程学院,山东 青岛 266520)

摘要:合理优选预制构件供应商是保障装配式建筑质量水平的重要前提。首先,运用文献梳理和专家访谈法构建了装配式建筑预制构件供应商评价指标体系,并运用结构方程进行模型拟合及添加因子路径,最终确定了预制构件供应商评价指标模型;其次,运用模糊层次分析法构建了预制构件供应商选择模型;最后,结合实例对预制构件供应商进行了分析。结果表明:该方法具有一定的科学性和合理性,能为装配式建筑预制构件供应商的选择提供有效的指导。

关键词:装配式建筑预制构件;供应商选择;结构方程;模糊层次分析

中图分类号:TU721.1;F407.9 **文献标志码:**A

为解决传统建筑生产方式导致的建筑垃圾污染严重、资源能耗高、人员劳动强度大等日益严重的问题,中央层面出台了相关政策以推进建筑业改革,各级政府出台了相关政策给予大力支持,来推广一种房屋集成化的新型预制装配式建筑模式,装配式建筑预制构件供应商应运而生,为装配式建筑提供所需要的预制构件。装配式建筑是指将工厂化生产的预制构件在施工现场通过组装和连接而成的建筑,其以装配化作业取代手工砌筑和现场浇筑^[1]。作为实现建筑工业化主要途径的产物,装配式建筑不仅要符合低碳环保理念,还要满足优化设计、保障结构性能等条件。而预制构件作为装配式建筑的基础部分,其构件的标准化、连接节点的精确率以及施工的规范化是保障装配式建筑质量水平的重要因素^[2]。因此,在推进建筑工业化进程中,科学合理地选择预制构件供应商对装配

式建筑的成功建造至关重要。

近年来,国内外学者对供应商的选择有了丰富的研究成果,但大都侧重于物流、制造业以及农业经济等领域,而针对预制构件供应商选择的研究虽有一部分成果,但仍存在一定的局限性。石晓波等^[2]、Bai C等^[3]仅从理论上分析并构建了预制构件供应商评价指标体系,带有较强的主观性,缺乏科学的定量分析;孙亚静等^[4]、陈小波^[5]、詹翌^[6]等运用文献梳理、资料查阅以及问卷调查法建立了预制构件供应商评价指标体系,分别运用粗糙集法(RS)、多准则决策法(VIKOR)、决策与实验室法(DEMATEL)对装配式建筑预制构件供应商选择进行评价,并通过实例进行了分析探究,而在方法的运用上,粗糙集法要求数据必须具有较高的离散性,多准则决策法无法将客观规律与主观经验有效融合且该方法对准则值和准则权系数要求较高,在

实际中很难达到,决策与实验室法难以解决复杂的系统问题。鉴于此,笔者根据装配式建筑预制构件的固有特点,运用结构方程模型(Structural Equation Model, SEM)建立预制构件供应商评价指标体系,对各指标因素进行定量分析,并确定各因素的影响程度;考虑影响预制构件供应商选择的因素之间的模糊性和关联性,以及模糊层次分析法可解决不确定性的多层次复杂结构问题的优良特性,引入模糊层次分析法(Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP)定量分析各级指标,构建模糊层次模型和判断矩阵,并计算各指标对系统目标的权重和指标值得分,以选出最优供应商。

一、SEM 模型的构建

SEM 本质上是一种验证式的模型分析方法,主要根据搜集的实证资料检验潜变量之间的关系以及潜变量与显性指标的一致性程度^[7]。一个完整的结构方程模型包含两个次模型:结构模型和测量模型。结构模型是指潜变量之间的相关关系以及模型中其他变量的变异量部分,而测量模型是指观测变量与潜变量之间的相关关系^[8]。笔者运用结构方程的目的在于验证预制构件供应商评价指标体系构建的合理性,进而利用模型中的路径指向和路径系数来解释各因素之间的影响程度和相关关系。

1. 数据收集与变量选取

(1)因素来源。为使设计的调查问卷具有较强的说服力、信度和效度,增强其适用性,对青岛市青岛动车小镇昌明装配建筑科技有限公司、青岛名流装配建筑科技有限公司及青岛光大集团大型构件有限公司的权威专家进行了实地访谈,在充分交流研讨的基础上,结合中国知网检索的相关文献,综合传统建筑供应商选择方式与预制构件特点,确定影响预制构件供应商选择的因素。

(2)问卷设计与数据来源。通过查阅文献资料及与相关人员进行探讨,确定运用 Likert 5 级量表法对问卷进行测度。调查问卷

卷主要采取现场发放、电话访问及 E – mail 形式。共发放问卷 350 份,且进行随机抽样调查,回收 320 份问卷,删除无效问卷后,剩余有效问卷 315 份,有效率达 90%。

(3)选取变量。最终选择 5 个潜变量, 19 个观测变量(见表 1)。

表 1 预制构件供应商评价指标体系			
潜变量	量符号	观测变量	量符号
质量指标	U ₁	产品合格率	U ₁₁
		构件标准化程度	U ₁₂
		质量管理水平	U ₁₃
		返修退货率	U ₁₄
成本指标	U ₂	构件价格	U ₂₁
		物流成本	U ₂₂
		价格波动率	U ₂₃
供货指标	U ₃	交货可靠度	U ₃₁
		柔性送货能力	U ₃₂
		准时交货率	U ₃₃
服务指标	U ₄	技术服务水平	U ₄₁
		售后服务水平	U ₄₂
		问题解决能力	U ₄₃
综合指标	U ₅	企业资质	U ₅₁
		企业财务	U ₅₂
		生产设备技术水平	U ₅₃
		产品开发及创新能力	U ₅₄
		企业管理水平	U ₅₅
		企业兼容性	U ₅₆

2. 信度和效度检验

问卷数据经 SPSS22.0 软件进行信度检验,各因子的 Cronbach’s α 值均大于 0.8,高于标准值 0.7,表明数据的信度较好。根据 Kaiser 给出的度量标准,对问卷进行效度检验,即采用 KMO 和 Bartlett 检验。其中, KMO 值为 0.834,高于标准值 0.8,且 Bartlett 球体检验值在 P = 0 上显著,表明数据之间具有较强的相关性,可用于因子分析。

3. 模型假设

笔者结合已有的文献研究、实地调研和专家访谈情况,依据科学性、系统性原则总结出:供应商预制构件的质量水平直接影响其成本高低和综合实力,间接影响其供货能力和服务能力;供应商预制构件的成本高低直接影响其质量水平和综合实力,间接影响其供货能力和服务能力;供应商的供货能力直接影响其综合实力,间接影响其预制构件的质量水平、成本高低以及服务能力;供应商

的服务能力直接影响其综合实力,间接影响质量水平、成本高低以及供货能力;供应商的综合实力直接影响其质量水平、成本高低、供货能力和服务能力。基于以上分析,提出假设:供应商的5个一级指标质量指标、成本指标、供货指标、服务指标、综合指标之间具有相互影响关系。

4. 模型拟合与修正

为进一步验证上述预制构件供应商评价指标体系的合理性以及各个指标之间的相互影响关系,根据假设运用 AMOS 23.0 软件进行模型拟合。模型修正主要是调整不合理的假设模型内的路径关系和添加因子路径。笔者根据 Modification Indices (MI) 和 Par Change 两个输出修正指数,对指数值大的变量重新设定两者之间的共变关系,即添加因子路径。其卡方值降低,估计参数改变值为正数,易达到模型适配指标标准。经过反复的修正拟合后,建立 SEM 的各项适配度检验结果,经过修正的模型如图 1 所示。模型拟合指数计算结果如表 2 所示,路径和显著性检验结果如表 3 所示。

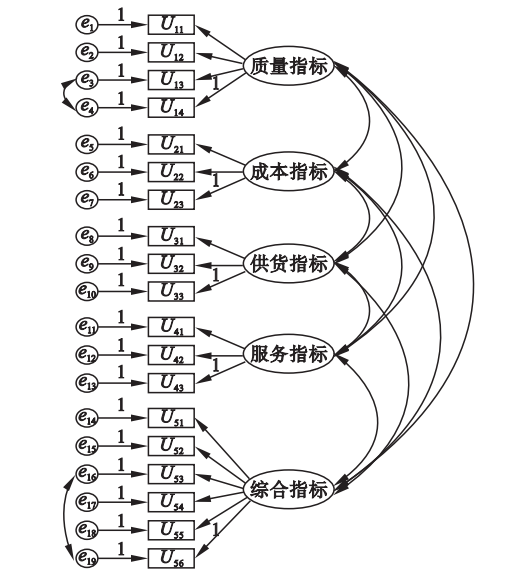


图 1 经过修正的模型

表 2 修正模型拟合指数计算结果

拟合指数	接受范围	检验结果	是否适配
CMIN/DF	<3.00	1.232	是
RMR	<0.05	0.020	是
RMSEA	<0.05	0.027	是
GFI	>0.90	0.946	是
AGFI	>0.90	0.927	是
NFI	>0.90	0.949	是
IFI	>0.90	0.990	是
CFI	>0.90	0.990	是

表 3 修正模型的路径和显著性检验结果

路径	非标准化值 Estimate	标准误差 S. E.	临界比值 C. R.	显著水平 P	标准化值 Estimate (S)
$U_{23} \leftarrow$ 成本指标	1.000	—	—	—	0.783
$U_{22} \leftarrow$ 成本指标	1.042	0.086	12.116	***	0.745
$U_{21} \leftarrow$ 成本指标	1.094	0.086	12.653	***	0.824
$U_{33} \leftarrow$ 供货指标	1.000	—	—	—	0.838
$U_{32} \leftarrow$ 供货指标	0.781	0.070	11.143	***	0.704
$U_{31} \leftarrow$ 供货指标	0.934	0.080	11.718	***	0.760
$U_{14} \leftarrow$ 质量指标	1.000	—	—	—	0.592
$U_{13} \leftarrow$ 质量指标	1.065	0.080	13.390	***	0.582
$U_{12} \leftarrow$ 质量指标	1.616	0.168	9.639	***	0.707
$U_{11} \leftarrow$ 质量指标	1.887	0.174	10.821	***	0.868
$U_{51} \leftarrow$ 综合指标	1.000	—	—	—	0.819
$U_{52} \leftarrow$ 综合指标	0.677	0.060	11.346	***	0.609
$U_{53} \leftarrow$ 综合指标	0.918	0.063	14.653	***	0.744
$U_{54} \leftarrow$ 综合指标	1.114	0.062	18.114	***	0.864
$U_{55} \leftarrow$ 综合指标	0.911	0.055	16.511	***	0.822
$U_{56} \leftarrow$ 综合指标	0.896	0.064	14.076	***	0.722
$U_{41} \leftarrow$ 服务指标	1.000	—	—	—	0.847
$U_{42} \leftarrow$ 服务指标	1.120	0.077	14.531	***	0.751
$U_{43} \leftarrow$ 服务指标	0.928	0.056	16.448	***	0.887

由表 2 可知,修正后的拟合指数得到大幅度改善,表明问卷数据与模型拟合程度较好,且假设成立;由表 3 可知,修正后各路径的 P 值在显著性水平 0.01 下都是显著存在

的,因此,笔者将图 1 模型作为装配式建筑预制构件供应商评价指标最终模型。

根据标准化路径系数可以看出各个观测变量对潜变量的影响程度。在质量指标中,

产品合格率和构件标准化程度的路径系数达到 0.868 和 0.707,说明在该指标中产品合格率和构件标准化程度影响力很大,施工企业选择供应商时要重点检查构件是否合格以及是否达到标准。在成本指标中,相关系数最高的是构件价格为 0.824,这与施工企业实际选择供应商的情况相符合,因此,选择供应商时要高度重视构件成本,尽可能在质量最优情况下使价格最低,而价格波动率和物流成本的相关系数也都比较高,分别为0.745和 0.783。在供货指标中,准时交货率的路径系数最高 0.838,其次为交货可靠度,为 0.760,最低的是柔性送货能力,为 0.704,这表明交货能力是施工企业和构件供应商合作最重要的环节,供应商能否准时交货对工程项目进行得顺利与否起着至关重要的作用。在服务指标中,路径系数最高的为问题解决能力,为 0.887,其次是技术服务水平,为 0.847,最低的标准化路径系数是售后服务水平,为 0.751,说明供应商解决施工企业构件问题的能力很重要。在综合指标中,产品开发及创新能力、企业管理水平以及企业资质的相关系数比较高,分别为 0.864、0.822 和 0.819,随着装配式建筑越来越受关注,对装配式建筑的绿色环保节能的要求也逐渐提高,施工企业更加重视供应商的产品开发及创新能力、管理水平以及企业资质。

二、基于 FAHP 的预制构件供应商选择评价模型构建

与传统建造模式相比,装配式建筑在供应商选择上具有不同的标准,不仅要考虑预

制构件的质量水平和成本高低,还要兼顾供应商的准时交货率、柔性送货能力、技术服务能力以及企业综合实力。因此,对预制构件供应商的选择是一个多属性决策问题,故笔者根据已验证的预制构件供应商评价指标体系,运用 FAHP 法对供应商选择评价。

1. 模糊层次分析法

模糊层次分析法是将层次分析法与模糊数学理论相融合的一种分析方法,在模糊理论基础上,利用模糊综合评价法的思路对指标进行综合评价。该方法以其定性与定量分析相结合,将决策者的主观判断过程思维化、数学化,使复杂的系统问题逐层分解转化为多层次单目标问题,通过元素两两比较建立模糊一致判断矩阵,再进行数学运算,所得结果精准可靠,易使决策者掌握。

2. FAHP 模型的构建步骤

(1)模糊互补判断矩阵的建立

在 FAHP 法中,对每一层次的各因素进行两两比较时,采用一个因素比另一个因素的重要程度定量表示,则可以构造出模糊判断矩阵 $R = (a_{ij})_{n \times n}$

$$R = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

(1)

若矩阵满足两个条件,即① $a_{ii} = 0.5, i = 1, 2, \cdots, n$;② $a_{ij} + a_{ji} = 1, i, j = 1, 2, \cdots, n$,则称此矩阵为模糊互补判断矩阵。其中, a_{ij} 表示因素 i 比因素 j 的相对重要程度的数值。为使指标之间的相对重要程度更加清晰,一般采取 0.1~0.9 标度法给出数量标度(见表 4)。

表 4 0.1~0.9 标度法及其定义

标度	定义	说明
0.5	因素 i 与因素 j 同等重要	两因素一样重要
0.6	因素 i 比因素 j 稍微重要	行因素 i 比列因素 j 稍微重要
0.7	因素 i 比因素 j 明显重要	行因素 i 比列因素 j 明显重要
0.8	因素 i 比因素 j 重要得多	行因素 i 比列因素 j 重要得多
0.9	因素 i 比因素 j 极端重要	行因素 i 比列因素 j 极端重要
0.1		
0.2	反比较	若因素 i 与因素 j 相比较得到判断为 a_{ij} ,则因素 j 与因素 i 相比较得到的
0.3		判断为 $a_{ji} = 1 - a_{ij}$
0.4		

(2) 模糊互补判断矩阵的权重式

采用文献[9]推导出求解模糊互补判断矩阵权重的通用式

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)}, i = 1, 2, \cdots, n \quad (2)$$

该式集成了模糊一致性判断矩阵的优点及其判断信息, 计算简便且精确。设 $W = (W_1, W_2, \cdots, W_n)^T$ 是模糊互补判断矩阵 R 的权重向量, 其中, $\sum_{i=1}^n W_i = 1, W_i \geq 0 (i = 1, 2, \cdots, n)$ 。令

$$W_{ij} = \frac{W_i}{W_i + W_j}, (\forall i, j = 1, 2, \cdots, n) \quad (3)$$

则 n 阶矩阵为模糊互补判断矩阵 R 的特征矩阵。

$$W^* = (W_{ij})_{n \times n} \quad (4)$$

(3) 模糊互补判断矩阵的一致性检验

1) 为验证模糊互补判断矩阵排序向量的可信度与准确性, 需对判断矩阵进行一致性检验。设矩阵 $R_1 = (a_{ij})_{n \times n}$ 和 $R_2 = (b_{ij})_{n \times n}$ 均为模糊判断矩阵, 则 R_1 和 R_2 的相容性指标为

$$I(R_1, R_2) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij} + b_{ij} - 1| \quad (5)$$

2) 对于决策者的态度 α , 一般可取 $\alpha = 0.1$, 当 $I(R, W^*) \leq \alpha$, 认为判断矩阵是满意一致性的。实际应用中, 同一因素集 U 上的两两比较判断矩阵 $R_k = (a_{ij}^{(k)})_{n \times n}, k = 1, 2, \cdots, m$ 通常由多个 (设 $k = 1, 2, \cdots, m$) 专家给出。依据判断矩阵, 可得到权重集的集合 $W^k = (W_1^{(k)}, W_2^{(k)}, W_3^{(k)}, \cdots, W_n^{(k)}), k = 1, 2, \cdots, m$ 。

3) 对模糊互补判断矩阵进行一致性检验, 需满足两个条件: ① $I(R_k, W^{(k)}) \leq \alpha, k = 1, 2, \cdots, m$; ② $I(R_k, R_l) \leq \alpha, k \neq l, k, l = 1, 2, \cdots, m$ 。当模糊互补判断矩阵 $R_k (k = 1, 2, \cdots, m)$ 一致可接受时, 其综合判断矩阵也是一致可接受的^[10]。权重向量表达式 $W = (W_1, W_2, \cdots, W_n)$ 中

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m W_i^{(k)}, i = 1, 2, \cdots, n \quad (6)$$

(4) 各方案子指标值得分的确定

通过对不同方案的同一指标值进行优劣程度比较, 可得到模糊判断矩阵^[11]

$$F^T = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{21} & \cdots & c_{m1} \\ c_{12} & c_{22} & \cdots & c_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{1n} & c_{2n} & \cdots & c_{mn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

式中: c_{ij} 为子指标得分值, $\sum_{i=1}^m c_{ij} = 1, i = 1, 2, \cdots, m$ 。

$$G = 100 \cdot W \cdot F^T = (f_1, f_2, \cdots, f_m), f_i = \max f_j, j = 1, 2, \cdots, m \quad (8)$$

式中: G 为各供应商得分; F^T 为供应商各子指标得分构建的矩阵。根据计算结果, 选择得分最大的装配式建筑预制构件供应商。

三、案例分析

青岛融海公馆项目位于青岛市黄岛区山川路东、翠岛路南, 总建筑面积 272 634 m², 地上 15 层。该项目采用装配式建筑体系, 为满足建造需要, 要选择可合作的预制构件供应商, 经过综合考察后, 4 家供应商 (M_1, M_2, M_3, M_4) 符合该项目要求。

1. 建立模糊互补判断矩阵

依据准则层质量指标 U_1 、成本指标 U_2 、供货指标 U_3 、服务指标 U_4 、综合指标 U_5 5 个指标, 邀请 2 名长期从事装配式建筑方面的资深专家依据表 4 对各项指标进行两两比较判断, 得到准则层权重模糊互补判断矩阵。

专家 1 给出的模糊判断矩阵为

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.5 \\ 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \end{pmatrix}$$

专家 2 给出的模糊判断矩阵为

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.5 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.5 \\ 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.7 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.3 & 0.5 \end{pmatrix}$$

由式(2),计算出专家 1 给出的模糊互补判断矩阵的权重向量为 $W_1 = (0.220 \ 0.215 \ 0.195 \ 0.180 \ 0.190)$

由式(3),计算出模糊互补矩阵 R_1 的特征矩阵为

$$W_1^* = \begin{pmatrix} 0.500 & 0.506 & 0.530 & 0.550 & 0.537 \\ 0.494 & 0.500 & 0.524 & 0.544 & 0.531 \\ 0.470 & 0.476 & 0.500 & 0.520 & 0.506 \\ 0.450 & 0.456 & 0.480 & 0.500 & 0.486 \\ 0.463 & 0.469 & 0.494 & 0.514 & 0.500 \end{pmatrix}$$

同理可得

$$W_2 = (0.220 \ 0.205 \ 0.180 \ 0.200 \ 0.195)$$
$$W_2^* = \begin{pmatrix} 0.500 & 0.518 & 0.550 & 0.524 & 0.530 \\ 0.482 & 0.500 & 0.532 & 0.506 & 0.513 \\ 0.450 & 0.468 & 0.500 & 0.474 & 0.480 \\ 0.476 & 0.494 & 0.526 & 0.500 & 0.506 \\ 0.470 & 0.488 & 0.527 & 0.494 & 0.500 \end{pmatrix}$$

由式(5)可得: R_1 与 W_1^* 、 R_2 与 W_2^* 的相容性指标分别为 $I(R_1, W_1^*) = 0.091 < 0.1$, $I(R_2, W_2^*) = 0.090 < 0.1$, 同时, $I(R_1, R_2) = 0.064 < 0.1$ 。故可认为模糊判断矩阵 R_1 、 R_2 是满意一致的, 因此, 其权重集 W_1 、 W_2 的分配是合理的。由式(6)可知, 综合两个专家的意见后, 权重向量可表示为

$$W = (0.220 \ 0.210 \ 0.188 \ 0.190 \ 0.193)$$

综上所述, 采用相同的方法可计算出指标权重、子指标权重和层次总权重(见表 5)。

表 5 各层次总权重

指标层	指标权重	子指标层	子指标权重	总权重
质量指标 U_1	0.220	U_{11}	0.267	0.059
		U_{12}	0.259	0.057
		U_{13}	0.254	0.056
		U_{14}	0.221	0.049
成本指标 U_2	0.210	U_{21}	0.375	0.079
		U_{22}	0.325	0.068
		U_{23}	0.300	0.063
		U_{31}	0.359	0.067
供货指标 U_3	0.188	U_{32}	0.342	0.064
		U_{33}	0.300	0.056
		U_{41}	0.375	0.071
		U_{42}	0.300	0.057
服务指标 U_4	0.190	U_{43}	0.325	0.062
		U_{51}	0.180	0.035
		U_{52}	0.160	0.031
		U_{53}	0.165	0.032
综合指标 U_5	0.193	U_{54}	0.164	0.032
		U_{55}	0.333	0.064
		U_{56}	0.165	0.032

2. 确定各子指标的得分

邀请 2 位专家依据经验对可供选择的 4 家供应商(M_1, M_2, M_3, M_4)的各子指标进行模糊评估。专家 1 对对可行性方案中产品合格率指标的模糊评估为

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.4 \\ 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.5 \\ 0.6 & 0.3 & 0.5 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \end{pmatrix}$$

专家 2 对对可行性方案中产品合格率指标的模糊评估为

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.4 \\ 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.6 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.5 \\ 0.6 & 0.4 & 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

由式(2)~(6)可得 $W(U_{11}) = (0.242 \ 0.267 \ 0.241 \ 0.250)$ 。因此, M_1, M_2, M_3, M_4 4 家供应商的子指标产品合格率 U_{11} 得分分别为 0.242, 0.267, 0.241, 0.250, 即 $M_2 > M_4 > M_1 > M_3$ 。同理, 可计算出其他各子指标得分(见表 6)。

表 6 各子指标得分

指标名称	M_1	M_2	M_3	M_4
U_{11}	0.242	0.267	0.242	0.250
U_{12}	0.271	0.250	0.238	0.242
U_{13}	0.258	0.254	0.238	0.250
U_{14}	0.254	0.254	0.254	0.238
U_{21}	0.263	0.240	0.254	0.238
U_{22}	0.263	0.244	0.233	0.250
U_{23}	0.271	0.242	0.250	0.238
U_{31}	0.267	0.246	0.250	0.238
U_{32}	0.250	0.246	0.263	0.242
U_{33}	0.254	0.258	0.238	0.250
U_{41}	0.259	0.242	0.254	0.246
U_{42}	0.246	0.246	0.254	0.255
U_{43}	0.267	0.233	0.233	0.267
U_{51}	0.254	0.263	0.238	0.242
U_{52}	0.263	0.242	0.250	0.246
U_{53}	0.258	0.238	0.254	0.246
U_{54}	0.259	0.233	0.258	0.250
U_{55}	0.246	0.238	0.254	0.263
U_{56}	0.263	0.246	0.246	0.246

3. 计算各供应商得分

由式(8)可得 $G = 100 \cdot W \cdot F^T = (26.72 \ 25.47 \ 25.57 \ 25.56)$, 由得分向量可知, 供应商 M_1 得分最高, 为最优供应商。

四、结 语

笔者基于装配式建筑自身特点,考虑预制构件的特殊性,构建了包含 5 个潜变量和 19 个观测变量且适合施工企业选择预制构件供应商的评价指标体系,并运用 SPSS 软件和 Amos 软件分别进行了信度和效度检验、模型拟合和修正、验证分析,最终确定了装配式建筑预制构件供应商评价指标体系;运用 FAHP 法进行案例分析,计算出各供应商的指标权重和指标值得分,并根据计算结果选出供应商 M_1 为最优供应商。通过实例分析,说明将 FAHP 法与 SEM 法有效结合来选择装配式建筑预制构件供应商,具有一定的科学性和合理性。

参考文献:

[1] 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.

[2] 石晓波,任佳,刘晨晨. 装配式建筑预制构件供应商评价指标体系构建[J]. 建筑经济,2019,40(1):92-97.

[3] BAI C,SARKIS J. Integrating sustainability into

supplier selection with grey system and rough set methodologies [J]. International journal of production economics,2010,124(1):252-264.

[4] 孙亚静,仇国芳. 建筑预制构件供应商选择的粗糙集方法[J]. 工程建设,2017,49(3):100-103.

[5] 陈小波. 工业化住宅预制构件供应商选择方法研究:基于 VIKOR 模型[J]. 建筑经济,2016,37(1):105-108.

[6] 詹翌. 基于 DEMATEL 方法的装配式住宅预制构件的供应商选择[D]. 重庆:重庆交通大学,2017.

[7] 麦忠海. 结构方程模型之应用问题研究[D]. 广州:广东财经大学,2015.

[8] 周圆圆,王红权. 基于结构方程的护理机构建筑使用后满意度影响因素分析[J]. 数学的实践与认识,2017,47(1):191-198.

[9] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法[J]. 系统工程学报,2001(4):311-314.

[10] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵的相容性及一致性研究[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版),2002(2):94-96.

[11] 陈欣. 模糊层次分析法在方案优选方面的应用[J]. 计算机工程与设计,2004(10):1847-1849.

Research on Supplier Selection of Precast Element in Prefabricated Buildings Based on SEM – FAHP

CHEN Yan, CHAI Fang, XIE Yunhui

(School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

Abstract: Reasonable selection of precast element suppliers is an important prerequisite to ensure the quality of prefabricated buildings. First, the precast element supplier evaluation index system is constructed by using the carding and expert interview methods, and the structural equation is used to fit the model and add factor paths. Finally, the precast element supplier evaluation index model is finally determined. The analytic hierarchy process builds a precast component supplier selection model. Finally, the precast component supplier is analyzed with examples. The results show that the method is scientific and reasonable, and can provide effective guidance for the selection of suppliers of prefabricated building components.

Key words: precast element in prefabricated building; supplier selection; structural equation; fuzzy analytic hierarchy

(责任编辑:郝 雪 英文审校:林 昊)