

# 基于 SEM 的 EPC 模式装配式建筑供应链韧性影响研究

朱正玉, 吴正文

(安徽建筑大学 经济与管理学院, 安徽 合肥 230601)

**摘要:** 为掌握 EPC 模式装配式建筑供应链韧性系统的结构以及影响韧性的指标因素, 为后续提高供应链韧性的针对性和有效性提供参考依据, 综合文献分析与专家学者意见, 总结出 17 个影响 EPC 模式装配式建筑供应链韧性的因素。采用结构方程模型构建了 EPC 模式装配式建筑供应链韧性的因子分析模型和因果关系路径分析模型, 并验证其路径的正确性。同时, 在优化该模型的基础上, 形成了该系统的结构分析模型。为推广 EPC 模式装配式建筑, 为总承包商及其他参与方在突发性风险发生前后提供措施建议。

**关键词:** 供应链韧性; 结构方程模型; 突发性风险事件; 供应链中断

中图分类号: F273

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382 (2022) 04-092-07

## Research on the Impact of Supply Chain Resilience of Prefabricated Building in EPC Mode Based on SEM

ZHU Zhengyu, WU Zhengwen

(School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** In order to study the structure of the supply chain resilience of prefabricated building in EPC mode and the related indexes, a systematic analysis of the impact factors of each component was conducted and 17 factors were selected based on the literature review and expert opinions to improve the pertinence and effectiveness of the supply chain resilience. A factor analysis model and a causal path analysis model of the supply chain resilience of prefabricated building in EPC mode are constructed using structural equation modeling, and the correctness of the paths is verified. The model was optimized and a structural analysis model of the system was developed. Prevention and measures for emergency are proposed for general contractors and other participants to promote prefabricated building in EPC mode.

**Keywords:** supply chain resilience; structural equation model; emergency events; supply chain disruption

区别于传统建造模式, EPC 模式装配式建筑既具有“构件标准化、生产预制化、低碳施工、绿色环保”等特征, 又便于充分利用该模式所特有的设计、采购和施工过程相互交叉的特点, 从而使得装

配式建筑的建造优势得以更加全面地发挥与实现<sup>[1]</sup>。然而, 装配式建筑本质上具有供应链属性, 同样面临供应链韧性问题, 大到如经济封锁、自然灾害和产业纠纷事故等突发性风险; 小到如市场波动、按

收稿日期: 2021-10-17

基金项目: 安徽省高校人文社会科学研究基金项目 (SK2018A0568); 安徽省高校人文社会科学研究重点项目 (SK2019A0631)

作者简介: 朱正玉 (1996-) 女, 硕士研究生, 研究方向: 工程造价管理;

吴正文 (1971-) 男, 副教授, 研究方向: 全过程造价管理、工程项目管理。

合同规定的构件型号遭淘汰禁用等风险。这些突发性风险很容易导致供应链中断或断裂,不仅影响工程的持续建造和企业的持续运营,也会影响总承包企业的综合竞争能力。专家学者们提出通过提高供应链韧性来降低突发性风险带来的损失,使得供应链在中断后能够迅速恢复或尽量恢复到未受到突发事件影响之前的状态<sup>[2]</sup>,进而使链上企业得以重新正常运转。

近年来,有许多专家学者从不同的视角对供应链韧性进行研究。从现有的文献来看,与本文相关的文献可从以下两方面进行梳理。

一方面,关于供应链韧性影响因素的研究。Ratick等<sup>[3]</sup>的研究结果表明,提供应急备货和储存设备可以增加供应链韧性。刘浩华<sup>[4]</sup>研究发现,增强供应链的柔性、冗余程度、敏捷性有助于提高供应链韧性。刘金玲<sup>[5]</sup>解析供应链结构发现供应链供应能力和运输量分配能力对供应链韧性有影响。Hosseini等<sup>[6]</sup>认为供应链企业可靠性和产品恢复等因素会对供应链韧性产生影响。郝浩<sup>[7]</sup>通过制定伙伴沟通计划及建立相应互动平台来增强供应链韧性。Mancheri等<sup>[8]</sup>研究表明,供应链自身的灵活性和恢复性会对供应链韧性产生正向影响。

另一方面,关于供应链韧性系统结构的研究。刘家国<sup>[9]</sup>以供应链脆弱性、供应链能力以及供应链管理为基础,构建了供应链韧性影响因素概念模型。Falasca等<sup>[10]</sup>基于“韧性三角”理论概念,构建了决策阶段的供应链韧性度量模型。朱新球等<sup>[11]</sup>根据胡克定律研究发表了供应链韧性分析思想。Zhao等<sup>[12]</sup>根据军需资源的供应可利用性、链接性、可达性三个指标来对军需供应链韧性进行测度。Pettit<sup>[13]</sup>以脆弱性和应对中断事件的能力作为坐标轴,构建了一个二维直角坐标系来度量供应链韧性。上述文献研究存在以下不足:一是并没有从供应链中断全过程出发系统地分析其影响因素;二是未考虑到影响因素间的相关性。

因此,本文以一种定性与定量相结合的结构方程模型为基础研究方法,邀请具备相关理论学识的建筑学者和专家填写问卷以提供数据支撑,主要探讨其主要构面和观测变量与其构面之间的影响占

比,进一步建立该系统结构的影响评价模型,为促进EPC模式装配式建筑供应链管理提供理论依据,也为总承包商及时采取规避措施提供实践指导。

## 1 理论模型及研究假设

### 1.1 理论模型

#### 1.1.1 供应链韧性(Supply Chain Resilience)

其定义是由Christopher和Peck<sup>[14]</sup>在2004年首次提出,将其定义为供应链受到干扰后能够恢复到原状态或者更加理想状态的能力。而针对该供应链韧性进行影响测度分析,能够更具针对性地依照相应管理能力提高EPC模式装配式建筑供应链韧性。

鉴于此,本研究拟构建EPC模式装配式建筑供应链韧性的系统结构模型对各个影响因素进行模块化定量分析与评价,并针对性地给出相应对策措施。本文从总承包企业角度出发,以供应链发生中断或脆裂前、中、后的时间顺序为模块分解依据,划分为预测能力、反应能力、适应能力、恢复能力和学习能力五大模块,并研究以上模块对其供应链韧性的影响占比。基于这一逻辑,构建EPC模式装配式建筑的供应链韧性系统分析模型,如图1所示。

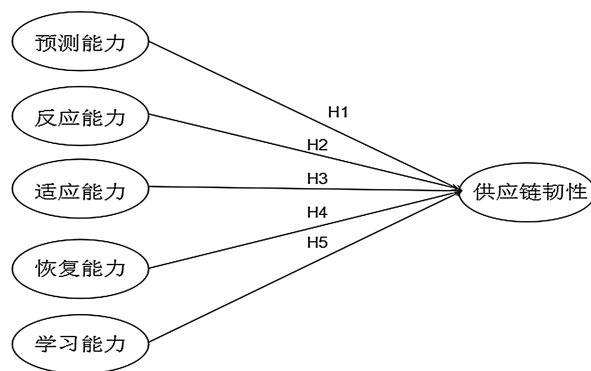


图1 EPC模式装配式建筑供应链韧性系统结构模型

#### 1.1.2 结构方程模型(SEM, Structure Equation Modeling)

它是基于变量间协方差矩阵来分析潜变量之间相关关系的一种统计模型。潜变量分为外衍潜在变量和内衍潜在变量。内衍潜在变量是指在模型中会受到任一变量影响的变量;外衍潜在变量是指在模型中未受任何其他变量所影响,但却直接影

响别的变量的变量。若模型适配度满足要求,则路径系数越大,影响程度越大。

根据潜变量和观测变量的特点,将预测能力、反应能力、适应能力、恢复能力、学习能力等五个构面定为外衍潜在变量,经专家和学者商讨后所确定的 17 个二级指标定为外生观测变量。为了构建 EPC 模式装配式建筑供应链韧性的结构方程模型,在此增设供应链韧性这一内生潜变量,同时将项目质量、进度、造价设定为内生观测变量(分别用  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$  进行定义),实现对该潜变量的度量。

$$\eta = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \\ \xi_4 \\ \xi_5 \end{pmatrix} + \zeta \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \end{pmatrix} \eta + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_{17} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{i_1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \gamma_{i_2} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & \cdots & \gamma_{i_5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \vdots \\ \xi_5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_{17} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式(1)是 EPC 模式装配式建筑供应链韧性的结构模型;式(2)和式(3)分别是内生潜在变量和外衍潜在变量的测量模型。其中: $X$  即外生观测变量, $Y$  为内生观测变量; $\delta$  与  $\varepsilon$  依次表示外衍和内生潜在变量的测量误差向量; $\zeta$  表示为内生潜在变量的误差。 $\lambda_i$  ( $i=1,2,3,4,5$ ) 是第  $i$  个外衍潜在变量  $\xi_i$  ( $i=1,2,3,4,5$ ) 对内生潜在变量  $\eta$  的路径系数; $\gamma_j$  ( $j=1,2,3$ ) 表示内生潜在变量  $\eta$  对其第  $j$  个内生观测变量  $Y_j$  的影响路径系数; $\gamma_{i_kj}$  ( $j=1,2,3,4,5$ ;  $i_1=1,2,3$ ;  $i_2=1,2,3$ ;  $i_3=1,2,3$ ;  $i_4=1,2,3,4,5$ ;  $i_5=1,2,3$ ) 表示第  $j$  个外衍潜在变量对其第  $i_k$  个外生观测变量的路径系数。

## 1.2 基本假设

### 1.2.1 预测能力和供应链韧性

EPC 模式装配式建筑的所有参与方(总承包商、专业承包商、构件生产方、物流单位等)在实际

建造时要尽可能地协同捕获并加以重视早期预警信息<sup>[15]</sup>;同时,对于突发性风险的量化也是不可忽视的<sup>[9]</sup>。经上述,提出以下假设:

H1: 预测能力对供应链韧性产生正向影响作用。

### 1.2.2 反应能力和供应链韧性

反应能力一方面是指针对环境变化对人员、物资、设备使用以及进度计划进行灵活调整<sup>[15-16]</sup>,另一方面也体现在迅速应对风险以降低影响的敏捷性。Muckstad 等<sup>[17]</sup>研究表明,加大链上成员的合作强度与降低供应环境的不确定性可增强供应链韧性。反应能力奠定了各参与方间供应链合作的良好基础,战略伙伴关系促进整体项目参与方更好地实现共同目标<sup>[18]</sup>。由此,提出以下假设:

H2: 反应能力对供应链韧性产生正向影响作用。

### 1.2.3 适应能力和供应链韧性

在供应链出现中断后,能否迅速改变技术方案、进度计划、采用替补互换方案或措施以及合理利用冗余是供应链韧性适应能力的重要体现<sup>[12]</sup>。而针对 EPC 模式装配式建筑的附加做法有将供应链各环节和各阶段所对应的分部工程或分项工程进行外包。鉴于此,提出以下假设:

H3: 适应能力对供应链韧性产生正向影响作用。

### 1.2.4 恢复能力和供应链韧性

恢复能力要求供应链参与各方应及时采用资源重构调度与缓解损失两方面措施,从而降低突发性风险带来的损失<sup>[12]</sup>。恢复能力包括资金储备、物流支持、应急机制、供应链结构和信息集成与同步等五部分,其中资金储备是指总承包商企业和建设单位的市场份额和经济实力。而应急机制和信息集成包含项目全程信息监测、技术维护等措施,这些将提高信息可信度和供应链恢复效率<sup>[19]</sup>。由此,可得出以下假设:

H4: 恢复能力对供应链韧性产生正向影响作用。

### 1.2.5 学习能力与供应链韧性

学习能力涵括了组织学习能力、知识获取能力以及信息共享能力<sup>[5]</sup>。其中组织学习能力即恢复供应链后各参与方对本次中断事件进行总结归

纳并进一步针对性加强关于供应链中断管理的处理方法。信息共享能力指利用供应链网络信息平台及时收集并整理供货、运输以及实际建造过程等相关信息,达到实时共享信息资源的目的<sup>[20]</sup>。知识获取能力即 EPC 项目参与方间应在供应链恢复后进行知识成果共享与学习<sup>[21]</sup>。经上述,引出以下假设:

H5:学习能力对供应链韧性产生正向影响作用。

## 2 量表设计与数据分析

### 2.1 数据来源

本研究采用问卷调查法获取数据,问卷采用李克特五级量表进行指标量化。问卷内容主要包括:(1)填卷人员的背景资料,主要包括学历、工作单位性质、参与装配式建筑工作的工作年限等;(2)填卷人员所在单位信息及进入建筑业年限统计;(3)

填卷人员对围绕 EPC 模式装配式建筑供应链韧性影响因素的陈述打分。借助问卷星平台发放电子问卷,共发放问卷数量 278 份,回收问卷数量 246 份,回收率达到 88.48%,其中剔除作答明显不认真的问卷 18 份,有效问卷数量 228 份。

### 2.2 量表设计

为了确保变量内容信效度和研究结果的客观性,设计问卷时,本文提出的每个观察指标均借鉴文献研究中的测量问题项。同时,在调查对象的选择上,本研究将未曾开展过该业务的对象排除在研究范围外。问卷正式发放前,由 3 位具有丰富 EPC 模式装配式建造经验的专家学者试填并给出意见审核,逐步完善来保证问卷的内容效度。本文通过基于专家访谈和文献阅读,构建了与 EPC 模式装配式建筑供应链韧性相关能力的影响测度体系,共包含了 6 个一级指标,20 个二级指标测度项,见表 1。

表 1 EPC 模式装配式建筑供应链韧性测度指标体系

| 变量类别                       | 潜变量                                 | 观察变量             | 测度方法                                       |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|
| 外<br>衍<br>潜<br>在<br>变<br>量 | 预测能力 <sup>[12,15]</sup> ( $\xi_1$ ) | 风险意识 PA1(X1)     | 信息流预测、资金流预测、生产能力预测                         |
|                            |                                     | 安全文化 PA2(X2)     | 供应链相关安全教育次数、安全培训产出投入比                      |
|                            |                                     | 可控性 PA3(X3)      | 运输信息跟踪率、缺工率、库存冗余率                          |
|                            | 反应能力 <sup>[18,22]</sup> ( $\xi_2$ ) | 灵活性 RC1(X4)      | 响应速度、按进度准时完成率、构件与机械数量的储备数量                 |
|                            |                                     | 敏捷性 RC2(X5)      | 市场敏锐度、信息共享速度、各方合作效率                        |
|                            |                                     | 协同合作能力 RC3(X6)   | 构件合格率与产出率、参与方应急沟通次数                        |
|                            | 适应能力 <sup>[12]</sup> ( $\xi_3$ )    | 物资冗余 AC1(X7)     | 运输和吊装设备数量、特殊功能构件和机械冗余数量                    |
|                            |                                     | 可替代性 AC2(X8)     | 构件种类数量、技术方案和进度计划的应急备用                      |
|                            |                                     | 可外包性 AC3(X9)     | 外包成本在总成本中的占比数额、总承包商和专业分包商对供应链管理的垂直、水平专业化程度 |
|                            | 恢复能力 <sup>[12,19]</sup> ( $\xi_4$ ) | 资金储备 RE1(X10)    | 偿债备付率、投资利润率、速动比率                           |
|                            |                                     | 物流支持 RE2(X11)    | 单次货运量、运输交付速度、运输效率                          |
|                            |                                     | 应急机制 RE3(X12)    | 供应链恢复速度、构件和人工准时到场率、库存周转率、信息监测速度            |
|                            |                                     | 供应链结构 RE4(X13)   | 供应链复杂度、供应商数量、经销商数量                         |
|                            |                                     | 信息集成与同步 RE5(X14) | 实时可视化信息系统的应用率                              |
|                            | 学习能力 <sup>[23]</sup> ( $\xi_5$ )    | 组织学习能力 LA1(X15)  | 供应链培训教育次数、该项目投入产出比                         |
|                            |                                     | 知识获取能力 LA2(X16)  | 库存冗余计划转化率、进度计划变更率                          |
|                            |                                     | 信息共享能力 LA3(X17)  | 信息共享参与方数量、数据共享技术使用率                        |
| 内<br>衍<br>潜<br>在<br>变<br>量 | 供应链韧性                               | 质量管理 Y1          | 预制构件的进场验收报告、钢筋焊接接头检验批质量验收记录等各类检验报告         |
|                            |                                     | 进度管理 Y2          | 进度计划表、运输计划表、构件供应速度                         |
|                            |                                     | 造价管理 Y3          | 单次运输成本、构件设计、生产、施工成本                        |



2.3 数据分析

筛选确定的 228 个有效样本的基本情况如下：(1) 教育水平：受教育水平相对较高，其中本科及以上学历者占比高达 78.44%；(2) 职业分布：在校学生占 21.57%，在职人员占 62.74%，其他人群如实习生占 13.73%，退休人员只占 1.96%；(3) 所处单位情况：有 45.09% 的研究对象在 EPC 模式装配式建筑相关单位任职，而科研院所和其他单位人员比例基本持平，分别为 25.49%、29.41%；(4) 进入建筑行业的工作年限：年限为 1–5 年的被调查者高达 41.18%，另外 23.53% 的被调查者其年限高达 15 年以上。

3 研究结果与分析

3.1 样本的科学性检验

本文首先运用 SPSS 26.0 和 AMOS 23.0 来检验测量模型即信效度检验。

首先，适切性检验。通过 SPSS 26.0 用因子分析方法对描述 EPC 模式装配式建筑供应链韧性的五大测度能力进行降维数据检验，其中 KMO 检验值为 0.716，Bartlett 球体检验的  $\chi^2$  统计值的显著性概率为 0.000，即因素分析适切性为适中。

其次，信效度检验。表 2 显示了各因子标准负荷、Cronbach' s alpha 值、组合信度 (CR) 以及平均方差提取量 (AVE)。从表中可得出各因子标准化载荷均大于 0.7，表明指标信度良好；组合信度均大于 0.7，且不超过 0.95，同时各个维度的 Cronbach' s alpha 系数均大于 0.8，表明该分量表的内部一致性信度为佳；各结构 AVE 均大于 0.5，表明该模型具有良好的收敛效度<sup>[22–23]</sup>。具体结果见表 2。

3.2 基于结构方程模型的研究

3.2.1 方程模型整体配适度评价

本研究利用 AMOS 23.0 软件对该结构模型进行拟合分析并验证上述研究假设。经拟合修正后，从表 3 中可得该模型主要拟合指标均满足相应适配指标的给定推荐值要求，可见拟合程度较好，即本理论模型图的设定是可接受的。

表 3 结构方程模型的配适度指标值

| 主要适配指标                  | 推荐值   | 拟合值     |
|-------------------------|-------|---------|
| CMIN ( $\chi^2$ )       | 越小越好  | 171.608 |
| CMIN/DF ( $\chi^2/df$ ) | <3.0  | 1.107   |
| RMSEA                   | <0.08 | 0.015   |
| NNFI (NFI)              | >0.9  | 0.912   |
| IFI                     | >0.9  | 0.991   |
| CFI                     | >0.9  | 0.990   |

表 2 测量模型信效度检验结果

| 潜变量   | 观察变量        | 标准负荷  | Cronbach' s alpha | CR    | AVE   |
|-------|-------------|-------|-------------------|-------|-------|
| 预测能力  | 风险意识 PA1    | 0.815 | 0.833             | 0.890 | 0.729 |
|       | 安全文化 PA2    | 0.890 |                   |       |       |
|       | 可控性 PA3     | 0.855 |                   |       |       |
| 反应能力  | 灵活性 RC1     | 0.819 | 0.765             | 0.862 | 0.677 |
|       | 敏捷性 RC2     | 0.839 |                   |       |       |
|       | 协同合作能力 RC3  | 0.809 |                   |       |       |
| 适应能力  | 物资冗余 AC1    | 0.779 | 0.712             | 0.824 | 0.609 |
|       | 可替代性 AC2    | 0.754 |                   |       |       |
|       | 可外包性 AC3    | 0.807 |                   |       |       |
| 恢复能力  | 资金储备 RE1    | 0.658 | 0.787             | 0.852 | 0.536 |
|       | 物流支持 RE2    | 0.736 |                   |       |       |
|       | 应急机制 RE3    | 0.694 |                   |       |       |
| 学习能力  | 供应链结构 RE4   | 0.799 | 0.817             | 0.884 | 0.717 |
|       | 信息集成与同步 RE5 | 0.766 |                   |       |       |
|       | 组织学习能力 LA1  | 0.841 |                   |       |       |
| 供应链韧性 | 知识获取能力 LA2  | 0.806 | 0.918             | 0.947 | 0.858 |
|       | 信息共享能力 LA3  | 0.891 |                   |       |       |
|       | 项目质量 Y1     | 0.954 |                   |       |       |
|       | 项目进度 Y2     | 0.955 |                   |       |       |
|       | 项目造价 Y3     | 0.866 |                   |       |       |

### 3.2.2 研究假设的检验结果

对模型进行路径分析,得出的各潜变量间标准化路径系数及显著性程度如图2所示。根据路径系数结果对假设进行验证,显著性概率值P值均 $<0.05$ ,即不拒绝假设,表示假设模型与样本数据可以契合。本文最终假设验证结果均被验证支持且均满足显著性,如表4所示。

### 3.2.3 结果分析

从表4和图2的标准化路径系数及显著性结果可知,本文提出的5个假设中均得到了支持。

结构模型表明了外生潜变量与内生潜变量间的相互关系。表4所表明的结果即:预测能力、反应能力、适应能力、恢复能力和学习能力对供应链韧性均呈显著正向作用。同时,其标准化路径系数依次分别是0.567、0.389、0.334、0.21和0.376,表明总承包商的预测能力对供应链韧性的影响最大,反应能力、适应能力和学习能力的影响相对较小,而恢复能力的影响最小。

测量结构反映了观察变量与潜变量间的相互关系,这些相互关系可以归纳如下(具体见图2):

表4 假设检验结果

|    | 假设                | 标准化路径系数 | p 值   | 显著性 | 是否支持 |
|----|-------------------|---------|-------|-----|------|
| H1 | 预测能力对供应链韧性起正向影响作用 | 0.567   | 0.002 | 显著  | 支持   |
| H2 | 反应能力对供应链韧性起正向影响作用 | 0.389   | 0.026 | 显著  | 支持   |
| H3 | 适应能力对供应链韧性起正向影响作用 | 0.334   | 0.027 | 显著  | 支持   |
| H4 | 恢复能力对供应链韧性起正向影响作用 | 0.21    | 0.038 | 显著  | 支持   |
| H5 | 学习能力对供应链韧性起正向影响作用 | 0.376   | 0.012 | 显著  | 支持   |

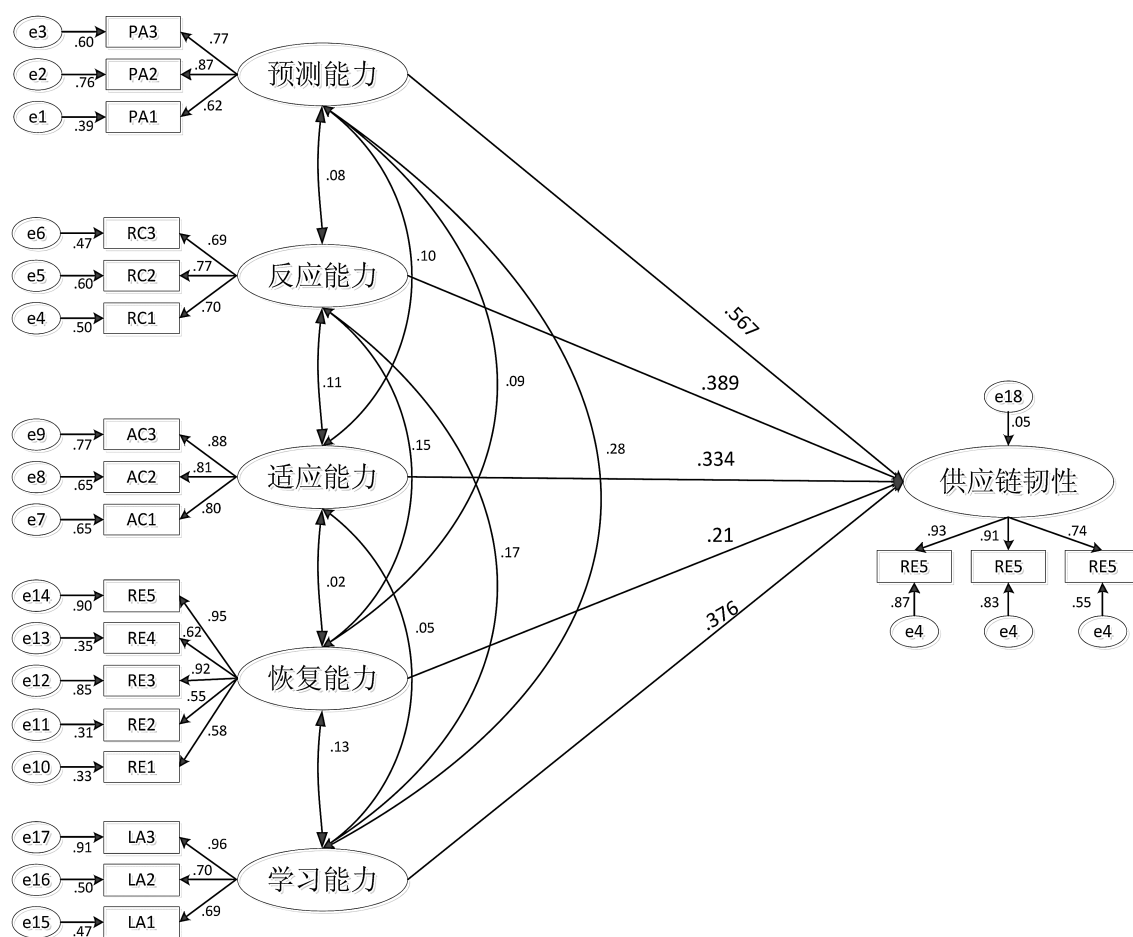


图2 最终结构模型

(1) 安全文化和供应链可控性在体现预测能力方面影响程度差不多,同时其影响方向一致,即通过采用可视化信息系统和加强安全文化的宣传与教育,有利于对整个供应链运营流程的把控,从而对预测供应链韧性的中断有帮助。

(2) 敏捷性是反应能力潜变量中最显著的影响因素。在供应链管理过程中,出现不可预知的供应、需求或运输风险后做出迅速反应的能力即称为敏捷性,其目的是最大程度缩短反应时间和降低损失。同时这一实证结果与实际情况保持高度一致。

(3) 物资冗余、可替代性和外包对适应能力这一潜变量的影响程度几乎一致。不难理解,这是因为采用 EPC 模式的总承包商对主体结构的施工、关键材料及设备的采购及设计工作的统筹规划管理,使其一方面可将该类工程分包于其他施工公司,另一方面能够发挥设计优势保障材料、技术方案和机械器具的可替代性和冗余性,最终在实现更高质地完成该工程的同时提高供应链韧性的适应能力。

(4) 应急机制和信息集成与同步是对恢复能力潜变量的两大显著影响因素。这是因为供应链发生断裂后,提高参与方提供的信息可信度和及时采取应急机制有利于供应链恢复效率,且防止资金链的失衡。

(5) 信息共享能力是对学习能力潜变量影响最大的因素。也就是通过构建供应链网络信息平台,使承包商便于实时收集、整理、更新链上参与方进度信息、建设材料与设备库存与供应等信息及相关市场价格情况,使其能够根据建立的战略合作关系及时共享信息资源以保证信息流的畅通。

## 4 结论与建议

本研究共收集来自建筑业不同工作单位、工作年限的工作人员和专家学者的 228 份问卷,对 EPC 模式装配式建筑的供应链韧性系统测度进行了实证研究。从实证分析结果中可得出,供应链发生中断前、中、后的预测能力、反应能力、适应能力、恢复能力和学习能力等构面都在不同程度上对其产生正向影响,与上述研究假设大致相同。

本研究对总承包企业采取针对性措施来提高供应链韧性以应对突发性风险具有一定的参考价

值。首先,为提高预测能力应提高参与各方的供应链管理理论水平,加大对供应链韧性知识的培训与宣传教育工作等,使得链上企业具备基本的评估、规避、控制风险和预警能力。其次,总承包商应利用 EPC 模式的自身优势,在危机来临前保证物资的冗余、施工计划和生产计划的灵活性以及构建实时信息系统以增强供应链的反应能力与适应能力。再次,在提高恢复能力方面,总承包商应在供应链发生断裂后迅速重新部署物流方案以保证供应链物流链的运送方式和运送速度满足供应需求;同时灵活调整技术方案、机械器具以及进度计划便于分散供应链风险。最后,针对学习能力,各参与方应在恢复供应链管理的正常运行后,针对本次中断事件进行总结归纳,并在此基础上促进成员间知识成果的共享和信息共享,加强关于供应链中断后的应急处理方法及理念的培训与教育。

### 参考文献:

- [1] 叶浩文,周冲,王兵. 以 EPC 模式推进装配式建筑发展的思考[J]. 工程管理学报,2017,31(2):17-22.
- [2] 叶浩文. 全面推进工程总承包机制的思考与建议[J]. 住宅产业,2016(10):28-30.
- [3] Ratick S, Meacham B, Aoyama Y. Locating backup facilities to enhance supply chain disaster resilience[J]. Growth and Change, 2008, 39(4):642-666.
- [4] 刘浩华. 打造弹性供应链[J]. 中央财经大学学报,2007(5):63-68.
- [5] 刘金玲. 弹性视角下原油供应链系统结构优化模型研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2019.
- [6] Hosseini S, Khaled A A. A hybrid ensemble and AHP approach for resilient supplier selection[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, 30(1):207-228.
- [7] 郝皓,朱秋沅. 增强企业供应链弹性[J]. IT 经理世界, 2003(20):100-101.
- [8] Mancheri N A, Sprecher B, Deetman S, et al. Resilience in the tantalum supply chain[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 129:56-69.
- [9] 刘家国,施高伟,卢斌,等. 供应链弹性三因素模型研究[J]. 中国管理科学,2012,20(S2):528-535.
- [10] Falasca M, Zobel C W, Cook D. A Decision Support Framework to Assess Supply Chain Resilience[R]. international ISCRAM conference, 2008.
- [11] 朱新球,苏成. 基于胡克定律的供应链弹性研究[J]. 物流技术,2010,29(21):102-105.

(下转第 110 页)

理的数字化展示策略。该平台的建立形成安徽古村落非遗展示宣传的特色,后期仍需要梳理并增加安徽古村落非遗项目涉及的各类要素、扩展数据库资源。需要注意,古村落非遗数字化展示与新技术的结合不可流于形式,应以安徽古村落非遗文化为核心,整合安徽古村落丰富的非遗资源,以非物质文化遗产的保护、传承为目的,创新相关的数字化展示手段和策略,紧跟时代发展,不断优化和更新。

#### 参考文献:

- [1] 史英静. 从“出走”到“回归”——中国传统村落发展历程[J]. 城乡建设, 2019(22): 6-13.
- [2] 《数字乡村发展战略纲要》[EB/OL]. [2019-05-16]. [http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content\\_5392269.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm).
- [3] 史英静. 建设有价值的“中国传统村落数字博物馆”[J]. 中国建设信息化, 2021(5): 42-47.
- [4] 唐杰晓, 曹烨君. 论安徽古村落非物质文化遗产“数字化”保护与开发[J]. 合肥师范学院学报, 2020, 38(4): 14-17.
- [5] 2020 首届中国非物质文化遗产论坛大会在安徽省黄山市举行[EB/OL]. [2020-11-22]. [https://www.sohu.com/a/433554846\\_347878](https://www.sohu.com/a/433554846_347878).
- [6] 林琰. 浅谈新时期非物质文化遗产的保护与传承[J]. 大众文艺, 2016(24): 7, 23.
- [7] 孙培淇. 阜阳地区非遗文化的数字化展示和传承——以安徽省界首地区“界首彩陶”为研究个案[J]. 现代企业文化, 2019(36): 173-174.
- [8] 建设非遗数据库 组织“非遗+直播”——安徽系列大动作加强“非遗”保护[N]. 合肥晚报, 2020-08-04(A05).
- [9] 汪红兵. 多媒体技术基础及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [10] 王萍, 雷江霞. 传统村落文化数字化传播: 现状、问题与应对[J]. 图书馆, 2019(8): 7-12, 22.
- [12] Zhao K, Kumar A, Harrison T P, et al. Analyzing the resilience of complex supply network topologies against random and targeted disruptions[J]. IEEE Systems Journal, 2011, 5(1): 28-39.
- [13] Pettit T J. Supply chain resilience: development of a conceptual framework, an assessment tool and an implementation process[D]. The Ohio State University, 2008.
- [14] Christopher M, Peck H. The Five Principles of Supply Chain Resilience[J]. Logistics Europe, 2004(2): 22-26.
- [15] 樊雪梅, 卢梦媛. 新冠疫情下汽车企业供应链韧性影响因素及评价[J]. 工业技术经济, 2020, 39(10): 21-28.
- [16] Lee S M, Rha J. Ambidextrous supply chain as a dynamic capability: building a resilient supply chain[J]. Management Decision, 2016, 54: 2-23.
- [17] Muckstadt J, Murray D H, Rappold J, et al. Guidelines for collaborative supply chain system design and operation[J]. Information Systems Frontiers, 2001, 3: 427-453.
- [18] Eriksson P E. Partnering in engineering projects: four dimensions of supply chain integration[J]. Journal of Purchasing and Supply Management, 2015, 21(1): 38-50.
- [19] Kumar S, Himes K J, Kritzer C P. Risk assessment and operational approaches to managing risk in global supply chains[J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2014, 25(6): 873-890.
- [20] 李永红, 赵林度. 基于弹性模型的供应链风险响应分析[J]. 系统管理学报, 2010, 19(5): 563-570.
- [21] 王宇奇, 高岩, 滕春贤. 扰动下的供应链弹性研究回顾与拓展[J]. 管理评论, 2017, 29(12): 204-216.
- [22] Hair J F, Hult G, Ringle C M, et al. Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling[M]. A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling, 2014.
- [23] Chang K C, Yen H W, Chiang C C, et al. Knowledge contribution in information system development teams: an empirical research from a social cognitive perspective[J]. International Journal of Project Management, 2013, 31(2): 252-263.

(上接第 98 页)