

基于 SEM 的装配式建筑施工安全影响因素研究

刘光忱,李爽,李科达

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:通过对相关文献资料进行收集及整理,系统地分析了装配式建筑施工安全影响因素,采用李克特五级量表制定调查问卷并发放,在结构方程模型 (Structural Equation Model, SEM) 的基础上,通过 SPSS20.0 和 AMOS22.0 软件对收集到的数据进行处理并建立模型,最终确定了装配式建筑施工安全的主要影响因素,并通过加强关键影响因素管控降低了施工过程中的安全风险,从而减少了经济损失以及人员伤亡。

关键词:装配式建筑;施工安全;影响因素;结构方程模型

中图分类号:TU714 **文献标志码:**A

与发达国家相比,我国装配式建筑起步较晚,缺乏较为完善的管理体系^[1],全面识别安全风险并区分重点影响因素方面的能力较薄弱,导致装配式建筑施工过程中安全事故频繁发生,造成许多经济损失以及人员伤亡^[2]。如今我国大力提倡绿色、健康、可持续发展,装配式建筑因此逐步占领我国建筑业市场,替代传统现浇的生产方式已成为必然的发展趋势,而如何对装配式建筑施工过程进行有效的安全管理已成为一个亟待解决的问题^[3]。

一、装配式建筑施工安全影响因素

1. 装配式建筑施工风险特性

与传统的施工方法相比,装配式建筑的施工场所除了施工现场,还包括工厂。它采用工厂集中生产零部件,然后运到施工现场进行组装的方法,大大缩短了施工周期。与

此同时,由于装配式构件成品多,预制的精度要求高,现场的吊装、拼装、焊接以及高空作业多,施工过程的风险隐患较多。因此,在建立装配式建筑施工安全影响因素清单时,应紧密结合其施工特点,尽可能涵盖施工过程中存在的安全影响因素^[4]。

2. 制定施工安全影响因素清单

笔者通过知网收集大量有关装配式建筑施工安全的研究资料,在前人已有理论研究的基础上进行了系统的分析整理,从人员、材料、机械、技术 4 个方面概括总结出装配式建筑施工安全的影响因素,并列出装配式建筑施工安全影响因素清单(见表 1)。

二、数据收集与分析

1. 调查问卷的设计与分析

调查问卷主要分为两部分,目的是收集调查对象个人信息及装配式建筑施工安全影

表 1 装配式建筑施工安全影响因素清单

潜变量	观测变量	量符号
人员因素	从业人员专业程度	B_1
	操作人员技术水平	B_2
	从业人员质量与安全教育培训	B_3
材料因素	构件生产	C_1
	构件运输及存放	C_2
	临时支撑系统	C_3
	专业施工工具	C_4
机械因素	机械设备的选择与安拆	D_1
	机械设备的维护与保养	D_2
	安全防护设施	D_3
技术因素	施工组织设计及方案	G_1
	结构及节点安装技术成熟度	G_2

响因素的测度信息。调查对象运用李克特五级量表对各指标进行打分,1~5 依次代表其影响装配式建筑施工安全的不同程度。

问卷以电子问卷形式发放,共发放 300 份。在调查过程中利用了相关的校友平台,目标群体主要是从事装配式建筑或相关研究的人群。剔除部分无效问卷后,有效回收率为 61.6%,有效问卷共计 185 份。

2. 信度、效度检验

运用 SPSS20.0 软件对收集的数据进行信度及效度检验是 AMOS 22.0 软件数据读取的前提,收集到的数据只有通过了信度、效度检验,才可以进行接下来的相关数据分析工作。

进行信度分析时,笔者采用目前运用最为广泛的克隆巴赫系数来衡量数据内部的一致性和稳定性,通过 SPSS20.0 软件计算得到的问卷数据的克隆巴赫系数为 0.825,大于 0.80,说明所设计的问卷具有较高的稳定性,满足信度分析的要求。进行有效性分析时,使用 KMO(Kaiser Meyer Olkin) 值和 Bartlett(Bartlett) 球体检验来反映数据是否适合作因子分析,经 SPSS20.0 分析后得到的 KMO 值为 0.818,大于 0.8,同时, Bartlett 在 $P=0.000$ 的水平上显著,因此适合用因子分析检验数据的有效性,问卷满足有效性的标准。

三、基于结构方程的影响因素模型构建

1. 结构方程模型简介

结构方程建模是一种基于变量的协方差

矩阵来分析变量之间关系的综合统计方法,又称协方差结构分析。

许多难以直接准确测量的变量统称为潜变量,如智力、学习动机、家庭地位、社会经济水平等,只能通过一些显性指标间接地衡量潜在变量^[5]。传统的统计方法不能有效地处理这些潜变量,而结构方程模型可以同时处理潜变量及其指标。因此,笔者利用一些观测变量并结合结构方程模型,将难以直接、准确测量的人员、材料等潜变量对装配式建筑施工安全的影响程度,通过间接的方式反映出来,从而识别并控制关键影响因素,实现更好的装配式施工安全管理^[6]。

2. 结构方程模型的构建

(1) 模型研究假设

笔者通过对装配式建筑施工安全影响因素相关文献进行整理总结,并结合结构方程模型,提出如下相关假设。

H1: 人员因素对装配式建筑施工安全具有显著的影响;

H2: 建筑材料因素对装配式建筑施工安全具有显著的影响;

H3: 机械设备因素对装配式建筑施工安全具有显著的影响;

H4: 技术因素对装配式建筑施工安全具有显著的影响。

(2) 模型构建

笔者基于数据信度、效度检验以及针对模型研究假设,通过 AMOS 22.0 软件建立装配式建筑施工安全影响因素模型。AMOS 22.0 内置的极大似然估计法是一种具有一致性和无偏性的优良的估计方法,在各个领域的使用也最为广泛。因此,将经过检验具有较高可靠性及有效性的数据导入结构方程模型,进行参数估计和显著性检验,最后得到初始的装配式建筑施工安全影响因素的结构模型(见图 1)。

3. 模型评价与拟合

(1) 正态性检验

正态分布时的偏度系数和峰度系数都要接近于 0,偏度系数大于 3,峰度系数大于 8 时,就应当引起研究人员的注意,本研究中,

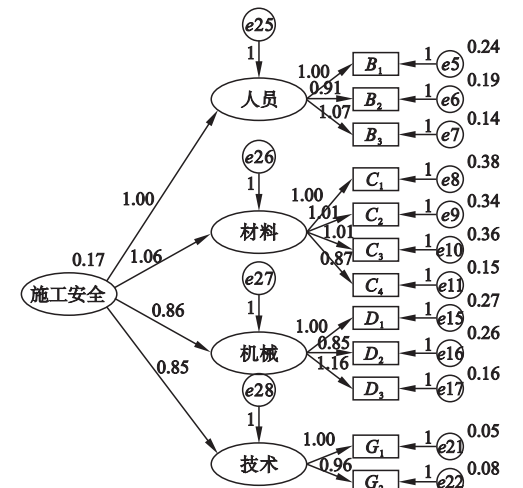


图1 装配式建筑施工安全影响因素的结构模型

偏度系数小于3,峰度系数小于8(见表2),二者均满足相应的区间要求。

表2 正态性检验						
变量	最小值	最大值	偏度系数	临界比	峰度系数	临界比
G ₂	2.000	5.000	-1.493	-10.346	2.206	7.642
G ₁	2.000	5.000	-1.316	-9.116	1.481	5.132
D ₃	2.000	5.000	-1.262	-8.744	0.943	3.265
D ₂	2.000	5.000	-1.521	-10.541	2.378	8.239
D ₁	2.000	5.000	-1.212	-8.400	0.832	2.882
C ₄	3.000	5.000	-0.919	-6.369	-0.198	-0.686
C ₃	1.000	5.000	-1.608	-11.139	2.710	9.388
C ₂	1.000	5.000	-1.713	-11.865	3.642	12.618
C ₁	1.000	5.000	-1.479	-10.247	2.595	8.988
B ₃	2.000	5.000	-1.262	-8.745	1.060	3.671
B ₂	2.000	5.000	-1.239	-8.582	1.597	5.531
B ₁	2.000	5.000	-1.188	-8.231	0.875	3.032

(2) 拟合度检验

结构方程模型拟合的原理是比较实际数据得到的变量相关系数矩阵与假设理论模型得到的变量相关系数矩阵之间的差值。如果

表7 拟合指标				
类别	相对卡方	残差均方根	比较拟合指数	拟合优度指数
假设模型	2.218	0.021	0.955	0.940
适配标准	<3.00	<0.05	>0.90	>0.85
适配判断	是	是	是	是

由表7可知,模型具有较高的拟合优度,假设的理论模型可以匹配数据,从适配度来看不需要对模型进行进一步的修正。

(3) 显著性检验

未标准化的回归系数以及显著性检验如

表8所示,其中,*为 $P < 0.05$,**为 $P < 0.01$,***为 $P < 0.001$,即在0.001水平上显著^[9-10]。在模型的显著性方面,人员因素、材料因素、机械因素、技术因素的标准化路径为0.95,0.93,0.87,0.62,4个潜变量与

表3 卡方值					
模型类别	被估参数个数/个	卡方值	自由度	P 值	相对卡方
假设模型	28	110.888	50	0.000	2.218
饱和模型	78	0.000	0	0.000	0.000
独立模型	12	1431.837	66	0.000	21.694

表4 拟合优度指数				
模型类别	残差均方根	拟合优度指数	调整拟合优度指数	简效拟合优度指数
假设模型	0.021	0.940	0.907	0.603
饱和模型	0.000	1.000	0.000	0.000
独立模型	0.150	0.379	0.266	0.321

表5 拟合优度测量					
模型类别	规范拟合指数	相对拟合指数	增值拟合指数	非规范拟合指数	比较拟合指数
假设模型	0.923	0.898	0.956	0.941	0.955
饱和模型	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000

表6 近似误差均方根				
模型类别	近似误差均方根	LO 90	HI 90	PCLOSE
假设模型	0.065	0.049	0.082	0.063
饱和模型	0.269	0.257	0.281	0.000

注:LO 90 和 HI 90 为系数上 90% 置信区间的下限和上限,PCLOSE 检验原假设近似误差均方根小于 0.08 是否成立。

表7 拟合指标				
类别	相对卡方	残差均方根	比较拟合指数	拟合优度指数
假设模型	2.218	0.021	0.955	0.940
适配标准	<3.00	<0.05	>0.90	>0.85
适配判断	是	是	是	是

表8所示,其中,*为 $P < 0.05$,**为 $P < 0.01$,***为 $P < 0.001$,即在0.001水平上显著^[9-10]。在模型的显著性方面,人员因素、材料因素、机械因素、技术因素的标准化路径为0.95,0.93,0.87,0.62,4个潜变量与

装配式建筑施工过程中安全风险存在关系且 过了适配度以及显著性检验。
显著,即最初的假设得到了验证,最初模型通

表 8 未标准化回归系数及显著性检验

变量	路径	变量	估计值	标准误	临界值	P 值	标签
材料	< - - -	施工安全	1.064	0.139	7.654	***	par_6
机械	< - - -	施工安全	0.861	0.114	7.547	***	par_10
技术	< - - -	施工安全	0.853	0.109	7.815	***	par_11
C ₂	< - - -	材料	1.005	0.121	8.298	***	par_1
C ₃	< - - -	材料	1.010	0.124	8.128	***	par_2
C ₄	< - - -	材料	0.872	0.105	8.316	***	par_3
D ₃	< - - -	机械	1.159	0.114	10.171	***	par_4
G ₂	< - - -	技术	0.959	0.067	14.392	***	par_5
D ₂	< - - -	机械	0.845	0.105	8.057	***	par_7
B ₂	< - - -	人员	0.911	0.096	9.475	***	par_8
B ₃	< - - -	人员	1.071	0.102	10.458	***	par_9

4. 指标权重的确定

为了对装配式建筑施工安全的影响因素进行测度,笔者利用结构方程模型中的标准化路径系数计算建筑施工安全影响因素模型中潜变量和观测变量的权重系数(见表 9),并得到相应的影响程度的排序,其计算式为

$$W_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad i=1,2,\cdots,n。$$

式中:W_i 为潜变量的权重系数;F 为潜变量的标准化路径系数;n 为模型中潜变量的个数。同理可得相应的观察变量的权重系数,再对模型中的潜变量和观测变量的权重系数进行汇总。

由此可以看出各潜变量对装配式建筑施工安全影响由高到低的排序为:材料因素(0.281) > 人员因素(0.256) > 机械因素

表 9 权重系数

潜变量		观测变量	
名称	一级权重系数	名称	二级权重系数
人员因素	0.256	从业人员专业程度	0.336
		操作人员技术水平	0.305
		从业人员质量与安全教育培训	0.359
材料因素	0.281	构件生产	0.257
		构件运输及存放	0.259
		临时支撑系统	0.259
		专业施工工具	0.224
		机械设备的选择与安拆	0.332
机械因素	0.228	机械设备的维护与保养	0.282
		安全防护设施	0.385
		施工组织设计及方案	0.510
技术因素	0.225	结构及节点安装技术成熟度	0.490

(0.228) > 技术因素(0.225),各个潜变量对应的观测变量对装配式建筑施工安全影响由高到低的排序为:构件运输及存放(0.259)/临时支撑系统(0.259) > 构件生产(0.257) > 专业施工工具(0.224);从业人员质量与安全教育培训(0.359) > 从业人员专业程度(0.336) > 操作人员技术水平(0.305);安全防护设施(0.385) > 机械设备

的选择与安拆(0.332) > 机械设备的维护与保养(0.282);施工组织设计及方案(0.510) > 结构及节点安装技术成熟度(0.490)。

因此,装配式建筑施工安全管理过程中应重点关注材料因素可能引起的安全问题,同时,材料因素对应的观测变量中构件的运输及存放、临时支撑系统更易引起施工过程

中的安全事故。人员因素中从业人员质量与安全教育培训也应该引起相关管理人员的高度重视。

四、结 语

管理人员应该对可能引起装配式建筑施工安全问题的所有因素都予以关注,然而在实际工程管理过程中,受到成本、进度等因素的限制,很难真正做到对影响因素的全面管控,导致施工过程中的安全事故频繁发生,造成大量的经济损失及人员伤亡。笔者确定并分析了装配式建筑施工安全的主要影响因素,有助于相关从业人员从中获得启发,更好地完成装配式建筑施工安全管理工作。

参考文献:

- [1] CHANG C G, WU X. Multiobjective optimization of safety risk of prefabricated building construction considering risk correlation [J]. Mathematical problems in engineering, 2020(4):176-184.
- [2] 丁彦,田元福. 装配式建筑施工质量与安全风险评估研究[J]. 建筑经济,2019(40):80-

84.

- [3] 董翔,谢桥漾,季晓刚. 超高层装配式建筑施工安全风险评价[J]. 建筑经济,2020(1):290-293.
- [4] 段永辉,周诗雨,郭一斌. 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(2):70-75.
- [5] 李晓娟. 装配式建筑施工安全预警研究[J]. 工程管理学报,2020(1):120-125.
- [6] 常春光,常仕琦. 装配式建筑预制构件的运输及吊装过程安全管理研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2019,21(2):141-147.
- [7] 刘光忱,侯岸茹,王俊森,等. 推进装配式住宅建筑发展的策略研究[J]. 山西建筑,2017(5):2.
- [8] 陈永鸿,李东文,杨建荣. 基于 SEM 的建设项目 BIM 能力成熟度测度研究[J]. 土木工程与管理学报,2019(2):65-71.
- [9] 刘光忱,温振迪,沈静,等. 基于因子分析的装配式混凝土建筑质量影响因素研究[J]. 建筑经济,2019(8):98-102.
- [10] 汤彦宁. 基于系统动力学的装配式住宅施工安全风险研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2015.

SEM – Based Influencing Factors of Constructing Safety for Prefabricated Building

LIU Guangchen, LI Shuang, LI Keda

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: Through collecting and sorting a large number of relevant literature, this paper systematically analyzes the factors affecting the construction safety of prefabricated buildings, develops and issues a questionnaire using likert scale. Based on the Structural Equation Model (SEM) analysis method, through SPSS 20.0 and AMOS 22.0, the paper processes the collected data and builds a model to finally determine the main influencing factors for the construction safety of prefabricated buildings, and reduces the safety risks in the construction process through the control of key influences, thus reducing economic losses and casualties.

Key words: prefabricated building; construction safety; influencing factors; structural equation model

(责任编辑:郝雪 英文审校:林昊)