

装配式建筑安全风险影响因素研究

句秋月,常春光

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:我国的装配式建筑发展尚处于初级阶段,还存在诸多问题。从建筑发展角度对装配式建筑安全风险进行识别,建立了装配式建筑安全风险指标体系,并运用WBS-RBS-G1和DEMATEL模型分析了装配式建筑安全风险因素风险度。然后从设计、生产、运输、施工、运营各阶段提出了具体措施,以便更好地对建筑风险进行规避和防范。

关键词:装配式建筑;安全风险因素;WBS-RBS-G1模型;DEMATEL模型

中图分类号:TU712 **文献标志码:**A

装配式建筑是以工业化生产的预制构件及部品部件为原材料,以干法作业为主,以模数协调为原则,通过模块和模块组合,在工地装配而成的建筑,包括预制混凝土(Precast Concrete, PC)建筑、钢结构建筑、现代木结构建筑和其他符合装配式特征的建筑^[1]。

简单来说,装配式建筑就是将材料送到工厂进行加工后,运送到施工现场搭接而成的建筑。通过装配式建筑的标准化设计、工业化生产、装配式施工、一体化装修、信息化管理能高效率、高标准、高质量地推动建筑行业的改革。据统计,工业化建造方式较传统建造方式资源消耗少,污染更小,将使水耗降低逾60%,能耗降低近40%,垃圾减少超过50%,污水减少超过60%^[2]。

我国的装配式建筑仍然处于初级阶段,面临着很多发展瓶颈问题,如果没有加强防范和有效规避,很可能造成极大的经济损失,甚至会出现人员伤亡等重大事故。

关于装配式建筑安全风险研究者们有各

自的见解:欧阳新^[3]从技术风险、生产阶段风险、投资风险方面分析了工业化住宅建设的风险因素;王晨^[4]从消费者、企业和政府等方面着手,从技术方面进行了产业化发展的风险分析;李纪华^[5]从政策、技术、经济、生产等因素着手,结合装配式建筑发展现状分析了其存在的风险因素;赵勇等^[6]对预制构件的吊装方式进行了深入的研究;苏杨月等^[7]对装配式建筑预制构件的生产质量及施工质量问题进行了研究;齐宝库等^[8]从装配式建筑的全寿命周期角度运用定性定量模型对其所存在的风险进行了分析并给出建议;刘娇等^[9]运用模型对人为风险,物的风险,环境、技术、管理等方面风险进行了深入研究。笔者运用模型从建设开发的角度对技术、经济、市场、政策、管理等方面风险进行了研究。

一、建立装配式建筑安全风险体系

笔者通过阅读大量文献,从技术、经济、

市场、政策、管理方面选出安全风险指标,建立了指标体系(见表 1),对装配式建筑开发建设安全风险进行有效识别。

表 1 装配式建筑安全风险指标体系

准则层	指标层
技术风险 C ₁	创新动力不足 C ₁₁
	模数体系不健全,标准化低 C ₁₂
	施工连接点技术差 C ₁₃
	缺乏专业的施工队伍和专业人才 C ₁₄
	构件运输技术不到位 C ₁₅
	对 BIM 等关键技术运用少 C ₁₆
经济风险 C ₂	前期一次性投资较大 C ₂₁
	对于定额和清单的计价不完善 C ₂₂
	价格高,市场需求量小 C ₂₃
	投资回收收益的时间长 C ₂₄
市场风险 C ₃	人们接受新事物的观念意识差 C ₃₁
	没有形成一定的市场规模 C ₃₂
	企业转型的数量少 C ₃₃
	产业链不完善 C ₃₄
政策风险 C ₄	法律法规不完善 C ₄₁
	政府激励政策缺少实施细则 C ₄₂
	管理监督机制不健全 C ₄₃
管理风险 C ₅	各企业间协调沟通不到位 C ₅₁
	管理人员经验缺乏 C ₅₂
	对施工现场管理不到位 C ₅₃

二、建立 WBS – RBS – G1 与 DEMATEL 模型

1. 模型简介

(1)David Hills Ton 是最早基于 WBS – RBS 矩阵研究风险管理的专家。WBS – RBS 风险识别方法能从横向和纵向的角度对项目风险进行辨识^[10]。由于 WBS – RBS 模型能够整理项目风险规律,具有思路比较清晰、分析比较全面等特点,有利于对数据进行分析处理。

(2)G1 法。其原理是专家对一系列指标的重要度进行判断并排序,然后对相邻两个指标的相对重要度进行定量判断,依据计算定理求解各个指标的权重。

首先,确定重要程度关系。

若指标 X_i 相对某评价准则的重要程度不低于 X_j 时,则记为 $X_i \geq X_j$,重要程度赋值如表 2 所示。

表 2 指标 x_{k-1} 与指标 x_k 相对重要程度赋值

重要程度	说明
1.0	同样重要
1.2	稍微重要
1.4	明显重要
1.6	强烈重要
1.8	极端重要

然后,计算权重

$$w_k = (1 + \sum_{i=2}^m \prod r_i)^{-1}$$
$$r_k = w_{k-1} / w_k$$

式中: w_k 为各个指标的权重; w_n 为最后一个指标的重要程度; r_i 为 m 位专家对于指标的重要程度打分。

(3)DEMATEL 模型。模型通过建立直接影响矩阵计算各个因素之间的影响度、中心度、被影响度和原因度,进而来定量分析各元素之间的关系。

首先,分析技术风险各因素之间的关系,对所研究的问题进行调查汇总,建立直接影响矩阵 $X = \{x_{ij} \mid m \times m, x_{ij}$ 的取值可以为 0,1,2,3,5,分别表示 x_i 对 x_j 的影响程度为无、较弱、弱、强、较强。

对矩阵进行归一化

$$y = x / \max_{1 \leq i \leq m} \sum_{j=1}^m x_{ij}$$

计算综合影响矩阵

$$T = Y(I - Y)^{-1}$$

其中, I 表示单位矩阵。

计算因素之间的影响度和被响度

$$p(i) = \sum_{i=1}^m t_{ij}$$

$$q(i) = \sum_{j=1}^m t_{ij}$$

计算中心度和原因度

$$e(i) = p(i) + q(i)$$

$$f(i) = p(i) - q(i)$$

2. 风险识别

用 WBS – RBS 法进行装配式建筑指标风险辨识时,要分为 5 个步骤:

(1)确定风险辨识的对象。在风险识别过程中,应结合目前装配式建筑发展现状,明确地进行风险识别。

(2)进行工作分解,形成工作分解结构。根据装配式建筑工作流程以及内容,可以将工作分解为设计 W_1 、生产 W_2 、运输 W_3 、施工 W_4 、运营 W_5 个工作单位。

(3)进行风险分解,形成风险分解结构。共有 20 个风险因素,如表 3 所示。

表 3 装配式建筑安全风险辨识表

装配式建筑安全风险因素	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
C_{11}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
C_{12}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}
C_{13}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}
C_{14}	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}
C_{15}	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}
C_{16}	a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}
C_{21}	a_{71}	a_{72}	a_{73}	a_{74}	a_{75}
C_{22}	a_{81}	a_{82}	a_{83}	a_{84}	a_{85}
C_{23}	a_{91}	a_{92}	a_{93}	a_{94}	a_{95}
C_{24}	a_{101}	a_{102}	a_{103}	a_{104}	a_{105}
C_{31}	a_{111}	a_{112}	a_{113}	a_{114}	a_{115}
C_{32}	a_{121}	a_{122}	a_{123}	a_{124}	a_{125}
C_{33}	a_{131}	a_{132}	a_{133}	a_{134}	a_{135}
C_{34}	a_{141}	a_{142}	a_{143}	a_{144}	a_{145}
C_{41}	a_{151}	a_{152}	a_{153}	a_{154}	a_{155}
C_{42}	a_{161}	a_{162}	a_{163}	a_{164}	a_{165}
C_{43}	a_{171}	a_{172}	a_{173}	a_{174}	a_{175}
C_{51}	a_{181}	a_{182}	a_{183}	a_{184}	a_{185}
C_{52}	a_{191}	a_{192}	a_{193}	a_{194}	a_{195}
C_{53}	a_{201}	a_{202}	a_{203}	a_{204}	a_{205}

3. 风险衡量

施工安全风险的程度大小,即风险度。由于施工中的风险概率要考虑施工经验和施工作业等方面,采用调查评估的方法进行风险度计算。

$$D = P \times Q$$

其中, D 为风险度; P 为风险发生的可能性程度; Q 为损失程度。

根据模糊数学理论, P 和 Q 可以从“0 ~ 9”10 个数字中取值,通过问卷调查为每一个风险因素发生风险的可能性 P 和损失程度 Q 赋值,计算后得到所有风险元素的风险度 D 。 D 是介于 0 ~ 81 的一个具体数值。其中,“0”表示没有风险,“81”表示最大风险。

为避免问卷调查的盲目性,面向对装配式建筑有所了解的人群开展问卷调查。本次

调查共收集 100 份有效问卷。受访者的工作性质、岗位职称及受教育程度如表 4 所示,计算结果如表 5 所示。

表 4 装配式建筑风险度问卷调查受访者情况表

人群状况	具体类型	频数	所占比例/%
所在单位	建设单位	16	16
	施工单位	35	35
	科研单位	18	18
	咨询公司	11	11
	设计单位	20	20
所处岗位	教授	15	15
	建造师	30	30
	企业经理	21	21
	项目经理	24	24
	研究学者	10	10
教育程度	博士	35	35
	硕士	25	25
	本科	26	16
	专科及以下	14	14

表 5 装配式建筑风险因素风险度

装配式建筑安全风险因素	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
C_{11}	72	16	18	30	40
C_{12}	56	81	0	49	0
C_{13}	48	0	0	64	0
C_{14}	54	64	27	63	35
C_{15}	18	0	54	16	0
C_{16}	63	54	35	48	27
C_{21}	72	45	0	0	0
C_{22}	24	15	0	42	16
C_{23}	25	27	12	24	54
C_{24}	0	0	0	0	48
C_{31}	0	0	0	0	63
C_{32}	12	0	0	0	54
C_{33}	45	49	12	36	15
C_{34}	56	54	16	40	20
C_{41}	64	36	0	56	0
C_{42}	27	35	9	24	45
C_{43}	18	21	36	63	0
C_{51}	56	45	16	63	25
C_{52}	20	35	12	54	18
C_{53}	0	0	0	72	0

4. G1 法计算权重

对一级指标和二级指标的重要程度进行问卷调查,分析得出一级指标的序列关系为 $c_1 > c_4 > c_3 > c_2 > c_5$, $r_2 = c_1/c_4 = 1.4$ $r_3 = c_4/c_3 = 1.3$, $r_4 = c_3/c_2 = 1.2$ $r_2 = c_2/c_5 = 1$

根据权重的计算公式,得出

$$w_5 = (1 + 1.4 \times 1.3 \times 1.2 \times 1 + 1.3 \times 1.2 \times 1 + 1.2 \times 1 + 1) - 1 = 0.145$$

得出一级指标的权重为

$$w_c^T = (0.310, 0.145, 0.174, 0.226, 0.14)$$

同理,得出各个二级指标的权重分别为

$$W_{c1}^T = (0.290, 0.112, 0.134, 0.203, 0.080, 0.181)$$
$$W_{c2}^T = (0.255, 0.188, 0.394, 0.163)$$
$$W_{c3}^T = (0.286, 0.226, 0.286, 0.202)$$
$$W_{c4}^T = (0.375, 0.341, 0.284)$$
$$W_{c5}^T = (0.312, 0.405, 0.283)$$

由表 5 算出风险度集成(见表 6)。

表 6 装配式建筑风险因素风险度集成

装配式建筑安全风险因素	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
C_{11}	20.88	4.64	5.22	8.70	11.60
C_{12}	6.27	9.07	0.00	6.57	0.00
C_{13}	6.43	0.00	0.00	8.58	0.00
C_{14}	10.96	12.99	5.48	12.79	7.11
C_{15}	1.44	0.00	4.32	1.28	0.00
C_{16}	11.40	9.77	6.34	8.69	4.89
C_{21}	18.36	11.48	0.00	0.00	0.00
C_{22}	4.51	2.82	0.00	16.55	2.61
C_{23}	9.85	10.64	4.73	9.46	21.28
C_{24}	0.00	0.00	0.00	0.00	7.82
C_{31}	0.00	0.00	0.00	0.00	18.02
C_{32}	2.71	0.00	0.00	0.00	12.20
C_{33}	12.87	14.01	3.43	10.30	4.29
C_{34}	11.31	10.91	3.23	8.08	4.04
C_{41}	24.00	13.50	0.00	21.00	0.00
C_{42}	9.21	11.94	3.07	8.18	15.35
C_{43}	5.11	5.96	10.22	17.89	0.00
C_{51}	17.47	14.04	4.99	19.66	7.80
C_{52}	8.10	14.18	4.86	21.87	7.29
C_{53}	0.00	0.00	0.00	20.38	0.00

由表 6 可知,阻碍设计阶段发展的主要因素有创新力不足、前期一次性的投入比较大、法律法规不完善、各个企业之间协调沟通不到位;生产阶段主要影响因素为缺乏专业的施工队伍和人才、各企业协调沟通不到位、法律法规不完善、管理人员经验缺乏;运输阶段主要影响因素为管理机制不健全;施工方面主要影响因素为管理监督机制不健全、各企业之间沟通协调不到位、管理人员的经验缺乏、对施工现场的管理不到位;运营阶段主要影响因素为价格高、市场需求量小,人们接受新事物的观念意识差,政府激励政策缺少实施措施等。

5. DEMATEL 模型

笔者从技术风险的角度,运用 DEMATEL 模型对装配式建筑安全风险进行定性

和定量分析,得出技术风险 6 个因素之间的直接影响矩阵 c_{ij} 和综合影响关系(见表 7)。

$$c_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 5 & 3 & 5 & 4 & 2 \\ 2 & 0 & 5 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 5 & 0 & 1 \\ 4 & 1 & 5 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 2 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 3 & 1 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

表 7 装配式建筑安全风险综合影响关系

影响关系	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}
$P(i)$	2.293	1.240	-0.411	2.035	1.672	1.371
$q(i)$	1.024	1.174	3.052	-6.669	7.818	1.800
$f(i)$	1.268	0.066	-3.463	8.704	-6.146	-0.429
$e(i)$	3.317	2.414	2.640	-4.634	2.490	3.172

影响度较大的是创新动力不足;被影响度较大的是对 BIM 等关键的技术运用少、构件运输技术不到位,二者受其他因素的影响比较大;中心度较大的是创新力不足,说明这是造成装配式建筑安全风险的直接因素;原因度较大的是缺乏专业的施工队伍和专业人才,这是影响其他因素的重要因素。

三、各阶段装配式建筑安全风险应对措施

1. 设计阶段

加大技术研发创新成本投入,加大创新力度;注重专业人才的培养,进行人才培训或举办专家讲座;设立创新奖项和激励政策等。同时,完善相应的法律法规,促进企业之间沟通交流。

2. 生产阶段

注重培养专业施工队伍,请专业人员进行现场指导;制定优惠政策,鼓励企业转型,在更多地区设多个试点城市来发展装配式建筑;招聘管理人员要求有相关专业背景和 3 年及以上相关工作经验。

3. 运输阶段

建立健全管理机制,加强企业内部法制建设,加强企业外部环境建设,加强风险评估和控制,建立相应的风险管理部门;加强 BIM 等关键技术的运用。

4. 施工阶段

应加强施工现场安全管理,面向管理人员开展专业知识培训;加强与核心企业的沟通与协调;建立健全监督机制,加强教育力度。

5. 运营阶段

适当在税收、价格、贷款等方面出台一系列的优惠政策,控制成本,刺激大众消费,加快装配式建筑发展。

四、结 语

装配式建筑是实现节能减排、低碳环保、绿色可持续性发展,构建绿色环保社会的重要途径。我国的装配式建筑尚未成熟,存在着很多问题和风险,如果未进行风险监控和预测,未及时采取有效措施,很可能造成重大经济损失,导致施工项目中止。笔者从装配式建筑建设角度构建了安全风险指标体系,并通过 WBS - RBS - GI 及 DEMATEL 模型相结合的方法对装配式建筑安全风险影响因素进行了定性识别和定量衡量。希望相关单位可以在装配式建筑未来发展过程中予以重视,并采取有效措施来规避风险。

参考文献:

[1] 时宜. 装配式建筑不等于建筑产业化[J]. 建

筑,2016(9):22.

- [2] 齐奕. 多维视角下的当代建筑轻型化创作研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [3] 欧阳新. 中国住宅产业化发展的制约因素及其对策研究[D]. 南京:河海大学,2006.
- [4] 王晨. SST 视角下的住宅产业化制约因素分析[J]. 山西焦煤科技,2009(5):37-40.
- [5] 李纪华. 我国住宅工业化发展制约因素及对策研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.
- [6] 赵勇,王晓峰. 预制混凝土构件吊装方式与施工验算[J]. 住宅产业,2013(3):60-63.
- [7] 苏杨月,赵锦锴,徐友全,等. 装配式建筑生产施工质量问题与改进研究[J]. 建筑经济,2016(11):37-39.
- [8] 齐宝库,朱娅,范伟阳. 装配式建筑全寿命周期风险因素识别方法[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2016,18(3):257-261.
- [9] 刘娇,苑俊丽,常春光. 基于未确知测度的装配式建筑施工安全风险评价[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2017,19(4):387-393.
- [10] 桑培东,李金晓. 基于结构方程的装配式建筑项目开发建设风险评价[J]. 土木工程与管理学报,2017,34(4):89-95.

Study on Security Risk Influencing Factors of Prefabricated Building Projects

JU Qiuyue, CHANG Chunguang

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

Abstract: China's prefabricated development is still in the primary stage and there are still many problems. This paper identifies security risks from the perspective of architectural development and establishes risk index system of prefabricated buildings. Through the WBS - RBS - G1 and DEMATEL model, the logical relationship between risk factors of prefabricated buildings is analyzed. Then some measures from design, production, transportation, construction and operation are put forward to more effectively avoid and prevent the construction risk.

Key words: prefabricated buildings; security risk factors; WBS - RBS - G1 model; DEMATEL model

(责任编辑:郝雪 英文审校:林昊)