

[文章编号] 1003—4684(2022)03-0116-05

基于 SD 的 PC 构件生产进度风险管理研究

王淑婧, 桂嘉齐

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 在文献分析的基础上,通过半结构化访谈方法识别出人员、材料设备、技术和组织管理 4 个维度的 18 项影响 PC 构件生产进度的风险因素,并利用熵权法确定风险指标权重。构建基于系统动力学(SD)的风险评价模型,进一步研究因素之间风险传递关系,通过动态仿真模拟,对比分析不同控制措施对降低风险值的效果,结果表明组织管理风险中生产进度制定不合理、信息化管理水平较低对 PC 构件生产进度影响最大,针对关键风险因素提出应对措施,为 PC 构件生产进度风险研究提供借鉴。

[关键词] PC 构件; 生产进度; 系统动力学; 风险管理

[中图分类号] TU741 [文献标识码] A

近年来,国家出台了一系列政策鼓励装配式建筑的发展,将其作为我国建筑业转型的重心。预制混凝土构件(Precast Concrete, PC)作为装配式建筑的主要组成单元,需求量随之增长,PC 构件厂面临生产进度管理的压力。因此,对 PC 构件生产进度风险进行识别,并及时开展风险管控,是发展装配式建筑亟待解决的问题。

越来越多的学者开始关注 PC 构件风险管理,一部分从 PC 构件质量风险评价角度出发,利用解释结构模型、网络层次分析法对 PC 构件质量风险因素识别和评价,并提出相应的管控措施^[1-2];另外一部分通过层次分析和系统动力学等方法建立 PC 构件施工进度风险管理体系^[3-4]。综上所述,当前国内研究主要集中于 PC 构件质量风险和施工进度风险,且多为静态化和碎片化的对风险进行定性研究,针对 PC 构件生产进度风险的较少。PC 构件生产进度管理具有结构复杂、不确定性高等特点,不同的风险因素之间相互关联,风险会随着项目的进展动态变化。忽视这种风险相互关系会导致对风险影响的低估或高估,从而限制研究结果的有效性。因此,在评估风险对生产进度的影响时,必须考虑项目风险之间的动态交互作用。

本研究查阅整理相关文献、利用半结构化访谈法,识别出影响 PC 构件生产进度的主要风险因素,建立系统动力学模型探讨风险因素之间的内在联系,比较分析不同程度下的各项管理措施对生产进

度的影响,为管理者全面、动态的管控 PC 构件进度风险提供理论依据及方法参考。

1 PC 构件生产进度风险因素分析

1.1 文献分析

运用文献研究法,对 2015—2021 年中国知网、EI、Web of Science 等数据库中含有“装配式建筑进度”“PC 构件生产风险”等关键词的文献进行检索分析,梳理文献中^[1,2,5-13]有关 PC 构件生产进度的风险因素,对其表意相近的因素进行归纳整合,初步确立出 21 个风险因素,人员风险、技术风险、设备材料风险、组织管理风险 4 个风险类别的初步风险清单,如表 1 所示。

表 1 PC 构件生产进度风险因素初步清单

风险类别	风险因素	文献来源
人员因素	缺乏系统的专业培训	[5,11,12]
	缺乏专业人才	[1,6,7,11]
	工人操作熟练度较低	[1,7,9-12]
	人员缺乏沟通	[1,10,11]
设备材料风险	模具通用性较低	[6,9,12,13]
	机械设备运行不稳定	[2,5,6,11]
	生产材料缺失	[5,8,12]
技术风险	工位布局不合理	[5,6,11,12]
	制造工艺水平较差	[2,5,6,8,13]
	构件的精度较低	[2,5,8,13]
	生产线机械化程度较低	[5,6,8]
	大规模定制水平较差	[2,5,7,8]
	深化设计能力较差	[1,5,6,7,11,13]

[收稿日期] 2021—05—30

[第一作者] 王淑婧(1981—),女,河北安国人,工学博士,湖北工业大学副教授,研究方向为建设项目信息化管理

[通信作者] 桂嘉齐(1996—),女,湖北黄石人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为建设项目信息化管理

续表 1 PC 构件生产进度风险因素初步清单

风险类别	风险因素	文献来源
组织管 理风险	生产计划制定不合理	[2,7,8-12]
	信息化管理水平较低	[6,8,10]
	资源调配不合理	[8,9,12]
	管理者经验不足	[1,2,6,8,11]
	与各方合作不稳定	[9-11]
	应对变更能力较弱	[1,9-11]
	5S 管理制度不健全	[5,7]
	构件堆放不合理	[2,8,10,11,13]

1.2 半结构化访谈

为进一步筛选出影响 PC 构件生产进度风险关键因素,在武汉市建筑业协会装配式建筑分会的支持下,本文对参与装配式建筑项目的 36 位行业专家进行半结合化访谈,流程如图 1 所示,受访者基本信息如表 2 所示。

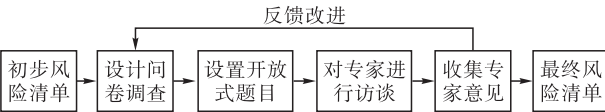


图 1 半结构化访谈流程图

受访者通过李克特 5 级量表对初步风险清单进行评分(1=低风险,5=高风险),随后以视频或面对面会议的形式,与专家进行深度访谈,记录专家反馈意见,以修正初始风险清单。

为确保问卷和访谈过程的清晰性和有效性,在访谈前一周将问卷调查提供给受访者,让受访者有时间提前了解问卷中的专业术语,并结合访谈结果反馈,对问卷进行实时改进。在访谈结束之后,对收

表 2 受访者基本信息汇总

背景	划分标准	人数	比例/%
所在单位类型	设计单位	9	25
	材料供应商	4	11
	PC 构件厂	12	33
	施工单位	8	22
	其他	3	8
工作岗位	单位领导	6	17
	部门经理	10	28
	项目经理	18	50
	其他	2	6
受教育情况	博士	2	6
	硕士	10	27
	本科	17	47
	专科	5	14
	专科以下	2	6
从业年限	3—5 年	8	22
	5—8 年	14	39
	8—10 年	11	31
	10 年以上	3	8

集的问题答案及数据进行整理,反馈给受访者,以保证数据信息的准确性。

通过对访谈结果与问卷调查的分析,统计了各个专家在访谈中对风险的描述。绝大多数专家认为“工位布局不合理”为 PC 构件生产前已确定的,无法进行更改,因此对生产进度风险产生的影响不应考虑,而“人员缺乏沟通”与“5S 管理制度不健全”两个因素在实际生产中影响构件生产进度概率较小,因此删去以上 3 个风险因素,形成最终风险清单,如表 3 所示。

表 3 PC 构件生产进度最终风险清单

风险维度	风险因素	指标描述
人员风险 A(0.1041)	缺乏系统的专业培训 A1(0.0268)	缺少在模板组装、钢筋绑扎等关键部位的专业培训
	缺乏专业人才 A2(0.0152)	缺少在关键生产节点、工序经验丰富的生产线工人
	工人操作熟练度较低 A3 (0.0621)	生产人员对生产工序和设备操作不熟练
设备材料风险 B(0.1315)	模具通用性较低 B1(0.03)	模具标准化程度较低,模具重复利用率低
	机械设备运行不稳定 B2 (0.0376)	日常维护不足,机械设备容易出现故障,导致生产中断
	生产材料缺失 B3(0.0639)	混凝土、钢筋、预埋件等生产材料缺少或不能及时供应
技术风险 C(0.3419)	制造工艺水平较差 C1(0.0844)	混凝土布料、振捣等工艺不成熟导致 PC 构件存在质量缺陷
	构件的精度较低 C2(0.0767)	构件的尺寸和性能没有统一化、规则化,导致构件精度不符合要求
	生产线机械化程度较低 C3(0.0569)	生产线自动化程度低,需要投入大量人力,工作效率降低
	大规模定制水平较差 C4(0.0397)	缺乏处理定制化生产与规模化生产之间矛盾的能力
	深化设计能力较差 C5(0.0842)	深化设计程度不到位,缺乏全过程、全专业的设计经验
组织管理风险 D(0.4225)	生产计划制定不合理 D1(0.1081)	依赖过往经验制定构件生产计划,忽视了各类生产资源的约束,无法匹配实际的生产情况
	信息化管理水平较低 D2(0.0829)	构件厂生产数据管理能力较差,信息处理耗时长,降低信息的准确性、时效性
	资源调配不合理 D3(0.0668)	对人员、物料、设备等资源考虑不全面,缺乏整体性调配
	管理者经验不足 D4(0.0912)	管理者对构件生产流程和工艺了解不足,缺乏相应的项目管理能力
	与各方合作不稳定 D5(0.0296)	与设计、材料供应商、施工等合作伙伴之间的协作缺乏信任
	应对变更能力较弱 D6(0.0314)	对设计变更、施工进度计划调整等问题应对不及时
	构件堆放不合理 D7(0.0125)	构件的堆放未考虑构件的使用顺序,增加构件搬运的工作量

1.3 权重计算

PC 构件生产进度风险具有较高的不确定性,故较难利用主观赋权表示其影响规律。因此,结合专家打分结果和熵权法确定各风险因素权重,能有效衡量各指标之间的差异性,同时避免权重赋值造成的人为主观差异性,使赋权结果更符合实际。

1)数据标准化处理

$$y_i = \frac{x_i - \min(x_1, x_2, \cdots, x_n)}{\max(x_1, x_2, \cdots, x_n) - \min(x_1, x_2, \cdots, x_n)}$$

2)计算指标值比重:

$$u_{ij} = y_{ij} \Big/ \sum_{i=1}^m y_{ij}$$

3)计算指标熵值:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m u_{ij} \ln u_{ij}$$

其中, $e_j > 0$ 。

4)计算指标熵权:

$$\alpha_j = u_j / \sum_{i=1}^m u_j$$

各风险因素指标权重计算结果如表 3 所示。

2 PC 构件生产进度风险 SD 模型的建立

系统动力学最早由麻省理工学院 Forrester 教授提出,从系统的内部结构来寻找问题发生的根源,可以对长期性、复杂性的实际问题进行动态的定量研究^[14]。针对 PC 构件生产进度整体性和连续性的特点,建立系统动力学模型,探究系统内部各因素之间的作用关系及影响路径,并对单因素变化下的生产进度风险进行仿真模拟。

2.1 确定系统边界与研究假设

PC 构件生产进度风险系统会随着进度的不断推进,呈现出复杂性和动态性的特征,本文将“人—材料设备—技术—组织管理”视为一个整体,结合实际生产状况做出以下假设。

假设 1:将人员、材料设备、技术、组织管理作为 PC 构件生产进度风险的内生变量,并只考虑其相互作用产生的影响,其他因素例如:自然灾害、政府政策等不可抗力,作为外生变量不予考虑。

假设 2:本研究的变量,仅代表风险的相对值大小,不代表实际意义。

2.2 建立因果反馈关系和存量流量图

风险系统内部各因素之间存在相互影响、联系的复杂关系,需建立因果反馈关系对各因素的关系进行梳理,从而建立因素间的初步联系。以“PC 构件生产进度风险”为系统中心,通过因果链、反馈环,添加因果链极性,将“人员风险”“材料设备风险”“技术风险”“组织管理风险”相关的 4 个子系统连接起来,本文因果反馈回路较多,由于篇幅限制,故选择其中一条回路进行分析:

缺乏专业人才↑→生产线机械化程度较低↑→制造工艺水平较差↑→构件的精度较低↑→大规模定制水平较差↑

为进一步分析各个风险因素之间的相互作用关系,在因果反馈关系的基础上,建立存量流量图模型,以定量分析系统内部各要素之间的反馈关系,如图 2 所示,通过引入常量、辅助变量、状态变量和速率变量,绘制出存量流量图,能清楚地反映出各风险之间的反馈过程。

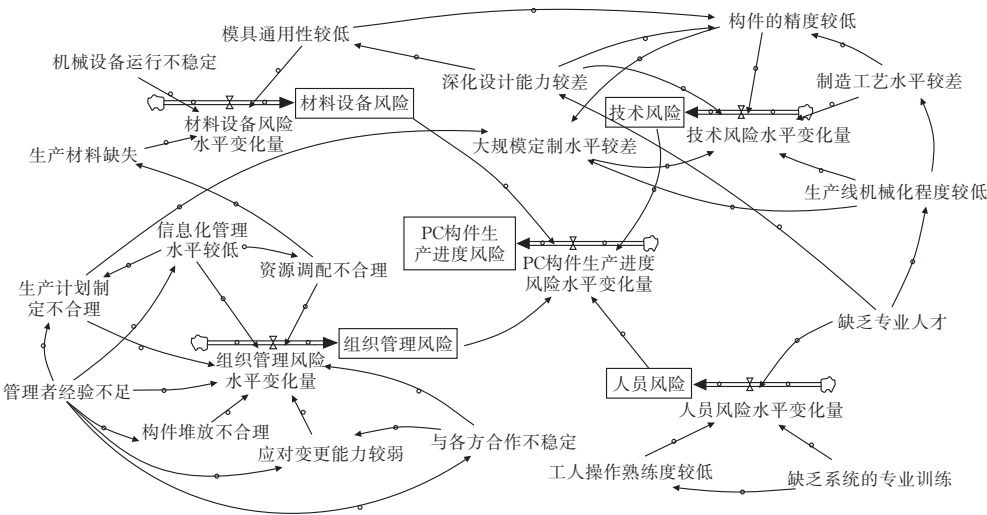


图 2 PC 构件生产进度风险因素存量流量图

2.3 系统方程的确定

各变量之间的函数关系需要利用 Dynamo 方程

来表示,以技术风险子系统为例,带入上文中得到的风险因素权重系数,系统方程如下:

- 1)生产线机械化程度较低=0.0152×缺乏专业人才
- 2)制造工艺水平较差=0.0569×生产线机械化程度较低
- 3)构件的精度较低=0.03×模具通用性较低+0.0842×深化设计能力较差
- 4)深化设计能力较差=0.0152×缺乏专业人才
- 5)大规模定制水平较差=0.0569×生产线机械化程度较低+0.0767 构件的精度较低+0.1081×生产计划制定不合理
- 6)技术风险水平变化量=0.0844×制造工艺水平较差+0.0767×构件的精度较低+0.0569×生产线机械化程度较低+0.0397×大规模定制水平较差+0.0842×深化设计能力较差
- 7)技术风险 = INTEG (技术风险水平变化量,0)。

2.4 仿真分析

各子系统参数确定后,将边界风险因素数值及各函数关系式输入相应的对话框,通过 Vensim PLE 软件进行仿真分析,设置本次模型仿真的时间边界为 12 个月,运行步长为 1 个月。如图 3 所示,PC 构件生产进度风险在预测期一年内呈现逐渐增长的趋势,风险峰值为 5.81。

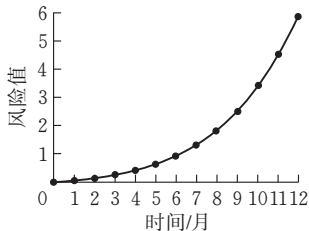


图 3 PC 构件生产进度风险

由图 4 可知,各个子系统的风险值在 1 年内变化从大到小,依次为:组织管理方风险 2.85、技术风险 2.02、材料设备风险:0.99、人员风险 0.42。

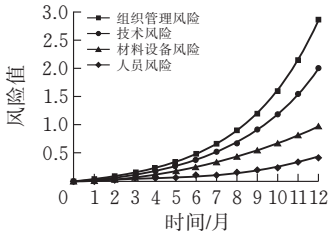


图 4 各子系统风险变化分析

其次,通过对各子系统变动模拟确定各个因素对 PC 构件生产进度的影响,即在其他子系统风险因素不变的情况下,分别对每个风险因素中的所有因子的风险值减少 20%进行模拟,对模型进行系统动力模拟后,可以直观的看到风险因素随时间变化的具体风险走势情况(图 5)。由图 5 可知,当每个

因素风险减少 20%时,组织管理风险偏离初始曲线最严重,风险值下降了 61%,其中,导致组织管理风险发生的主要因素为生产计划制定不合理、管理者经验不足、信息化管理水平较低。因此,重点对组织管理风险的关键因素进行控制可有效降低 PC 构件生产进度风险水平。

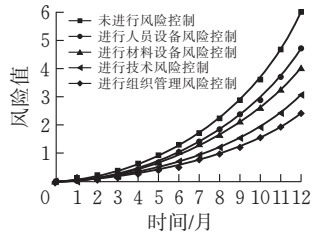


图 5 单因素风险控制效果对比

2.5 风险管控措施

- 1)合理制定生产计划
PC 构件生产方面对日益增多的订单量,需要改变以往依靠个人经验盲目安排生产的粗放式管理模式,以满足市场需求。PC 构件厂生产订单来源于不同施工方,首先应根据各订单提供的施工吊装计划进行生产批次组合,生成生产需求计划。以重新组合后的生产需求计划为对象,结合生产能力和生产线特点,生成 PC 构件生产调度计划,用于指导工厂生产。既能有效避免人工排产的盲目性,又能提高生产效率进而整体提高产能。
- 2)提高 PC 构件厂信息化管理
鼓励 PC 构件厂积极应用 BIM 技术,提高信息化管理水平。一方面,构件厂利用信息技术平台,以 BIM 模型为基础,提取各阶段材料的种类和用量,进行物料采购与生产计划的制定。另一方面,通过信息化平台进行协同工作,实现与其他参与方的高效沟通,减少信息传递过程的损耗,保证信息及时传递。

3 结论

- 1)利用文献分析法和半结构化访谈,梳理出了影响构件生产进度的主要风险因素,并利用熵确定出了各风险因素的权重,得出生产计划制定不合理、管理经验不足、信息化管理水平较低等指标对 PC 构件生产进度风险影响较大。
- 2)运用系统动力学构建了 PC 构件生产进度风险模型,模拟各变量和要素之间的作用关系,得出组织管理风险对 PC 构件生产进度影响最大,其次是来自技术风险、材料设备风险和人员风险,并根据仿真结果提出相应的管控措施,通过合理制定生产计划和提高 PC 构件厂信息化管理水平等途径提高进度风险管理能力。

3)通过系统动力学模型预测风险值的变化规律,结果表明 PC 构件生产进度风险与模拟时间范围呈正相关,随着时间范围的扩大,风险水平逐渐增加,为管理人员了解进度风险变化规律,开展防范措施提供参考意见。

[参 考 文 献]

[1] 刘光忱,温振迪,何雪礼.基于 ISM-MICMAC 的装配式建筑质量影响因素[J]. 土木工程与管理学报,2019,36(5):33-39.

[2] 瞿富强,陈初一,颜伟.基于 ANP-FUZZY 的装配式建筑预制构件质量风险评价[J]. 土木工程与管理学报,2019,36(3):92-98.

[3] 李政道,陈哲,张丽梅.基于模糊综合评价理论的装配式建筑施工进度风险管理[J]. 建筑施工,2020,42(11):2193-2196.

[4] 张斌斌,程志军.装配式混凝土建筑施工进度影响因素分析[J].混凝土与水泥制品,2018(8):78-80.

[5] 孟子博,牛占文,刘超超.预制构件厂精益设计方案评价研究[J].工业工程,2020,23(5):140-148.

[6] 刘妍,黎倩倩,姚福义.基于 ISM 的预制构件生产风险因素分析[J].建筑经济,2020,41(4):116-120.

[7] 田登登,蒋黎晖,胡雅琴.基于 Fuzzy-AHP 的预制构件企业精益生产能力评价[J].土木工程与管理学报,

2019,36(5):175-180.

[8] 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.

[9] LUO L, SHEN G Q, XU G, et al. Stakeholder-associated supply chain risks and their interactions in a pre-fabricated building project in hong kong[J]. Journal of Management in Engineering, 2019, 35(2):94-107.

[10] LI C Z, HONG J, FAN C, et al. Schedule delay analysis of prefabricated housing production : a hybrid dynamic approach [J]. Journal of Cleaner Production, 2017: S0959652617320553.

[11] JI Y, QI L, LIU Y, et al. Assessing and prioritising delay factors of prefabricated concrete building projects in China[J].Applied Sciences, 2018,8(11):2324.

[12] DENG H, LIU J. Research on PC component quality risk evaluation based on intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 525(1):012043 (12pp).

[13] SHEN K, LI X, CAO X, et al. Research on the re-work risk core tasks in prefabricated construction in China[J]. Engineering Construction & Architectural Management, 2021, ahead-of-print(ahead-of-print).

[14] 高崇阳,邵辉,毕海普,等.电力建设项目风险管理的系统动力学模型[J]. 中国安全科学学报,2017, 27(10): 137-143.

Research on Risk Management of PC Component
Production Schedule Based on SD

WANG Shuqiang,GUI Jiaqi

(School of Civil Engin., Architecture and Environment , Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract: On the basis of literature analysis, the semi-structured interview method was used to identify 18 risk factors affecting the production schedule of PC components from four dimensions of personnel, material and equipment, technology and organization management, and the entropy weight method was used to determine the weight of risk indicators. The risk evaluation model based on system dynamics (SD) was built to further research risk transfer relationship between factors. Through dynamic simulation, the effect of different control measures to reduce risk value were compared and analyzed. The results show that in the organization and management risk production schedule is unreasonably settled, and the low level of information management has the greatest effect in the production progress of PC components. Aimed at the key risk factors, the countermeasures are put forward and reference for PC component production schedule risk study is provided.

Keywords: PC component; production schedule; system dynamics; risk management

[责任编辑:裴 琴]