

文章编号:2095-7386(2023)06-0070-07

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2023.06.010

EPC 模式下装配式建筑成本的影响因素分析

贾 改,李红民,方 圆

(武汉轻工大学 土木工程与建筑学院,武汉 430023)

摘 要:为了分析装配式建筑的成本影响问题,基于 EPC 模式通过文献研究法筛选出 20 个影响装配式建筑成本的因素,从设计、生产、运输、施工等几个方面构建了影响因素指标体系,基于系统动力学建立了 EPC 模式下的装配式建筑成本影响因素模型,分析设计与施工的一体化、设计同生产的融合性、生产与运输的沟通和运输与施工的协调这四个关键因素的变化对整体成本的影响,比较整体成本对四个关键因素的灵敏度差异,并根据分析结果提出成本控制措施。研究可为项目管理者进行成本控制提供一定参考。

关键词:装配式建筑;EPC 模式;系统动力学;成本管控

中图分类号:TU 711

文献标识码:A

Analysis of influencing factors of prefabricated construction cost under EPC model

JIA Gai, LI Hongmin, FANG Yuan

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: In order to analyze the cost impact of prefabricated buildings, this article selects 20 factors that affect the cost of prefabricated buildings based on the EPC model and literature research method. It constructs an indicator system of influencing factors from several aspects such as design, production, transportation, and construction, and establishes a system dynamics based model for the impact factors under the EPC mode. It analyzes the impact of the changes of four key factors: integration of design and construction, integration of design and production, communication between production and transportation and coordination between transportation and construction on the overall cost, and compares the sensitivity difference of the overall cost to the four key factors. The cost control measures are put forward according to the analysis results. The research can provide some reference for project managers to carry out cost control.

Key words: prefabricated buildings; EPC mode; system dynamics; cost control

1 引言

装配式建筑具有节能环保、提高建筑安全水平、化解产能过剩等一举多得的效果,国家大力推动装配式建筑发展的同时,成本过高也成为了阻碍其发

展的重要因素。在传统管理模式下装配式建筑发展出现了许多问题,如产业链不完整、各参与方无法发挥协同作用等,造成成本偏高^[1]。

目前,对于装配式建筑成本控制的研究主要是针对某一特定建设阶段。刘光忱等^[2]分析了设计、

收稿日期:2023-10-18.

作者简介:贾改(1998—),女,硕士研究生,E-mail:1182598816@qq.com.

通信作者:李红民(1973—),男,副教授,硕士,E-mail:hongmin@whpu.edu.cn.

采购运输和施工阶段成本控制存在的问题,然后逐个阶段提出成本控制措施;安凯歌等^[3]通过构建供应链交易成本的数学模型,从装配式建筑构件的交易成本角度探讨了造价管理;杨玉胜等^[4]运用了系统动力学方法,研究了设计阶段主导的装配式建筑成本节约策略。从以上研究中,我们可以得到装配式建筑不同建设阶段的造价控制措施,但基于装配式建筑产业链协同发展的特点,需要进一步探寻更适应装配式建筑的一体化集成管理和成本控制方法^[5]。

EPC 模式是设计 (engineering)—采购 (procurement)—施工 (construction) 模式的简称,该管理模式不同于传统模式的设计、生产、施工相分离,具有一体化承包特点,可以充分发挥装配式建筑的一体化管理优势^[6],在该管理模式下各个建设环节是交叉的,不同阶段的影响因素也存在潜在的关联。系统动力学 (System Dynamics, SD) 是一门根据信息反馈展开分析和研究的学科,对于问题的认识及解决具有综合性,该研究方法可以将不同部分的变量联系起来。因此,笔者将 EPC 模式与 SD 研究方法相结合,先使用文献研究法筛选不同建设阶段 EPC 模式下装配式建筑成本的影响因素,然后运用系统动力学的研究方法把系统各因素有机结合起来,通过对各因素间的逻辑关系进行分析,从而对系统进行整体研究,为项目管理者们提供参考和协助^[7]。

2 方法

2.1 系统动力学研究方法

系统动力学是通过定性结合定量的方法解决问题,借助计算机模拟手段,将影响因素间存在的逻辑关系通过因果关系图展现出来,也可以把因果关系图转化为存量流量图,在后者中对变量进行定量分析,利用公式进行变量之间关系的定义^[8]。该方法注重系统的整体性,使不同子系统内的变量可以联系起来。

装配式建筑的成本影响因素涉及到设计阶段、构件生产阶段、运输阶段、施工阶段以及政策的支持程度等方面,这些部分之间并非单独存在,彼此之间存在关联性。因此,笔者运用系统动力学理论建立模型,然后进行软件仿真、结果分析,最后根据结果提出针对性、可行性的建议。

2.2 模型的边界分析

笔者以 EPC 总承包商的视角对装配式建筑成本进行研究,影响装配式建筑成本的因素涉及多个方面,为了便于系统建模仿真,主要选取装配式建筑主体建设阶段和宏观政策对装配式建筑成本的影响

因素,除分析各阶段内的影响因素外,还综合考虑不同建设阶段间的相互影响作用,细化模型边界,构建以设计阶段、生产阶段、运输阶段、施工阶段和其他政策系统为边界的系统动力学模型^[9]。图 1 反映了装配式建筑成本系统仿真的理论模型。

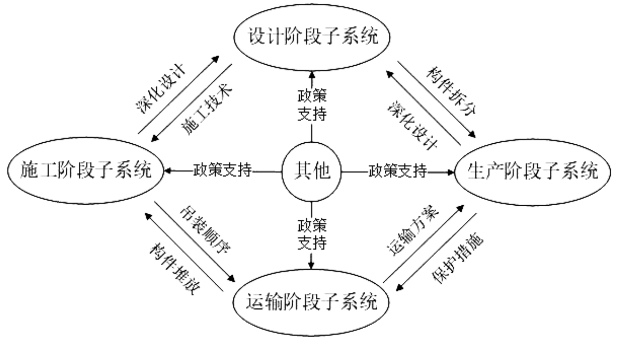


图 1 EPC 模式下装配式建筑成本影响理论模型
Fig. 1 The influence theory model of prefabricated building cost under EPC mode

在每个子系统内都有着一系列的变量,采用文献分析法来确定子系统内的变量。通过线上的文献数据库检索主题为“装配式建筑”和“EPC”等近 3 年的文献,收集到 156 篇文章,最终挑选出 22 篇与本文研究主题相关的文献进行归纳总结,依据相应原则选取确定高频关键词,再从中选取频数不低于 7 次的影响因素,最后选取其中的 20 个组成 EPC 模式下装配式建筑成本的影响因素,如表 1 所示。将 20 个影响因素归入五个子系统中,形成了 EPC 模式下装配式建筑成本的影响指标体系,如图 2 所示,指标体系即为本模型的系统边界。

表 1 影响因素识别统计表

Table 1 Influencing factors identification statistical table		
序号	影响因素	频数
1	设计的标准化程度	10
2	预制率与装配率	16
3	设计人员水平	9
4	构件拆分的合理性	8
5	设计同生产的融合性	11
6	模具周转率	10
7	生产技术水平	16
8	构件厂的生产规模	14
9	生产与运输的沟通	11
10	构件装运的保护措施	10
11	运输距离	11
12	运输效率	16
13	运输与施工的协调	12
14	施工工艺水平	9
15	施工工人技术	14

续表

序号	影响因素	频数
16	机械设备的合理使用	12
17	设计与施工的一体化	11
18	政策支持力度	7
19	产业链完整度	8
20	行业标准的完整度和规范性	7

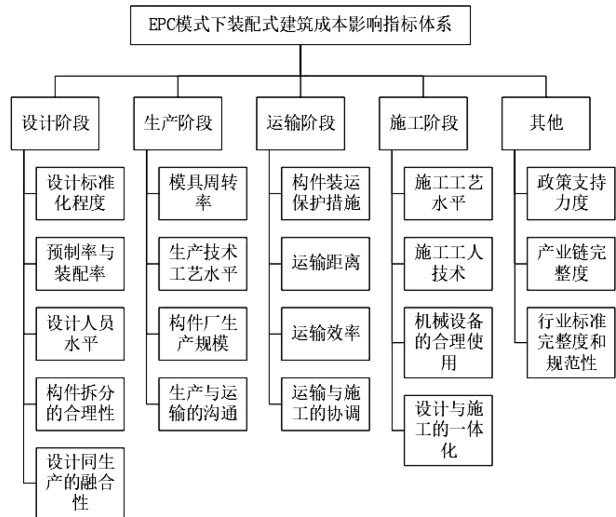


图 2 影响因素指标体系

Fig. 2 Index system of influencing factors

3 模型的建立

根据系统动力学原理,参考相关文献,将上述 20 个影响因素进行逻辑整合,运用系统动力学 Vensim_PLE 软件构建 EPC 模式下装配式建筑成本的影响模型,其因果关系如图 3 所示,图中的“+”表示箭头指向的目标变量会随着来源变量的变化趋势而有相同的改变,“-”则相反。

3.1 因果回路分析

在 EPC 项目管理模式下,总承包是负责一个完整的工程项目,因此各个阶段主体之间统一的规划与协调对整个项目的价值最大化起着至关重要的作用,这也是 EPC 管理模式与其他项目管理模式的显著区别^[10]。

在前文所述的影响因素中,设计与施工的一体化、设计同生产的融合性、生产与运输的沟通和运输与施工的协调这四个影响因素是设计、生产、运输和施工四个建设阶段之间相关联的直接体现。以下针对上述四个影响因素进行因果回路分析。

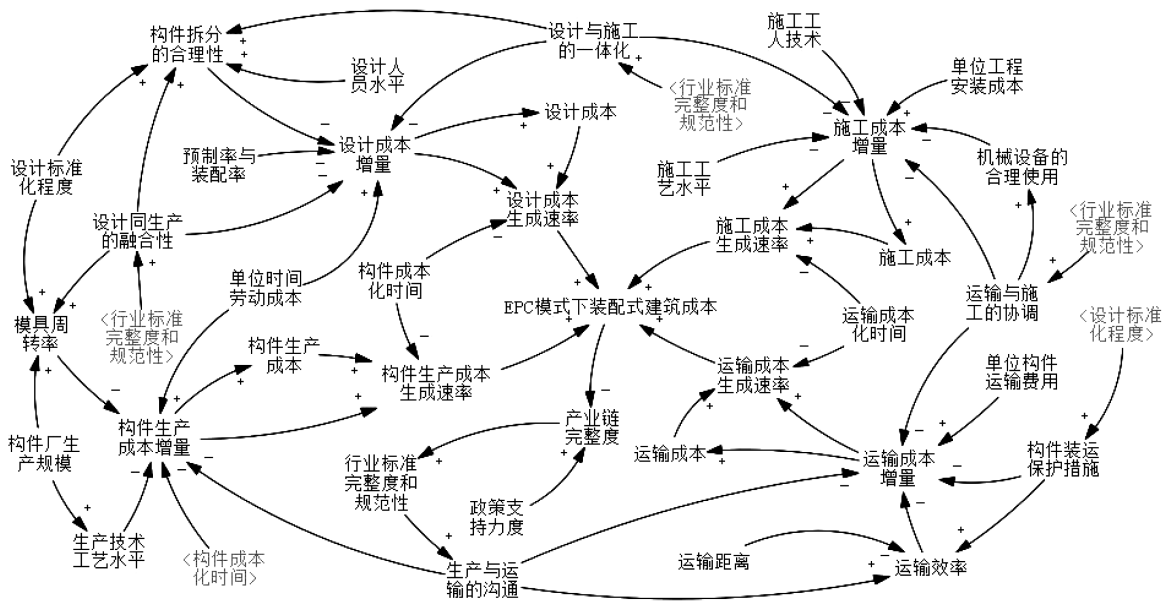


图 3 EPC 模式下装配式建筑成本的影响因果回路图

Fig. 3 Causal loop diagram of prefabricated building cost influence under EPC mode

3.1.1 设计与施工

设计与施工的一体化的主要反馈回路为:设计与施工的一体化(+) $\rightarrow$ 构件拆分的合理性(-) $\rightarrow$ 设计成本增量(+) $\rightarrow$ 设计成本生成速率(+) $\rightarrow$ EPC 模式下装配式建筑成本(-) $\rightarrow$ 产业链完整度(+) $\rightarrow$ 行业标准完整度和规范性(+) $\rightarrow$ 设计与施工的一

体化。

该反馈回路是正反馈回路,主要反映设计与施工的一体化对构件拆分和深化设计的促进作用,从而降低 EPC 模式下装配式建筑的成本,进而促进产业链的发展,而相对成熟的产业链会进一步促进设计与施工的一体化。

3.1.2 设计与生产

设计同生产的融合性的主要反馈回路为:设计同生产的融合性(+) $\rightarrow$ 模具周转率(-) $\rightarrow$ 构件生产成本增量(+) $\rightarrow$ 构件生产成本生成速率(+) $\rightarrow$ EPC 模式下装配式建筑成本(-) $\rightarrow$ 产业链完整度(+) $\rightarrow$ 行业标准完整度和规范性(+) $\rightarrow$ 设计同生产的融合性。

该反馈回路是正反馈回路,主要反映设计同生产的融合性通过促进模具周转率的提高来降低 EPC 模式下装配式建筑的成本,进而促进相关产业链的发展,提高设计人员水平,从而进一步促进设计同生产的融合性。

3.1.3 生产与运输

生产与运输的沟通的主要反馈回路为:生产与运输的沟通(+) $\rightarrow$ 运输方案(-) $\rightarrow$ 运输成本增量(+) $\rightarrow$ 运输成本生成速率(+) $\rightarrow$ EPC 模式下装配式建筑成本(-) $\rightarrow$ 产业链完整度(+) $\rightarrow$ 行业标准完整度和规范性(+) $\rightarrow$ 构件装运保护措施(+) $\rightarrow$ 运输方案(+) $\rightarrow$ 生产与运输的沟通。

该反馈回路是正反馈回路,主要反映生产与运

输的沟通可以通过优化运输方案来降低 EPC 模式下装配式建筑的成本,然后促进相关产业链的发展,进而改善构件装运保护措施,进一步优化运输方案,促进生产与运输的沟通。

3.1.4 运输与施工

运输与施工的协调的主要反馈回路为:运输与施工的协调(+) $\rightarrow$ 机械设备的合理使用(-) $\rightarrow$ 施工成本增量(+) $\rightarrow$ 施工成本生成速率(+) $\rightarrow$ EPC 模式下装配式建筑成本(-) $\rightarrow$ 产业链完整度(+) $\rightarrow$ 行业标准完整度和规范性(+) $\rightarrow$ 运输与施工的协调。

该反馈回路是正反馈回路,主要反映运输与施工的协调可以提高现场管理水平,进而提升施工现场机械设备的合理使用率,降低 EPC 模式下装配式建筑的成本,促进相关产业链的发展,又进一步促进了运输与施工的协调。

3.2 系统存量流量图的构建

在整个因果回路图的基础上,综合考虑因果关系的分析结果,添加新的常数变量和速率变量,结合输出结果的需要,构建 EPC 模式下装配式建筑成本影响因素的存量流量图,如图 4 所示。

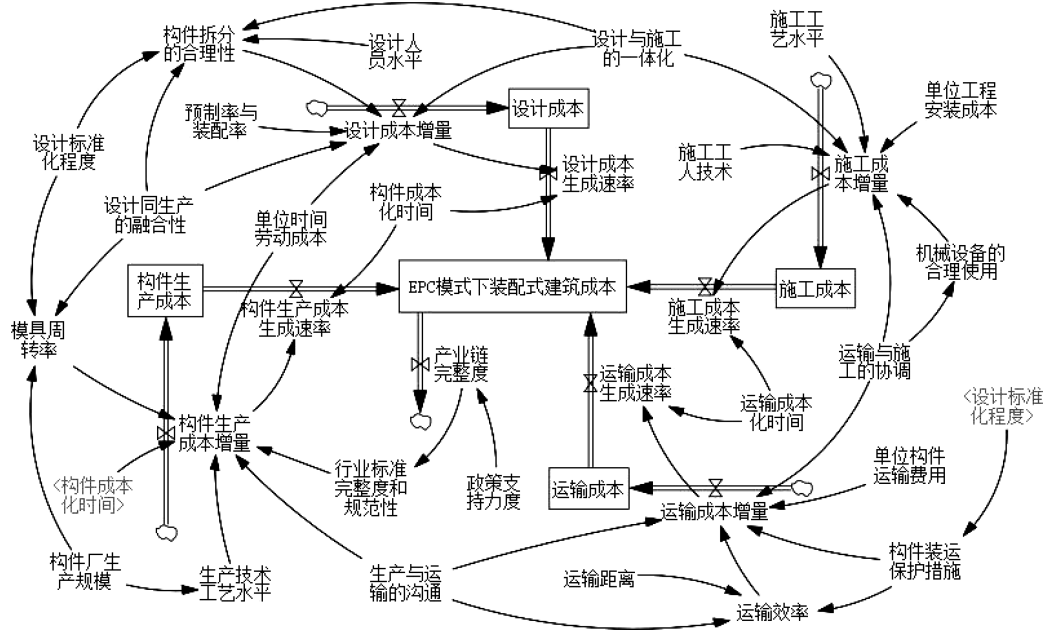


图 4 EPC 模式下装配式建筑成本影响因素的存量流量图

Fig. 4 Inventory flow diagram of prefabricated building cost influence factors under EPC mode

4 模型仿真与结果分析

4.1 样本数据

某公共建筑项目总面积达 62 401.91 平方米,该项目采用整体方案设计—结构分析—预制构件深化设计的方案,同时使用建筑信息技术来实现预制

构件规模化的工业生产,采用装配整体式预制框架—现浇剪力墙结构体系,预制构件总数达到 5 788 件,预制混凝土体积为 3 538.5 立方米。

4.2 模型变量

模型中的变量说明如表 2 所示。

表 2 存量流量图变量说明

Table2 Inventory flow diagram variable description

变量类型	编号	变量名称	单位	备注
状态变量	L1	EPC 模式下的装配式建筑成本	万元	初始值为 50
	L2	设计成本	万元	初始值为 0
	L3	构件生产成本	万元	初始值为 0
	L4	运输成本	万元	初始值为 0
	L5	施工成本	万元	初始值为 0
速率变量	R1	设计成本增量	万元/周	—
	R2	设计成本的生成速率	万元/周	—
	R3	构件生产成本增量	万元/周	—
	R4	构件生产成本的生成速率	万元/周	—
	R5	运输成本增量	万元/周	—
	R6	运输成本的生成速率	万元/周	—
	R7	施工成本增量	万元/周	—
	R8	施工成本的生成速率	万元/周	—
辅助变量	A1	设计标准化程度	—	[−2,2]
	A2	预制率与装配率	—	[−2,2]
	A3	设计人员水平	—	[−2,2]
	A4	设计同生产的融合性	—	[−2,2]
	A5	生产与运输的沟通	—	[−2,2]
	A6	构件成本化时间	周	设定值为 1
	A7	运输同施工的协调	—	[−2,2]
	A8	运输成本化时间	周	设定值为 1
	A9	单位构件的运输费用	万元/立方米	0.117
	A10	施工工艺水平	—	[−2,2]
	A11	施工工人技术	—	[−2,2]
	A12	设计和施工的一体化	—	[−2,2]
	A13	单位工程的安装费用	万元/立方米	0.096
	A14	政策支持力度	—	[0,2]
	A15	产业链完整度	—	[0,2]
	A16	行业标准的完整度和规范性	—	[0,2]

4.3 参数及方程设置

本模型中设定大部分变量的取值范围为 [−2,2],在模拟中如果取到负值,则表示该变量在实际生产中低于正常水平,如果取到正值,则表示该变量在实际生产中高于正常水平。如目标变量设计与施工的一体化取值为−1 时,表示设计阶段与施工阶段脱轨,无法实现设计在建设过程中的关键引导作用以及施工方对设计的反馈;当取值为+1 时,表示设计与施工两个阶段有着较高程度的结合,对总成本的减少有着较大的积极作用。

为确保模型仿真的科学性以及数量逻辑的准确

性,文中部分变量取值来自于湖北省住房和城乡建设厅等官方网站发布的装配式建筑工程消耗量定额及基价表相关文件和材料数据^[11]。

部分参数取值如下:

(1)单位构件运输费用=(66.17 元/平方米×62 401.91 平方米)/3 538.5 立方米≈0.117 万元/立方米

(2)单位工程安装费用=(54.43 元/平方米×62 401.91 平方米)/3 538.5 立方米≈0.096 万元/立方米

(3)Initial Time=0 周,表示模拟仿真的开始时

间;Final Time=52 周,表示模拟的终止时间;Time Step=1 周,表示模拟的时间步长,并将时间步长作为模型仿真的输出频率;将构件成本化时间和运输成本化时间设定为 1 周。

模型的主要方程如下:

(1)EPC 装配式建筑项目总成本=INTEG(设计成本生成速率+构件成本生成速率+运输成本生成速率+施工成本生成速率-产业链完整度,50)

(2)设计成本=INTEG(设计成本增量-设计成本生成速率,0)

(3)设计成本增量=单位时间劳动力成本-构件拆分的合理性-预制率与装配率-设计同生产的融合性-设计和施工的一体化

(4)设计成本生成速率=DELAY MATERIAL(设计成本增量,构件成本化时间,1,0)

(5)构件生产成本=INTEG(构件成本增量-构件成本生成速率,0)

(6)构件生产成本增量=构件成本化时间×单位时间劳动力成本-生产技术工艺水平-模具周转率-生产与运输的沟通-行业标准完整度和规范性

(7)构件成本生成速率=DELAY MATERIAL(构件生产成本增量,构件成本化时间,1,0)

(8)运输成本=INTEG(运输成本增量-运输成本生成速率,0)

(9)运输成本增量=单位构件运输费用×运输效率-构件装运保护措施-运输同施工的协调-生产与运输的沟通

(10)运输成本生成速率=DALAY MATERIAL(运输成本增量,运输成本化时间,1,0)

(11)施工成本=INTEG(施工成本增量-施工成本生成速率,0)

(12)施工成本增量=单位工程安装成本-施工工艺水平-施工工人技术-机械设备的合理使用-设计和施工的一体化-运输与施工的协调

(13)施工成本生成速率=DALAY MATERIAL(施工成本增量,运输成本化时间,1,0)

4.4 模型检验

在进行模型其他检验之前,需要检验变量单位的量纲是否合理。用软件自带的工具来完成量纲的检验,如有误,需要检查调整,直至出现“Model is OK”则量纲的一致性通过检验。

进行系统动力学模型稳定性检验时,需要在不同步长下通过测试模型的系统稳定程度来实现。分

别测试 current1(Time Step=2 周)和 current2(Time Step=3 周)两种运行情景,将 EPC 模式下装配式建筑成本作为研究目标,结果如图 5 所示。从图 5 的结果可以得出模拟时间间隔的变化未对研究目标造成较大的影响,这说明该模型有着较好的稳定性。

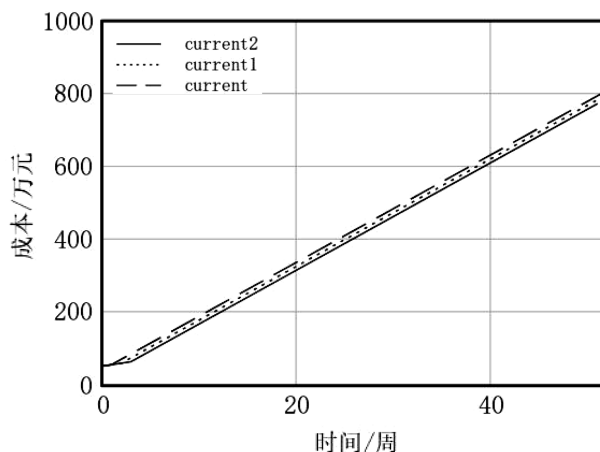


图 5 模型稳定性检验结果

Fig. 5 Model stability test results

4.5 模型运行结果分析

对模型进行敏感性分析可以得到检验目标对系统内部不同因素的敏感程度,也可以通过改变某个参数的值找出影响装配式建筑成本的关键因素^[12]。本研究的检验目标是将设计与施工的一体化、设计同生产的融合性、生产与运输的沟通和运输与施工的协调四项影响因素对 EPC 模式下装配式建筑成本的影响进行灵敏度分析,按照单一变量法依次模拟,整合得到的结果如图 6/7 所示。

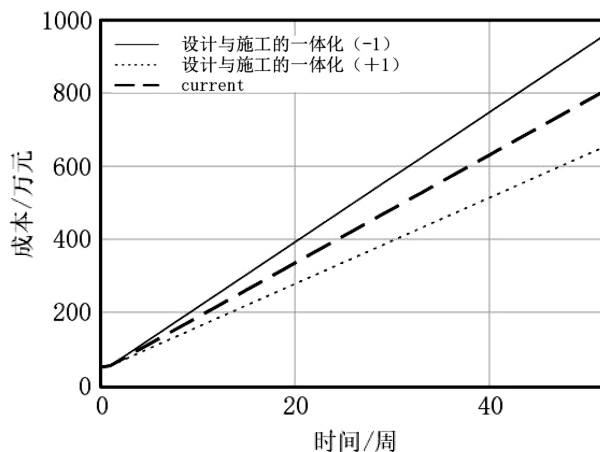


图 6 设计与施工一体化不同影响度下的成本

Fig. 6 The cost under different integration of design and construction

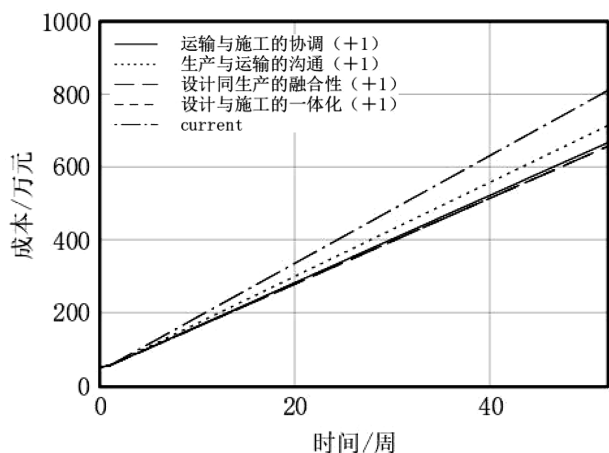


图7 成本对四个影响因素的敏感性比较

Fig. 7 Sensitivity comparison of cost to four influencing factors

通过分析图6可以发现,当EPC模式下装配式建筑设计与施工的一体化程度低于正常生产建设时,成本比正常情况下的要高,而当两者的一体化程度高于正常情况时,EPC模式下装配式建筑的成本会降低。这说明在EPC模式下,装配式建筑设计阶段与施工阶段的联系越紧密,成本就越低。一方面,设计与施工的一体化可以通过施工方返回深化设计信息来提升构件拆分的合理性;另一方面,设计方将构件连接设计参数更加完备地提供给施工方也会相应地降低成本,而且随着项目时间的推进,成本差异会越来越显著。

通过分析图7可以发现,运输与施工的协调、生产与运输的沟通、设计同生产的融合性和设计与施工的一体化都能有效降低EPC模式下装配式建筑的成本。其中,设计同生产的融合性和设计与施工的一体化对成本的影响曲线几乎融合为一条,这两者对成本的影响也最大,运输与施工的协调对成本的影响也较大,生产与运输的沟通在四个影响因素中对成本的影响最小。

5 结论

从EPC模式下装配式建筑各阶段之间的关联出发,建立系统动力学模型,通过改变体现各阶段之间联系变量的取值,对系统动力学模型进行仿真分析,研究变量取值的变化对总成本造成的影响。结果表明:提升设计与施工的一体化、设计同生产的融合性、生产与运输的沟通和运输与施工的协调均对降低EPC模式下装配式建筑的成本有着积极有效

的作用,其中,设计与生产的融合性和设计与施工的一体化对降低成本的影响最大,运输与施工的协调对成本结果的影响较大,生产与运输的沟通则影响较小。同时,由因果回路图可以看出这四个影响因素扩展到了整个产业链,由此可提出以下几点建议。

(1)提升设计主导地位,加强设计在构件生产与施工阶段的作用。一方面,装配式建筑的设计质量会影响预制构件的生产效率以及模板的重复使用率,这对构件拆分和设计的标准化提出了更高的要求;另一方面,构件的设计方案也是现场安装施工是否便利的关键。同时,构件生产方和施工方可多与设计方进行沟通,设计联合生产、施工提前介入,从整体设计到局部优化,能对深化设计提供有效帮助。

(2)加强施工现场管理,精简构件在运输和吊装之间的调度。吊装施工是装配式建筑区别于传统现浇建筑的显著特征之一,其大幅提升了大型机械使用费的造价占比。为降低此项成本,施工现场管理人员需提前规划安装施工的顺序,与运输方协调构件运输到场地后放置的地点以及堆放顺序,以便减少安装施工时对大型机械的非必要转运。

(3)注重构件运输过程中构件的保护措施。构件从生产场地运输到施工现场的过程中,保护不当会引起构件的损坏,造成不必要的造价提升。因此构件生产方应与运输方做好交接工作,制定合理的运输方案,沟通指导运输方做好构件的装运保护措施,减少构件的生产成本与运输成本。

参考文献:

- [1] 梁献超,王大伟,戴军,等. EPC模式下装配式建筑项目成本管控研究——以某保障房项目为例[J]. 建筑经济, 2021, 42(11): 56-60.
- [2] 刘光忱, 蔺腾飞, 朱甜. EPC模式下装配式建筑成本控制研究[J]. 建设监理, 2022(01): 61-64.
- [3] 安凯歌, 王晓维, 廖小青. EPC模式下装配式建筑供应链交易成本研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(09): 49-53.
- [4] 杨玉胜, 周斯仪. 装配式建筑设计阶段基于系统动力学的成本管控研究[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2022, 19(02): 138-146.
- [5] 邹迎辉. EPC模式下装配式建筑成本控制研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(11): 47-51.

(下转第118页)

- 134-137.
- [7] 周玄德. 旅游文化类课程实践教学融入思政元素的探索[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版), 2023, 20(02): 157-160.
- [8] 邱仁富. “课程思政”与“思政课程”同向同行的理论阐释[J]. 思想教育研究, 2018(4): 109-113.
- [9] 武淑平, 吕波. 基于“三位一体”案例的本科管理类课程思政教学模式研究[J]. 高教学刊, 2023, 9(05): 137-140.
- [10] 宋耘. 哈佛商学院“案例教学”的教学设计与组织实施[J]. 高教探索, 2018(7): 43-47.
- [11] 王晓红, 马春运, 刘倩倩, 等. 基于多模式全过程动态优化的研究生课程思政教学探索与实践[J]. 包装工程, 2022, 43(S2): 77-80.
- [12] 吴亮, 刘国英. 高校软件类课程思政教学改革路径[J]. 教育理论与实践, 2023, 43(30): 38-42.
- [13] 金剑琳, 李朝阳. 新时期高校思政教育落实立德树人任务的策略[J]. 山西财经大学学报, 2022, 44(S2): 57-60.

(上接第 76 页)

- [6] 郭海滨, 宋明珠, 张逸然, 等. EPC 模式下装配式建筑项目进度风险评价研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2022, 38(05): 633-640.
- [7] 齐奕, 顾勇新. 装配式建筑 EPC 总包管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [8] 钟永光, 贾晓菁, 钱颖, 等. 系统动力学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [9] 刘伟, 江振松. 基于系统动力学的装配式建筑产业发展研究[J]. 华东交通大学学报, 2021, 38(02): 8-16.
- [10] 张盼. “双碳”目标下 EPC 装配式建筑项目成本管理研究[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2022.
- [11] 湖北省住房和城乡建设厅. 关于发布《湖北省房屋建筑与装饰工程消耗量定额及全费用基价表》等 8 项定额的通知[EB/OL]. [2023-09-20]. http://zjt.hubei.gov.cn/zfxxgk/zc/qtzdgkwj/202011/t20201103_2997027.shtml
- [12] 张跃斌, 易欣, 宋璋玉, 等. 基于 SD 的装配式建筑施工安全监管演化博弈研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(03): 149-155.