

文章编号:1005-0523(2021)02-0008-09

基于系统动力学的装配式建筑产业发展研究

刘伟,江振松

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:为了更科学地对装配式建筑产业发展政策进行研究,从产业链发展的角度出发,构建了装配式建筑产业链发展的系统动力学模型。选取4个具有典型性的政策变量进行仿真模拟。结果显示:产业链资金投入的增加与提高政府投资建设项目预制装配率为短期强有效的激励政策,而企业税收优惠和装配式建筑购置贷款优惠是长期激励政策。结合模拟仿真结果,提出基于产业链发展趋势的政策制定建议。

关键词:装配式建筑;产业链;系统动力学;政策仿真

中图分类号:F202

文献标志码:A

本文引用格式: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(2):8-16.

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.20210416.011

Research on the Industry Development of Prefabricated Building Based on System Dynamics

Liu Wei, Jiang Zhensong

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to study the development policy of prefabricated building industry more scientifically, from the perspective of industrial chain development, the prefabricated building industrial chain development system dynamics model was established, and four typical policy variables were selected for simulation. The results show that: the increase of industrial chain capital input and the improvement of prefabricated assembly rate of government-invested construction projects are short-term strong and effective incentive policies; enterprise tax incentives and prefabricated building purchase loan incentives are long-term incentive policies. Combined with the simulation results, the policy formulation suggestions based on the development trend of the industrial chain are put forward.

Key words: prefabricated building; industrial chain; system dynamics; policy simulation

Citation format: LIU W, JIANG Z S. Research on the industry development of prefabricated building based on system dynamics[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(2): 8-16.

装配式建筑在20世纪五六十年代首次引入我国,1956年国务院首次发布了关于装配式建筑的政策性文件《关于加强和发展建筑工业的决定》,此后

全国各地预制构配件厂雨后春笋般出现,但这种发展热潮仅仅持续了十余年。改革开放以后,随着国民经济的提升,装配式建筑的发展又迎来一波新的

收稿日期:2020-12-18

基金项目:江西省社会科学基金项目(20GL20);江西省人文社科基金项目(GL19102)

作者简介:刘伟(1982—),男,副教授,博士,研究方向为绿色建筑,项目管理。E-mail:liuweijx@163.com。

通信作者:江振松(1995—),男,硕士研究生,研究方向为装配式建筑。E-mail:1264536975@qq.com。

热潮,但是由于装配式建筑技术、质量问题未能得到很好的解决,且当时现浇施工技术发展较为成熟,使得装配式建筑失去与之竞争的能力,装配式建筑的发展又再次变得缓慢下来。自1999年起,装配式建筑再次得到国家的重视,国务院发布了《关于推进住宅产业现代化提高住宅质量的若干意见》,装配式建筑又进入一个新的发展阶段。

目前国内学者对装配式建筑发展政策的研究也在日益深化,如齐园等^[2]运用TOPSIS熵权法分析评价区域政策力度和政策工具演变情况,并提出相关装配式建筑发展政策建议。金占勇等^[3]通过建立政府-建设单位-消费者三方的博弈模型,得出应从税收优惠、财政补贴和金融支持等政策方面对建设单位和消费者进行激励。刘晓君等^[4]从装配式建筑开发意愿的角度出发,研究制定政府推广政策。刘贵文等^[5]从政策工具的视角展开研究,运用内容分析法,对国家装配式建筑政策文本进行计量和分析,为完善建筑政策体系提出建议。根据以往学者对装配式发展政策研究结果,可以发现国内大多数学者的研究均从政策对装配式建筑产业发展影响的定性角度出发,忽略了装配式建筑产业发展具有受政策影响时效的系统动态变化特性。而产业链作为产业发展而产生的产业聚集产物^[6],能够准确地对产业发展趋势进行动态展示,以产业链为视角对建筑业发展进行研究,已经成为国外学者的研究热点,例如Du等^[7],Kainer等^[8],Yulia等^[9],Burlotos等^[10]学者分别从产业链的产业联盟、伙伴关系链、供应链、价值链等属性对建筑产业链进行研究,以期找到适合当下社会环境的建筑业发展模式。

系统动力学作为研究复杂系统的结构、功能与行为之间动态的辩证对立统一关系的一门学科^[11],可以有效解决系统性的问题,动态反映系统内部各个因素之间的反馈关系^[12],已经广泛应用于建筑行业中的住房需求^[13]、建筑废弃物处理^[14]、绿色住宅市场^[15]、绿色建筑成本效益估算^[16]、建筑能源消费预测^[17]等领域中。

因此,借鉴已有的研究结果,将系统动力学理论引入装配式建筑产业链的发展研究中,通过建立系统动力学模型,进行政策变量的模拟仿真分析,以期为我国装配式建筑产业发展政策的制定提供参考。

1 模型边界及因果回路分析

1.1 模型的边界分析

装配式建筑产业链的发展涉及的主体多且复杂,主要包括政府部门,投资商,消费者^[18],以及产业链内部的上中下游企业,例如上游企业的原材料生产企业、建筑设计企业、建筑设备制造企业等,中游企业的构件生产企业、运输企业以及施工企业等,下游企业主要包括装配式建筑销售企业、物业管理企业等^[19]。为了便于系统建模仿真,主要选取产业链外部主体对装配式建筑产业链发展的影响,并在其基础上综合考虑不同类型的政府政策对产业链内部的影响作用,进一步细化模型边界,构建以资源投入、技术研发、生产能力和市场需求系统为边界的SD模型。图1反映了装配式建筑产业链发展系统仿真的理论模型。

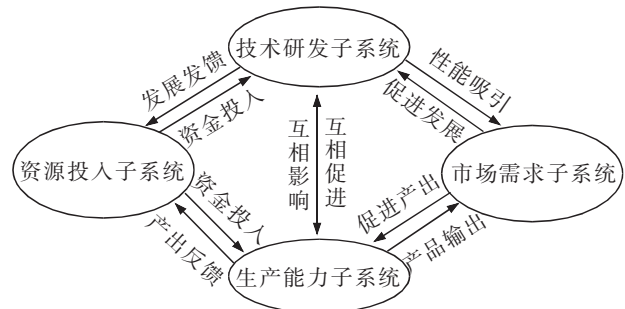


图1 装配式建筑产业链发展理论模型
Fig.1 Theoretical model for the development of prefabricated construction industry chain

1.2 因果回路分析

将上述4个子系统整合到一起,运用系统动力学 Vensim-PLE 软件构建复合系统的因果回路图,如图2所示。因果回路图是建立系统流图的基础,是对整个系统内变量的定性分析,通过对各个子系统的反馈回路进行分析,可以明晰每个元素对其它元素的作用机理。

1.2.1 资源投入子系统

装配式建筑产业链的发展主要靠政府与社会投资企业通过投入资源的方式促进发展,在装配式建筑产业发展的初期,所有的物料资源相对于市场而言可认为是无限制的;因此主要研究资金的投入对产业链发展的影响。考虑到资金的来源,将装配式产业链发展的资源投入子系统分为投资开发商投资和政府资金投入2个部分。投资开发商主要是

术发展水平会导致质量性能水平的下降,从而产生装配式建筑产品的质量问題,在一定程度上限制产业链的发展;因此开发商会相应地提高在技术研发上的投资比例,从而促进技术研发。

1.2.3 生产能力子系统

体现装配式建筑产业链发展快慢的主要途经之一就是产业链内部企业将投入资源转化为装配式建筑产品能力的强弱;因此在装配式建筑产业链发展过程中,生产能力子系统是至关重要的因素。

生产能力子系统主要反馈回路如下。

装配式建筑产业基地数量(+) \rightarrow 产业链发展水平(+) \rightarrow 装配式建筑开工面积(+) \rightarrow 装配式建筑总产值(+) \rightarrow 政府支持力度(+) \rightarrow 产业成熟度(+) \rightarrow 装配式建筑产业基地数量。

该反馈回路为正反馈回路,主要反映装配式建筑产业基地数量的增加促进产业链的发展,刺激总产值的提升,进而影响政府对装配式建筑产业的支持力度。

1.2.4 市场需求子系统

市场对于装配式建筑的需求量越大越能激励企业发展,促进技术创新。我国装配式建筑市场目前处于快速发展阶段,在加速产业链发展过程中,市场需求可以起到保证产业发展活力的作用。政府部门一般通过以点带面,引导需求等方式扩大消费

者市场对于装配式建筑的需求量,本文将市场需求子系统分为政府需求和消费者需求 2 个部分。

市场需求子系统主要反馈回路如下。

1) 市场需求(+) \rightarrow 装配式建筑销售面积(+) \rightarrow 装配式建筑经济效应(+) \rightarrow 政府支持力度(+) \rightarrow 政府需求(+) \rightarrow 市场需求。

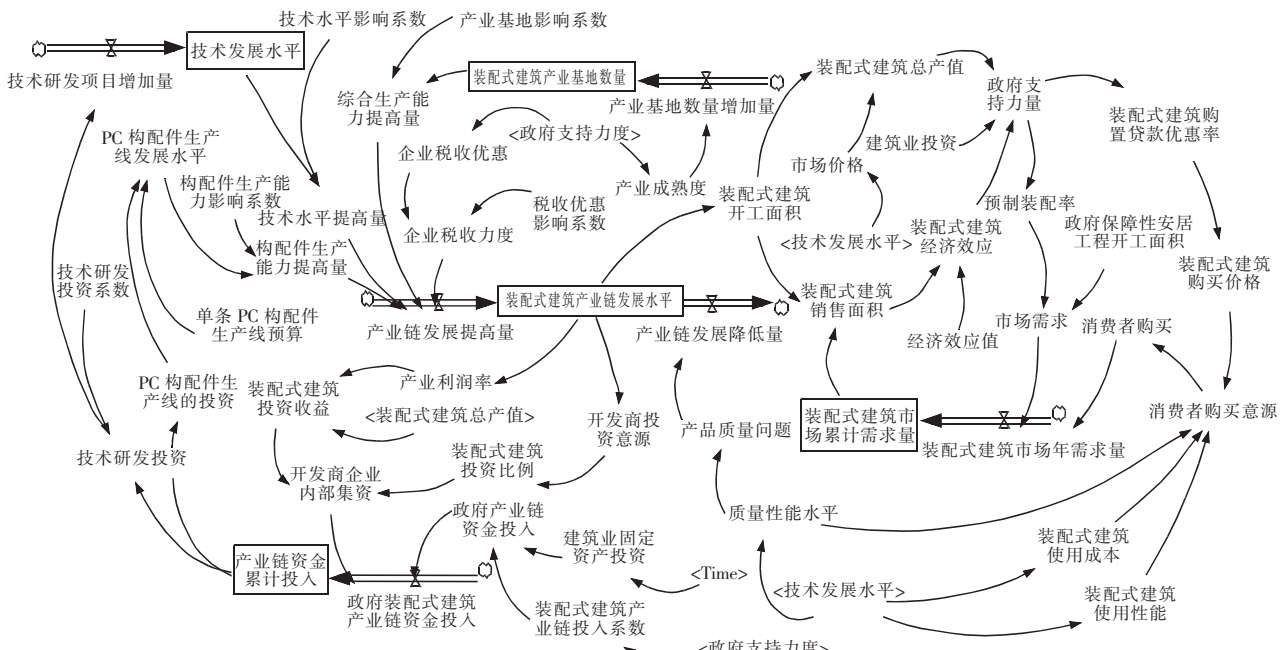
该反馈回路为正反馈回路,主要反映市场需求对经济促进作用,推动政府对装配式建筑的支持力度,扩大政府投资建设项目对装配式建筑的需求量。

2) 市场需求(+) \rightarrow 装配式建筑销售面积(+) \rightarrow 装配式建筑经济效应(+) \rightarrow 政府支持力度(+) \rightarrow 装配式建筑购置贷款优惠率(+) \rightarrow 购买价格(+) \rightarrow 消费者购买意愿(+) \rightarrow 消费者购买(+) \rightarrow 市场需求。

该反馈回路为正反馈回路,主要反映市场需求通过对经济的影响,扩大政府支持力度,使得装配式建筑购买价格对消费者更有吸引力,从而加大市场需求量。

2 系统存量流量图的构建

基于对上述 4 个子系统因果关系分析,在整个因果回路图的基础上,综合考虑评价指标输出结果的需要,将系统中的各个变量进行分类,并添加新的辅助变量和常数变量,构建装配式建筑产业链发展的存量流量图,如图 3 所示。



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

图 3 装配式建筑产业链发展存量流量图

Fig.3 Stock flow chart of prefabricated construction industry chain development

2.1 变量说明

考虑到系统流图变量的复杂性,选取重要变量

进行详细说明,如表 1 所示,其中 L 表示状态变量, R 表示速率变量, A 表示辅助变量。

表 1 存量流量图变量说明
Tab.1 Stock flow chart variable description

| 编号 | 变量名 | 包含指标 | 单位 | 区间 |
|-----|---------------|-------------------------------|------------------|--------|
| L1 | 技术发展水平 | 总的技术研发项目数量 | 项 | [0,∞] |
| L2 | 装配式建筑产业基地数量 | 国家级、省级产业化基地、产业园 | 个 | [0,∞] |
| L3 | 产业链资金累计投入 | 投入在装配式建筑产业链的所有资金 | 亿元 | [0,∞] |
| L4 | 装配式建筑产业链发展水平 | 体现技术、生产能力等水平的综合指标 | - | [-1,1] |
| L5 | 装配式建筑市场需求量 | 建筑市场对装配式建筑的需求量 | 万 m ² | [0,∞] |
| R1 | 技术研发项目增加量 | 综合指标 | 项 | [0,∞] |
| R2 | 产业基地数量增加量 | 综合指标 | 个 | [0,∞] |
| R3 | 装配式建筑产业链资金投入 | 综合指标 | 亿元 | [0,∞] |
| R4 | 产业链发展提高量 | 综合指标 | - | [-1,1] |
| R5 | 产业链发展降低量 | 综合指标 | - | [-1,1] |
| A1 | 技术研发投资系数 | 技术研发投资在总投资的所占比例 | - | [0,1] |
| A2 | PC 构配件生产线发展水平 | PC 构配件生产线的数量、生产能力等 | 条 | [0,∞] |
| A3 | 开发商投资意愿 | 建筑开发商对装配式建筑产业链发展水平的反应程度 | - | [0,∞] |
| A4 | 装配式建筑投资比例 | 装配式建筑投资占开发商在整个建筑市场投资的比例 | - | [0,1] |
| A5 | 政府支持力度 | 政策导向 | - | [0,∞] |
| A6 | 装配式建筑产业链投入系数 | 政府投入在装配式建筑产业链的资金与投入在整个建筑行业的比值 | - | [0,1] |
| A7 | 企业税收优惠 | 政府给产业链企业的税收优惠程度 | - | [0,1] |
| A8 | 产业成熟度 | 成熟装配式建筑产业基地占总数的比例 | - | [0,1] |
| A9 | 装配式建筑经济效应 | 销售每万平米装配式建筑给国家经济带来的额外经济效应 | 亿元 | [0,∞] |
| A10 | 消费者购买意愿 | 建筑市场消费者对装配式建筑认可程度 | - | [0,1] |

2.2 参数及变量方程设定

为进一步对系统变量间的关系进行定量化研究,以及确保数据的真实性和仿真结果的科学性,文中数据主要来源于 2011—2019 年的中国统计年鉴、中国装配式建筑网、中国住房和城乡建设部等官方网站。对于模型中各个参数的赋值主要根据权威网站发布的数据、专家咨询打分估计和已有的研究结果来设置,见表 2。系统中各个变量之间的

关系主要采用数学方法中的回归分析法、统计分析法、趋势外推法对数据进行拟合分析并给出科学合理的方程,对于很难用简单的线性关系描述的变量采用表函数的方法进行赋值。主要的方程式如下。

- 1) 装配式建筑产业链发展水平=INIEG(产业链发展提高量-产业链发展降低量,0);
- 2) 政府需求=政府保障性安居工程开工面积×预制装配率;

表 2 系统主要参数赋值
Tab.2 Main parameters' assignment of the system

| 参数 | 取值 | 数据来源 |
|-----------------------------------|------------------|----------------------|
| 单条 PC 构配件生产线预算/(亿元/条) | 1.2 | 中国装配式建筑网 |
| 建筑业投资/亿元 | 4 043.15 | 中国统计年鉴近 5 年建筑业投资平均值 |
| 经济效应值/(亿元/万 m ²) | 0.238 1 | 参考文献 ^[20] |
| 政府保障性安居工程开工面积/(万 m ²) | 31 500 | 中国住房和城乡建设部发布数据 |
| 产业基地影响因子 | 7e ⁻⁴ | 专家咨询打分估计 |

3) 技术研发项目增加量=WITH LOOK UP(技术研发投资([(0,0)-(12 334,500 000),(921.2,53 641),(3 185.9,194 400),(6 230.6,287 524),(7 294.5,322 567),(9 146.1,309 895),(10 064.3,360 997),(11 990.2,445 029),(12 333.5,472 299)]));

4) 装配式建筑销售面积=装配式建筑市场累计销售量+DELAY1I(装配式建筑开工面积,3,0.4×装配式建筑开工面积);

5) 产业利润率=IF THEN ELSE(装配式建筑产业链发展水平<0.5,0.1,IF THEN ELSE(装配式建筑产业链发展水平≥0.5;AND:PC 产业链发展水平<0.7,0.15,0.2));

6) 构配件生产能力提高量=PC 构配件生产线发展水平×构配件生产能力影响系数;

7) 预制装配率=IF THEN ELSE(政府支持力度≤3,0.25,IF THEN ELSE(政府支持力度>3;AND政府政策力度≤4,0.3,IF THEN ELSE政府支持力度>4;AND政府政策力度≤5,0.4,0.5));

8) 建筑业固定资产投资=WITH LOOK UP(技术研发投资(Time((2011,0)-(2026,5 000),(2011,3 357),(2012,3 738),(2013,3 669),(2014,4 125),(2015,4 956),(2016,4 614)))).

3 模型仿真

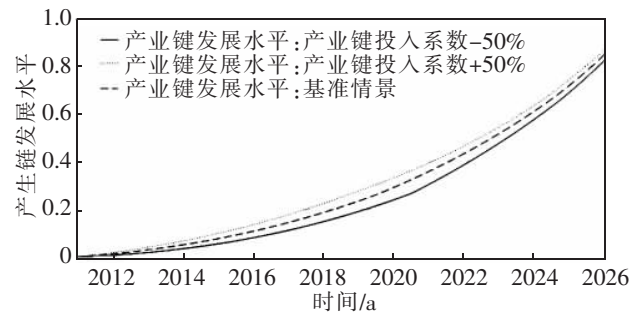
在对模型进行仿真运行前,需对模型进行检验,检验的内容分为两大部分:①根据 Vensim 软件自带的检查功能,对模型的结构以及变量的量纲单位进行检查,结果显示合格;②对模型的真实性和准确性进行检验,保证该模型能真实、准确地反映我国装配式建筑产业的发展状况。将装配式建筑购买价格历史值与仿真值进行对比,结果显示误差范围的绝对值在10%以内,符合仿真要求,该模型可进行仿真研究。

以2011年为仿真模拟的初始时间,2026年为终止时间,单位设置为年,步长为0.5;仿真对象主要选择直接受国家政策变动影响而变化的政策性变量。

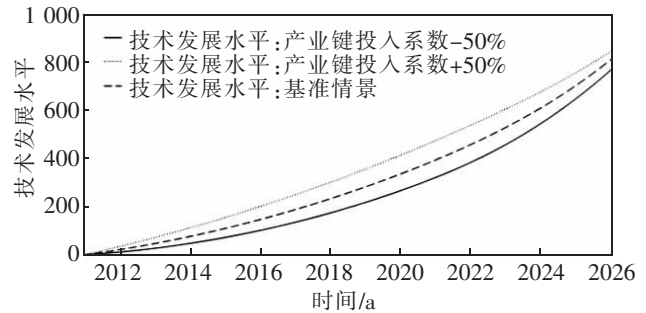
3.1 技术支持政策变动场景的仿真分析

技术支持政策的改变直接影响装配式产业链发展水平和技术发展水平,假设其它政策变量不变,改变变量方程装配式建筑产业链投入系数的值,设置3种模拟仿真情景,对应模型中装配式建筑产业链投入系数-50%、装配式建筑产业链投入系数+50%以及基准情景,模拟仿真结果如图4

所示。



(a) 装配式建筑产业链发展水平



(b) 技术发展水平

图4 技术支持政策变化的仿真结果

Fig.4 Simulation results of technical support policy changes

由图4(a)可知装配式建筑产业链投入系数的增加和减少对产业链发展水平的初、中期影响比较大,但在2021年后,产业链投入系数的增加和减少对产业链发展水平的影响逐渐减弱;图4(b)反映了产业链投入系数的大幅度增加对技术发展水平没有起到很大的促进作用,但是降低投入系数,技术发展水平有明显的下降。

原因在于,在装配式建筑产业发展的初、中期,政府对装配式建筑的资金投入主要运用在技术研发项目上,而技术水平的提高直接促进产业链的发展。到了产业链发展的后期,产业链资金的投入主要来源于开发商企业的内部集资,所以政府加大或者减少产业链的投入系数对产业链的发展作用已经不太明显。大幅度增大政府对产业链的投入系数,在技术水平发展的初期,技术发展水平已经超越了产业链的发展需要,所以超越的那部分技术投资资金会流入装配式建筑基础生产设施的建造上;而到了后期,企业也逐渐重视装配式建筑的创新发展能力,投资意愿逐渐往装配式建筑技术项目上倾斜。政府对装配式建筑技术投入有着非常重要的作用,良好的初始技术发展水平,对整个产业链的发展起着主要的引导作用。

3.2 税收支持政策变动场景的仿真分析

税收支持政策主要包括3个方面：①新技术、新产品、新工艺研发的税收优惠政策；②符合条件的企业可以享受增值税即征即退的优惠政策；③纳入西部大开发的税收优惠范围。通过降低采用装配式建筑的成本、构配件的生产成本以及中间环节的交易成本等形式，税收支持政策作用于整个产业链环节，对推动传统建筑业全产业链企业参与装配式建筑的发展，促进企业转型升级具有积极引导作用。综合考虑税收支持政策的多样性，模拟仿真企业税收优惠增加50%和减少50%的情景，模拟仿真结果如图5所示。企业税收优惠力度增加，产业链发展水平就增加；企业税收优惠力度减少，产业链发展水平就减慢。从产业链发展变化的幅度与时间的延续性来看，企业税收优惠对于装配式建筑产业链发展的影响是长期且稳定的。

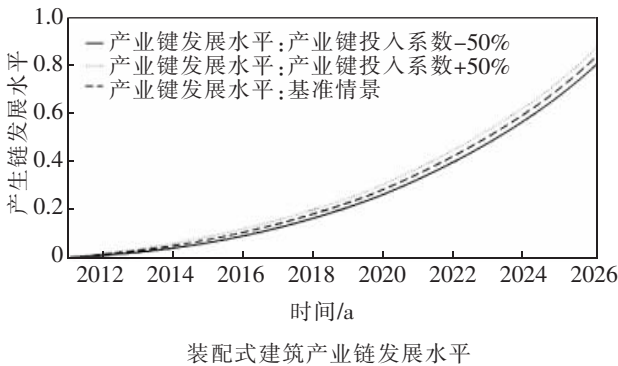


图5 企业税收优惠政策变化的仿真结果

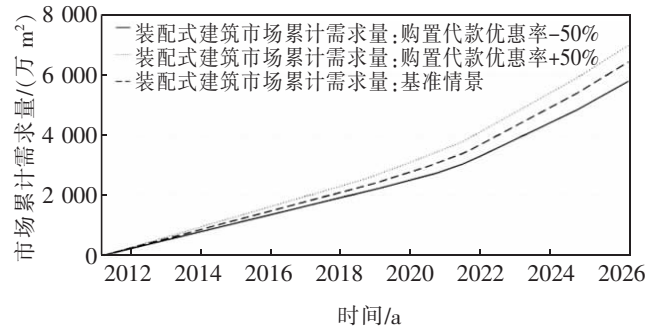
Fig.5 Simulation results of enterprise tax incentive policy change

3.3 金融支持政策变动场景的仿真分析

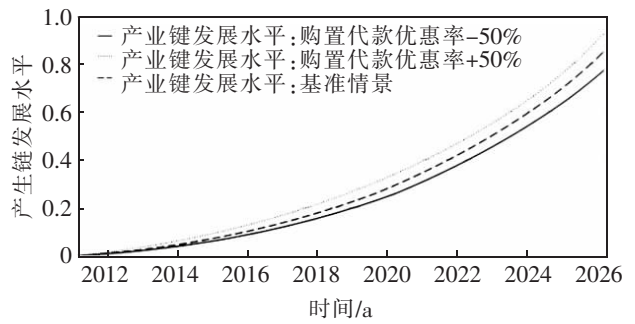
为了研究金融支持政策对装配式建筑产业发展的影响，选取购房贷款优惠政策作为主要的金融政策变量，通过探讨装配式建筑购置贷款优惠变化对装配式建筑市场累计需求量和产业链发展水平的影响，分析金融支持政策影响机理。模拟仿真结果见图6，由图6(a)可知，装配式建筑购置贷款优惠率的变化在2016年前对装配式建筑市场累计需求量影响不太明显，在产业发展的中、后期影响幅度有所提升；并且在产业链发展初期，购置贷款优惠率的减少对于装配式建筑市场需求量的影响程度大于购置贷款优惠率的增加。

原因在于，在产业发展初期，消费者对装配式建筑产品的了解程度不高，购买意愿不仅受到购买

价格的影响，还受到建筑使用成本、使用性能等性质的影响，随着技术水平的提高，购买成本成为影响消费者选择装配式建筑的主要因素。购置贷款优惠率对于产业链的发展水平作用同理。购置贷款优惠率是装配式建筑产业链的发展长期影响因素。



(a) 装配式建筑市场累计需求量



(b) 装配式建筑产业链发展水平

图6 金融支持政策变化的仿真结果

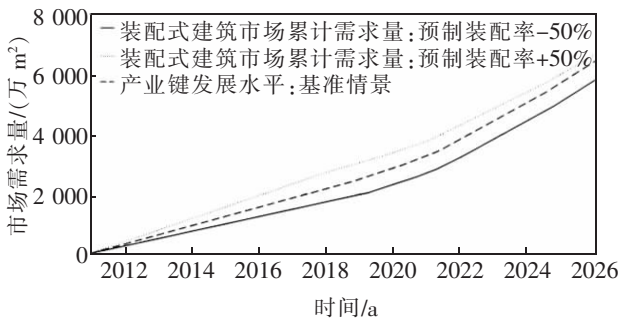
Fig.6 Simulation results of financial support policy changes

3.4 需求引导政策变动场景的仿真分析

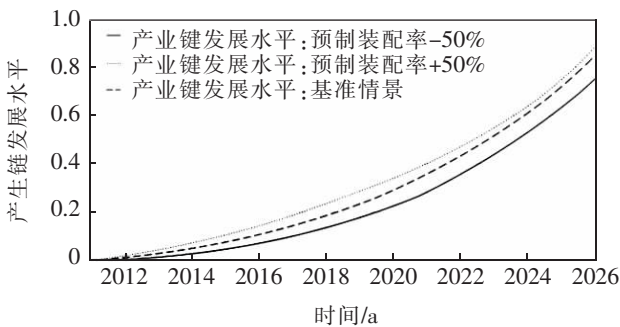
足够的市场需求对于装配式建筑在建筑市场取得竞争优势起着积极的促进作用；因此政府率先试点，建立市场机制，推广装配式建筑使用范围，合理的需求引导政策，引导市场发展，加大消费者对装配式建筑的关注度和了解程度，提升开发商建设装配式建筑项目的意愿。为了探寻政府需求量对装配式建筑产业发展的影响机理，改变政府投资建设项目的预制装配率，分别增加50%和减少50%，对模型进行仿真试验，结果如图7所示。

由图7的仿真结果可知，加大预制装配率，会使装配式建筑市场累计需求量增加，且2021年之前增加幅度大于2021年之后；预制装配率减小对于装配式建筑市场累计需求量和影响程度的影响程度大于预制装配率增加带来的影响程度。这主要是因为，在装配式建筑发展初期，消费者对装配式建

筑的关注度和了解程度不高,对装配式建筑的需求量不高,而政府对于装配式建筑的需求量作为主要的市场需求源,刺激装配式建筑产业的发展;到了装配式建筑发展的后期,消费者成主要的装配式建筑需求源,政府投资建设项目预制装配率的增加起到的促进作用就十分有限。但是在初期就减少政府对装配式建筑的需求,相当于限制了装配式建筑发展的初始动力,会严重制约产业链的后续发展。



(a) 装配式建筑市场累计需求量



(b) 装配式建筑产业链发展水平

图7 政府需求引导政策变化的仿真结果

Fig.7 Simulation results of government demand-guided policy changes

4 结论

从装配式建筑产业链发展的角度出发,建立系统动力学模型,通过改变政策性变量的方程式,对系统模型进行仿真分析,研究国家政策变化对装配式建筑产业发展的影响作用。结果表明:在装配式建筑产业发展的初期,国家对装配式建筑产业的投入以及政府对于装配式建筑的需求对装配式建筑产业的发展起着重要的推进作用;而国家对于装配式建筑产业中企业的税收优惠和消费者装配式建筑购买贷款优惠则起着长远的正面影响作用。同时,为了降低国家对装配式建筑发展的激励政策成

本,提出以下几点政策制定建议。

1) 制定合理的资金投入政策,适时调整技术投资和基础生产设施投入比例。完善的技术体系是推进装配式建筑发展的重要基础,装配式建筑的技术创新贯穿整个产业发展过程。在产业发展初期,政府应充分发挥技术政策的支持作用,适当增加技术投资,但应根据产业发展水平与技术发展水平实时,调整投资比例;当产业发展进入相对稳定时期,此时政府适量减少资金投入,增加其它政策的支持力度。

2) 扩大企业税收优惠政策范围,明确相关部门职责,切实推动政策落地。税收支持政策作为激发企业参与推动装配式建筑发展积极性的重要影响因素,对装配式建筑产业的发展起着长期且稳定的推进作用,对于这类政策应该提高政策覆盖范围,吸引更多相关企业向装配式建筑转型。

3) 根据各地实际情况出台相应的装配式建筑购置贷款优惠政策。例如在某些装配式建筑发展处于前沿的地区,装配式建筑的购买价格与传统现浇建筑价格相差不大,为了降低财政补贴直接成本,政府可以通过增加贷款额度和贷款期限增加消费者对装配式建筑的购买意愿;对于装配式建筑发展仍处于刚刚起步阶段的地区,消费者对装配式建筑了解不多,政府可以加大装配式建筑购置贷款优惠力度,使消费者更愿意了解、购买装配式建筑。

4) 合理规划政府装配式建筑的预制装配率。基于对需求政策的仿真结果,在装配式建筑产业的发展初期,政府可通过加大预制装配率的方式扩大政府对装配式建筑的需求,从而引导、刺激装配式建筑产业的发展;到了装配式建筑产业发展的中、后期,综合考虑政府需求量对装配式建筑产业发展的作用效果不明显,以及过高的预制装配率给项目本身带来的增量成本,应重新规划政府投资建设项目的预制装配率。

参考文献:

- [1] 匡威军,黄晓玲,冯清.装配式住宅市场的系统仿真与政策优化:以西安市为例[J].数学的实践与认识,2019,49(24):90-99.

- [2] 齐园,王琴. 区域装配式建筑发展政策评价研究:基于熵权 TOPSIS 法[J]. 建筑经济,2020,41(4):28-33.
- [3] 金占勇,邱宵慧,孙金颖,等. 基于三方博弈的装配式建筑发展经济激励研究[J]. 建筑经济,2020,41(1):22-28.
- [4] 刘晓君,李丹丹. 装配式建筑开发意愿的影响因素及推广政策研究[J]. 数学的实践与认识,2019,49(1):88-98.
- [5] 刘贵文,陶怡,毛超,等. 政策工具视角的中国装配式建筑政策文本量化研究[J]. 重庆大学学报(社会科学版),2018,24(5):56-65.
- [6] 王欣,吴言杰,张宇. 信息产业链发展的系统动力学模型构建与仿真[J]. 情报科学,2013,31(12):27-32.
- [7] DU J,SUGUMARAN V,GAO B. RFID and multi-agent based architecture for information sharing in prefabricated component supply chain[J]. IEEE Access,2017(5):4132-4139.
- [8] KRAINER C W M,KRAINER J A,CATALDI R, et al. A model for forming partnerships in the construction industry [J]. Ambiente Construido,2018,18(1):31-47.
- [9] YULIA P,PER H. Managing supply chain risks and delays in construction project[J]. Industrial Management & Data Systems,2018,118(7):1413-1431.
- [10] BURLOTOS C,KIJEWSKI-CORREA T L,TAFLANIDIS A A. The housing market value chain:an integrated approach for mitigating risk in informal residential construction in haiti[J]. Sustainability,2020,12(19):1-24.
- [11] 王其藩. 系统动力学[M]. 上海:上海财经大学出版社,2009.
- [12] 沈静瑶,曾小舟,邬国祥. 中国民航客运市场需求预测的系统动力学模型研究[J]. 华东交通大学学报,2019,36(4):57-66.
- [13] 牟新娣,李秀婷,董纪昌,等. 基于系统动力学的我国住房需求仿真研究[J]. 管理评论,2020,32(6):16-28.
- [14] 贾书伟,严广乐. 组合政策下建筑废弃物管理模型的动态仿真[J]. 系统工程理论与实践,2018,38(11):2966-2978.
- [15] 杨晓冬,武永祥. 绿色住宅市场的系统动力学仿真研究[J]. 土木工程学报,2013,46(8):119-122.
- [16] 杨仕文,徐霞,王森. 装配式混凝土建筑产业链关键节点及产业发展驱动力研究[J]. 企业经济,2016(6):123-127.
- [17] 李一红. 绿色建筑增量成本效益估算模型构建:基于系统动力学视角[J]. 财会通讯,2020(12):118-122.
- [18] 胡一鸣,刘菁,丁洪涛,等. 基于系统动力学的北京市农村居住建筑能源消费预测研究[J]. 建筑节能,2019,47(9):123-129.
- [19] 严景宁. 可持续建设视角下装配式建筑产业链形成机理[J]. 价值工程,2018,37(23):124-128.
- [20] 祁神军,张云波,张涛军,等. 住宅产业化规模经济效应及宏观激励政策仿真研究[J]. 建筑经济,2013(7):89-92.