科技创新

数字化平台赋能下装配式建筑技术扩散演化机理与仿真

章胜平，王玉香，宋志刚

（昆明理工大学建筑工程学院，昆明 650500）

摘要：装配式建筑推广的整体效能和高质量发展水平依赖于技术扩散，为解决其技术扩散缺乏内在驱动机制与主体决策链条、扩散效率低下等问题，基于技术扩散视角，嵌入数字化平台赋能机制，构建政府、预制构件生产商和开发商三方演化博弈模型，并通过仿真揭示了技术扩散主体决策内在机制。研究表明：数字化平台服务能力的提升显著增强了主体技术扩散的内生驱动力；平台通过增强增量效益的稳定性与可预期性强化了生产商与开发商参与扩散的意愿；增量成本显著抑制生产商和开发商参与意愿，尤其对生产商抑制更为明显；政府补贴在扩散初期具有明显激励效果，但存在边际递减效应，平台协同对补贴激励形成有效补充；惩罚机制对主体策略选择具有正向促进作用，且对生产商的约束作用最为明显。

关键词：装配式建筑；技术扩散；数字化平台；演化博弈

中图分类号：TU18 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)13－0027－12

在“双碳”目标和数字经济战略的双重驱动下，装配式建筑作为推动建筑业深刻变革的关键力量，迎来了新的发展契机。装配式建筑有别于传统粗放式现浇建筑，其通过构件工厂化预制、现场装配的方式进行建造，兼具高效质优、节能环保等特点，在建筑业转型升级和高质量发展中发挥着重要作用。《“十四五”建筑业发展规划》明确提出要大力发展装配式建筑、强化数字技术应用、促进智能建造与新型建筑工业化协同发展，并确立了到 2035 年建筑工业化、数字化、智能化水平系统性跃升的发展目标。装配式建筑的推广效果在很大程度上依赖于技术扩散，而当前其扩散速度仍然较慢。一方面，技术扩散作为连接装配式建筑技术创新到实践应用的关键环节，缺乏内生驱动力，政府更多采取自上而下的传统政策激励模式，且监管机制不完善，而装配式建筑产业链相关企业大多处于被动接受的状态，消极的政企合作机制使得技术扩散内生驱动力弱[2]。另一方面，产业链相关主体间协同不足，缺乏资源整合和信息共享机制，加之技术扩散增量成本高，削弱了各主体对装配式建筑的认可度和开发积极性，进一步阻碍了扩散进程[3]。此外，装配式建筑技术体系不完善，设计、生产、运输和装配等环节未能深度融合数字技术，难以形成高效扩散的支撑环境[4]。因此，研究数字化背景下装配式建筑技术高效扩散和可持续推广具有重要意义。

当前，数字化转型已成为推动建筑业高质量发展的战略方向，数字技术快速发展为摆脱装配式建筑技术扩散困境开辟了新路径。数字化平台具有集成信息、强化协同及智能决策等优势，与装配式建筑技术复杂的扩散特征高度契合，二者具备深度融合的现实基础与应用潜力。具体来说，数字化平台通过嵌入行为数据驱动的反馈与激励机制，可激发企业自主采纳装配式建筑技术的意愿。此外，平台协调各主体进行技术研发和创新，革新设计、生产、运输、装配等环节的运作流程，完善产业标准模式，搭建稳定的技术支撑环境。最后，平台可为装配式建筑产业链重塑协作模式提供动力，在多主体之间构建透明、高效、智能的交互环境，打破信息孤岛，提升协同合作效率，降低不

收稿日期：2026-02-26

基金项目：云南省重点领域科技计划项目(202003AC100001)

作者简介：章胜平(1974—)，男，湖北孝感人，硕士，讲师，研究方向为装配式建筑、数字化管理；通信作者王玉香(2000—)，女，云南楚雄人，硕士研究生，研究方向为装配式建筑、数字化管理；宋志刚(1974—)，男，云南楚雄人，博士，教授，研究方向为数字建造与工程安全。

确定性和技术交易成本，提升技术扩散的经济可行性[6]。数字化平台的集成应用对装配式建筑的发展有着不可或缺的作用。

综上，现以技术扩散为研究视角，嵌入数字化平台这一核心载体，系统探讨其对装配式建筑技术推广的赋能作用与实现路径。首先，剖析数字化平台赋能技术扩散的内在逻辑；其次，运用演化博弈方法构建政府、预制构件生产商和开发商的三方博弈模型，揭示了装配式建筑技术扩散的微观机理，探讨数字化平台赋能机制对主体行为选择和扩散效率的影响，并运用数值仿真进行验证，进一步揭示关键参数对协同扩散的驱动效应；最后，提出基于数字化平台的装配式建筑技术扩散政策建议。研究成果不仅为数字化平台在装配式建筑领域的应用提供实践指导，也可为建筑工业化与智能建造协同发展创造先决条件。

1 文献综述

近年来，技术扩散推动了多个领域的技术创新和工程应用。技术扩散是指创新技术通过传播渠道在社会系统中随时间推移而扩散的过程，体现了新技术从少数群体接受到广泛应用的演变过程[7]。现有关于技术扩散的研究主要从宏观视角探讨其演化特征和扩散机制。技术扩散过程划分为认知、说服、决策、应用和决定5个阶段，整个过程的扩散轨迹符合“S”形曲线[8]。喻言和吕金武[9]运用建模方法(ABM)分析了各种变量对农业创新技术扩散的影响，进一步证实了扩散过程的非线性特征。Wang等[10]整理了某上市公司专利引用数据，证实了企业专利技术存在扩散过程，并分析了制度约束和企业绩效在扩散过程中的作用逻辑。段德忠和金红[11]分析了技术差距、多主体行为和经济邻近性对中国城市绿色技术扩散过程的不同影响。现有研究大多集中于农业和绿色技术领域，建筑技术扩散的研究起步较晚，目前一些学者开始关注预制建筑技术的扩散。窦玉丹[12]从技术特征的角度进行分析，指出预制建筑技术本身具有高度集成性、组成复杂、技术依赖性强、组织协调要求高等特点，因此其扩散难度高于普通技术。李天新[13]从扩散绩效影响因素方面进行研究，利用结构方程模型确定了影响装配式建筑技术扩散的关键因素，分别是知识共享、组织氛围和网络嵌入性，并进一步预测了多因素耦合下的技术扩散趋势。Li等[14]指出合理的动态补贴机制能有效促进装配式建筑技术扩散。Dou等[15]从多主体协作的视角出发，提出了影响预制建筑技术扩散的6个因素，并进一步运用偏最小二乘结构方程模型分析了各因素的重要性排序。Liu和Chen[16]探讨了预制建筑技术扩散的内部因素，揭示了其主要驱动力在于供给方和采纳方的协同创新，并证明单一政策工具难以实现可持续扩散。然而，现有研究大多局限于技术扩散的约束条件，缺乏对多主体交互及其潜在机制动态演化的关注。另外，传统技术扩散对数字化赋能的忽略也使得现有研究难以突破固有模式瓶颈。

为弥补装配式建筑技术扩散内在机制研究的不足，学者们逐渐将研究焦点转向数字化环境的应用。随着数字经济发展，数字化平台成为重塑组织结构和产业模式的重要载体[17]。曾勃等[18]指出现有数字化平台集成了建筑信息模型(building information model，BIM)、大数据、云计算、人工智能等技术，可以实现建筑项目数据共享和协同设计等功能。徐瑶玉和张新[7]分析了多个案例，揭示了数字化平台赋能组织流程重构的内在机理。数字化平台同时被视为技术扩散的关键推动力。邱信丰[19]探讨了数智化赋能低碳技术扩散的理论机制与影响效应，表明了数智化赋能对企业技术创新的促进作用。董博帅[20]运用多智能体建模分析了装配式建筑技术扩散的微观机理，揭示了数字化集成应用对装配式建筑快速推广的作用。韩易昌[21]探索了IT(信息技术)资源对装配式建筑技术扩散的影响机制。现有研究多集中于数字化平台对企业绩效和工程效率的提升，对其在装配式建筑技术扩散中的作用机制相对有限。目前已有部分研究从主体层面揭示了装配式建筑技术扩散的内在演进机制。例如，窦玉丹等[22]运用演化博弈方法探究了企业扩散装配式建筑技术决策的形成过程和内在机理，发现政府补贴与市场经营对扩散决策影响显著。Shi等[23]从技术采纳视角出发，构建了地方政府、承包商和消费者的演化博弈模型和随机演化博弈模型，探究政府监管和市场环境变化对装配式建筑推广的影响。张桂阳等构建了演化博弈和复杂网络博弈模型，刻画了技术在供给侧和需求侧的扩散路径。然而这些研究却缺乏对数字化平台内生赋能机制的深入探究，从而降低了研究在数字化时代的决策适用性与准确性。

综上所述，现有研究为理解装配式建筑技术扩散规律奠定了重要基础，但存在以下问题：①缺乏对多主体决策及其动态演化过程的系统刻画，难以揭示技术扩散路径形成的微观机制；②数字化平台

被视为建筑业发展的外生条件,尚未将其赋能效应内生纳入技术扩散决策机制中。基于此,现构建演化博弈模型,利用其动力学机制系统探讨装配式建筑技术扩散机理和主体决策行为;通过引入数字化平台赋能效应,分析平台重塑技术扩散演化路径的内在机制,旨在推动装配式建筑可持续发展。

2 模型假设与构建

2.1 理论基础与主体分析

演化博弈理论关注有限理性的主体,主体会跟随环境反馈与收益比较,不断调整自身策略,在装配式建筑技术扩散过程中,各个主体会依照政策和市场环境调整自身扩散决策,主体之间的策略交互会影响政府监管,也会影响资源配置,最终整个系统会趋向演化稳定状态,这个过程契合演化博弈的动态性与复杂性特征。而技术扩散理论指出,技术的采纳效率不仅依赖各主体自身意愿,也和激励约束机制、市场环境存在关联[25]。将两者结合,可以从微观策略演化和宏观技术推广两个方面,系统分析数字化平台在装配式建筑技术扩散中的作用,形成复杂的反馈循环。

基于此,研究选取政府、预制构件生产商和开发商作为 3 大核心博弈主体。在数字化平台赋能下,装配式建筑的技术扩散机制相较于传统模式发生了显著变化。政府作为装配式建筑政策制定者及主导者,其核心目标是推动产业转型升级,落实绿色发展方向,并借助数字化平台完善监管机制,打造“政策激励+数据驱动监管”的运行模式,提高税收和补贴投放的精准性,调动各主体参与技术扩散的主动性。预制构件生产商是装配式建筑相关技术的供给方,资源浪费和创新成本上涨,阻碍了主体向外扩散技术[26]。数字化平台接入后,生产商可以优化自身资源配置,提高生产效率和技术研发效率,为装配式建筑技术推广创造有利条件。开发商作为技术采纳方,要权衡采纳技术的增量成本、市场收益等多项内容。数字化平台可帮助主体获取透明度更高的信息,降低决策方面的风险,强化开发商的技术采纳意愿。在三方博弈关系中,政府出台激励政策,实施数字化监管是预制构件生产商和开发商积极参与的前提;生产商调整产能配置,投入资源进行创新,直接决定开发商的技术采用成本,也决定产品质量能否得到稳定保障;开发商依托自身需求拉动市场运行,向生产商传递市场信息,直接影响生产商参与扩散的积极性,塑造了扩散的广度与深度。数字化平台加入后,传统博弈环境得到调整,原有监管覆盖不足、信息不对称等问题得到缓解,推动三方利益关系从相互冲突转向协同共赢。三方逻辑关系如图 1 所示。

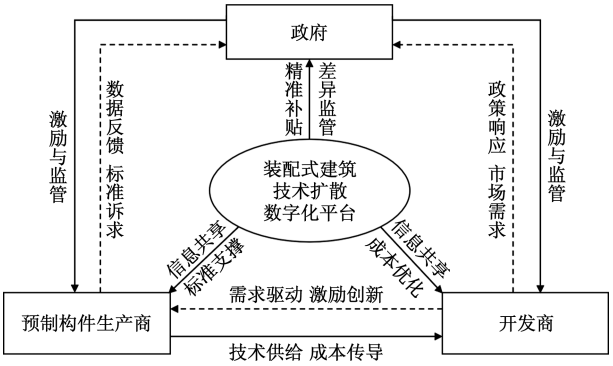


图 1 三方主体逻辑关系图

2.2 数字化平台赋能机制与耦合分析

(1)驱动机制:增强扩散内生动力。数字化平台集成预制构件生产商、开发商等利益相关者的决策行为,并整合项目数据,为政府提供相关主体的实时数据反馈,有利于政府实施差异化监管,为不同主体制定精准补贴。同时,平台可展示可视化的扩散成效数据,增强主体对不确定性风险和长期效益的掌握程度,提高生产商和开发商对装配式建筑技术的信任度,不断增强双方协同合作关系,优化扩散环境,促进扩散实现从外部政策推动到市场内生驱动的转变。

(2)支撑机制:完善扩散标准环境。数字化平台融合建筑信息模型 BIM、数字孪生、物联网等技术,搭建跨环节的全过程数据链和标准化技术数据库,实现了设计、生产、运输、装配等环节的紧密配合,同时不断提升技术标准,让装配式建筑技术持续扩散拥有稳定制度与技术环境。

(3)协同机制:优化互动与成本分摊。数字化平台负责整合项目信息和共享数据,打破信息孤岛,构建生产商和开发商之间的高效沟通渠道,并提升各利益相关方协作的透明度。平台的服务能力能够调整各主体之间的成本分摊,优化收益结构,降低各主体在推广过程中面临的不确定性,降低边际成本,最终提升整体盈利能力。

2.3 模型假设

假设 1:博弈主体。三方演化博弈中,政府、预制构件生产商和开发商都属于有限理性个体,决策时优先满足自身的利益诉求,各主体之间存在信息不对称,要经过不断模仿、学习,最终稳定在最优策略,数字化平台引入后,可加速和优化该学习演化过程[28]。

假设 2:博弈策略。政府可选择积极规制和消

极规制，其积极规制的概率为 x，消极规制的概率为 $1-x$；预制构件生产商可选择积极扩散和消极扩散，其积极扩散的概率为 y，消极扩散的概率为 $1-y$；开发商可选择积极采纳和消极采纳，其积极采纳的概率为 z，消极采纳的概率为 $1-z$。其中，$0 \leqslant x、y、z \leqslant 1$。

假设 3：数字化平台服务能力与装配率。政府在建设阶段承担数字化平台的一次性建设费用，使平台正式上线并具备基础功能。平台对技术扩散的赋能作用与其服务能力有关，主要包括内生驱动、数据支撑和协同交互等方面。以 $\alpha(0<\alpha\leqslant 1)$ 表征数字化平台的服务能力水平，当政府积极规制并投入平台建设时，α 可提升主体间的信息共享与额外效益，降低扩散成本；当政府消极规制时，平台赋能作用受限。同时，引入装配率指标要求来衡量装配式技术的市场采纳水平。为方便计算，以 $\beta(0<\beta\leqslant 1)$ 表示装配率，β 越高，生产商和开发商的扩散增量成本也越高。数字化平台通过供需匹配与数据共享，可在一定程度上缓解高装配率带来的资源浪费和协调压力。

假设 4：监管机制。政府采取积极规制策略时会对生产商和开发商进行监管，防止主体投机行为与资源浪费。在数字化平台赋能下，政府可实现数据驱动的差异化、动态化监管，提高监管效率并减少额外资源投入，从而有效降低监管成本，其监管成本为 $(1-\alpha)C_j$。

假设 5：激励与惩罚。政府在采取积极监管策略时，将基于平台数据反馈，针对生产商和开发商制定精准的激励和差异化惩罚机制。政府对积极扩散装配式技术的生产商提供创新研发补贴 $\varepsilon_1 S$，对积极采纳装配式技术的开发商给予装配率提升奖励和成本分担 $\varepsilon_2 S$。其中，$\varepsilon_1(0\leqslant\varepsilon_1\leqslant 1)$ 和 $\varepsilon_2(0\leqslant\varepsilon_2\leqslant 1)$ 表示政府补贴强度系数。若生产商和开发商不积极响应政策要求，导致政府监管效率低并且造成资源浪费，则政府会对生产商和开发商分别给予惩罚 $\lambda_1 M$ 和 $\lambda_2 M$。其中，$\lambda_1(0\leqslant\lambda_1\leqslant 1)$ 和 $\lambda_2(0\leqslant\lambda_2\leqslant 1)$ 表示政府惩罚强度系数。

假设 6：基本收益与额外效益。政府、生产商和开发商不积极参与技术扩散时的基本收益分别为 R_g、R_p 和 R_d。政府积极规制时会因声誉上升而获得收益 R；生产商积极扩散技术时能获得增量效益 ΔR_p，若通过数字化平台进行信息共享、优化资源调度和技术研发创新，则增量效益为 $(1+\alpha)\Delta R_p$，且平台促进了生产商与其他企业的知识和技术交流，为其带来知识溢出效益 K_p；开发商积极采纳技术时能获得增量效益 ΔR_d，若通过平台进行透明的交易、增强装配式技术带来的竞争优势和品牌效应，则增量效益为 $(1+\alpha)\Delta R_d$，且平台协同有助于开发商做出科学决策，为其带来知识溢出效益 K_d。当三方都积极参与扩散时，政府会获得环境效益 R_0，生产商和开发商也会获得额外的协同效益 R_1、R_2。

假设 7：基础成本与额外成本。生产商和开发商不积极参与技术扩散时的基础成本分别为 C_p 和 C_d，且开发商不积极采纳技术会给政府带来高污染高耗能环境的治理损失 F。政府积极规制时需付出数字化平台的一次性建设成本 C_g；生产商和开发商积极参与时需投入额外的研发、生产、设备优化和人员培训成本 ΔC_p 和 ΔC_d，而数字化平台的赋能可以促进双方数据共享和效率提升，降低信息不对称带来的风险，在一定程度上缓解额外成本压力。同时增量成本还受到装配率的影响，因此政府规制下生产商和开发商的增量成本分别为 $(1-\alpha)\beta\Delta C_p$ 和 $(1-\alpha)\beta\Delta C_d$。

2.4　模型构建

根据上述参数假设，在数字化平台赋能前提下，建立政府、生产商和开发商的演化博弈收益矩阵，见表 1。

3　模型分析

3.1　三方博弈主体复制动态分析

3.1.1　政府的复制动态分析

令 E_{g1} 和 E_{g2} 分别表示政府选择“积极规制”策略和“消极规制”策略时的期望收益，E_g 表示平均期望收益，则有：

$$\begin{aligned}E_{g1} = {} & yz[R_g+R+R_0-C_g-(1-\alpha)C_j-\varepsilon_1 S-\varepsilon_2 S]+y(1-z)[R_g+R+\lambda_2 M-C_g-(1-\alpha)C_j-\varepsilon_1 S]+(1-y)z[R_g+R+\lambda_1 M-C_g-(1-\alpha)C_j-\varepsilon_2 S]+(1-y)(1-z)[R_g+R+\lambda_1 M+\lambda_2 M-C_g-(1-\alpha)C_j] \quad (1)\\ E_{g2} = {} & yzR_g+y(1-z)(R_g-F)+(1-y)zR_g+(1-y)(1-z)(R_g-F) \quad (2)\\ E_g = {} & xE_{g1}+(1-x)E_{g2} \quad (3)\end{aligned}$$

可以得到政府的复制动态方程为

$$\begin{aligned}F(x) = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = {} & x(E_{g1}-E_g)=x(1-x)(E_{g1}-E_{g2})=x(1-x)[yzR_0-y(\varepsilon_1 S+\lambda_1 M)-z(\varepsilon_2 S+\lambda_2 M+F)+(\lambda_1+\lambda_2)M+R-C_g-(1-\alpha)C_j+F] \quad (4)\end{aligned}$$

表 1　数字化平台赋能下三方博弈收益矩阵

政府	生产商	开发商	
		积极采纳 z	消极采纳 $1-z$
积极规制 x	积极扩散 y	$R_g+R+R_0-C_g-(1-\alpha)C_j-\varepsilon_1 S-\varepsilon_2 S$	$R_g+R+\lambda_2 M-C_g-(1-\alpha)C_j-\varepsilon_1 S$
		$R_p+(1+\alpha)\Delta R_p+K_p+R_1+\varepsilon_1 S-C_p-(1-\alpha)\beta\Delta C_p$	$R_p+(1+\alpha)\Delta R_p+K_p+\varepsilon_1 S-C_p-(1-\alpha)\beta\Delta C_p$
		$R_d+(1+\alpha)\Delta R_d+K_d+R_2+\varepsilon_2 S-C_d-(1-\alpha)\beta\Delta C_d$	$R_d-C_d-\lambda_2 M$
	消极扩散 $1-y$	$R_g+R+\lambda_1 M-C_g-(1-\alpha)C_j-\varepsilon_2 S$	$R_g+R+\lambda_1 M+\lambda_2 M-C_g-(1-\alpha)C_j$
		$R_p-C_p-\lambda_1 M$	$R_p-C_p-\lambda_1 M$
		$R_d+(1+\alpha)\Delta R_d+K_d+\varepsilon_2 S-C_d-(1-\alpha)\beta\Delta C_d$	$R_d-C_d-\lambda_2 M$
消极规制 $1-x$	积极扩散 y	R_g	R_g-F
		$R_p+\Delta R_p-C_p-\beta\Delta C_p$	$R_p+\Delta R_p-C_p-\beta\Delta C_p$
		$R_d+\Delta R_d-C_d-\beta\Delta C_d$	R_d-C_d
	消极扩散 $1-y$	R_g	R_g-F
		R_p-C_p	R_p-C_p
		$R_d+\Delta R_d-C_d-\beta\Delta C_d$	R_d-C_d

3.1.2　生产商的复制动态分析

令 E_{p1} 和 E_{p2} 分别表示生产商选择“积极扩散”策略和“消极扩散”策略时的期望收益，E_p 表示平均期望收益，则有：

$$\begin{aligned}E_{p1}=&xz[R_p+(1+\alpha)\Delta R_p+K_p+R_1+\varepsilon_1 S-C_p-(1-\alpha)\beta\Delta C_p]+x(1-z)[R_p+(1+\alpha)\Delta R_p+K_p+\varepsilon_1 S-C_p-(1-\alpha)\beta\Delta C_p]+(1-x)z(R_p+\Delta R_p-C_p-\beta\Delta C_p)+(1-x)(1-z)(R_p+\Delta R_p-C_p-\beta\Delta C_p)\end{aligned}\tag{5}$$

$$\begin{aligned}E_{p2}=&xz(R_p-C_p-\lambda_1 M)+x(1-z)(R_p-C_p-\lambda_1 M)+(1-x)z(R_p-C_p)+(1-x)(1-z)(R_p-C_p)\end{aligned}\tag{6}$$

$$E_p=yE_{p1}+(1-y)E_{p2}\tag{7}$$

可以得到生产商的复制动态方程为

$$\begin{aligned}F(y)=\frac{dy}{dt}=&y(E_{p1}-E_p)=y(1-y)(E_{p1}-E_{p2})=y(1-y)[xzR_1+x(\alpha\Delta R_p+\varepsilon_1 S+\lambda_1 M+K_p+\alpha\beta\Delta C_p)+\Delta R_p-\beta\Delta C_p]\end{aligned}\tag{8}$$

3.1.3　开发商的复制动态分析

令 E_{d1} 和 E_{d2} 分别表示开发商选择“积极采纳”策略和“消极采纳”策略时的期望收益，E_d 表示平均期望收益，则有：

$$\begin{aligned}E_{d1}=&xy[R_d+(1+\alpha)\Delta R_d+K_d+R_2+\varepsilon_2 S-C_d-(1-\alpha)\beta\Delta C_d]+x(1-y)[R_d+(1+\alpha)\Delta R_d+K_d+\varepsilon_2 S-C_d-(1-\alpha)\beta\Delta C_d]+(1-x)y(R_d+\Delta R_d-C_d-\beta\Delta C_d)+(1-x)(1-y)(R_d+\Delta R_d-C_d-\beta\Delta C_d)\end{aligned}\tag{9}$$

$$\begin{aligned}E_{d2}=&xy(R_d-C_d-\lambda_2 M)+x(1-y)(R_d-C_d-\lambda_2 M)+(1-x)y(R_d-C_d)+(1-x)(1-y)(R_d-C_d)\end{aligned}\tag{10}$$

$$E_d=zE_{d1}+(1-z)E_{d2}\tag{11}$$

可以得到开发商的复制动态方程为

$$\begin{aligned}F(z)=\frac{dz}{dt}=&z(E_{d1}-E_d)=z(1-z)(E_{d1}-E_{d2})=z(1-z)[xyR_2+x(\alpha\Delta R_d+\varepsilon_2 S+\lambda_2 M+K_d+\alpha\beta\Delta C_d)+\Delta R_d-\beta\Delta C_d]\end{aligned}\tag{12}$$

3.2　三方博弈主体演化稳定性分析

为深入探讨政府、生产商和开发商在策略交互影响下的行为演化路径，联立 3 个主体的复制动态方程，并令其值均为 0，即式(13)。通过计算得出该系统共有 15 个均衡点，其中有 8 个纯策略均衡点：$E_1(0,0,0)$、$E_2(0,0,1)$、$E_3(0,1,0)$、$E_4(0,1,1)$、$E_5(1,0,0)$、$E_6(1,0,1)$、$E_7(1,1,0)$、$E_8(1,1,1)$。在三方博弈模型中，混合策略均衡点难以实现持续演化稳定，缺乏实际的经济意义，因此，只分析 8 个纯策略均衡点的稳定性。

$$\begin{cases}F(x)=\dfrac{dx}{dt}=x(1-x)[yzR_0-y(\varepsilon_1 S+\lambda_1 M)-z(\varepsilon_2 S+\lambda_2 M+F)+(\lambda_1+\lambda_2)M+R-C_g-(1-\alpha)C_j+F]=0\\ F(y)=\dfrac{dy}{dt}=y(1-y)[xzR_1+x(\alpha\Delta R_p+\varepsilon_1 S+\lambda_1 M+K_p+\alpha\beta\Delta C_p)+\Delta R_p-\beta\Delta C_p]=0\\ F(z)=\dfrac{dz}{dt}=z(1-z)[xyR_2+x(\alpha\Delta R_d+\varepsilon_2 S+\lambda_2 M+K_d+\alpha\beta\Delta C_d)+\Delta R_d-\beta\Delta C_d]=0\end{cases}\tag{13}$$

系统在局部范围内的稳定性可由雅可比矩阵

的特征值结构来刻画，因此构建博弈系统的雅可比　　矩阵为

$$\boldsymbol{J}=\begin{bmatrix}\dfrac{\partial F(x)}{\partial x} & \dfrac{\partial F(x)}{\partial y} & \dfrac{\partial F(x)}{\partial z}\\ \dfrac{\partial F(y)}{\partial x} & \dfrac{\partial F(y)}{\partial y} & \dfrac{\partial F(y)}{\partial z}\\ \dfrac{\partial F(z)}{\partial x} & \dfrac{\partial F(z)}{\partial y} & \dfrac{\partial F(z)}{\partial z}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}(1-2x)[yzR_0-y(\varepsilon_1S+\lambda_1M)-z(\varepsilon_2S+\lambda_2M+\\ F)+(\lambda_1+\lambda_2)M+R-C_g-(1-\alpha)C_j+F] & x(1-x)[zR_0-(\varepsilon_1S+\lambda_1M)] & x(1-x)[yR_0-(\varepsilon_2S+\lambda_2M+F)]\\ y(1-y)(zR_1+\alpha\Delta R_p+\varepsilon_1S+\lambda_1M+K_p+\alpha\beta\Delta C_p) & (1-2y)[xzR_1+x(\alpha\Delta R_p+\varepsilon_1S+\\ \lambda_1M+K_p+\alpha\beta\Delta C_p)+\Delta R_p-\beta\Delta C_p] & xy(1-y)R_1\\ z(1-z)(yR_2+\alpha\Delta R_d+\varepsilon_2S+\lambda_2M+K_d+\alpha\beta\Delta C_d) & xz(1-z)R_2 & (1-2z)[xyR_2+x(\alpha\Delta R_d+\varepsilon_2S+\\ & & \lambda_2M+K_d+\alpha\beta\Delta C_d)+\Delta R_d-\beta\Delta C_d]\end{bmatrix} \tag{14}$$

根据 Lyapunov[29] 的稳定性判据：若雅可比矩阵的所有特征值实部均小于 0，则对应的均衡点为渐进稳定点（即 ESS）；若存在任一特征值实部大于 0，则对应的均衡点为不稳定点。将 8 个纯策略均衡点代入雅可比矩阵中，求出各自对应的特征值，见表 2。

在模型假设中，所有设定参数均大于 0。在数字化平台的赋能下，所有参与主体均可实现跨流程信息共享，完成高效资源配置，并降低沟通协调产生的增量成本。该平台依靠知识溢出和数据反馈促进技术优化，驱动流程创新，从而同时提升预制建筑的经济和社会效益，因此增量效益高于增量成本，即 $\Delta R_p > \Delta C_p$，$\Delta R_d > \Delta C_d$。结合表 2 可知，$E_1(0,0,0)$、$E_2(0,0,1)$、$E_3(0,1,0)$、$E_5(1,0,0)$、$E_6(1,0,1)$、$E_7(1,1,0)$均存在大于 0 的特征值，因此这 6 个点恒为不稳定点，只需分析 $E_4(0,1,1)$ 和 $E_8(1,1,1)$ 的稳定性，结果见表 3。

情形 1：当 $R+R_0<C_g+(1-\alpha)C_j+\varepsilon_1S+\varepsilon_2S$ 时，即政府积极规制获得的声誉收益与社会环境效益之和小于其积极规制付出的数字化平台一次性建设成本、监管成本与对生产商和开发商的补贴之和；生产商积极扩散技术获得的增量效益大于其由装配率要求带来的增量成本；开发商积极采纳技术获得的增量效益大于其由装配率要求带来的增量成本。系统演化稳定点为 $E_4(0,1,1)$，相应的演化稳定策略为（消极规制，积极扩散，积极采纳）。

情形 2：当 $R+R_0>C_g+(1-\alpha)C_j+\varepsilon_1S+\varepsilon_2S$ 时，即政府积极规制获得的声誉收益与社会环境效益之和大于其积极规制付出的数字化平台一次性建设成本、监管成本与对生产商和开发商的补贴之和；在平台赋能下，生产商积极扩散技术获得的增量效益、额外协同效益、平台带来的知识溢出效益、规避的政府处罚与政府给予的补贴之和大于其由装配率要求带来的增量成本；开发商积极采纳技术

表 2　数字化平台赋能下各均衡点特征值

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
$E_1(0,0,0)$	$R-C_g-(1-\alpha)C_j+F+\lambda_1M+\lambda_2M$	$\Delta R_p-\beta\Delta C_p$	$\Delta R_d-\beta\Delta C_d$
$E_2(0,0,1)$	$R-C_g-(1-\alpha)C_j+\lambda_1M-\varepsilon_2S$	$\Delta R_p-\beta\Delta C_p$	$\beta\Delta C_d-\Delta R_d$
$E_3(0,1,0)$	$R-C_g-(1-\alpha)C_j+F+\lambda_2M-\varepsilon_1S$	$\beta\Delta C_p-\Delta R_p$	$\Delta R_d-\beta\Delta C_d$
$E_4(0,1,1)$	$R+R_0-C_g-(1-\alpha)C_j-\varepsilon_1S-\varepsilon_2S$	$\beta\Delta C_p-\Delta R_p$	$\beta\Delta C_d-\Delta R_d$
$E_5(1,0,0)$	$C_g+(1-\alpha)C_j-R-F-\lambda_1M-\lambda_2M$	$(1+\alpha)\Delta R_p+K_p-(1-\alpha)\beta\Delta C_p+\lambda_1M+\varepsilon_1S$	$(1+\alpha)\Delta R_d+K_d-(1-\alpha)\beta\Delta C_d+\lambda_2M+\varepsilon_2S$
$E_6(1,0,1)$	$C_g+(1-\alpha)C_j-R-\lambda_1M+\varepsilon_2S$	$R_1+(1+\alpha)\Delta R_p+K_p-(1-\alpha)\beta\Delta C_p+\lambda_1M+\varepsilon_1S$	$(1-\alpha)\beta\Delta C_d-(1+\alpha)\Delta R_d-K_d-\lambda_2M-\varepsilon_2S$
$E_7(1,1,0)$	$C_g+(1-\alpha)C_j-R-F-\lambda_2M+\varepsilon_1S$	$(1-\alpha)\beta\Delta C_p-(1+\alpha)\Delta R_p-K_p-\lambda_1M-\varepsilon_1S$	$R_2+(1+\alpha)\Delta R_d+K_d-(1-\alpha)\beta\Delta C_d+\lambda_2M+\varepsilon_2S$
$E_8(1,1,1)$	$C_g+(1-\alpha)C_j-R-R_0+\varepsilon_1S+\varepsilon_2S$	$(1-\alpha)\beta\Delta C_p-(1+\alpha)\Delta R_p-R_1-K_p-\lambda_1M-\varepsilon_1S$	$(1-\alpha)\beta\Delta C_d-(1+\alpha)\Delta R_d-R_2-K_d-\lambda_2M-\varepsilon_2S$

表 3　均衡点稳定性分析结果

均衡点	情形 1		情形 2	
	符号	稳定性	符号	稳定性
$E_1(0,0,0)$	×,+,+	不稳定	×,+,+	不稳定
$E_2(0,0,1)$	×,+,−	不稳定	×,+,−	不稳定
$E_3(0,1,0)$	×,−,+	不稳定	×,−,+	不稳定
$E_4(0,1,1)$	−,−,−	ESS	+,−,−	不稳定
$E_5(1,0,0)$	×,+,+	不稳定	×,+,+	不稳定
$E_6(1,0,1)$	×,+,−	不稳定	×,+,−	不稳定
$E_7(1,1,0)$	×,−,+	不稳定	×,−,+	不稳定
$E_8(1,1,1)$	+,−,−	不稳定	−,−,−	ESS

注:×表示特征值符号无法确定;+/−表示均衡点稳定性无法确定。

获得的增量效益、额外协同效益、平台带来的知识溢出效益、规避的政府处罚与政府给予的补贴之和大于其由装配率要求带来的增量成本。系统演化稳定点为 $E_8(1,1,1)$,相应的演化稳定策略为(积极规制,积极扩散,积极采纳)。

4　数值模拟与仿真分析

为揭示数字化平台赋能对政府、生产商和开发商的演化路径及稳定状态的影响,探索三方如何在装配式建筑技术扩散中实现持续稳定的良性互动,在前文模型构建及稳定性分析的基础上,运用 MATLAB R2022a 进行数值仿真。参数赋值遵循科学性、合理性原则,借鉴已有研究[30-33]的参数取值方法,并结合董博帅[20]、韩易昌[21]关于数字技术与装配式建筑行业融合发展的研究进行修正,以确保仿真结果的理论可行性与现实适用性。其中,将装配率指标要求 β 的初始值设定为 0.5;考虑到当前中国装配式建筑行业与数字化技术的融合发展尚处于成长阶段,平台赋能作用不能完全体现,借鉴孔琳[34]关于数据共享服务水平的赋值方法,将数字化平台服务能力系数 α 的初始值设定为中等水平 0.5;平台的引入将为政府提供差异化的补贴和惩罚机制,且生产商作为供给端直接影响扩散成效,因此将补贴强度系数 ε_1 设定为 0.6、ε_2 设定为 0.4,将惩罚强度系数 λ_1 设定为 0.5、λ_2 设定为 0.3。

4.1　系统稳定性检验

4.1.1　情形 1 模拟:$E_4(0,1,1)$

情形 1 的参数设定需满足条件:$R+R_0<C_g+(1-\alpha)C_j+\varepsilon_1 S+\varepsilon_2 S$。模型参数设定如下:$\alpha=0.5$,$\beta=0.5$,$C_j=10$,$\varepsilon_1=0.6$,$\varepsilon_2=0.4$,$S=8$,$\lambda_1=0.5$,$\lambda_2=0.3$,$M=15$,$R_g=20$,$R_p=30$,$R_d=25$,$R=10$,$\Delta R_p=15$,$K_p=18$,$\Delta R_d=12$,$K_d=15$,$R_0=8$,$R_1=10$,$R_2=10$,$C_p=20$,$C_d=18$,$F=10$,$C_g=20$,$\Delta C_p=6$,$\Delta C_d=4$。系统演化路径仿真如图 2(a)所示,博弈模型最终演化稳定于 $E_4(0,1,1)$,即演化稳定策略为(消极规制,积极扩散,积极采纳)。在该情形下,由于数字化平台机制的引入,政府通过平台协同与数据共享极大提高了监管效率,无需长期承担监管压力与高额成本;生产商和开发商也受到平台资源协同、信息交互和知识溢出效应的影响,显著提高了技术扩散的增量效益,同时降低了扩散成本。平台逐渐取代了政府的主导作用,促使生产商和开发商自发形成正向协同关系,达成了平台主导的新型技术扩散稳态结构。

4.1.2　情形 2 模拟:$E_8(1,1,1)$

情形 2 的参数设定需满足条件:$R+R_0>C_g+(1-\alpha)C_j+\varepsilon_1 S+\varepsilon_2 S$。模型参数设定如下:$\alpha=0.5$,$\beta=0.5$,$C_j=2$,$\varepsilon_1=0.6$,$\varepsilon_2=0.4$,$S=8$,$\lambda_1=0.5$,$\lambda_2=0.3$,$M=15$,$R_g=20$,$R_p=30$,$R_d=25$,$R=25$,$\Delta R_p=15$,$K_p=18$,$\Delta R_d=12$,$K_d=15$,$R_0=15$,$R_1=10$,$R_2=10$,$C_p=20$,$C_d=18$,$F=10$,$C_g=10$,$\Delta C_p=6$,$\Delta C_d=4$。系统演化路径仿真如图 2(b)所示,博弈模型最终演化稳定于 $E_8(1,1,1)$,即演化稳定策略为(积极规制,积极扩散,积极采纳)。在该情形下,随着数字化平台服务能力的不断增强,各主体之间的互信与协同水平显著提

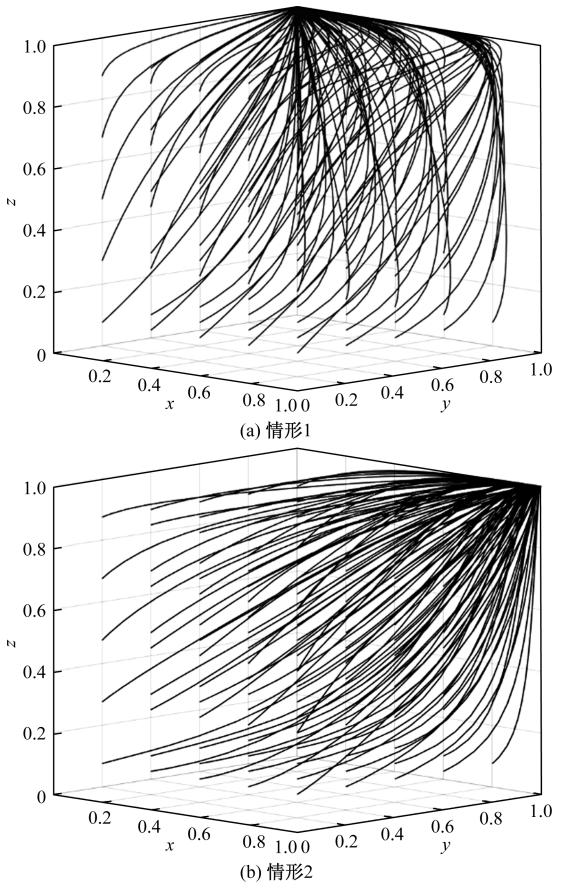


图 2　系统演化路径仿真

高，政府与平台协同驱动扩散效应增大，在很大程度上规避了技术扩散带来的风险和不确定性，使系统整体效益达到最大，形成了高水平协同扩散与持续稳定的演化状态，这也是最理想且能实现的稳定结果。

4.2　参数敏感性分析

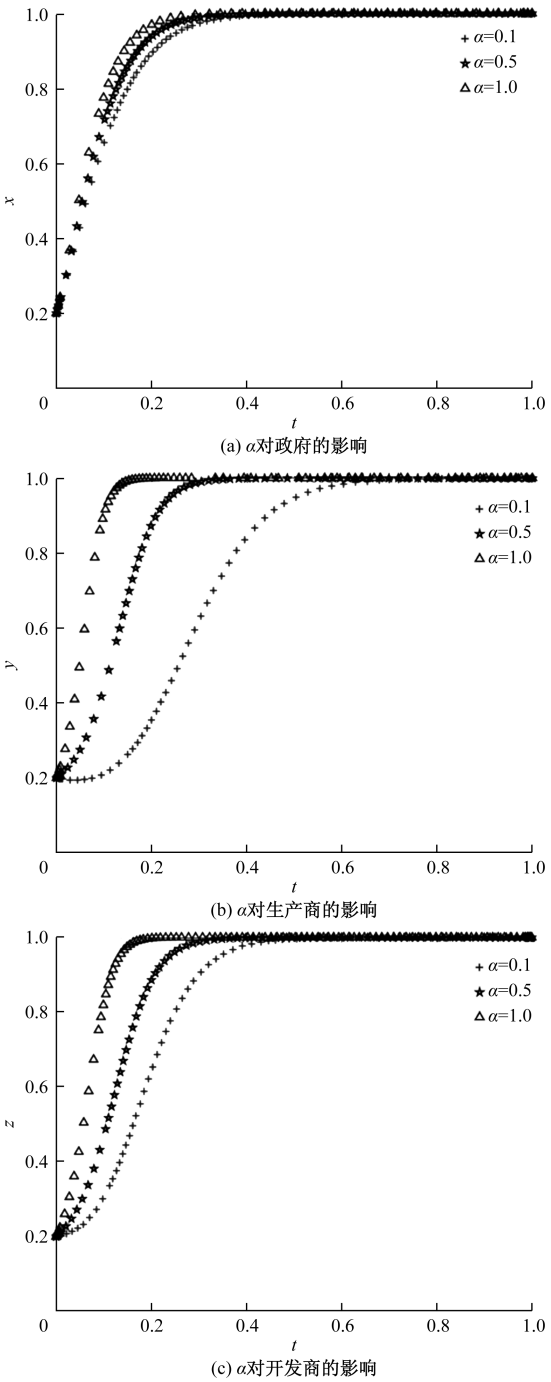
为确保研究契合装配式建筑行业发展现状，并体现技术持续稳定扩散的现实需求，基于情形 2 的数值设定进行参数敏感性分析。考虑到技术扩散受内生动力、成本与收益结构以及政策调控等多方面影响，选取数字化平台服务能力系数、增量效益、增量成本、政府补贴和惩罚作为关键因素，系统探究参数变化对主体技术扩散过程的影响。为消除初始策略选择概率对系统演化结果产生干扰，将初始概率统一设定为 $x = y = z = 0.2$。

4.2.1　数字化平台服务能力系数

数字化平台的赋能强度主要由服务能力系数体现，为探究不同平台服务能力对主体策略选择的影响，将 α 赋值为 0.1、0.5、1 进行模拟，结果如图 3 所示。由图 3 可知，随着平台服务能力系数的增大，三方选择积极参与技术扩散的意愿均提高，且演化至 1 的速度变快，表明平台知识溢出效应逐渐增强，促进了主体间协同合作和资源共享效率，降低了不确定性风险。其中，政府的演化路径变化很小，而生产商和开发商对平台服务能力的变化更为敏感，这说明平台的赋能作用主要通过内生驱动机制来体现，市场主体更容易发挥扩散放大效应。因此，政府应不断优化平台服务质量、完善平台功能，持续提升平台服务能力水平。

4.2.2　增量效益

随着数字化平台服务能力的持续增强，主体之间的信息共享、资源配置与技术支持不断优化，从而改变了增量效益水平。为进一步分析平台所带来的增量效益变化对生产商和开发商策略演化规律的影响，将 ΔR_p 赋值为 0、15、30，ΔR_d 赋值为 0、12、24 进行模拟，结果如图 4 所示。由图 4 可知，随着增量效益的增加，生产商和开发商积极扩散技术的概率增大，演化至 1 的时间明显缩短，但主体策略演化路径较为集中。这表明增量效益足够大时可以覆盖初期投入，使企业形成稳定的预期收益，企业将更加注重技术优化升级带来的利润激励和市场优势。而数字化平台的引入进一步强化了增量效益的可预见性，使其对企业决策的正向激励作用更加显著，提高了企业积极参与扩散的意愿。



(a) α对政府的影响

(b) α对生产商的影响

(c) α对开发商的影响

图 3　数字化平台服务能力系数对主体策略选择的影响

4.2.3　增量成本

平台赋能在一定程度上降低了装配式技术扩散的增量成本，为进一步分析增量成本变化对生产商和开发商策略演化规律的影响，将 ΔC_p 赋值为 6、12、18，ΔC_d 赋值为 4、8、12 进行模拟，结果如图 5 所示。由图 5 可知，当增量成本较小时，生产商和开发商都积极参与扩散；随着增量成本不断扩大，其抑制效应逐渐显现，生产商和开发商积极参与的意愿下降，且演化至 1 的速度明显变缓。当增量成本超

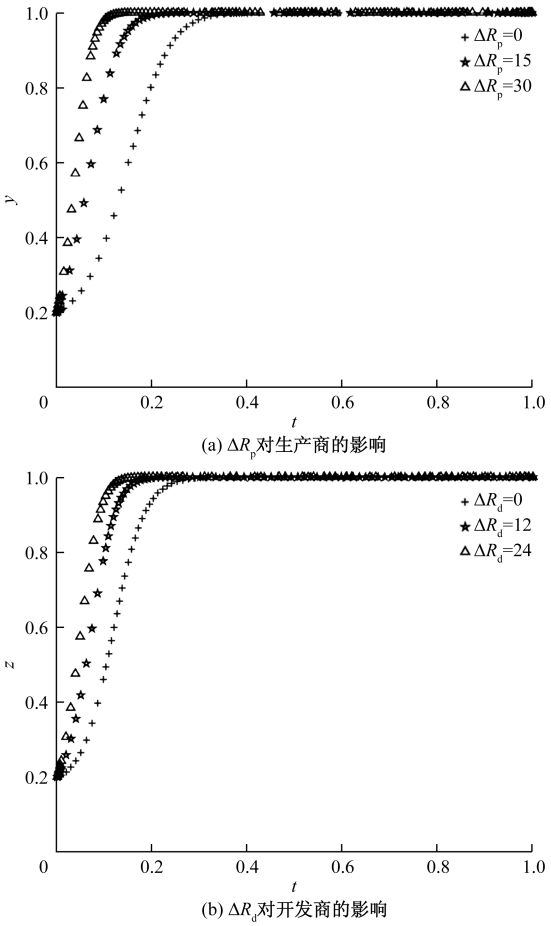


图 4　增量效益对主体策略选择的影响

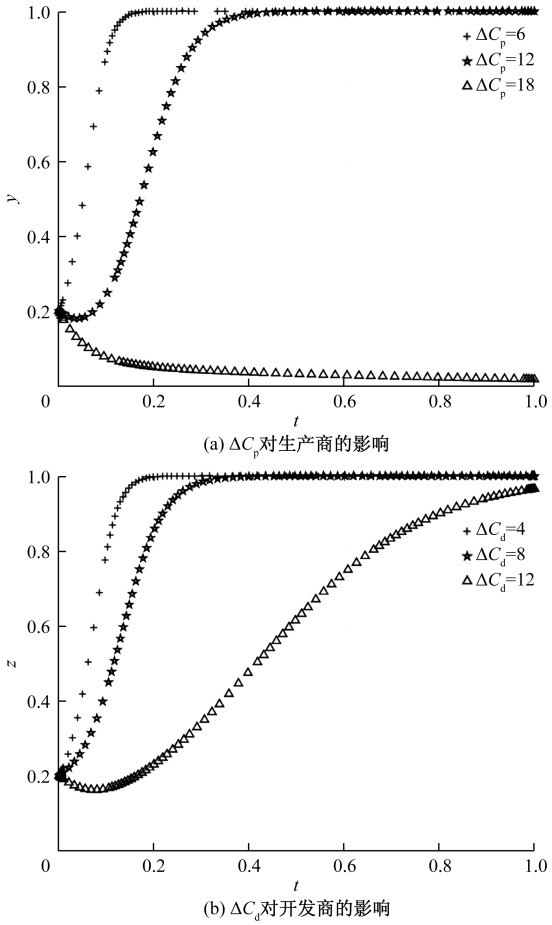


图 5　增量成本对主体策略选择的影响

过一定阈值时,生产商的策略甚至演化成了消极扩散,而开发商承担的成本变化经生产商传导具备一定滞后性,能够暂时维持稳定扩散状态。这一结果表明,增量成本是制约装配式建筑技术扩散的重要阻碍,需加快推进技术标准化、生产规模化以及供应链流通,降低技术扩散成本,为技术持续推广创造良好的数据支撑和协同环境。

4.2.4　激励机制

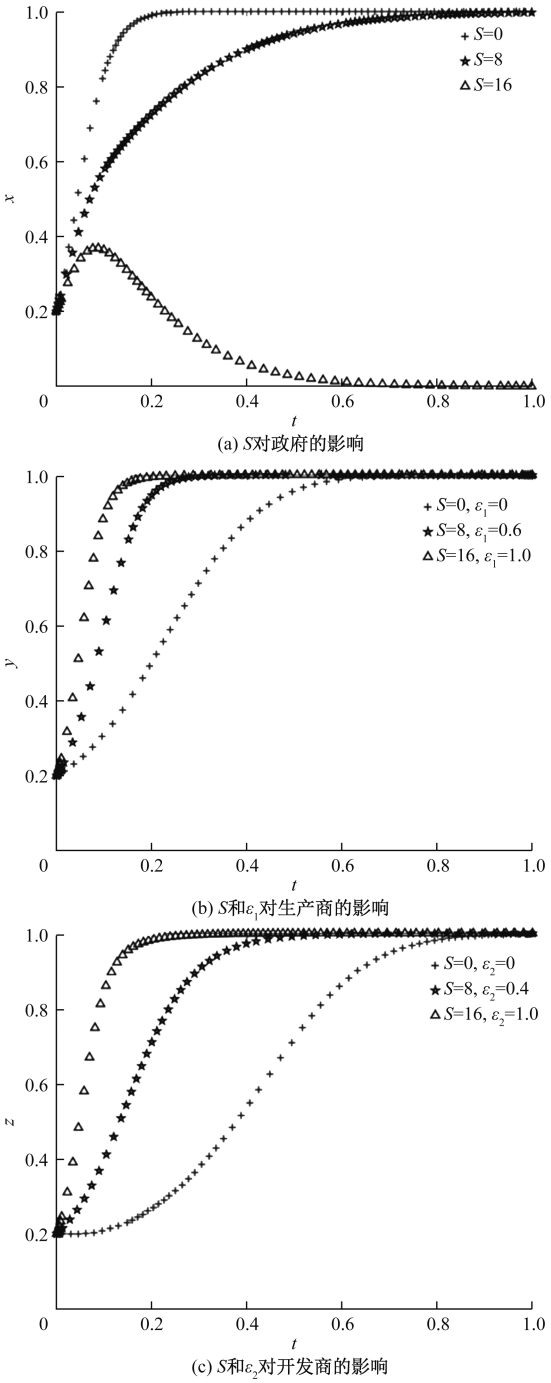
为探究平台赋能下的差异化补贴对政府、生产商和开发商演化规律的影响,将补贴 S 赋值为 0、8、16,将补贴强度系数 ε_1 赋值为 0、0.6、1,ε_2 赋值为 0、0.4、1 进行模拟,结果如图 6 所示。由图 6 可知,补贴数值增大后,政府无法承受财政压力,会选择消极规制策略,而生产商和开发商都会选择积极扩散策略,开发商的演化路径在初期分离明显,响应强度更高。这是因为政府补贴直接改变了开发商的预期收益,对生产商而言,更多是滞后性的成本缓解。当补贴增大到 16,补贴系数为 1 时,生产商和开发商对补贴的依赖程度降低,说明企业已经拥有一定技术创新和应用能力,政府补贴的边际效应减弱,此时需避免单一依赖高额补贴,要注重外部激励机制和内生驱动力的协同设计。

4.2.5　惩罚机制

为探究平台协同增加的惩罚机制对政府、生产商和开发商演化规律的影响,将惩罚 M 赋值为 0、15、50,将惩罚强度系数 λ_1 赋值为 0、0.5、1,λ_2 赋值为 0、0.3、1 进行模拟,结果如图 7 所示。由图 7 可知,惩罚机制对主体策略选择具有正向促进作用,且对生产商的约束作用最为明显,当政府惩罚强度系数增大时,生产商迅速演化至积极扩散状态,而开发商的演化路径变化较小,政府对此则最不敏感。由此可见,惩罚机制主要通过约束供给端行为,保障技术扩散的持续稳定推进。因此,政府应合理设置惩罚强度,制定差异化的惩罚机制,弥补自身建设数字化平台的成本投入,引导企业扩散的积极性。

5　结论与建议

基于技术扩散视角,嵌入数字化平台赋能机制,构建了政府、预制构件生产商和开发商三方共同参与的演化博弈模型,模拟关键因素变化对各主

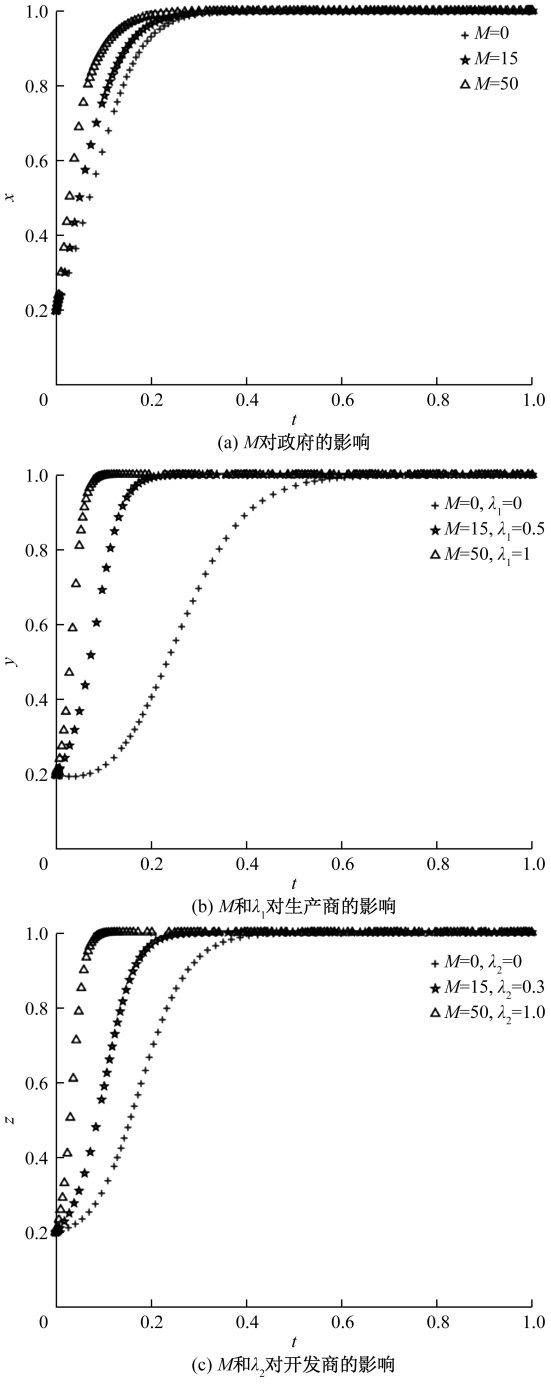


(a) S对政府的影响

(b) S和ε_1对生产商的影响

(c) S和ε_2对开发商的影响

图 6　激励机制对主体策略选择的影响



(a) M对政府的影响

(b) M和λ_1对生产商的影响

(c) M和λ_2对开发商的影响

图 7　惩罚机制对主体策略选择的影响

体策略选择过程和演化轨迹产生的影响，揭示了技术扩散过程中的微观作用机理与主体的决策变化过程。主要结论和建议如下。

(1)数字化平台服务能力的增强可显著提升主体参与技术扩散的意愿，且生产商与开发商对平台能力变化更为敏感。在平台的作用下，主体间协同合作水平提升，资源共享效率提高，不确定性风险降低，其赋能作用表现为对市场内生驱动力的催生。因此，政府可不断优化平台服务质量、完善信息发布与资源对接功能，持续提升平台服务能力水平；企业可持续加强自身技术创新能力，充分利用平台创造价值。

(2)生产商和开发商积极参与扩散技术的概率随着增量效益的增加而增加，但主体策略演化路径相对集中。揭示了数字化平台可提升增量效益的稳定性，增加主体对未知风险的预见性，持续推动生产商和开发商参与技术扩散。因此，可借助数字化平台强化装配式建筑技术的价值实现机制，引导

企业调整发展方向,脱离对短期成本的单一关注,转向对长期价值的追求。

(3)增量成本的增加会抑制生产商和开发商积极扩散技术的意愿。一旦增量成本超过一定阈值,生产商往往会转向消极扩散,而开发商对成本变化反应相对迟滞,可以暂时维持稳定的扩散状态。因此,生产商和开发商必须充分利用平台进行资源整合与信息共享,强化各环节的沟通协调,减少信息不对称带来的额外投入和风险;同时借助平台知识溢出不断学习和创新技术,加速技术标准化与规模化生产,降低设计变更、生产等成本。

(4)政府补贴推行初期,能调动生产商与开发商的参与积极性,且开发商给出的响应更强烈。而当补贴增加到一定值时,补贴效应呈现边际递减的特征,企业已逐渐具备一定的技术创新和实践应用能力。现阶段中国装配式建筑技术扩散仍离不开政府的引导和支持,政府应注重外部激励机制和内生驱动力的协同设计,如政府可根据企业参与技术扩散的积极性、技术应用成熟度以及装配率指标完成度等制定差异化补贴,实时通过平台数据调整补贴比例,对于业绩较好的企业可设置额外的专项补贴。企业需配合政府的前瞻性规划,在平台基础上建立标准化构件库和生产数据库,完善供需协同机制。

(5)惩罚机制对主体策略选择具有正向促进作用,且对生产商的约束作用最为明显,惩罚机制主要对供给端行为形成约束,保障技术扩散能持续稳定推进。政府可结合平台提供的数据,对隐瞒信息的企业实施市场准入和信用评价限制,对存在投机行为的企业提高惩罚力度,建立明确的约束规则和动态监管机制。

参考文献

[1] 杨增科,樊瑞果,黄炜,等. 政府干预下装配式建筑产业链核心企业协作策略研究[J]. 中国管理科学,2024,32(3):28-39.

[2] 丁少华. 基于BIM的装配式建筑全产业链项目管理模式研究[J]. 建筑经济,2021,42(8):67-71.

[3] LIU Y, CAI D, GUO C, et al. Evolutionary game of government subsidy strategy for prefabricated buildings based on prospect theory[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2020, 2020: 8863563.

[4] XIA Y, QI Y, CHEN J, et al. Research on the development policy of prefabricated building based on asymmetric evolutionary game[C] //2nd International Conference on Civil Engineering, Environment Resources and Energy Materials. Dali: DEStech Publications, 2022: 490-495.

[5] 张月月,郑月龙,白春光,等. 数字技术赋能企业突破性创新的三方演化博弈[J/OL]. 工程管理科技前沿,1-15[2026-01-21]. https://link.cnki.net/urlid/34.1336.N.20250626.0937.004.

[6] 徐瑶玉,张新. 数字平台赋能制造企业数字化转型实现机理:基于多案例探索性研究[J]. 当代经济管理,2025,47(8):19-29.

[7] DOU Y, XUE X, ZHAO Z, et al. Measuring the factors that influence the diffusion of prefabricated construction technology innovation[J]. Ksce Journal of Civil Engineering, 2019, 23(9): 3737-3752.

[8] LI C Z, XU X, SHEN G Q, et al. A model for simulating schedule risks in prefabrication housing production: a case study of six-day cycle assembly activities in Hong Kong[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 185: 366-381.

[9] 喻言,吕金武. 基于ABM建模的农业创新技术扩散仿真研究[J]. 科技管理研究,2023,43(11):191-199.

[10] WANG Y, LI L, WANG P. Institutional pressure and group behavior in corporate green technology diffusion[J]. China Soft Science, 2024(5): 197-209.

[11] 段德忠,金红. 中国城市绿色技术扩散的时空过程与形成机制[J]. 地理学报,2023,78(8):2001-2018.

[12] 窦玉丹. 装配式建造技术跨组织扩散机制研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.

[13] 李天新. 多因素耦合下装配式建造技术扩散规律研究[D]. 大连:大连理工大学,2022.

[14] LI S, DU Q, WANG X, et al. The effect of dynamic subsidy and consumer preference on prefabricated building diffusion under emission trading scheme[J]. Journal of Housing and the Built Environment, 2023, 38(4): 2065-2088.

[15] DOU Y, ZHU S, YAN X, et al. Coupled paths of influencing factors on the diffusion of prefabricated construction technology: a multi-agent synergy perspective[J]. Ksce Journal of Civil Engineering, 2024, 28(8): 3074-3090.

[16] LIU M, CHEN Y. Research on the tripartite evolution strategy of prefabricated building promotion based on the deepening of demand-side interests[J]. Plos One, 2023, 18: e0295178.

[17] LIU Z. Research on the construction of big data management system in the whole process of prefabricated buildings[C]//2nd International Conference on Big Data and Artificial Intelligence and Software Engineering (ICBASE). Zhuhai: IEEE, 2021: 154-158.

[18] 曾勃,马智亮,李帅勇,等. 智能建造数字化平台相关技术研究进展[J]. 科技导报,2025,43(9):84-92.

[19] 邱信丰. 数智化赋能工业低碳技术创新的理论机制与影响效应研究[J]. 企业经济,2025(9):79-91.

[20] 董博帅. 基于多智能体建模的装配式建造技术扩散趋势预测研究[D]. 大连:大连理工大学,2024.

[21] 韩易昌. IT资源对装配式技术跨企业扩散的影响研究

[D]. 北京：北京交通大学，2023.
[22] 窦玉丹，王玉娜，薛小龙. 基于演化博弈的装配式建造技术扩散决策机理[J]. 土木工程与管理学报，2022，39(3)：107-115.
[23] SHI Q，WANG Z，ZHU J. Developing collaborative driving mechanism of prefabricated buildings using multiagent stochastic evolutionary game[J]. Journal of Construction Engineering and Management，2023，149(8)：04023058.
[24] 张桂阳，贾玉财，戚湧，等. 异质复杂网络下产业共性技术创新扩散的两阶段博弈分析[J]. 技术经济，2025，44(9)：1-13.
[25] 胡克明，刘迅. 建筑业数字化转型：政府、业主与建筑企业的策略与激励措施研究[J]. 工程管理学报，2025，39(2)：7-13.
[26] 陈婉菁，吴泽斌. 我国装配式建筑政策执行的现实困境与完善路径：基于米特-霍恩政策执行模型的视角[J]. 建筑经济，2021，42(8)：77-80.
[27] 史萍萍，孙国强，石文萍，等. 区块链赋能平台治理的内在逻辑与实现机理：基于三方演化博弈视角[J]. 管理评论，2025，37(3)：149-163.
[28] 陈静怡，黄美娇，吕庆华. 数字化情境下智慧养老服务生态系统的演化博弈分析[J]. 复杂系统与复杂性科学，2025，22(3)：56-64，72.
[29] LYAPUNOV A M. The general problem of the stability of motion[M]. London：Taylor & Francis，1992.
[30] 陈礼平，江山. 三方博弈情景下政府主导的装配式建筑推广机制研究[J]. 建筑经济，2023，44(S1)：50-55.
[31] 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.
[32] 王亚雷. 低碳政策下装配式建筑企业低碳行为扩散研究[D]. 长安：长安大学，2023.
[33] 沈良峰，袁俊，薛光军，等. 装配式建筑产业生态化发展的共生演化模式研究[J]. 科技和产业，2025，25(8)：158-168.
[34] 孔琳. 数字赋能乡村生态农业振兴产业链协同机制与策略效益仿真分析[D]. 南昌：南昌大学，2024.

Evolutionary Mechanisms and Simulation of Technology Diffusion in Prefabricated Construction under Digital Platform Empowerment

ZHANG Shengping，WANG Yuxiang，SONG Zhigang

(School of Civil Engineering and Mechanics，Kunming University of Science and Technology，Kunming 650500，China)

Abstract：The overall effectiveness and high-quality development level of prefabricated construction promotion depend on technology diffusion. To address the lack of an internal driving mechanism and decision-making chain for technology diffusion，as well as low diffusion efficiency，a digital platform empowerment mechanism was embedded from a technology diffusion perspective. A tripartite evolutionary game model involving the government，prefabricated component manufacturers，and developers was constructed. The internal decision-making mechanism of the technology diffusion stakeholders was revealed by simulations. The research findings are as follows：the improved digital platform service capabilities significantly enhance the endogenous driving force for technology diffusion. The platform strengthens the willingness of manufacturers and developers to participate in technology diffusion by enhancing the stability and predictability of incremental benefits. Incremental costs significantly inhibit the willingness of manufacturers and developers to participate，especially for manufacturers；government subsidies have a significant incentive effect in the early stages of technology diffusion，but exhibit diminishing marginal returns，and platform collaboration effectively supplements the subsidy incentives. The penalty mechanism has a positive promotional effect on the choice of strategies by stakeholders，with the most significant constraint effect on manufacturers.

Keywords：prefabricated construction；technology diffusion；digital platform；evolutionary game