

绿色住宅市场监管的演化博弈分析

——基于中央环保督察体系视角

叶学平 赵博云

(湖北省社会科学院经济研究所, 湖北 武汉 430077)

[摘要]中央环保督察作为我国加强地方政府落实环境保护主体责任的重要措施,对规范绿色住宅市场主体行为有重要作用。针对绿色住宅市场存在的监管缺失问题,通过构建中央政府、地方政府和房地产商为主体的绿色住宅市场的监管三方演化博弈模型,基于湖北省实际数据仿真模拟,对中央环保督察体系下绿色住宅市场的监管决策进行分析。研究发现,第一,共存4个演化博弈稳定点,其中中央政府始终选择监管作为博弈策略选择。中央政府、地方政府以及房地产商初始博弈策略均衡点为(监管,严格监管,投机开发绿色住宅),主要原因在于绿色住宅开发成本过高和政策实施初期制度的不完善。但是,对地方政府激励相关参数、企业绿色住宅开发收益以及中央政府对于地方政府的惩罚力度进行参数调整后,三者博弈策略会移至最佳演化稳定点(监管,严格监管,合规开发绿色住宅)。第二,房地产商选择合规开发绿色住宅主要取决于绿色住宅开发成本而非两级政府监管。第三,市场参与机制下环保税收优惠、投机时房地产商被回收资金比例、房地产商获补助资金占专项补助比例以及中央对地方政府的惩罚是影响博弈演化均衡的主要因素。第四,地方政府提高环保专项资金用于房地产行业的比例对于促进房地产商合规开发绿色住宅的效果有限,地方政府可以适当提高环保专项资金用于绿色住宅的建设。

[关键词]中央环保督察 绿色住宅 环保监管 演化博弈

[中图分类号] F299.23 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-983X(2025)03-0097-14

一、引言

在实现“双碳”目标与中国经济高质量发展的时代背景下,实现经济绿色发展已经成为我国经济发展的重要目标之一。据《2023年全球建筑和施工状况报告》显示,2022年建筑业能源使用量以及碳排放量已经分别达到全球总量的36%与37%。我国当前建筑全过程(建材制造、建筑建造以及建筑运行)能耗占比已经达到总能耗的45%。随着我国城镇化水平的进一步

提高,预计建筑全过程耗占比将于2030年达到70%的水平,未来建筑能耗仍然存在大幅增长空间。因此,为减少建筑行业的能源消耗与环境污染水平,加快绿色住宅的推广应用与高质量发展成为房地产行业的重要目标之一。但是,如何实现绿色住宅的高质量发展已经成为当前房地产业发展所面临的重要机遇与挑战。根据《中国绿色建筑市场发展报告》显示,截至2024年,全国(不含港澳台地区,下同)新建绿色建筑面积占比已超过90%。但是,当前我国绿

收稿日期: 2024-04-29; 修回日期: 2024-08-26

作者简介: 叶学平, 研究员, 硕士研究生导师, 主要从事房地产金融、第三方评估等研究; 赵博云, 硕士研究生, 主要从事房地产金融、国民经济学研究。

色住宅市场监管体系不完善、质量水平存在较大差距、前期监管成本较大,导致绿色住宅市场始终存在房地产商虚构绿色度水平、绿色建筑质量层次不齐、虚假宣传等一系列投机行为^[1]。此类行为会破坏正常市场秩序,导致市场失灵,无法合理配置资源,阻碍房地产市场高质量发展^[2]。因此,绿色住宅市场缺乏有效监管,市场秩序混乱的问题随着绿色住宅市场发展日渐突出。在此情境下,如何通过两级政府引导措施实现有效监督并推动绿色住宅市场的高质量发展,是我国绿色建筑产业发展过程中亟需解决的关键问题。

为改善环境质量,实现经济可持续发展与高质量发展的战略目标,我国于2016年1月正式启用中央环境保护督察制度,并在2019年国务院办公厅印发的《中央生态环境保护督察工作规定》中,对于中央环境保护督察制度的督察对象、组织架构以及督察程序和权限等内容进行了详细的规定。据新华社2024年2月14日《第二轮中央生态环保督察整改任务完成近八成》一文中报道,截至2023年年底,第二轮中央生态环保督察整改方案明确的2164项整改任务完成率达79%。作为我国环境监管体制的一次重大变革,中央环保督察制度进一步发展了中国的环境治理结构,实现环境治理模式从简单的政府管理模式到“中央政府—地方政府—企业—公众”的多元化模式发展^[3]。对于地方的环境治理方式,企业的经营模式等一系列市场行为都产生了一定的影响。中央政府具备全国范围内的权威和政策执行力,中央环保督察通过对地方政府的考核和问责,形成自上而下的压力传导机制,能够有效增强绿色住宅市场的监管水平;同时,中央政府通过中央环保督察制度传递明确的政策信号,促使开发商和地方政府更加重视绿色住宅市场;最后,由于环境问题存在跨区域性,中央环保督察可以克服单一地方政府的局限,保证绿色住宅市场监管的统一性和有效性,并且由此建立的中央层面的信息共享机制有助于提高监管效率。已有的研究表

明,一方面,中央环保督察自上而下的监管会导致企业提前做出应对,主动规避相关信息披露^[4];另一方面,中央环保督察有效提高环境治理效率,实现短期内提升地区空气质量^[5]、提高企业环保投资^[6]、促进企业开展绿色创新^[7]以及促进企业的转型升级^[8]。

在政府如何通过政策手段对绿色建筑产业发展产生影响方面,经济激励政策可以有效提高绿色建筑社会产量^[9];政府动态奖惩机制有利于绿色建筑供给侧进一步发展^[10];政府补贴、税收以及绿色技术推广能够有效提升绿色建筑开发水平^[11];绿色建筑发展需要外部激励与内部激励的同时作用^[12];认为在绿色住宅市场,政府同时补贴房地产商与消费者最有利于提升总体的社会福利水平^[13];认为由于绿色建筑存在较强的外部性和信息不对称性,导致其市场容易出现明显的市场失灵^[14]。

近年来,演化博弈理论在绿色住宅市场的发展研究中得到普遍应用。最早研究采用演化博弈分析消费者、政府、房地产商三者的策略选择问题^[15];也有部分文献探讨了政府引导和市场机制两种模式对消费者和房地产商策略的影响,并证明政府监管优于消费者的监督反馈^[2];同样有研究通过演化博弈法证明绿色建筑的价格溢价以及激励政策的可实施性是影响博弈策略的主导因素^[16];亦有研究基于演化博弈证明在绿色建筑市场政府监管房地产开发商的最优策略是动态激励与静态惩罚^[17]。

综上所述,目前关于绿色住宅发展的研究较多关注政府通过何种政策措施来实现对绿色建筑产业发展的有效激励以及政府、房地产商以及消费者之间的三方博弈关系,少有研究对于绿色住宅市场的监管问题进行系统分析,以及结合中国国情探究中央政府、地方政府以及房地产商三者之间的博弈关系,尤其是缺乏在具体政策背景下对于绿色住宅市场多方博弈具体行为的分析。本文结合中央环保督察制度,首先构建一个中央政府、地方政府和房地产商三方主体的博弈演化模型,然后基于该模型讨

论绿色住宅市场监管问题的演化博弈过程,通过演化均衡分析以及仿真分析,探究出三方在绿色住宅市场存在市场失灵的情况下如何实现中央政府以及地方政府对于房地产商的有效监管,并寻找出各方决策行为的演化规律,提出相应的解决措施。

本文创新点有三个。第一,首次引入中央环保督察这一中国特色的环保监管制度加入绿色住宅市场的监管问题分析,引入中央政府这一博弈主体,探究中央政府、地方政府以及房地产商三者之间的博弈关系,全面研究三方博弈的具体变化机理。第二,在演化博弈模型构建中,基于2025年我国城镇新建建筑将全面执行绿色建筑标准的现实情境,本文选择将房地产商的博弈行为构建为“合规开发绿色住宅”或“投机开发绿色住宅”;同时在构建各方收益矩阵时,引入相关参数,力求全面刻画目前我国绿色住宅全面普及的现实情境。第三,利用现实数据进行仿真分析,结合政府的引导措施、环保专项资金的回收机制、中央政府和地方政府的交互行为探讨不同情境下三方主体的演化策略变动,为推动绿色住宅建设以及房地产行业高质量发展提供有效的参考依据和政策启示。

二、模型构建与变量设置

绿色住宅市场监管问题中,为构建演化博弈模型,本文选取中央政府、地方政府以及房地产开发商作为博弈主体。其中,环保督察组代表中央政府对地方绿色住宅市场进行监管,其主要职责是监督地方政府、企业以及地方党委等主体对于国家环境保护部法律法规的执行情况,代表中央政府的决策行为;地方政府作为环境政策、法规的執行者以及地方相关政策的制定者,不仅要考虑决策的经济效益,同时也要考虑其决策对于政府主体本身的影响和地方环境效益的影响;房地产商作为绿色住宅市场的经营主体,其一方面经营的目标在于自身经济效益的最大化,另一方面也要受制地方政府以

及中央政府派出督察组监管。因此,上述三方是提高绿色住宅比率、保护环境以及实现“双碳”目标过程中三个主要的利益相关方,也是中央环保督察体系下绿色住宅市场监管问题的三个重要主体。

为构建合理的演化博弈模型,做出如下假设。

假设1:中央政府为参与人I、地方政府为参与人II、房地产开发商为参与人III,三个主体目标都是追求自身利益的最大化,符合有限理性假设。同时在博弈过程中各主体所拥有的信息不完全对称,而随着时间的变化,不同主体的策略选择会根据自身实际的收益情况不断进行调整至其最优策略。需要说明的是,由于本文聚焦于中央环保督察体系这一视角,同时考虑到模型的复杂性和可解性问题,本文选取中央政府、地方政府和房地产开发商作为博弈主体,但这并不意味着在具体的监管实施实践中仅包含这三个主体。

假设2:中央政府的策略空间为 $S_1=(s_1, s_2)=(\text{监管}, \text{不监管})$,并且选择 s_1 的概率为 x ,选择 s_2 的概率为 $(1-x)$,其中 $x \in [0,1]$ 。其监管行为是指中央政府派出环保督察组进驻地方进行实地探访,通过现场调查、举行听证会议、听取民众反馈、下沉督察等方式^[18]对当地政府的监管情况以及当地房地产商的绿色住宅开发情况进行评估与检测,并根据实际结果做出判断或者进行惩罚。中央政府对绿色住宅市场进行监管的目的在于解决地方政府在处理绿色住宅相关问题时的不作为、慢作为以及敷衍应对等方面的问题,包括但不限于监察地方政府是否存在侵占资金补助、地方政府在实际操作过程中放宽绿色建筑标准。也同时对地方房地产商绿色住宅的开发情况进行评估,包括但不限于评估房地产商绿色建筑开发是否合规、是否存在利用绿色税收优惠进行偷税漏税等违法犯罪行为,并指导当地政府做出相应的决策。而不监管行为则是指中央政府并未指派环保督察组进驻地方,此时当地绿色住宅市场的监管工作由地方政府全权负责。假设中央环保督察组的

监管成本为 C_c ,而中央政府不监管时成本为0。中央政府在实施监管之后,通过督察组深入基层,积极听取群众意见,并且对当地政府的绿色住宅监管工作进行监督与指导后,推动当地环保基础设施建设与解决当地环境问题^[3],由此带来的社会福利设为 R_c 。同时因为中央政府的监管改善当地的环境问题,因此设中央政府因此获得的声誉 S_{cu} 。而当中央政府不派遣督察组进驻当地对绿色住宅建设进行监管时,此时地方出现环境问题并且未得到有效解决,设因此中央政府造成的声誉下降为 S_{cl} 。

假设3: 地方政府的策略空间为 $S_2=(s_3,s_4)=($ 严格监管, 宽松监管 $)$, 并且选择 s_3 的概率为 y , 选择 s_4 的概率为 $(1-y)$, 其中 $y \in [0,1]$ 。“严格监管”表示地方政府将严格执行中央制定的环境政策和绿色住宅建设的相关政策,并严格遵守相关法律法规,加大对绿色住宅市场的监管力度,加大对于房地产商投机建设绿色住宅行为的惩罚力度。“宽松”监管则表示地方政府着眼于经济效益的考量,为保证短期的经济发展或者受到房地产商“寻租”行为的影响,存在领导干部之间通过“共谋”等一系列行为应对中央政府派出的环保督察组检查,放松对于房地产商绿色住宅建设的监管,进而导致当地碳排放量超出正常标准,并影响周围环境质量,对周边地区环境产生负面影响^[19]。假设地方政府严格监管的成本为 C_{Lr} ,地方政府宽松监管的成本为 $C_{Ll}(C_{Ll} < C_{Lr})$ 。当地方政府选择严格监管时,会改善当地环境质量,减少当地的碳排放量,减少本地区环境污染事件发生,因此假设地方政府严格监管时为当地带来的社会福利改进为 R_l 。地方政府发现房地产商投机行为后,对房地产商的处罚为 P_{Le} 。当中央政府派出的督察组发现地方政府存在宽松监管的行为时,中央政府对地方政府的处罚为 P_{Cl} 。地方收取房地产商所需要缴纳的环境保护税为 T ,而当房地产商合规开发绿色住宅后,其所需缴纳的环境保护税为 θT 。为形成长效环保机制,不能只依赖于地方财政投入^[20],中央政府会向地

方政府提供环保专项补贴 M ,其中地方政府用于补贴房地产商建设绿色住宅的环保专项补贴的比例为 f_1 ,地方政府发现房地产商投机建设绿色住宅时,其回收的环保专项补贴的比例为 f_2 。

假设4: 房地产商的策略空间为 $S_3=(s_5,s_6)=($ 合规开发绿色住宅, 投机开发绿色住宅 $)$,并且选择 s_5 的概率为 z ,选择 s_6 的概率为 $(1-z)$,其中 $z \in [0,1]$ 。“合规开发绿色住宅”是指房地产商在建造绿色住宅期间严格遵守国家相关法律法规和相关政策对绿色住宅进行开发,包括但不限于依法准确上报环保税收优惠额度,保证所有财务数据符合会计审计规范、合理使用政府发放的环保税收资金和资金补助。“投机开发绿色住宅”是指房地产商已经获得政府对房屋的绿色认证,但开发过程中不按照相关标准进行开发,借此节省开发成本及骗取政府补贴,在房屋完工后虚假报告房屋绿色水平。房地产商开发非绿色住宅带来的收益为 R_g ,用生产函数 $Y_{DTE}=AK^\alpha L^\beta$ 表示^[21],其中, A 表示房地产商绿色建筑技术的绿色创新水平, L 表示房地产商绿色建筑技术的人力资本, K 表示房地产商绿色建筑技术的创新资本。而房地产商开发绿色住宅时采用绿色创新技术的边际收益为 r_g 。房地产商开发非绿色住宅的成本为 C_D 。房地产商绿色建筑项目技术的采用与成本的关联关系^[22],绿色建筑技术的创新成本 C_c 与节能减排量 e 的二次项呈现出线性相关性,记 $C_c=\Phi e^2$,其中 Φ 是房地产商绿色建筑技术成本的影响系数。由于房地产商开发绿色住宅,当地的环境得到改善,设房地产商开发绿色住宅改善当地环境带来的额外环境效益为 ΔR 。同时,绿色建筑的建设对于周边地区的环境同样存在外部影响,因此设外部环境效益为 $R_0=\phi e$,其中 ϕ 为绿色住宅建设的溢出效应对于周边地区的影响系数, e 为节能减排量。

根据上述假设,可得中央政府、地方政府、房地产商三方演化博弈的收益矩阵,结果如表1所示。

表1 绿色住宅市场监管中中央政府、地方政府、房地产商三方演化博弈收益矩阵

地方		房地产商		
政府		合规开发绿色住宅 z	投机开发绿色住宅 $(1-z)$	
中央 政府	监管 x	严格监管 y	(CG_1, LG_1, RE_1)	(CG_2, LG_2, RE_2)
		宽松监管 $(1-y)$	(CG_3, LG_3, RE_3)	(CG_4, LG_4, RE_4)
	不监管 $(1-x)$	严格监管 y	(CG_5, LG_5, RE_5)	(CG_6, LG_6, RE_6)
		宽松监管 $(1-y)$	(CG_7, LG_7, RE_7)	(CG_8, LG_8, RE_8)

注: CG(Central Government)表示中央政府的决策收益, LG(Local Government)表示地方政府的决策收益, RE(Real estate Enterprise)表示房地产商的决策收益。

三方演化博弈收益矩阵中, 不同博弈策略组合的收益如下所示:

$$\begin{aligned}
 CG_1 &= S_{CU} + \varphi \cdot \Delta R \cdot e - C_C + R_C; \\
 LG_1 &= S_{LU} + R_L + \theta \cdot T - C_{LT} + \Delta R \cdot e + M \cdot (1 - f_1); \\
 RE_1 &= R_G + r_G AK^\alpha L^\beta - \theta \cdot T + f_1 M - C_D - \phi \cdot e^2; \\
 CG_2 &= R_C - \varphi \cdot \Delta R \cdot e - C_C; \\
 LG_2 &= R_L + P_{LE} - C_{LT} + M f_1 f_2 + M \cdot (1 - f_1) - \Delta R \cdot e + T; \\
 RE_2 &= R_{NG} - C_D - P_{LE} + f_1 M - f_1 f_2 M - T;
 \end{aligned}$$

三、模型分析

(一) 中央政府的策略稳定性分析

$$\begin{cases}
 U_{11} = yz(S_{CU} + \varphi e \Delta R - C_C + R_C) + y(1-z)(R_C - \varphi e \Delta R - C_C) + (1-y)z(S_{CU} + \varphi e \Delta R - C_C + P_{CL} + R_C) \\
 \quad + (1-y)(1-z)(R_C + P_{CL} - \varphi e \Delta R - C_C) \\
 U_{12} = yz\varphi e \Delta R + y(1-z)(-\varphi e \Delta R - S_{CD}) + (1-y)z\varphi e \Delta R + (1-y)(1-z)(-\varphi e \Delta R - S_{CD}) \\
 \bar{U}_1 = xU_{11} + (1-x)U_{12}
 \end{cases} \quad (1)$$

中央政府策略选择的复制动态方程为:

$$F(x) = dx/dt = x(U_{11} - \bar{U}_1) = x(1-x)[zS_{CU} + S_{CD} + (1-y)P_{CL} - zS_{CD} - C_C + R_C] \quad (2)$$

x 的一阶导数和设定 $G(y)$ 分别为:

$$d(F(x))/dx = (1-2x)[zS_{CU} + S_{CD} + (1-y)P_{CL} - zS_{CD} - C_C + R_C] \quad (3)$$

$$G(z) = zS_{CU} + S_{CD} + (1-y)P_{CL} - zS_{CD} - C_C + R_C \quad (4)$$

由微分方程的稳定性定理可得, 如果中央政府选择监管策略的概率处于稳定状态, 则式(2)(3)需要满足: $F(x)=0$ 且 $d(F(x))/dx < 0$ 。由于 $\partial G(z)/\partial z < 0$, 所以 $G(z)$ 是关于 z 的减函数。所以当 $z = (S_{CD} - C_C + P_{CL} - yP_{CL} + R_C)/(S_{CD} - S_{CU}) = z^*$ 时, $G(z)=0$, 在此时 $d(F(x))/dx = 0$, 中央政府无法确定稳

$$CG_3 = S_{CU} + P_{CL} + \varphi \cdot \Delta R \cdot e - C_C + R_C;$$

$$LG_3 = (1 - f_1) \cdot M - P_{CL} + \theta \cdot T + \Delta R \cdot e - C_{LL};$$

$$RE_3 = R_G + r_G AK^\alpha L^\beta - \theta \cdot T + f_1 M - C_D - \phi \cdot e^2;$$

$$CG_4 = R_C - \varphi \cdot \Delta R \cdot e - C_C + P_{CL};$$

$$LG_4 = T - P_{CL} - C_{LL} - S_{LD} - \Delta R \cdot e;$$

$$RE_4 = R_{NG} - C_D - T;$$

$$CG_5 = \varphi \cdot \Delta R \cdot e;$$

$$LG_5 = S_{LU} + R_L + \theta \cdot T - C_{LT} + \Delta R \cdot e + (1 - f_1)M;$$

$$RE_5 = R_G + r_G AK^\alpha L^\beta - \theta \cdot T + f_1 M - C_D - \phi \cdot e^2;$$

$$CG_6 = -\varphi \cdot \Delta R \cdot e - S_{CD};$$

$$LG_6 = R_L + P_{LE} - C_{LT} + f_1 f_2 M + T + (1 - f_1)M - \Delta R \cdot e$$

$$RE_6 = R_{NG} - C_D - P_{LE} - T + f_1 M - f_1 f_2 M;$$

$$CG_7 = \varphi \cdot \Delta R \cdot e;$$

$$LG_7 = \Delta R \cdot e + \theta \cdot T + (1 - f_1)M - C_{LL};$$

$$RE_7 = R_G + r_G AK^\alpha L^\beta - \theta \cdot T + f_1 M - \phi \cdot e^2 - C_D;$$

$$CG_8 = -\varphi \cdot \Delta R \cdot e - S_{CD};$$

$$LG_8 = -C_{LL} - \Delta R \cdot e + T + (1 - f_1)M - S_{LD};$$

$$RE_8 = R_{NG} - C_D - T + f_1 M。$$

中央政府监管或不监管的期望收益和平均期望收益($U_{11}, U_{12}, \bar{U}_1$)为:

定策略; 当 $z < z^*$ 时, $G(z) > 0$, $d(F(x))/dx|_{x=1} < 0$, 因此 $x=1$ 在此时为中央政府的演化稳定策略(Evolutionary Stable Strategy, ESS), 即中央政府在此时选择监管; 同理, 当 $z > z^*$ 时, $G(z) < 0$, $d(F(x))/dx|_{x=0} < 0$, 因此 $x=0$ 时, 中央政府的演化稳定策略为不监管。综上, 中央政府策略演化相位图如图1所示。

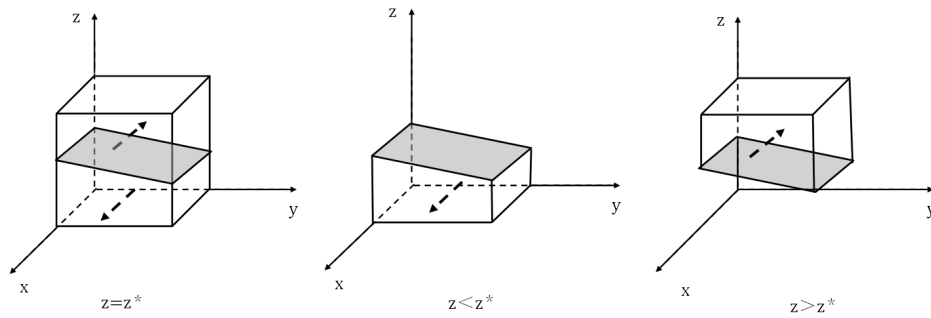


图1 中央政府策略演化相位图

(二) 地方政府的策略稳定性分析

期望收益与平均收益($U_{21}, U_{22}, \bar{U}_2$)用式(5)综合

地方政府选择严格监管与宽松监管的表示:

$$\begin{cases} U_{21} = xz[S_{LU} + R_L + \theta T - C_{LT} + e\Delta R + (1-f_1)M] + x(1-z)[R_L + T + P_{LE} - C_{LT} + f_1f_2M \\ + (1-f_1)M - e\Delta R] + (1-x)z[S_{LU} + R_L + \theta T - C_{LT} + e\Delta R + (1-f_1)M] + (1-x)(1-z) \\ [R_L + P_{LE} - C_{LT} + T + f_1f_2M + (1-f_1)M - e\Delta R] \\ U_{22} = xz[(1-f_1)M + e\Delta R + \theta T - P_{CL} - C_{LL}] + x(1-z)[T - P_{CL} - C_{LL} - S_{LD} - e\Delta R] \\ + (1-x)z[e\Delta R + (1-f_1)M - C_{LL} + \theta T] + (1-x)(1-z)[(1-f_1)M + T \\ - C_{LL} - e\Delta R - S_{LD}] \\ \bar{U}_2 = yU_{21} + (1-y)U_{22} \end{cases} \quad (5)$$

地方政府策略选择的复制动态方程为:

$$F(y) = dy/dt = y(U_{21} - \bar{U}_2) = y(1-y)[zS_{LU} + R_L + C_{LL} + (1-z)P_{LE} + xP_{CL} + (1-z)S_{LD} - C_{LT} \\ + xM - xf_1M - xzM + xzf_1M + xf_1f_2M - xzf_1f_2M] \quad (6)$$

y 的一阶导数和设定 $H(x)$ 分别为:

$$d(F(y))/dy = (1-2y)[zS_{LU} + R_L + C_{LL} + (1-z)P_{LE} + xP_{CL} + (1-z)S_{LD} - C_{LT} \\ + xM - xf_1M - xzM + xzf_1M + xf_1f_2M - xzf_1f_2M] \quad (7)$$

$$H(x) = zS_{LU} + R_L + C_{LL} + (1-z)P_{LE} + xP_{CL} + (1-z)S_{LD} - C_{LT} \\ + xM - xf_1M - xzM + xzf_1M + xf_1f_2M - xzf_1f_2M \quad (8)$$

由微分方程的稳定性定理可知,如果地方政府选择严格监管策略的概率处于稳定状态,则式(6)(7)需要满足:

$F(y)=0$ 且 $d(F(y))/dy < 0$ 。因为 $\partial H(x)/\partial x < 0$,所以 $H(x)$ 是关于 x 的增函数。所以当

$x = \frac{C_{LT} + zS_{LD} + zP_{LE} - zS_{LU} - R_L - P_{LE} - C_{LL} - S_{LD}}{M - f_1M - zM + zf_1M + f_1f_2M - zf_1f_2M + P_{CL}} = x^* = x^*$ 时, $H(x)=0$,此时 $d(F(y))/dy \equiv 0$,地方政府无法确

定其稳定策略;当 $x < x^*$ 时, $H(x) < 0$, $d(F(y))/dy|_{y=0} < 0$,因此 $y=0$ 在此时是地方政府的演化

稳定策略,即地方政府在此时选择宽松监管;

同理,当 $x > x^*$ 时, $H(x) > 0$, $d(F(y))/dy|_{y=1} < 0$,

因此 $y=1$ 时,地方政府的演化稳定策略为宽松

监管。综上可得,地方政府的策略演化相位图如图2所示。

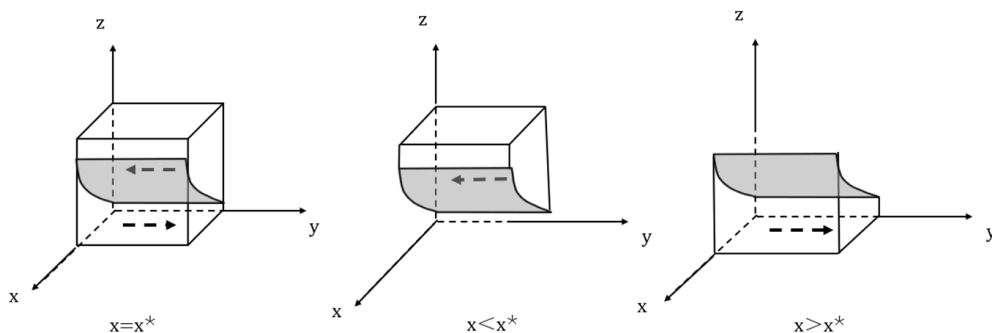


图2 地方政府策略演化相位图

(三) 房地产商的策略稳定性分析

绿色住宅的期望收益和平均期望收益 ($U_{31}, U_{32},$ 房地产商合规开发绿色住宅或投机开发 $\bar{U}_3$) 为:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{31} = xy(R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} - \theta T + f_1 M - C_D - \phi e^2) + x(1-y)(R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} - \theta T + f_1 M \\ - C_D - \phi e^2) + (1-x)y(R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} - \theta T + f_1 M - C_D - \phi e^2) + (1-x)(1-y)(R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} \\ - \theta T + f_1 M - \phi e^2 - C_D) \\ U_{32} = xy[R_{NG} - C_D - P_{LE} + f_1 M - f_1 f_2 M - T] + x(1-y)[R_{NG} - C_D - T] \\ + (1-x)y[R_{NG} - C_D - P_{LE} - T + f_1 M - f_1 f_2 M] + (1-x)(1-y) \\ (R_{NG} - C_D - T + f_1 M) \\ \bar{U}_3 = zU_{31} + (1-z)U_{32} \end{array} \right. \quad (9)$$

房地产商策略选择的复制动态方程为:

$$F(z) = dz/dt = z(U_{31} - \bar{U}_3) = z(1-z)[R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} - R_{NG} - \phi e^2 + T \\ - \theta T + yP_{LE} + xf_1 M - xyf_1 M + yf_1 f_2 M] \quad (10)$$

 z 的一阶导数和设定 $D(x)$ 分别为:

$$d(F(z))/dz = (1-2z)[R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} - R_{NG} - \phi e^2 + T \\ - \theta T + yP_{LE} + xf_1 M - xyf_1 M + yf_1 f_2 M] \quad (11)$$

$$D(x) = R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} - R_{NG} - \phi e^2 + T \\ - \theta T + yP_{LE} + xf_1 M - xyf_1 M + yf_1 f_2 M] \quad (12)$$

由微分方程稳定性定理可知, 如果房地产商选择合规开发绿色住宅的概率处于稳定状态, 式(10)(11)需要满足: $F(z)=0$ 且 $d(F(z))/dz < 0$ 。由于 $\partial D(x)/\partial x > 0$, 所以 $D(x)$ 是关于 x 的增函数。所以当 $\frac{R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} - R_{NG} - \phi e^2 + T - \theta T + yP_{LE}}{yf_1 M - f_1 M} = x^*$ 时, $D(x)=0$, 在此时 $d(F(z))/dz \equiv 0$, 房地产商无法确定稳定策略; 当 $x < x^*$ 时, $D(x) < 0$, $d(F(z))/dz|_{z=0}$

< 0 , 因此 $z=0$ 在此时是房地产商的演化稳定策略, 即此时房地产商选择投机开发绿色住宅。同理, 当 $x > x^*$ 时, $D(x) > 0$, $d(F(z))/dz|_{z=1} < 0$, 因此 $z=1$, 此时房地产商的演化稳定策略为合规开发绿色住宅。综上所述, 房地产商的策略演化相位图如图3所示, 图3分别演示了不同情况下房地产商的演化稳定策略。

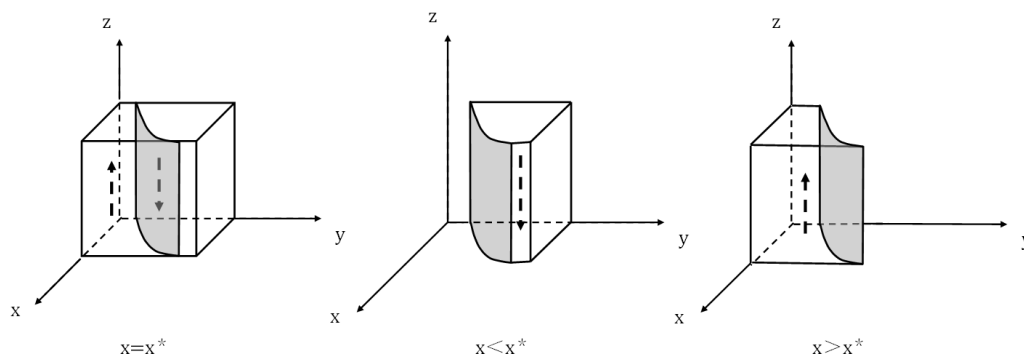


图3 房地产商策略演化相位图

(四) 三方演化博弈系统均衡点以及稳定性分析

动态方程, 联立复制动态方程可得到三维动力

通过上述分析可得三方博弈参与者的复制系统:

$$\left\{ \begin{array}{l} F(x) = dx/dt = x(1-x)[zS_{CU} + S_{CD} + (1-y)P_{CL} - zS_{CD} - C_C + R_C] \\ F(y) = dy/dt = y(1-y)[zS_{LU} + R_L + C_{LL} + (1-z)P_{LE} + xP_{CL} + (1-z)S_{LD} - C_{LT} \\ + xM - xf_1 M - xzM + xzf_1 M + xf_1 f_2 M - xzf_1 f_2 M] \\ F(z) = dz/dt = z(1-z)(R_G + r_G AK^{\alpha} L^{\beta} - R_{NG} - \phi e^2 + T \\ - \theta T + yP_{LE} + xf_1 M - xyf_1 M + yf_1 f_2 M) \end{array} \right. \quad (13)$$

为简化运算步骤,令 $a = S_{CD} + P_{CL} - C_C + R_C$, $b = S_{CU} - S_{CD}$, $c = R_L + C_{LL} + P_{LE} + S_{LD} - C_{LT}$, $d = P_{CL} + M - f_1 M + f_1 f_2 M$, $e = P_{LE} + S_{LD}$, $f = M - f_1 M + f_1 f_2 M$, $g = R_G + r_G A K^\alpha L^\beta - R_{NG} - \phi e^2 + T - \theta T$, $h = P_{LE} + f_1 f_2 M$ 。根据式(13),可得化简后的三维动力系统:

$$\begin{cases} F(x) = x(1-x)(a+bz-P_{CL}y) \\ F(y) = y(1-y)[c-ez+x(d-fz)] \\ F(z) = z(1-z)[g+hy+x(1-y)f_1M] \end{cases} \quad (14)$$

令 $F(x)=0$, $F(y)=0$, $F(z)=0$ 可得系统均衡点: $E_1(1,0,0)$, $E_2(1,0,0)$, $E_3(1,1,0)$, $E_4(1,1,1)$, $E_5(0,1,0)$, $E_6(0,1,1)$, $E_7(0,0,1)$, $E_8(1,0,1)$, $E_9(0,c/e, -g/h)$, $E_{10}(-g/f_1M, 0, -a/b)$, $E_{11}(1, (-g-f_1M)/(h-f_1M), d/(e+f))$ 。又根据已有文献可知,多种群演化博弈中稳定解为严格纳什均衡^[23]。严格纳什均衡一定是纯策略,故舍弃掉 $E_9 \sim E_{11}$ 。构建出三方演化博弈的雅克比矩阵^[24]:

$$T = \begin{bmatrix} T_1 & T_2 & T_3 \\ T_4 & T_5 & T_6 \\ T_7 & T_8 & T_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial F(x)/\partial x & \partial F(x)/\partial y & \partial F(x)/\partial z \\ \partial F(y)/\partial x & \partial F(y)/\partial y & \partial F(y)/\partial z \\ \partial F(z)/\partial x & \partial F(z)/\partial y & \partial F(z)/\partial z \end{bmatrix}$$

雅克比矩阵中各参数的具体表达式如下:

$$\begin{aligned} T_1 &= (1-2x)(a+bz-P_{CL}y); \\ T_2 &= -P_{CL}x(1-x); \\ T_3 &= -bx(1-x); \\ T_4 &= y(1-y)(d-fz); \\ T_5 &= (1-2y)[c-ez+x(d-fz)]; \\ T_6 &= y(1-y)(-fx-e); \\ T_7 &= z(1-z)(1-y)f_1M; \\ T_8 &= z(1-z)(h-f_1M); \\ T_9 &= (1-2z)[g+hy+x(1-y)f_1M]; \end{aligned}$$

由雅克比矩阵得各均衡点的特征值,通过特征值实部的正负性对各均衡点的稳定性进行分析。具体各个点处的特征值如表2所示。

表2 博弈雅克比矩阵的特征值及其稳定性

均衡点	雅克比矩阵特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	稳定性条件
$E_1(0,0,0)$	a, c, g	$a < 0, c < 0, g < 0$
$E_2(1,0,0)$	$f_1M+g, c+d, -a$	$f_1M+g < 0, c+d < 0, a > 0$
$E_3(1,1,0)$	$g+h, P_{CL}-a, -c-d$	$g+h < 0, P_{CL}-a < 0, c+d > 0$
$E_4(1,1,1)$	$-g-h, P_{CL}-a-b, e-d-c+f$	$g+h > 0, P_{CL}-a-b < 0, e-d-c+f < 0$
$E_5(0,1,0)$	$g+h, a-P_{CL}, -c$	$g+h < 0, a-P_{CL} < 0, c > 0$
$E_6(0,1,1)$	$e-c, -g-h, a+b-P_{CL}$	$e-c < 0, g+h > 0, a+b-P_{CL} < 0$
$E_7(0,0,1)$	$a+b, c-e, -g$	$a+b < 0, c-e < 0, g > 0$
$E_8(1,0,1)$	$-f_1M-g, -a-b, c+d-e-f$	$f_1M+g > 0, a+b > 0, c+d-e-f < 0$

在均衡点分析的过程中,存在一般性假设 $R_C - C_C > 0$,这表示中央政府派遣督导组解决地方绿色住宅建设问题时存在的问题为社会带来的正面效益以及解决问题带来的自身的声誉提升量之和大于其监督成本,因此 $E_1(0,0,0)$ 、 $E_5(0,1,0)$ 、 $E_6(0,1,1)$ 、 $E_7(0,0,1)$ 一定不是该三方博弈的演化稳定点。在此基础上,讨论可能的稳定点 $E_2(1,0,0)$ 、 $E_3(1,1,0)$ 、 $E_4(1,1,1)$ 和 $E_8(1,0,1)$,即中央政府监管、地方政府不监管、企业投机开发;中央政府监管、地方政府监管、企业投机开发;中央政府监管、地方政府监管、企业合规开发;中央政府监管、地方政府不监管、企业合规开发四种情况。具体情况分析结果具体如表3所示,当 E_2 和 E_4 各为演化稳定点时,其都是该情况下三方博弈的唯一的稳定点;当 E_3 为稳定点时, E_8 有可能同为演化稳定点;当 E_8 为稳定点时, E_3 有可能也是演化稳定点。

表3 雅可比矩阵特征值在各点不同条件下的稳定性分析

ESS	$E_2(1,0,0)$	$E_3(1,1,0)$	$E_4(1,1,1)$	$E_8(1,0,1)$	具体说明
$E_2(1,0,0)$		$(\times, -, +)$	$(\times, -, +)$	$(+, \times, +)$	E_3, E_4, E_8 为不稳定点
$E_3(1,1,0)$	$(\times, +, -)$		$(+, -, \times)$	$(\times, \times, \times)$	E_2, E_4 为不稳定点
$E_4(1,1,1)$	$(\times, +, -)$	$(+, -, \times)$		$(\times, -, +)$	E_3, E_2, E_8 为不稳定点
$E_8(1,0,1)$	$(+, \times, -)$	$(\times, -, \times)$	$(\times, -, +)$		E_4, E_2 为不稳定点

注:“+”“-”分别表示特征值的实部的情况为“正”“负”。

四、仿真分析

(一) 初始参数设置

为了进一步分析中央政府、地方政府以及房地产商在绿色住宅市场监管过程中的决策模式,深入分析各个均衡点在参数变动后的具体情况,本文将结合实际数据,使用MATLAB2023a进行数值仿真分析。

自2016年中央环保督察制度正式启动。据2023年1月18日湖北省政府新闻发布会内容,截至2022年12月,中央环保督察组已经在湖北省完成两轮中央环境生态保护督察,目前66项整改任务已完成39项,其余27项均已达成预期进度,督察进度取得良好进展。由于湖北省本身的地理位置处于全国交通的枢纽位置,作为长江中游最主要的省份,环境问题需要得到重点关

注,故选取湖北省绿色住宅相关数据进行参数设置并在此基础上进行仿真分析。

根据《中国统计年鉴2022》,采用一般公共预算支出中的中央节能环保支出为中央政府派出中央督察组进行监管的监管成本 C_C 进行赋值。2019年以前,我国尚未实施新环保法,故地方政府实施宽松监管成本 C_{LL} 采用《中国统计年鉴2019》中一般公共预算支出的湖北省节能环保支出赋值。自2019年起,我国开始实施新环保法,地方政府实施严格监管成本 C_{LT} 使用一般公共预算支出中的湖北省节能环保支出进行赋值。经计算化简: $C_C=27.3$, $C_{LT}=170$, $C_{LL}=145$ 。

2022年湖北省中央生态环境资金共安排621亿元,按照相应比例进行测算,可以设置中央给予地方政府的环保专项补贴 $M=103$ 。假设环保专项资金用于绿色住宅市场的补贴比率,即房地产商获得当地政府专项补贴的比例为 $f_1=0.1$,如果当地房地产商产生投机开发绿色住宅的行为,假设初始状态企业合规开发绿色建筑,当地政府回收资金的比例为 $f_2=0$ 。结合《关于加快推动我国绿色建筑发展的实施意见》中对于绿色建筑补贴和项目容积率3%补贴以及《中国统计年鉴2022》中湖北省环境保护税收入为6.59亿元,赋值地方政府从房地产商处所得环境保护税 $T=6.6$,假设初始状态不存在税收优惠,令 $\theta=1$ 。根据实际情况和已有相关文献的做法,设置地方政府对于房地产商投机行为的处罚 $P_{LE}=5^{[3]}$ 。中央政府对于地方政府的惩罚措施一般是通过处分或者通报批评等间接方式督促地方政府进行整改,因此设置 $P_{CL}=0$ 。

据国家统计局相关数据测算,湖北省2022年商品房平均销售价格为8444元/ m^2 。根据国家税务部门批准的建筑业利润率为10%~20%,设置非绿色住宅收益为844元/ m^2 ,由于绿色住宅的全面普及化,房地产商绿色住宅的纯收益与非绿色住宅收益差距正在逐渐缩小,同其他变量进行对比赋值后,令 $R_C=260$, $R_{NG}=300$ 。参考有关文献,非绿色建

筑在生命周期内释放约500kgCO₂eq/ $m^{2[25]}$,而绿色住宅在生命周期中CO₂的排放量要比非绿色住宅低10%^[26],因此赋值节能减排量 $e=5$,绿色建筑技术成本影响系数 $\Phi=1.9^{[27]}$ 。绿色技术创新效益: $r_GAK^\alpha L^\beta=r_GY_{DTE}=43.5^{[28]}$ 。

中央政府、地方政府在博弈过程中获得的声誉或者造成的声誉损失,以及实施监管带来的社会福利的改进,设置中央实施监管带来的当地的社会福利的改进 $R_C=200^{[29]}$,地方政府严格监管带来的当地的社会福利的改进 $R_L=210$,中央政府有效监管后当地问题得到改善带来的声誉上升值 $S_{CU}=80$,地方政府严格监管后当地环境问题改善带来的声誉上升值 $S_{LU}=55$,中央政府不监管当地环境问题仍然存在带来的声誉下降值 $S_{CD}=100$,地方政府宽松监管导致当地出现环境问题导致的声誉下降值 $S_{LD}=70$ 。

(二) 初始仿真结果

综合上述基本参数设置,本文仿真的初始值设定为 $C_C=27.3$, $C_{LT}=170$, $C_{LL}=145$, $M=103$, $f_1=0.1$, $f_2=0$, $T=17.3$, $\theta=1$, $P_{LE}=5$, $R_C=260$, $R_{NG}=300$, $e=5$, $\Phi=1.9$, $r_GAK^\alpha L^\beta=r_GY_{DTE}=43.5$, $R_C=200$, $R_L=210$, $S_{CU}=80$, $S_{LU}=55$, $S_{CD}=100$, $S_{LD}=70$, $P_{CL}=0$ 。在上述参数赋值的条件下,中央政府、地方政府以及房地产商三方演化博弈演化50次后的结果如图4所示,此时系统仅存在一个演化稳定策略(监管,严格监管,投机开发绿色住宅)。在绿色建筑行业开发初期,其总体成本较高,所获得的利润较低,短期总体利润要低于非绿色住宅,因此尽管中央政府已经开展环保督察工作,地方政府已经进行严格监管,房地产商仍然选择投机开发绿色住宅。同时在监管初期,地方政府各项激励措施仍然没有落实到位,经济补助数量较少,而且并没有相应的惩罚措施,例如发现违规行为后政府对于补助资金的回收不到位,并且其经济惩罚金额相对较小等问题。因此演化稳定策略仅存在一个(监管,严格监管,投机开发绿色住宅)的稳定点是符合现实情况的。

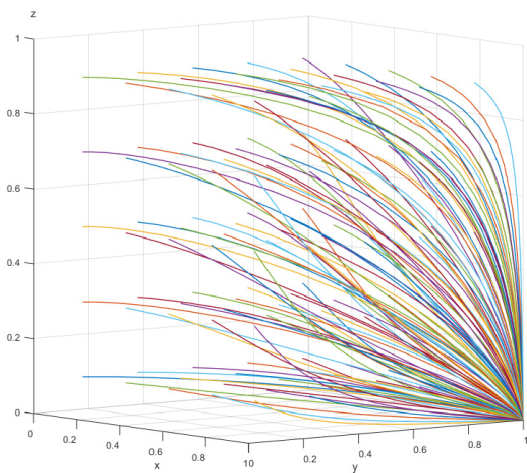


图4 初始参数演化50次结果

(三) 博弈均衡点移动

假设房地产商随着绿色住宅逐渐普及、开发成本逐渐降低,其实际利润不断增加;随着中央环保督察制度的深入贯彻落实,地方政府一方面为了实现“双碳”目标增加对于绿色住宅的激励补贴,同时加大针对投机开发绿色住宅行为的惩罚力度。此时,假设数组2为 $C_C=27.3$, $C_{LT}=170$, $C_{LL}=145$, $M=103$, $f_1=0.2$, $f_2=0.5$, $T=17.3$, $\theta=1$, $P_{LE}=10$, $R_G=350$, $R_{NG}=300$, $e=5$, $\Phi=1.9$, $r_G A K^\alpha L^\beta = r_G Y_{DTE}=43.5$, $R_C=200$, $R_L=210$, $S_{CU}=80$, $S_{LU}=55$, $S_{CD}=100$, $S_{LD}=70$, $P_{CL}=5$ 。相较于初始参数,数组2中, $P_{LE}=10$, $f_1=0.2$, $f_2=0.5$, $R_G=350$, $P_{LC}=5$, $r_G A K^\alpha L^\beta = r_G Y_{DTE}=50.5$, 其余参数保持不变。数组2仿真50次后的结果如图5所示。

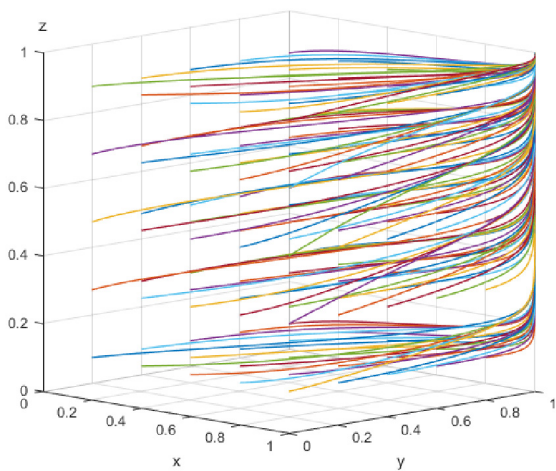


图5 数组2参数演化50次结果

此时,三方演化博弈的演化稳定策略为 $(1, 1, 1)$,即(监管,严格监管,合规开发绿色住宅)。随着中央政府环保督察工作的不断深入,地方政府提高房地产商环保税收的优惠力度、加强对投机建造绿色住宅行为惩罚、提高房地产商违规时收回环保专项补贴比例。企业一方面随着技术进步逐渐降低绿色住宅的建造成本,另一方面由于存在地方政府与中央政府双重的监管压力,开始逐渐增加合规建设绿色住宅的概率。此外,房地产商接受政府高强度的补贴时能够实现开发绿色住宅项目的外部效益内部化,绿色建筑技术的边际效益递增、资本整体增加,房地产商开始逐渐倾向于采取合规的方式开发绿色住宅。因此,最终三方演化博弈点最终收敛于(监管,严格监管,合规开发绿色住宅)。地方政府需要采取严格监管模式,中央政府需要派出督察组进驻进行监管,实现企业选择合规开发绿色住宅的演化博弈策略。尽管地方政府可以采用税收激励等方式鼓励绿色住宅的全面普及,但部分学者认为如果始终采取较高的激励水平来促进绿色住宅的发展,一方面可能会导致地方政府财政压力过大,另一方面对于房地产商的绿色住宅相关技术进步同样存在一定阻碍^[30],因此尽管本文最终演化结果趋向于两级政府都采取严格的监管措施,但是政府应该选择奖惩结合的方式进行监管,并且通过优化监管流程和决策设计来尽可能降低监管的政策成本,实现高质量高效率的监管。

(四) 环保税收优惠对系统演化的影响

地方政府监管绿色住宅市场时,通过调节环保税收来影响房地产商的博弈策略。地方政府会根据地方环境情况、经济水平以及房地产行业发展形势等,给予房地产商一定税收优惠刺激房地产商合规开发绿色住宅的积极性。图6中,分别设置环保税收优惠比率 $\theta=1$ 、 $\theta=0.7$ 、 $\theta=0.5$ 来考察不同税收优惠力度下地方政府和房地产商在演化博弈中的策略,其余数值设置同数组2情形,符合当前实际情况。根据图6可

以得出,在系统逐渐演化到稳定点的过程中,环保税收优惠力度增加能够加快房地产商选择合规开发绿色住宅的演化速度,随着 θ 降低,房地产商选择合规开发绿色住宅的概率上升,地方政府选择严格监管的概率降低。因此,适当地提高环保税收优惠力度,一方面对激励房地产商开发绿色住宅具有较为显著的效果,另一方面政府在一定程度上放松监管有利于缓解财政压力。

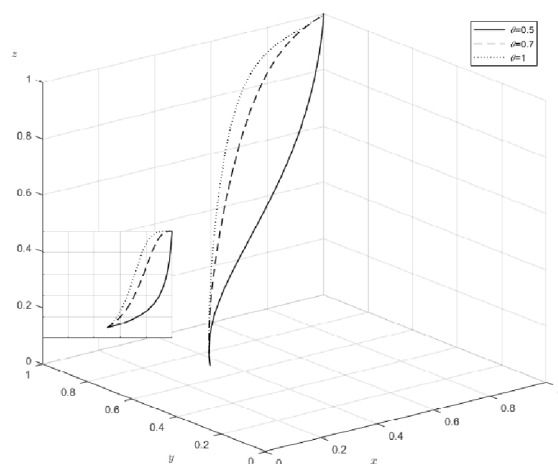


图6 地方政府的环保税收优惠的影响

(五) 房地产商投机开发绿色住宅时环保专项资金回收比例对系统演化的影响

地方政府除去采取税收激励刺激鼓励房地产商合规开发绿色住宅,也要建立完备的惩罚制度。除直接经济处罚外,制定环保专项资金管理办法,确保环保专项资金使用合法合规,防止房地产商滥用环保专项资金。当房地产商投机开发绿色住宅时,环保专项资金回收的比例对房地产商的博弈策略同样有一定影响。令房地产商投机开发绿色住宅时环保专项资金回收比例分别为 $f_2=0$ 、 $f_2=0.5$ 、 $f_2=0.7$,具体结果如图7所示。当地方政府提高环保专项资金的回收比例时,房地产商逐渐倾向于合规开发绿色住宅,且随着环保专项资金回收比例的提高选择合规开发绿色住宅的演化速度加快。因此,地方政府提高环保专项资金回收比例有利于房地产商更加积极地选择合规开发绿色住宅的博弈策略。

同时,提高环保专项资金回收比例也有助于地方政府更好地利用财政预算,提高财政利用效率。制定合理的环保专项资金管理办法,有利于促进房地产商选择合规开发绿色住宅,促进生态环境的可持续发展。

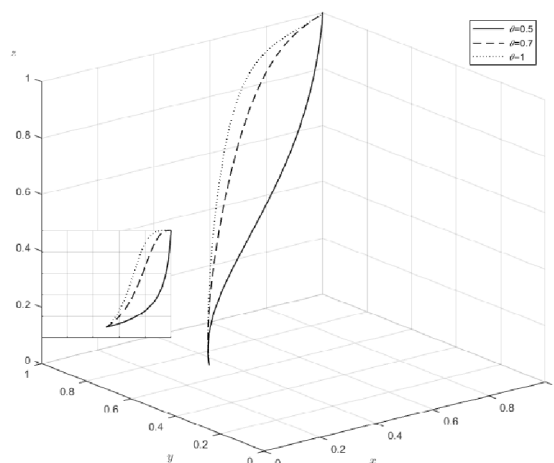


图7 地方政府的环保专项资金回收比例的影响

(六) 房地产商获得的资金补助占环保专项资金的比例对系统演化的影响

地方政府分配环保专项资金用于各个产业的比例取决于当地的经济发展状况和各个产业发展的均衡程度、各个产业对于环境的影响水平等因素。房地产行业作为我国经济支柱产业,在湖北省也占据着经济发展主导地位,因此,地方政府对于环保专项资金的分配同样会影响房地产商对于绿色住宅开发的博弈策略。令房地产商获得的资金补助占环保专项资金的比例分别为 $f_1=0.3$ 、 $f_1=0.5$ 、 $f_1=0.7$,演化博弈结果如图8所示。根据图8可知,房地产商获得的资金补助占环保专项资金的比例对于地方政府与房地产商的博弈策略选择影响较小,但是随着房地产商获得资金补助的比例不断提高,房地产商仍然会小幅度加快选择合规开发绿色住宅的演化速度,增加合规开发绿色住宅的概率。因此,适当提高房地产行业获得环保专项资金的比例同样有利于绿色住宅建设的发展,但是效果比较有限,环保专项资金的总量对于房地产商选择合规开发绿色住宅建设的潜在影响可能更大。

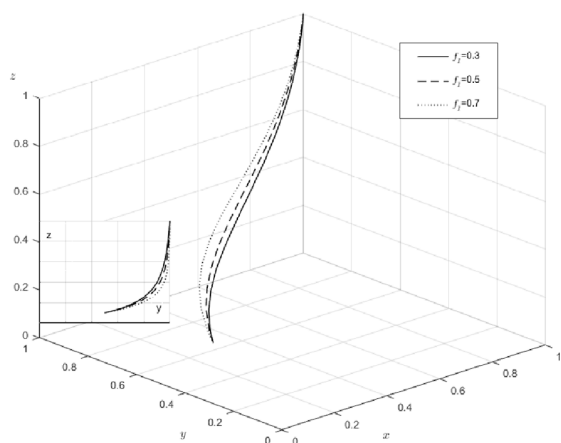


图8 房地产商获得的资金补助占环保专项资金的比的影响

(七) 中央政府对地方政府处罚对系统演化的影响

在中央环保督察体系下, 中央政府派出督察组对于企业经济行为进行干预往往通过地方政府实现, 其对于地方政府的决策可以进行直接干预并且采取相应的奖惩措施。一般来说, 中央政府对地方政府的处罚限于个人处分、通报警告等方式, 对地方政府的惩处力度有限。考虑到中央政府对于地方政府自利行为的约束取决于政策重要性、信息对称性以及正负激励强化程度^[31], 在一定范围内增加中央政府对于地方政府的处罚, 采取严格流程下的罚款或者其他权力性的惩罚措施有利于地方政府提高履行职能的积极性。因此, 分别令 $P_{CL}=0$ 、 $P_{CL}=10$ 、 $P_{CL}=20$, 演化博弈如图9所示。中央政府对地方政府处罚概率收敛至1的速度较快, 随着中央政府提高对地方政府的惩罚力度, 地方政府逐渐提高其向严格监管的演化速度, 选择严格监管的概率上升。中央政府通过惩罚措施提高负激励强化程度在一定程度上有利于提高地方政府的行政效率, 加强绿色住宅市场监管, 为绿色住宅高质量发展提供可靠保证。但是, 过强的负激励可能会削弱地方政府行政能力, 降低其对市场的监管能力, 降低对绿色住宅市场的监管力度。因此, 中央政府在采用提高惩罚力度的手段来约束地方政府时需要酌情考虑惩罚力度与手段, 保证中央政府惩罚决策的有效性。

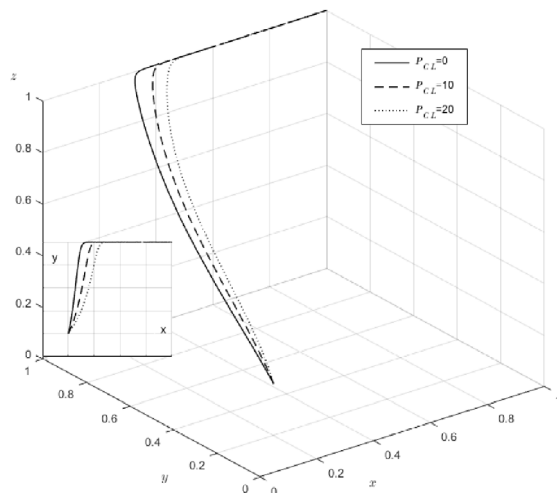


图9 中央政府对地方政府处罚的影响

五、结论与启示

本文采用演化博弈方法, 构建中央政府、地方政府以及房地产商在绿色住宅市场监管中的三方演化博弈模型。本文使用李雅普诺夫第一法对三个博弈方的稳定性进行分析, 得出该演化博弈模型均衡点, 并参考湖北省相关数据进行仿真模拟, 分析影响三个博弈者演化策略的部分影响因素, 得出结论。第一, 共存在4个演化博弈稳定点, 其中中央政府始终选择监管作为博弈策略选择。中央政府、地方政府以及房地产商初始博弈策略均衡点为(监管, 严格监管, 投机开发绿色住宅), 主要原因在于绿色住宅开发成本过高和政策实施初期制度的不完善。但是, 对地方政府激励相关参数、企业绿色住宅开发收益以及中央政府对于地方政府的惩罚力度进行参数调整后, 三者博弈策略会移至最佳演化稳定点(监管, 严格监管, 合规开发绿色住宅)。第二, 房地产商选择合规开发绿色住宅主要取决于绿色住宅开发成本而非两级政府监管。第三, 市场参与机制下环保税收优惠、投机时房地产商被回收资金比例、房地产商获补助资金占专项补助比例以及中央对地方政府的惩罚是影响博弈演化均衡的主要因素。第四, 地方政府提高环保专项资金用于房地产行业的比例对于

促进房地产商合规开发绿色住宅的效果有限,作为地方经济的重要支柱产业,地方政府可以适当提高环保专项资金用于绿色住宅的建设。

基于研究结论,本文提出以下建议:一是地方政府与中央政府需要对正负激励措施更为审慎考量,构建多层次绿色住宅供给侧激励机制。二是地方政府对绿色住宅市场的监管需要深入绿色住宅建设的各个环节,从设计、建设、交付到运行等,实现全方位全流程监管。三是地方政府要加强对投机开发绿色住宅行为的惩罚力度,维持正常市场秩序,实现绿色住宅市场健康发展。四是地方政府应承担更多的监管和环境治理责任,在配合中央政府监管工作的同时,激励房地产商进行绿色住宅的合规开发。五是房地产商要提高自身环境保护意识,主动承担相应社会责任,认识到绿色住宅是未来房地产发展的必然趋势,从长远的角度来考虑企业未来规划,并积极投入资源促进绿色住宅相关技术的创新与应用,提高企业自身市场认可度,形成自身独特的竞争优势。

本文模型是基于信息不对称性与有限理性下的中央政府、地方政府以及房地产商的三方演化博弈模型,在模型构建的过程中并未考虑到市场中以消费者为主体的需求侧和其他市场参与者。在进一步的研究中,可以根据实际情况引入其他市场参与者构建更加完善的博弈模型,采用非线性动态激励方案和历史决策影响等进一步刻画动态演化规律。

参考文献:

- [1]张凯,陆玉梅,陆海曙.双碳目标背景下我国绿色建筑高质量发展对策研究[J].建筑经济,2022,43(3):14-20.
- [2]宁欣,叶晓斌,王文娟.“双碳”背景下绿色住宅高质量发展创新发展演化路径研究[J].系统工程理论与实践,2023,43(9):2653-2668.
- [3]娄成武,韩坤.嵌入与重构:中央环保督察对中国环境治理体系的溢出性影响——基于央地关系与政社关系的整体性视角分析[J].中国地质大学学报(社会科学版),2021,21(5):58-69.
- [4]黄北辰,聂卓,席天扬.环保督察与企业信息披露——来自上市公司的证据[J].南方经济,2021(6):87-100.

- [5]王岭,刘相锋,熊艳.中央环保督察与空气污染治理——基于地级城市微观面板数据的实证分析[J].中国工业经济,2019(10):5-22.
- [6]杨柳勇,张泽野,郑建明.中央环保督察能否促进企业环保投资?——基于中国上市公司的实证分析[J].浙江大学学报(人文社会科学版),2021,51(3):95-116.
- [7]张彦博,李想.环境规制、技术创新与经济高质量发展——基于中央环保督察的准自然实验[J].工业技术经济,2021,40(11):3-10.
- [8]赵海峰,李世媛,巫昭伟.中央环保督察对制造业企业转型升级的影响——基于市场化进程的中介效应检验[J].管理评论,2022,34(6):3-14.
- [9]张仕廉,李学征,刘一.绿色建筑经济激励政策分析[J].生态经济,2006(5):312-315.
- [10]梁喜,付阳.政府动态奖惩机制下绿色建筑供给侧演化博弈研究[J].中国管理科学,2021,29(2):184-194.
- [11]刘佳,刘伊生,施颖.基于演化博弈的绿色建筑规模化发展激励与约束机制研究[J].科技管理研究,2016,36(4):239-243,257.
- [12]OLUBUNMI, AYOKUNLE O, XIA P B, SKIT MORE M. Green building incentives: A review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 59: 1611-1621.
- [13]HE L. The incentive effects of different government subsidy policies on green buildings[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, 135: 110-123.
- [14]MATISOFF D C, NOONAN D S, FLOWERS M E. Policy monitor—Green buildings: Economics and policies[J]. Review of Environmental Economics and Policy, 2016, 10: 329-346.
- [15]吴文浩,李明,赖小东,等.供给侧改革视角下绿色建筑推进机制研究[J].科技进步与对策,2016,33(16):124-128.
- [16]FAN K, HUI E C M. Evolutionary game theory analysis for understanding the decision-making mechanisms of governments and developers on green building incentives[J]. Building and Environment, 2020, 179: 106-972.
- [17]MENG Q, LIU Y, LI Z, et al. Dynamic reward and penalty strategies of green building construction in incentive: An evolutionary game theory-based analysis[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28: 44902-44915.
- [18]罗三保,杜斌,孙鹏程.中央生态环境保护督察制度回顾与展望[J].中国环境管理,2019,11(5):16-19.

- [19]盛明科, 李代明. 生态政绩考评失灵与环保督察——规制地方政府间“共谋”关系的制度改革逻辑[J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2018, 39(4): 48-56.
- [20]张新文, 张国磊. 环保约谈、环保督查与地方环境治理约束力[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2019, 21(4): 39-46.
- [21]李明, 李干滨. 基于生态环境效益补偿的绿色建筑激励机制研究[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(9): 136-140.
- [22]陈晓红, 王钰, 李喜华. 环境规制下区域间企业绿色技术转型策略演化稳定性研究[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(7): 1732-1749.
- [23]曾德宏. 多群体演化博弈均衡的渐近稳定性分析及其应用[D]. 广州: 暨南大学, 2012.
- [24]FRIEDMAN D. Evolutionary games in economics[J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1991, 59(3): 637-666.
- [25]PENG C. Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on ecotect and building information modeling[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 453-465.
- [26]WU X, PENG B, LIN B. A dynamic life cycle carbon emission assessment on green and non-green buildings in China[J]. *Energy and Buildings*, 2017, 149: 272-281.
- [27]LU W, DU L, TAM V W, et al. Evolutionary game strategy of stakeholders under the sustainable and innovative business model: A case study of green building[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 333: 130-136.
- [28]WU Z, MA G. Incremental cost-benefit quantitative assessment of green building: A case study in China[J]. *Energy and Buildings*, 2022, 269: 112-152.
- [29]贾舒娴, 黄健柏, 钟美瑞. 生态文明体制构建下的金属矿产开发生态补偿利益均衡研究[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(11): 122-133.
- [30]李存芳, 仇然, 王语涵. 资源型企业绿色转型监察监管三方演化博弈及稳定性控制策略[J]. *软科学*, 2022, 36(3): 99-109.
- [31]殷华方, 潘镇, 鲁明泓. 中央—地方政府关系和政策执行力: 以外资产业政策为例[J]. *管理世界*, 2007(7): 22-36.

【责任编辑 史 敏】

Evolutionary Game Analysis of Green Housing Market Regulation under the Central Environmental Protection Inspection

YE Xueping & ZHAO Boyun

Abstract: As an important measure to strengthen the local government's implementation of the main responsibility of environmental protection, the central environmental protection inspection plays an important role in regulating the behavior of the main body of the green residential market. To solve the problem of lack of regulation in the green residential market, this paper analyzes the evolutionary stability of the strategic choices of each participant by constructing a tripartite evolutionary game model with the central government, local governments and real estate developers as the main body, and analyzes the regulatory decision-making of the green residential market under the system of central environmental protection inspection based on the simulation of the actual data in Hubei Province. The results show that the environmental protection tax preference under the market participation mechanism, the proportion of real estate developers' recovered funds in case of speculation, the proportion of real estate developers' subsidy funds to the special subsidy, and the central government's punishment to local governments are the main factors affecting the equilibrium; real estate developers' choice of compliant development of green houses mainly depends on the cost of green house development rather than the two-tiered governmental regulation; to realize the compliant development of green houses, the central government's and local government's guiding To achieve green residential development compliance, the central and local governments' guidance measures need to reach the threshold, among which increasing environmental tax incentives is the most effective, and increasing the proportion of subsidies for real estate developers has limited effect. Finally, based on the conclusions, we propose countermeasures and recommendations for realizing high-quality development of the green housing market and improving the level of government regulation.

Keywords: central environmental protection inspection; green housing; environmental protection regulation; evolutionary game