

基于演化博弈论的绿色金融支持与企业绿色创新策略

马闻远^{1,2}

(1.山东财经大学工商管理学院,山东 济南 250014; 2.齐鲁师范学院经济与管理学院,山东 济南 250200)

摘要:采用相位图解析博弈决策理论框架,运用 MATLAB 进行实证分析,通过数值实验模拟了绿色金融支持下政府与企业的动态博弈过程。研究表明:(1)政府、企业在绿色金融支持下形成的两方监管博弈中,博弈双方的决策相互影响。(2)政府通过统计受处罚企业作为参考制定绿色政策,绿色项目净收益受社会效益影响。(3)企业所选择的绿色创新决策,会受到自身收益和政府绿色金融支持等参数的影响。研究结果对激励企业开展绿色创新,构建政府与企业双主体协同的绿色金融市场体系,形成有效的博弈互动格局提供了启示。

关键词:博弈理论;绿色金融;绿色创新

中图分类号:X322;F273 **文献标志码:**A

引用格式:马闻远. 基于演化博弈论的绿色金融支持与企业绿色创新策略[J]. 山东大学学报(理学版),2025,60(9):110-120.

Green financial support and enterprise green innovation strategy based on evolutionary game theory

MA Wenyuan^{1,2}

(1. School of Business Administration, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, Shandong, China;
2. School of Economics and Management, Qilu Normal University, Jinan 250200, Shandong, China)

Abstract: Under the "dual carbon" goals context, examining the evolutionary game relationship between the government and enterprises within the green financial market using game theory holds significant implications for advancing the green transformation of the macroeconomy. This study employs a phase diagram analysis within the game decision-making theoretical framework and utilizes MATLAB software for empirical analysis. Numerical simulations were conducted to model the dynamic game process between the government and enterprises under green financial support. The research demonstrates that: (1) Within the bilateral regulatory game formed by the government and enterprises under green financial support, the decisions of both players exhibit mutual influence. (2) The government formulates green policies by referencing the statistics on penalized enterprises, while the net revenue of green projects is contingent on their social benefits. (3) Enterprises' chosen green innovation strategies are significantly influenced by parameters related to their own profitability and the level of governmental green financial support. The findings provide valuable insights for incentivizing enterprises to pursue green innovation, establishing a dual-agent coordination mechanism within the green financial market system, and forming an effective interactive game framework between the government and enterprises.

Key words: game theory; green finance; green innovation

0 引言

目前,生态文明建设已融入到了我国经济、政治、社会建设的各个方面。2016年,G20峰会在杭州召开,首次明确了绿色金融的定义、目的和范围。截至2020年,我国绿色信贷市场绿色贷款已达15.9万亿元,居全球第一^[1]。由于我国绿色金融起步较晚,相应的绿色金融政策框架建设仍处于不断完善的过程中,发展相对滞后,比如国际绿色债券的发行标准要求较高,目前我国所发行的绿色债券占比仍不足全球标准的

38%^[2]。此外,在我国探索绿色金融市场发展的进程中,虽高度重视环境友好型社会建设,但其标准体系尚未明确。导致了市场规则的统一性不足,而监管缺位使得市场陷入无序竞争,弊端丛生^[3]。

当下,我国绿色金融正处于由初创阶段向成长阶段过渡的时期,现有研究的不足在于对绿色金融政策工具(如补贴、碳金融)与企业创新策略的复杂互动刻画不足,较少探讨双方策略随环境变化(如政策强度、市场收益)的长期演化路径。本文通过演化博弈方法引入多策略交互分析,构建包含政府激励、金融机构支持(如绿色信贷)、企业创新投入的博弈模型,解析策略协同机制,通过设置参数模拟不同情境下策略演化稳定状态,为政策优化提供量化依据。

本文主要研究政府绿色金融支持策略和绿色创新策略,两者的目标具有一致性,政府推动绿色金融支持策略旨在引导资金流向绿色产业,促进经济绿色转型,绿色创新策略则聚焦于通过技术创新实现产业的绿色发展,两者都以实现经济与环境协调发展为最终目标。将两者结合能从更宏观、系统的角度分析绿色发展问题,可以研究不同政策组合下,企业、金融机构等主体的行为反应,以及对整个绿色经济系统的影响,为政府制定科学合理的政策提供依据,以实现资源的最优配置和绿色发展的高效推进。政府在调整及监管绿色金融市场的工作中,应当主动引导企业绿色创新行为,鼓励企业提高绿色技术成本,积极参与到绿色创新之中,从而实现绿色金融市场有序发展^[4]。为此,本文构建政府和企业的绿色金融监管两方的演化博弈模型,对比不同状态下政府选择的策略以及企业选择的策略。在概括绿色金融和绿色创新的基础上整合企业参与绿色创新的策略,主要方式是通过发行绿色债券、降低融资成本、改善自身融资渠道,考察政府进入绿色市场的动机,构建利益链接关系^[5],从而形成政府、企业双方的博弈演化模型,通过仿真实验判断二维动力系统的稳定策略,明确博弈的理想状态。最后,借助于企业相关数据构建模型,通过数值模拟仿真分析影响企业和政府决策的因素,并提出防范风险的建议。

1 博弈模型的构建

1.1 绿色金融博弈主体动机及影响

结合绿色金融市场活动,企业以盈利为目的参与其中,政府以维持市场秩序为导向制定制度,围绕企业和政府分析绿色金融市场主要涉及绿色保险、信贷、债券等领域。我国绿色金融市场存在多种模式,由于无法逐个对绿色金融模式进行分析,本文聚焦发行绿色债券以治理环境展开分析,探讨企业与政府之间在博弈过程中如何实现利益最大化。在绿色金融市场中,企业作为核心博弈主体,其目标是追求自身利益最大化;而政府参与其中,则旨在实现社会效益最大化^[6]。然而,当前企业与政府的目标存在冲突。基于双方不同的利益诉求,本研究旨在分析其博弈动机,构建一个政府与企业共同参与的绿色债券融资博弈模型,以促进绿色项目的有效推进。

由此可见,政府与企业之间作为理性的经纪人,在确保社会利益与企业利益最大化的同时,如何参与博弈抉择是研究的关键点。

生态环境整治与一般公共物品整治具有明显差异,其涉及环境修复、新能源开发等多个特定产业领域。仅依靠政府单独发挥绿色金融作用存在较大困难,更有效的模式是:政府作为引导者与监督者,通过政策制定,引导企业构建绿色金融市场并实施绿色项目^[7]。企业在绿色转型中面临研发投入高、短期收益不确定的成本压力,但同时受政策激励(如税收减免、补贴)与声誉提升的正向驱动^[8]。

绿色项目涵盖国土、能源、资产等具有垄断属性的行业领域。当前绿色市场面临资金缺口大、项目周期长、准入门槛高等挑战,然而其整体投资能产生显著的垄断租金^[9]。对企业而言,绿色项目收益相对稳定且投资风险相对可控;而政府则着眼于培育新兴产业和推动绿色转型,因此大力支持绿色项目发展,通过提供低利率融资和税收优惠等政策,可以降低企业经营成本,以吸引企业参与^[10]。

由此可见,企业与政府作为核心利益主体,其行为符合博弈论中“有限理性”的基本假设。双方通过动态的政策调整,在重复博弈中共同推动绿色金融市场有序发展。基于上述背景,客观分析企业与政府之间的博弈策略及其互动关系至关重要。

1.2 问题描述

我国政府通过绿色金融支持企业绿色创新,在治理方面存在复杂性。考虑到企业不仅需要绿色金融支

持,还需借助于政府的监管监督、协同支持来推进绿色产业建设。因此,企业和政府的行为决策均取决于最终的目标利益^[11]。企业通过项目获得利润,政府通过将项目转交给企业促进绿色项目发展,双方在抉择方面形成演化博弈过程^[12]。影响绿色金融参与主体决策的因素在于绿色金融市场的融资活动,企业和政府作为不同利益诉求方,相较于企业,政府更注重监管政策的制定。两方同时付出努力,为绿色金融市场的发展构建一个稳定的环境^[13]。分析演化博弈模型主要在于在绿色金融市场中政府和企业的抉择,构建模型也要贴近演化博弈情景。

政府致力于维护绿色金融市场秩序,支持企业开发绿色产业,旨在促进绿色产业发展并缓解财政压力。然而,政府无法独立主导绿色产业建设,必须依赖企业的积极参与来实施具体项目^[14]。因此,影响政府博弈决策的因素:(1)维护绿色金融市场所需承担的监管成本、补贴支出等财政负担较大;(2)需审慎评估绿色金融市场发展带来的长期社会效益(如环境改善、产业升级)是否显著,能否有效平衡前期投入。

对企业而言,参与绿色金融市场不仅可获取更高经济收益、享受政策红利,还能提升品牌形象与社会声誉。因此,驱动企业参与博弈的核心考量在于投资回报预期。具体而言,前期投入成本的高低、参与的绿色项目能否带来可观的超额利润、以及项目成功对企业社会声誉的提升效果,共同构成了企业决策的主要影响因素^[15]。

1.3 博弈模型假设

结合现实状况中政府的绿色金融支持以及企业的绿色创新参与,对两者之间的博弈模型做出如下假设。

假设 1 参与博弈主体属于有限理性的政府,企业参与特定区域的群体保持相对稳定均可标准化为 1。绿色金融支持者造福群体在 t 时,可审查策略概率为 $p(t)$,企业绿色创新参与的概率为 $q(t)$, $0 \leq p(t) \leq 1$, $0 \leq q(t) \leq 1$ 。由企业作为主体实施参与绿色项目,政府作为监督管理者,制定对应的环境政策制度。在明确绿色金融市场项目应用标准之后,结合融资补贴、税收优惠等,企业可根据项目申请及监管部门审核,借助于绿色债券、绿色信贷和基金等方式进入绿色金融市场。之后由政府指导、监督、审核,通过募集资金为绿色项目的开发实施奠定基础^[16]。

假设 2 绿色金融支持者是政府,绿色创新参与人是企业。政府通过激励、惩罚及审查督促企业进行绿色创新,从而构建策略集合,在绿色项目中实现节能降耗减污的目标。

假设 3 政府选择审查企业申请项目和资金管理所付出的作业成本为 C_g ,发现企业违反绿色创新规定的处罚为 P_g 。若政府支持对企业审查不利,则 $C_g = 0$ 。

假设 4 企业参与绿色创新项目总收益为 S 。企业选择绿色创新生产,且经过政府严格审查,在能源利用方面有所改善。政府嘉奖企业的绿色创新行为,企业也积极回报社会,愿意为构建绿色市场而参与绿色项目潜在收益为 R ,保质保量完成绿色创新项目之后获得的社会效益为 J 。企业在实现自身经济利益最大化的同时也需要承担社会发展责任,合理利用生态资源保护生态环境是企业履行社会责任的重要体现之一,这可以帮助企业在社会中树立更高端的品牌形象^[7]。

假设 5 当企业采取的策略对生态环境造成损害时,社会效益损失为 L ,政府支持监管的收益也会减少 L 。由此可见,当整体社会效益出现下降,政府作为绿色金融的支持者如果监管不力,则会滋生出更多的企业违规行为,从而扰乱绿色金融秩序。此时若将建设实施任务交给企业完成,企业会从自身拥有的管理经验出发参与绿色项目的建设,在确保项目保质保量完工的同时还会在多渠道融资的基础上减少政府隐形债务,并以此减少对环境的损害^[17]。

相关模型参数说明如表 1。

表 1 参数说明
Table 1 Notation in the model

参数	含义	参数	含义
R	参与绿色项目后企业积累优势的潜在收益	L_s	企业绿色创新违规操作对全社会的效益损失
C_g	政府审查企业绿色创新申请材料的作业成本	ΔS	企业违规操作后的违规收益
P_g	企业违反绿色创新受到政府罚金	C_{egw}	企业绿色违规操作的成本
S	完成绿色项目企业获得的总收益	A	政府监管不力的环境收益与损失系数 $A > 1$
G_s	完成绿色项目后全社会的收益	b	政府与企业社会效益转化系数 $0 < b < 1$

相较于传统金融活动,绿色金融更强调其所承担的社会责任以及对环境的保护^[19],并以此构建相应的绩效评估标准。绿色创新遵循生态原理与经济规律,致力于资源能源节约和生态环境污染的防治^[21]。作为生态负效应最小的技术及产品组合,绿色创新具体包含源头污染控制与削减技术、生态工艺以及末端净化技术等^[22]。

1.4 系统演化博弈模型的建立与求解

在博弈模型当中,主要参与者是政府和企业。通过分析绿色金融市场相关假设,描述博弈模型刻画在绿色金融投资项目当中的监管以及博弈过程,政府制定监管策略,企业按照绿色策略生产形成记忆^[19],政府采取的策略集合 g ,绿色项目经营产生的收益为 s 。政府收益包含项目成功之后全社会的效益增加至 G_s ,减掉前期成本 C_g 。企业收益包含经营总收益 S ,以及项目完成后的潜在收益 R ,包含社会效益增加值 G_s^b 。政府实施严格监管由企业执行绿色创新策略,此时,政府收益为对企业违规操作的罚金 P_g ,减掉监管成本 C_g 以及社会效益损失 L 。企业的收益包含项目总体收益 S 以及绿色创新收益 ΔS 去掉违规成本 C_{egw} 、罚金以及社会效益损失 L_s^b 。最终得到双方博弈主体的收益如表 2。

表 2 双方博弈模型矩阵
Table 2 Two-player game model matrix

绿色金融	政府严格监管	政府放松监管
企业选择绿色创新生产 q	(g, e) $G_s - C_g$ $bG_s + S + R$	(\bar{g}, e) AG_s $bAG_s + S + R$
企业不选择绿色生产 $1-q$	(g, \bar{e}) $P_g - C_g - L_s$ $S + \Delta S - C_{egw} - P_g - bL_s$	(\bar{g}, \bar{e}) $-AL_s$ $S + \Delta S - bAL_s$

政府严格按照制度监管时,期望收益为

$$U_g = q(G_s + L_s - P_g) + P_g - C_g - L_s, \tag{1}$$

政府选择放松监管时,期望收益为

$$U_g^- = qA(G_s + L_s) - AL_s, \tag{2}$$

结合式(1)、(2)得到政府的平均期望收益为

$$\bar{U}_g = -pq[(1-A)G_s + L_s - P_g] + p[P_g - C_g + (A-1)L_s] + qA(G_s + L_s) - AL_s. \tag{3}$$

企业选择绿色创新生产时,收益为

$$U_e = pb(1-A)G_s + bAG_s + pR + S, \tag{4}$$

企业未选择绿色创新生产时,收益为

$$U_e^- = S + \Delta S - bAL_s - p(C_{egw} + P_g) - pb(1-A)L_s, \tag{5}$$

结合式(4)、(5)得到企业的平均收益为

$$\bar{U}_e = S + \Delta S - bAL_s - p(C_{egw} + P_g) + pq(C_{egw} + P_g + R) - q\Delta S - pb(1-A)L_s + qb(p - pA + A)(G_s + L_s).$$

综上,得到双方的动态方程为

$$\begin{cases} F(p) = \dot{p} = p(1-p) \{ q[(1-A)(G_s + L_s) - P_g] + [P_g - C_g + (A-1)L_s] \} = 0, \\ F(q) = \dot{q} = q(1-q) \{ p[C_{egw} + P_g + R + b(1-A)(G_s + L_s)] + bA(G_s + L_s) - \Delta S \} = 0, \end{cases}$$

结合动态方程系统平衡点将其划分为 3 种情况进行讨论: $P=0$ 或 1 时; $q=0$ 或 1 时; $p=q=0$ 时。

平衡点 E 划分为以下 4 种情况: $E1=(0,0)$ 、 $E2=(0,1)$ 、 $E3=(1,0)$ 、 $E4=(1,1)$ 。

在单种群采纳策略时,当 $q=0$, $P \in [0,1]$,存在 $P=0$ 的情况。由此可见,如果满足以及 E_s 之间的平衡点,此时 P_g 及 $E5$ 是平衡点,当 $P=0$ 且 $q_g \in [0,1]$ 时,使得 $p=q=0$ 成立,此时 $E6=0$, q_g 作为模型的平衡点。除此之外,系统还可能存在混合策略平衡点

$$p^* = \frac{\Delta S - bA(G_s + L_s)}{C_{egw} + P_g + R + b(1-A)(G_s + L_s)}; \quad q^* = \frac{C_g + (1-A)L_s - P_g}{(1-A)(G_s + L_s) - P_g}.$$

为满足 $0 < q^*(p^*) < 1$,此时就存在混合策略平衡点。综上,在双方博弈模型当中,政府、企业策略平衡点

表现为多个。

通过方程求得系统平衡点并不代表一定具有稳定性,需要结合稳定性理论及渐进稳定特性,通过矩阵局部稳定性判断。当 $\det(J) > 0$, 且 $\text{tr}(J) < 0$ 时, 得到博弈系统渐进稳定平衡点, 即 $\det(J) > 0$ 且 $\text{tr}(J) < 0$ 是渐进稳定的充分必要条件。

$$\det(J) = (1-2p) \{ q[(1-A)(G_s+L_s)-P_g] + [P_g - C_g + (A-1)L_s] \} (1-2q) \{ p[C_{egw} + P_g + R + b(1-A)(G_s+L_s)] + bA(G_s+L_s) - \Delta S \} + p(1-p) [(1-A)(G_s+L_s) - P_g] q(1-q) [C_{egw} + P_g + R + b(1-A)(G_s+L_s)],$$

$$\text{tr}(J) = (1-2p) \{ q[(1-A)(G_s+L_s) - P_g] + [P_g - C_g + (A-1)L_s] \} + (1-2q) \{ p[C_{egw} + P_g + R + b(1-A)(G_s+L_s)] + bA(G_s+L_s) - \Delta S \}.$$

将局部平衡点以及可能存在的平衡点全部带入到矩阵 J 的中, 进而得到对应的渐进稳定性。最终得到平衡点的稳定条件, 并以此来刻画政府、企业的抉择运动轨迹, 展示系统条件稳定点、不稳定点的具体运动方向。可以看出, 企业和政府双方共存在 3 种情况: 政府放松监管且企业选择非绿色创新生产; 政府严格监管且企业选择非绿色创新生产; 政府放松监管且企业选择绿色创新生产。

1.5 博弈模型的数值仿真实验及结果分析

结合博弈模型平衡点以及稳定性分析, 在博弈模型当中, 结合方程需要同时满足以下条件, 使其趋于稳定。

$$\begin{cases} F(p) = 0, & F(q) = 0, \\ F'(p) < 0, & F'(q) < 0. \end{cases}$$

根据博弈模型多重杂路分析, 包括绿色金融初创阶段、政策实施阶段, 最终达到理想状态阶段, 据此分析博弈的稳定策略, 从而得到不同条件下的博弈系统平衡点, 分析对博弈主体造成的影响。利用 MATLAB 分析主体演化过程, 通过结果为理论研究奠定基础。

1.5.1 系统初始策略分析

政府在初创阶段最早采用放松监管的模式, 而企业选择非绿色创新, 生产状态系统稳定均衡点 $E1 = [0, 0]$, 如图 1 所示。根据现有的研究分析以及实际情况将参数取值为 $C_g = 8$ 、 $P_g = 3$ 、 $C_{egw} = 1$ 、 $R = 1$ 、 $G_s = 2$ 、 $L_s = 1$ 、 $\Delta S = 4$ 、 $A = 2$ 、 $b = 0.2$ 、 $F'(p) = (1-2p)(-6q-4)$ 、 $F'(q) = (1-2q)(4.4p-2.8)$, 由于 $p, q \in [0, 1]$, 显然有 $-6q-4 > 0$, 此时政府采用放松监管所导致的社会效益损失增量低于采用严格监管模式。在发展初期, 企业更倾向于选择非绿色创新生产的策略, 而政府对生态环境意识不高, 放松监管, 从而破坏了绿色金融支持策略的应用。如果政府不采取对应措施转变企业违规操作, 会使社会效益损失增量逐渐增大。当企业处在放松审查非绿色创新生产策略的集合中, 根据模博弈模型数值实验分析, 可以得到系统的稳定条件不属于稳定点。可见在绿色金融市场创建初期参数不变的条件下, 任由市场发展, 该平衡点不可能长期持续下去。随着金融市场不断完善, 处罚力度加大, 企业支出的非绿色创新违规操作成本会持续增加。

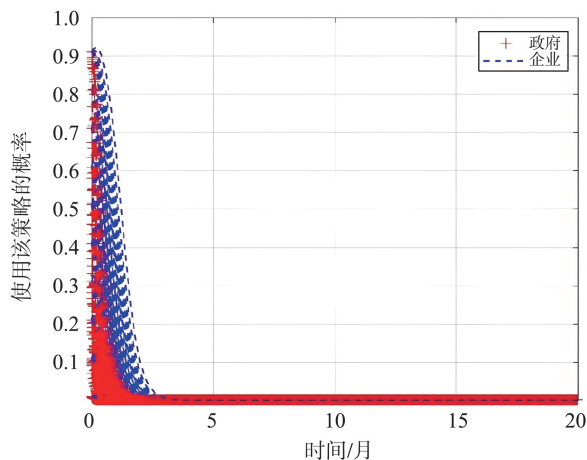


图 1 $E1$ 平衡点二维均衡图

Fig.1 Two-dimensional equilibrium diagram of $E1$ equilibrium point

1.5.2 系统成长策略分析

随着绿色金融市场的发展, 政府政策监管意识不断提高, 严格审查概率增加, 而企业此时仍没有选择绿色创新策略。在 $C_g - P_g - (A-1)L_s < 0$, $C_{egw} + P_g + R + b(G_s + L_s) - \Delta S < 0$ 条件下, 此时系统稳定性属于 $E3$ 区域,

$E3[1,0]$ 的二维均衡图如图 2 所示。政府采取严格监管的成本要低于向企业征收罚款的成本,而企业在违规操作下所获得的收益也要高于罚金和潜在收益的总和^[20]。此时,政府所采取的政策措施会持续稳定的实施下去。同时,对于企业而言,虽然严格审查策略加大了对企业违规操作处罚力度,但由于其通过违规操作所获收益已经超过了罚金总和,企业仍旧愿意选择违规操作。这会使得系统研发趋于稳定,并维持一段时间的平衡。

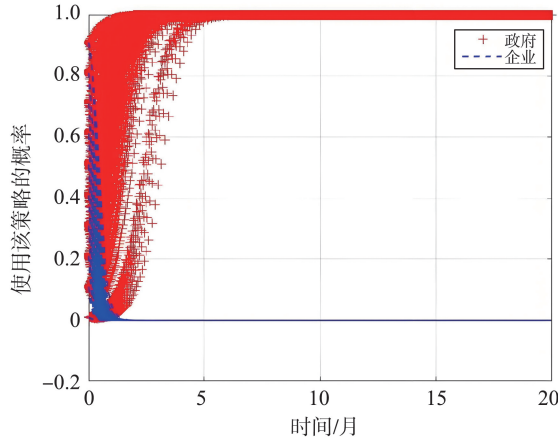


图 2 $E3$ 平衡点二维均衡图

Fig.2 Two-dimensional equilibrium diagram of $E3$ equilibrium point

1.5.3 系统理想策略分析

当企业选择转型升级实施绿色创新生产时, $E2[0,1]$ 作为稳定点,在 $(1-A)G_s - C_g < 0, \Delta S - bA(G_s + L_s) < 0$ 条件下, $E2(0,1)$ 的二维均衡图如图 3 所示。当企业选择传统生产方式的效益低于参与绿色项目所获取的社会效益时,这种政府采取放松监管,企业执行绿色创新生产策略的模式会稳定存在。在判断导致政府、企业行为选择发生变化的条件时,由于政府放松审查会降低审查作业成本,企业想要使用违反环保规章制度获取的收益将远低于参与绿色创新生产带来的效益^[21]。此时,企业将会选择绿色创新生产模式,从而使系统趋于理想状态。

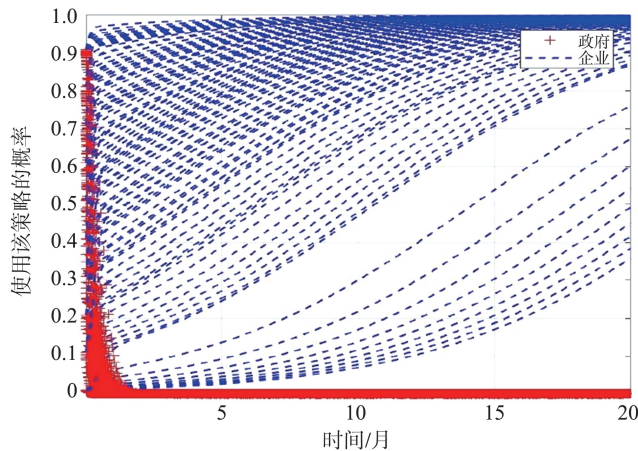


图 3 $E2$ 平衡点二维均衡图

Fig.3 Two-dimensional equilibrium diagram of $E2$ equilibrium point

综上所述,本文研究了不同系统稳定均衡点的二维均衡图,在通过仿真实验确定了博弈模型均衡稳定策略的真实存在的同时,根据以上 3 个系统稳定点分析了 3 个阶段,包含有政府监管的初始阶段、政府监管过程当中的成长阶段,以及企业自愿参与绿色创新生产的成熟阶段。

2 实证分析

2.1 理论分析与研究假设

博弈论是结合生物进化原理形成的多学科融合理论。博弈主体参与者具有有限理性,以非完全信息市

场作为假定,在前期经验不足、感知能力有限的前提下无法选择最理想策略。有限理性假设是演化博弈论的根基,指博弈参与主体在逐步学习的过程当中不断相互影响,最终使系统达到平衡稳定。

为有效开展政府与企业之间的博弈研究,本文进行了如下假设。

假设 1 博弈的参与主体为政府及绿色金融支持者,且企业选择进行绿色创新生产。“绿色金融支持者”指通过资金供给、政策引导或资源整合,推动绿色金融市场发展与企业绿色创新的多元主体,主要涵盖金融机构(银行、投资公司等)、政府部门(财政、环保机构)及非政府组织(绿色基金、行业协会),其中,金融机构提供绿色信贷、绿色债券等融资工具;政府通过补贴、税收优惠构建政策激励框架;非政府组织则发挥信息中介与标准制定作用,三方共同构成绿色金融生态的核心驱动力量。

“绿色金融支持者”的行为特征表现为政策响应性、利益协同性、动态适应性。在演化博弈模型中,将“绿色金融支持者”进一步细分为了政府子模型与金融机构子模型,并以政策工具(如补贴率、监管强度)为决策变量,通过调整策略参数对企业创新成本与金融机构收益产生影响,形成“政策—市场”的反馈机制。这一机制基于风险—收益权衡,在绿色信贷利率、审核标准等策略间动态演化,其决策直接影响企业融资可得性。本文使用复制动态方程刻画双方策略随时间的迭代过程,通过模拟不同主体行为交互下的长期均衡状态,量化分析政策干预对绿色金融生态的影响路径。

假设 2 假定双方参与主体均为有限理性,追求利益最大化,且会通过学习、试验、模仿、等来调整决策选择。

假设 3 企业在污染成本、经济效益双重压力下,会进行绿色创新项目的选择。在此过程中,银行作为绿色信贷机构,会以节能减排为意愿向企业提供贷款,而地方政府对于此类贷款的监管具有环境监管及无环境监管 2 种模式。

2.2 研究设计

2.2.1 研究方法

在有限理性假设博弈论中,对参与主体的战略行为进行均衡分析时,若其中一方特定策略期望值高于平均期望,则该策略可被采纳。本文通过结合方程来描述被采纳策略的频率。

2.2.2 模型设定

政府通过制定环境政策以约束企业对环境的破坏行为,并对企业进行监管。企业可以借助不同响应策略在推进企业创新、扩大生产规模过程中避免因环境规制而限制发展。企业所实施的绿色创新战略会推进企业提高竞争优势,且有助于降低对当地生态环境的影响。该战略的特点为前期资金投入量大,需要结合绿色金融政策的指导来解决企业融资难的问题,并通过牺牲短期效益来换取长远发展的机遇。

本研究基于博弈论来分析绿色金融支持对企业绿色创新发展战略的制定,使政府与企业之间形成有机的系统。在确保企业和政府均获取社会最大收益的同时,缓解区域经济发展与环境污染之间的矛盾,使社会福利效益最大化。结合前文有关绿色金融支持部分的论述,企业在选择绿色创新策略的同时,也要对生产战略进行重新布局,且绿色创新响应需借助于绿色技术创新来缓解外部环境规制压力的紧迫性^[22]。通过构建政府与企业之间的博弈模型对博弈论下绿色金融支持与企业绿色创新策略的行为选择进行分析,动态方程为

$$\begin{cases} F(p) = \dot{p} = p(1-p) \{ q[(1-A)(G_s + L_s) - P_g] + [P_g - C_g + (A-1)L_s] \} = 0, \\ F(q) = \dot{q} = q(1-q) \{ p[C_{egw} + P_g + R + b(1-A)(G_s + L_s)] + bA(G_s + L_s) - \Delta S \} = 0. \end{cases}$$

2.2.3 变量选取与数据来源

本文所使用数据为某上市企业发行的绿色债券的真实数据,客观数据选择 2023—2024 年该企业的经营数据。通过对地方生态环境局以及证监会对该企业的报告,结合负责绿色债券发行的金融机构获取相对成本数值。以此推断出政府严格审查得到的成本是 8,放松监管对环境收益损失放大系数是 1.8,企业绿色创新成本是 1。

从仿真模型真实数据估计对博弈模型各参数予以量化,进而得到政府严格审查作业成本,对企业处罚以及企业违规操作成本、潜在收益、绿色项目完成后企业获得潜在收益、社会收益的增加等数。

2.3 仿真与分析

2.3.1 数值仿真模拟实验分析

将各参数量化带入企业、政府所形成的绿色金融市场监管演化的博弈模型中,从而得到二维动力系统复

制动态方程组。

$$\begin{cases} F(p) = \dot{p} = p(1-p)(-14.6q-1.4) = 0, \\ F(q) = \dot{q} = q(1-q)(-1.88p-15.82) = 0. \end{cases}$$

对政府而言,严格审查成本高于对企业处罚的成本。因此,虽然其对破坏环境的企业做出了一定处罚,但处罚力度小。对企业而言,破坏环境获取的收益要高于损失。企业在生产发展的过程当中,由于其从政府所获得的关于环境保护的收益过小,使其更倾向于选择传统生产策略,从而对环境造成了严重破坏。为了进一步验证博弈模型的稳定性,需要引入真实数据进行实践场景模拟。本文利用 MATLAB 结合数值模拟进行仿真实验,在初始状态 $E1=[0,0]$ 稳定点的稳定条件验证初期政府、企业选择对应策略的概率。最终演化模型均衡位于 $E1=[0,0]$,此时政府选择放松审查策略,企业则选择传统生产方式,并最终导致绿色金融市场发展缺乏规制。企业非绿色创新生产的二维均衡图如图 4 所示。

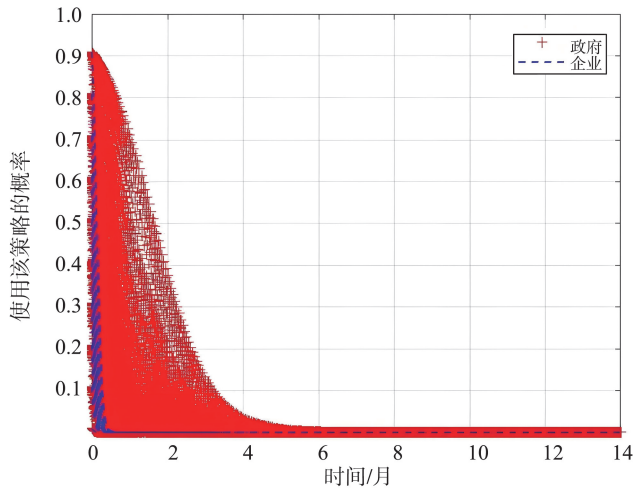


图 4 某企业非绿色创新生产的二维均衡图

Fig.4 Two-position equilibrium diagram of non-green innovation production of an enterprise

2.3.2 模型参数影响分析

结合政府、企业两方博弈系统相位图,可以得到参数值的变化动态,即由初始的 $[0,0]$ 逐步收敛向两个稳定点。结合 $E9$ 位于 $P, Q, P[1,0]$,且区域得到的面积超过其他区域面积。由此可见,政府严格监管策略选择概率更大,当靠近 $M[0,1]$ 时,此时 MEO 面积超过 PEO 面积,这阶段企业更倾向于选择绿色创新生产策略。当接近于鞍点位置处会影响博弈双方最终的稳定结果。结合参数变化支付矩阵选择鞍点位置,借助于数字仿真实验结果,在双方博弈长期均衡,结果受到参数值动态变化影响。这种动态变化有 9 个参数对系统收敛方向所影响。具体如图 5 所示。

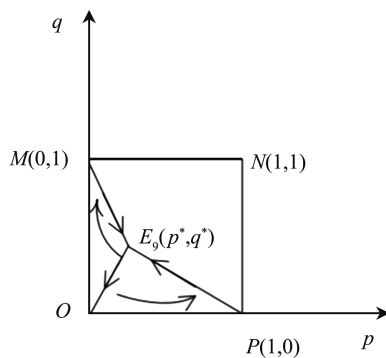


图 5 双方博弈动态相位图

Fig.5 Dynamic phase diagram of two-party game

(1) 影响政府决策的相关参数

政府决策参数 C_g 代表政府选择严格监管策略所投入的成本。在绿色金融市场成熟健全之后,企业所选择的传统经营方式拥有相对完备的、赏罚分明的政策,此时 C_g 较小,系统逐步进入稳定的 $E2[0,1]$ 发展

阶段。当我国处于绿色金融发展的初始阶段时,由于监管体系尚不完善,机制尚未健全,所采用的监管机制投入成本高,此时 C_g 偏大,PEO 面积区域增加。

P_g 是政府选择严格监管策略时对不遵守环境保护规章制度的企业进行的罚款值。政府采取的罚款力度越大,意味着其环保使命感越强,也意味着政府从中能够获取的利益越大。相对的,企业因违反环境政策所受的惩罚越大,其经营风险也会相应的上升,最终使 PEO 面积增加。

(2) 影响企业决策的相关参数

当企业放弃绿色创新,选择违反环境政策以获取违规收益(ΔS)时,其成本为 C_{egw} ,为追求更高收益,政府可能倾向于放松监管。此时,绿色项目的垄断性越强,政府提供的政策优惠力度越大,相应的绿色政策支持也越多^[23]。然而,在当前博弈系统中,企业决策往往稳定在传统经营策略模式上。由于绿色项目缺乏足够的垄断性,政府投入的政策支持相对有限,使得企业难以从中获得显著收益。对于成熟企业而言,其先进的管理经验和品牌信誉构成了优势,而绿色金融市场针对其违规行为的监管措施相对简单^[23]。相比之下,中小企业因经营规范性差、信誉度低,进行违规操作的难度反而更高。可见,企业选择绿色创新面临现实困境,需要调整相关参数(如降低违规操作的生产概率),以引导双方博弈系统向均衡点 $M(0,1)$ 收敛。其余影响参数在此暂不赘述。

3 结论与启示

本研究构建了有限理性的政府-企业演化博弈模型,模拟分析绿色金融市场驱动多方参与生态环境治理、促进环境可持续发展的作用机制。研究发现,政府面临绿色项目管理收益成本高企的挑战,需引导企业参与以缓解财政压力。通过参数调整模拟不同政策情景,得出以下核心结论:(1) 监管博弈中的策略互动性。在绿色金融支持下,政府监管与企业决策构成相互影响的动态博弈。企业决策前会评估监管成本;政府则依据绿色项目净收益的社会效益影响及投入的审查成本,制定严格的审查策略。企业的绿色创新决策显著受项目预期收益和政府支持力度(如补贴、税收优惠)等参数的影响。(2) 监管强度与创新投入的非线性关系及多重均衡。政府监管强度(如碳配额、处罚力度)与企业绿色创新投入呈非线性关系。适度监管压力可有效激发企业创新动力;然而,过度监管可能导致企业合规成本剧增,反而抑制创新积极性。博弈系统存在多重演化稳定状态,“监管失灵”(监管不足)与“市场惰性”(创新不足)是潜在风险。精准且持续的政策补贴是打破僵局、引导系统向高创新均衡演进的关键。

基于研究结论,得到如下启示:(1) 构建统一的绿色金融评估标准体系。博弈模型分析表明,当前政府在支持绿色金融发展过程中存在秩序失范问题,且绿色债券认证标准不统一,显著抑制了企业参与绿色创新项目的意愿。尽管我国已于 2021 年统一了绿色债券支持项目目录,但各部门制定的绿色行业标准与地方性绿色标准仍未有效接轨。因此,监管部门亟需牵头构建全国统一、权威的绿色金融评估标准体系,以消除标准碎片化障碍。(2) 强化市场监管与执法威慑。为防止企业在环保领域出现违规行为(尤其在政府角色从市场参与者向监管者转变后),并应对部分企业因绿色技术创新能力不足而转向环保违规操作谋求短期利益的问题,政府应着力构建高效协同的宏观监管体系。具体而言,需明确环境权益与自然资源产权的法律属性,完善相关法律法规;同时,显著加大对环保违规企业的惩处力度,通过提高违法成本,有效化解企业在绿色创新过程中可能面临的环保违规操作风险。(3) 在政府层面,建立“分级监管-阶梯补贴”动态调节机制。依据企业规模、行业污染属性及创新能力设定差异化监管标准;同时,动态调整补贴比例和方式,在施加必要监管压力的同时,精准匹配企业创新能力,避免“一刀切”带来的负面效应。(4) 在企业层面,将绿色创新纳入长期核心战略。积极利用绿色金融政策红利降低转型成本;通过产学研深度融合、组建绿色技术联盟等方式,分散研发风险,加速绿色技术商业化进程,提升核心竞争力与 ESG 表现。

本研究构建的博弈模型在假设设定上存在一定局限,未能充分纳入国际碳市场波动、消费者绿色偏好差异等外部不确定性因素对博弈主体决策行为的影响。为提升研究结论的普适性与解释力,下一步研究可致力于构建多尺度融合分析框架,将宏观经济波动、区域政策差异等关键外部变量纳入考量,开发跨层次动态

博弈模型,建立能够捕捉不同尺度(如宏观-微观、区域-企业)交互影响的动态博弈模型。

参考文献:

- [1] ZHANG Z H, SHI K, et al. How does environmental regulation promote green technology innovation in enterprises: a policy simulation approach with an evolutionary game[J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2025, 68(5):979-1008.
- [2] QIAN J L, ZHOU Y X. Environmental regulation and green technology innovation: an evolutionary game analysis between government and high energy consuming enterprises[J]. *Computational Economics*, 2025:1-31.
- [3] LUO J L, HU M J, HUANG M M, et al. Strategy research of stakeholders in the construction of agricultural green technology innovation system: an evolutionary game analysis[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2025:1-27.
- [4] WU Z H, ZHANG Y R, DONG C Q. Differential game and coordination of a three-echelon closed-loop supply chain considering green innovation and big data marketing[J]. *RAIRO-Operations Research*, 59(1):461-482.
- [5] 张帅,李沛泽. 绿色金融市场上的转型企业“漂绿”行为研究:基于四方演化博弈的仿真模拟[J]. *金融与经济*, 2024(12):37-49.
ZHANG Shuai, LI Peize. Research on the "greenwashing" behaviors of transforming enterprises in the green finance market: simulation based on the four-party evolutionary game[J]. *Finance and Economy*, 2024(12):37-49.
- [6] 武亮,董莹锴,周建华,等. 碳排放约束下绿色技术创新供需双方的利益均衡博弈分析[J]. *生态经济*, 2024,40(5):71-78.
WU Liang, DONG Yingnuo, ZHOU Jianhua, et al. Analysis of the balance of interests between supply and demand for green technology innovation under carbon emission constraints[J]. *Ecological Economy*, 2024, 40(5):71-78.
- [7] 毛翔宇,王英. 政府规制与跨国绿色创新合作机会主义行为治理——基于三方演化博弈的研究[J]. *运筹与管理*, 2023,32(12):64-70.
MAO Xiangyu, WANG Ying. Governance mechanism of opportunism in transnational innovation[J]. *Operations Research and Management Science*, 2023, 32(12):64-70.
- [8] 胡姜,李雪涛,王逸雯. 绿色技术创新中多元异质性主体演化博弈研究[J]. *运筹与管理*, 2023,32(12):71-78.
HU Jiang, LI Xuetao, WANG Yiwen. Research on evolutionary game of multiple heterogeneous subjects in green technology innovation[J]. *Operations Research and Management Science*, 2023, 32(12):71-78.
- [9] 孟展,戴建广,杨锴,等. 产业集群视角下中小企业绿色技术创新协同策略博弈研究[J]. *科技管理研究*, 2023,43(16):158-168.
MENG Zhan, DAI Jianguang, YANG Kai, et al. Research on collaborative strategy of green technology innovation of SMEs from the perspective of industrial clusters based on game theory[J]. *Science and Technology Management Research*, 2023, 43(16):158-168.
- [10] 周肖肖,贾梦雨,赵鑫. 绿色金融助推企业绿色技术创新的演化博弈动态分析和实证研究[J]. *中国工业经济*, 2023(6):43-61.
ZHOU Xiaoxiao, JIA Mengyu, ZHAO Xin. An empirical study and evolutionary game analysis of green finance promoting enterprise green technology innovation[J]. *China Industrial Economics*, 2023(6):43-61.
- [11] 苏屹,魏仕鹏. 基于三方博弈的绿色技术创新演化研究[J]. *运筹与管理*, 2022,31(6):40-47.
SU Yi, WEI Shipeng. Evolution of green technology innovation based on the tripartite game[J]. *Operations Research and Management Science*, 2022, 31(6):40-47.
- [12] 卞晨,初钊鹏,孙正林,等. 异质性环境规制政策合力与企业绿色技术创新的演化博弈分析[J]. *工业技术经济*, 2022,41(5):12-21.
BIAN Chen, CHU Zhaopeng, SUN Zhenglin, et al. An evolutionary simulation analysis on heterogeneous environmental regulation policy synergy and enterprise green technology innovation[J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2022, 41(5):12-21.
- [13] 刘丽,韩同银,金浩. 基于绿色技术创新和制造商竞争的绿色供应链微分博弈研究[J]. *管理学报*, 2023,20(1):116-126.
LIU Li, HAN Tongyin, JIN Hao. Differential game study of green supply chain based on green technology innovation and manufacturer competition[J]. *Chinese Journal of Management*, 2023, 20(1):116-126.
- [14] 卞晨,初钊鹏,孙正林. 环境规制、绿色信贷与企业绿色技术创新的政策仿真——基于政府干预的演化博弈视角[J]. *管理评论*, 2022,34(10):122-133.

- BIAN Chen, CHU Zhaopeng, SUN Zhenglin. Policy simulation modeling environmental regulation and green credit in enterprise's green innovation in technology: an evolutionary game analysis of government intervention[J]. Management Review, 2022, 34(10):122-133.
- [15] 杨国忠,周午阳. 基于绿色供应链视角的企业生态创新扩散演化博弈研究[J]. 科技管理研究,2022,42(17):230-239.
YANG Guozhong, ZHOU Wuyang. Evolutionary game research on the ecological technology diffusion of enterprises from the perspective of green supply chain[J]. Science and Technology Management Research, 2022, 42(17):230-239.
- [16] 周肖肖,贾梦雨,赵鑫. 绿色金融助推企业绿色技术创新的演化博弈动态分析和实证研究[J]. 中国工业经济,2023(6):43-61.
ZHOU Xiaoxiao, JIA Mengyu, ZHAO Xin. An empirical study and evolutionary game analysis of green finance promoting enterprise green technology innovation[J]. China Industrial Economics, 2023(6):43-61.
- [17] 赵莉,邸嘉禹. 绿色食品企业技术创新合作策略选择的演化博弈分析与仿真[J]. 黑龙江畜牧兽医,2022(8):13-18.
ZHAO Li, DI Jiayu. Evolutionary game analysis and simulation of the choice of technological innovation cooperation strategies of green food enterprises[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2022(8):13-18.
- [18] 李婉红,李娜. 绿色智能制造生态系统多主体协同创新的随机演化博弈[J]. 运筹与管理,2023,32(6):111-118.
LI Wanhong, LI Na. Stochastic evolutionary game of government industry university collaborative innovation in green intelligent manufacturing ecosystem[J]. Operations Research and Management science, 2023, 32(6):111-118.
- [19] 王依婷,李芳. 碳交易规制下供应链上下游企业绿色创新博弈研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2022,36(7):238-244.
WANG Yiting, LI Fang. Game study on green innovation of upstream and downstream enterprises in supply chain under carbon trading regulation[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2022, 36(7):238-244.
- [20] 王鹏,刘殊奇. 市场导向机制下绿色技术创新演化博弈研究[J]. 经济问题,2022(1):67-77.
WANG Peng, LIU Shuqi. Evolutionary game study of green technology innovation under market oriented mechanism considering the additional utility of consumers to green products[J]. On Economic Problems, 2022(1):67-77.
- [21] 陈海贝,赵湘莲. 多方博弈视角下绿色金融投资项目风险管理[J]. 财会月刊,2021(1):121-129.
CHEN Haibei, ZHAO Xianglian. Risk management of green financial investment projects from the perspective of multi-party game[J]. Finance and Accounting Monthly, 2021(1):121-129.
- [22] 赵莉,赵慧,王彪. 创新驱动背景下绿色食品供给者与消费者演化博弈策略研究[J]. 中国调味品,2023,48(3):204-209.
ZHAO Li, ZHAO Hui, WANG Biao. Research on the evolutionary game strategy of green food suppliers and consumers under the background of innovation drive[J]. China Condiment, 2023, 48(3):204-209.
- [23] 陈恒,杨志,祁凯. 多方博弈情景下政产学研绿色技术创新联盟稳定性研究[J]. 运筹与管理,2021,30(12):108-114.
CHEN Heng, YANG Zhi, QI Kai. Research on the stability of green technology innovation alliance for government-industry-university based on multi-player game[J]. Operations Research and Management Science, 2021, 30(12):108-114.

(编辑:祁业卿)