

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2025.03.001

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式:柴尚蕾,袁冬月,卜少阳,魏伟.多主体协同视角下金融市场绿色转型演进路径研究[J].西安理工大学学报,2025,41(3):301-313.

CHAI Shanglei, YUAN Dongyue, BU Shaoyang, WEI Wei. Study on the evolutionary path for green transformation in financial markets from the perspective of multi-body synergy[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2025, 41(3):301-313.

多主体协同视角下金融市场绿色转型演进路径研究

柴尚蕾¹, 袁冬月¹, 卜少阳², 魏 伟²

(1. 山东师范大学 商学院, 山东 济南 250014; 2. 郑州大学 管理学院, 河南 郑州 450001)

摘要:为促进多主体协同推动绿色转型,构建了三方演化博弈模型,结合动态仿真方法,系统分析了政府补贴、罚金、声誉收益等关键参数对策略演化的影响。研究发现,较高的政府初始激励意愿推动金融机构与企业向绿色策略收敛;政府罚金、金融机构开展绿色金融服务的成本及企业在接受绿色金融服务时的金融成本存在阈值效应,需精准调控以平衡效率与稳定;声誉收益可有效弥补经济成本;相对于金融机构,企业策略更易受声誉驱动。仿真分析验证了模型的稳定性和参数变化对策略选择的影响,为政策制定和市场调控提供了理论依据和实践参考。

关键词:绿色金融;政府激励;演化博弈;仿真分析

中图分类号: F224.32

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2025)03-0301-13

Study on the evolutionary path for green transformation in financial markets from the perspective of multi-body synergy

CHAI Shanglei¹, YUAN Dongyue¹, BU Shaoyang², WEI Wei²

(1. Business School, Shandong Normal University, Jinan 250014, China;

2. School of Management, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to promote the synergistic promotion of green transformation, a tripartite evolutionary game model is constructed, combined with dynamic simulation methods, to systematically analyze the effects of key parameters such as government subsidies, fines, and reputational gains on the evolution of strategies. It is found that the higher initial incentive willingness of the government drives financial institutions and enterprises to converge to the green strategy; the threshold effect exists in the government fine, the cost of financial institutions to carry out green financial services and the financial cost incurred by enterprises when accessing green financial services, which needs to be precisely regulated in order to balance the efficiency and stability; the reputation gain can effectively compensate for the economic cost, and the enterprise strategy is more likely to be driven by the reputation than the financial institutions. The simulation analysis verifies the stability of the model and the influence of parameter changes on strategy selection, which provides theoretical basis and practical reference for policy formulation and market regulation.

Key words: green finance; government incentives; evolutionary games; simulation analysis

收稿日期: 2025-03-11; 网络首发日期: 2025-04-17

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/61.1294.N.20250417.1014.002>

基金项目: 国家社会科学基金后期资助重点项目(24FJYA005)

第一作者: 柴尚蕾,女,博士,教授,研究方向为双碳战略与绿色金融。E-mail: chaishanglei@sdsu.edu.cn

通信作者: 卜少阳,男,博士,讲师,研究方向为共享经济与数字服务。E-mail: bushaoyang@zzu.edu.cn

在全球气候变化与环境退化的严峻挑战下,绿色金融作为推动经济可持续发展、实现环境保护与经济增长双赢的重要途径,日益受到国际社会的广泛关注与高度重视^[1-3]。推进绿色金融旨在有效应对环境恶化与资源紧张的双重挑战,并强有力地支撑社会经济向更高质量的绿色转型。我国在绿色金融领域的起步相对滞后,具体体现在绿色金融的法律框架与制度构建尚不健全,同时金融支撑体系亦显薄弱,而且企业层面的社会责任认知尚待提升^[4]。当前我们面临愈发严峻的环境资源压力,这迫切要求绿色金融体系加快完善步伐并深化发展,以期有效减轻上述压力,引领可持续的未来。

针对绿色金融的研究,国内外研究主要从以下两个方面展开:绿色金融市场参与主体选择、绿色金融市场发展的影响因素。国内外学者针对绿色金融市场对主体影响因素开展了大量的研究。在绿色金融市场主体选择及分析方面,多数学者将政府、金融机构、企业作为市场主体进行分析。白雨等^[5]从绿色金融中的碳市场入手,构建了政府、金融机构、企业在内的演化博弈模型,分析绿色金融市场主体演化策略。Li等^[6]构建了企业、绿色金融机构和地方政府三方博弈演化模型,重点研究了影响绿色金融参与者决策的利益相关者理论和制度理论。潘大鹏等^[7]构建了包含政府、企业与金融机构的三方博弈模型,分析不同情况下的演化稳定策略以寻找博弈系统策略组合的稳定点,并运用数值仿真验证模型及结论。Gao等^[8]以银行和企业的微观实体战略选择为重点,通过绿色债券金融工具的视角,探讨了企业技术创新战略的动态演化过程。也有学者对绿色金融市场中的其他主体进行分析。Cui等^[9]将政府、金融机构、企业和消费者四方参与者作为绿色金融市场参与主体并对其进行分析,强调了建立绿色金融体系的重要性,分析了各相关参数对绿色金融市场变化和发展的影响。周肖肖等^[10]在考虑了企业异质性的基础上,将政府、污染企业及非污染企业作为绿色金融市场参与主体,探究绿色金融机制下各方决策机制。郑嘉榆等^[11]构建银行金融机构、非银行金融机构和企业的三方演化博弈模型,通过参数变动分析探究各主体应采取何种策略以达到稳定状态。Liu等^[12]构建了一个三方演化博弈模型,分析了监管机构、企业和投资者之间全球金融伙伴关系中全球商业银行的形成和治理机制。

学界对于绿色金融市场发展影响因素的研究已十分广泛,本文主要从政策环境、市场需求、技术创新、非经济因素及各方初始参与意愿五个方面进行

总结。在政策环境方面,地方政府应主动营造积极的绿色信贷政策氛围及优化市场环境,为绿色金融发展营造良好的政策和市场环境^[13]。企业异质性分析显示,绿色信贷政策对审计费用的削减效应在国企、低产能利用率及信息透明度不足的企业中尤为显著^[14]。绿色金融及环境规制在激励企业投入绿色创新、助力发展模式向绿色转型方面发挥了积极的作用^[15]。在市场需求方面,金融市场的融资规模与绿色投资资金的需求之间存在着缺口,市场需求的增加是推动绿色金融市场发展的重要动力^[16]。在技术创新方面,技术创新是推动绿色金融市场发展的关键因素之一,绿色金融对绿色技术创新起到促进作用^[17],而绿色技术创新对绿色金融也有反馈提升的作用^[18]。在非经济因素方面,学者主要考虑了声誉收益这一非经济因素对于绿色金融市场的影响。Shahzad等^[19]研究表明为了让企业长期生存并实现其财务目标,他们的社会声誉至关重要,社会声誉与公众的关注有关。Tan等^[20]研究了绿色金融如何影响企业绩效,同时考虑了企业声誉的调节作用,结果表明声誉资本放大了企业对绿色金融举措的反应。Li等^[6]认为在绿色金融市场中应用区块链技术后,即使在政府低强度监管下,企业也会在声誉机制下积极参与绿色创新。白雨等^[5]探究了声誉激励机制下考虑主体时间偏好的碳金融市场发展演化路径研究,但没有考虑声誉这一非经济因素对于政府的影响。现有文献大多研究声誉等非经济因素如何影响企业的决策行为,而针对该类因素对绿色金融市场中除企业之外其他参与主体所产生的影响相关研究仍显匮乏。相关研究表明公众认可度的提高会增强环境意识和政府公信力,对政府环境绩效表示更高满意度的个人更有可能表现出更大的意愿和积极参与自愿性环境倡议^[21]。因此,研究声誉对于绿色金融市场中其他主体的作用也具有重要意义。各方初始参与意愿方面,在现有文献中,学界对于绿色金融市场初始意愿的探讨较为有限。有学者探讨了绿色金融市场中“银行金融机构—非银行金融机构—企业”系统中各主体参与绿色金融发展的初始意愿对于金融系统演化的影响^[13]。此外,如果银行和金融机构实施绿色信贷的初始意愿较高,将促进企业参与节能减排^[22]。可见,目前对于政府初始意愿的研究尚不充分。

通过文献梳理可知,关于绿色金融已有大量研究,但还存在以下不足。①现有文献大多局限于探究声誉对企业决策行为的影响,而针对该类非经济因素对绿色金融市场中其他参与主体所产生的影响

相关研究仍显匮乏。②现有文献缺乏对绿色金融市场中政府激励初始意愿的研究。针对以上问题,本文首先通过引入声誉收益参数,全面地考虑了政府激励、金融机构开展绿色金融业务、企业绿色经营时获得的公众赞誉等因素,并将公众赞誉量化为声誉收益,验证其作为独立驱动力的有效性。其次,探究了政府激励初始意愿对于金融机构及企业策略演变的影响,并通过补贴系数探究激励补贴如何影响主体策略选择。最后,构建了包含政府、金融机构、企业在内的三方演化博弈模型,综合探究政府、金融机构、企业在绿色金融系统中的博弈演化轨迹以及各要素的影响关系,并进行参数赋值和模拟仿真,旨在理解绿色金融市场的内在运行机制,为政策制定和市场调控提供理论依据和实践参考。

1 问题描述与假设

1.1 问题描述

本文中,政府的决策目标是实现经济效益、环境效益和民众支持度等最大化。政府可以选择“激励”或“不激励”策略。当政府的策略为激励时,政府根据金融机构和企业的成本进行激励补贴,同时政府也会付出一定的激励成本,其中包括人力物力成本和实施激励时的转移支付等。政府实施激励会推动金融机构和企业积极参与,从而获得环境收益,同时政府会获得社会赞誉,从而产生声誉收益。政府还对损害环境的行为进行惩罚,并适当地节约财政支出。政府对推动金融机构和企业积极参与起到激励作用。

金融机构的决策目标是实现经济效益最大化。金融机构有两种选择策略,分别为“开展绿色金融服务”和“开展非绿色金融服务”。当金融机构从非绿色金融服务转型为绿色金融服务时要考虑多方面因素。一方面是成本因素,在进行绿色转型时要进行员工培训、业务转型升级时会产生成本。另一方面是收益因素,因绿色金融具有不稳定、风险较高等特点,金融机构要承担一定的项目风险。但金融机构开展绿色业务也会带来其他方面的收益,政府考虑到金融机构的成本上升,并且为了推动绿色金融业务的发展,会依据金融机构的成本进行补贴,同时金融机构还会获得社会赞誉,进而获得声誉收益。

企业为绿色金融中的重要一环,企业行为决定了环境目标能否顺利实现。企业可以选择“绿色经营”或“传统经营”作为经营模式。当企业决策从传统经营转型为绿色经营时,在成本方面,会产生转型

升级、前期培训等绿色经营成本;同时,企业在接受绿色金融服务时的金融成本会低于在接受非绿色金融服务时的金融成本。在收益方面,企业绿色经营会使产品价值上升,从而带来收益增加,并且进行绿色经营会获得声誉收益,政府会根据绿色经营相关成本进行补贴。若企业传统经营造成环境损失,政府会进行处罚。

1.2 绿色金融市场主体关系

如图1所示,在绿色金融市场中,政府、金融机构和企业构成了一个紧密联系的互动体系。

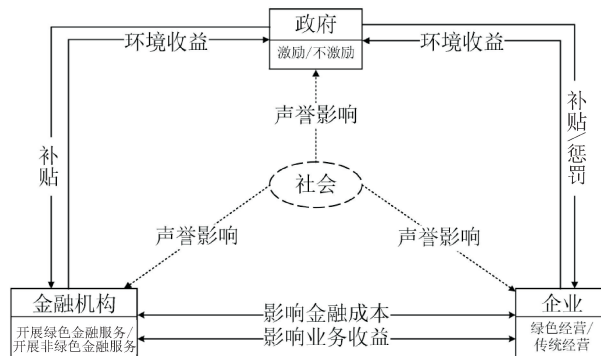


图1 主体关系图

Fig. 1 Diagram of relationships between subjects

政府起到引导和监管的作用,政府的策略选择关系着金融机构及企业的决策行为。金融机构的金融服务模式直接影响企业的融资成本,当金融机构选择开展绿色金融服务时,企业通过绿色经营可享受更低的融资成本,另外金融机构提供的金融服务还会使企业产品价值上升;反之,若金融机构提供非绿色金融服务,企业的绿色转型将面临更高的融资门槛。同时,企业选择绿色经营且金融机构开展绿色金融服务时,因绿色金融具有不稳定、风险较高等特点,金融机构要承担一定的项目风险,但也带来声誉等方面的收益。因此,绿色金融市场中主体之间的合作与协调至关重要。

1.3 研究假设

基于问题描述,本文对模型做出如下假设。相关符号及其含义如表1所示。

假设1 博弈参与者为三方,参与博弈的主体均为有限理性个体,且每个主体采取的策略都会影响其他主体的策略选择,博弈为不完全信息博弈。设政府进行激励的概率为 x ,那么不激励的概率则为 $1-x$;金融机构开展绿色金融服务的概率为 y ,开展非绿色金融服务的概率为 $1-y$;企业进行绿色经营的概率为 z ,进行传统经营的概率为 $1-z$ 。且 $x, y, z \in [0, 1]$,均为时间 t 的函数。

表 1 参数及其含义
Tab. 1 Parameters and their meanings

符号	含义
E	金融机构开展非绿色金融服务时的收益
C_f	金融机构开展绿色金融服务时的成本
R_f	金融机构开展绿色金融服务时的声誉收益
C_g	政府激励所投入的人力物力等成本
R_g	政府激励获得的声誉收益
B	企业进行绿色经营时政府获得的环境收益
L	政府不激励造成的经济及环境损失
T	企业传统经营时的收益
C_c	企业绿色经营成本
ΔT	企业绿色经营收益增加值
R_c	企业绿色经营获得的声誉收益
I_1	企业在接受非绿色金融服务时需要付出的金融成本
I_2	企业在接受绿色金融服务时需要付出的金融成本
F	政府激励时企业因传统经营造成环境损失而缴纳的罚金
α	金融机构开展绿色金融业务与开展非绿色金融业务的收益之比
β	政府对金融机构开展绿色金融服务的补贴系数
γ	政府对企业绿色经营的补贴系数

假设 2 政府在对金融机构和企业进行激励补贴时,会参考金融机构及企业在进行绿色金融服务和绿色经营时所投入的人力物力成本。用 β 和 γ 分别表示政府对金融机构开展绿色金融服务和对企业进行绿色经营的补贴系数;用 C_g 表示政府激励所投入的人力物力等成本; R_g 表示政府因激励获得社会赞誉,进而获得的声誉收益; B 表示企业进行绿色经营时,政府获得的环境收益;若政府不进行激励,金融机构以及企业不积极参与而造成的经济及环境损失用 L 表示。

假设 3 在金融机构方面,金融机构在开展绿色金融服务前会进行前期培训、转型升级等工作,这些成本用 C_f 表示,金融机构因此获得的政府补贴可表示为 βC_f ;用 E 表示金融机构在开展非绿色金融服务时的收益,在开展绿色金融服务时,由于绿色项目具有周期长、风险高等特点,金融机构要承担一定

的项目风险,设 α 为金融机构开展绿色金融业务与开展非绿色金融业务的收益之比,因此金融机构在开展绿色金融业务时的收益表示为 αE ;金融机构在开展绿色金融业务时,会获得政府支持及社会赞誉,此时金融机构获得的声誉收益表示为 R_f 。

假设 4 企业从传统经营模式改为绿色经营会产生转型升级、前期培训等绿色经营成本,记为 C_c ,同时会获得政府补贴 γC_c ; T 表示企业在进行传统经营时的收益,企业在进行绿色经营后收益值会增加,企业绿色经营收益增加值表示为 ΔT ;企业在进行绿色生产经营后,会获得政府支持及社会赞誉,此时企业获得的声誉收益表示为 R_c ;参照马祥^[23]对于金融成本的设置,本文假设企业在接受非绿色金融服务时需要付出的金融成本为 I_1 ,在接受绿色金融服务时需要付出的金融成本为 I_2 ,其中 $I_1 > I_2$;企业传统经营造成环境破坏,政府会对企业进行处罚, F 表示政府激励时企业因传统经营造成环境损失而缴纳的罚金。

2 演化博弈模型分析

根据研究假设构建支付矩阵,如表 2 所示,分别进行政府、金融机构和企业的策略稳定性分析及演化系统稳态分析。

2.1 政府的策略稳定性分析

设政府激励时的期望收益为 E_{11} ,政府不进行激励时的期望收益为 E_{12} ,则:

$$E_{11} = -C_g + R_g + F + y(-\beta C_f) + z(B - \gamma C_c - F) \quad (1)$$

$$E_{12} = zB + (1 - z)(-L) \quad (2)$$

设政府采取不同策略的平均期望收益为 $\bar{E}_1$,则:

$$\bar{E}_1 = xE_{11} + (1 - x)E_{12} \quad (3)$$

政府行为选择的复制动态方程及其对 x 的一阶导数、设定的 $G(z)$ 分别为:

$$F(x) = dx/dt = x(E_{11} - \bar{E}_1) = x(1 - x)[R_g - C_g + F + L + y(-\beta C_f) + z(-\gamma C_c - F - L)] \quad (4)$$

$$\frac{d(F(x))}{dx} = (1 - 2x)[R_g - C_g + F + L + y(-\beta C_f) + z(-\gamma C_c - F - L)] \quad (5)$$

$$G(z) = G(y) = R_g - C_g + F + L + y(-\beta C_f) + z(-\gamma C_c - F - L) \quad (6)$$

表2 支付矩阵
Tab.2 Payment matrix

主体行为策略		企业绿色经营 (z)	企业传统经营 ($1-z$)
政府激励 (x)	金融机构开展 绿色金融服务 (y)	$-C_g + R_g - \beta C_f - \gamma C_c + B$ $aE - C_f + R_f + \beta C_f$ $\gamma C_c - C_c + \Delta T + R_c - I_2$	$-C_g + R_g - \beta C_f + F$ $E - C_f + R_f + \beta C_f$ $T - F$
	金融机构开展 非绿色金融服务 ($1-y$)	$-C_g + R_g - \gamma C_c + B$ aE $\gamma C_c - C_c + \Delta T + R_c - I_1$	$-C_g + R_g + F$ E $T - F$
	金融机构开展 绿色金融服务 (y)	B $aE - C_f + R_f$ $-C_c + \Delta T + R_c - I_2$	$-L$ $E - C_f + R_f$ T
	金融机构开展 非绿色金融服务 ($1-y$)	B aE $-C_c + \Delta T + R_c - I_1$	$-L$ E T

根据微分方程稳定性定理,政府激励的概率处于稳定状态必须满足: $F(x) = 0$ 且 $d(F(x))/dx < 0$ 。在式(6)中,令 $z^* = \frac{R_g - C_g + F + L + y(-\beta C_f)}{\gamma C_c + F + L}$, $F(z^*) = 0$, 分以下两种情况进行分析。

1) 当 $z = z^*$ 时,此时 $F(x) \equiv 0$, 无法确定政府的稳定策略。

2) 当 $z \neq z^*$ 时,令 $F(x) = 0$ 。其中,当 $z < z^*$ 时, $G(z) = G(y) > 0$, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} > 0$, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} < 0$, 即当 $z < z^*$ 时 $x = 1$ 为演化稳定策略(evolutionarily stable strategy, ESS); 当 $z > z^*$ 时, $G(z) = G(y) < 0$, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} < 0$, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} > 0$, 即当 $z > z^*$ 时 $x = 0$ 为 ESS。

2.2 金融机构的策略稳定性分析

设金融机构开展绿色金融服务时的期望收益为 E_{21} , 开展非绿色金融服务时的期望收益为 E_{22} , 则:

$$E_{21} = E - C_f + R_f + x(\beta C_f) + z(\alpha - 1)E \quad (7)$$

$$E_{22} = z(\alpha E) + (1 - z)E \quad (8)$$

设金融机构选择不同策略的平均收益为 $\bar{E}_2$, 则:

$$\bar{E}_2 = yE_{21} + (1 - y)E_{22} \quad (9)$$

金融机构行为选择的复制动态方程及其对 y 的一阶导数、设定的 $J(x)$ 分别为:

$$F(y) = dy/dt = y(E_{21} - \bar{E}_2) = y(1 - y)[x(\beta C_f) - C_f + R_f] \quad (10)$$

$$\frac{dF(y)}{dy} = (1 - 2y)[x(\beta C_f) - C_f + R_f] \quad (11)$$

$$J(x) = x(\beta C_f) - C_f + R_f \quad (12)$$

根据微分方程稳定性定理,金融机构开展绿色金融服务的概率处于稳定状态必须满足: $F(y) = 0$ 且 $d(F(y))/dy < 0$ 。由于 $d(J(x))/dx > 0$, 故 $J(x)$ 为关于 x 的增函数。因此:令 $x^* = \frac{C_f - R_f}{\beta C_f}$, 分以下两种情况进行讨论。

1) 当 $x = x^*$ 时, $J(x) = 0$, 此时 $F(y) \equiv 0$, 金融机构不能确定稳定策略。

2) 当 $x \neq x^*$ 时,令 $F(y) = 0$ 。其中,当 $x < x^*$ 时, $J(x) < 0$, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0$, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} > 0$, 即当 $x < x^*$ 时, $y = 0$ 为金融机构的演化稳定策略,即 ESS; 当 $x > x^*$ 时, $J(x) > 0$, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} > 0$, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} < 0$, 即当 $x > x^*$ 时, $y = 1$ 为金融机构的演化稳定策略,即 ESS。

2.3 企业的策略稳定性分析

设企业绿色经营时的期望收益为 E_{31} , 企业传统经营的期望收益为 E_{32} , 则:

$$E_{31} = -C_c + \Delta T + R_c - I_1 + x(\gamma C_c) + y(I_1 - I_2) \quad (13)$$

$$E_{32} = x(-F) + T \quad (14)$$

设企业选择不同策略时的平均收益为 $\bar{E}_3$, 则:

$$\bar{E}_3 = zE_{31} + (1-z)E_{32} \quad (15)$$

企业行为选择的复制动态方程及其对 z 的一阶导数、设定的 $H(x)$ 分别为:

$$F(z) = dz/dt = z(E_{31} - \bar{E}_3) = z(1-z)[-C_c + \Delta T + R_c - I_1 - T + x(\gamma C_c + F) + y(I_1 - I_2)] \quad (16)$$

$$\frac{dF(z)}{dz} = (1-2z)[-C_c + \Delta T + R_c - I_1 - T + x(\gamma C_c + F) + y(I_1 - I_2)] \quad (17)$$

$$H(x) = H(y) = -C_c + \Delta T + R_c - I_1 - T + x(\gamma C_c + F) + y(I_1 - I_2) \quad (18)$$

根据微分方程稳定性定理,企业绿色经营的概率处于稳定状态必须满足:

$$F(z) = 0 \text{ 且 } d(F(z))/dz < 0$$

$$J = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \partial F(x)/\partial x & \partial F(x)/\partial y & \partial F(x)/\partial z \\ \partial F(y)/\partial x & \partial F(y)/\partial y & \partial F(y)/\partial z \\ \partial F(z)/\partial x & \partial F(z)/\partial y & \partial F(z)/\partial z \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} (1-2x)[R_g - C_g + F + L + y(-\beta C_f) + z(-\gamma C_c - F - L)] & x(1-x)(-\beta C_f) & -x(1-x)(L + \gamma C_c + F) \\ y(1-y)(\beta C_f) & (1-2y)[x(\beta C_f) - C_f + R_f] & 0 \\ z(1-z)(\gamma C_c + F) & z(1-z)(I_1 - I_2) & (1-2z)[-C_c + \Delta T + R_c - I_1 - T + x(\gamma C_c + F) + y(I_1 - I_2)] \end{pmatrix}$$

根据李雅普诺夫第一法(当雅可比矩阵的特征值均为负值时,此时该均衡点为稳定点;当雅可比矩阵的特征值至少有一个为正值时,则均衡点为不稳

$$\text{令 } y^* = \frac{-C_c + \Delta T + R_c - I_1 - T + x(\gamma C_c + F)}{I_2 - I_1},$$

$F(y^*) = 0$, 分以下两种情况进行分析。

1) 当 $y = y^*$ 时,此时 $F(z) \equiv 0$, 无法确定企业的稳定策略。

2) 当 $y \neq y^*$ 时,令 $F(z) = 0$ 。其中,当 $y < y^*$ 时, $H(x) = H(y) < 0$, $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} < 0$,

$\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} > 0$, 即当 $y < y^*$ 时 $z = 0$ 为演化稳定

点;当 $y > y^*$ 时, $H(x) = H(y) > 0$, $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} > 0$,

$\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} < 0$, 即当 $y > y^*$ 时 $z = 1$ 为演化稳定点。

由 $F(x) = 0, F(y) = 0, F(z) = 0$ 可得系统均衡点: $E_1(0,0,0)$, $E_2(1,0,0)$, $E_3(0,1,0)$, $E_4(0,0,1)$, $E_5(1,1,0)$, $E_6(1,0,1)$, $E_7(0,1,1)$, $E_8(1,1,1)$, 三方演化博弈系统的雅可比矩阵为:

定点),表 3 列出了各稳定点、雅可比矩阵特征值及不稳定条件或稳定状态。

表 3 雅可比矩阵特征值

Tab. 3 Eigenvalues of Jacobian matrix

均衡点	特征值 1	特征值 2	特征值 3	条件/状态
$E_1(0,0,0)$	$R_f - C_f$	$F - C_g + R_g + L$	$R_c - I_1 - C_c - T + \Delta T$	①
$E_2(1,0,0)$	$R_f - C_f + \beta C_f$	$-F + C_g - R_g - L$	$F + R_c - I_1 + (\gamma - 1)C_c - T + \Delta T$	①
$E_3(0,1,0)$	$C_f - R_f$	$R_c - I_2 - C_c - T + \Delta T$	$F - C_g + L + R_g - \beta C_f$	②
$E_4(0,0,1)$	$R_f - C_f$	$R_g - C_g - \gamma C_c$	$-R_c + I_1 + C_c + T - \Delta T$	①
$E_5(1,1,0)$	$-R_f + C_f - \beta C_f$	$C_g - F - L - R_g + \beta C_f$	$F + R_c - I_2 + (\gamma - 1)C_c - T + \Delta T$	④
$E_6(1,0,1)$	$R_f - C_f + \beta C_f$	$C_g - R_g + \gamma C_c$	$-F - R_c + I_1 + (1 - \gamma)C_c + T - \Delta T$	①
$E_7(0,1,1)$	$C_f - R_f$	$-C_g - \gamma C_c + R_g - \beta C_f$	$-R_c + I_2 + C_c + T - \Delta T$	③
$E_8(1,1,1)$	$-R_f + C_f - \beta C_f$	$C_g - R_g + \beta C_f + \gamma C_c$	$-F - R_c + I_2 + (1 - \gamma)C_c + T - \Delta T$	ESS

条件: ① $R_f > C_f$; ② $R_c - I_2 - C_c - T + \Delta T > 0$; ③ $\beta C_f + \gamma C_c + C_g - R_g < 0$; ④ $-F - R_c + I_2 + (1 - \gamma)C_c + T - \Delta T < 0$ 。

当满足条件①时, $E_1(0,0,0)$ 、 $E_2(1,0,0)$ 、 $E_4(0,0,1)$ 、 $E_6(1,0,1)$ 的特征值 1 均为正值, 为不稳定点。当满足条件②时, $E_3(0,1,0)$ 的特征值 2 为正值, 为不稳定点。当满足条件③时, $E_7(0,1,1)$ 的特征值 2 为正值, 为不稳定点。当满足条件④时, $E_5(1,1,0)$ 的特征值 3 为正值, 为不稳定点。而当同时满足以上条件时 $E_8(1,1,1)$ 的三个特征值均为负值, 为稳定点 ESS。

3 仿真分析

为验证各方稳定性分析的有效性以及深入了解各参数如何影响各主体的策略选择, 本章使用 MATLAB 对该演化博弈模型进行数值模拟。参照学者胡姜等^[24] 和 Li 等^[6] 对于参数的赋值, 本文设置 $R_c = 40$, $I_1 = 20$, $R_g = 40$, 其余参数参考绿色金融市场演化博弈相关研究^[6-7,11,24-25] 中关于参数的关系及赋值方法, 结合本文模型假设中参数的相关关系设置参数值, 并且可以根据实际情况及具体分析情景对相关参数进行适当调整。在初始阶段, 我们设定了一个 0.5 的概率以供三方各自选择策略。

3.1 系统稳定性仿真分析

结合政府、金融机构和企业三方稳定性分析中的推论, 本文分为以下三种情况对参数进行赋值并分析其稳定策略。

设定情形一: $\beta = 0.6$, $C_f = 30$, $R_f = 14$, $C_g = 70$, $R_g = 40$, $\gamma = 0.6$, $C_c = 18$, $L = 10$, $F = 10$, $I_1 = 20$, $I_2 = 10$, $R_c = 40$, $T = 70$, $\Delta T = 30$ 。图 2 为按此情形设定的复制动态方程组随时间演化 50 次的仿真结果, 稳态为政府不激励、金融机构开展非绿色金融服务、企业传统经营。若政府激励所投入的人力物力等成本超出政府激励获得的声誉收益、政府不激励造成的经济及环境损失、政府激励时企业因传统经营造成环境损失所缴纳的罚金三者之和, 即 $C_g > R_g + L + F$, 此时政府在不激励的情况下损失更少, 政府进行激励的成本过高, 政府倾向于维持现有的体系, 因此政府选择不激励; 同时, 当金融机构开展绿色金融服务时的声誉收益大于开展绿色金融服务时的成本时, 即 $R_f > C_f$ 时, 金融机构趋向于选择提供绿色金融服务; 对于企业而言, 当企业传统经营时的收益、企业绿色经营成本与企业接受非绿色金融服务时需要付出的金融成本之和大于企业绿色经营收益增加值与企业绿色经营获得的声誉收益之和, 即 $T + C_c + I_1 > \Delta T + R_c$, 企业传统经营时的收益高, 企业趋向于维持现有经营体系, 且企业绿色经营成本较高、绿色经营收益增加值较少、绿色

经营获得的声誉收益较少, 企业最终选择传统经营。因此, 系统演化的稳定策略为政府不激励、金融机构开展非绿色金融服务、企业传统经营。

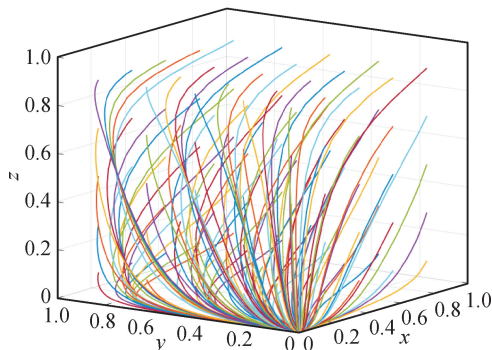


图 2 情形一演化结果

Fig. 2 Scenario 1 evolutionary outcome

设定情形二: $\beta = 0.6$, $C_f = 30$, $R_f = 10$, $C_g = 10$, $R_g = 40$, $\gamma = 0.6$, $C_c = 18$, $L = 10$, $F = 50$, $I_1 = 20$, $I_2 = 10$, $R_c = 40$, $T = 70$, $\Delta T = 30$ 。图 3 为按此情形设定的复制动态方程组随时间演化 50 次的仿真结果, 稳态为政府激励、金融机构开展非绿色金融服务、企业绿色经营。

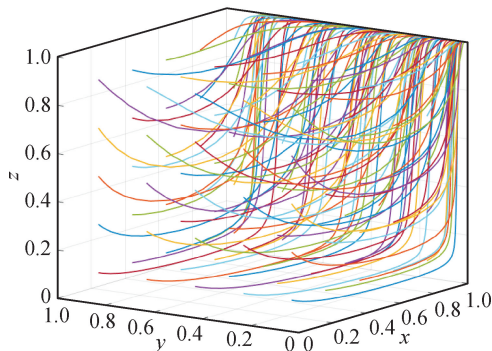


图 3 情形二演化结果

Fig. 3 Scenario 2 evolutionary outcome

当政府激励获得的声誉收益大于政府激励所投入的人力物力等成本与给予企业补贴之和时, 即 $R_g > C_g + \gamma C_c$, 政府获得的收益大于成本; 若金融机构开展绿色金融服务时的成本大于金融机构开展绿色金融服务时的声誉收益与政府给予金融机构的补贴之和, 即 $C_f > R_f + \beta C_f$, 金融机构开展绿色金融服务所需成本较高, 金融机构趋向于开展非绿色金融服务; 对于企业而言, 若企业绿色经营获得的声誉收益、企业绿色经营收益增加值、政府激励时企业因传统经营造成环境损失所缴纳的罚金三者之和大于企业接受非绿色金融服务时需要付出的金融成本、企业在政府补贴后绿色经营所需成本、企业传统经营时的收益三者之和, 即 $R_c + \Delta T + F > I_1 + (1 - \gamma) C_c + T$, 企业绿色经营获得的收益更高、成本更低。因

此,系统演化的稳定策略为政府激励、金融机构开展非绿色金融服务、企业绿色经营。

设定情形三: $\beta = 0.6$, $C_f = 30$, $R_f = 14$, $C_g = 10$, $R_g = 40$, $\gamma = 0.6$, $C_c = 18$, $L = 10$, $F = 50$, $I_1 = 20$, $I_2 = 10$, $R_c = 40$, $T = 70$, $\Delta T = 30$ 。图4为按此情形设定的复制动态方程组随时间演化50次的仿真结果,稳态为政府激励、金融机构开展绿色金融服务、企业绿色经营。若政府激励获得的声誉收益大于政府激励所投入的人力物力等成本与政府给予金融机构和企业补贴之和,即 $R_g > C_g + \beta C_f + \gamma C_c$, 政府趋向于激励;若金融机构开展绿色金融服务时的声誉收益与政府补贴之和大于金融机构开展绿色金融服务时的成本,即 $R_f + \beta C_f > C_f$, 金融机构趋向于开展绿色金融服务;若企业绿色经营获得的声誉收益、企业绿色经营时的收益增加值、政府激励时企业因传统经营造成环境损失所缴纳的罚金三者之和大于企业在接受绿色金融服务时需要付出的金融成本、企业在政府补贴后绿色经营所需成本、企业传统经营时的收益三者之和,即 $R_c + \Delta T + F > I_2 + (1 - \gamma)C_c + T$, 企业趋向于绿色经营。因此,系统演化的稳定策略为政府激励、金融机构开展绿色金融服务、企业绿色经营。

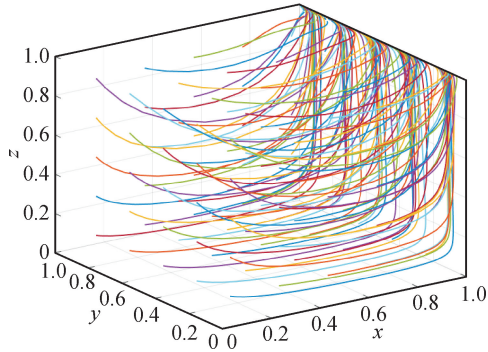


图4 情形三演化结果

Fig. 4 Scenario 3 evolutionary outcome

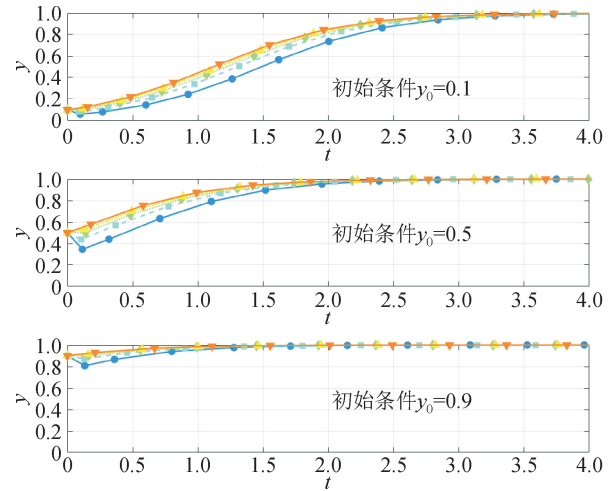
3.2 主要影响因素仿真分析

为更加形象地描述政府、金融机构、企业三方对策略选择稳定性的影响,探明影响演化博弈系统均衡的原因,本文选取了部分参数作为影响博弈均衡的代表性因素并展开研究。现实生活中我们最期望的情况是政府激励、金融机构开展绿色金融服务、企业绿色经营的稳定状态,因此本文在情形三参数设置的基础上进行仿真分析。

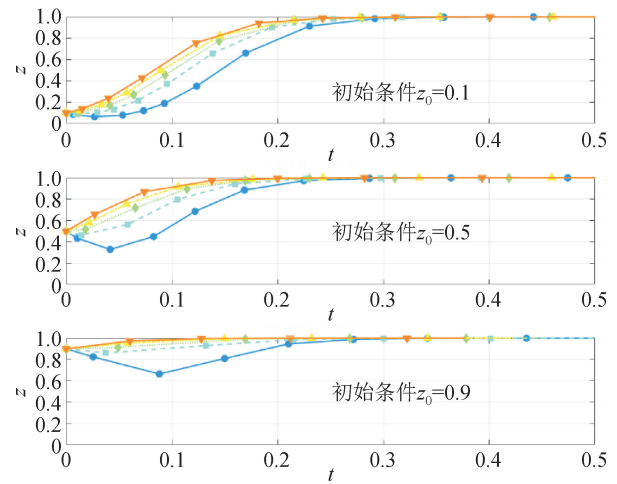
1) 政府行为对金融机构和企业策略选择稳定性的影响

为探究政府行为对金融机构及企业策略选择的影响,描绘了图5金融机构及企业行为的演化路径

轨迹。



(a) 政府对金融机构的影响



(b) 政府对企业的影响

—●— $x_0=0.1$ —■— $x_0=0.3$ —◆— $x_0=0.5$ —▲— $x_0=0.7$ —▼— $x_0=0.9$

图5 政府行为对金融机构及企业策略选择的影响

Fig. 5 The impact of government actions on the strategic choices of financial institutions and enterprises

纵轴 y 、 z 分别表示金融机构及企业策略选择概率,横轴 t 代表时间。 x_0 、 y_0 和 z_0 分别表示政府、金融机构和企业行为选择的初始概率。从图5可知,尽管金融机构及企业初始意愿在变化,但政府初始意愿的提高始终对金融机构及企业的选择具有正向作用。如图5(a)所示,在 y_0 取值为 0.5 和 0.9, x_0 为 0.1 时,图中曲线出现先下降后上升的趋势,当政府初始意愿较低时,尽管金融机构开展绿色金融服务的意愿并不低,金融机构初期还是会出现先下降后上升的趋势,这反映了在政府支持不足的初期,金融机构面临绿色转型的高成本与不确定性,导致短期策略不稳定,但随着时间推移,政策效果的累积逐渐推动策略回升。当政府初始意愿较高时,金融机构选择开展绿色金融服务的意愿持续增加,因此政

府意愿对金融机构的策略选择起重要作用,图 5(b) 中企业的策略选择也显现出同样的趋势。当政府初始意愿升高时,金融机构及企业参与意愿也会上升,迅速收敛至稳定状态。政府初始的积极策略也带动了金融机构和企业的积极性,当政府激励概率较高时,金融机构和企业的成本将会降低。因此,政府初期的激励对于金融机构及企业的策略选择起到重要作用。

2) 经济因素对策略选择稳定性的影响

本部分探究政府对金融机构开展绿色金融服务的补贴系数 β 、政府对企业绿色经营的补贴系数 γ 、政府对企业传统经营造成环境损失所处罚金 F 、金融机构开展绿色金融服务时的成本 C_f 及企业在接受绿色金融服务时的金融成本 I_2 对策略选择稳定性的影响。

其他参数不变的情形下,政府对金融机构开展绿色金融服务的补贴系数分别赋值为 $\beta = 0.4$, $\beta = 0.5$, $\beta = 0.6$ 时,模拟补贴系数 β 对于策略演化的影响,其结果如图 6 所示。图 6 表明: β 对策略结果影响显著。当补贴系数较小时,金融机构的策略选择为开展非绿色金融服务,当补贴系数满足 $\beta \geq 0.6$ 时,金融机构改变策略而选择开展绿色金融服务。补贴可以降低金融机构开展绿色金融服务的成本,如技术升级等费用,且高补贴释放政府支持绿色金融的信号,增强了金融机构对绿色项目的信心。

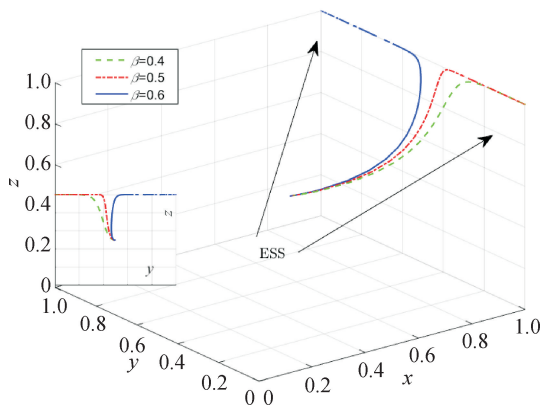


图 6 β 对演化结果的影响

Fig. 6 The influence of β on the evolutionary outcomes

其他参数不变的情形下,政府对企业绿色经营的补贴系数分别赋值为 $\gamma = 0.6$, $\gamma = 0.7$, $\gamma = 0.8$ 时,模拟补贴系数 γ 对于策略演化的影响,其结果如图 7 所示。图 7 表明:当补贴系数 $\gamma \leq 0.6$ 时,政府补贴成本较小,企业受到补贴后可以绿色经营。当补贴系数较大时,系统没有稳定点,具体而言,政府由于对企业补贴过高而达不到稳定状态,而企业在补贴系数越大时达到稳定点的速度越快。

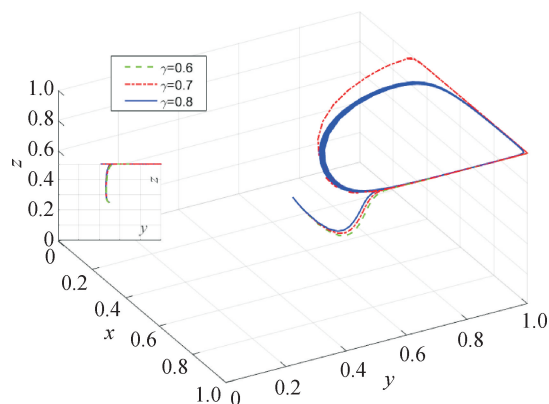


图 7 γ 对演化结果的影响

Fig. 7 The influence of γ on the evolutionary outcomes

其他参数不变的情形下,政府对企业传统经营造成环境损失所处罚金分别赋值为 $F = 10$, $F = 30$, $F = 40$ 时,模拟罚金 F 对于策略演化的影响,其结果如图 8 所示。图 8 表明:当罚金较低时,企业有趋向于传统经营的趋势,这是因为罚金较小时对企业收益的影响也较小,当罚金较高 ($F \geq 40$) 时,企业偏向于绿色经营,罚金造成企业收益下降。罚金通过提高传统经营的成本,迫使企业进行绿色生产经营。

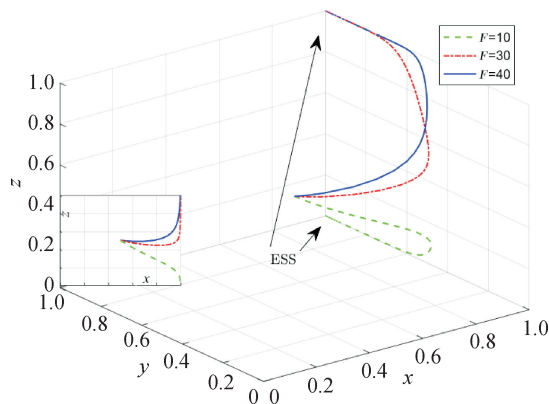


图 8 F 对演化结果的影响

Fig. 8 The influence of F on the evolutionary outcomes

在其他参数不变的情形下,金融机构开展绿色金融服务时的成本分别赋值为 $C_f = 30$, $C_f = 50$, $C_f = 70$ 时,模拟金融机构开展绿色金融服务时的成本对于策略演化的影响,其结果如图 9 所示。结果表明: C_f 对策略结果影响显著,当 $C_f \geq 50$ 时,金融机构的策略选择转变为开展非绿色金融服务。决策者可通过减少绿色金融服务成本或为金融机构提供补贴等手段推动金融机构向绿色金融服务发展。

其他参数不变的情形下,企业在接受绿色金融服务时的金融成本分别赋值为 $I_2 = 10$, $I_2 = 30$, $I_2 = 50$ 时,企业在接受绿色金融服务时的金融成本 I_2 对于策略演化的影响,其结果如图 10 所示。

图10表明: I_2 对策略结果影响显著。当企业在接受绿色金融服务时的金融成本较小时,企业的稳定策略为绿色经营,此时企业绿色经营所带的收益可以抵消此成本,当 $I_2 \geq 50$ 时,企业的策略改为传统经营。这表明,企业在接受绿色金融服务时的金融成本的增加,使企业不得不将策略转变为传统经营。

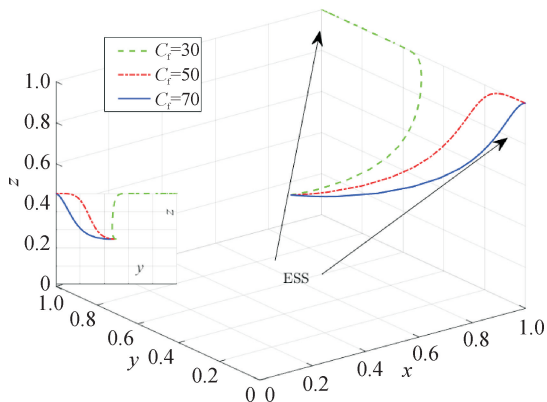


图9 C_f 对演化结果的影响

Fig. 9 The influence of C_f on the evolutionary outcomes

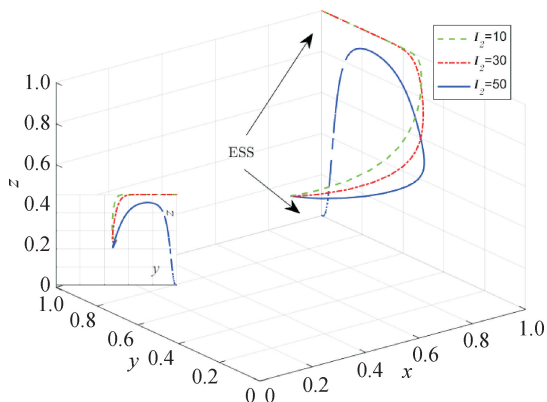


图10 I_2 对演化结果的影响

Fig. 10 The influence of I_2 on the evolutionary outcomes

3) 非经济因素对策略选择稳定性的影响

本部分探究政府激励获得的声誉收益 R_g 、金融机构开展绿色金融服务时的声誉收益 R_f 及企业绿色经营获得的声誉收益 R_c 对策略选择稳定性的影响。

其他参数不变的情形下,政府激励获得的声誉收益分别赋值为 $R_g = 15, R_g = 30, R_g = 40$ 时,政府声誉收益 R_g 对于策略演化的影响,其结果如图11所示。图11表明,当政府声誉收益较小时系统不存在稳定点,当达到阈值 R_{g0} ($30 < R_{g0} \leq 40$)时,此系统出现理想稳定点。政府声誉的提高增加了政府公信力,并获得由此带来的声誉收益,使系统趋向于稳定。

其他参数不变的情形下,金融机构开展绿色金

融服务时的声誉收益分别赋值为 $R_f = 5, R_f = 10, R_f = 15$ 时,金融机构声誉收益 R_f 对于策略演化的影响,其结果如图12所示。当金融机构开展绿色金融服务的声誉收益较小时,金融机构的稳定策略为开展非绿色金融服务,这是因为此时声誉收益较小,不足以抵消开展绿色金融服务的成本;而当金融机构声誉收益达到阈值 R_{f0} ($10 < R_{f0} \leq 15$),金融机构的策略改为开展绿色金融服务。高声誉可降低绿色项目的风险,增加声誉收益抵消收益下降的负面影响。

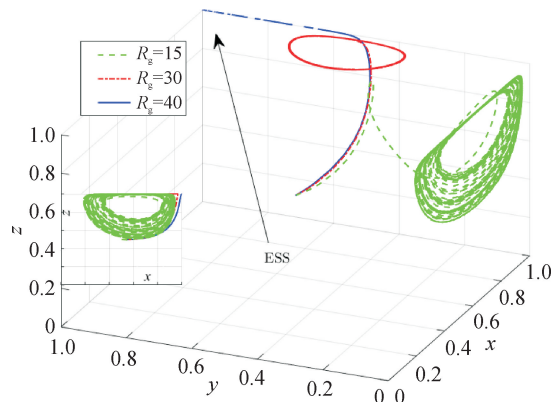


图11 R_g 对演化结果的影响

Fig. 11 The influence of R_g on the evolutionary outcomes

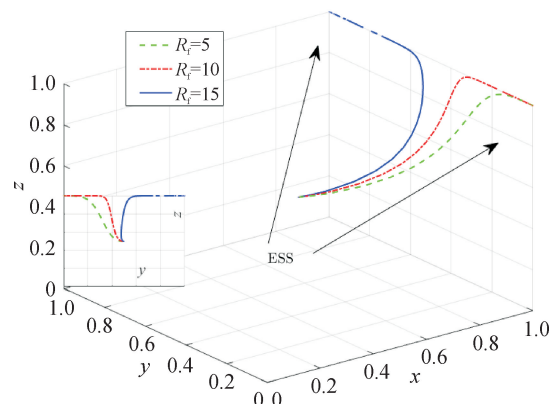


图12 R_f 对演化结果的影响

Fig. 12 The influence of R_f on the evolutionary outcomes

其他参数不变的情形下,企业绿色经营获得的声誉收益分别赋值为 $R_c = 5, R_c = 10, R_c = 15$ 时,企业绿色经营获得的声誉收益 R_c 对于策略演化的影响,其结果如图13所示。图13表明: R_c 对策略结果影响显著。当企业绿色经营获得的声誉收益较小时,企业的稳定策略为传统经营,此时声誉收益较小,不足以抵消企业绿色经营的成本;而当企业绿色经营获得的声誉收益达到阈值 R_{c0} ($5 < R_{c0} \leq 10$),这是由于声誉收益直接关联其产品市场竞争力,高声誉收益可提升消费者支付意愿,如绿色品牌

溢价。决策者可以通过宣传等手段加大企业的声誉收益。

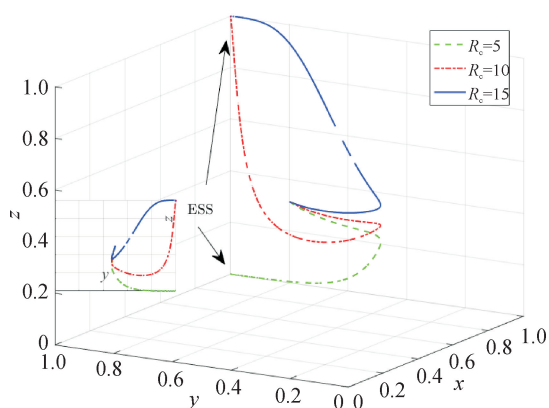


图 13 R_c 对演化结果的影响

Fig. 13 The influence of R_c on the evolutionary outcomes

仿真结果显示,金融机构的声誉收益阈值 R_{f0} ($10 < R_{f0} \leq 15$) 大于企业的声誉收益阈值 R_{c0} ($5 < R_{c0} \leq 10$), 这表明声誉收益对企业策略的驱动性更强。一方面源于两主体行为动机差异。金融机构作为资金中介机构,其决策以短期经济收益最大化为核心目标,对成本变动更为敏感。而企业除经济收益外,还需考虑非经济收益,如长期市场声誉对客户关系、政策支持的影响。另一方面源于两类主体的职能定位,金融机构更关注即时成本,而企业的生产周期较长,声誉积累可转化为长期竞争优势。因此,声誉收益对企业策略的驱动作用更强。

4 结论与政策建议

本文构建了政府、金融机构和企业在内的三方演化博弈模型,系统刻画了政府政策激励、金融机构绿色转型与企业绿色经营的综合动态关联。主要研究结论如下。

1) 政府初始激励意愿的高低对于绿色金融市场的发展存在信号效应,吸引金融机构及企业积极参与绿色金融市场,且初期激励能起到更好的调节作用,以快速激活市场参与。但高激励政策不利于绿色金融市场的稳定,对企业补贴的过度增加可能导致政府及金融机构策略失衡,激励补贴应保持在合理的区间,具体而言政府对于金融机构的补贴系数应不小于 0.6,对于企业的补贴应不大于 0.6。

2) 政府罚金、金融机构开展绿色金融服务的成本及企业在接受绿色金融服务时的金融成本对主体策略选择存在阈值效应。罚金超过临界值时,提高环境处罚力度可加速企业绿色转型;金融机构开展绿色金融服务的成本超过临界值时,金融机构的策略为开展非绿色金融服务;企业在接受绿色金融服

务时的金融成本超过临界值时,企业的策略转变为传统经营。

3) “声誉溢价”可作为政策工具的有效补充。金融机构与企业的声誉收益是推动绿色行为的关键非经济因素。当声誉收益达到一定阈值时,即使经济成本较高,主体仍倾向于选择绿色策略。

4) 声誉对于金融机构及企业的影响存在差异。由于两者的行为动机存在差异,金融机构对成本变动更为敏感,而企业需考虑非经济收益,因此声誉收益对企业策略的驱动作用更强。

基于上述研究结论,本文提出如下政策建议。

第一,重视初始政府激励意愿信号效应,合理设置补贴系数。在初期政府应提高激励意愿,激活市场参与。建立金融机构与企业差异化补贴标准,设置的激励补贴系数应保持在合理范围,政府对于金融机构的补贴系数应不小于 0.6,对于企业的补贴应不大于 0.6。一方面,使补贴能够实质性降低金融机构提供绿色金融服务及企业绿色经营的成本,从而增加其参与的积极性,另一方面,避免出现补贴过高导致的绿色金融市场不稳定现象。

第二,建立绿色声誉量化评价体系。将企业绿色经营与金融机构绿色服务纳入评级,并链接至政策优惠。强化绿色行为的社会曝光,通过媒体宣传等手段提升绿色主体的市场声誉。

第三,强化政府激励机制与补贴政策。政府应设立专门的绿色金融服务与企业绿色经营激励基金,确保当政府激励获得的声誉收益大于投入成本时,有足够的资金支持。增加对企业传统经营造成环境损失所处罚金,提高违法成本,倒逼企业转向绿色经营。

第四,强化企业声誉资本转化。较低声誉收益可促使企业进行绿色经营,因此应强化企业声誉资本的积累与转化,降低声誉管理的边际成本。设置第三方声誉认证政策,企业可凭借第三方认证的声誉评级获得银行贷款。

第五,促进金融机构绿色金融服务创新。支持金融机构开发更多元化的绿色金融产品,如绿色债券、绿色信贷、绿色基金等,满足不同企业和项目的融资需求。通过媒体宣传、行业评选等方式,提升金融机构在绿色金融领域的知名度和影响力,增加其声誉收益。

参考文献:

- [1] 陈丹丹,史代敏,祁丹越,等. 绿色金融统计标准的国际比较与中国实践[J]. 统计研究, 2025, 42(1):

- 75-87.
- CHEN Dandan, SHI Daimin, QI Danyue, et al. Green finance statistical standards: international comparison and practices in China[J]. *Statistical Research*, 2025, 42(1): 75-87.
- [2] 王仁曾,詹姝珂,庄旭东. 空间视角下金融科技赋能绿色金融发展研究[J]. *统计与信息论坛*, 2023, 38(12): 63-74.
- WANG Renzeng, ZHAN Shuke, ZHUANG Xudong. Research on the promotion of green finance development by fintech from a spatial perspective[J]. *Journal of Statistics and Information*, 2023, 38(12): 63-74.
- [3] 周春喜,陶莺,王威. 绿色金融能否提升城市经济韧性? [J]. *财经论丛*, 2024(7): 70-80.
- ZHOU Chunxi, TAO Ying, WANG Wei. Can green finance promote urban economic resilience? [J]. *Collected Essays on Finance and Economics*, 2024(7): 70-80.
- [4] 林智钦,林宏瞻. 坚持和完善生态文明制度体系研究: 基于“两山”理念、生态优先、价值转化的视角[J]. *中国软科学*, 2024(增刊1): 259-277.
- LIN Zhiqin, LIN Hongshan. Researching on adhering to and improving institutional system of ecological civilization: based on the perspective of “Two Mountains” concept, ecological priority, value transformation [J]. *China Soft Science*, 2024(Suppl.1): 259-277.
- [5] 白雨,丁黎黎. 声誉激励机制下考虑主体时间偏好的碳金融市场发展演化路径研究[J]. *系统工程理论与实践*, (2024-05-15)[2025-03-05]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2267.N.20240515.1305.023>.
- BAI Yu, DING Lili. Research on the evolution path of carbon financial market considering time preference under reputation incentive mechanism [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, (2024-05-15)[2025-03-05]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2267.N.20240515.1305.023>.
- [6] LI Shanliang, CHEN Ruixuan, LI Zonghuo, et al. Can blockchain help curb “greenwashing” in green finance?: based on tripartite evolutionary game theory [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 435: 140447.
- [7] 潘大鹏,郝亚杰,王雪妍,等. 绿色偏好视角下的绿色发展: 政府监管、企业转型与金融机构投资选择[J]. *系统工程理论与实践*, 2024, 44(8): 2411-2425.
- PAN Dapeng, HAO Yajie, WANG Xueyan, et al. Green development from the perspective of green preference: government regulation, corporate transformation and investment choice of financial institution[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2024, 44(8): 2411-2425.
- [8] GAO Yuan, NING Jiajun, ZHANG Minglong. An evolutionary game dynamic analysis of enterprise technological innovation implementation strategy: from the perspective of green bonds[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2024, 71: 11551-11564.
- [9] CUI Herui, WANG Ruoyao, WANG Haoran. An evolutionary analysis of green finance sustainability based on multi-agent game[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 269: 121799.
- [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] 郑嘉榆,胡毅. 绿色信贷能带动金融系统“绿色化”和企业减排吗? ——基于演化博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2024, 32(12): 288-299.
- ZHENG Jiayu, HU Yi. Can green credit drive the “greening” of the financial system and enterprise emission reduction?: based on evolutionary game analysis [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2024, 32(12): 288-299.
- [12] LIU Changyu, LI Wei, CHANG Le, et al. How to govern greenwashing behaviors in green finance products: a tripartite evolutionary game approach[J]. *Financial Innovation*, 2024, 10(1): 3123-3154.
- [13] 罗能生,熊少平,李建明,等. 数字普惠金融对城市减污降碳的影响效应与机制研究[J]. *管理学刊*, 2024, 37(3): 95-111.
- LUO Nengsheng, XIONG Shaoping, LI Jianming, et al. Research on the impact and mechanism of digital inclusive finance on urban pollution reduction and carbon reduction[J]. *Journal of Management*, 2024, 37(3): 95-111.
- [14] 余怒涛,苗瑞晨,王佳妮. 绿色信贷政策的溢出效应——基于审计定价决策视角[J]. *审计与经济研究*, 2024, 39(3): 54-63.
- YU Nutao, MIAO Ruichen, WANG Jiani. Spillover effect of green credit policies: a perspective on audit pricing decisions[J]. *Journal of Audit & Economics*, 2024, 39(3): 54-63.
- [15] 刘静. 绿色金融、环境规制与策略性绿色创新[J]. *大连理工大学学报(社会科学版)*, 2024, 45(4): 50-59.
- LIU Jing. Green finance, environmental regulation, and strategic green innovation[J]. *Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences)*, 2024, 45(4): 50-59.

- [16] 周新苗,刘慧宏,唐绍祥,等. 不同驱动机制下绿色金融发展的宏观经济效应研究[J]. 中国软科学, 2021(12): 31-40.
ZHOU Xinmiao, LIU Huihong, TANG Shaoxiang, et al. Research on the macroeconomic effects of green financial development under different driving mechanisms[J]. China Soft Science, 2021(12): 31-40.
- [17] 吕承超,姜延杰,何加豪. 绿色金融政策的碳减排效应——来自绿色金融改革创新试验区的实践[J]. 中国管理科学, 2025, 33(3): 360-368.
LÜ Chengchao, JIANG Yanjie, HE Jiahao. Carbon emission reduction effect of green financial policies: evidence from the green financial reform and innovation pilot zone[J]. Chinese Journal of Management Science, 2025, 33(3): 360-368.
- [18] 周兵,李艺. 绿色金融与技术创新耦合协调对低碳经济发展的影响[J]. 经济与管理研究, 2024, 45(3): 3-22.
ZHOU Bing, LI Yi. Impact of coupling coordination of green finance and technological innovation on low-carbon economic development[J]. Research on Economics and Management, 2024, 45(3): 3-22.
- [19] SHAHZAD M F, XU S, AN X, et al. Effect of stakeholder pressure on environmental performance: do virtual CSR, green credit, environmental and social reputation matter? [J]. Journal of Environmental Management, 2024, 368: 122223.
- [20] TAN Yingxue, LIN Bo, WANG Leyi. Green finance and corporate environmental performance[J]. International Review of Economics & Finance, 2025, 98: 103929.
- [21] JIA Huanyu, LIN Boqiang. Does public satisfaction with government environmental performance promote their participation in environmental protection? [J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2025, 98: 102161.
- [22] YAN Min, GONG Xinshu. Impact of green credit on green finance and corporate emissions reduction[J]. Finance Research Letters, 2024, 60: 104900.
- [23] 马祥. 基于前景理论的绿色金融市场主体行为演化博弈研究[D]. 重庆:重庆师范大学, 2023.
MA Xiang. A study on the evolutionary game of green financial market players' behavior based on prospect theory[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2023.
- [24] 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.
- [25] 周永圣,梁淑慧,刘淑芹,等. 绿色信贷视角下建立绿色供应链的博弈研究[J]. 管理科学学报, 2017, 20(12): 87-98.
ZHOU Yongsheng, LIANG Shuhui, LIU Shuqin, et al. The game study of establishing green supply chain from the perspective of green credit[J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(12): 87-98.

(责任编辑 王卫勋)