

基于演化博弈的政府监管、绿色金融激励和企业低碳转型研究

李祯

黑龙江科技大学, 中国·黑龙江 哈尔滨 150022

摘要: 研究基于演化博弈理论, 构建了企业、银行与政府监管部门的三方动态博弈模型, 分析不同监管政策与金融激励对低碳转型的影响。研究发现: ①当绿色收益不足且监管成本过高时, 三方将陷入“传统生产—非绿色投资—宽松监管”的低效均衡; ②有效转型需要“补贴激励+罚款威慑+金融协同”的政策组合; ③数字化监管能降低政府成本, 促进三方绿色协同。研究结果为优化绿色金融政策、促进低碳转型提供了理论依据与实践路径。

关键词: 低碳转型; 演化博弈; 绿色金融

Research on Government Regulation, Green Finance Incentives, and Low Carbon Transformation of Enterprises Based on Evolutionary Game Theory

Zhen Li

Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang, 150022, China

Abstract: Based on evolutionary game theory, a tripartite dynamic game model of enterprises, banks, and government regulatory departments was constructed to analyze the impact of different regulatory policies and financial incentives on low-carbon transformation. Research has found that: 1) When green benefits are insufficient and regulatory costs are too high, the three parties will fall into an inefficient equilibrium of “traditional production non green investment loose regulation”; 2) Effective transformation requires a policy combination of “subsidy incentives+fine deterrence+financial synergy”; 3) Digital regulation can reduce government costs and promote tripartite green collaboration. The research results provide theoretical basis and practical path for optimizing green finance policies and promoting low-carbon transformation.

Keywords: low-carbon transformation; evolutionary game theory; green finance

0 前言

在“双碳”目标下, 企业低碳转型面临深层矛盾。中国虽然强化重点企业披露, 但非重点企业缺乏统一披露标准, 导致金融机构难以准确评估项目绿色属性, 加剧了企业融资壁垒。虽然中国银保监会在 2022 年 6 月印发的《银行业保险业绿色金融指引》中提出知识产权质押和未来收益权质押等创新方式, 但试点规模不足全行业绿色信贷余额的 3%, 企业融资仍存在困难。中华人民共和国司法部 2024 年 2 月 4 日发布《碳排放权交易管理暂行条例》要求企业使用统一碳监测系统, 但根据中央环保督察组 2023 年通报, 基层执法人员中仅 32% 接受过系统培训, 人力的不足使得政府在监督企业碳排放中具有一定困难。

论文在此背景下, 构建企业、银行与政府监管部门三方参与的演化博弈模型, 分析在不同激励机制下各方策略演化趋势及均衡条件, 进而探讨混合激励机制下的最优治理路径。

1 文献综述

刘自敏 (2023) 等认为绿色金融政策通过提高企业绿色技术创新水平, 有效促进产业结构优化和绿色全要素生产

率增长^[1]。谢楠等 (2024) 构建非重污染企业、重污染企业和地方政府的三方演化博弈模型, 进一步证明研究强化政府监管能加速系统均衡, 对推动绿色金融发展有积极作用^[2]。蒙大斌 (2024) 等认为绿色金融政策能促进环境信息披露并引导资本支持“两高”企业转型^[3]。胡灵珊 (2024) 等认为企业低碳转型动力源于政府监管的被动推动和市场激励的主动驱动双重机制^[4]。

2 模型假设与构建

2.1 演化博弈模型的基本假设

2.1.1 博弈关系刻画与博弈主体的行为策略

博弈中涉及企业、银行和政府监管部门三个博弈主体, 各主体通过衡量策略选择的成本与收益来追求自身利益最大化。

企业的策略集为 {A1 绿色生产, A2 传统生产}, 绿色生产指企业需承担环保技术成本, 但可获得长期收益和政府补贴, 传统生产指企业不进行绿色生产, 收益保持不变, 但会面临环境罚款。银行的策略集为 {B1 绿色投资, B2 非绿色投资}, 绿色投资指银行提供低息贷款, 可获得政策奖励,

非绿色投资是银行进行常规贷款，无政策支持。政府的策略集为 {C1 严格监管, C2 宽松监管}，严格监管指政府监管部门强制要求企业进行绿色生产,对于企业进行绿色生产融资、银行进行绿色投资给予高补贴，监管成本高，宽松监管指政府仅提供绿色补贴并不进行严格的监管，监管成本较低。

2.1.2 相关参数假设及含义

假设企业选择 A1 和 A2 的概率分别是 x、(1-x)。银行选择 B1 和 B2 的概率分别是 y、(1-y)。政府监管部门选择 C1 和 C2 的概率分别是 z、(1-z)。x、y、z 均属于 (0, 1)。模型中相关参数及含义如表 1 所示。

表 1 相关参数及含义

参数假设	含义
P1	企业绿色生产所获得的利润
P2	企业传统生产所获得的利润
G1	政府监管部门严格监管、企业绿色生产时政府给予的补贴
G2	政府监管部门宽松监管、企业绿色生产时政府给予的补贴
I1	银行绿色投资时的利息收益
I2	银行非绿色投资时的利息收益
S1	政府监管部门严格监管、银行绿色投资时政府给予的政策激励
S2	政府监管部门宽松监管、银行绿色投资时政府给予的政策激励
C1	企业绿色生产时的成本
C2	企业传统生产时的成本
C3	银行发放贷款的成本
C4	政府监管部门严格监管成本
C5	政府监管部门宽松监管成本
U1	企业绿色生产融资为政府节约的环境治理成本
U2	政府监管部门严格监管时形象提升所获得的无形收益
U3	政府监管部门宽松监管时导致公众利益受损产生的负面影响
F1	政府监管部门严格监管对企业传统生产的罚款
F2	政府监管部门宽松监管对企业传统生产的罚款

2.2 演化博弈模型的收益矩阵

由以上三方的策略集可得出八种博弈可能产生的情况以及三方在不同博弈情况下的效用函数，如表 2 所示。

表 2 企业、银行与政府监管部门的收益矩阵

策略组合	企业	银行	政府监管部门
{A1,B1,C1}	P1+G1-I1-C1	I1+S1-C3	U1+U2-C4-G1-S1
{A1,B1,C2}	P1+G2-I1-C1	I1+S2-C3	U1-U3-C5-G2-S2
{A1,B2,C1}	P1+G1-I2-C1	I2-C3	U1+U2-C4-G1
{A1,B2,C2}	P1+G2-I2-C1	I2-C3	U1-U3-C5-G2
{A2,B1,C1}	P2-I1-C2-F1	I1+S1-C3	U2-C4+F1-S1
{A2,B1,C2}	P2-I1-C2-F2	I1+S2-C3	-U3-C5+F2-S2
{A2,B2,C1}	P2-I2-C2-F1	I2-C3	U2-C4+F1
{A2,B2,C2}	P2-I2-C2-F2	I2-C3	-U3-C5+F2

3 演化博弈模型分析

3.1 复制动态方程

由表 2 可知，企业选择绿色生产策略的期望收益为：

$$Ex1=yz(P1+G1-I1-C1)+y(1-z)(P1+G2-I1-C1)+(1-y)z(P1+G1-I2-C1)+(1-y)(1-z)(P1+G2-I2-C1)$$

企业选择传统生产策略的期望收益为：

$$Ex2=yz(P2-I1-C2-F1)+y(1-z)(P2-I1-C2-F2)+(1-y)z(P2-I2-C2-F1)+(1-y)(1-z)(P2-I2-C2-F2)$$

企业平均收益为：

$$EX=xEx1+(1-x)Ex2=P2-F2-I2-C2-C1x+C2x+F2x+G2x-F1z+F2z-I1y+I2y+P1x-P2x+F1xz-F2xz+G1xz-G2xz$$

综上可得企业、银行和政府监管部门的复制动态方程分别为：

$$F(x)=dx/dt=x(Ex1-Ex)=-x(x-1)(C2-C1+F2+G2+P1-P2+F1z-F2z+G1z-G2z)$$

$$F(y)=dy/dt=y(Ey1-Ey)=-y(y-1)(I1-I2+S2+S1z-S2z)$$

$$F(z)=dz/dt=z(Ez1-Ez)=-z(z-1)(C5-C4+F1-F2+U2+U3-F1x+F2x-G1x+G2x-S1y+S2y)$$

3.2 三方演化博弈模型的均衡点稳定分析

博弈系统的雅可比矩阵为：

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{cases} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{cases}$$

其中， $a_{11}=-2x(x-1)(C2-C1+F2+G2+P1-P2+F1z-F2z+G1z-G2z)$ ， $a_{12}=0$ ， $a_{13}=-x(x-1)(F1-F2+G1-G2)$ ， $a_{21}=0$ ， $a_{22}=-2y(y-1)(I1-I2+S2+S1z-S2z)$ ， $a_{23}=-y(y-1)(S1-S2)$ ， $a_{31}=z(z-1)(F1-F2+G1-G2)$ ， $a_{32}=z(z-1)(S1-S2)$ ， $a_{33}=-z(z-1)(C5-C4+F1-F2+U2+U3-F1x+F2x-G1x+G2x-S1y+S2y)$ 。将 8 个纯策略均衡点代入博弈系统的雅可比矩阵得出各均衡点的三个特征值，如表 3 所示。

假设 1: $P1+G2+F2 < C1+(P2-C2)$, $I1+S2 < I2$, $C4 > C5+(F1-F2)+U2+U3$ 。假设 2: $P1+G2+F2 > C1+(P2-C2)$, $I1+S2 < I2$, $C5+U3+G2 < C4+U2+G1$ 。假设 3: $P1+G1+F1 > C1+(P2-C2)$, $I1+S1 > I2$, $C4+S1+G1 < C5+U2+U3+(F1-F2)+S2+G2$ 。

情况 1: 当假设 1 成立时，企业绿色生产利润与宽松监管下的补贴和罚款之和，不足以覆盖绿色生产成本与传统生产的净收益，所以企业选择传统生产。银行绿色投资的利息收益与宽松监管下的政策激励之和低于非绿色投资的利息收益。所以银行选择非绿色投资。政府监管成本高于宽松监管成本与严格监管带来的环境治理节约、公众形象收益及罚款差额之和。所以政府监管部门选择宽松监管。此时只有 D1 (0, 0, 0) 是稳定点。

情况 2: 当假设 2 成立时，企业绿色生产的利润与宽松

监管下的补贴、罚款之和超过了绿色生产成本与传统生产的净收益，所以企业选择绿色生产。银行仍因非绿色投资的利息收益更高而选择非绿色投资。政府监管部门宽松监管的总成本与公众利益损失、补贴之和低于严格监管成本与形象收益、高补贴之和。所以政府监管部门选择宽松监管。此时只有 $D5(0, 0, 0)$ 是稳定点。

情况 3: 当假设 3 成立时，严格监管下的高补贴、高罚

款与绿色利润之和显著超过绿色生产成本与传统生产净收益，所以企业会选择绿色生产。银行绿色投资利息收益与严格监管下的政策激励之和高于非绿色投资收益，所以银行选择绿色投资。政府严格监管的总成本与补贴之和低于宽松监管成本与环境治理收益、公众形象损失及罚款差额之和，所以政府监管部门选择严格监管。此时只有 $D8(1, 1, 1)$ 是稳定点。

表 3 纯策略均衡点的特征值

均衡点	$\lambda 1$	$\lambda 2$	$\lambda 3$
D1(0,0,0)	$C2-C1+F2+G2+P1-P2$	$I1-I2+S2$	$C5-C4+F1-F2+U2+U3$
D2(0,0,1)	$C2-C1+F1+G1+P1-P2$	$I1-I2+S1$	$-(C5-C4+F1-F2+U2+U3)$
D3(0,1,0)	$C2-C1+F2+G2+P1-P2$	$-(I1-I2+S2)$	$C5-C4+F1-F2+U2+U3-S1+S2$
D4(0,1,1)	$C2-C1+F1+G1+P1-P2$	$-(I1-I2+S1)$	$-(C5-C4+F1-F2+U2+U3-S1+S2)$
D5(1,0,0)	$-(C2-C1+F2+G2+P1-P2)$	$I1-I2+S2$	$C5-C4+U2+U3-G1+G2$
D6(1,1,0)	$-(C2-C1+F2+G2+P1-P2)$	$-(I1-I2+S2)$	$C5-C4+U2+U3-G1+G2-S1+S2$
D7(1,0,1)	$-(C2-C1+F1+G1+P1-P2)$	$I1-I2+S1$	$-(C5-C4+U2+U3-G1+G2)$
D8(1,1,1)	$-(C2-C1+F1+G1+P1-P2)$	$-(I1-I2+S1)$	$-(C5-C4+U2+U3-G1+G2-S1+S2)$

4 结论与建议

4.1 结论

研究表明，当绿色生产收益不足且政府监管成本过高时，三方将陷入“传统生产—非绿色投资—宽松监管”的低效均衡，低碳转型进程受阻；提高绿色补贴与罚款威慑虽能推动企业转型，但需银行政策激励协同；数字化监管工具应用与动态政策调整机制可降低政府监管成本，通过提升信息透明度与政策响应，实现三方绿色协同的帕累托改进。

4.2 建议

政府应从单一监管者角色转变为低碳转型的协调者，建立多部门联动机制统一政策标准，推动绿色金融与产业低碳转型政策挂钩，设立专门的低碳产业转型引导基金，联合金融机构共担转型风险。并采用智能监测系统实现弹性监管，根据转型进程动态调整政策强度，通过数据监测和利益相关方反馈持续优化政策工具，实现精准施策、激励适度与监管柔性的动态平衡，增强治理体系的适应性与韧性。金融机构实施差异化金融政策，将碳减排绩效与贷款利率挂钩，

建立风险补偿机制支持长周期项目，并完善绿色信息披露标准，提升碳排放数据透明度，以降低融资成本。

参考文献:

- [1] 刘自敏,李娟,申颢.绿色金融政策与城市经济高质量发展——来自绿色金融改革创新试验区的证据[J].金融理论与实践,2023(5): 38-52.
- [2] 谢楠,段子聪,王文玉.地方政府监管下企业绿色技术创新的金融决策分析[J].西安财经大学学报,2024,37(4):45-58.
- [3] 蒙大斌,李新宇,李磊.绿色金融政策与“两高”企业融资成本——信号博弈下绿色创新的中介反应[J].科技进步与对策,2024,41(18): 23-32.
- [4] 胡灵珊,熊萍萍.绿色技术创新如何助推制造业企业低碳转型——基于京津冀地区环境规制的中介效应检验[J].生态经济, 2024,40(12):63-70.

作者简介: 李祯(2001-),女,中国内蒙古呼和浩特人,硕士。