

政府奖惩机制下物流企业绿色包装选择的演化博弈研究

王勇帏

西安邮电大学 西安 710000

摘要: 随着物流业的快速发展, 包装废弃物对环境造成了极大的破坏。本文构建了不同政府奖惩机制下物流企业绿色创新的演化博弈模型。研究发现, 静态奖惩和动态惩罚更有利于促进物流企业选择绿色包装, 加快其绿色转型。

关键词: 演化博弈; 绿色包装选择; 动态奖惩机制

1 引言

随着全球环境问题的日益严峻, 可持续发展已成为全球共识。但是伴随物流业快速发展的是大量包装废弃物生成。这将直接或间接得对环境造成污染和破坏。物流企业作为物流中关键的一环, 其是否选择绿色包装将会对环境造成极大地影响。而政府的规制影响物流企业行为决策的重要因素。政府对绿色环保企业的奖励措施和政府对环境不友好型企业的惩罚会影响企业的行为决策。在此背景下物流企业使用绿色包装会成为寻求有利市场地位和可持续竞争优势的关键举措。本文研究了 4 种政府奖惩机制对物流企业绿色创新驱动影响, 旨在为政府制定精准政策提供依据, 助力物流企业优化决策。

2. 文献综述

物流绿色包装的选择和使用设计多个利益主体, 政府和物流企业是主要参与者。企业绿色创新的驱动因素可以分为环境规制和利益相关者监督。在环境规制方面, 政府通过环境监管和污染处罚向企业施压, 促使其升级生产技术, 推动绿色创新, 并促使企业高管更加关注环保, 优化治理结构, 增加绿色创新投入^[1]。环境政策可以通过资源补偿效应, 增加企业研发资源, 推动绿色专利和产品数量的增长^[2]。也有研究发现, 环境规制可能增加企业财务成本, 削弱创新资源获取能力, 影响可能具有非线性或异质性, 随时间和企业资源的不同而变化^[3]。利益相关者理论视角下, 政府作为监督力量, 通过公开报道企业的创新活动及其环保实践, 有效地减少了信息不对称现象, 这一过程直接作用于企业层面, 促进了其在决策过程中对创新与环境保护的考量。优越的声望能够促进企业的经济利益增长, 而新闻媒体的报道活动对企业的声誉产生直接影响, 这一因素进一步作用于企业的经济

产出水平。因此, 为了维护并提升其社会形象及长期竞争力, 企业普遍表现出加强绿色创新投资的倾向^[4]。

政府对企业规制方面, 曲薪池等学者^[5]发现, 惩罚性规制可以增加企业绿色创新意愿, 同时政府对存在投机行为的企业加大惩罚力度会更有助于建立健全绿色产业体系。政府规制还产生合法性压力, 促使企业为展示合法性形象而增加绿色投入。汪建成等^[6]发现, 地方政府规制强度正向影响绿色创新绩效, 企业为缓解合法性压力, 增加绿色技术投入, 提升绿色发展水平。基于新古典主义经济学, 绿色创新具有正外部性, 而企业的环境污染行为具有负外部性^[7]。

演化博弈应用方面, 张艳丽^[8]等人构建了三种不同情景下的绿色供应链决策模型, 分析了政府补贴对绿色产品制造商、常规产品制造商和零售商决策行为的影响。也有学者^[9]探讨了绿色创新在促进金融包容性和实现碳中和方面的作用。他们发现, 技术创新可以在碳中和的金融包容性中发挥重要作用, 并提出了见解: 有利的监管环境可能在短期内对环境、经济和社会产生重要影响。

3. 物流企业与政府双方演化博弈

3.1 模型假设

由于企业使用绿色包装的成本较高以及政府奖惩行为对企业制约存在疏漏, 不同的物流企业会因自身的能力以及对使用绿色包装利益风险的把控能力、对绿色包装市场信息的洞察能力等都不同。由于每个地区政府抓环保问题的力度以及当地的政策不同, 这些因素都会对政府的行为产生影响所以物流企业和政府的决策行为是一个动态的、不断相互模仿和学习的过程。

本文构建模型时, 假定参与博弈的双方均为有限理性群体。在持续优化自身行为的过程中, 他们会选择最优策略,

以实现博弈均衡。其中，物流企业的行为策略为“绿色创新”或“保持原状”，而政府的行为策略为“奖惩监管”或“形式主义”。

假设 1：对于物流企业存在两种纯策略选择：绿色创新和保持原状。策略集为 $Q1=(X1,X2)$ ， $X1$ 策略代表绿色创新， $X2$ 策略代表保持原状。对于政府存在两种纯策略选择：奖惩监管和形式主义。策略集为 $Q2=(Y1,Y2)$ ， $Y1$ 策略代表奖惩监管， $Y2$ 策略代表形式主义。

假设 2：假设物流企业和政府在开始决策都处于初始状态，物流企业选择策略 $X1$ 的概率为 x ，选择策略 $X2$ 的概率为 $(1-x)$ ；政府选择策略 $Y1$ 的概率为 y ，选择策略 $y2$ 的概率为 $(1-y)$ 。

假设 3：假设物流企业选择“保持原状”策略的收益为 $E1$ ，成本为 $C1$ 。物流企业选择“绿色创新”策略的增量收益为 E ，增量成本为 C 。物流企业进行绿色创新会赢得社会的支持和赞誉，为物流企业带来社会声誉收益 I 。当物流企业选择保持原状策略时，所用的非绿色包装会给社会环境造成污染，此时政府为维护环境会予以物流企业罚金惩罚，记为 $C3$ 。物流企业进行绿色创新时会获得政府补贴 S 。本文记物流企业保持原状策略较绿色创新策略碳税差额为 T 。

假设 4：政府在物流企业进行“绿色创新”策略时获得环境效益 R ，政府进行奖惩监管的成本为 $C2$ ，政府“奖惩监管”策略所获社会声誉收益为 $E3$ 。当政府不作为且物流企业保持原状对环境造成污染时，政府治理环境成本记为 $C4$ ，此时由于政府的不作为造成社会声誉损失记为 $C5$ 。

根据以上假设，构建的博弈收益矩阵如表 3-1 所示

表 3-1 物流企业和政府的收益矩阵

奖惩监管		政府	
		形式主义	
物流企业	绿色创新	$E1+E-C1-C1+I+S, R-C2+E3-S$	$E1+E-C1-C1+I, R$
	保持原状	$E1-C1-C3-T, E3+C3-C2$	$E1-C1-T, -C4-C5$

复制动态方程与演化均衡点分析

(1) 复制动态方程

假设物流企业选择“绿色创新”策略和“保持原状”策略的期望收益分别 E_{x1} 和 E_{x2} ，物流企业群体的平均收益为 E_x ，则采取绿色创新的物流企业期望收益为：

$$E_{x1} = y*[E_1 + \Delta E - C_1 - \Delta C_1 + S + I] + (1-y)*[E_1 + \Delta E - C_1 - \Delta C_1 + I]$$

采取保持原状的期望收益为：

$$E_{x2} = y*[E_1 - C_1 - C_3 - T] + (1-y)*[E_1 - C_1 - T];$$

因此物流企业的平均期望收益为：

$$E_x = x*E_{x1} + (1-x)*E_{x2};$$

物流企业选择“绿色创新”策略的复制动态方程为：

$$F_{(x)} = x(E_{x1} - E_x) = x(1-x)[y(S + C_3) + \Delta E - \Delta C_1 + I - T]$$

假设政府选择“奖惩监管”策略和“形式主义”策略的期望收益分别 E_{y1} 和 E_{y2} ，政府群体的平均收益为 E_y ，则采取奖惩监管的政府期望收益为：

$$E_{y1} = x*[R - C_2 - S + E_3] + (1-x)*[E_3 + C_3 - C_2];$$

政府采取形式主义放任不管决策时的期望收益为：

$$E_{y2} = x*R + (1-x)*(-C_4 - C_5);$$

可得到政府的平均期望收益为：

$$E_y = y*E_{y1} + (1-y)*E_{y2};$$

政府选择“奖惩监管”策略的复制动态方程为：

$$F_{(y)} = y(E_{y1} - E_y) = y(1-y)[x(-S - C_3 - C_4 - C_5) + E_3 + C_3 + C_4 + C_5 - C_2]$$

为保障政府奖惩机制对物流企业决策行为的有效约束，应确保物流企业选择绿色创新并获得奖励后的总收益高于保持原状并受到惩罚后的总收益，同时政府的收益也需保持为正值，即： $E1+E-C1+I+S>E1-C1-C3-T, E3+C3-C2>0, S>0, C3>0$ 下文以此条件进行稳定性分析。

3.2 均衡点以及稳定性分析

联合上述式子，令 $F(x)=0, F(y)=0$ ，可求出系统演化的 5 个均衡点： $(0,0) (0,1) (1,0) (1,1) ()$ ，其

$$\text{中：} x^* = \frac{C_2 - E_3 - C_3 - C_4 - C_5}{-S - C_3 - C_4 - C_5} \quad 0 \leq x^* \leq 1, \quad y^* = \frac{\Delta C_1 - \Delta E + T - I}{S + C_3}$$

$$(0 \leq y^* \leq 1)$$

根据演化博弈理论可知，系统相应的雅可比矩阵的行列式 $\det J$ 和 $\text{tr} J$ 可作为判断系统均衡点的稳定性，对 $F(x)$ 和 $F(y)$ 求导可得雅可比矩阵：

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1-2x)*[y(S+C_3)+\Delta E-\Delta C_1+I+T] & x(1-x)(S+C_3) \\ y(1-y)(-S-C_3-C_4-C_5) & (1-2y)[x(-S-C_3-C_4-C_5)+E_3+C_3+C_4+C_5-C_2] \end{pmatrix}$$

将系统的均衡点 $(0,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(1,0)$ 、 $(1,1)$ 、 (x^*,y^*) 带入矩阵行列式和迹的表达式中，经计算，系统在 $(0,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(1,0)$ 、 $(1,1)$ 这四个点均不具备稳定性，唯有在 (x^*,y^*) 处表现出稳定，对

应的雅可比矩阵为：

$$J = \begin{pmatrix} 0 & \frac{(C_3 - E_3 - C_3 - C_4 - C_5 - S - C_3 + E_3)(S - C_3)}{(-S - C_3 - C_4 - C_5)^2} \\ \frac{(\Delta C_1 - \Delta E + T - I)(-S - C_3 - C_4 - C_5 + \Delta E - T + I)(-S - C_3 - C_4 - C_5)}{(-S + C_3)^2} & 0 \end{pmatrix}$$

分析可知, 雅克比矩阵 J' 的特征根为一对纯虚根, 这意味着微分方程系统的演化轨迹会形成围绕中心点 (x^*, y^*) 的闭环曲线, 虽然轨迹会不断靠近 (x^*, y^*) 但系统无法自动稳定到该点。

4. 政府动态奖惩下与物流企业演化博弈模型分析

4.1 动态奖励与静态惩罚

假定政府对物流企业采取动态奖励与静态惩罚的策略, 即物流企业若实施绿色创新, 政府将给予奖励 $S(x) = (1-x)\bar{S}$, $\bar{S}$ 为政府给予奖励的上限, 而对维持现状的企业, 政府的惩罚力度仍为 C_3 , 此时可得出系统:

$$\begin{cases} F_x = x(E_{x1} - E_x) = x(1-x)[y(S(x) + C_3) + \Delta E - \Delta C_1 + I - T] \\ F_y = y(E_{y1} - E_y) = y(1-y)[x(-S(x) - C_3 - C_4 - C_5) + E_3 + C_3 + C_4 + C_5 - C_2] \end{cases}$$

该系统演化始终存在的 5 个均衡点: $(0,0)$ $(0,1)$

$$(1,0) (1,1) (x^*, y^*), \quad \text{其中: } x_1^* = \frac{E_3 + C_3 + C_4 + C_5 - C_2}{S(x) + C_3 + C_4 + C_5}$$

$$(0 \leq x^* \leq 1), y_1^* = \frac{\Delta C_1 - \Delta E + T - I}{S(x) + C_3} \quad (0 \leq y^* \leq 1)$$

4.2 静态奖励与动态惩罚

假定政府对物流企业采取静态奖励与动态惩罚的策略, 即, 当物流企业选择“保持原状”策略时, 政府给予惩罚为 $C_3(x) = (1-x)\bar{C}_3$, $\bar{C}_3$ 表示惩罚的上限值, 政府对绿色创新企业的奖励仍为 S , 此时可得出动力系统:

$$\begin{cases} F_x = x(E_{x1} - E_x) = x(1-x)[y(S - C_3(x)) + \Delta E - \Delta C_1 + I - T] \\ F_y = y(E_{y1} - E_y) = y(1-y)[x(-S - C_3(x) - C_4 - C_5) + E_3 + C_3(x) + C_4 + C_5 - C_2] \end{cases}$$

该系统演化始终存在的 5 个均衡点: $(0,0)$ $(0,1)$ $(1,0)$ $(1,1)$ (x_2^*, y_2^*)

$$(1,1) (x_2^*, y_2^*), \quad \text{其中: } x_2^* = \frac{S + C_3(x) + C_4 + C_5}{\Delta C_1 - \Delta E + T - I}$$

$$(0 \leq x_2^* \leq 1), y_2^* = \frac{\Delta C_1 - \Delta E + T - I}{S + C_3(x)}$$

4.3 动态奖励与动态惩罚

假定政府对物流企业采取动态奖励与动态惩罚的策略, 即当物流企业选择“绿色创新”策略时, 政府给予物流企业奖励为 $S(x) = (1-x)\bar{S}$, $\bar{S}$ 表示奖励的上限值, 当物流企业选择“保持原状”策略时, 政府给予物流企业惩罚为 $C_3(x) = (1-x)\bar{C}_3$, $\bar{C}_3$ 表示惩罚的上限值, 此时可得出动力系统:

$$\begin{cases} F_x = x(E_{x1} - E_x) = x(1-x)[y(S(x) + C_3(x)) + \Delta E - \Delta C_1 + I - T] \\ F_y = y(E_{y1} - E_y) = y(1-y)[x(-S(x) - C_3(x) - C_4 - C_5) + E_3 + C_3(x) + C_4 + C_5 - C_2] \end{cases}$$

该系统演化始终存在的 5 个均衡点: $(0,0)$ $(0,1)$ $(1,0)$

$$(1,1) (x^*, y^*), \quad \text{其中: } x^* = \frac{C_2 - E_3 - C_3(x) - C_4 - C_5}{-S(x) - C_3(x) - C_4 - C_5}$$

$$(0 \leq x^* \leq 1), y^* = \frac{\Delta C_1 - \Delta E + T - I}{S(x) + C_3(x)} \quad (0 \leq y^* \leq 1)$$

根据雅克比矩阵可知 3 种动态奖惩模式特征根均为一对带负实部的特征复根, 系统具有渐进稳定性, 微分方程系统演化轨迹是趋向中心点 (x_1^*, y_1^*) 的螺旋曲线。

5. 数值仿真

设定相关参数赋值为: $S=5, E_1=12, E_3=3, E_3=2, C_1=10, C_2=10, C_3=2.5, C_4=10, C_5=2, C_1=3, I=2, T=3, R=3$ 。

$$\text{由 } x^* = \frac{C_2 - E_3 - C_3 - C_4 - C_5}{-S - C_3 - C_4 - C_5} \quad (0 \leq x^* \leq 1),$$

$$y^* = \frac{\Delta C_1 - \Delta E + T - I}{S + C_3} \quad (0 \leq y^* \leq 1), \quad \text{可得 } 0.33, = 0.13。 \text{ 下}$$

面分析政府不同奖惩决策对演化结果的影响:

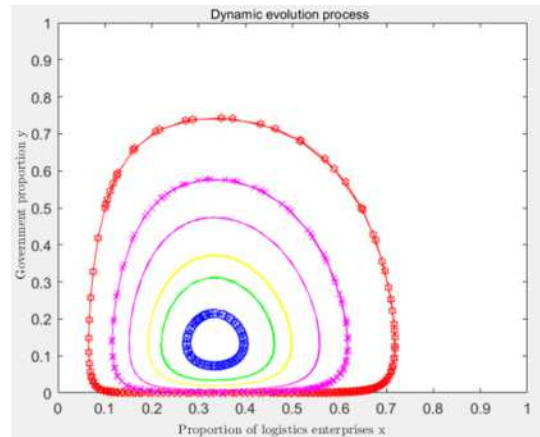


图 1 政府对物流企业静态奖惩的演化路径

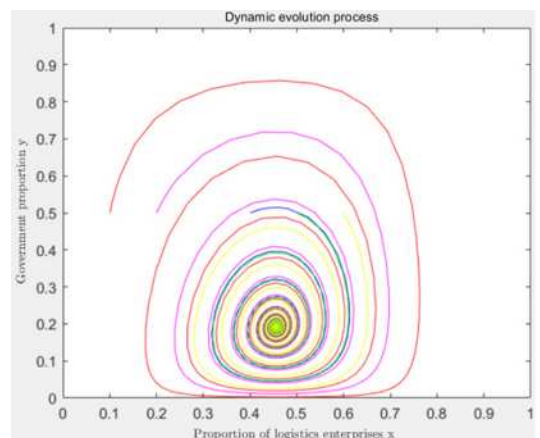


图 2 政府对物流企业动态奖励和静态惩罚演化路径

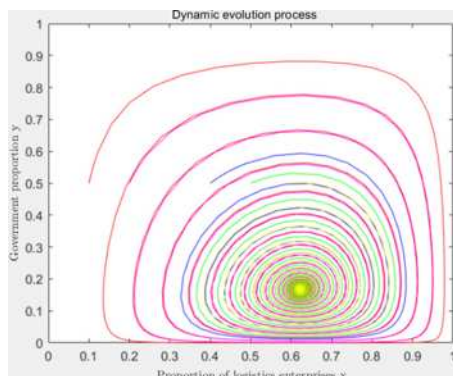


图 3 政府对物流企业静态奖励和动态惩罚演化路径

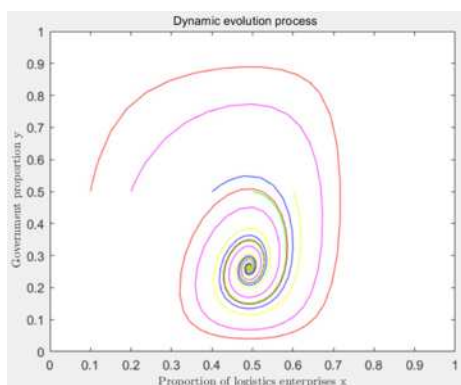


图 4 政府对物流企业动态奖励和动态惩罚演化路径

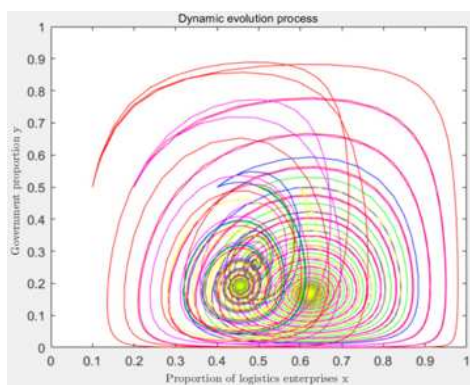


图 5 政府对物流企业三种动态奖惩政策演化路径比较

图 1 显示政府和企业静态奖惩措施下的动态演化路径，双方无稳定策略。双方围绕中心点 (x^*, y^*) 闭环运动，但无法达到中心点。博弈双方难以做出长期稳定的决策，说明政府采取静态奖罚措施不能激发物流企业绿色创新。鉴于此，政府应依据企业行为灵活调整奖惩策略，借助动态奖惩机制来强化市场规范。图 2、3、4 分别展示了三种不同动态奖惩机制对应的演化稳定策略，物流企业与政府的演化轨迹呈现螺旋状收敛，最终逼近稳定点，从而验证了博弈模型稳定性分析的结论。对三种动态奖惩政策的演化路径进行对

比并汇总，形成图 5。通过比较稳定点和演化速度可以发现，在三种动态奖惩机制下，静态奖励搭配动态惩罚的政策最为理想，其次是动态奖励与动态惩罚的组合，最后是动态奖励与静态惩罚的搭配。这表明，当政府实施奖惩结合型政策的概率差异不大时，静态奖励与动态惩罚的组合更具激励效果，能更有效地促使物流企业选择绿色创新并采用绿色化包装。

6. 结论

(1) 政府应积极推动绿色物流发展，完善奖惩机制。静态奖惩和动态惩罚更有利于促进物流企业选择绿色包装，加快其绿色转型。(2) 政府应根据企业动态实时调整战略，防止企业因信息不对称的投机行为。

参考文献：

- [1] 汪明月, 李颖明. 政府市场规制、产品消费选择和企业绿色技术创新 [J]. 管理工程学报, 2021, 35(2): 44-54.
 - [2] 公彦德, 陈梦泽. 考虑企业社会责任和公平偏好的绿色供应链决策研究 [J/OL]. 控制与决策, 2019, 30(5): 1-9.
 - [3] 尚文芳, 滕亮亮. 考虑政府补贴和销售努力的零售商主导型绿色供应链博弈策略 [J]. 系统工程, 2020, 38(2): 40-50.
 - [4] 金基瑶, 杜建国, 金帅等. 消费者环境创新偏好下政府环境补贴对供应链绩效的影响——基于本土和 FDI 生产型企业竞争的视角 [J]. 系统管理学报, 2020, 29(4): 657-667.
 - [5] 曲薪池, 侯贵生, 孙向彦. 政府规制下企业绿色创新生态系统的演化博弈分析——基于初始意愿差异化视角 [J]. 系统工程, 2019, 37(6): 1-12.
 - [6] 汪建成, 杨梅, 李晓晔. 外部压力促进了企业绿色创新吗?——政府监管与媒体监督的双元影响 [J]. 产经评论, 2021, 12(4): 66-81.
 - [7] 孙阳. 绿色供应链在企业发展中面临的现状及对策研究 [J]. 现代营销 (经营版), 2020(4): 48-49.
 - [8] 张艳丽, 胡小建, 杨海洪, 等. 政府补贴下考虑消费者策略行为的绿色供应链决策模型 [J]. 预测, 2017, 36(2): 57-63.
 - [9] 林晓明. 绿色供应链管理中供应商激励机制的构建研究 [J]. 现代经济信息, 2018, 16: 103.
- 作者简介: 王勇伟, 1999 年 8 月, 男, 汉族, 浙江省杭州市, 西安邮电大学研究生, 绿色物流