

新型回收技术驱动下政府、回收企业、环保组织演化博弈分析——以电池回收行业为例

刘榕震

(合肥工业大学管理学院, 安徽省合肥市, 230009)

摘要: 为了多方推动回收企业采用新型回收技术以减少环境污染, 本文构建政府、回收企业、环保组织三方演化博弈模型, 分析演化稳定策略和实现条件, 以电池回收行业为例, 运用 MATLAB R2021a 进行数值仿真分析。研究发现: (1) 该三方演化博弈模型共有三种稳定策略, 其中{间接监管、新型技术、监督}是最符合实际的理想策略。(2) 政府对环保组织的补贴正向影响环保组织策略演化。(3) 政府对采用传统技术的回收企业的罚款正向影响政府策略选择。(4) 政府对回收企业罚款和环保组织监督时企业额外承受的损失在一定范围内可以有效促进回收企业采取新型技术。罚款和额外损失过大时, 企业会倾向于选择传统技术。

关键词: 技术升级; 回收行业; 环保组织; 演化博弈; 仿真分析

中图分类号: C93

文献标识码: A

1 引言

近年来, 全球局部冲突的频发和美联储的疯狂印钞导致全球原材料价格大幅上涨。为了降低外部风险并促进内部经济的可持续发展, 循环经济成为社会热点。2021年7月, 国家发展改革委发布了《“十四五”循环经济发展规划》, 指出发展循环经济是我国经济社会发展的一项重大战略。

资源回收行业作为循环经济发展的核心, 直接影响着我国循环经济发展质量的高低。在相关政策的推动下, 我国再生资源回收利用行业发展迅速, 2021年, 我国十个品种再生资源回收总额约为13695亿元, 同比增长35.1%^[1]。据调查, 目前仍有部分回收企业采用传统回收技术。传统回收技术成本较低, 回收企业会取得短期成本优势, 但回收利用率较低, 导致直接回收收益较低。另外传统回收技术对环境伤害较大, 对政府和公众较为不利, 从而反作用于回收企业, 回收企业也因此存在一定程度的潜在损失, 不利于其长期发展。政府可以借助环保组织的力量加强对回收企业的监督以促进回收企业技术升级。环保组织虽是非盈利组织, 但其运营却需要成本, 这需要政府提供资金支持。只有环保组织的资金能支持其正常运营时才能发挥监督作用。政府和环保组织以保护环境为目标, 而回收企业以企业利润为目标。综上, 政府、回收企业、环保组织之间存在三方博弈情况。因此, 政府如何促进回收企业采取新型回收技术, 并确定对环保组织的支持力度成为重点。这直接关系到我国资源回收行业能否健康发展和环境质量的高低。

近年来, 演化博弈理论已经逐步应用于产业升级、环境保护、废旧物品回收等领域。Shi^[2]等基于演化博弈理论构建了地方政府、领先企业、普通企业组成的三方演化博弈模型, 探究了制造业高质量发展的动态演化过程以及影响因素。刑会^[3]等为了探究中国制造业升级, 构

建了中国制造业和发达国家制造业的演化博弈模型,探究双方动态演化路径以及不同因素对其策略选择的影响。Tian^[4]等为探究企业低碳转型问题,构建由制造企业、监督机构、第三方认证机构和消费者组成的四方演化博弈模型。

王成功^[5]等构建了政府、回收企业和消费者共同参与的电池回收模型,研究发现政府奖惩措施均能有效规范回收商的回收行为,但惩罚措施和奖励措施相比具有滞后性。付小勇^[6]等针对废旧电子产品处理问题,基于系统动力学方法构建了政府与处理商的混合策略博弈模型,并对政府政策和处理商是否进行绿色回收互动机制进行分析。Zhang^[7]等将废旧电池再利用分为梯次利用和再制造两个决策方案,探究了补贴减少情景下政府、回收企业、消费者行为的变化。

黄仁辉^[8]等为了探究环境责任不明确背景下的信息不对称问题,构建了地方政府、排污企业和第三方治理企业的三方演化博弈模型,分析得出政府奖励措施对三方主体策略选择的影响。潘峰^[9]等针对环境治理问题,构建了由中央政府、地方政府、企业、公众组成的四方演化博弈模型,分析得出不同因素对四方策略选择的影响。

综上所述,国内外学者运用演化博弈理论对产业升级、环境保护、废旧物品回收领域进行了一定探索,但现有文献对于三者结合的研究较少。相对于以往研究,本文创新点主要为:第一,将环保组织纳入资源回收体系,基于有限理性假设建立政府、回收企业、环保组织三方演化博弈模型,丰富了现有研究体系。第二,考虑了环保组织监督到回收企业采取传统回收技术情况下的声誉收益,也考虑了回收企业因此而承受的额外损失,更贴近现实。第三,以电池回收行业为例,通过数值仿真分析验证了模型的有效性。通过灵敏度分析得出不同影响因素对系统演化过程和演化稳定状态的影响,分析得出结论。

2 基本假设与模型构建

2.1 问题描述

目前,我国资源回收行业的环保监管工作主要由政府或环保部门直接监管,对采取技术创新以降低环境污染的企业采取一定奖励,对未采取技术创新的企业予以一定的惩罚。这种方法对于政府来说成本较高且效果有限。为了降低监管成本并促进回收企业进行技术创新以保护环境,政府可以在直接监管基础上借助环保组织的社会监督功能,从而建立双渠道并行监管模式。在此过程中,政府、回收企业、环保组织存在博弈,如图 1 所示。

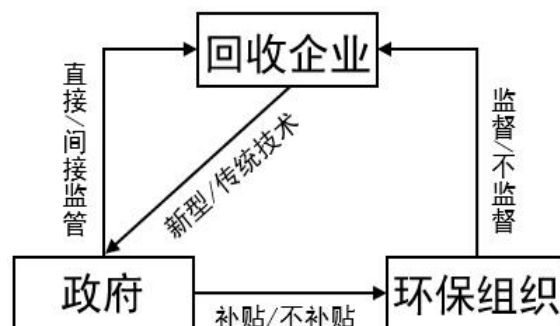


图 1 三方博弈逻辑示意图

2.2 基本假设

假设 1: 有限理性假设, 即政府、回收企业、环保组织构成一个完整的三方系统。三方均为有限理性个体, 在博弈过程中信息不完全对称, 而且会随着博弈过程的进行不断改进自身策略。

假设 2: 政府的策略合集为 $A_1 = \{\text{直接监管}, \text{间接监管}\}$; 回收企业的策略合集为 $A_2 = \{\text{新型技术}, \text{传统技术}\}$; 环保组织的策略合集为 $A_3 = \{\text{监督}, \text{不监督}\}$ 。

假设 3: 政府选择直接监管的概率为 x ($0 \leq x \leq 1$), 选择间接监管的概率为 $1-x$; 企业选择新型技术的概率为 y ($0 \leq y \leq 1$), 选择传统技术的概率为 $1-y$; 环保组织选择监督的概率为 z ($0 \leq z \leq 1$), 选择不监督的概率为 $1-z$ 。

假设 4: 政府选择直接监管策略时, 才会对回收企业采用新型技术或传统技术进行奖惩。

假设 5: 当回收企业选择传统技术回收时, 无论政府选择直接监管还是间接监管, 均需要付出环境治理成本, 将其记为 C_2 。

假设 6: 我国环保组织发展较晚, 基础较薄弱, 目前数量和质量均有待提高^[10]。环保组织通过非行政手段促进企业和民众保护环境, 是对政府监管功能的补充和完善。环保组织的蓬勃发展离不开政府相关部门的支持。本文假设政府大力支持环保组织的发展: 即只要环保组织选择监督, 政府就给予环保组织补贴, 将其记为 N_2 , 而且补贴金额大于环保组织的监督成本。

假设 7: 当环保组织选择监督且回收企业采用传统技术回收时, 政府将加大对环保组织的公众宣传力度, 环保组织的名誉和社会影响力因此提升, 将有机会获得更多的资金、技术、人脉等资源, 将这部分潜在资源统归纳为名誉收益, 记为 T 。

具体参数说明请见表 1。

表 1 参数设定及符号说明

参数	含义
Q_1	企业采取新型技术回收对政府的收益
Q_2	企业采取新型技术回收的直接收益
Q_3	企业采取新型技术回收的潜在长期收益
Q_4	企业采取传统技术回收的收益
C_1	政府的监督成本
C_2	企业采取传统技术回收时, 政府付出的环境治理成本
C_3	企业采取新型技术回收的成本
C_4	企业采取传统技术回收的成本
C_5	环保组织的监督成本
N_1	政府对采取新型技术的回收企业的补贴
N_2	环保组织监督时, 政府给予环保组织的补贴
M_1	政府对使用传统回收技术企业的罚款
M_2	环保组织监督时, 使用传统技术回收企业承受的额外损失
T	环保组织的名誉收益

2.3 模型构建

根据政府、回收企业、环保组织的策略合集可知，三者之间的博弈组合有 8 种。根据上述假设，混合策略博弈矩阵如表 2 所示。

表 2 政府、回收企业、环保组织混合策略博弈矩阵

				环保组织	
				监督	不监督
政府	直接 监管	回收 企业	新型 技术	$Q_1 - C_1 - N_1 - N_2$ $Q_2 + Q_3 + N_1 - C_3$ $N_2 - C_5$	$Q_1 - C_1 - N_1$ $Q_2 + Q_3 + N_1 - C_3$ 0
			传统 技术	$M_1 - C_1 - C_2 - N_2$ $Q_4 - C_4 - M_1 - M_2$ $N_2 - C_5 + T$	$M_1 - C_1 - C_2$ $Q_4 - C_4 - M_1$ 0
	间接 监管		新型 技术	$Q_1 - N_2$ $Q_2 + Q_3 - C_3$ $N_2 - C_5$	Q_1 $Q_2 + Q_3 - C_3$ 0
			传统 技术	$-C_2 - N_2$ $Q_4 - C_4 - M_2$ $N_2 - C_5 + T$	$-C_2$ $Q_4 - C_4$ 0

3 模型分析

3.1 复制动态方程

根据表 2 的收益矩阵，设政府选择“直接监管”的期望收益为 U_{11} ，选择“间接监管”的期望收益为 U_{12} ，政府的平均收益为 U_1 ，则有：

$$U_{11} = (1-y)(1-z)(M_1 - C_1 - C_2) + (1-y)z(M_1 - C_1 - C_2 - N_2) + y(1-z)(Q_1 - C_1 - N_1) + yz(Q_1 - C_1 - N_1 - N_2) \quad (1)$$

$$U_{12} = (1-y)(1-z)(-C_2) + (1-y)z(-C_2 - N_2) + y(1-z)Q_1 + yz(Q_1 - N_2) \quad (2)$$

$$U_1 = xU_{11} + (1-x)U_{12} \quad (3)$$

根据演化博弈理论，构建政府行为策略的复制动态方程为：

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{11} - U_1) = x(x-1)(C_1 - M_1 + yM_1 + yN_1) \quad (4)$$

同理，设回收企业选择“新型技术”的期望收益为 U_{21} ，选择“传统技术”的期望收益为 U_{22} ，回收企业的平均收益为 U_2 ，则有：

$$U_{21} = (1-x)(1-z)(Q_2 + Q_3 - C_3) + (1-x)z(Q_2 + Q_3 - C_3) + x(1-z)(Q_2 + Q_3 + N_1 - C_3) + xz(Q_2 + Q_3 + N_1 - C_3) \quad (5)$$

$$U_{22} = (1-x)(1-z)(Q_4 - C_4) + (1-x)z(Q_4 - C_4 - M_2) + x(1-z)(Q_4 - C_4 - M_1) + xz(Q_4 - C_4 - M_1 - M_2) \quad (6)$$

$$U_2 = yU_{21} + (1-y)U_{22} \quad (7)$$

根据演化博弈理论，构建企业行为策略的复制动态方程为：

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{21} - U_2) = y(y-1)(C_3 + C_4 - Q_2 - Q_3 - Q_4 + xM_1 + zM_2 - xN_1) \quad (8)$$

同理，设环保组织选择“监督”的期望收益为 U_{31} ，选择“不监督”的期望收益为 U_{32} ，环保组织的平均收益为 U_3 ，则有：

$$U_{31} = (1-x)(1-y)(N_2 - C_5 + T) + (1-x)y(N_2 - C_5) + x(1-y)(N_2 - C_5 + T) + xy(N_2 - C_5) \quad (9)$$

$$U_{32} = 0$$

$$(10)$$

$$U_3 = zU_{31} + (1-z)U_{32} \quad (11)$$

根据演化博弈理论，构建环保组织行为策略的复制动态方程：

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(U_{31} - U_3) = z(z-1)(C_5 - N_2 - T + yT) \quad (12)$$

3.2 均衡点及稳定性分析

由三方演化博弈的复制动态方程可得雅克比矩阵 J：

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

$$J_{11} = (x-1)(C_1 - M_1 + yM_1 + yN_1) + x(C_1 - M_1 + yM_1 + yN_1)$$

$$J_{12} = x(x-1)(M_1 + N_1)$$

$$J_{13} = 0$$

$$J_{21} = y(y-1)(M_1 - N_1)$$

$$J_{22} = (y-1)(C_3 + C_4 - Q_2 - Q_3 - Q_4 + xM_1 + zM_2 - xN_1) + y(C_3 + C_4 - Q_2 - Q_3 - Q_4 + xM_1 + zM_2 - xN_1)$$

$$J_{23} = y(y-1)M_2$$

$$J_{31} = 0$$

$$J_{32} = z(z-1)T$$

$$J_{33} = C_5 - N_2 - T + yT$$

对政府、回收企业、环保组织的演化稳定策略进行分析, 令 $F(x) = F(y) = F(z) = 0$, 即三者策略选择的变化率为 0, 此时可以得到系统的 12 个均衡点。根据李雅普诺夫间接法可知, 若平衡点的 3 个特征值均为负, 则该平衡点为稳定策略, 否则为不稳定策略。平衡点的稳定性分析如表 3 所示。

表 3 平衡点稳定性分析

均衡点	特征值符号 ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)	稳定性结论	条件
$E_1(0,0,0)$	(*,+,+)	非稳定点	\
$E_2(1,0,0)$	(*,+,-)	非稳定点	\
$E_3(0,1,0)$	(+,-,-)	非稳定点	\
$E_4(0,0,1)$	(*,-,*)	稳定点	①
$E_5(1,1,0)$	(+,+,*)	非稳定点	\
$E_6(1,0,1)$	(*,-,*)	稳定点	②
$E_7(0,1,1)$	(-,-,*)	稳定点	③
$E_8(1,1,1)$	(-,+,*)	非稳定点	\
$E_9(1,y_1,z_1)$	(+,* ,*)	非稳定点	\
$E_{10}(0,y_2,z_2)$	(-,* ,*)	非稳定点	\
$E_{11}(x_3,y_3,1)$	($\Delta, \Delta, *$)	非稳定点	\
$E_{12}(x_4,y_4,0)$	(+, Δ, Δ)	非稳定点	\

注: * 表示无法确定正负号, Δ 表示二者互为相反数, 均衡点 E_9 - E_{11} 的具体坐标由于篇幅原因不在此展示。

条件 1: 若 $M_1 - C_1 < 0$, 即政府的监督成本大于政府对使用传统技术进行回收的企业的罚款, 且 $Q_2 - C_4 - M_2 - C_3 + Q_3 + Q_4 < 0$ 时, 均衡点 $E_4(0,0,1)$ 对应的特征值均小于 0, 故 $E_4(0,0,1)$ 为系统的稳定点, 此时政府选择“间接监管”策略, 回收企业选择“传统技术”策略, 环保组织选择“监督”策略。

条件 2: 若 $C_1 - M_1 < 0$, 即政府的监督成本大于政府对使用传统技术进行回收的企业的罚款, 且 $Q_2 - C_4 - M_1 - M_2 - C_3 + Q_3 + Q_4 + N_1 < 0$ 时, 均衡点 $E_6(1,0,1)$ 对应的特征值均小于 0, 故 $E_6(1,0,1)$ 为系统的稳定点, 此时政府选择“直接监管”策略, 回收企业选择

“传统技术”策略，环保组织选择“监督”策略。

条件 3: 若 $C_3 + C_4 + M_2 - Q_2 - Q_3 - Q_4 < 0$ 时, 均衡点 $E_7(0,1,1)$ 对应的特征值均小于 0, 故 $E_7(0,1,1)$ 为系统的稳定点, 此时政府选择“间接监管”策略, 回收企业选择“新型技术”策略, 环保组织选择“监督”策略。

4 数值仿真分析

以电池回收行业为背景, 根据政府、回收企业、环保组织动态方程, 运用 MATLAB R2021a 对上述演化博弈模型进行数值仿真。仿真目的主要分为以下三点: 一是验证稳定性分析的有效性。二是探究政府、回收企业、环保组织三方初始意愿不同情况下 (即 x, y, z 取不同值) 三者演化路径和状态的差异。三是探究政府对回收企业的补贴 N_1 、政府对环保组织的补贴 N_2 、政府对回收企业的罚款 M_1 、回收企业额外承受的损失 M_2 对三方演化路径和稳定状态的影响。

据资料显示, 正规企业采用干法工艺开展废旧磷酸铁锂电池回收业务的毛利润约为 5993 元/吨, 毛利率为 29.69%。非正规企业以环境污染及安全隐患为代价压缩成本, 采用干法工艺开展废旧磷酸铁锂电池回收业务的毛利润约 7493 元/吨, 毛利率为 35.86%。为了方便分析, 我们将正规企业采用的技术类比为新型技术, 根据毛利润和毛利率推导出其收入约为 20000 元/吨, 成本约为 14000 元/吨; 同理, 将非正规企业采用的技术类比为传统技术, 根据毛利润和毛利率推导出其收入约为 21000 元/吨, 成本约为 13500 元/吨。

根据上述资料, 设回收量为一百吨, 以万元为单位, 对各参数进行赋值:

$$Q_1 = 30, Q_2 = 200, Q_3 = 10, Q_4 = 210, C_1 = 15, C_2 = 20, C_3 = 140, C_4 = 135, C_5 = 5, \\ N_1 = 10, N_2 = 10, M_1 = 10, M_2 = 5, T = 5.$$

①分析三方不同初始意愿下系统演化路径和状态

将初始意愿分为三种情况, 即 $x = y = z = 0.2, x = y = z = 0.5, x = y = z = 0.8$, 分别对这三种情况进行仿真, 仿真结果如图 2-图 5 所示。

由图 2-图 5 可得: 当政府、回收企业、环保组织的初始概率不同时, 三方演化路径和达到稳定状态所需时间不同, 且初始状态越接近稳定状态, 所需演化时间越短。三种情况下三方参与主体稳定状态相同, 均为 {间接监管, 新型技术, 监督}, 这是因为该演化博弈模型各参数取值没有变化, 因此稳定点保持不变。

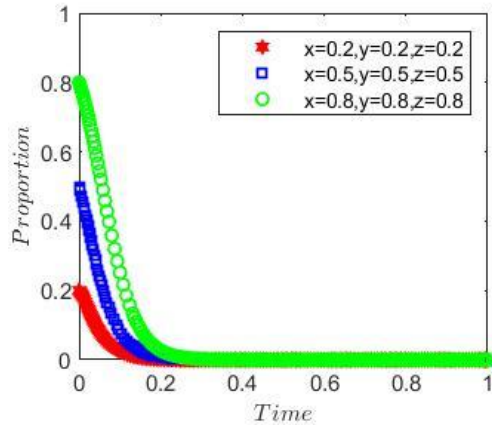


图 2 政府行为策略演化轨迹

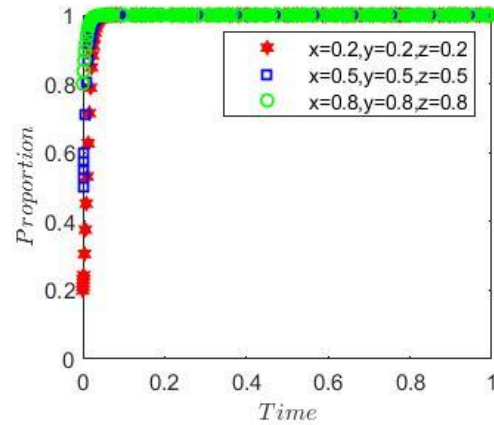


图 3 回收企业行为演化轨迹

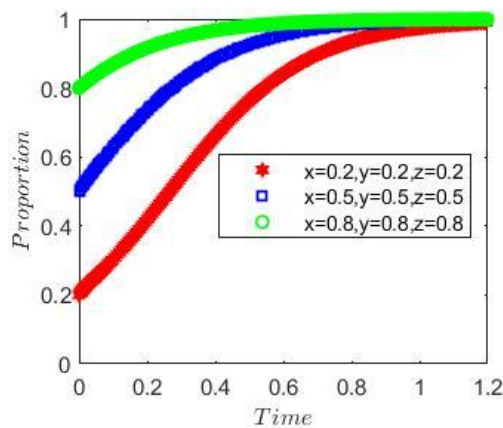


图 4 环保组织行为演化轨迹

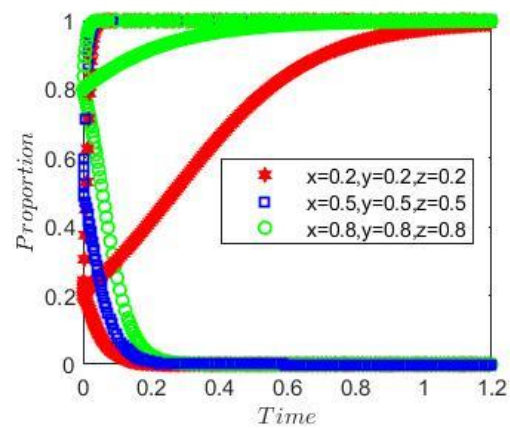


图 5 三方行为演化轨迹

②探究政府对回收企业补贴 N_1 对三方演化路径和稳定状态的影响

将三方初始概率均设为 0.5，将 N_1 分别赋值为 10, 20, 30，其他参数不变，分别对这三种情况进行仿真，仿真结果如图 6 所示。

根据图 6 可得：在其他参数确定的情况下，对政府而言，政府最终会选择间接监管策略，且 N_1 越大，演化速度越快。对回收企业而言，无论 N_1 大小，回收企业都会迅速选择新型技术。对环保组织而言， N_1 对其策略选择几乎没有影响。

③探究政府对环保组织补贴 N_2 对三方演化路径和稳定状态的影响

将三方初始概率均设为 0.5，将 N_2 分别赋值为 10, 20, 30，其他参数不变，分别对这三种情况进行仿真，仿真结果如图 7 所示。

根据图 7 可得：在其他参数确定的情况下，对政府和回收组织而言， N_2 对其策略选择几乎没有影响。环保组织最终都会选择监督，且 N_2 越大，演化速度越快。

④探究政府对回收企业罚款 M_1 对三方演化路径和稳定状态的影响

将三方初始概率均设为 0.5，将 M_1 分别赋值为 10, 100, 200，其他参数不变，分别对这三种情况进行仿真，仿真结果如图 8 所示。

根据图 8 可得：在其他参数确定的情况下，对政府而言，当 M_1 较小时，政府会选择间接监管，当 M_1 逐渐增大时，政府会逐渐考虑直接监管，但最终还会选择间接监管，当 M_1 增大到一定程度时，政府会选择直接监管。对回收企业而言，当 M_1 小于一定限度时，回收企

业会迅速选择新型技术, 当 M_1 增大到一定程度时, 回收企业会考虑新型回收技术, 但最终会选择传统回收技术。对环保组织而言, 当 M_1 小于一定限度时, 环保组织会选择监管, 且演化路径基本相同, 当 M_1 增大到一定程度时, 环保组织同样选择监管, 但演化速度明显加快。

⑤ 探究回收企业额外蒙受的损失 M_2 对三方演化路径和稳定状态的影响

将三方初始概率均设为 0.5, 将 M_2 分别赋值为 5, 100, 200, 其他参数不变, 分别对这三种情况进行仿真, 仿真结果如图 9 所示

根据图 9 可得: 在其他参数确定的情况下, 对政府而言, M_2 对其策略选择几乎没有影响, 政府将最终选择间接监督。对于回收企业而言, 当 M_2 小于一定限度时, 回收企业会迅速选择新型技术, 当 M_2 增大到一定程度时, 回收企业起初依然倾向于选择新型技术, 但最终会选择传统技术。对于环保组织来说, M_2 对其策略选择几乎没有影响。

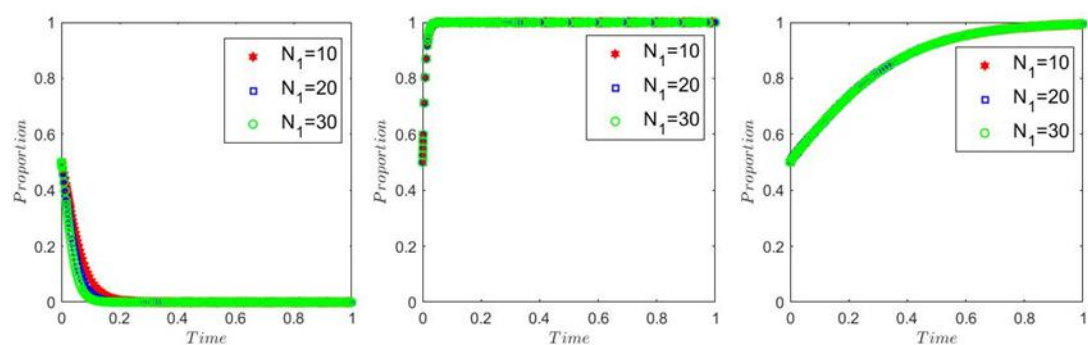


图 6 N_1 分别对政府、回收企业、环保组织行为策略演化的影响

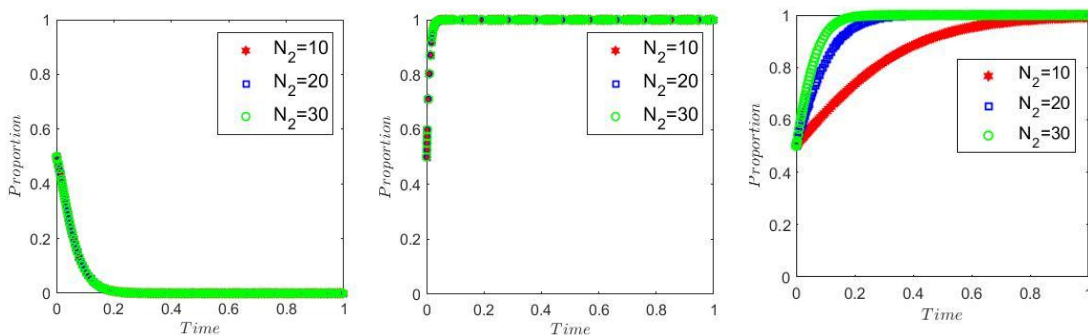


图 7 N_2 分别对政府、回收企业、环保组织行为策略演化的影响

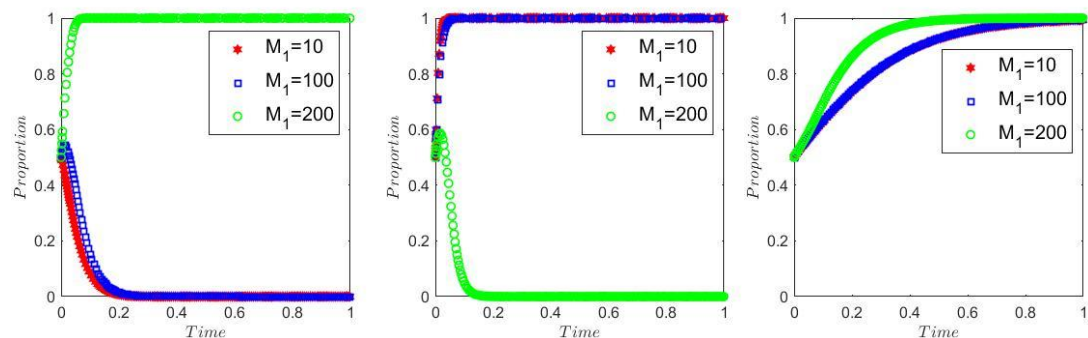


图 8 M_1 分别对政府、回收企业、环保组织行为策略演化的影响

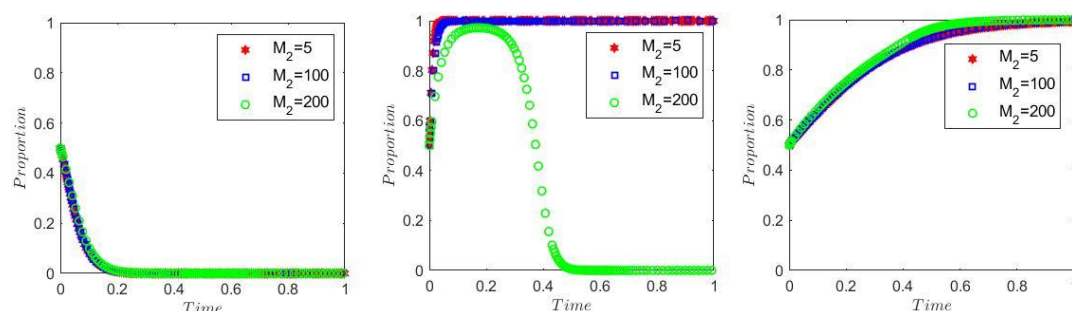


图 9 M_2 分别对政府、回收企业、环保组织行为策略演化的影响

5 结论与展望

5.1 结论

本研究将政府、回收企业和环保组织纳入统一研究框架中，构建多主体参与下的三方演化博弈模型，对模型的均衡点进行稳定性分析，最后运用 MATLAB R2021a 对不同初始概率和参数取值情况下对三方的行为进行数值仿真，最终得出以下结论：

(1) 该三方演化博弈模型共有三种稳定策略，其中{间接监管、新型技术、监督}是其中最符合实际的理想策略。在此策略下，政府可以充分发挥环保组织的监督作用，既能降低成本，又能促进环境保护；环保组织也能积极发挥监督作用，有助于长期发展；更重要的是回收企业能够采取新型技术回收，既能获得可观收益，又能有效保护环境。

(2) 政府对环保组织的补贴正向影响环保组织策略演化，即补贴越多，环保组织越倾向于选择监督。但政府应合理设置对环保组织的补贴金额，既要保证环保组织监督工作的开展和长期发展，又要保证补贴金额的高效利用，避免政府资金浪费。

(3) 政府对采用传统技术的回收企业的罚款正向影响政府策略演化，即罚款金额越大，政府越倾向于选择直接监管。

(4) 政府对使用传统技术的回收企业罚款和环保组织监督时企业额外承受的损失在一定范围内可以有效促进回收企业采取新型技术进行回收，但当罚款金额和额外损失过大时，回收企业可能持有“侥幸心理”，仍使用传统技术进行回收。因此，府应合理设置对使用传统技术的回收企业的罚款金额。

5.2 展望

(1) 本文基于政府大力支持环保组织假设，规定政府对环保组织的补贴大于其监督成本。随着环保组织的不断发展，其名誉收益不断增加，政府可以逐步减少对环保组织的扶持。因此在未来可以探究政府扶持力度不断减小和名誉收益不断增加情况下三方决策的变化情况。

(2) 当政府对回收企业的罚款和企业额外承受的损失过大时，回收企业仍倾向于使用传统技术进行回收，对于这种现象的原因，本文并未深入研究，可以在将来深入探究。

(3) 本文并未对回收企业因采取新型技术而获得的长期潜在收益展开探究，未来可以深入探究回收企业长期潜在收益对三方决策的影响。

参考文献

- [1] 中国物资再生协会. 中国再生资源回收行业发展报告(2022) [R]:浙江, 2022.
- [2] Shi Jinfa, Su Yongqiang. Behavioural strategies of manufacturing firms for high-quality development from the perspective of government participation: A three-part evolutionary game analysis. [J]. Heliyon, 2023, 9, e14982.
- [3] 邢会, 王伟婷, 郭辉丽. 中国制造业功能升级演化博弈分析——基于俘获型全球价值链治理视角[J]. 科技管理研究, 2020, 40(08):120-130.
- [4] Tian Tingting, Sun Shuhui. Low-carbon transition pathways in the context of carbon-neutral: A quadrilateral evolutionary game analysis[J]. Journal of Environmental Management. 2022, 322, 116105.
- [5] 王成功, 刘娟娟. 考虑政府奖惩的动力电池回收利益相关者决策行为演化博弈分析[J]. 生态经济, 2023, 39(04):205-213.
- [6] 付小勇, 朱庆华, 田一辉. 基于系统动力学的政府和废旧电子产品处理商演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2021, 30(07):83-88.
- [7] Zhang Huiming, Zhu Kexin, Hang Zixuan, Zhou Dequn, Zhou Yi, Xu Zhidong. Waste battery-to-reutilization decisions under government subsidies: An evolutionary game approach [J]. Energy, 2022, 259, 124835.
- [8] 黄仁辉, 高明. 考虑奖惩分配激励机制的环境污染第三方治理演化博弈[J]. 中国环境科学, 2023, 43(04):2069-2080.
- [9] 潘峰, 刘月, 王琳. 四方主体参与下的环境规制演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2022, 31(03):63-71.
- [10] 闵雅操, 陈丽丽, 郝燕君. 浅析中国 NGO 的发展问题与对策[J]. 时代金融, 2018, 703(21):220-224.

**An evolutionary Game analysis of government, recycling enterprises and environmental protection organizations driven by new recycling technology --
A case study of battery recycling industry**

Liu Rongzhen

(School of Management, Hefei University of Technology, Anhui/Hefei, 230009)

Abstract: In order to promote recycling enterprises to adopt new recycling technologies to reduce environmental pollution, this paper constructs a tripartite evolutionary game model among the government, recycling enterprises and environmental protection organizations to analyze the evolutionary stability strategy and realization conditions. Taking battery recycling industry as an example,

MATLAB R2021a is used for numerical simulation analysis. The results show that: (1) there are three stable strategies in the tripartite evolutionary game model, among which {indirect regulation, new technology, supervision} is the most realistic ideal strategy. (2) Government subsidies to environmental organizations have a positive impact on the strategy evolution of environmental organizations. (3) The penalty imposed by the government on recycling enterprises using traditional technologies has a positive impact on the government's choice of strategies. (4) The additional losses suffered by enterprises when the government imposes fines on recycling enterprises and environmental organizations supervise them can effectively promote recycling enterprises to adopt new technologies to a certain extent. When fines and additional losses are too great, companies tend to adopt traditional technology.

Keywords: technological upgrade; recycling industry; environmental protection organization; evolution-nary game; simulated analysis