

政府与再生资源企业二次污染防治行为的演化博弈分析

高艳红 黎振东 刘游第

(重庆师范大学 经济与管理学院,重庆 401331)

摘要:针对再生资源企业在其回收处理过程中产生的二次污染问题,本文设计了“政府引导、企业投资”的二次污染防治机制,并基于演化博弈理论,构建了政府与企业为主体的二维复制动力系统,以此来分析政府管制与企业投资行为之间双向选择关系的内在逻辑;最后利用合理的数据进行演化仿真,期望对以上理论机制加以检验、阐明各参数在不同区间组合情形下对博弈双方各自策略选择的影响关系。得出以下结论:一、环境处理费收入的增加或补贴支出、管制成本的降低,均会增加政府的管制意愿;政府管制意愿随选择投资二次污染防治企业数量的增大而减小。二、政府奖惩机制的约束效益越弱或投资二次污染防治成本越大,均会降低企业的投资意愿;企业的投资意愿随政府部门管制力度的增大而增加。

关键词:再生资源;二次污染;演化博弈;政府管制;企业投资

中图分类号:F22

文献标识码:A

文章编号:1673-0429(2021)04-0028-12

doi:10.19742/j.cnki.50-1164/C.210403

随着资源瓶颈对经济发展的约束效应不断增强,选择发展再生资源产业,以接替生存与发展所必需的矿产资源等原生资源,是人类遵从可持续发展理念,促进人与自然和谐共生,主动限制自身资源索取需求,主动与资源环境承载能力相适应的有益尝试^[1]。据《中国再生资源回收行业发展报告(2019)》显示,2018年,我国十大类别的再生资源回收总量约为3.20亿吨,同比增长13.4%;回收总值为8704.6亿元,同比增长15.3%。可见,再生资源产业潜力巨大,经济效益明显,对提高资源利用效率,实现高质量发展有着重要意义,在发达国家更是被称为“第四产业”^[2]。然而除了肯定再生资源的正向效益外,其自身在回收、处理过程中所产生的二次污染问题同样不容忽视^[3]。具体而言,“二次污染”是指再生

收稿日期:2021-03-12

作者简介:高艳红(1984—),女,河北蔚县人,管理学博士,重庆师范大学经济与管理学院副教授,研究方向:循环经济、资源环境经济与政策;

黎振东(1995—),男,重庆师范大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:再生资源产业发展规划与政策;

刘游第(1997—),男,重庆师范大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:再生资源产业发展规划与政策。

基金项目:2020年度重庆市教委科学技术研究项目“我国再生资源产业在经济增长与环境污染关联中的可再生效应研究”(KJQN202000532);2021年度重庆市教委人文社科规划项目“双循环新发展格局下动力电池生产者责任延伸制度配套政策研究”(21SKGH038)。

资源在回收、加工、处理的过程中,因为控制的不严谨出现的像有色金属、废纤维、废塑料、废水、废油、噪音、扬尘等有毒有害物的滥排扩散,其在环境保护、社会和谐发展等多方面都有着极为不利的影响^[4]。所以,如何有效防治再生资源回收处理过程中的二次污染,或将污染程度降到最低点,成为了再生资源产业绿色发展中必须认真面对且不容忽视的重要环节。基于以上背景,本文设计了“政府引导、企业投资”的二次污染防治机制,期冀再生资源企业通过加大对二次污染防治工作的投资,从而在源头上遏制二次污染的产生。

一、相关背景与依据

近年来,国内外学者对再生资源产业二次污染相关话题的研究还相对较少。早在1993年,Tahvonen Olli 等就论证了经济增长、再生资源 and 环境污染之间的关联,认为再生资源是处理经济增长和环境污染之间的可再生资本^[5]。国内学者凌江等综述了再生资源行业发展现状及二次污染防治等问题,给出了相应的政策性建议^[6]。罗庆明等从污染防治角度,指出了再生资源产业面临的集散地污染等二次污染问题,提出推进再生资源污染防治工作的具体建议^[7]。以上研究虽然在一定程度上论证了二次污染的危害及其防治工作的必要性,并给出了政策性建议,但其观点主观性较强,缺乏必要的理论支撑和实证检验。

在污染防治的研究方面,为进一步迎合绿色发展理念,缓解环境污染对经济发展带来的现实压力,国内学者吕剑等指出污染源控制是最有效、最经济的防治措施,并肯定了技术革新对污染防治的正向效益^[8]。而企业作为污染防治的主体,其应当自觉承担环境保护的社会责任,加强内部管理,增加资金投入,采用先进的生产工艺和治理技术,以减少污染物排放,甚至是“零排放”^[9]。此外,胡雪萍和方永丽依据 STIRPAT 模型及固定效应面板模型,验证了环境规则、外商直接投资均对污染防治产生了显著的正向抑制作用^[10]。环境污染问题主要由市场失灵引起,依据科斯定理,政府必须在“环境市场”上有所作为,即通过制定相应政策与措施、对相关利益体权益进行调节,从而达到环境保护和经济发展相协调的目的^[11]。钟锦文和钟昕指出了环境监督管理是各级政府及其主管部门干预社会经济事务的重要职责之一,政府应成为良好环境的提供者和分配者,并运用法律、政策、宣教等手段对影响生态环境的各大行为主体进行监管,及时遏制其污染行为以达到改善生态环境、保障人民健康、促进经济发展的目的^[12]。周景坤肯定了政府通过财政投入、税收优惠、金融支持等政策对企业主动进行污染防治行为的促进作用^[13]。同时,关于该问题也有学者从反向激励角度论证了在不扰乱经济运行的情况下,对污染情形相对严重的企业进行处罚,可实现污染的高效治理^[14]。

对于再生资源企业回收利用过程中产生的二次污染,本文认为企业作为二次污染排放的主体,其加大对二次污染防治工作的投资(包括升级设备、优化生产线、引入技术顾问、增加降低污染物排放的设施等),可以从源头上有效遏制二次污染物的排放;政府作为宏观调控的主体,其在引导企业自觉投资二次污染防治工作中具有积极的作用。然而,由于再生资源产业在我国属朝阳产业,额外的投资成本会增加再生资源企业的经济压力,从而降低其投资的意愿。所以,政府如何通过设计合理的奖惩机制对再生资源企业的投资行为进行管制,是引导企业投资二次污染防治的关键所在。针对环境污染防治体系中利益关联者之间的互动机理和策略选择的研究,演化博弈将是行之有效的方法;和传统博弈论中与现实不符的完全理性假设不同,演化博弈适用于分析有限理性博弈主体的学习筛选和策略调整过程^[15]。目前,越来越多的研究开始尝试运用演化博弈方法来解决多主体背景下的环境污染防治问题;聂丽和张宝林从演化博弈视角,探究了政府间合作进行污染防治的运作机理^[16]。何为等基于演化博弈理论,讨论了政府监管与产污企业排污行为之间的关系^[17]。高宏玉通过构建政府与企业的演化博弈模型,论证了激励政策对减少企业污染行为的正向作用^[18]。为此,本文针对如何防治再生资源企业在回收、处理

过程中产生的二次污染问题,基于演化博弈理论,分析了政府与企业博弈双方的决策行为,探讨了博弈双方的演化稳定策略;同时结合系统动力学对博弈双方的动态决策进行仿真分析,研究博弈过程中双方不同决策行为及初始状态对其稳定状态的影响,以揭示其运作机理。本文拟重点取得以下两点突破:①设计政府如何引导再生资源企业进行二次污染防治工作投资的理论机理;②将演化博弈理论运用到再生资源产业二次污染防治问题方面的研究,从而为政府部门制定相应政策提供理论基础。

二、政府与再生资源企业演化博弈模型构建与分析

(一) 问题描述

由于在二次污染防治的过程中,政府与再生资源企业作为有限理性主体,均以追求自身利益最大化为目标,故双方各自的策略选择均会对彼此及博弈系统产生影响,使得各自的策略选择都处于不同的动态变化中,为此分别对双方的运作行为进行分析。二次污染排放的主体是再生资源企业,只有其加大对二次污染防治工作(包括升级设备、优化生产线、引入技术顾问、增加降低污染物排放的设施等)的投资,才能从源头上遏制二次污染问题的产生。然而,投资行为所带来的额外成本会增加再生资源企业的财务负担,从而降低其投资的意愿。此时,政府部门秉承着缓解环境压力的初衷,通过设计合理的奖惩机制来对再生资源企业的投资行为进行管制,但该行为同样会增加政府部门的财政支出。所以协调好再生资源企业和政府部门之间的利益关系、处理好政府部门的收支平衡,是政府部门能否更好引导再生资源企业进行二次污染防治工作投资的关键。

再生资源企业是否投资二次污染防治可以看作是其与政府博弈的结果,博弈逻辑关系图如 1 所示。

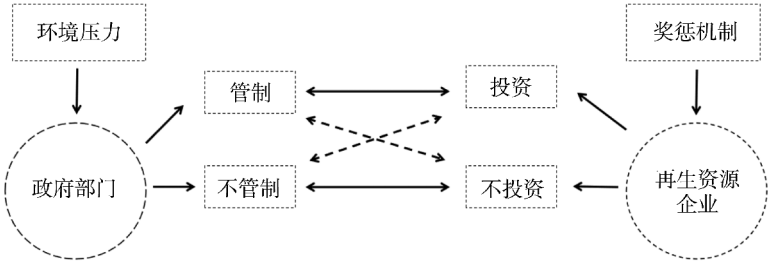


图 1 政府与再生资源企业博弈逻辑图

(二) 模型设计与假设

为构建政府与再生资源企业投资二次污染防治行为的演化博弈模型,分析双方的策略选择、均衡点稳定性及各要素的影响关系,本文作出如下假设:

假设 1:政府是参与人 1,再生资源企业群体是参与人 2。双方均为有限理性的参与主体,策略选择随时间逐渐演化稳定于最优策略。

假设 2:政府部门的策略空间 $G=(G_1,G_2)=(\text{管制}, \text{不管制})$,以 x 的比例选择 G_1 ,以 $(1-x)$ 的比例选择 G_2 , $x \in [0,1]$;再生资源企业群体的策略空间为 $C=(C_1,C_2)=(\text{投资}, \text{不投资})$,其选择 C_1 的比例为 y ,选择 C_2 的比例为 $(1-y)$, $y \in [0,1]$ 。

假设 3:再生资源企业选择不投资策略 C_2 的收益为 0;选择投资策略 C_1 的成本为 c_1 , $c_1>0$ 。

假设 4:政府部门选择不管制策略 G_2 的收益为 0,此时因为再生资源企业不投资行为,政府所付出的环境治理费用为 m , $m>0$;政府选择管制策略 G_1 的直接管制成本为 c_2 , $c_2>0$,同时为了鼓励再生资源企业自觉进行二次污染防治投资,给予投资企业的补贴为 a , $a>0$,另外,政府管制时会向用户征缴一定的用于防治环境污染的垃圾处理费来填补财政开支,假定该费用收入为 p , $p>0$;政府来自不投资企业的罚款收入为 f , $f>0$,此时因为企业不投资行为所付出的环境治理费用为 n , $n>0$;由于政府管制时,受政府奖

惩机制约束效益的影响,企业自觉投资二次污染防治工作的比例必然比政府不管制时更大,故有 $m>n$ 。

基于以上假设,可得政府与再生资源企业的博弈矩阵,如表 1 所示。

表 1 博弈双方的收益矩阵

政府	再生资源企业	
	投资 C1 (y)	不投资 C2 ($1-y$)
管制 G1 (x)	$p-c_2-a, a-c_1$	$p+f-c_2-n, -f$
不管制 G2 ($1-x$)	$0, -c_1$	$-m, 0$

(三)复制动力系统构建

由于政府和再生资源企业的二维复制动力系统是基于博弈双方在各自不同策略选择下的期望和平均期望所求得,所以根据双方的收益矩阵表 1 可得政府在行动中选择管制策略 G1 和不管制策略 G2 的期望 E_{G1} 、 E_{G2} ,平均期望 $\overline{E_G}$ 分别为:

$$\begin{cases} E_{G1} = y(p-c_2-a) + (1-y)(p+f-c_2-n) = (n-f-a)y + (p+f-c_2-n) \\ E_{G2} = y \cdot 0 + (1-y)(-m) = my-m \\ \overline{E_G} = xE_{G1} + (1-x)E_{G2} \end{cases}$$

同理,企业选择投资策略 C1 和不投资策略 C2 的期望、平均期望 E_{C1} 、 E_{C2} 、 $\overline{E_C}$ 分别为:

$$\begin{cases} E_{C1} = x(a-c_1) + (1-x)(-c_1) = ax-c_1 \\ E_{C2} = x(-f) + (1-x)0 = -fx \\ \overline{E_C} = yE_{C1} + (1-y)E_{C2} \end{cases}$$

进而可得政府与再生资源企业的二维复制动力系统如下:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(1-x) [-(m+f+a-n)y + (p+f+m-n-c_2)] \\ \frac{dy}{dt} = y(1-y) [(a+f)x - c_1] \end{cases} \quad (1)$$

复制动态方程可以反映政府与再生资源企业双方博弈的行为交互和策略博弈的方向与速度,可令博弈双方的复制动态方程等式同时为 0,进而求得复制动力系统的均衡状态^[19]。因此,令 $\frac{dx}{dt}=0, \frac{dy}{dt}=0$ 。

可得复制动态系统的平衡点为: $E_1=(0,0)$ 、 $E_2=(0,1)$ 、 $E_3=(1,0)$ 、 $E_4=(1,1)$ 。当 $a+f>c_1$ 、 $a+c_2>pp+f+m-c_2-n>0$ 时,有 $0<x^*=\frac{c_1}{a+f}<1, 0<y^*=\frac{p+f+m-c_2-n}{m+f+a-n}<1$,故此时 $E_5=(x^*, y^*)$ 也是复制动力系统的平衡点。

(四)平衡点的稳定性分析

由于复制动态方程求出的平衡点并不一定是政府与再生资源企业构成的复制动力系统的演化稳定策略(ESS),它仅仅是群体演化过程的局部渐进稳定点^[20],故判断演化均衡点的稳定性还需根据 Friedman 提出的系统雅克比(Jacobi)矩阵的局部稳定性分析来得到^[21]。复制动力系统式(1)的雅克比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x) [-(m+f+a-n)y] & x(1-x) [-(m+f+a-n)] \\ y(1-y)(a+f) & (1-2y) [(a+f)x - c_1] \end{bmatrix} \quad (2)$$

假设雅克比矩阵行列式值与迹分别为 $\det J$ 、 $\text{tr} J$,则平衡点稳定性与 $\det J$ 、 $\text{tr} J$ 之间关系可分为四种情况:①若 $\det J>0, \text{tr} J<0$,则该平衡点为演化稳定策略(ESS);②若 $\det J>0, \text{tr} J>0$,则该平衡点为不稳定点;③若 $\det J<0$,则该平衡点为鞍点;④若 $\det J>0, \text{tr} J=0$,则该平衡点为中心点。

复制动力系统式(1)中各平衡点对应的雅克比矩阵 $\det J$ 、 $\text{tr} J$ 的分布如表 2 所示:

表 2 各平衡点 $\det J$ 、 $\text{tr} J$ 分布情况

平衡点	$\det J$	$\text{tr} J$
(0,0)	$(p+f+m-c_2-n)(-c_1)$	$(p+f+m-c_2-n)+(-c_1)$
(0,1)	$(p-c_2-a)c_1$	$(p-c_2-a)+c_1$
(1,0)	$-(p+f+m-c_2-n)(a+f-c_1)$	$-(p+f+m-c_2-n)+(a+f-c_1)$
(1,1)	$(p-c_2-a)(a+f-c_1)$	$-(p-c_2-a)-(a+f-c_1)$
(x^*, y^*)	A	B

其中: $A = -\frac{c_1(a+f-c_1)(p+f+m-c_2-n)(p-a-c_2)}{(a+f)^2(m+f+a-n)}$, $B = 0$ 。

根据表 2 分析可得博弈系统稳定性受较多参数区间组合约束的影响,由于 $m > n$,从而 $m+f+a-n > 0$,注意到 $p > a+c_2$ 时有 $p+f+m-c_2-n > 0$,进而可分为以下 6 种情形,各情形平衡点的稳定性分布如表 3 所示:

表 3 6 种情形下各平衡点的稳定性分布

情形	平衡点	(0,0)	(0,1)	(1,0)	(1,1)	(x^*, y^*)
$a+f < c_1$	$\det J$	+	-	-	+	+
$a+c_2 > p$	$\text{tr} J$	-	不确定	不确定	+	0
$p+f+m-c_2-n < 0$	稳定性	ESS	鞍点	鞍点	不稳定点	非平衡点
$a+f > c_1$	$\det J$	+	-	+	-	-
$a+c_2 > p$	$\text{tr} J$	-	不确定	+	不确定	0
$p+f+m-c_2-n < 0$	稳定性	ESS	鞍点	不稳定点	鞍点	非平衡点
$a+f < c_1$	$\det J$	-	+	+	-	+
$a+c_2 < p$	$\text{tr} J$	不确定	+	-	不确定	0
$p+f+m-c_2-n > 0$	稳定性	鞍点	不稳定点	ESS	鞍点	非平衡点
$a+f < c_1$	$\det J$	-	+	+	-	+
$a+c_2 > p$	$\text{tr} J$	不确定	+	-	不确定	0
$p+f+m-c_2-n > 0$	稳定性	鞍点	不稳定点	ESS	鞍点	非平衡点
$a+f > c_1$	$\det J$	-	+	-	+	-
$a+c_2 < p$	$\text{tr} J$	不确定	+	不确定	-	0
$p+f+m-c_2-n > 0$	稳定性	鞍点	不稳定点	鞍点	ESS	非平衡点
$a+f > c_1$	$\det J$	-	-	-	-	+
$a+c_2 > p$	$\text{tr} J$	不确定	不确定	不确定	不确定	0
$p+f+m-c_2-n > 0$	稳定性	鞍点	鞍点	鞍点	鞍点	中心点

由于情形 6 的特殊性,即不存在演化稳定策略、只存在中心点,所以现对该中心点的性质展开讨论。

首先根据雅可比矩阵 J 特征根的求解公式 $\lambda_{1,2} = \frac{\text{tr} J \pm \sqrt{(\text{tr} J)^2 - 4\det J}}{2}$,求得 $E_5 = (x^*, y^*)$ 处的特征根 $\lambda_{1,2} =$

$\frac{\sqrt{-4A}}{2}$ ($A > 0$),进而发现该根为两个对数虚根,所以 E_5 既可能为中心型不动点,也可能为焦点型不动点。

为确定 E_5 的具体性质,我们给出如下引理:

引理: 设 H 为平面 C 动力系统的初积分(即 H 是一个实值函数, 它在系统的轨线上是常数), 若 H 在任何开集上不为常数, 则不存在极限环。

E_5 性质证明: 令 $A=p+f+m-n-c_2$, $B=m+f+a-n$, $C=a+f$, $D=c_1$, 进而博弈系统式(1)可化为:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(1-x)(A-By) \\ \frac{dy}{dt} = y(1-y)(Cx-D) \end{cases} \quad (3)$$

直线 $x = \frac{D}{C}$ 与 $y = \frac{A}{B}$ 将闭区域 $Q = [0, 1] \times [0, 1]$ 分为了 4 个部分, 博弈系统在各部分的取值分布如图 2 所示:

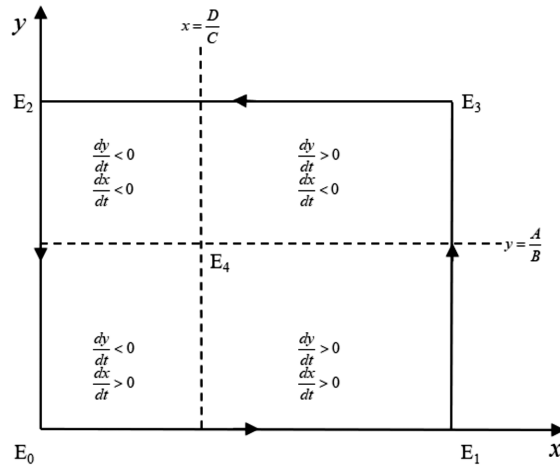


图 2 博弈系统取值分布

由图 2 可知, $\forall (x, y) \in Q$, 都有轨线 $(x(t), y(t)) \in Q$, 并且在 Q 内绕 E_5 沿逆时针转动。

令 $H(x, y) = (D-C) \ln(1-x) - D \ln x + (A-B) \ln(1-y) - A \ln y$, $(x, y) \in \text{Int}Q$, 则: $\dot{H} = \frac{\partial H}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{dy}{dt} = (\frac{C-D}{1-x} - \frac{D}{x}) x(1-x)(A-By) + (\frac{B-A}{1-y} - \frac{A}{y}) y(1-y)(Cx-D) = (Cx-D)(A-By) - (By-A)(Cx-D) \equiv 0$

故 H 在博弈系统的解曲线上为常数。

又因为 $\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{Cx-D}{x(1-x)}$, $\frac{\partial H}{\partial y} = \frac{By-A}{y(1-y)}$, 将 $x = \frac{D}{C}$ 与 $y = \frac{A}{B}$ 代入得:

$$\frac{\partial H\left(\frac{D}{C}, \frac{A}{B}\right)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial H\left(\frac{D}{C}, \frac{A}{B}\right)}{\partial y} = 0;$$

$$x \in \left(0, \frac{D}{C}\right), y \in (0, 1), \frac{\partial H}{\partial x} < 0;$$

$$x \in \left(\frac{D}{C}, 1\right), y \in (0, 1), \frac{\partial H}{\partial x} > 0;$$

$$x \in (0, 1), y \in \left(0, \frac{A}{B}\right), \frac{\partial H}{\partial y} < 0;$$

$$x \in (0, 1), y \in \left(\frac{A}{B}, 1\right), \frac{\partial H}{\partial y} > 0;$$

即 E_5 是闭区域 $Q = [0, 1] \times [0, 1]$ 内的最小点。

令 $V(x, y) = H(x, y) - H(x^*, y^*)$, 基于以上结论, 显然 $V(x, y)$ 满足以下条件:

① $V(x^*, y^*) = 0$, $V(x, y) > 0$ 其中 $(x, y) \neq (x^*, y^*)$ 且 $(x, y) \in \text{int}Q$;

② $\dot{V}(x,y)=H(x,y)\equiv 0$,其中 $(x,y)\in \text{int}Q$;

从而根据李雅普诺夫稳定性准则可知 E_5 是非渐进稳定的稳定平衡点。

又根据 $H(x,y)$ 的一阶导符号可知, $H(x,y)$ 在 $\text{int}Q$ 内的任何开集中均不为常数,进而由引理 1 可得博弈系统不存在极限环。

最后探究曲线的轨道是闭轨还是螺旋形。假设轨道 R 是螺旋形,取两点 $a=(\frac{D}{C},y_1)\in R$ 和 $b=(\frac{D}{C},y_2)\in R,0<y_1<y_2<\frac{A}{B}$,此时 $\frac{\partial H}{\partial y}<0$, H 是关于 y 的减函数,即 $H(a)>H(b)$,与 $H(a)=H(b)=0$ 矛盾,所以 R 为闭轨, E_4 为中心点,证毕。

关于该情形所表达的现实意义将在下文中对状态 II-3.4 的仿真分析中加以说明。

三、演化博弈结果的仿真分析

(一) 仿真验证

根据以上分析可知,政府与再生资源企业的演化均衡状态受众多因素的共同影响,为验证上文分析结果的准确性,探究各因素不同组合对演化稳定策略的影响机理,现根据表 3 中的 6 种情形总结出 4 种均衡状态,如表 4 所示:

表 4 6 大情形下对应的 4 种状态情况

状态-情形	限制条件	稳定点	稳定性
I-1.2	$p+f+m-c_2-n<0$ $a+c_2>p$	(0,0)	ESS
II-3.4	$a+f<c_1$ $P+f+m-c_2-n>0$	(1,0)	ESS
III-5	$a+f>c_1$ $a+c_2<p$	(1,1)	ESS
IV-6	$a+f>c_1$ $a+c_2>p$ $P+f+m-c_2-n>0$	(x^*,y^*)	中心点

根据表 4 中各状态下的限制条件,进而对各参数做出合理的设定,如表 5 所示:

表 5 4 种状态下的仿真参数设定表

状态—情形	参数						
	p	f	m	c_1	c_2	a	n
I-1.2	1	1	10	5	6	1	8
II-3.4	3	2	10	5	6	2	8
III-5	10	3	10	5	6	3	8
IV-6	3	3	10	5	6	3	8

基于表 5 各参数的数据,借助 Matlab 软件模拟出博弈系统中政府与企业在 4 种状态下的演化相位图,如图 3 所示:

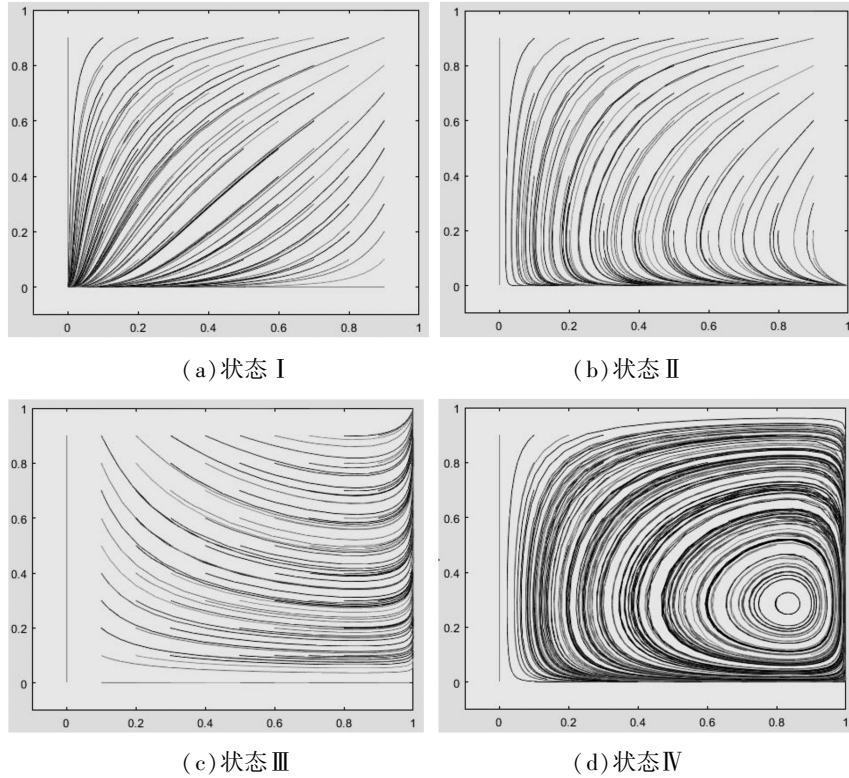


图3 4种状态下的演化相图

由图3可知,四种状态下的演化相图与表4中的稳定性结果一致,图3(d)的演化相图也与前文对情形6中心点性质的深入探究结果一致,即不存在极限环,曲线为闭轨。

(二) 仿真分析

为解析“政府引导、企业投资”的二次污染防治机制的内在机理,现结合政府与再生资源企业双方的仿真结果图,进一步探究各参数变量不同区间组合对博弈双方最终策略选择的影响。

(1) 状态 I -1.2 分析:由表4可知,该状态成为演化稳定策略需要满足限制条件 $p+f+m-c_2-n<0, a+c_2>p$,且 $E_1=(0,0)$ 是演化稳定点,演化相位图如图3(a)所示。此时,政府来自用户缴纳的垃圾处理费偏低,导致管制成本相对较高,进而促使政府部门倾向于选择不管制 G2 策略;同时,由于政府奖惩机制的约束力度较低(低补贴、低惩罚),使得再生资源企业因为投资成本偏高,而选择不投资 C2 策略。

为进一步研究该状态下政府部门与再生资源企业群体在不同初始比例条件下对对方策略选择的影响,现固定 x 的初始比例为 0.2,模拟出 y 在不同初始值条件下政府部门的策略选择演化轨迹如图4(a)所示;固定 y 的初始比例为 0.8,模拟出 x 在不同初始值条件下企业群体的策略选择演化轨迹如图4(b)所示。

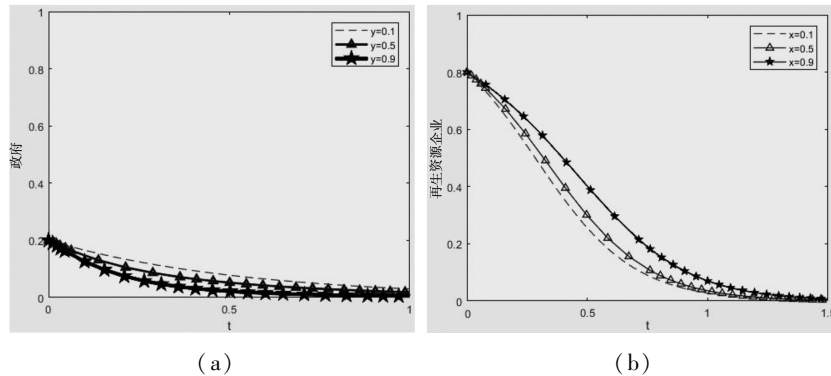


图4 状态 I 中不同 x, y 初始值下政府与再生资源企业的演化图

由图 4 可知,政府演化至不管制策略 G2 的速率随再生资源企业选择投资策略 C1 初始值比例的增大而增大;再生资源企业演化至不投资 C2 策略的速率随政府群体选择管制策略 G1 初始值比例的增大而减小。

(2) 状态 II-3.4 分析:由表 4 可知,该状态成为演化稳定策略需要满足限制条件 $a+f < c_1, P+f+m-c_2-n > 0$, 且 $E_3 = (1, 0)$ 是演化稳定点,演化相位图如图 3(b) 所示。此时,政府来自用户缴纳的垃圾处理费有所提升,在一定程度上缓解了管制成本带来的财务负担,进而促使政府部门倾向于选择管制 G1 策略;同时,由于政府奖惩机制的约束力度依然偏低,使得再生资源企业因为投资成本偏高,而选择不投资 C2 策略。

为进一步研究该状态下政府部门与再生资源企业群体在不同初始比例条件下对方策略选择的影响,现固定 x 的初始比例为 0.2,模拟出 y 在不同初始值条件下政府部门的策略选择演化轨迹如图 4(a) 所示;固定 y 的初始比例为 0.8,模拟出 x 在不同初始值条件下企业群体的策略选择演化轨迹如图 4(b) 所示。

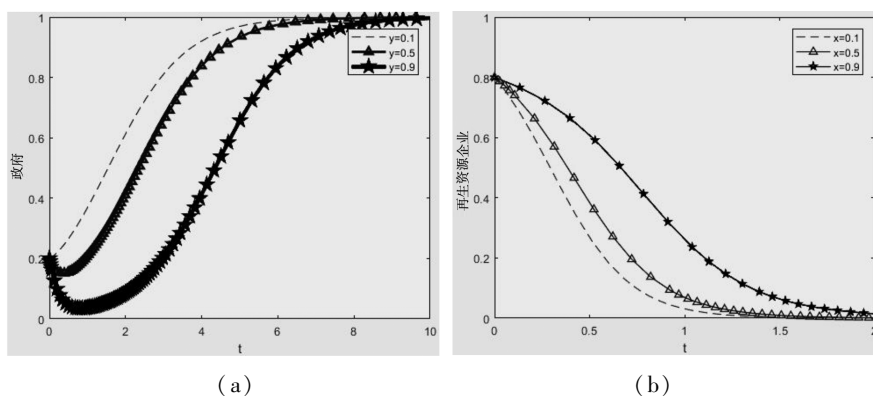


图 5 状态 II 中不同 x, y 初始值下政府与再生资源企业的演化图

由图 5 可知,政府演化至管制策略 G1 的速率随再生资源企业选择投资策略 C1 初始值比例的增大而减小,当选择了投资 C1 策略的企业初始比例 y 为 0.9 时,博弈初期政府朝着不管制 G2 策略的方向演变,随着 y 的减小以及政府对选择管制 C1 策略所带来的正向效益的综合认识,政府逐渐改变演化方向至管制 G1 策略;再生资源企业演化至不投资 C2 策略的速率随政府群体选择管制策略 G1 初始值比例的增大而减小。

(3) 状态 III-5 分析:由表 4 可知,该状态成为演化稳定策略需要满足限制条件 $a+f > c_1, a+c_2 < p$, 且 $E_4 = (1, 1)$ 是演化稳定点,演化相位图如图 3(c) 所示。此时,政府来自用户缴纳的垃圾处理费非常充裕,甚至大于政府的补贴支出与管制成本之和,这直接打消了政府在财务支出方面的顾虑,进而促使政府部门倾向于选择管制 G1 策略;同时,由于此时政府奖惩机制的约束力度大于再生资源企业的投资成本,从而企业倾向于选择投资 C1 策略。

为进一步研究该状态下政府部门与再生资源企业群体在不同初始比例条件下对方策略选择的影响,现固定 x 的初始比例为 0.2,模拟出 y 在不同初始值条件下政府部门的策略选择演化轨迹如图 4(a) 所示;固定 y 的初始比例为 0.8,模拟出 x 在不同初始值条件下企业群体的策略选择演化轨迹如图 4(b) 所示。

由图 6 可知,政府演化至管制策略 G1 的速率随再生资源企业选择投资策略 C1 初始值比例的增大而减小;再生资源企业演化至投资策略 C1 的速率随着政府群体选择管制 G1 策略的初始值比例的增大而增大,当政府选择管制 G1 策略的初始值比例 x 为 0.1 时,博弈初期企业朝着不投资 C2 策略的方向演变,随着 x 的增大以及对政府管制时奖惩机制约束效益的综合认识,企业逐渐改变演变方向至投资策

略 C1。

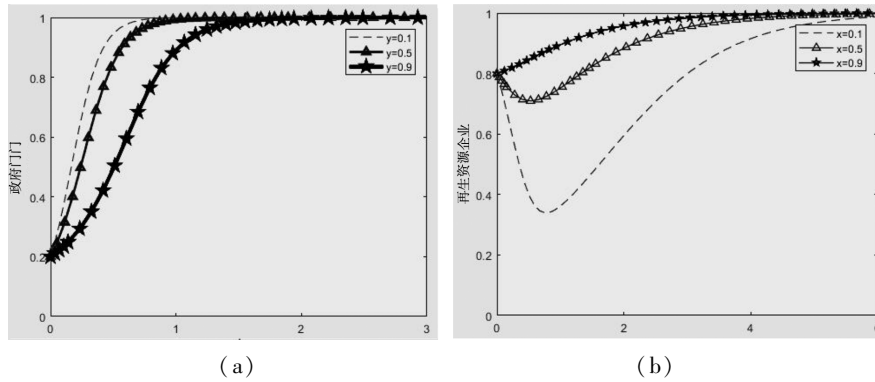


图6 状态Ⅲ中不同 x, y 初始值下政府与再生资源企业的演化图

(4) 状态Ⅳ-6 分析, 当 $a+f>c_1, a+c_2>p, P+f+m-c_2-n>0$ 时, 此时博弈系统没有演化稳定策略, $E_5 = (x^*, y^*)$ 为中心点, 其余均为鞍点, 演化相位图如 3(d) 所示。此时, 尽管政府选择管制策略 G1 时, 对没参与投资的再生资源企业的惩罚力度较大, 也在一定程度上补偿了政府管制时的成本支出, 但由于政府来自用户缴纳的垃圾处理费较低, 使得其财务负担较大, 而选择不管制策略 G2 就不用承担这部分财务风险, 所以政府也无法判断哪一种策略更优; 同时, 再生资源企业尽管会因为奖惩机制的约束力度过大而产生一定的选择投资策略 C1 的倾向, 但其必须根据政府的具体决策进行调整。因此, 由于信息的不对称性, 政府和企业无法达成稳定的策略。

为了进一步讨论上述结论, 在满足各参数条件时进行了仿真模拟分析。固定 $x=0.2$, 再令 y 的初始值分别为 0.2 和 0.8, 观察政府群体选择管制策略 G1 的演化过程如图 7(a) 所示; 固定 $y=0.8$, 再令 x 的初始值分别为 0.2 和 0.8, 观察再生资源企业群体选择投资策略 C1 的演化过程如图 7(b) 所示。

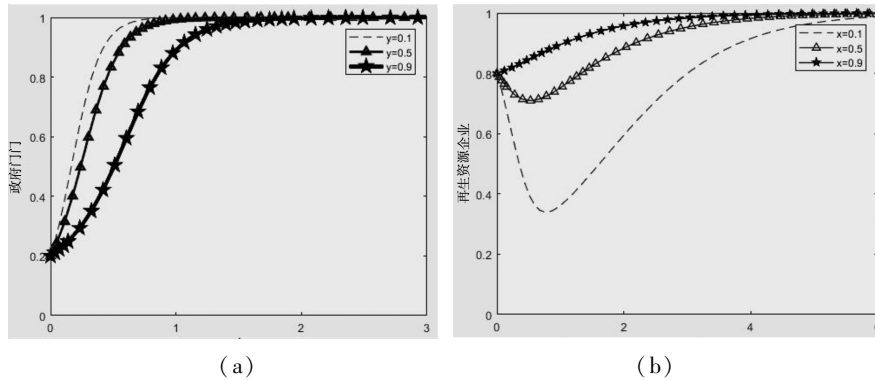


图7 状态Ⅳ中不同 x, y 初始值下政府与再生资源企业的演化图

由图 7 可知, 无论政府群体选择管制策略 G1 的初始比例大小如何, 再生资源企业群体一直都在选择投资策略 C1 与不投资策略 C2 之间波动, 其波动幅度随着 x 初始值的增大而增大, 最终也不会稳定在中心点 $E_5 = (x^*, y^*)$; 同理, 无论再生资源企业群体选择投资策略 C1 的初始比例大小如何, 政府群体一直都在选择管制策略 G1 与不管制策略 G2 之间波动, 其波动幅度随着 y 初始值的增大而减小, 最终也不会稳定在中心点 $E_5 = (x^*, y^*)$ 。从上述模拟分析可以得出, 该博弈系统是围绕着中心点进行周期运动的环状轨迹, 政府和再生资源企业群体的策略行动存在周期性的波动。

四、结论与建议

针对如何防治再生资源企业在回收、处理过程中产生的二次污染问题, 本文提出了政府部门通过设

计合理的奖惩机制来引导作为二次污染主体的再生资源企业进行二次污染防治工作投资,进而减少二次污染排放的理论机理,并通过构建政府与再生资源企业为主体的演化博弈模型及数据仿真进一步论证、探究了其内在机理。结果表明:①在最优稳定策略组合(政府管制、企业投资)条件下,政府来自用户缴纳的环境处理费收入将对政府的管制意愿产生正向影响,而政府对企业的补贴支出及直接管制成本将会对政府的管制意愿产生负向影响;同时,企业因为投资二次污染防治所得到的来自政府部门的补贴费用以及不投资二次污染防治受到的来自政府部门的惩罚支出将会对企业的投资意愿产生正向影响;而企业投资二次污染防治的成本将对企业产生负相影响。②由于在对政府和企业的策略稳定性分析中不存在“政府不管制、企业投资”的策略组合,故政府的管制引导是再生资源企业选择投资二次污染防治的前提,在该条件下,当政府奖惩机制的约束力度超过再生资源企业投资二次污染防治成本时,再生资源企业愿意投资二次污染防治工作;再生资源企业的投资意愿随政府部门管制力度的增大而增加。③政府选择管制策略的前提为,政府来自用户缴纳的环境处理费与企业不投资所缴纳的罚款之和大于其管制成本;政府管制意愿随投资污染防治的再生资源企业数量的增大而减小。④政府选择管制策略和再生资源企业选择投资策略的前提条件同时满足是决定最优策略组合实现的关键。

基于以上结论,提出以下针对性的政策建议:

(1) 加大垃圾处理费的征收力度。在市民的承受范围之内,加大政府用以防治环境污染的垃圾处理费的征收力度,进而缓解政府部门的财政压力。环境污染问题与市民自身的身心健康等切身利益息息相关,有关部门可通过加大弘扬环境保护、人人有责的治理理念,培养市民的环境污染危机意识,从而增加其对政府征收环境治理相关费用行为的认同感,进而在一定程度上提高市民相关费用的承受上限。

(2) 加大奖惩机制的约束力度。通过以上结论分析可知,奖惩机制的约束力度对再生资源企业是否选择投资二次污染防治策略有着直接的影响,然而一味加大对再生资源企业的补贴力度也会在一定程度上降低政府部门的管制意愿。所以,只有在平衡政府财政收支的基础上,合理设计奖惩机制,才能保证“政府引导、企业投资”模式的顺利进行,进而增加企业的投资意愿,从源头上降低二次污染的排放。

(3) 简化行政审批流程。行政审批是国家管理社会政治、经济、文化等事务的一种重要的事前控制手段,而繁琐的审批流程增加再生资源企业的投资成本。所以,相关部门应简化“行政审批程序”,加大行政审批运行机制的改革力度,从而建立适应市场经济规律的新型审批秩序,解决企业“办事难”问题,进而在一定程度上增加企业群体的投资意愿。

[参 考 文 献]

- [1] 高艳红,陈德敏,张瑞.再生资源产业替代如何影响经济增长质量?——中国省域经济视角的实证检验[J].经济科学,2015(3).
- [2] 谢海燕.绿色发展下循环经济的现状及方向[J].宏观经济管理,2020(1).
- [3] 周宏春.发展循环经济需从各环节设计对策[J].资源再生,2016(9).
- [4] 朱辉.浅论资源回收利用中的二次污染及防范措施[J].商,2015(26).
- [5] Tahvonen Olli and Kuuluvainen Jari,“Economic Growth, Pollution, and Renewable Resources”[J], Journal of Environmental Economics and Management, 1993(24).
- [6] 凌江,孙京楠,刘刚.再生资源行业环境政策分析[J].环境保护,2017(20).
- [7] 罗庆明,臧文超,侯琼.我国再生资源污染防治工作思路与建议[J].环境保护,2016(14).
- [8] 吕剑,骆永明,章海波.中国海岸带污染问题与防治措施[J].中国科学院院刊,2016(10).
- [9] 朱绍萍,殷明,唐韧峰,赵桂芳.十堰市环境空气质量状况成因及污染防治对策的探讨[J].环境科学与技术,2015(12Q).

- [10] 胡雪萍,方永丽. 中国大气污染的影响因素及防治措施研究——基于 STIRPAT 模型和固定效应面板模型[J]. 工业技术经济,2018 (2).
- [11] Scott J. Callan, Janet M. “Thomas. Environmental Economics & Management: Theory, Policy, and Applications, 3rd ed” [M]. Thomson South-Western, 2006.
- [12] 钟锦文,钟昕. 污染防治攻坚战中数量型环境规制优化[J]. 华南农业大学学报(社会科学版),2020 (4).
- [13] 周景坤. 中国雾霾防治的政策创新[J]. 科技管理研究,2016 (11).
- [14] SALEHI SHAHRABI N, POUREZZAT A, MOBARAKI H, et al. Pathologic analysis of control plans for air pollution management in Tehran metropolis;a cross-sectional study[J]. Iranian Journal of Public Health,2013 (11).
- [15] 谢识予. 有限理性条件下的进化博弈理论[J]. 上海财经大学学报,2001(5).
- [16] 聂丽,张宝林. 大气污染府际合作治理演化博弈分析[J]. 管理学刊,2019(6).
- [17] 何为,温丹辉,孙振清. 大气环境治理演化博弈分析[J]. 城市发展研究,2016(1).
- [18] 高宏玉. 基于前景理论的水污染事件防治行为演化博弈[J]. 中国管理科学,2015 (12).
- [19] 刘纪达,安实,麦强. 消防救援机构与社会单位在消防监管中的演化博弈分析[J]. 安全与环境工程,2020 (5).
- [20] Friedman, D. . Evolutionary Game in Economics[J]. Economy Erica, 1991(59).
- [21] 王玉燕,李帮义,申亮. 两个生产商的逆向供应链演化博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2008 (4).

Evolutionary Game Analysis of Secondary Pollution Prevention and Control between Government and Renewable Resources Enterprises

Gao Yanhong Li Zhendong Liu Youdi

(School of Economics and Management, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: For enterprises of renewable resources in the recycling process of secondary pollution problem, this paper designs the “government guidance, enterprise investment” secondary pollution prevention and control mechanism, and based on evolutionary game theory, constructs the government and enterprises as the main body of the two-dimensional replication dynamic system, in order to analyze government regulation and the two-way choice relations between the enterprise investment behavior of internal logic. Finally, evolution simulation is carried out with reasonable data, hoping to test the above theoretical mechanism and clarify the influence relationship of each parameter on the strategy choice of the two sides in different interval combinations. The main conclusions of this paper are as follows: (1) The increase of environmental treatment fee income or the decrease of subsidy expenditure and regulation cost will increase the government’s regulation willingness. The willingness of government to regulation decreases with the increase of enterprises which choose to invest in secondary pollution control. (2) The weaker the restraint benefit of the government reward and punishment mechanism or the greater the cost of secondary pollution control, the lower the investment willingness of enterprises. The investment willingness of enterprises increases with the increase of government regulation.

Keywords: renewable resources; secondary pollution; evolutionary game; government control; business investment

[责任编辑:左福生]