

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2021.03.013

基于消费视角的建筑废弃物资源化博弈分析

杨 苏^{1,2}, 姚丽春¹

(1. 安徽建筑大学 经济与管理学院, 安徽 合肥 230601;
2. 安徽省建筑经济与房地产管理研究中心, 安徽 合肥 230601)

摘 要: 针对目前建筑废弃物资源化发展进程中需求端市场发展缓慢的问题, 基于消费者视角, 建立政府与建筑企业之间的演化博弈模型, 得到政府和建筑企业的收益矩阵, 探究了政府和建筑企业的策略选择问题, 分析了不同条件下各博弈主体的稳定策略及政府方决策对建筑企业行为的影响, 为政府提供决策依据。研究表明: 当建筑企业使用建筑废弃物回收利用产品的最终受益高于其使用传统建筑材料所获得的收益时, 存在唯一的演化稳定策略, 此时社会总利益最大。

关键词: 政府行为; 建筑废弃物; 消费视角; 演化博弈

中图分类号: F283

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2021)03-0087-08

引文格式: 杨 苏, 姚丽春. 基于消费视角的建筑废弃物资源化博弈分析 [J]. 湖南工业大学学报, 2021, 35(3): 87-94.

Game Analysis of Construction Waste Recycling Under a Consumption Perspective

YANG Su^{1,2}, YAO Lichun¹

(1. School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China;
2. Anhui Construction Economy and Real Estate Management Research Center, Hefei 230601, China)

Abstract: In view of the slow development of the demand side market in the development process of construction waste recycling, based on the perspective of consumers, an evolutionary game model has been established between the government and construction enterprises, thus obtaining the income matrix of the government and construction enterprises, followed by an inquiry into the strategy selection of the government and construction enterprises, as well as an analysis of the stability strategy of each game subject under different conditions and the influence of the government's decision-making on the construction enterprises, so as to provide the decision-making basis for the government. The research shows that when the final benefit of construction enterprises using construction waste recycling products is higher than that of using traditional building materials, there exists a unique evolutionary stability strategy, with the total social benefit reaching the maximum.

Keywords: government behavior; construction waste; consumption perspective; evolutionary game

收稿日期: 2020-12-07

基金项目: 安徽省教育厅人文社会科学基金资助重点项目 (SK2020A0258); 国家自然科学基金资助项目 (71802003); 安徽建筑大学经济与房地产管理研究中心开放课题基金资助项目 (K18004)

作者简介: 杨 苏 (1981-), 女, 安徽芜湖人, 安徽建筑大学副教授, 主要从事建筑经济管理与演化博弈方面的教学与研究, E-mail: yangsu0529@ahjzu.edu.cn

0 引言

建筑业是我国经济发展的支柱产业,因此政府在可持续发展方面给予了高度重视^[1]。我国建筑产业目前正处于由快速发展转向高质量发展的过渡期,建筑垃圾资源化利用的系统工程较为复杂,涉及政府、建筑企业、废弃物综合利用企业以及消费者等多个参与主体^[2]。我国目前对建筑垃圾的利用率不足5%,远远低于发达国家和地区,建立健全建筑垃圾回收利用机制已刻不容缓^[3]。

有研究表明,建筑垃圾资源化回收利用过程中,各参与方的相互协同与合作是十分必要的^[4]。其中,政府部门在其中扮演着重要角色,通过政策工作来促进消费者优先选择购买建筑垃圾回收产品,以此促进废弃物资源化利用工作的推进。当然,除了税收的优惠,各地政府还会拿出一定的资金,鼓励参与建筑垃圾回收利用的企业^[5]。尽管一些建筑企业在经济和先进科学技术的推动下,响应政府的呼吁和号召,开始采取建筑垃圾回收利用机制,但效果不是十分明显。建筑企业是建筑垃圾资源化产业发展的主要参与者,面对价格较高且不是十分了解的建筑垃圾回收利用产品,建筑企业会选择使用常规建筑材料以降低投资的生产风险,这就使得建筑垃圾回收产品对建筑企业的吸引力相对不足,进而使得我国建筑垃圾资源化产业市场无法形成规模。因此,推行建筑垃圾资源化回收利用的产业、打开市场的任务,在我国依然艰巨。

1 相关文献综述

目前,建筑垃圾资源化产业链的各参与主体间缺乏合作机制^[3]:一方面,建设施工单位随意填埋垃圾;另一方面,相关部门没有建立有效的促进回收政策,阻碍了建筑垃圾回收产业发展的进程。凤亚红等^[6]从项目的全过程方面,设计了建筑垃圾资源化回收利用的实施路径,提出其实施关键是完善建筑垃圾资源化回收利用的管理机制、相关部门所提供的政策支持和经济补助,以及制定与执行建筑垃圾资源化规范和标准。蓝华生^[7]描述了福州市建筑垃圾资源化利用现状,分析了福州市一些财税政策对提升建筑垃圾资源化利用的影响,并根据实证分析的结果,对政府和企业的权利与义务进行了明确的划分,从而提出了建设性的政策建议。也有学者^[8]以循环经济的视角,探讨了建筑垃圾资源化利用的途径,从而提出了市场机制的概念,认为政府的政策激励有利于推动产业链的发展。王秋菲等^[9]根据美

日两国实现建筑废弃物循环利用的经验,提出了我国建筑废弃物循环利用需要有完备的法律体系,并从法律、宏观经济与微观经济政策等层面提出了建议。也有学者^[10]提出建筑企业内部应对废弃物进行内部循环利用,从而获取更大的经济效益。

在建筑废弃物资源化回收利用市场中,建筑企业和政府都不能获得完全信息,也不能保持完全理性,即建筑废弃物资源化处理过程中各参与主体的行为选择是基于有限理性的动态重复博弈过程。鉴于此,本文基于建筑废弃物管理的消费者视角,构建政府鼓励政策下建筑企业选择购买使用建筑垃圾回收产品决策的收益博弈模型,寻找促进建筑垃圾资源化的动力源泉。

2 基于消费视角的博弈分析

2.1 博弈背景

考虑到有限理性的各相关方之间的博弈是持续反复进行的,因此,本研究选取相关方中的主体,即政府和工程建设单位作为演化博弈模型中的参与方,旨在基于消费者视角,利用演化博弈来分析政府的行为影响建设单位是否选择购买使用建筑垃圾资源化回收利用产品。

2.2 博弈模型条件假设

政府对建筑企业是否使用建筑垃圾再生产品具有一定的约束作用,当建筑企业选择购买建筑垃圾资源化回收利用产品时,政府会给予一定的鼓励政策;反之,将会无任何优惠鼓励政策。

建设企业的博弈策略组合为使用建筑垃圾资源化回收利用产品,建设企业不使用再生产品,同理,政府的博弈策略组合为{制定鼓励政策并监管,政府不监管}。建设企业和政府的一些基本假设如下。

2.2.1 建筑企业相关假设

1) 假定建筑企业在进行选择性购买时,其对材料的质量、标准、构造和特性等因素的考虑是一定的,建设单位的选择行为,主要是在使用建筑垃圾回收产品,且进行建筑垃圾回收和使用普通传统材料且不进行建筑垃圾处理之间的选择,其策略集合为{使用建筑垃圾回收产品且进行建筑垃圾回收,使用普通传统材料且不进行建筑垃圾处理}。

2) 假定建设单位购买使用建筑垃圾回收产品所能获得的效益为 M_1 ,所付出的成本为 C_1 ,后期进行建筑垃圾分类回收的成本为 P_1 ,总成本为 C_1+P_1 ;建设单位购买使用普通传统材料所能获得的效益为 M_2 ,所付出的成本为 C_2 ,后期进行垃圾直接处理的

成本为 P_2 , 总成本为 C_2+P_2 。

3) 假设不考虑其他因素, 政府只对购买建筑废弃物回收产品的建筑企业进行财政补贴, 且补贴的发放依照“退坡”机制。也就是说, 在建筑企业使用建筑废弃物回收产品的过程中, 补贴的金额随着时间的推移而不断减少, 在对产生的建筑废弃物进行回收过程中, 补贴的金额也是随着时间的推移而不断减少。假定在选择使用建筑废弃物回收产品后, 政府会对建筑企业发放 $f(n)W_1$ 的补贴, $f(n)$ 表示因变量随自变量的增大而不断减少的函数 ($f(n)<0$), 其中, 自变量为时间, 且 $0<f(n)<1$, W_1 为政府的全额最高补贴。假定在施工过程中, 建筑企业对产生的废弃物进行回收时, 会再次得到来自政府的补贴 $g(n)W_2$, $g(n)$ 表示政府的补贴函数, 且该函数随时间推移而不断减少, 即 $0<g(n)<1$, $g'(n)<0$ 。建筑企业必须同时进行建筑垃圾的分类回收处理和购买使用建筑废弃物回收产品, 否则不可获得补贴金。

4) 假设政府无特殊监管鼓励政策促进建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品, 并进行建筑垃圾分类回收, 则建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品所缴纳的税费与购买使用普通传统材料所缴纳的税费相等, 表示为 T ; 当政府鼓励建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品时, 对于购买不同产品的建筑企业征收相应的税费, 购买使用建筑废弃物回收产品的建筑企业所缴纳的税费为 $T_1=\alpha T$ ($0<\alpha<1$); 购买使用普通传统材料的建筑单位所缴纳的税费为 $T_2=\beta T$ ($0<\beta<1$)。

2.2.2 政府相关假设

1) 假设政府参与博弈的行为选择有监督并鼓励

建筑企业和监督不鼓励建筑企业两种, 故其策略集合为 { 监管并鼓励, 监管无鼓励 }。

2) 假设建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品且进行建筑分类处理时, 政府因为提倡绿色环保而能获得 R_1 的收益, 建筑企业购买使用普通材料时能获得 R_2 的收益。

3) 当政府采取激励政策来促进建筑企业购买建筑废弃物回收产品时, 建筑企业使用建筑废弃物资源化回收产品时政府将收取 αT 的税收, 而使用同以前相同材料时政府收取 βT 的税收。此时使用建筑废弃物回收产品并进行建筑垃圾回收的建筑企业的收益为 $f(n)W_1+g(n)W_2$; 所以当政府的策略选择是积极监督并激励时, 建筑企业选择建筑废弃物回收产品并且进行建筑垃圾分类回收, 此时政府所能获得的总收益为 $R_1+\alpha T-f(n)W_1-g(n)W_2$, 建筑企业购买普通传统建筑材料所能获得的收益为 $R_2+\beta T$ 。当政府不鼓励建筑企业购买建筑废弃物回收产品并进行建筑垃圾分类回收时, 建筑企业无论是选择购买建筑废弃物回收产品, 还是选择使用普通传统建筑材料, 政府的税收收入均为 T , 此时政府的总收益分别为 R_1+T 和 R_2+T 。

2.3 各参与方博弈收益矩阵

考虑到政府、建筑企业根据演化博弈模型的主要因素, 建筑企业选择购买建筑废弃物回收产品的概率为 x , 政府对购买使用建筑废弃物回收产品并进行建筑垃圾分类回收的建筑企业进行鼓励的概率为 y , 其中 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 可得到建筑企业和政府的博弈收益矩阵如表 1 所示。

表 1 政府与建筑企业博弈的收益矩阵

Table 1 Income matrix of game between government and construction enterprises

		政 府	
		鼓励 (y)	不鼓励 ($1-y$)
建筑企业	使用建筑废弃物回收产品 (x)	$M_1-C_1-P_1+f(n)W_1+g(n)W_2-\alpha T, R_1+\alpha T-f(n)W_1-g(n)W_2$	$M_1-C_1-P_1-T, R_1+T$
	使用普通传统建筑材料 ($1-x$)	$M_2-C_2-P_2-\beta T, R_2+\beta T$	$M_2-C_2-P_2-T, R_2+T$

2.4 演化稳定性策略分析

2.4.1 建筑企业演化分析

1) 期望收益

使用建筑废弃物回收产品的期望收益为

$$E_{11}=y(M_1-C_1-P_1+f(n)W_1+g(n)W_2-\alpha T)+(1-y)(M_1-C_1-P_1-T)。$$

选择使用普通建筑材料的期望收益

$$E_{12}=y(M_2-C_2-P_2-\beta T)+(1-y)(M_2-C_2-P_2-T)。$$

平均收益为

$$E_1 = xE_{11} + (1-x)E_{12} = xy[f(n)W_1 + g(n)W_2 +$$

$$(1-\alpha)T] + x(M_1 - C_1 - P_1) + (1-x)[(1-\beta)yT + M_2 - C_2 - P_2 - T]。$$

2) 复制动态方程

$\frac{dx}{dt}$ 为建筑企业选择购买使用建筑废弃物回收产

品的概率随时间的变化率, 当 $\frac{dx}{dt} > 0$, 表明建筑企业选择购买使用建筑废弃物回收产品的概率逐渐增大;

当 $\frac{dx}{dt} < 0$, 表明建筑企业选择购买使用建筑废弃物回收产品的概率逐渐减小。

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{11} - E_1) = x(1-x) \{ y [f(n)W_1 + g(n)W_2 + (1-\alpha)T + (M_1 - C_1 - P_1 - T)] - (1-\beta)yT - (M_2 - C_2 - P_2 - T) \}。$$

令 $F(x)=0$ ，解得：

$$\begin{cases} x_1^* = 0, \\ x_2^* = 1, \\ y^* = \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T}。 \end{cases}$$

2.4.2 政府演化分析

1) 期望收益

鼓励策略的期望收益为

$$E_{21} = x [R_1 + \alpha T - f(n)W_1 - g(n)W_2] + (1-x)(R_2 + \alpha T)。$$

不鼓励策略的期望收益为

$$E_{22} = x(R_1 + T) + (1-x)(R_2 + T)。$$

平均收益 $E_2 = yE_{21} + (1-y)E_{22}$ 。

2) 复制动态方程

$\frac{dy}{dt}$ 为政府选择对建筑企业实施鼓励政策的概率

随时间的变化率，当 $\frac{dy}{dt} > 0$ 时，表明政府选择对建筑企业实施鼓励政策的概率逐渐增大，而当 $\frac{dy}{dt} < 0$ 时，表明政府选择对建筑企业实施鼓励政策的概率逐渐减小。

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{21} - E_2) = y(1-y) \{ x [(\alpha-1)T - f(n)W_1 - g(n)W_2] + (1-x)(\alpha-1)T \}。$$

$$F'(y) = (1-2y) \{ x [(\alpha-1)T - f(n)W_1 - g(n)W_2] + (1-x)(\alpha-1)T \}，$$

令 $F(y)=0$ ，可得

$$\begin{cases} y_1^* = 0, \\ y_2^* = 1, \\ x^* = \frac{(\alpha-1)T}{f(n)W_1 - g(n)W_2}。 \end{cases}$$

2.4.3 演化稳定性分析

由以上分析可知，该博弈模型中存在 5 个均衡点，分别为 (1, 1)、(1, 0)、(0, 1)、(0, 0)、 (x_1^*, y_1^*) 。

对以上均衡点进行进化稳定对策 (evolutionary stable strategy, ESS) 分析，其雅克比矩阵为

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}，$$

其中

$$a_{11} = (1-2x) \{ y [f(n)W_1 + g(n)W_2 + (1-\alpha)T + (M_1 - C_1 - P_1 - T)] - (1-\beta)yT - (M_2 - C_2 - P_2 - T) \}，$$

$$a_{12} = x(1-x) [f(n)W_1 + g(n)W_2 + (1-\alpha)T + (M_1 - C_1 - P_1 - T) - (1-\beta)T]，$$

$$a_{21} = y(1-y) [(\alpha-1)T - f(n)W_1 - g(n)W_2 - (1-\beta)T]，$$

$$a_{22} = (1-2y) \{ x [(\alpha-1)T - f(n)W_1 - g(n)W_2] + (1-x)(\alpha-1)T \}。$$

当矩阵的行列式和迹同时满足条件 1 和条件 2 时，局部均衡点演化为 ESS。

条件 1：

$$\det J = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} > 0；$$

条件 2：tr $J = a_{11} + a_{22} < 0$ 。

该模型的局部均衡点处 a_{11} 、 a_{12} 、 a_{21} 、 a_{22} 的具体取值如表 2。

表 2 局部均衡点处具体取值表

Table 2 Specific value table at the local equilibrium points

均衡点	a_{11}	a_{12}	a_{21}	a_{22}
(0, 0)	$-(M_2 - C_2 - P_2 - T)$	0	0	$(\alpha-1)T$
(0, 1)	$f(n)W_1 + g(n)W_2 + (1-\alpha)T + (M_1 - C_1 - P_1 - T) - (1-\beta)T - (M_2 - C_2 - P_2 - T)$	0	0	$-(\alpha-1)T$
(1, 0)	$M_2 - C_2 - P_2 - T$	0	0	$(\alpha-1)T - f(n)W_1 - g(n)W_2$
(1, 1)	$-[f(n)W_1 + g(n)W_2 + (1-\alpha)T + (M_1 - C_1 - P_1 - T) - (1-\beta)T - (M_2 - C_2 - P_2 - T)]$	0	0	$-[(\alpha-1)T - f(n)W_1 - g(n)W_2] + (1-x)(\alpha-1)T$
(x^*, y_1^*)	0	A	B	0

其中，A 和 B 的具体表达式为

$$A = \frac{(\alpha-1)T}{f(n)W_1 + g(n)W_2} \left(1 - \frac{(\alpha-1)T}{f(n)W_1 + g(n)W_2} \right) [f(n)W_1 + g(n)W_2 + (1-\alpha)T + (M_1 - C_1 - P_1 - T) - (1-\beta)T]，$$

$$B = \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T} \left(1 - \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T} \right) [(\alpha-1)T - f(n)W_1 - g(n)W_2 - (\alpha-1)T]。$$

很明显，在 (x^*, y_1^*) 点处存在 $a_{11} + a_{22} = 0$ ，不符合条件 2，因此该点不是 ESS。只有同时满足条件 $\det J > 0$ ，tr $J < 0$ 时，局部均衡点才是 ESS，结合各参数

的取值范围, 下面将分析不同情况下 (0, 0)、(0, 1)、(1, 0)、(1, 1) 这 4 个局部均衡点成为 ESS 的可能性。

2.5 结果讨论

1) 若 $\frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T} < 0$, 即 $M_2 - C_2 - P_2 < M_1 - C_1 - P_1$, 且 $R_1 + T > R_1 + \alpha T - f(n)W_1 + g(n)W_2$ 时,

建筑企业选择普通建筑材料的收益小于建筑企业选择建筑废弃物回收产品的收益, 政府实施鼓励的政策给政府带来的收益小于政府实施鼓励过程中的成本, 记为情况 1。此时, 4 个局部均衡点的 $\text{tr } J$ 值和 $\text{det } J$ 值如表 3 所示。

表 3 情况 1 局部均衡点的 $\text{tr } J$ 值和 $\text{det } J$ 值

Table 3 Values of $\text{tr } J$ and $\text{det } J$ of local equilibrium points in case 1

均衡点	$\text{det } J$	$\text{tr } J$	结果
(0, 0)	+	+	不稳定
(0, 1)	-	+	不稳定
(1, 0)	+	-	ESS
(1, 1)	-	-	不稳定
(x^*, y^*)	不是平衡点		

由表 3 可知, 只有点 (1, 0) 满足 $\text{tr } J < 0$ 且 $\text{det } J > 0$ 的条件, 故系统的 ESS 为 (1, 0)。此时, 建筑企业与政府的复制动态相位图如图 1 所示。

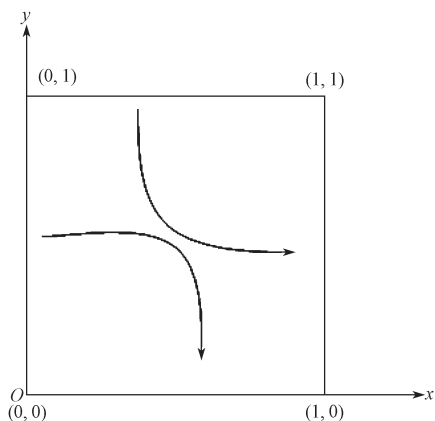


图 1 情况 1 建筑企业与政府的复制动态相位图

Fig. 1 Replication dynamic phase diagram of construction enterprises and government in case 1

从图 1 中可知, 无论政府如何实施激励政策, 建筑企业都会倾向于选择使用建筑废弃物回收产品, 而政府则会选择不激励, 这种选择是稳定的, 即双方趋向于均衡点 (1, 0), 这是实现社会效益最大化的策略, 是建筑废弃物资源化回收利用产业的未来发展方向。

2) 若 $\frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T} > 1$, 即 $M_2 - C_2 - P_2 - \beta T < M_1 - C_1 - P_1 + f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T$ 时, 建设企业购买普通传统建筑材料所获得的收益, 在扣除成本

和税金后的最终收益大于购买使用建筑废弃物回收产品并得到政府鼓励补贴后的最终收益, 记为情况 2。4 个局部均衡点的 $\text{tr } J$ 值和 $\text{det } J$ 值如表 4 所示。

表 4 情况 2 局部均衡点的 $\text{tr } J$ 值和 $\text{det } J$ 值

Table 4 Values of $\text{tr } J$ and $\text{det } J$ of local equilibrium points in case 2

均衡点	$\text{det } J$	$\text{tr } J$	结果
(0, 0)	-	-	不稳定
(0, 1)	+	-	ESS
(1, 0)	-	+	不稳定
(1, 1)	+	+	不稳定
(x^*, y^*)	不是平衡点		

从表 4 的数据可知, 只有点 (0, 1) 满足 $\text{tr } J < 0$ 且 $\text{det } J > 0$ 的条件, 故系统的 ESS 为 (0, 1)。此时, 建筑企业与政府的复制动态相位图如图 2 所示。

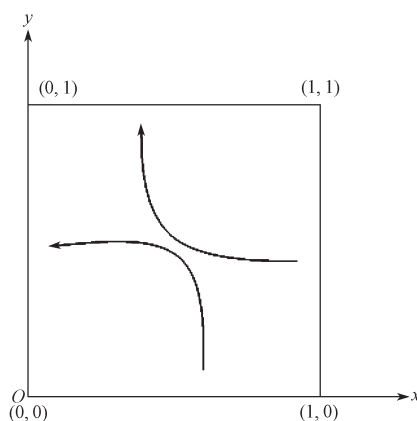


图 2 情况 2 建筑企业与政府的复制动态相位图

Fig. 2 Replication dynamic phase diagram of construction enterprises and government in case 2

由图 2 可以看出, 最终政府和建筑企业的策略会趋向于均衡点 (0, 1), 原因是政府所实施的鼓励策略不够, 不论是对于建筑废弃物回收产品的正向经济补贴和税费减少, 还是对于购买传统材料的税费增加, 都无法使得建筑企业购买建筑废弃物资源化回收产品最终收益大于购买传统材料。

3) 当 $0 < \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T} < 1$ 时, 存

在 $M_2 - C_2 - P_2 > M_1 - C_1 - P_1$ 和 $M_2 - C_2 - P_2 - \beta T < M_1 - C_1 - P_1 + f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T$, 即当政府无补贴鼓励政策时, 建筑企业购买建筑废弃物回收产品的最终收益小于购买使用传统普通建筑材料的最终获益; 当政府采取相关鼓励补贴政策时, 建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品最终获益大于购买使用传统普通建筑材料的最终获益, 故建筑企业的最终决策依靠政府的相关鼓励政策, 记为情况 3。此时, 4 个局部均衡点的 $\text{tr } J$ 值和 $\text{det } J$ 值如表 5 所示。

表5 情况3局部均衡点的 tr J 值和 det J 值

Table 5 Values of tr J and det J of local equilibrium points in case 3

均衡点	det J	tr J	结果
(0, 0)	-	+/-	不稳定
(0, 1)	-	+/-	不稳定
(1, 0)	-	+/-	不稳定
(1, 1)	-	+/-	不稳定
(x*, y*)	-	0	鞍点

由表5可知,此时系统不断博弈并无法稳定,建筑企业与政府的复制动态相位图见图3。

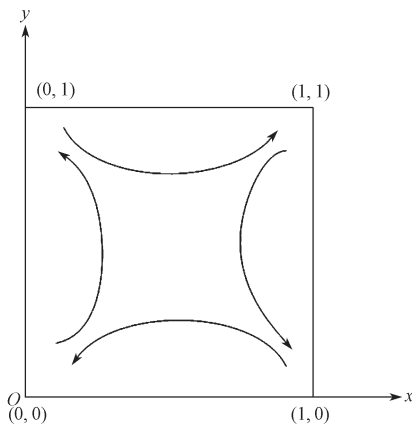


图3 情况3建筑企业与政府的复制动态相位图

Fig. 3 Replication dynamic phase diagram of construction enterprises and government in case 3

$$\text{当 } y = y^* = \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T} \text{ 时, } F(x) = 0,$$

$F'(x) = 0$, 所有 x 均处于稳定状态,说明当政府选择鼓励政策的概率为 $y = \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T}$ 时,建筑企业选择使用任何材料的收益相同。

此时可分情况进行讨论,建筑企业与政府的复制动态相位图如图4。

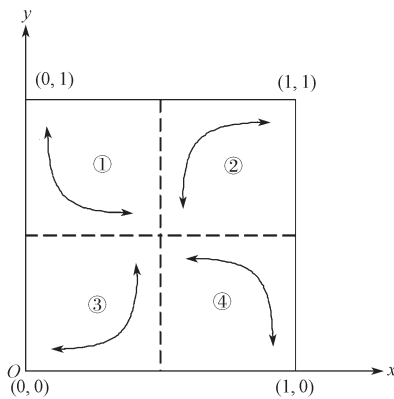


图4 建筑企业与政府的复制动态相位图

Fig. 4 Replication dynamic phase diagram of construction enterprises and government

$$\text{当 } y < y^* = \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T} \text{ 时, } F(0) = 0,$$

$F'(0) < 0; F(1) = 0, F'(1) > 0$ 。在图4中可以表示为③和④区域,即此时建筑企业的ESS为 $x = 0$,故当政府选择鼓励政策的概率低于 $\frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T}$

时,建筑企业会随着时间的推移由选择使用建筑废弃物回收产品向选择传统普通建筑转移,最后选择普通传统建筑材料将演化成为稳定策略。

$$\text{当 } y > y^* = \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T} \text{ 时, } F(0) = 0,$$

$F'(x) > 0; F(1) = 0, F'(1) < 0$ 。在4图中可表示为①和②区域,即此时建筑企业的ESS为 $x = 1$,即当政府选择鼓励概率高于 $\frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T}$ 时,建

筑企业由选择使用普通传统建筑材料向建筑废弃物回收产品转移,选择使用建筑废弃物回收产品将演化成为稳定策略。

针对此种情况,为进一步分析政府征收的税费以及时间对于演化博弈结果的影响,可以将该问题转化为政府征收的税费及时间对区域①②(记为 S_2)和区域③④(记为 S_1)面积的影响。计算过程如下:

$$S_1 = 1 * y^* = y^* = \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T},$$

$$S_2 = 1 * (1 - y^*) = 1 - \frac{M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)}{f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T},$$

$$\frac{\partial S_1}{\partial T} = \frac{[M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)](\alpha - \beta)}{[f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T]^2},$$

$$\frac{\partial S_2}{\partial T} = \frac{[M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)](-\alpha + \beta)}{[f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T]^2},$$

$$\frac{\partial S_1}{\partial n} = \frac{[M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)][f'(n)W_1 + g'(n)W_2]}{[f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T]^2},$$

$$\frac{\partial S_2}{\partial n} = -\frac{[M_2 - C_2 - P_2 - (M_1 - C_1 - P_1)][f'(n)W_1 + g'(n)W_2]}{[f(n)W_1 + g(n)W_2 - \alpha T + \beta T]^2}.$$

由此可知,

$$\frac{\partial S_1}{\partial T} < 0, \frac{\partial S_2}{\partial T} > 0, \frac{\partial S_1}{\partial n} < 0, \frac{\partial S_2}{\partial n} > 0.$$

可知, S_1 与 T 的变化成反比,与 n 的变化大小成反比。

S_2 与 T 的变化成正比,与 n 的变化大小成正比。

目标:用最合适的手段鼓励建筑企业使用建筑废弃物回收产品,并对产生的建筑废弃物进行回收处

理, 从源头对建筑废弃物进行根本治理, 从而推进建筑废弃物资源化、产业化发展。

在此模型中, 要想建筑企业的策略逐渐演化为购买使用建筑废弃物回收产品并进行建筑垃圾分类回收。由本文前面的分析可知, 在政府未进行任何鼓励政策时, 建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品并进行建筑垃圾分类回收的最终效益小于购买使用普通传统建筑材料的最终效益; 在政府的鼓励政策下, 建筑企业购买使用建筑废弃物的最终效益大于购买使用普通建筑材料的最终效益。故促进建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品的策略在相位图中表现在扩大 S_2 、减少 S_1 , 即结果为 T 增大、 n 增大。 S_1 的值为 y^* , 所以要想减小 S_1 的面积, 就要减少 y^* 的值, 即增大政府鼓励政策的力度。表现为增加税费 T , 增加对购买建筑废弃物回收产品以及进行建筑垃圾分类回收的补贴年限, 实际上, 真正的最优策略是社会整体收益达最大值, 即两个 ESS 中的最优为 $(1, 0)$, 此时, 表现为建筑企业自觉购买使用建筑废弃物回收产品, 政府无需任何补助鼓励政策, 从而节省社会相关成本。基于此, 政府对于建筑企业的补贴只能为短期补贴, 且为了防止建筑企业对于补贴的依耐性, 补贴采用“退坡”机制, 即补贴随着时间的流逝越来越少, 直至为 0。可是, 由于目前我国建筑废弃物资源化回收利用的市场规模还没有完全形成, 为了防止建筑企业在领完补贴之后中止购买使用建筑废弃物回收产品, 政府对于此种情况采取一直监管的管理模式, 并在项目即将结束时对进行建筑垃圾回收的企业也给予同样的退坡机制补贴, 这种补贴随着时间增加逐步退出市场, 最终实现即使没有政府的补贴, 建筑企业主动选择参与建筑废弃物资源化利用中, 从而实现建筑废弃物资源化产业积极发展。

3 推进建筑废弃物资源化产业发展的政策性建议

通过以上的演化博弈分析可知, 建筑企业处于建筑废弃物管理的中心位置, 在不同情况下分别与政府进行博弈。因此, 建筑企业的建筑废弃物资源化回收利用意识以及政府的鼓励政策对促进建筑废弃物资源化产业发展具有重要意义。本文的创新点是从建筑废弃物资源化产业的消费端出发, 研究建筑企业的策略选择, 对影响建筑企业策略选择的主要因素进行分析, 并提出相应的意见, 希望能为促进建筑废弃物资源化产业的发展提供帮助。

根据建筑废弃物回收产品使用阶段的建筑企业

与政府的演化博弈结果可知, 政府应加大对购买使用建筑废弃物回收产品的建筑企业的补贴, 并调整税金, 以税收政策的变动来完善建筑废弃物资源化产业链的发展。由于建筑废弃物回收产品消费端需求不高, 不利于相关企业的积极生产。因此政府应制定和推广建筑废弃物回收产品的质量合格规范体系, 以及配套的法律法规, 方便建筑企业使用, 且减少建筑企业付出的成本, 增加建筑企业购买建筑废弃物回收产品所能获得的总效益。

对于使用建筑废弃物回收产品的建筑企业, 给予补贴并给予税收上的优惠政策。如今的中国, 建筑废弃物资源化回收利用受到技术水平和市场成熟程度的限制。当政府无激励政策时, 想实现购买使用建筑废弃物资源化回收产品的总收益比不使用的高, 是很难实现的。所以, 政府应该采取措施鼓励建筑企业选择购买使用建筑废弃物资源化回收产品, 以推进建筑废弃物资源化回收利用的进程。政策建议如下: 一是对建筑企业的决策进行双向调节, 对选择建筑废弃物回收产品的建筑企业进行税费优惠, 以此提高建筑企业的总收益, 从消费端增加了建筑企业自愿选择购买使用建筑废弃物资源化回收产品; 相反的, 增设对于选择普通建筑材料的建筑企业的限制条件, 并增加税收以降低总收益。政府对建筑企业的另一种鼓励政策, 是对购买建筑废弃物回收产品的建筑企业实施补贴, 该补贴满足退坡机制。现时期政府给予经济补贴的机制一定会使消费者购买使用建筑废弃物回收利用产品的欲望增加, 但是由于政策红利的影响, 部分企业可能会对补贴产生依赖, 不利于长远发展。因此, 政府的补贴是在建筑废弃物资源化发展的初期推动市场形成, 随着市场的不断发展, 政府逐渐退出, 在完全退出之前, 根据循环经理理论, 再增加一种退坡机制的补贴以促进建筑企业进行建筑垃圾回收, 在整个建筑废弃物回收链里实现建筑废弃物资源化的发展由市场主导和调节。

4 结语

博弈结果表明: 若建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品并进行建筑垃圾分类回收的最终效益小于建筑企业购买使用普通建筑材料, 则政府须有较大力度的鼓励政策, 才能使建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品并进行建筑垃圾分类回收; 若建筑企业购买使用建筑废弃物回收产品并进行建筑垃圾分类回收的最终效益大于建筑企业购买使用普通建筑材料, 则建筑企业选择使用建筑废弃物回收产品并进行建

筑垃圾分类回收, 此时社会效益最大, 建筑废弃物资源化发展达到较高水平(即理想水平)。

参考文献:

- [1] 刘志敏. 建筑施工现场废弃物管理模型研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
LIU Zhimin. A Model for On-Site Construction Waste Management[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [2] 于献青, 陈峰. 浙江致力将新型墙材打造成循环经济重要节点产业[J]. 墙材革新与建筑节能, 2017(9): 23-25.
YU Xianqing, CHEN Feng. Zhejiang is Committed to Building New Wall Materials into an Important Node Industry of Circular Economy[J]. Wall Materials Innovation & Energy Saving in Buildings, 2017(9): 23-25.
- [3] 姜海涛. 大型建筑企业绿色施工驱动力实证研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
JIANG Haitao. Empirical Studies of Large Construction Companies Driving Forces in Green Construction[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.
- [4] 袁红平, 王焯平. 建筑废弃物资源化利用合作促进机制研究[J]. 工程研究: 跨学科视野中的工程, 2017, 9(2): 181-189.
YUAN Hongping, WANG Zhuoping. Promotion of Major Participants Cooperation in Construction Waste Recycling[J]. Journal of Engineering Studies, 2017, 9(2): 181-189.
- [5] 胡娅莎, 马慧民. 政府和施工企业在建筑废弃物资源化管理中的演化博弈研究[J]. 技术与创新管理, 2018, 39(5): 575-583, 595.
HU Yasha, MA Huimin. Research on the Evolutionary Game of Government and Construction Enterprises in the Resource Management of Construction Waste[J]. Technology and Innovation Management, 2018, 39(5): 575-583, 595.
- [6] 凤亚红, 豆倩. “一带一路”背景下建筑废弃物减量与资源化实施路径分析[J]. 环境工程, 2019, 37(1): 188-191, 137.
FENG Yahong, DOU Qian. Implementation Path of Reduction and Recycling of Construction Wastes Under the Background of “Belt and Road” [J]. Environmental Engineering, 2019, 37(1): 188-191, 137.
- [7] 蓝华生. 财税政策对福建省建筑废弃物资源化利用的激励效应研究[J]. 福州大学学报(哲学社会科学版), 2019, 33(4): 61-65.
LAN Huasheng. Study on Incentive Effects of Finance and Taxation Policy on Construction Waste Recycling in Fujian Province[J]. Journal of Fuzhou University (Philosophy and Social Sciences), 2019, 33(4): 61-65.
- [8] 印鹏, 陈硕果, 李畅, 等. 循环经济视角下建筑废弃物资源化的途径探讨[J]. 中国市场, 2012(41): 20-22.
YIN Peng, CHEN Shuoguo, LI Chang, et al. Discussion on the Way of Recycling Construction Waste from the Perspective of Circular Economy[J]. China Market, 2012(41): 20-22.
- [9] 王秋菲, 王盛楠, 李学峰. 国内外建筑废弃物循环利用政策比较分析[J]. 建筑经济, 2015, 36(6): 95-99.
WANG Qiufei, WANG Shengnan, LI Xuefeng. Comparative and Analysis of Construction Waste Recycling Policies at Home and Abroad[J]. Construction Economy, 2015, 36(6): 95-99.
- [10] 李令威, 李林阳. 建筑废弃物循环利用探究[J]. 农业与技术, 2016, 36(10): 226, 228.
LI Lingwei, LI Linyang. Research on Recycling of Construction Waste[J]. Agriculture & Technology, 2016, 36(10): 226, 228.

(责任编辑: 申剑)