

# 基于公众参与的建筑废弃物资源化利用分析

杨苏<sup>1, 2</sup>, 姚丽春<sup>1</sup>

(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:** 针对目前各种调控手段不足以促进建筑废弃物资源化回收利用市场发展的问題, 基于公众参与的视角, 以政府、公众和建筑企业为参与主体, 建立三方演化博弈模型, 得到收益矩阵, 结合复制动态方程以及三维空间内动态相位图得到三方主体的策略空间, 得到政府、公众和建筑企业的演化稳定策略。研究表明, 公众监督以及政府监管成功率影响建筑企业策略选择, 从而影响建筑废弃物资源化利用产业的发展。

**关键词:** 公众参与; 建筑废弃物; 资源化; 三方演化博弈

中图分类号: TU993.3

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382 (2021) 01-064-08

## Analysis of Construction Waste Resource Utilization Based on Public Participation

YANG Su, YAO LiChun

(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 problem that various control measures are not enough to promote the development of recycling market of construction waste recycling market, this paper is based on the perspective of public participation, the government, the public and construction enterprises are the main participants, and a tripartite evolutionary game model is established to obtain the income matrix. And obtains the strategy space of the three parties by combining the replication dynamic equation and the dynamic phase diagram in three-dimensional space, so as to obtain the evolutionary stability strategy of the government, the public and construction enterprises. The results show that the success rate of public supervision and government supervision affects the strategic choice of construction enterprises, thus affecting the development of construction waste recycling industry.

**Key words:** public participation; construction waste; resource utilization; tripartite evolutionary game

我国产生的大量建筑废弃物被随意处置或简单填埋, 这样处理既浪费了自然资源, 又对环境造成了污染<sup>[1]</sup>。研究表明, 大部分建筑废弃物经过适当的资源化后即可被重新利用, 既能减少污染又能减少天然原料的使用<sup>[2]</sup>。因此, 推进建筑废弃物的合理利用对社会可持续发展具有重要意义<sup>[3]</sup>。

新时代提高管理者能力的一个重要内容就是在市场监管下的社会共治体制的创新。公众参与的主要目的在于, 首先该举措符合“好政府”的形象, 能获取较好的技术方案, 进而制定较好的决策<sup>[4]</sup>; 再者, 有利于提高公众的环保意识<sup>[5]</sup>, 有利于最大限度地发挥资源的最大效益<sup>[6]</sup>。因此, 如何将

收稿日期: 2020-11-25

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)。

作者简介: 杨苏 (1981-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 建筑经济管理, 演化博弈。

姚丽春 (1996-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 建筑经济管理, 演化博弈。

公众参与引入建筑废弃物资源化利用产业,如何科学高效地利用好公众参与监督成为现阶段的关键问题。

当今世界的环保问题主要是废弃物的资源化回收利用问题,而建筑废弃物的监管环境十分不成熟<sup>[7]</sup>。目前,我国也有很多学者对建筑废弃物及其相关方面开展了相关研究。陈伟以涉及的政府、废弃物生产企业与资源化处理企业构建三方非对称演化博弈模型,以该三方之间的利益关系与决策行为作为研究重点,最后得到演化稳定策略<sup>[8]</sup>;姚伟明基于全过程的角度,针对不同阶段的参与主体,进行均衡稳定演化博弈分析<sup>[9]</sup>;王清粤构建公众与司法机关之间关于环境保护的动态博弈模型,得出了需要加强制度规范、降低公众维权成本、实施适当的激励机制以及加强信息透明度的结论<sup>[10]</sup>。

鉴于上述内容,国内外许多研究人员已经开始了对建筑垃圾回收行业发展的探索性研究,这些研究有一定程度的局限性,也是本文进行研究的基础<sup>[11]</sup>。首先,大多数文献都分析了建筑废弃物回收利用行业的现状和远景,以及考虑到当前不同发展情况的建议,但没有应用数学模型进行详细具体的分析;其次,一些文献对建筑废弃物资源化产业链的各利益方进行了博弈分析<sup>[12]</sup>,但是没有将公众作为一个影响因素考虑,也没有考虑到政府的监管成功率。在实际运用中,现代的学术研究广泛采用了包括进化博弈在内的三方博弈,因为演化博弈普遍具有容纳性,故进化博弈被利用来寻找博弈之间的平等地位关系来解决问题<sup>[13-14]</sup>。本文在现有研究的基础上,对建筑废弃物资源化产业链中的多个利益主体进行整合,通过具体分析政府监管成功率建立建筑废弃物资源化回收利用过程中政府、公众和建筑企业的三方博弈模型,其目的是深入和系统地分析监管成功率对博弈模型中各参与方选择的影响,从而为创造有利的环境和促进建筑废弃物资源化回收利用产业发展提供可行性建议。

## 1 模型建立

### 1.1 参与主体条件假设

本文选取演化博弈模型,构建了有公众、政府和建筑企业为利益主体的三方博弈模型。其中,建筑企业有设置和不设置建筑废弃物资源化回收利

用机制的选择;政府和公众的策略选择分别有积极(消极)监管、积极(不)监督。在建筑废弃物资源化发展进程中,各参与方的自身战略发展影响行为选择,故政府、公众、建筑企业会首先选择自身利益最大化的策略。政府是建筑废弃物资源化回收利用产业发展的推动者,负责监管建筑企业以及正当处理公众对建筑企业的投诉。如果要想在博弈过程中形成良性循环系统,政府、公众和建筑企业三方只有找到一个良性均衡机制,防止建筑企业对社会环境造成影响。鉴于此,三方博弈模型基于以下假设:

(1) 当政府的策略选择是积极监管时,必须支出监管成本  $C_1$ ,政府主动监管成功率为  $a_1$ ,政府积极监管成功时的收益为  $G$ ,政府被动监管成功率为  $a_2$ 。政府对未设置建筑废弃物资源化回收利用机制的建筑企业进行惩罚,同时对设置建筑废弃物资源化回收利用机制的建筑企业设立一些激励,而政府成功监管时有社会良好风评收益  $a_1G$ ;当政府的策略选择是消极监管时,监管成本为  $C_2$ ,对设置建筑废弃物资源化回收利用机制的建筑企业和公众进行一定奖励,对未设置建筑废弃物资源化回收利用机制的建筑企业进行惩罚,并在查处成功后会取得一定查处收益  $a_2G$ 。政府在企业未设置建筑废弃物资源化回收利用机制时需付出社会环境治理成本  $C_3$ ,政府选择消极监管时,由于收到公众举报,掌握建筑企业没有设置建筑废弃物资源化回收利用机制的相关证据,因此,政府主动监管成功率  $a_1$  会比其被动监管成功率  $a_2$  小,即  $0 < a_1 < a_2 < 1$ 。

(2) 当公众选择积极监督时,需耗费一定成本收集建筑企业不设置建筑废弃物资源化回收利用机制行为的相关资料,即公众监督成本为  $T$ ,给举报者奖励为短期收益;此时,公众选择监督策略,长期收益是公众所处社会环境的大程度改善。因此,公众参与监督的收益为  $M$ ;公众不监督时无成本和任何激励。

(3) 当建筑企业设置建筑废弃物资源化回收利用机制时,需企业付出一定成本  $P_1$ ,但能够避免受到政府的查处,此时企业收益为  $W_1$ ;当企业不设置建筑废弃物资源化回收利用机制时,企业收益为  $W_2$ ,企业建筑废弃物处理成本为  $P_1'$  ( $P_1 > P_1'$ );如果被查处而被迫设置建筑废弃物资源化回收利用机

制,此时企业被迫付出成本(政府查处收益)为  $K$ 。建筑废弃物资源化回收利用机制的实施必然增加建筑企业的成本,从而降低利润,故  $W_2 > W_1$ 。一旦从长远来看,长期不设置建筑废弃物资源化回收利用机制,建筑企业将不可避免地承受来自各方的巨大压力从而被迫设置,此时,建筑企业不仅付出成本而且还会遭受名誉损失,故  $W_2 < W_1$ 。

(4) 考虑到政府、公众和建筑企业根据三方演化博弈模型选择策略的主要因素,政府选择积极监管的比例为  $\alpha$ , 公众选择积极监督的比例为  $\beta$ , 企业选择设置建筑废弃物资源化回收利用机制的比例为  $\gamma$ 。其中,  $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \gamma \leq 1$ 。

(5) 政府和公众策略选择的一些其他说明

① 当建筑企业选择设置建筑废弃物资源化回收利用机制时,政府的积极监管成本全部用来奖励相关企业;当建筑企业选择不设置时,监管建筑企业时投入的人力、财力和时间等是政府的积极监管成本。

② 除本文考虑因素之外,建筑废弃物资源化回收利用问题也与建筑废弃物资源化回收产业链的各个利益主体间的综合合作发展有关。本文是在理想状态下,认为建筑企业是否设置建筑废弃物资源化回收利用机制仅与政府和公众行为有关,未过多考虑其它因素。

### 1.2 三方演化博弈模型的建立

当政府、公众、建筑企业的策略分别为积极监管、积极监督、不设置建筑废弃物资源化回收利用机制时,政府积极监管时的收益为  $-C_1 - C_3 + a_1G$ ; 公众监督情况下政府被迫监管的收益为  $a_2G - C_2$ ; 故政府总收益为:  $-C_1 - C_3 + a_1G + a_2G - C_2$ 。公众积极监督时所获得的奖励为  $C_2$ , 付出的成本为  $T_1$ , 故公众的收益为  $C_2 - T_1$ 。建筑企业不设置建筑废弃物资源化回收利用机制的正常成本是  $P_1'$ ,

收益为  $(1-a_1)W_2$ , 所以建筑企业获得的收益即为  $-K - P_1' + (1-a_1)W_2$ 。同理,得到各参与主体其他情况的博弈收益值,如表 1 所示。

## 2 公众参与下政府与建筑企业博弈分析

### 2.1 三方博弈的动态复制方程

基于博弈模型可以得出,政府积极监管的期望收益为:

$$U_{11} = \beta\gamma(-C_1) + \gamma(1-\beta)(-C_1) + \beta(1-\gamma)(-C_1 + a_1(G+K) + a_2(G+K) - C_2 - C_3) + (1-\beta)(1-\gamma)(-C_1 + a_1(G+K) - C_3) = (1-\gamma)[\beta(a_2(G+K) - C_2) + a_1(G+K) - C_3] - C_1$$

政府不监管的期望收益为:

$$U_{12} = \gamma(1-\beta)(-C_3) + \beta(1-\gamma)[a_2(G+K) - C_2 - C_3] + (1-\beta)(1-\gamma)(-C_3) = \beta\{[a_2(G+K) - C_2] + \gamma[-a_2(G+K) + C_2 + C_3]\} - C_3$$

政府的平均期望收益为:

$$\bar{U}_1 = \alpha U_{11} + (1-\alpha)U_{12} = \alpha[(1-\beta)\gamma C_3 + (1-\gamma)a_1(G+K) - C_1] + U_{12}$$

从而,政府策略复制动态方程为:

$$F(\alpha) = \frac{d\alpha}{dt} = \alpha(U_{11} - \bar{U}_1) = \alpha(1-\alpha)[(1-\beta)\gamma C_3 + (1-\gamma)a_1(G+K) - C_1] \quad (1)$$

同理,公众积极监督期望收益为:

$$U_{21} = \alpha\gamma(-T) + \alpha(1-\gamma)(Q-T) + (1-\alpha)\gamma(-T) + (1-\alpha)(1-\gamma)(Q-T) = (1-\gamma)Q - T$$

公众选择不监督的期望收益为:  $U_{22} = 0$

公众的平均收益为:

$$\bar{U}_2 = \beta U_{21} + (1-\beta)U_{22} = \beta[(1-\gamma)Q - T]$$

从而,公众监督复制动态方程为:

$$F(\beta) = \frac{d\beta}{dt} = \beta(U_{21} - \bar{U}_2) = \beta(1-\beta)[(1-\gamma)Q - T] \quad (2)$$

表 1 政府、公众与建筑企业的收益矩阵

		建筑企业	
		设置 ( $\gamma$ )	不设置 ( $1-\gamma$ )
政府	积极监管 ( $\alpha$ )	公众监督 ( $\beta$ )	$(-C_1, -T, C_1 + W_1 - P_1)$ $(-C_1 + a_1(G+K) + a_2(G+K) - C_2 - C_3, Q - T, -a_1(K + P_1') + (1-a_1)W_2)$
		公众不监督 ( $1-\beta$ )	$(-C_1, 0, C_1 + W_1 - P_1)$ $(-C_1 + a_1(G+K) - C_3, 0, -a_1(K + P_1') + (1-a_1)W_2)$
	被动监管 ( $1-\alpha$ )	公众监督 ( $\beta$ )	$(0, -T, W_1 - P_1)$ $(a_2(G+K) - C_2 - C_3, Q - T, -a_2(K + P_1') + (1-a_2)W_2)$
		公众不监督 ( $1-\beta$ )	$(-C_3, 0, W_1 - P_1)$ $(-C_3, 0, W_2)$

同理,建筑企业选择设置建筑废弃物资源化回收利用机制的期望收益为:

$$U_{31} = \alpha\beta(C_1 + W_1 - P_1) + \beta(1-\alpha)(W_1 - P_1) + (1-\beta)(1-\alpha)(W_1 - P_1) = \alpha C_1 + W_1 - P_1$$

建筑企业选择不设置建筑废弃物资源化回收利用机制的期望收益为:

$$U_{32} = \alpha\beta[-a_1K + (1-a_1)W_2] + \alpha(1-\beta)[-a_1(K + P_1') + (1-a_1)W_2] + (1-\alpha)\beta[-a_2(K + P_1') + (1-a_2)W_2] + (1-\alpha)(1-\beta)W_2$$

建筑企业的平均收益为:

$$\bar{U}_3 = \gamma U_{31} + (1-\gamma)U_{32} = \gamma\{\alpha C_1 + W_1 - P_1 + (K + P_1' + W_2)[\alpha a_1 + (1-\alpha)\beta a_2] + W_2\} + U_{32}$$

从而,建筑企业行为策略的复制动态方程为:

$$F(\gamma) = \frac{d\gamma}{dt} = \gamma(U_{31} - \bar{U}_3) = \gamma(1-\gamma)[\alpha C_1 + W_1 - P_1 + \alpha a_1(K + P_1' + W_2) + \beta(1-\alpha)a_2(K + P_1' + W_2) - W_2] \quad (3)$$

### 2.2 三方演化博弈均衡分析

联立动态方程(1)(2)(3)求演化博弈均衡解:

$$F(\alpha) = \frac{d\alpha}{dt} = \alpha(U_{11} - \bar{U}_1) = \alpha(1-\alpha)[(1-\beta)\gamma C_3 + (1-\gamma)a_1(G+K) - C_1] = 0$$

$$F(\beta) = \frac{d\beta}{dt} = \beta(U_{21} - \bar{U}_2) = \beta(1-\beta)[(1-\gamma)Q - T] = 0$$

$$F(\gamma) = \frac{d\gamma}{dt} = \gamma(U_{31} - \bar{U}_3) = \gamma(1-\gamma)[\alpha C_1 + W_1 - P_1 + \alpha a_1(K + P_1' + W_2) + \beta(1-\alpha)a_2(K + P_1' + W_2) - W_2] = 0$$

因此,上述方程组的特殊均衡点构成解域的边  $\{(\alpha, \beta, \gamma) | \alpha = 0, 1; \beta = 0, 1; \gamma = 0, 1\}$ 。(0,0,0),(0,0,1),(0,1,0),(1,0,0),(1,1,0),(1,0,1),(0,1,1),(1,1,1)所围的区域为均衡解域。对方程进行求导,则有

$$F'(\alpha) = \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} = (1-2\alpha)[(1-\beta)\gamma C_3 + (1-\gamma)a_1(G+K) - C_1]$$

$$F'(\beta) = \frac{dF(\beta)}{d\beta} = (1-2\beta)[(1-\gamma)Q - T]$$

$$F'(\gamma) = \frac{dF(\gamma)}{d\gamma} = (1-2\gamma)[\alpha C_1 + W_1 - P_1 + \alpha a_1(K + P_1' + W_2) + \beta(1-\alpha)a_2(K + P_1' + W_2) - W_2]$$

代入均衡点,当  $F'(\alpha) < 0, F'(\beta) < 0, F'(\gamma) < 0$  时,政府、公众以及建筑企业采取的稳定策略即为  $\alpha, \beta, \gamma$ 。

1. 政府的渐进稳定性分析,令  $F(\alpha)=0$ ,则:

(1) 若  $(1-\beta)\gamma C_3 + (1-\gamma)a_1(G+K) - C_1 = 0$ , 即

$$\gamma = \gamma_0 = \frac{C_1 - a_1(G+K)}{(1-\beta)C_3 - a_1(G+K)} = \frac{C_1 - (1-\beta)C_3}{(1-\beta)C_3 - a_1(G+K)} + 1,$$

此时  $F(\alpha)$  无限趋近于 0, 无论  $\alpha$  取任何值, 博弈均为稳定状态。

(2) 若  $\gamma \neq \gamma_0$ , 令  $F(\alpha)=0$ , 得到稳定状态为  $\alpha_1=0, \alpha_2=1$ 。

由演化稳定策略相关的性质知, 政府策略达到稳定的必要条件为:  $\frac{dF(\alpha)}{d\alpha} < 0$ 。因此, 对  $(1-\beta)\gamma C_3 + (1-\gamma)a_1(G+K) - C_1$  的不同情况进行分析:

① 当  $(1-\beta)\gamma C_3 + (1-\gamma)a_1(G+K) - C_1 < 0$  时,

若  $(1-\beta)C_3 > a_1(G+K)$ , 即  $\gamma > \gamma_0$ ,  $\left. \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=1} > 0$ ,

$\left. \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} < 0$ , 此时,  $\alpha = 0$  是稳定状态, 政府倾向于选择不积极监管建筑企业。

若  $(1-\beta)C_3 < a_1(G+K)$ , 即  $\gamma < \gamma_0$ ,  $\left. \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=1} > 0$ ,

$\left. \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} < 0$ , 此时,  $\alpha = 0$  是稳定状态, 政府倾向于选择不积极监管建筑企业。

② 当  $(1-\beta)\gamma C_3 + (1-\gamma)a_1(G+K) - C_1 > 0$  时,

若  $(1-\beta)C_3 > a_1(G+K)$ , 即  $\gamma > \gamma_0$ ,  $\left. \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=1} < 0$ ,

$\left. \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} > 0$ , 此时,  $\alpha = 1$  是稳定状态, 政府倾向于选择积极监管建筑企业。

若  $(1-\beta)C_3 < a_1(G+K)$ , 即  $\gamma < \gamma_0$ ,  $\left. \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=1} < 0$ ,

$\left. \frac{dF(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} > 0$ , 此时,  $\alpha = 1$  是稳定状态, 政府倾向于选择积极监管建筑企业。

政府几种情况下的动态趋势及稳定性, 如图 1 所示。

2. 公众的渐进稳定性分析, 令  $F(\beta)=0$ , 则:

(1) 若  $(1-\gamma)Q - T = 0$ , 即  $\gamma = \gamma_1 = 1 - \frac{T}{Q}$ , 此时  $F(\beta)$  无限趋近于 0, 无论  $\alpha$  取任何值, 博弈均为稳定状态。

(2) 若  $\gamma \neq \gamma_1$ , 令  $F(\beta)=0$ , 得到稳定状态有  $\beta_1 = 0, \beta_2 = 1$ 。

根据 ESS 的性质, 公众策略实现化稳定战略的必要条件如下:  $\frac{dF(\alpha)}{d\alpha} < 0$ , 由于  $Q > 0$  则可以分两种情况, 讨论如下:

① 当  $(1-\gamma)Q - T < 0$ , 即  $\gamma > \gamma_1$  时,  $\left. \frac{dF(\beta)}{d\beta} \right|_{\beta=1} > 0$ ,  $\left. \frac{dF(\beta)}{d\beta} \right|_{\beta=0} < 0$ , 此时,  $\beta = 0$  是稳定状态, 公众倾向于选择不监督建筑企业。

② 当  $(1-\gamma)Q - T > 0$ , 即  $\gamma < \gamma_1$  时,  $\left. \frac{dF(\beta)}{d\beta} \right|_{\beta=1} < 0$ ,  $\left. \frac{dF(\beta)}{d\beta} \right|_{\beta=0} > 0$ , 此时,  $\beta = 1$  是稳定状态, 公众倾向于积极监督建筑企业。

公众动态趋势如图 2 所示。

3. 对企业的演化稳定策略进行分析, 令  $F(\gamma) = 0$ , 则:

(1) 若  $\alpha C_1 + W_1 - P_1 + \alpha a_1(K + P_1' + W_2) + \beta(1-\alpha)a_2(K + P_1' + W_2) - W_2 = 0$ , 即  $\alpha = \alpha_0$  时, 此时  $F(\gamma)$  无限趋近于 0, 无论  $\gamma$  取任何值, 博弈均为稳定状态。

(2) 若  $\alpha \neq \alpha_0 = \frac{W_2 - (W_1 - P_1) - \beta a_2(K + P_1' + W_2)}{C_1 + a_1(K + P_1' + W_2) - \beta a_2(K + P_1' + W_2)}$

$= \frac{W_2 - (W_1 - P_1) - [C_1 + a_1(K + P_1' + W_2)]}{C_1 + a_1(K + P_1' + W_2) - \beta a_2(K + P_1' + W_2)} + 1$ , 令  $F(\gamma) = 0$ , 得  $\gamma_1 = 0, \gamma_2 = 1$  是两个稳定状态。

根据演化稳定策略的性质可知, 达到稳定策略的必要条件是:

$\frac{dF(\gamma)}{d\gamma} < 0$ , 由于  $0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq a_1 \leq 1, 0 \leq a_2 \leq 1, a_1 < a_2$ , 则  $a_1 > \gamma a_2$  分两种情况, 讨论如下:

① 当  $\alpha C_1 + W_1 - P_1 + \alpha a_1(K + P_1' + W_2) + \beta(1-\alpha)a_2(K + P_1' + W_2) - W_2 < 0$ , 即  $\alpha < \alpha_0$  时,  $\left. \frac{dF(\gamma)}{d\gamma} \right|_{\gamma=1} > 0$ ,  $\left. \frac{dF(\gamma)}{d\gamma} \right|_{\beta=0} < 0$ , 此时  $\gamma = 0$  是稳定状态, 建筑企业倾向于选择不设置建筑废弃物资源化回收利用机制。

② 当  $\alpha C_1 + W_1 - P_1 + \alpha a_1(K + P_1' + W_2) + \beta(1-\alpha)a_2(K + P_1' + W_2) - W_2 > 0$ , 即  $\alpha > \alpha_0$  时,  $\left. \frac{dF(\gamma)}{d\gamma} \right|_{\gamma=1} > 0$ ,  $\left. \frac{dF(\gamma)}{d\gamma} \right|_{\beta=0} < 0$ , 此时  $\gamma = 1$  是稳定状态, 建筑企业倾向于设置建筑废弃物资源化回收利用机制。

建筑企业几种情况下的动态趋势及稳定性, 如图 3 所示。

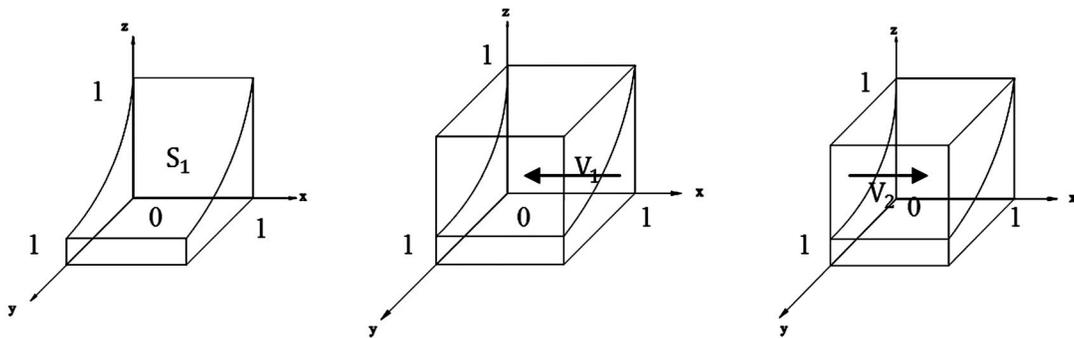


图 1 政府动态趋势图

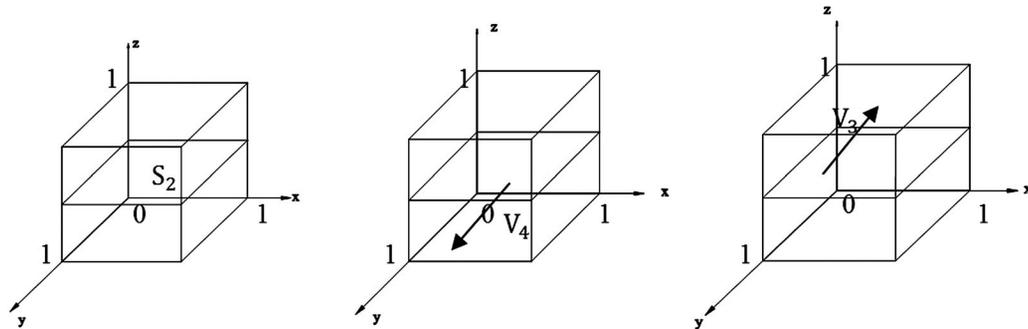


图 2 公众动态趋势图

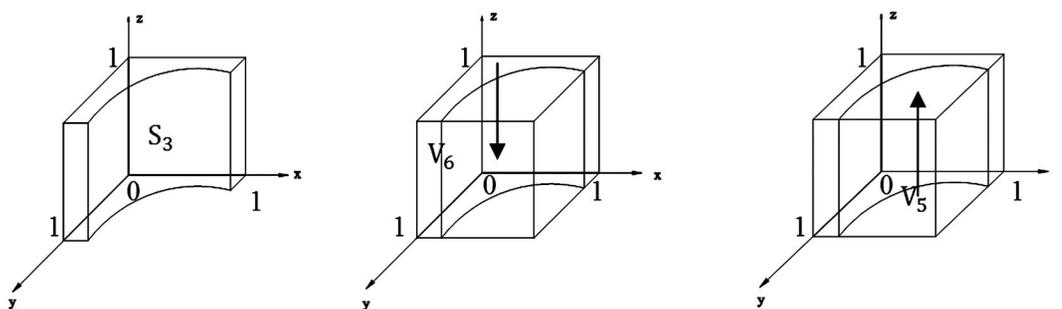


图 3 建筑企业动态趋势图

### 2.3 三方演化博弈结果分析

#### 2.3.1 政府

##### (1) 参数分析

由图 1 分析可知,当其他参数不变时,由于  $\gamma = \gamma_0 = \frac{C_1 - a_1(G+K)}{(1-\beta)C_3 - a_1(G+K)} = \frac{C_1 - (1-\beta)C_3}{(1-\beta)C_3 - a_1(G+K)} + 1$ , 当  $C_1$  增大时,  $\gamma_0$  变大;当  $V_2$  变大,  $\gamma_0$  变大。此时截面上移,即较高的政府主动监管的成本会导致监管趋于被动。因此,  $C_3$  增大时,  $\gamma_0$  减小,由图 1,此时截面下移,即  $V_1$  变大,即政府付出成本越大越趋向于积极监管。

##### (2) 结果分析

我国政府工作的考评机制是考察地方经济状况,即以地方 GDP 的变动来衡量发展情况,而建筑业又是经济支柱,致使地方政府过于追求短期效益,因而存在忽略环境治理的现象。在建筑废弃物资源化产业的发展上,政府会更加注重建筑业发展态势及其带来的经济效益,忽略建筑废弃物的资源化回收利用。此时,政府不仅不会付出成本选择主动监管,也不会因企业不设置而进行查处,使得企业无动力设置建筑废弃物资源化回收利用机制。

面对这种情况,一方面,政府应该完善相关机制,确保地方强调发展经济效益的同时加强建筑废弃物回收管理,以此促进建筑业高质量发展;另一方面,政府需要呼吁公众辅助政府监管以及建筑企业主动设置建筑废弃物资源化回收利用机制。

#### 2.3.2 公众

##### (1) 参数分析

根据图 2 分析可知,  $V_3$ 、 $V_4$  是初始状态,当  $\frac{T}{Q}$  增大时,  $\gamma_1$  减小,此时截面下移,  $V_3$  增大。这表示,如果公共监督的费用过高,公众的利益越小时,越倾

向于选择不监督;当  $\frac{T}{Q}$  减小时,  $\gamma_1$  增大,此时截面上移,  $V_4$  增大。这表示,在监管成本较低而且利益较高的情况下,公众倾向于积极监管。

##### (2) 结果分析

通过以上的分析,可以得到以下结论:公众的行为选择取决于其所得利益。在没有收益的情况下,公众会趋向被动消极的策略选择,这是我国建筑企业设置建筑废弃物资源化回收利用机制实施没什么效果的原因所在。因此,为了使公众能够选择积极监管的策略,必须提高其成本效益,而重点是利润,调整相关的参数,使  $(1-\gamma)M > T$ , 因此,政府可以采取增大公众积极监督策略选择的奖励,并合理补贴费用。提高公众认识的同时,加大对建筑企业不设置建筑废弃物资源化回收利用机制危害的宣传等。

#### 2.3.3 建筑企业

①参数分析。根据图 3 可知,  $a_1$  变大时,  $\alpha_0$  减小,此时  $V_5$  增大,政府监管的成功率越高,建筑企业就越愿意建立建筑废弃物资源化回收利用机制,以避免相应的损失。相同的,  $V_5$  变大时,  $\alpha_0$  增大,此时  $V_6$  增大,表明建立建筑废弃物资源化回收利用机制的费用越高,建筑企业就越不愿意设置该机制。当  $W_1$  增大时,  $\alpha_0$  减小,  $V_5$  增大,说明建筑企业设置建筑废弃物资源化回收利用机制的收益越高时,建筑企业越趋向于选择设置建筑废弃物资源化回收利用机制。

②结果分析。上述分析表明,建筑企业最终将选择一种基于利润的策略,这在很大程度上解释了我国建筑废弃物资源化回收利用率的低下现象。因此,为了使建筑企业能够选择“设置建筑废弃物

资源化回收利用机制”策略, 需要提高其利润率, 调整系数使

$\alpha C_1 + W_1 - P_1 + \alpha a_1(K + P_1' + W_2) + \beta(1 - \gamma)a_2(K + P_1' + W_2) > W_2$ , 故政府可以采取的措施有: 增加对不设置建筑废弃物资源化回收利用机制企业的管制, 向建立建筑废弃物回收机制的企业提供适当的补贴, 提高管理的效率, 优化工具, 从而提高政府监管成功率。

### 3 政府、公众和建筑企业的整体分析

上一节分别对政府、公众和建筑企业进行复制动态、参数、均衡以及结果分析, 对政府、公众和建筑企业的初始状态进行排列组合, 可得到博弈主体的均衡点见表 2。

表 2 博弈主体在各空间的策略选择

空间	策略
(V1, V3, V5)	(1, 0, 1)
(V1, V3, V6)	(1, 0, 0)
(V1, V4, V5)	(1, 1, 1)
(V1, V4, V6)	(1, 1, 0)
(V2, V3, V5)	(0, 0, 1)
(V2, V3, V6)	(0, 0, 0)
(V2, V4, V5)	(0, 1, 1)
(V2, V4, V6)	(0, 1, 0)

由图 1、图 2、图 3 可知, 以上 8 种均衡状态时各参与主体的选择相互影响且都较为短暂, 故无稳定策略。当各博弈主体的初始状态为  $V_1$ 、 $V_3$ 、 $V_6$  交集内时, 各参与主体行为 (1, 0, 0) 接近。即从短期看, 初始状态下建筑企业设置该机制相对不多, 公众选择积极监督比例也不是很高, 尽管政府在一定程度上采取了一些激励政策, 但长远上并没有获益, 所以他们的行为选择分别是“积极监督”和“不设置”。此时, 为创造良好的社会环境, 政府应采取有力的手段, 鼓励公众选择监督策略以及建筑企业设置建筑废弃物资源化回收利用机制。即政府进行管制, 公众选择积极监督, 建筑企业选择设置建筑废弃物资源化回收利用机制是均衡状态, 符合目前我国建筑废弃物资源化产业的发展状况。当初始状态在  $V_2$ 、 $V_4$ 、 $V_5$  交集内时, 各参与主体行为接近 (0, 1, 1)。即从长期看, 即使政府不管制, 公众和建筑企业都会选择“积极监督”和“设置”策略, 这是我国建筑废弃物资源化回收利用产业积极发展的长期目标和必然趋势。

## 4 结论及建议

### 4.1 结论

根据政府的博弈分析结果, 政府的主要关注点是社会的总利益。如果政府监管的成功率较高, 而公众的动机较弱, 政府可积极监管; 反之亦然, 采取被动监管, 以实现低成本和高效率的目标。建筑业的发展与公众息息相关, 由于没有建筑废弃物资源化回收利用机制的约束, 只要公司提供的产品满足消费者需求, 且公众作为消费者购买成本较低, 建筑企业不设置该机制时的收益会较高, 但对社会环境有负面影响。设置建筑废弃物资源化回收利用机制, 一方面可以避免政府的查处, 另一方面也可以增加企业本身的社会影响。公众在社会生活中是追求自身利益的, 且他们是环境的直接影响者。建筑企业不设置该机制对社会环境造成不良影响时, 触动了公众的切身利益, 此时公众必然会选择积极监督, 使建筑企业被迫设置建筑废弃物资源化回收利用机制。本文借助三方博弈模型对政府、公众和建筑企业进行综合分析, 考虑到每一缔约方不同的策略选择对其他缔约方的影响, 并对不同的参数的变化情况进行了详细的分析, 针对每种情况给出了现实意义的建议。

### 4.2 建议

除了以上的各种情况及其说明, 建筑废弃物资源化回收管理还与此产业链中的各利益主间的合作与利益等有关。本文是在理想状态下, 认为消费者是否选择购买设置建筑废弃物资源化回收利用机制的建筑企业产品, 只看自身策略选择和对建筑企业的选择, 没有考虑到消费者对产品本身的喜好程度, 这是一个未经充分考虑的缺陷。所以, 在我们今后的研究中, 有以下几方面的问题可进行改进与完善。

(1) 从消费端视角考虑问题。本文仅涉及三个参与方: 政府、公众和建筑企业, 但在产业链中占比很大的消费者群体是非常重要的影响因素之一。在此后的研究中, 我们可构建四方博弈模型来分析消费端需求对其他参与主体的策略选择的影响。

(2) 为了创造有利的社会环境和提高政府的道德形象, 政府可增加对不设置建筑废弃物资源化回收利用机制的建筑企业的惩处。如果发现建筑企

业对环境产生负面影响,应即刻解决,并且同时加大宣传力度和公开整治结果,保证良好的社会治理氛围。

(3)鼓励公众参与,强化社会监督,提高公众参与社会环境治理的积极性。发挥各类社会公众主体在垃圾处理问题中的作用,如建立新媒体信息披露机制,曝光企业的违规行为;行业协会识别垃圾处理企业违规行为,为政府部门提供有效信息。

(4)完善举报机制,建立奖励制度。鉴于公众参与和政府监管存在互补关系,政府部门应完善公众参与举报机制,开设投诉举报通道(包括电话、抖音、公众号等),加大对举报者的奖励力度,接受社会公众对垃圾处理问题的监督 and 关注。

#### 参考文献:

- [1] Fořt J, Černý R. Transition to circular economy in the construction industry: Environmental aspects of waste brick recycling scenarios[J]. Waste Management, 2020, 118: 510-520.
- [2] 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.
- [3] Hu M M, van der Voet E, Huppes G. Dynamic material flow analysis for strategic construction and demolition waste management in Beijing[J]. Journal of Industrial Ecology, 2010, 14(3): 440-456.
- [4] 贺晨涌. 环境影响评价公众参与常用方法及作用[J]. 太原科技, 2002(4): 2-3.
- [5] 刘越. 社会工作介入生态文明建设的可行性分析[J]. 昆明理工大学学报(社会科学版), 2015, 15(2): 13-18.
- [6] 张一心,吴婧. 环境管理中公众参与的合理化[J]. 环境保护, 2008, (24): 19-21.
- [7] 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.
- [8] 陈伟,易莎,邹松,等. 建筑固体废弃物资源化利用的三方非对称演化博弈[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(3): 54-59.
- [9] 姚伟明. 建筑垃圾全过程管理博弈研究[D]. 北京:北京交通大学, 2015.
- [10] 王清粤,常健. 博弈论视角下公众参与环境保护的司法路径优化[J]. 中国矿业大学学报(社会科学版), 2020, 22(5): 80-90.
- [11] Li D, Peng Y, Guo C X, et al. Pricing strategy of construction and demolition waste considering retailer fairness concerns under a governmental regulation environment[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(20): E3896.
- [12] Sun H X, Wan Y, Zhang L L, et al. Evolutionary game of the green investment in a two-echelon supply chain under a government subsidy mechanism[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 235: 1315-1326.
- [13] 吴洁,车晓静,盛永祥,等. 基于三方演化博弈的政产学研协同创新机制研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(1): 162-173.
- [14] Long H Y, Liu H Y, Li X W, et al. An evolutionary game theory study for construction and demolition waste recycling considering green development performance under the Chinese government's reward-penalty mechanism[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(17): 6303.