

“互联网+再生资源回收”模式推进机制的 三方演化博弈研究

林晶晶 毛雅婧 林宗平¹

(西南交通大学 公共管理学院, 四川 成都 610031)

【摘要】: 随着垃圾分类政策逐步在全国范围内推行, 一些企业将互联网技术与垃圾分类回收相结合, 提出了“互联网+再生资源回收”的新模式, 但目前该模式仍处于探索阶段, 想要在全国范围内推广还有诸多问题需要解决。论文基于演化博弈论理论, 构建“互联网+再生资源回收”模式下城市生活垃圾分类回收的演化博弈模型, 对博弈三方行为决策进行分析以及仿真验证, 研究结果表明: 政府的监督成本、政府提供给垃圾分类企业和居民的财政补贴、政府对垃圾分类企业的行政处罚力度以及居民参与垃圾分类的直接收益等因素是制约三方演化博弈能否达到理想均衡状态的关键, 进一步分析模型成因, 并针对结果提出几点建议。

【关键词】: 互联网+再生资源回收 演化博弈 垃圾分类

【中图分类号】: X705; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)03-202-08

根据《2018年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报》, 我国城市生活垃圾产量长年保持稳定增长, 可再生垃圾回收利用率低, 2018年202个大、中城市生活垃圾产生量高达2.13亿吨, 而城市生活垃圾回收利用率却不足5%^[1]。可见城市生活垃圾分类与再生资源回收已成为制约我国环保事业发展的瓶颈和造成生态污染、资源循环利用困难的根源之一。为此, 近年来我国不断推进垃圾分类工作。2019年6月住建部等九部门发布了《关于在全国地级以上城市全面展开生活垃圾分类工作的通知》, 要求到2025年, 全国地级及以上城市基本建成生活垃圾分类处理系统。上海作为首批试点城市, 2019年7月1日正式实施了《上海市生活垃圾管理条例》, 标志着强制垃圾分类时代的到来。在此背景下, 垃圾分类企业迎来了行业的春天, 一批以互联网技术应用为特点的新型垃圾分类服务应运而生, 如网约上门回收员、智能垃圾回收等。这些被称为“互联网+再生资源回收”的模式, 将互联网等现代信息技术运用到传统的再生资源回收与城市生活垃圾分类之中, 提高废旧物品的回收利用率, 减少垃圾排放^[2]。其实, 早在2016年5月, 商务部等六部门发布的《关于推进再生资源回收行业转型升级的意见》(下文简称《意见》)就提出要推广“互联网+再生资源回收”的新模式, 以实现生活垃圾回收与再生资源回收的网络融合。

自《意见》提出以来, 全国各大城市纷纷试点推广, 具有代表性的有上海静安区联合支付宝共同推出的“垃圾分类回收”城市服务、杭州余杭区的“二维码”智能垃圾分类、广州越秀区试点的垃圾回收APP、西安浐灞生态区试点项目等。作为一种新型回收模式, “互联网+再生资源回收”模式在信息共享、提高回收效率等方面具有独特的优越性, 但要实现全国范围内的推广和复制还有诸多难题亟待解决。首先, 新模式不仅面临传统垃圾分类中存在的再生资源回收利用率低、二次污染严重、政府投入不足、回收市场混乱无序以及居民垃圾分类参与不足等问题, 还存在平台搭建和技术创新等新问题。此外, 大多数企业实际上处于无政府监管的真空状态, 加上回收行业竞争激烈, 很多企业过度追求自身经济利益最大化, 要么不提供上门回收服务, 要么只回

¹**作者简介:** 林晶晶, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为社会治理、城市治理。E-mail:linjingjing929@126.com;
基金项目: 教育部人文社会科学研究专项任务项目“高校思想政治教育有效性动态调查及对策研究——基于大数据与大样本调查面板数据”(17JDSZ1015);四川省哲学社会科学重点研究基地项目“基于需求导向的四川省养老服务业人才机制研究”(XJLL20190015)

收而不注重分类处理，导致二次污染严重，违背了“互联网+再生资源回收”模式构建之初所提出的促进垃圾分类回收与推进城市绿色发展的根本目标。由此可见，“互联网+再生资源回收”模式下城市生活垃圾分类回收服务的顺利推进需要地方政府部门、垃圾分类企业和居民三个主体共同配合，但各主体间的信息不对称与不同利益诉求，引发了城市生活垃圾分类回收的各种问题，从而阻碍“互联网+再生资源回收”模式的发展与推进。因此，如何协调政府、垃圾分类企业与居民三者之间的利益关系，促进三方共同参与到“互联网+再生资源回收”模式当中是推进城市生活垃圾分类行业快速发展的关键问题。

1 文献回顾

再生资源回收与城市生活垃圾分类是推动城市绿色发展和构建“无废城市”的“两驾马车”。近年来，学界对垃圾分类回收处理进行了大量探索和讨论并取得了丰硕的研究成果。从研究内容来看，既有研究更偏重对城市垃圾分类管理的探讨，主要包括城市生活垃圾回收管理的问题与对策^[3,4,5,6]、公众垃圾分类行为及其影响因素^[7,8]、城市生活垃圾收费^[9,10]以及生活垃圾分类回收过程中各主体的责任分析^[11]等方面。从研究方法来看，除了定性分析法之外，演化博弈论作为一种研究各利益主体博弈与互动关系的方法，已被广泛应用于经济管理、政府购买服务等各个领域，包括城市生活垃圾管理，但主要以两方博弈为主，如政府与居民之间、政府与企业之间、高校和大学生之间等。一些学者通过构建政府与居民的演化博弈模型，发现居民的垃圾分类成本、政府的监管成本和惩罚力度是影响城市垃圾分类回收逆向物流监管机制构建的重要因素^[12,13]，其中，政府收费行为与居民垃圾分类行为的演化博弈分析结果表明，除了环保意识，居民的垃圾分类行为还受到垃圾收费制度的影响，合理的垃圾收费制度对于居民垃圾分类行为有一定的促进作用^[14]。张璐和谭刚^[15]基于演化博弈论分析了城市生活垃圾处理中政策执行部门与目标群体之间的互动关系。李达^[16]则通过演化博弈论研究了高校垃圾分类回收监管机制中大学生的声誉资本所起的作用。

构建“互联网+再生资源回收”模式是当前推进再生资源回收体系发展的趋势和重点^[2]，但现有研究对“互联网+再生资源回收”模式的探讨主要集中于地方实践创新^[17,18]、“互联网+再生资源回收”模式构建的问题与对策分析^[19,20]以及废旧家电、旧手机、报废车辆等具体可再生资源的逆向物流机制^[21,22]等问题。其中，刘光富和王群^[23]分析了社会再生资源回收模式面临的主要问题，并提出一种以物联网技术为核心的新型回收模式。魏洁^[24]以废弃电器电子产品为研究对象，分别提出了消费者、正规回收企业、非正规回收企业以及生产者或销售者主导下的废弃电器电子产品“互联网+再生资源回收”模式的构建及其运作机制。此外，也有少数学者研究了再生资源回收体系中各利益主体博弈关系，例如，许民利等^[25]基于不同消费者的行为不同，建立了传统回收商、网络回收商和再制造商主导的再生资源的回收策略模型，研究表明“互联网+再生资源回收”这种联盟式回收是最佳回收方式。吴刚和陈兰芳^[26]建立了家庭再生资源回收的策略博弈模型，并分析了居民与监管部门决策达到纳什均衡的条件。张爽等^[27]则探讨了政府与企业在低值可回收物处理中的演化博弈关系，发现我国近年来低值可回收物回收率低的主要原因在于可回收物回收成本高、回收利用收益低所导致的企业在可回收物治理中参与率低下。杜茂康等^[28]利用博弈论分析了政府、家电企业和市民在废旧家电逆向回收过程中的混合均衡策略，并提出正、负激励机制以推动废旧家电回收逆向物流的发展。

总体而言，目前学界有关再生资源回收方面的研究仍主要以定性分析为主，少量基于博弈的定量分析研究也主要是以两方博弈为主，即政府部门与回收企业、政府部门与居民或是居民与回收企业，缺乏对政府、垃圾分类企业和居民三方博弈互动关系的探讨。城市垃圾分类回收本身是一项系统工程，涉及政府、垃圾分类回收企业、居民三方共同参与，需要政府管理水平、市场参与度与居民分类回收意识三者的同步提高。基于此，本文基于演化博弈论构建了以政府、垃圾分类回收企业、居民为博弈主体的三方演化博弈模型，深入探讨了各主体的行为策略以及达到三方利益均衡的条件，为政府设计了有效的监督与激励机制，以期提高城市生活垃圾分类回收服务的效率与质量。

2 问题描述与模型假设

2.1 问题描述

在推进“互联网+再生资源回收”模式下城市生活垃圾智能回收服务体系的具体实践中，各试点城市的主要做法是以政府为

主导，与垃圾分类企业合作，利用互联网管理垃圾分类，鼓励居民参与，增强其环保意识，最终形成一个良性循环下自觉分类的城市垃圾分类新模式。具体而言，地方政府直接提供资金补助或提供垃圾分类厂址、设备设施等多种方式扶持或补贴垃圾分类企业，让其利用互联网、物联网等技术搭建线上回收服务系统以及线下智能分类设备，形成线上回收信息整合、线下队伍上门回收、货物分拣以及废物循环再生的城市生活垃圾智能分类回收服务体系，并通过积分兑换、绿色账户等激励机制提高居民的参与热情，最终使居民养成良好的垃圾分类回收习惯。“互联网+再生资源回收”模式下的城市生活垃圾智能回收服务体系如图 1 所示。

在实践中，“互联网+再生资源回收”模式下城市生活垃圾智能回收服务体系的推进并非构想中那么理想。主要原因在于，服务的提供者——垃圾分类企业由于企业规模与技术限制，垃圾处理能力较低，加之目标人群与物业沟通困难，人力、物力成本过高，导致短期内难以盈利，出现了小部分企业以盈利为目利用相关优惠政策圈钱的现象，为此，政府对垃圾分类企业进行监督考核与激励就显得尤为重要。此外，由于生活可回收垃圾自身价值原本就较低，对作为垃圾制造者与服务使用者的居民而言，无论是线上售卖还是线下积分兑换或物质奖励，激励作用相对较弱；再者，网上下单、定时定点的垃圾上门取件服务让居民享受一定的便利性的同时也引发了一些安全顾虑，比如担心泄露家庭住址和电话等个人信息，从而导致居民的实际参与意愿不高。由此可见，要实现“互联网+再生资源回收”模式的协调和可持续发展，在政府主导、垃圾分类企业参与与居民行动的基础上，还需要思考垃圾分类企业的服务决策与居民的参与情况会对“互联网+再生资源回收”模式产生何种影响？政府该建立何种激励与惩罚机制以促进更多的垃圾分类企业与居民参与到新模式当中？这些都是关系到如何实现多元主体利益均衡的关键问题。

2.2 模型假设

基于问题的描述，运用演化博弈论对“互联网+再生资源回收”模式中垃圾分类企业、政府与居民三者之间的关系进行探讨，提出以下研究假设：（1）三方主体均为理性经济人，偏好追求自身利益最大化。（2）在博弈与互动过程中，三方主体会通过不断地相互学习与模仿来调整自身行为策略，最终达到稳定的均衡状态。（3）在推进“互联网+再生资源回收”模式中，政府最关心的是监督成本与环境保护。（4）垃圾分类企业提供垃圾上门回收服务可以促进垃圾源头分类，改善环境，降低政府的环保费用；若不提供这项服务，垃圾污染问题得不到缓解，政府则需投入更多成本解决环境污染问题，因而政府需要监督垃圾分类企业并对不提供上门服务的企业实施罚款。其原因在于，政府作为城市环境的维护者或垃圾分类回收服务的购买者，本意是以补贴或购买服务等多种形式让提供“互联网+再生资源回收”服务的垃圾分类企业充分发挥自身专业优势，从而促进城市生活垃圾分类回收与再生资源回收的“两网融合”，如果垃圾分类企业只拿补贴不提供服务给环境造成了损失，政府有权对不作为的企业采取罚款或减少补贴额度等惩罚措施。

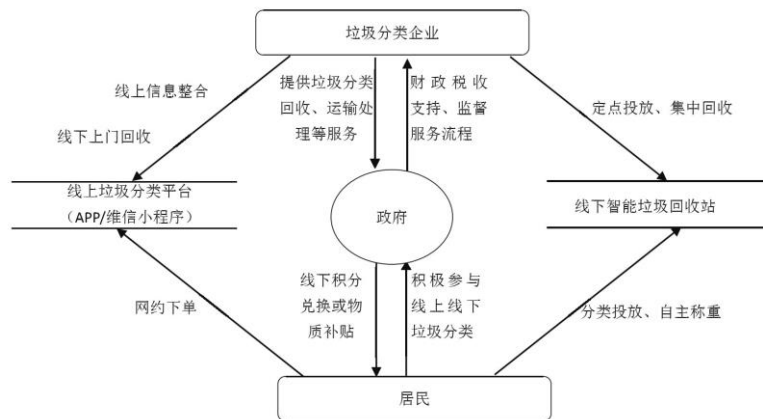


图 1 “互联网+再生资源回收”模式下的城市生活垃圾智能回收服务体系

在推进“互联网+再生资源回收”模式的过程中，垃圾分类企业主要考虑再生资源的回收价值以及线上业务的利润空间，可选择的行为策略为提供和不提供垃圾上门回收服务，简写为提供和不提供，选择这两种行为策略的概率分别为 α 和 $1-\alpha$ ， $\alpha \in [0, 1]$ 。政府则主要考虑垃圾分类与再生资源回收对环境的影响，可选择的行为策略有监督和不监督垃圾分类企业提供服务的情况，简写为监督和不监督，选择这两种行为策略的概率分别为 β 和 $1-\beta$ ， $\beta \in [0, 1]$ 。居民主要考虑参与垃圾分类与再生资源回收所带来的利益收入，可选择的行为策略有参与和不参与垃圾上门回收服务，简写为参与和不参与，选择这两种行为策略的概率分别为 γ 和 $1-\gamma$ ， $\gamma \in [0, 1]$ 。

根据博弈模型的构建原则，假设模型的主要参数及符号。

3 模型构建与分析

3.1 构建收益支付矩阵

根据利益最大化偏好，分别列出政府选择监督和不监督时的三方博弈收益支付矩阵，不同行为策略选择下，各博弈主体的收益与支付矩阵所示。

3.2 期望收益函数

根据收益支付矩阵可计算出政府选择监督和不监督的期望收益 U_{G1} 和 U_{G2} 分别为：

$$U_{G1} = \alpha\gamma(V_G - C_G - I - S) + \gamma(1-\alpha)(F - L - C_G) + \alpha(1-\gamma)(V_G - C_G - S) + (1-\alpha)(1-\gamma)(F - L - C_G) \quad (1)$$

$$U_{G2} = \alpha\gamma V_G - \gamma(1-\alpha)L + \alpha(1-\gamma)V_G - (1-\alpha)(1-\gamma)L \quad (2)$$

则政府的平均期望收益为：

$$\bar{U}_G = \beta U_{G1} + (1-\beta)U_{G2} \quad (3)$$

根据式（1）、式（2）可得政府选择监督策略的复制动态微分方程为：

$$G(x) = \beta(U_{G1} - \bar{U}_G) = \beta(1-\beta)(F - \alpha\gamma L - C_G - \alpha F - \alpha S) \quad (4)$$

同理可得垃圾分类企业选择提供和不提供服务的期望收益 U_{E1} 和 U_{E2} 分别为：

$$U_{E1} = \beta\gamma(V_E - C_E + S) + \beta(1-\gamma)(S - C_E) + \gamma(1-\beta)(V_E - C_E) - (1-\beta)(1-\gamma)C_E \quad (5)$$

$$U_{E2} = \gamma\beta(V'_E - C'_E - F) - \beta(1-\gamma)(C'_E + F) + \gamma(1-\beta)(V'_E - C'_E) - (1-\gamma)(1-\beta)C'_E \quad (6)$$

则垃圾分类企业的平均期望收益为：

$$\bar{U}_E = \alpha U_{E1} + (1-\alpha)U_{E2} \quad (7)$$

根据式（5）、式（6）可得垃圾分类企业选择提供服务的复制动态微分方程为：

$$\begin{aligned} E(x) &= \alpha(U_{E1} - \bar{U}_E) \\ &= \alpha(1-\alpha)(\beta S + \beta F + \gamma V_E - \gamma V'_E + C'_E - C_E) \end{aligned} \quad (8)$$

同理可得居民选择参与和不参与垃圾上门回收服务的期望收益 U_{R1} 和 U_{R2} 分别为：

$$U_{R1} = \alpha\beta(R + I) + \beta R'(1-\alpha) + \alpha R(1-\beta) + R'(1-\alpha)(1-\beta) \quad (9)$$

$$U_{R2} = 0 \quad (10)$$

则居民的平均期望收益为：

$$\bar{U}_R = \gamma U_{R1} \quad (11)$$

根据式（9）、式（10）可得居民参与垃圾上门回收服务的复制动态微分方程为：

$$R(x) = \gamma(1-\gamma)U_{R1} = \gamma(1-\gamma)(\alpha\beta I + \alpha R + R' - \alpha R') \quad (12)$$

联立各博弈主体的复制动态微分方程，求出演化博弈的均衡解为：

$$\begin{cases} G(x) = \beta(1-\beta)(F - \alpha\gamma L - C_G - \alpha F - \alpha S) \\ E(x) = \alpha(1-\alpha)(\beta S + \beta F + \gamma V_E - \gamma V'_E + C'_E - C_E) \\ R(x) = \gamma(1-\gamma)(\alpha\beta I + \alpha R + R' - \alpha R') \end{cases} \quad (13)$$

方程组(13)的解是企业、政府、居民三方的局部均衡点，也就是三方演化博弈模型的均衡解。其中 8 个特殊的均衡点(0, 0, 0)、

$(0, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 0)$ 、 $(1, 0, 0)$ 、 $(1, 1, 0)$ 、 $(1, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 1)$ 、 $(1, 1, 1)$ 构成演化博弈解域的边界 $\{(\alpha, \beta, \gamma) | \alpha=0, 1; \beta=0, 1; \gamma=0, 1\}$ ，所围成的区域 Ω 为三方博弈的均衡解域。一般均衡解 $E=(\alpha, \beta, \gamma)$ 则满足方程组 (14)：

$$\begin{cases} F - \alpha\gamma L - C_G - \alpha F - \alpha S = 0 \\ \beta S + \beta F + \gamma V'_E - \gamma V_E + C'_E - C_E = 0 \\ \alpha\beta I + \alpha R + R' - \alpha R' = 0 \end{cases} \quad (14)$$

解方程组 (14) 可求出 α 、 β 、 γ 的值。根据演化博弈论的性质^[29]，可知求解方程组 (14) 的现实意义实为当企业、政府、居民自身混合行为策略的期望收益相等时，三方博弈达到演化均衡状态。因此，求得企业、政府、居民三方达到演化博弈均衡状态时的均衡解为：

$$\begin{cases} \alpha = \frac{F - C_G}{\gamma L + F + S} \\ \beta = \frac{\alpha(R' - R) - R'}{\alpha I} \\ \gamma = \frac{C'_E - C_E + \beta S + \beta F}{V'_E - V_E} \end{cases} \quad (15)$$

3.3 三方博弈的演化均衡状态分析

(1) 垃圾分类企业选择“提供服务”策略的演化均衡状态。垃圾分类企业达到演化均衡状态是指企业以最优行为策略概率 α 采取提供服务策略，此时其所获得的收益最大。当企业以概率 $\alpha = \frac{F - C_G}{\gamma L + F + S}$ 采取提供策略时，政府最优行为策略是随机选择是否监督垃圾分类企业提供垃圾上门回收服务以及后续的垃圾分类情况；当企业以概率 $\alpha < \frac{F - C_G}{\gamma L + F + S}$ 采取提供策略时，政府最优行为策略是适当提高对企业的监督惩罚力度和财政补贴，以促进垃圾分类企业更好地提供垃圾上门回收服务，从而减轻环境污染等社会福利损失；而当企业以概率 $\alpha > \frac{F - C_G}{\gamma L + F + S}$ 采取提供策略时，政府的最优行为策略则因企业主动提供垃圾上门回收服务而更倾向于采取不监督策略。

此时，由 $\alpha\beta I + \alpha R + R' - \alpha R' = 0$ 可知， α 是 R 、 β 、 I 的增函数。当 R 增大时，表示居民参与垃圾上门回收服务所获得的直接收益增加，居民会倾向于分类回收废旧物品。当 β 增大时，政府选择监督的概率也随之增大，垃圾分类企业为了避免惩罚并得到政府的财政补贴会选择提供垃圾上门回收服务，而居民获取政府补贴的概率也会随之增加，且将主动参与其中。而当 I 增大时，居民参与垃圾上门回收服务可获得政府补贴，将更愿意参与垃圾分类回收服务。无论是增加居民参与垃圾分类服务的收益还是提高政府对企业的监督惩罚力度，在一定程度上都增加了企业的收益，企业提供垃圾上门分类回收服务的概率随之上升。但与此同时， α 还是关于 R' 的减函数，即当 R' 持续增大时，居民更倾向于保持原有的垃圾分类回收方式以获取原有收益。此时，垃圾分类企业会随之倾向于不提供垃圾上门回收服务以获利，因而提供服务的概率会随之降低。

(2) 政府选择“监督”策略的演化均衡状态。政府达到演化均衡状态是指政府以最优行为策略概率 β 采取监督策略，此时垃圾分类服务创造的社会福利效益达到最大。当政府以概率 $\beta = \frac{\alpha(R' - R) - R'}{\alpha I}$ 采取监督策略时，居民最优行为策略为对是否参与垃圾

上门分类回收服务持观望态度；当政府以概率 $\beta < \frac{\alpha(R'-R)-R'}{\alpha I}$ 进行监督时，居民最优行为策略是不参与垃圾上门分类回收服务，原因在于在政府不监督或监督力度较弱的情况下，垃圾分类企业更倾向于不主动提供垃圾上门回收服务，居民也就无法通过参与垃圾上门回收服务获得政府补贴以及回收收益；当政府以概率 $\beta > \frac{\alpha(R'-R)-R'}{\alpha I}$ 进行监督时，则参与垃圾上门回收服务是居民的最优行为策略。

政府作为公共服务的发起人和购买者，虽然对公共服务的提供效率及其质量负有监督责任，但政府也是理性的经济人，根据政府的收益支付矩阵可知，只有当罚款金额 F 设置得足够大的时候，政府才会选择监督策略，而更多情况则是选择不监督。此外，政府是社会公共利益的代表，为了实现绿色经济和循环经济，促进能源资源可持续利用与社会经济可持续发展，政府可以采取优惠政策、财政补贴等多种手段来引导垃圾分类企业提供垃圾上门分类回收服务，从而推动“互联网+再生资源”模式的发展，在其选择行为策略时并非仅仅考虑自身利益最大化。

(3) 居民选择“参与”策略的演化均衡状态。居民达到演化均衡状态是指居民若以最优行为策略概率 γ 参与垃圾上门回收服务，其所获取的收益将达到最大化。当居民以概率 $\gamma = \frac{C'_E - C_E + \beta S + \beta F}{V'_E - V_E}$ 参与垃圾上门回收服务时，垃圾分类企业的最优行为策略为随机选择是否提供服务；当居民以概率 $\gamma < \frac{C'_E - C_E + \beta S + \beta F}{V'_E - V_E}$ 选择垃圾上门分类回收模式时，由于居民参与不足，导致垃圾分类企业缺乏稳定的客源以及可回收生活垃圾使得其收益减少，企业会倾向于不提供垃圾上门回收服务；而当居民以概率 $\gamma > \frac{C'_E - C_E + \beta S + \beta F}{V'_E - V_E}$ 参与垃圾上门回收服务时，企业的最优行为策略是提供垃圾上门回收服务。

$V'_E - V_E$ 表示垃圾分类企业是否提供垃圾上门服务的差额收益，且 γ 是 $V'_E - V_E$ 的减函数，表示当垃圾分类企业不提供服务比提供服务时的收益增加得更多，或是不提供服务比提供服务的收益减少得更少。由于提供服务的收益提高程度远不如不提供服务时的收入提供程度，垃圾分类企业由于难以获利将逐渐失去提供服务的积极性，最终回归到原始的不提供垃圾上门回收服务的状态。由于企业不提供上门服务，居民获益减少，参与度随之降低。此外， γ 也是 β 、 S 、 F 和 $C'_E - C_E$ 的增函数。当 β 增大时，政府的监督力度逐渐增大，垃圾分类企业为获取财政补贴并避免罚款会倾向于提供垃圾上门回收服务；当政府适当提高补贴 S 和罚款金额 F 时，垃圾分类企业因害怕缴纳高额罚款会选择提供服务，并通过政府财政补贴以抵消提供服务所产生的额外费用。当 $C'_E - C_E$ 的值增加时，垃圾分类企业提供和不提供垃圾上门回收服务的成本差距不断缩小，即提供服务比不提供服务的成本减少得更多更快 ($C'_E > C_E$)，此时垃圾分类企业也更倾向于提供垃圾上门分类回收服务，居民参与的概率 γ 也将随着垃圾上门回收服务提供主体的增加而增加。

4 Matlab 仿真分析

运用 Matlab 进行数值模拟可以进一步检验演化博弈模型的分析结果并分析相关变量对各博弈主体行为策略选择的实际影响。利用 Matlab 对垃圾分类企业、政府、居民三方共同参与“互联网+再生资源回收”模式下城市生活垃圾上门分类回收服务过程中所产生的收益和成本进行数值模拟和仿真分析的结果如下。

4.1 财政补贴和行政罚款对垃圾分类企业行为策略选择的影响

适当增加对垃圾分类企业的财政补贴和罚款金额可促使垃圾分类企业更积极地提供垃圾上门分类回收服务，从而推动“互联网+再生资源回收”模式的发展。如图 2、图 3 所示，随着政府对提供垃圾上门回收服务的垃圾分类企业不断提高财政补贴力度 S ，同时对不提供或消极提供服务的垃圾分类企业的行政罚款额度 F 不断增加，垃圾分类企业选择提供服务的概率也随之增

大。由此可见，尽可能提高对垃圾分类企业的财政补贴力度，适当提高对垃圾分类企业的行政罚款额度可以促进其更积极地提供垃圾上门分类回收服务。

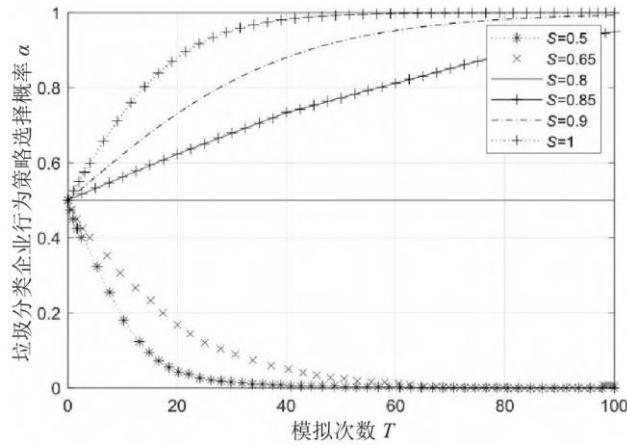


图 2 财政补贴 S 对垃圾分类企业行为策略选择的影响

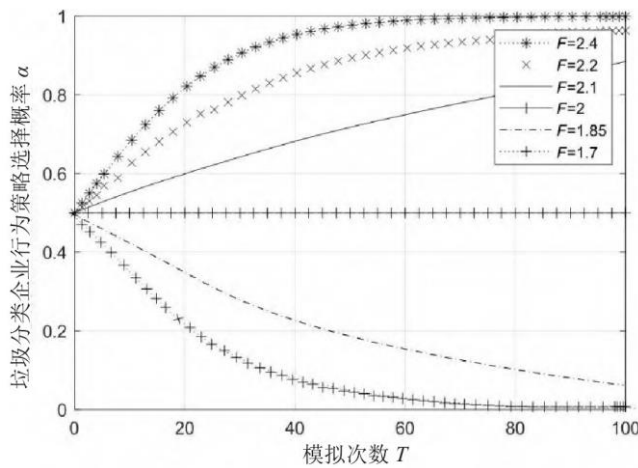


图 3 行政罚款 F 对垃圾分类企业行为策略选择的影响

4.2 行政罚款与监督成本对政府行为策略选择的影响

适当提高对不提供服务的垃圾分类企业的行政罚款额度 F ，可增加政府的收益，同时降低政府的监督成本，并有效促使政府更倾向于采取监督措施，从而确保“互联网+再生资源回收”模式的良性发展。如图 4、图 5 所示，随着对不提供或消极提供服务的垃圾分类企业的行政罚款额度 F 不断增加，同时不断减少政府的监督成本，政府选择监督策略的概率也随之增大。因此，适当提高对垃圾分类企业的行政罚款，减少政府的监督成本能推动政府选择监督服务质量。

4.3 参与垃圾分类的直接收益和政府补贴对居民行为策略选择的影响

增加居民参与垃圾上门回收服务时的直接收益，并提高政府补贴，可以促进居民参与垃圾上门分类回收服务，实现垃圾的源头分类。如图 6、图 7 所示，随着居民参与垃圾上门回收服务过程中所获得的直接收益不断增加，政府补贴的不断提高，居民选

择参与的概率也随之增大。因此，增加居民参与垃圾分类的直接收益，适当提高居民参与的补贴力度，有利于推动“互联网+再生资源回收”模式下城市生活垃圾分类回收服务体系的建立。

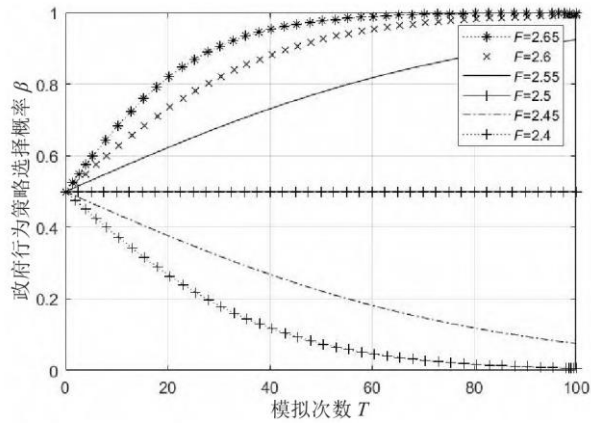


图 4 行政罚款 F 对政府行为策略选择的影响

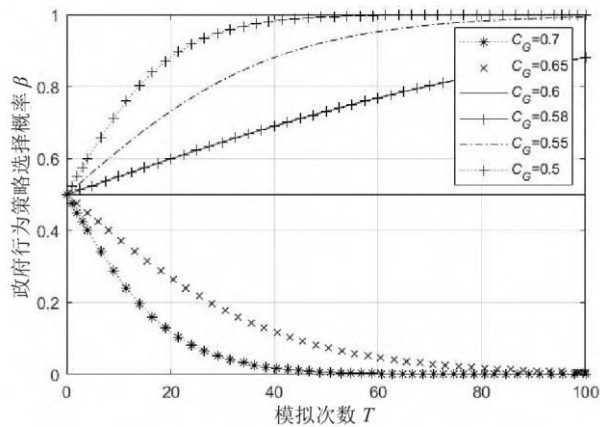


图 5 监督成本 C_G 对政府行为策略选择的影响

5 结论与建议

本文基于演化博弈论，分析了政府、垃圾分类企业与居民在“互联网+再生资源回收”模式下推动城市生活垃圾分类回收服务体系构建中的博弈与互动关系，通过建立三方演化博弈模型，进一步探讨了“互联网+再生资源回收”模式中政府、垃圾分类企业与居民的行为策略、演化博弈规律及其影响因素。研究表明：“互联网+再生资源回收”模式的推进和发展取决于政府、垃圾分类企业与居民互动博弈的过程和结果，其中，政府的监督成本、政府提供给垃圾分类企业和居民的财政补贴、政府对垃圾分类企业的行政处罚力度以及居民参与垃圾分类的直接收益是影响三方在博弈过程中能否达到理想均衡状态的关键因素。

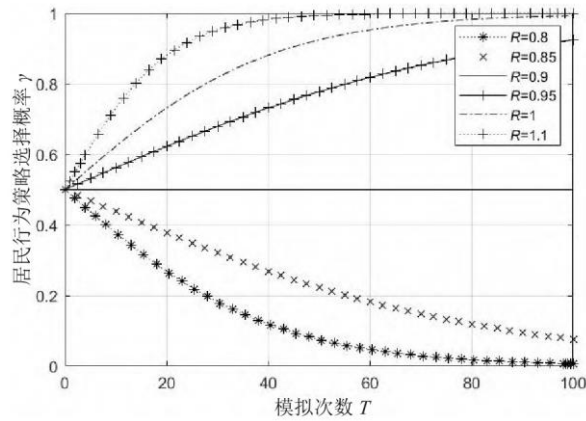


图 6 直接收益 R 对居民行为策略选择的影响

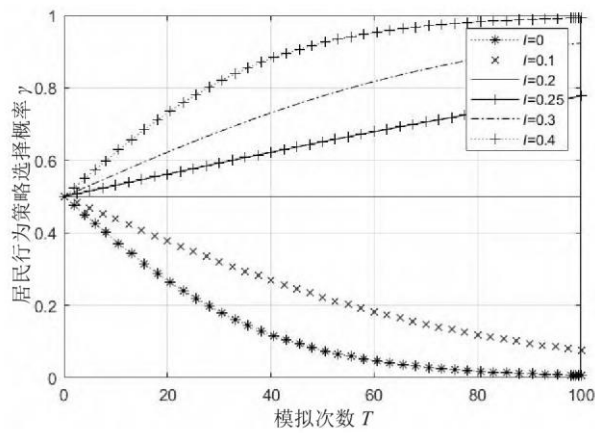


图 7 政府补贴 I 对居民行为策略选择的影响

因此，为了推动“互联网+再生资源回收”垃圾分类回收模式在我国的构建与发展，加快实现城市生活垃圾的源头分类，切实解决垃圾围城和环境污染等问题，实现国家社会的高质量发展，提出以下建议：

(1) 完善相关法律体系，加强管理体制建设。“互联网+再生资源回收”模式作为一种线上线下相结合的新模式，在推行过程中必然面临着各种各样的问题，如线上交易的资金风险问题、垃圾分类不力的责任归属问题等。因此，有关部门应尽快完善“互联网+”背景下再生资源回收市场的法律法规，为“互联网+再生资源回收”模式的发展提供有力的法律保障，确保垃圾分类企业与居民的利益不受损害。与此同时，政府部门还应加强同各部门、社会组织、企业 and 个人的沟通合作，建立高效的协同机制，构建政府、社会组织、企业和个人共同参与、共同监督的城市生活垃圾分类回收体系，从根本上减少垃圾的产生和环境污染，提高可再生资源的利用率。

(2) 政府应加强监督管理，优化激励惩罚机制。政府在推进“互联网+再生资源回收”模式下城市生活垃圾分类回收服务体系的构建过程中应发挥主导作用。一方面要加大资金投入，鼓励和扶持更多的创新型垃圾分类企业加入到“互联网+再生资源回收”服务行业；另一方面要建立和完善有效的激励与惩罚机制，可通过提高补贴和增加监督力度等方式有效促进垃圾分类企业积极提供服务，避免垃圾分类企业只领补贴而不提供服务的不作为行为。此外，通过加强信息公开，将可再生资源的回收定价、回收过程以及后续的分类运输及分类处理各环节全部透明化，接受全社会的监督，降低政府监督成本的同时还可促使垃圾分

类企业提高其服务质量与效率。

(3) 降低垃圾分类企业的运营成本。目前我国垃圾回收行业散乱，回收市场秩序混乱，城市生活垃圾回收与再生资源回收脱节，致使垃圾分类企业面临着收运物流费用较高、回收定价标准不统一等问题，因而短期内难以获利。基于此，政府应加强对回收市场的监管，规范市场定价，并通过整合垃圾分类与再生资源回收以降低垃圾分类企业的运输成本，从而有效提高再生资源的回收利用率。

(4) 鼓励居民参与垃圾分类回收，提高居民环保意识。一是可以采取积分制度正面激励居民积极参与垃圾分类回收，即居民参与线上垃圾分类回收可累计积分，居民可通过积分兑换超市购物券、生活用品等有价物品。二是发挥社区居民的主体作用，以社区为单位，通过宣传栏、社区广播或主题宣讲活动等多种形式加强垃圾分类知识的宣传，引导居民养成生活垃圾分类回收的习惯。此外，政府还应重视对居民的隐私保护，扩大对互联网平台的监管，有效预防财产风险与个人隐私泄露，从根本上消除居民参与智能垃圾分类与再生资源回收服务的顾虑。

参考文献:

[1] 生态环境部. 2018 年全国大中城市固体废物污染环境防治年报 [EB/OL]. (2019-01-17). http://www.sohu.com/a/289701310_673516.

[2] 焦玉稳, 孙绍荣. 中国垃圾围城问题与发展策略探析[J]. 生态经济, 2015(10):103-106.

[3] 叶岚, 陈奇星. 城市生活垃圾处理的政策分析与路径选择——以上海实践为例[J]. 上海行政学院学报, 2017(2):69-77.

[4] 吴清津, 邹锐, 杨春梅, 等. 基于价值共创的垃圾处理服务变革和社会营销策略[J]. 中国人口·资源与环境, 2014(2):119-124.

[5] Doron L. A cost-benefit analysis of a deposit-refund program for beverage containers in Israel[J]. Waste Management, 2010, 30(2):338-345.

[6] 张莉萍, 张中华. 城市生活垃圾源头分类中居民集体行动的困境及克服[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2016(6):50-56.

[7] 徐林, 凌卯亮, 卢昱杰. 城市居民垃圾分类的影响因素研究[J]. 公共管理学报, 2017(1):142-153, 160.

[8] Tobler C, Visschers V H M, Siegrist M. Addressing climate change: Determinants of consumers' willingness to act and to support policy measures[J]. Journal of Environmental Psychology, 2012, 32(3):197-207.

[9] Abbott A, Shasikanta N, O'Shea L. Explaining the variation in household recycling rates across the UK[J]. Ecological Economics, 2011, 70(11):2214-2223.

[10] 薛立强, 范文宇. 城市生活垃圾管理中的公共管理问题: 国内研究述评及展望[J]. 公共行政评论, 2017(1):172-196.

[11] 王伟, 葛新权, 徐颖. 城市垃圾分类回收多元主体利益博弈与差别责任分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017(S2)41-44.

-
- [12]叶健飞, 马慧民, 李祥祥. 城市垃圾分类回收逆向物流监管机制的演化博弈分析[J]. 物流科技, 2015(7):78-82.
- [13]任哲勤, 邵明吉. 生活垃圾减量化主体间演化博弈分析[J]. 价值工程, 2018(6):73-75.
- [14]张爽, 孙绍荣, 马慧民. 居民垃圾分类行为与政府收费行为的演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2018(7):68-75.
- [15]张璐, 谭刚. 公共政策执行中目标群体与执行部门的利益博弈分析——以广州市垃圾分类新规为例[J]. 中共南京市委党校学报, 2014(6):43-46.
- [16]李达. 高校垃圾分类回收监管机制演化博弈分析[J]. 中国环境管理, 2017(5):90-94.
- [17]潘振宇. “互联网+”垃圾智能分类模式的实施效果及优化路径探析——以武汉市为例[J]. 山西农经, 2019(13):83-84.
- [18]赵刚. 北京市朝阳区双井“互联网+垃圾分类”模式[J]. 城市管理与科技, 2017(4):75-77.
- [19]朱玫. 互联网+第三方治理垃圾分类回收的关键途径[J]. 环境经济, 2016(7):75-76.
- [20]彭茂. 再生资源回收物流发展影响因素的 DEMATEL 分析[J]. 软科学, 2016(6):140-144.
- [21]李春发, 来茜茜, 周驰, 等. 处理商主导型手机回收渠道决策演化博弈研究[J]. 软科学, 2019(10):93-99.
- [22]Zarei M, Mansour S, Khashan A H, et al. Designing reverse logistics network for end-of-life vehicles recovery[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2010, 1(20):1-16.
- [23]刘光富, 王群. 基于物联网的社区再生资源回收模式研究[J]. 工业工程与管理, 2013(3):1-4.
- [24]魏洁. 废弃电器电子产品“互联网+”回收模式构建[J]. 科技管理研究, 2016(21):230-234.
- [25]许民利, 邹康来, 简惠云. “互联网+”环境下考虑消费者行为的资源回收策略[J]. 控制与决策, 2019(8):1745-1753.
- [26]吴刚, 陈兰芳. 循环经济发展中的家庭再生资源规范回收决策[J]. 武汉理工大学学报, 2009(10):145-149.
- [27]张爽, 孙绍荣, 马慧民. 低值可回收物管理机制的演化博弈分析[J]. 上海理工大学学报, 2018(3):249-258.
- [28]杜茂康, 陶波, 朱圆. 基于三方博弈的废旧家电回收逆向物流激励推进机制研究[J]. 软科学, 2014(12):55-59.
- [29]Erwin A, Alex P. On the stability of evolutionary dynamics in games with incomplete information[J]. Mathematical Social Sciences, 2009, 58(3):310-321.