

文章编号: 1000-5862(2021)04-0366-10

# 共享单车消费者骑行行为的演化分析

柳 键<sup>1</sup>, 张晋莉<sup>1,2</sup>, 谢 军<sup>1,2</sup>

(1. 江西财经大学信息管理学院, 江西 南昌 330013; 2. 南昌工程学院工商管理学院, 江西 南昌 330099)

**摘要:** 该文运用演化博弈方法, 考虑社会化媒体的舆论作用, 构建运营商与消费者的长期演化博弈模型, 对共享单车消费者的骑行行为进行了分析. 在此基础上, 运用数值仿真模拟分析参与人决策行为的动态变化. 研究表明: 直接收益最大化不能作为决策依据, 参与人应考虑行动的外部性, 并将外部收益纳入收益矩阵中; 适度的社会化媒体曝光, 有效地控制了运营商的惩罚力度, 调整了参与人的策略, 进而调整了系统的演化方向; 同时, 发现运营商过高的惩罚力度或媒体较高的曝光率都会造成系统的不稳定. 共享单车的健康发展, 需要运营商、消费者与社会化媒体的共同努力.

**关键词:** 共享单车; 运营商; 消费者; 演化博弈; 社会化媒体

**中图分类号:** F 272 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2021.04.08

## 0 引言

共享经济的兴起, 转变了经济的增长方式, 推进了供给侧结构性改革, 对“大众创业、万众创新”构建信息时代国家新优势具有重要意义<sup>[1]</sup>. 共享经济是中国经济进入新常态后制造业向服务业的转型, 是新发展理念中“共享”理念的落地, 也是供给侧改革的深化. 目前, 共享经济已经在中国得到了长足的发展, 所涉范围较为广泛. 《中国分享经济发展年度报告 2020》<sup>[2]</sup>指出: 尽管受国际国内宏观经济下行压力加大等多种因素影响, 2019 年中国共享经济市场依然保持良好的态势, 交易额达到 32 828 亿元, 比 2018 年增长 11.6%. 同时, 共享出行、外卖餐饮、共享住宿、共享医疗在网民中的普及率进一步提高.

共享单车的兴起与急速发展有效地解决了城市居民出行的“最后一公里”问题, 满足了绿色出行、低碳经济的发展需求. 但随之而来的市场盲目扩张, 占用了原本属于公众的资源; 消费者随意停放丢弃、恶意破坏、野蛮使用, 这损害了共享单车的健康发展; 政府部门监管不到位, 使运营商与消费者临时受益, 却加速了共享单车走向衰败. 共享单车市场经历了在短时期内出现的投放量激增到运营商逐一退出

市场的惨烈变化, 引发了社会各界对该行业乃至共享经济的争议和质疑. 吸取共享单车发展的经验教训, 共享单车成为城市居民出行“最后一公里”的新选择. 为避免步入共享单车发展的老路, 作为运营商, 该如何约束消费者的骑行行为, 更好地发展共享单车? 本文通过构建共享单车运营商与消费者的演化博弈模型, 研究影响共享单车健康发展的因素, 为共享单车的良性发展提供有益支持.

共享理念的深入, 共享经济应用领域的拓展, 引起了国内外学者们的广泛关注. 从横向来看, 对共享经济的研究主要集中在共享出行上. 一些学者对共享电动汽车进入市场、选择行为、分时租赁、收益分析、放电价格等进行了相关研究<sup>[3-5]</sup>, 更多的研究集中在共享单车上, 学者们对共享单车的运营机制、出现的问题、面临的困境、治理方法等方面展开了深入研究<sup>[6-10]</sup>. 从纵向来看, 对共享经济的研究主要集中在共享经济中规则的制定、政府监管制度、政策支持、信用风险、加强立法等层面. B. Cohen 等<sup>[11]</sup>提出设立共享激励机制实现共享经济的可持续发展; 周亚平等<sup>[12]</sup>以共享单车为例, 研究了共享经济的扩散机制; 另有一些学者对共享经济中的其他问题进行了研究, 包括车辆调度、线路优化等<sup>[13-14]</sup>. 与上述研究不同的是, 本文从微观的角度出发具体研究共享

收稿日期: 2021-05-12

基金项目: 国家自然科学基金(71761015), 江西省高校人文社会科学研究课题(GL19247, GL20136)和江西财经大学研究生创新专项资金(2019-22)资助项目.

作者简介: 柳 键(1964—), 男, 湖南浏阳人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事物流与供应链管理研究. E-mail: liujian3816@263.net

电单车这一新型的出行方式的健康发展.

学者们对共享经济的研究多采用经典博弈理论,即假设参与人是完全理性人且博弈过程是在完全信息条件下进行的.在实际中,共享经济的参与人往往是有限理性人,博弈过程也多处在不完全信息条件下,参与人需要根据外界信息的变化不断调整自己的策略.演化博弈理论将博弈理论分析与动态演化过程相结合,研究随时间变化的群体策略选择过程.认为有限理性的参与人能通过学习把最有利的策略模仿下去,最后达到一种动态均衡<sup>[15]</sup>.其核心为演化稳定策略(ESS)和复制动态方程. ESS 表示某种策略在种群中达到一种稳定状态.复制动态方程则是某种策略在种群中被采用频数的动态微分方程<sup>[16]</sup>.因此,用演化博弈研究共享经济参与人的行为更符合现实,同时,演化博弈理论被广泛应用于经济学<sup>[17-18]</sup>和社会学<sup>[19-21]</sup>的决策中.

与上述文献不同,本文基于共享电单车发展的现状,考虑了决策行为的外部性,并将外部收益纳入收益矩阵中,建立了“运营商—消费者”的演化博弈模型,利用该博弈模型探讨参与人的博弈策略,分析参与人博弈行为的演化均衡稳定性.本文考虑了社会化媒体曝光对共享电单车发展的影响,最后通过数值仿真模拟参与人的策略选择过程,为共享电单

车的健康发展提供参考建议.

1 参与人策略选择的演化分析

本文考虑共享电单车的参与人由共享电单车的运营商(下文简称运营商)和消费者组成,且 2 者为有限理性人,双方会依据对方的行为及外界环境来调整自己的策略.运营商和消费者通过反复博弈,不断试错、总结和调整原有策略.

1.1 模型的基本假设与构建

博弈的参与人由运营商和消费者组成,且 2 者都是有限理性人.运营商的策略集为(约束,不约束),消费者的策略集为(配合,不配合).运营商以  $x(0 \leq x \leq 1)$  的概率约束消费者的骑行行为,以  $1-x$  的概率放任消费者的行为.约束消费者的骑行行为主要包括:不恶意损害破坏电单车;不私自占用、私藏电单车;在运营区域内骑行,遵守交通规则;遵守服务区、禁停区规则;不用于运营商禁止的其他用途等.消费者可以选择积极配合实施,也可以选择消极应对.假设消费者配合运营商约束策略的概率为  $y(0 \leq y \leq 1)$ ,消费者选择不配合策略的概率为  $1-y$ .运营商与消费者的收益矩阵如表 1 所示.

表 1 运营商与消费者的收益矩阵

		消费者	
		配合( $y$ )	不配合( $1-y$ )
运营商	约束( $x$ )	$R_1 + R_2 - C_1, U_1 + U_2 - C_2$	$R_1 + F - C_1, U_1 + U_3 - F - C_2$
	不约束( $1-x$ )	$R_1 - f, U_1 - C_2$	$R_1 + R_3 - f, U_1 + U_3 - C_2$

对在上述收益矩阵中每种策略组合的参与人的收益做出分析:

(i) 当运营商采用约束消费者骑行行为的策略,消费者选择配合运营商的约束策略时,运营商和消费者的收益分别为  $R_1 + R_2 - C_1$  和  $U_1 + U_2 - C_2$ .其中  $R_1$  为在现有市场规模下运营商在提供共享电单车时的租金收益;  $C_1$  为运营商在采用约束策略时需要支付包括人力、物力、财力等方面的成本;  $U_1$  为消费者在骑行电单车时得到的使用效用;  $U_2$  为消费者在配合运营商约束策略时获得的溢出收益,如运营商在采用约束策略时往往设置奖励机制(返现、免费、打折、赠券、增加信用度等举措)来激励消费者合理使用;同时,消费者的合理使用延长了电单车的使用寿命,减少了电单车的报废率,减少了运营商的调度成本和修复工作,增加了运营商隐形收益  $R_2$ ;  $C_2$  为消费者在骑行电单车时需要支付的费用.

(ii) 当运营商采用不约束策略,对消费者的骑

行行为不加干涉,而消费者仍然采用配合支持策略时,运营商和消费者的收益分别为  $R_1 - f$  和  $U_1 - C_2$ .其中  $f$  为运营商在采用不约束策略时带来的自身形象损失.

(iii) 当运营商采用约束策略,而消费者选择不配合运营商的约束策略时,运营商和消费者的收益分别为  $R_1 + F - C_1$  和  $U_1 + U_3 - F - C_2$ .其中  $U_3$  为消费者在不配合运营商时,将电单车用于其他用途或者获得便捷性的外部收益,如将电单车骑行至非运营区域、人为加锁、随意停放等获得的便利性,在获得外部收益后,会面临罚款、扣押金、降低信用等级、禁用账号等罚金  $F$ ,运营商则将罚款作为收入.

(iv) 当运营商采用不约束策略,消费者选择不配合策略时,运营商和消费者的收益分别为  $R_1 + R_3 - f$  和  $U_1 + U_3 - C_2$ .其中在运营商的不约束策略下,由消费者随意使用电单车引起的消费市场扩张,给运营商带来的规模收益为  $R_3$ .

## 1.2 演化稳定均衡分析

对上述收益矩阵分析,在不影响分析结果的前提下,可将 $R_1$ 、 $U_1$ 、 $C_2$ 标准化为0,即 $R_1 = U_1 = C_2 = 0$ .上述收益矩阵表1可简化为表2.

表2 简化后的收益矩阵

		消费者	
		配合( $y$ )	不配合( $1-y$ )
运营商	约束( $x$ )	$R_2 - C_1, U_2$	$F - C_1, U_3 - F$
	不约束( $1-x$ )	$-f, 0$	$R_3 - f, U_3$

1.2.1 运营商约束策略的稳定性分析 根据模型假设和博弈收益矩阵可知,当运营商采用约束策略(即要求消费者合理骑行电单车)时,运营商的期望收益为

$$E_x = y(R_2 - C_1) + (1-y)(F - C_1).$$

当运营商采用不约束策略(即对消费者骑行电单车的行为不做要求)时,运营商的期望收益为

$$E_{1-x} = y(-f) + (1-y)(R_3 - f),$$

从而运营商的期望收益为

$$\bar{E}_x = xE_x + (1-x)E_{1-x}.$$

由Malthusian的动态方程<sup>[22]</sup>可得,运营商采用约束策略的复制动态方程为

$$F(x) = dx/dt = x(E_x - \bar{E}_x) = x(1-x)(y(R_2 + R_3 - F) + F - C_1 + f - R_3). \quad (1)$$

令 $F(x) = 0$ ,得 $x = 0$ , $x = 1$ , $y^* = (F - C_1 + f - R_3) / (F - R_2 - R_3)$ .

对 $F(x)$ 求导,可得

$$F'(x) = (1-2x)(y(R_2 + R_3 - F) + F - C_1 + f - R_3).$$

根据实际情形 $y^* \in [0, 1]$ .当 $y = y^*$ 时, $\forall x \in [0, 1]$ 都有 $F(x) = 0$ ,即任一 $x$ 都是稳定状态.

当 $y \neq y^*$ 时, $x = 0$ 和 $x = 1$ 都是可能的稳定状态,具体结果取决于 $y(R_2 + R_3 - F) + F - C_1 + f - R_3$ 的正负.分情况讨论:

(i) 当 $F > R_2 + R_3$ 时,若 $y(R_2 + R_3 - F) + F - C_1 + f - R_3 > 0$ ,则 $y < y^*$ ,有 $F'(0) > 0$ , $F'(1) < 0$ ,即运营商对消费者骑行行为进行约束是唯一的演化稳定策略;若 $y(R_2 + R_3 - F) + F - C_1 + f - R_3 < 0$ ,则 $y > y^*$ ,有 $F'(0) < 0$ , $F'(1) > 0$ ,即运营商不约束消费者骑行行为是唯一的演化稳定策略.

(ii) 当 $F < R_2 + R_3$ 时,若 $y(R_2 + R_3 - F) + F - C_1 + f - R_3 > 0$ ,则 $y > y^*$ ,有 $F'(0) > 0$ , $F'(1) < 0$ ,即运营商约束消费者骑行行为是唯一的演化稳定策略;若 $y(R_2 + R_3 - F) + F - C_1 + f - R_3 < 0$ ,则 $y < y^*$ ,有 $F'(0) < 0$ , $F'(1) > 0$ ,即运营商不约束消费者骑行行为是唯一的演化稳定策略.

1.2.2 消费者配合策略的稳定性分析 当消费者采用配合策略(即合理使用共享电单车)时,消费者的期望收益为

$$E_y = xU_2.$$

当消费者采用不配合策略时,其期望收益为

$$E_{1-y} = x(U_3 - F) + (1-x)U_3.$$

从而消费者的期望收益为

$$\bar{E}_y = yE_y + (1-y)E_{1-y}.$$

根据Malthusian动态方程理论整理得到消费者采用配合策略的复制动态方程

$$F(y) = dy/dt = y(E_y - \bar{E}_y) = y(1-y)(x(U_2 + F) - U_3). \quad (2)$$

令 $F(y) = 0$ 得到 $y = 0$ , $y = 1$ , $x^* = U_3 / (U_2 + F)$ .

对 $F(y)$ 求导数可得

$$F'(y) = (1-2y)(x(U_2 + F) - U_3).$$

根据实际情形 $x^* \in [0, 1]$ .当 $x = x^*$ 时, $\forall y \in [0, 1]$ 都有 $F(y) = 0$ ,即任一 $y$ 都是稳定状态.

当 $x \neq x^*$ 时, $y = 0$ 和 $y = 1$ 是可能出现的稳定状态,取决于 $x(U_2 + F) - U_3$ 的正负.分情况讨论:

(i) 当 $x(U_2 + F) - U_3 > 0$ 时, $x > x^*$ ,有 $F'(0) > 0$ , $F'(1) < 0$ ,即消费者采用配合运营商的约束策略是唯一的演化稳定策略.

(ii) 当 $x(U_2 + F) - U_3 < 0$ 时, $x < x^*$ ,有 $F'(0) < 0$ , $F'(1) > 0$ ,即消费者采用不配合运营商的策略是唯一的演化稳定策略.

综合对复制动态方程(1)和(2)的分析可得由运营商和消费者组成的动力系统 $S$ 的相位图(见图1和图2).

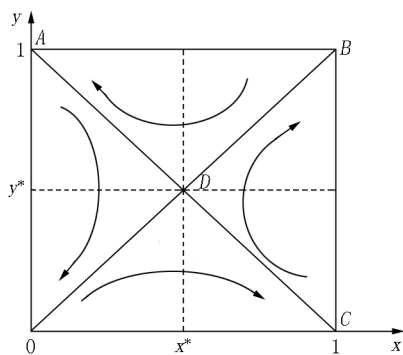


图1 当 $F > R_2 + R_3$ 时,系统 $S$ 的相位图

命题1 当运营商的惩罚力度较大( $F > R_2 + R_3$ )时,参与人在长期演化过程中不会稳定地趋向于某一种行动组合,系统始终处于不稳定状态.

图1显示:当运营商采用约束策略,且其惩罚力度远大于由约束策略带来隐性收益和不约束策略带来的规模收益时,系统最终不会收敛于任意一点,即运营商和消费者在长期的演化中不会有稳定的策略.

组合. 原因在于: (i) 运营商对消费者违规骑行的罚款过高, 这可以大幅增加运营商的罚金收入, 同时也会降低运营商使用约束策略的动力. 综合二者, 运营商倾向于通过罚款来增加收益, 而不是通过约束策略来增加收益; (ii) 过高的罚金增加了消费者不配合策略的风险成本. 基于此, 系统不会趋于稳定状态, 这并不利于共享电单车的良性发展. 因此, 运营商不应设置过高的罚款, 即  $F < R_2 + R_3$ . 运营商应调整罚款的力度, 避免将罚款作为经营的目的, 应把罚款作为调整系统演化方向的手段.

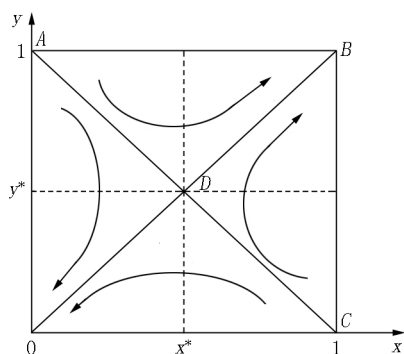


图2 当  $F < R_2 + R_3$  时, 系统  $S$  的相位图

**命题2** 当运营商的惩罚力度较小 ( $F < R_2 + R_3$ ) 时, 参与人在长期演化过程会趋向于2类行动组合(不约束, 不配合) 和(约束, 配合), 系统会在点(0,1) 或点(1,1) 达到稳定状态(见图2).

系统最终的演化方向与鞍点  $D(x^*, y^*)$  的位置有关. 因为  $x^* \in [0, 1]$ , 所以  $0 < U_3 < U_2 + F$ . 因为  $y^* \in [0, 1]$ , 所以  $0 < C_1 + R_3 - f < R_2 + R_3 - F$ , 即  $R_2 > C_1 - f$ . 在图2中  $S_{ABCD} + S_{A OCD} = 1$ , 其中  $S_{ABCD} = ((1 - x^*) + (1 - y^*)) / 2$ ,  $S_{A OCD} = (x^* + y^*) / 2$ . 当  $S_{ABCD} < S_{A OCD}$  时  $x^* + y^* > 1$ , 系统的演化稳定策略会趋向于(不约束, 不配合). 当  $S_{ABCD} > S_{A OCD}$  时  $x^* + y^* < 1$ , 系统的演化稳定策略会趋向于(约束, 配合).

**命题3** 降低消费者在违规使用电单车时获得的外部收益, 增加在规范使用时获得的溢出收益, 增加合理使用电单车带来的运营商隐形收益, 增加不约束带来的形象损失, 以及降低约束成本, 降低不约束策略带来的规模收益, 适当的加强惩罚力度都可以使系统向(约束, 配合) 演化.

证  $\partial S_{ABCD} / \partial U_3 = -1 / (2(U_2 + F)) < 0$ ,  
 $\partial S_{ABCD} / \partial U_2 = U_3 / (2(U_2 + F)^2) > 0$ ,  
 $\partial S_{ABCD} / \partial R_2 = -(F - C_1 + f - R_3) / (2(F - R_2 - R_3)^2) > 0$ ,  
 $\partial S_{ABCD} / \partial f = -1 / (2(F - R_2 - R_3)) > 0$ ,

$$\partial S_{ABCD} / \partial C_1 = 1 / (2(F - R_2 - R_3)) < 0,$$

$$\partial S_{ABCD} / \partial R_3 = -(R_2 + f - C_1) / (2(F - R_2 - R_3)^2) < 0,$$

$$\partial S_{ABCD} / \partial F = U_3 / (2(U_2 + F)^2) + (R_2 + f - C_1) / (2(F - R_2 - R_3)^2) > 0.$$

### 1.3 数值仿真实验

运用演化博弈的思想对运营商和消费者的行为演化做了理论研究, 接下来运用 Matlab 对2者的行为演化过程进行数值仿真, 并对命题1~3进行验证, 对结果进行具体说明.

经过对多家共享电单车运营商进行市场调研, 发现各运营商的运营机制有所区别. 如青桔电单车运营商对合理骑行的消费者推出多种特惠购卡及领取现金, Liubike 电单车运营商增加了消费者在线举报违规用车(违停、加私锁、偷盗、恶意损害) 的通道, 美团电单车运营商则向消费者推出再次骑行的特惠骑行套餐. 而各运营商在运营区内的非还车点还车将收取5~10元的调度费, 在非运营区内还车将收取20~50元的调度费. 另外, 多地规定了具体运维人员配比(一般为60~150辆·人<sup>-1</sup>), 每2000辆电单车需配1辆专门调度车. 所以, 在不影响分析结果的前提下, 根据各数据的内在相关性, 本文将运营参数统一化赋值, 参数设置具体如下:  $F = 10$ ,  $f = 2$ ,  $C_1 = 9$ ,  $R_2 = 12$ ,  $R_3 = 6$ ,  $U_2 = 8$ ,  $U_3 = 4$ . 满足  $F - R_2 - R_3 < 0$ ,  $0 < U_3 < U_2 + F$ ,  $R_2 > C_1 - f$ . 此时,  $x^* = U_3 / (U_2 + F) = 2/9$ ,  $y^* = (F - C_1 + f - R_3) / (F - R_2 - R_3) = 3/8$ . 取初始状态  $x_0 = 0.5$ ,  $y_0 = 0.5$ , 模拟运营商和消费者策略选择的动态演化过程. 模拟结果如图3所示.

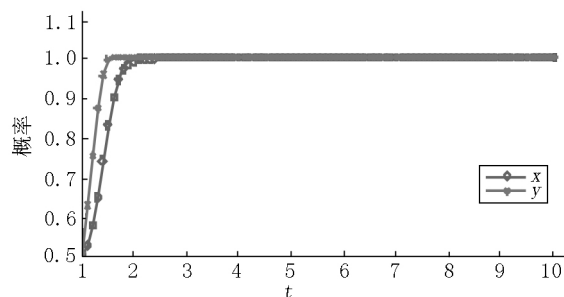


图3 运营商与消费者策略选择的模拟结果

ESS 是运营商约束且消费者配合, 模拟结果与上述分析一致. 由此可见, 不配合策略带给消费者的外部收益、配合策略带给消费者的溢出收益、约束策略对应的约束成本及带给运营商的隐形收益和不约束策略带给运营商的形象损失及规模收益都会影响共享电单车系统演化结果.

从经济学的角度来看, 共享电单车的运营商应

充分考虑行动的外部性,采用不约束策略虽然会引起市场扩张、增加一定的规模收益( $R_3$ ),但同时也会造成自身形象损失( $f$ ),而修复形象可能需要投入更多的成本.因此,运营商在做决策时应将行动的外部性作为决策因素.这与共享单车后来的发展相一致,后期共享单车的运营商在《共享单车的使用规则》中对骑行者的骑行行为做了一定的引导与规范.吸取共享单车发展的经验教训,目前共享单车运营商也出台了各自的运营规范.许多电单车运营商要求在运营区域内骑行,在运营区外会关闭电单车的助力.如美团电单车运营商要求区分线上停车点与线下停车点;Liubike电单车运营商通过APP提供了车辆停放的示意图,要求在还车时必须与示意图摆放一致,否则还车不成功.

从社会学的角度来看,直接收益最大化忽略了行动的外部性及引发的社会影响,将间接收益纳入收益矩阵中,使参与人决策行为与现实情况更加吻合,结果更加合理可靠.参与人的收益应综合考虑直接收益(租金、罚金、约束成本、规模收益)和间接收益(溢出收益、外部收益、形象损失).所以,参与人在决策时 $R_3 > 0$ 以及 $R_3 > R_2$ 都不能是运营商采取不约束策略的依据.

运营商需要约束消费者的骑行行为,营造良好有序的市场环境.共享单车的发展历程表明:不约束策略会使运营商陷入各种“底线竞争”中,不断地“讨好消费者”,使得市场近乎疯狂地扩张,最后却导致“市场失灵”.这与共享单车运营商初期采用无约束策略是分不开的,由于只考虑了直接收益,忽视了间接收益.很多单车企业都走向了破产,如悟空单车、3Vbike、叮叮单车相继倒闭,小蓝单车被“滴滴”接管,连行业内的龙头ofo、mobike也被收购易主.可以预见:若共享单车的运营商不采用约束策略对消费者骑行行为加以控制,则必然会影响到共享单车的发展.因此,运营商实施约束策略,对消费者的骑行行为加以约束,这是共享单车健康发展的重要保证.

## 2 在社会化媒体介入下参与人策略选择的演化分析

随着网络信息技术的发达,“互联网+”的兴起,社会化媒体对社会生活的影响越来越广泛,亦影响着共享单车的发展.在社会化媒体的介入下,会对运营商和消费者的策略造成什么影响?2者又会

做出哪些策略调整?参与人结构图如图4所示.

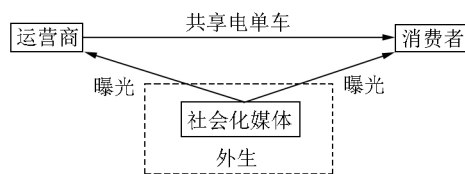


图4 共享单车参与人结构图

### 2.1 在社会化媒体介入下模型的假设与构建

社会化媒体如微博、微信、播客、论坛、SNS、抖音等,通过报道、转载社会事件带来一定的社会影响.社会化媒体一方面可以曝光良好的社会事件,弘扬社会正能量;另一方面会揭露不良的社会现象,规范社会秩序.而社会化媒体对规范有序社会现象的关注度要比不良社会现象的更低.在社会化媒体的介入下,共享单车参与人的演化博弈收益矩阵如表3所示.其中 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $F$ 、 $f$ 同前述假设一致.对在收益矩阵中每种策略组合的参与人的收益做出分析:

(i) 当运营商采用约束策略,消费者选择配合运营商的约束策略时,运营商和消费者的收益分别为 $R_1 + R_2 + \alpha R_4 - C_1$ 和 $U_1 + U_2 + \alpha U_4 - C_2$ .假设社会化媒体以 $\alpha$ 的概率对规范有序的社会现象进行报道.当运营商的约束策略被媒体宣传报道后,可获得积极的形象收益 $R_4$ .消费者由此增加的心理收益为 $U_4$ .

(ii) 当运营商采用不约束策略(即对消费者如何使用电单车不加干涉),而消费者仍然采用配合支持策略时,运营商和消费者的收益分别为 $R_1 - \beta R_5 - f$ 和 $U_1 - \beta U_5 - C_2$ .运营商不约束行为容易被社会化媒体曝光,假设媒体对不良社会现象曝光的概率为 $\beta$ ( $\beta > \alpha$ ),一旦被曝光,会造成运营商经营困难、收入下降等口碑损失 $R_5$ ( $R_5 > R_4$ ).同时,由于社会化媒体的披露,市场会受到影响,给消费者带来的感知损失为 $U_5$ .

(iii) 当运营商采用约束消费者骑行的策略,消费者选择不配合策略时,运营商和消费者的收益分别为 $R_1 + F + \alpha R_4 - C_1$ 和 $U_1 + U_3 + \alpha U_4 - F - C_2$ .此时,虽然消费者并不配合运营商的约束策略,但媒体不会去追究消费者的利己行为,而是对运营商的约束策略褒奖.因此,当社会化媒体对运营商的约束行为进行表扬时,同样会增加消费者的心理收益 $U_4$ .

(iv) 当运营商采用不约束策略,消费者采用不配合策略时,运营商和消费者的收益分别为 $R_1 + R_3 - \beta R_6 - f$ 和 $U_1 + U_3 - C_2 - \beta U_5$ .此时,运营商的

不约束行为会被社会化媒体曝光,给自身造成的损失为  $R_6$ . 且消费者采用的不配合策略也会显示出来,

所以  $R_6 > R_5$ . 由于社会化媒体的披露,给消费者带来感知损失  $U_5$  不会因为消费者的策略而发生改变.

表3 在社会化媒体介入下共享电单车参与人的收益矩阵

运营商	消费者		
	配合( $y$ )		不配合( $1-y$ )
	约束( $x$ )	$R_1 + R_2 + \alpha R_4 - C_1, U_1 + U_2 + \alpha U_4 - C_2$	$R_1 + F + \alpha R_4 - C_1, U_1 + U_3 + \alpha U_4 - F - C_2$
	不约束( $1-x$ )	$R_1 - \beta R_5 - f, U_1 - \beta U_5 - C_2$	$R_1 + R_3 - \beta R_6 - f, U_1 + U_3 - C_2 - \beta U_5$

## 2.2 在社会化媒体介入下参与人的演化稳定均衡分析

构建在社会化媒体介入下共享电单车参与人的动力系统  $S$ . 为方便对演化过程进行分析且不影响分析结果,本文以  $\alpha$  为基准,并将其标准化为 0<sup>[23]</sup>,

考虑社会化媒体对不良社会现象的曝光率  $\beta$  ( $0 < \beta < 1$ ). 同前述考虑一致,在不影响分析结果的前提下,将运营商的租金和消费者的效用及支付的租金标准化为 0,即  $R_1 = U_1 = C_2 = 0$ . 上述表 3 的收益矩阵可简化为表 4.

表4 简化后在社会化媒体介入下共享电单车参与人的收益矩阵

运营商	消费者		
	配合( $y$ )		不配合( $1-y$ )
	约束( $x$ )	$R_2 - C_1, U_2$	$F - C_1, U_3 - F$
	不约束( $1-x$ )	$-\beta R_5 - f, -\beta U_5$	$R_3 - \beta R_6 - f, U_3 - \beta U_5$

### 2.2.1 运营商行为决策的稳定性分析

根据模型假设和博弈收益矩阵可知,在社会化媒体介入下运营商的复制动态方程为

$$F(x) = dx/dt = x(E_x - \bar{E}_x) = x(1-x)(y(R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5)) + F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5). \quad (3)$$

令  $F(x) = 0$ , 得到  $x = 0, x = 1, y^* = (F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5) / (F - R_2 - R_3 + \beta(R_6 - R_5))$ .

对  $F(x)$  求导数, 可得

$$F'(x) = (1-2x)(y(R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5)) + F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5).$$

根据实际情形  $y^* \in [0, 1]$ . 当  $y = y^*$  时,  $\forall x \in [0, 1]$  都有  $F(x) = 0$ , 即任一  $x$  都是稳定状态.

当  $y \neq y^*$  时,  $x = 0$  和  $x = 1$  都是可能的稳定状态, 具体取决于  $y(R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5)) + F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5$  的正负. 分情况讨论:

(i) 当  $R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5) > 0$  时, 即  $\beta < (R_2 + R_3 - F) / (R_6 - R_5)$ , 且  $F < R_2 + R_3$ . 若  $y(R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5)) + F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5 > 0$ , 则  $y > y^*$ , 有  $F'(0) > 0, F'(1) < 0$ , 即运营商对消费者骑行行为进行约束是唯一的演化稳定策略. 若  $y(R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5)) + F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5 < 0$ , 则  $y < y^*$ , 有  $F'(0) < 0, F'(1) > 0$ , 即运营商采用不约束策略是唯一的演化稳定策略.

(ii) 当  $R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5) < 0$  时, 即  $\beta > (R_2 + R_3 - F) / (R_6 - R_5)$ , 且  $F < R_2 + R_3$ . 若  $y(R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5)) + F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5 >$

0, 则  $y < y^*$ , 有  $F'(0) > 0, F'(1) < 0$ , 即运营商对消费者骑行行为进行规范约束是唯一的演化稳定策略. 若  $y(R_2 + R_3 - F - \beta(R_6 - R_5)) + F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5 < 0$ , 则  $y > y^*$ , 有  $F'(0) < 0, F'(1) > 0$ , 即运营商采用不约束策略是唯一的演化稳定策略.

### 2.2.2 消费者行为决策的稳定性分析

同理可得, 在社会化媒体介入下消费者行为决策的复制动态方程为

$$F(y) = dy/dt = y(E_y - \bar{E}_y) = y(1-y)(x(U_2 + F) - U_3). \quad (4)$$

令  $F(y) = 0$ , 得到  $y = 0, y = 1, x^* = U_3 / (U_2 + F)$ .

对  $F(y)$  求导数, 可得

$$F'(y) = (1-2y)(x(U_2 + F) - U_3).$$

根据实际情形  $x^* \in [0, 1]$ . 当  $x = x^*$  时,  $\forall y \in [0, 1]$  都有  $F(y) = 0$ , 即所有  $x$  的都是稳定状态.

当  $x \neq x^*$  时,  $y = 0$  和  $y = 1$  都是可能出现的稳定状态. 分情况讨论:

(i) 当  $x(U_2 + F) - U_3 > 0$  时,  $x > x^*$ , 有  $F'(0) > 0, F'(1) < 0$ , 即消费者采用配合策略是唯一的演化稳定策略;

(ii) 当  $x(U_2 + F) - U_3 < 0$  时,  $x < x^*$ , 有  $F'(0) < 0, F'(1) > 0$ , 即消费者采用不配合策略是唯一的演化稳定策略. 综合对复制动态方程 (3) 和 (4) 的分析可得共享电单车参与人的动力系统  $S$  的相位图 (见图 5 和图 6).

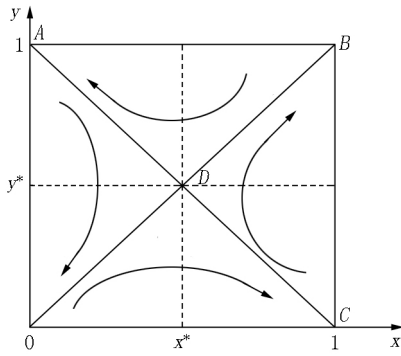


图5 当 $\beta > (R_2 + R_3 - F) / (R_6 - R_5)$ 时,系统 $S$ 的相位图

命题4 当社会化媒体对运营商不约束策略曝光程度较高( $\beta > (R_2 + R_3 - F) / (R_6 - R_5)$ )时,参与人在长期的演化过程中始终没有稳定的行动组合,系统 $S$ 不会收敛于任何一点。

图5表明:当媒体对不约束策略曝光程度较高时,系统在长期演化过程中不会达到稳定状态。究其原因在于:当媒体平台的曝光能力较强时,增加了运营商采用不约束策略的风险;与此同时,消费者发现罚款力度低,会采用不配合策略获得更大的收益;运营商便会牺牲自身形象,采用不约束的策略,进而获得较高的规模收益,而由此带来的社会问题一旦被暴露,运营商又必须采取相关约束策略。由此可见,系统 $S$ 不能呈现稳定状态。

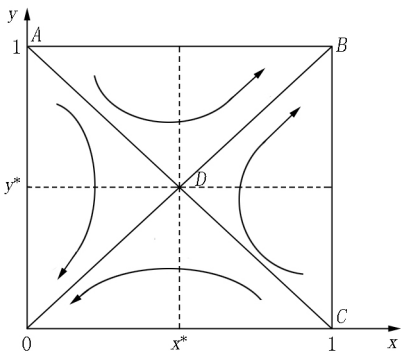


图6 当 $\beta < (R_2 + R_3 - F) / (R_6 - R_5)$ 时,系统 $S$ 的相位图

命题5 当社会化媒体曝光的程度有限( $\beta < (R_2 + R_3 - F) / (R_6 - R_5)$ )时,共享电单车的参与人在长期的演化博弈的过程中会趋向于2类行动组合:(不约束,不配合)和(约束,配合),系统 $S$ 最终会收敛于点 $(0,0)$ 和点 $(1,1)$ 。

在社会化媒体的介入下,系统的演化结果与前述基本模型大体一致。不同之处在于:在社会化媒体的曝光下,有效地控制了罚款力度( $F < R_2 + R_3$ )。运营商不会设置高额的罚款,亦不会将罚款作为运营的目的,罚款成为运营商经营的手段。所以,在社会化媒体的介入下,约束策略使得系统更加有效。

系统最终的演化方向与鞍点 $D(x^*, y^*)$ 的位置

有关。在图6中 $S_{ABCD} = ((1 - x^*) + (1 - y^*)) / 2$ ,  $S_{AOCD} = (x^* + y^*) / 2$ 。当 $S_{ABCD} < S_{AOCD}$ 时 $x^* + y^* > 1$ ,系统的演化稳定策略会更趋向于(不约束,不配合)。当 $S_{ABCD} > S_{AOCD}$ 时 $x^* + y^* < 1$ ,系统的演化稳定策略会更趋向于(约束,配合)。

命题6 在社会化媒体介入下,降低消费者在违规使用电单车时获得的外部收益,增加在规范使用时获得的溢出收益,增加规范使用电单车带来的运营商隐形收益、增加不约束带来的形象损失、降低约束成本、降低不约束策略带给规模收益和适当的加强惩罚力度都可以使系统向(约束,配合)演化。

$$\text{证 } \partial S_{ABCD} / \partial U_3 < -1 / (2(U_2 + F)) < 0,$$

$$\partial S_{ABCD} / \partial U_2 = U_3 / (2(U_2 + F)^2) > 0,$$

$$\partial S_{ABCD} / \partial R_2 = -(F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5) / (2(F - R_2 - R_3 + \beta(R_6 - R_5))^2) > 0,$$

$$\partial S_{ABCD} / \partial f = -1 / (2(F - R_2 - R_3 + \beta(R_6 - R_5))) > 0,$$

$$\partial S_{ABCD} / \partial C_1 = 1 / (2(F - R_2 - R_3 + \beta(R_6 - R_5))) < 0,$$

$$\partial S_{ABCD} / \partial R_3 = (R_2 + f - C_1 + \beta R_5 - \beta(R_6 - R_5)) / (2(F - R_2 - R_3 + \beta(R_6 - R_5))^2) < 0,$$

$$\partial S_{ABCD} / \partial F = U_3 / (2(U_2 + F)^2) + (R_2 + f - C_1 + \beta R_5 - \beta(R_6 - R_5)) / (2(F - R_2 - R_3 + \beta(R_6 - R_5))^2) > 0.$$

命题7 社会化媒体的曝光力度对系统的演化方向有一定的影响,在一定的条件下,增加曝光力度可以使系统向(约束,配合)演化。同时,过高的曝光度使系统向(不约束,不配合)演化。

$$\text{证 } \partial S_{ABCD} / \partial \beta = U_3 / (2(U_2 + F)^2) + ((2R_5 - R_6)(F - R_3) - (R_5 - R_6)(C_1 - f) - R_5 R_2) / (2(F - R_2 - R_3 + \beta(R_6 - R_5))^2).$$

当 $\partial S_{ABCD} / \partial \beta > 0$ 时,系统向(约束,配合)演化,系统收敛于 $(1,1)$ 。当 $\partial S_{ABCD} / \partial \beta < 0$ 时,系统向(不约束,不配合)演化,系统收敛于 $(0,0)$ 。

利用社会化媒体并合理控制其曝光力度,这可以有效地避免运营商将罚款作为增加收益的目的,更好地调节系统演化方向,使系统更加有效,使共享电单车处于良性有序的发展中。

由此可见,仅仅依靠社会化媒体的曝光,或者过度地依赖于社会化媒体,并不能使系统达到稳态。媒体曝光并不能完全取代运营商的约束策略,但可以使系统更加有效。在社交媒体的介入下,运营商应因势利导,一方面合理发挥社交媒体的曝光能力,另一方面实施约束策略。

### 2.3 数值模拟仿真

运用 Matlab 软件对在社会化媒体介入下参与人的策略选择过程进行仿真,对研究结果进行验证。

参数赋值参照本文 1.3 节  $\beta$  的赋值参考文献 [23]。具体参数赋值如下:  $F = 10$ ,  $f = 2$ ,  $C_1 = 7$ ,  $R_2 = 12$ ,  $R_3 = 6$ ,  $U_2 = 8$ ,  $U_3 = 4$ ,  $R_4 = 2$ ,  $R_5 = 3$ ,  $U_5 = 3$ ,  $R_6 = 15$ ,  $\beta = 0.2$ , 满足  $F - R_2 - R_3 < 0$ ,  $\beta < (R_2 + R_3 - F) / (R_6 - R_5)$ 。此时  $x^* = U_3 / (U_2 + F) = 2/9$ ,  $y^* = (F - C_1 + f - R_3 + \beta R_5) / (F - R_2 - R_3 + \beta(R_6 - R_5)) = 1/14$ 。取初始状态  $x_0 = 0.5$ ,  $y_0 = 0.5$ , 模拟运营商和消费者策略选择的演化过程。模拟结果如图 7 所示。

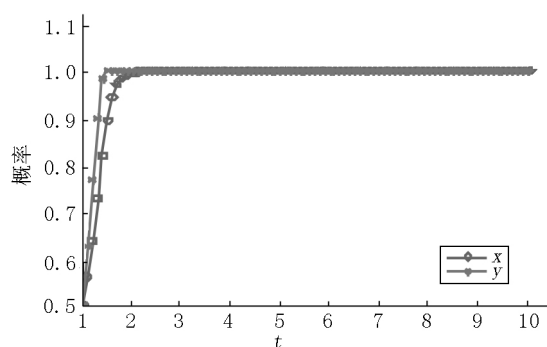


图7 在社会化媒体介入下系统 S 的模拟演化结果

合理地发挥社会化媒体曝光的作用对共享单车的发展有重要的影响。共享单车的健康发展,需要参与人和社会化媒体的共同努力。

从经济学的角度来看,社会化媒体的介入可以有效地降低参与人的投机收益,促进共享单车健康有序地发展。从社会学的角度来看,社会化媒体应发挥其舆论导向作用,引导电单车的发展趋势,而不是把责任全部推给运营商或者消费者。

在社会化媒体的曝光下,有效地控制了运营商对违规骑行的罚款力度,同时保障了运营商采用约束策略的收益,增加了运营商引导消费者合理骑行的动力。共享单车是企业供给的公共服务,在增加供给、全面共享、全员共享以及供给侧改革等方面发挥着重要的作用。消费者应该明确共享单车的共享性质,遵守社会化媒体的软约束,运营商在进行共享决策时,不能把直接收益最大化作为唯一的标准,而应综合考虑行动的外部性及其带来的社会收益,如溢出收益、规模收益等。

## 3 结论与建议

共享单车的健康发展在客观上对运营商及消

费者提出了新的挑战,借鉴共享单车发展的经验与教训,避免出现在共享单车发展中的重复性问题,步入共享单车发展的老路。本文运用演化博弈的相关理论,从运营商是否约束消费者的骑行行为以及消费者是否配合运营商的约束策略出发,研究了二者之间的长期动态演化过程,并重点分析了在社会化媒体曝光下二者博弈策略的演化过程及结果。主要的研究结论如下:

1) 从公共管理角度来看,运营商若不能正确引导消费者的骑行行为,发挥其约束职能,则必然会引发“公共地悲剧”的社会问题,共享单车的发展最终会陷入运营商之间的“底线竞争”中;

2) 从经济学的角度来看,共享单车有一定的公共物品的性质,参与人不应该将直接收益最大化作为决策目标,而应综合考虑其行为的外部性,即在本研究中决策带来的溢出收益、隐性收益、形象损失等;

3) 适度的社会化媒体曝光既有利于控制运营商过高的罚款行为,又有利于运营商约束消费者的违规骑行行为,使消费者积极主动的配合运营商,实现共享单车的良性发展。

共享经济的发展对市场结构有着重要的影响,资本的逐利性可能会异化共享经济的理念,对社会体制和公共秩序造成破坏,从而影响经济的可持续发展<sup>[24]</sup>。因此探寻符合市场规律的参与人的策略,是实现共享单车健康有序发展的重要方案。根据研究结论,本文分别从运营商、消费者和社会化媒体的角度针对性地提出一些对策建议:

1) 运营商应对消费者的骑行行为加以约束,对违规骑行行为加以处罚。若运营商采用放任态度,虽然可以扩大市场规模,但不是长久之计,最终会导致“公共地悲剧”,步入共享单车发展的老路。共享单车企业初期为抢占市场份额一味地迎合消费者,助长了消费者违规使用共享单车的行为,从而造成了社会秩序的混乱,难以自拔。当共享市场相对稳定后,由不约束策略带来的规模收益逐渐消失,而不约束策略引起不良后果会在后期凸显,如电单车破损率增加、使用寿命缩短、保养维护成本上升等,使其陷入新的困境中。因此,一味地放纵消费者,不加以任何约束,不是发展之需,最终会限制共享单车的发展。相比之下,增加消费者在合理骑行时获得的溢出收益,能使运营商获得持续的共享收益。因而,在鼓励共享单车发展的同时,对消费者的违规骑行



行为实施惩罚,有利于共享电单车市场的健康发展.

2) 消费者应配合运营商的约束策略. 共享电单车的便利性是消费者选择的根本原因,因此消费者在使用电单车时不单是考虑自身使用的便捷性,还要为其他消费者的后续使用及电单车的可持续性着想. 消费者的合理骑行行为可以延长电单车的寿命,降低运营商和其他消费者使用成本. 所以,增加消费者在合理骑行时的溢出效益,并配合运营商的约束策略,可为共享电单车的健康发展创造条件.

3) 有效发挥社会化媒体的曝光作用,为共享电单车营造有序的发展空间. 在社会化媒体的介入下,通过对运营商和消费者的行为进行曝光,引导运营商设置合理的约束策略,在一定的程度上弥补了约束不到位的空隙. 同时,运营商不能过度依靠社会化媒体的曝光,过高的曝光率并不能使系统进入稳定状态,即社会化媒体的曝光作用并不能代替运营商的约束策略. 合理的控制曝光率,并配合运营商的约束策略,可以使系统更加有效.

本文分析了共享电单车发展的因素,并从演化博弈的角度证明了共享电单车的发展需要运营商、消费者以及社会化媒体的共同努力. 本文指出:在社会化媒体的曝光下,运营商的约束、消费者的配合是相对稳定的演化结果;而运营商的罚款程度、社会化媒体的曝光力度等因素会影响系统的演化结果. 为运营商制定合理有效的约束策略提供依据,为共享电单车的良性发展提供支持.

## 4 参考文献

- [1] 肖倩,林孔团. 共享单车规范发展的演化博弈分析:基于利益相关者视角[J]. 西南交通大学学报:社会科学版,2018,19(3):31-40.
- [2] 国家信息中心分享经济研究中心. 中国共享经济发展报告(2020) [EB/OL]. [2021-03-09] [2021-03-09]. <http://www.sic.gov.cn/News/568/10429.htm>.
- [3] 余静财,李文权,王顺超,等. 共享电动汽车选择行为分析[J]. 东南大学学报:自然科学版,2021,51(1):153-160.
- [4] 张立章,徐顺治,纪雪洪,等. 汽车分时租赁行业发展政策研究[J]. 宏观经济管理,2019(7):85-90.
- [5] Lin Guoying, Feng Xiaofeng, Lu Shixiang. Revenue optimization strategy of V2G based on evolutionary game[J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2020, 36(1):50-55.
- [6] 甘建元,张邻,黄小晴,等. 共享单车的投放研究:以南昌市为例[J]. 数学的实践与认识,2018,48(23):10-16.
- [7] 靳镇通,刘红. 中国共享单车发展历程及协同治理研究[J]. 科技促进发展,2020,16(8):946-951.
- [8] 谭袁. 共享单车“底线竞争”问题探究及防治[J]. 价格理论与实践,2017(3):36-40.
- [9] 王政贻,何得桂. 共享单车发展面临的主要问题与治理路径研究:基于公共产品理论的视角分析[J]. 价格理论与实践,2017(8):140-143.
- [10] 郭鹏,林祥枝,黄艺,等. 共享单车:互联网技术与公共服务中的协同治理[J]. 公共管理学报,2017,14(3):1-10,154.
- [11] Cohen B, Kietzmann J. Ride on! mobility business models for the sharing economy[J]. Organization and Environment, 2014, 27(3):279-296.
- [12] 周亚平,游勇. 分享与共荣:共享经济的扩散机制研究:以共享单车的扩散为例[J]. 兰州大学学报:社会科学版,2018,46(1):23-32.
- [13] 高俊杰,崔晓敏,赵鹏,等. 基于需求预测的单向共享电动汽车车辆调度方法[J]. 大连理工大学学报,2019,59(6):648-655.
- [14] 王宁,张文剑,刘向,等. 电动汽车共享站点间车辆人工调度策略[J]. 同济大学学报:自然科学版,2018,46(8):1064-1071.
- [15] Friedman D. Evolutionary game in economics[J]. Econometrica, 1991, 59(3):637-666.
- [16] 程敏,刘彩清. 基于系统动力学的拆迁行为演化博弈分析[J]. 运筹与管理,2017,26(2):35-41.
- [17] 周永圣,梁淑慧. 供应链中绿色技术创新合作的演化博弈分析[J]. 江西师范大学学报:自然科学版,2017,41(1):28-34.
- [18] 潘定,谢茜. 数字经济下政府监管与电商企业“杀熟”行为的演化博弈[J]. 经济与管理,2021,35(1):77-84.
- [19] 常建伟,赵刘威,杜建国. 企业环境行为的监管演化博弈分析和稳定性控制:基于系统动力学[J]. 系统工程,2017,35(10):79-87.
- [20] 孙丹,韩松,江丽. 非正式制度的层次和作用:基于农地制度变迁的动态演化博弈模型[J]. 北京理工大学学报:社会科学版,2021,23(2):56-68.
- [21] 于跃,李雷鸣. 私家车合乘共享背景下居民通勤模式选择行为演化博弈[J]. 北京理工大学学报:社会科学版,2021,23(2):112-122.
- [22] Weibull J W. Evolutionary game theory [M]. London: MIT Press, 1997.
- [23] 赵菊,邱菊,侯春波. 准公共产品:基于政府监管机制的共享单车投放管理研究[J]. 中国管理科学,2021,29(1):149-157.
- [24] 董成惠. 共享经济:理论与现实[J]. 广东财经大学学报,2016,31(5):4-15.

## The Evolutionary Analysis on Consumers' Cycling Behavior of Shared Electric Bikes

LIU Jian<sup>1</sup> ZHANG Jinli<sup>1 2</sup> XIE Jun<sup>1 2</sup>

( 1. School of Information Technology ,Jiangxi University of Finance and Economics ,Nanchang Jiangxi 330013 ,China;

2. School of Business Administration ,Nanchang Institute of Technology ,Nanchang Jiangxi 330099 ,China)

**Abstract:** In this paper a long-term evolutionary game is constructed between operators and consumers considering the social media to research the cycling behavior of consumers. On this basis numerical simulation is used to analyze the dynamic change of participants' decision-making behavior. The results show that the decision cannot be made according to the direct benefit only and the externality of actions with the external benefits shall be considered into the payoff matrix. Appropriate social media exposure effectively limits the operators' punishment and adjusts the strategies of participants even the evolution direction of the system. At the same time it is found that the excessive operators' punishment or the high media's exposure rate will lead to the instability of the system. The healthy development of shared electric bikes requires the efforts of operators consumers and social media.

**Key words:** shared electric bikes; operators; consumers; evolutionary game; social media

( 责任编辑: 曾剑锋)

( 上接第 352 页)

## The Credibility Model with Risks Dependence Structure for Moment-Related Premium Principle

LI Xinpeng<sup>1</sup> WU Lijun<sup>2</sup>

( 1. College of Mathematics and Physics ,Xinjiang Agriculture University ,Urumqi Xinjiang 830052 ,China;

2. College of Mathematics and System Sciences ,Xinjiang University ,Urumqi Xinjiang 830046 ,China)

**Abstract:** The classical credibility theory can only compute experience net premiums and is difficult to be transplanted to general premium calculation principles. On the other hand it assumes that the claim amounts of different insurance policy in a portfolio are independent it doesn't consider the risks' dependence. An unified premium principle that is moment-related premium principle which can be expressed as functional of moment generating functions and considers risks' dependence is used. The credibility idea is applied to moment generating functions and the estimates of risk premiums with risks dependence structure are established the unbiased estimators of structure parameters are obtained thus generalizing the classical credibility theory.

**Key words:** moment-related premium principle; risks dependence structure; credibility premium

( 责任编辑: 曾剑锋)