

共享停车平台参与下的三方演化博弈 策略分析



吴淼^{1,*}, 姜楠^{1,2}, 柯吕¹

¹武汉科技大学理学院, 湖北武汉 430081

²北京师范大学系统科学学院, 北京 100875

摘要: 目前共享停车已经成为解决城市“停车难”问题的主要方法之一。为了促进共享停车平台发展, 推广共享停车产业, 本文构建了以出行者, 停车位拥有者, 共享停车平台为主体的三方演化博弈模型, 探讨了共享停车平台的停车收费和服务费收费标准对演化均衡的影响, 对共享停车平台制定收费标准提供建议, 并对模型进行了数值仿真分析。结果表明: 三方主体演化策略互相影响; 停车费和服务费的改变对停车位拥有者的策略选择影响较大; 降低停车费收费, 可以增强出行者使用共享平台的意愿, 提高系统达到稳定状态的速度。根据三方的演化比例, 适当增加平台收取的服务费, 也能提高系统达到稳定状态的速度, 最终使系统达到共享停车平台开设, 出行者、停车位拥有者使用共享停车平台的演化均衡状态, 促进共享停车产业良好发展。

关键词: 共享停车; 三方演化博弈; 演化均衡

DOI: [10.57237/j.wjms.2023.03.001](https://doi.org/10.57237/j.wjms.2023.03.001)

Tripartite Evolutionary Game Analysis Under Shared Parking Platform Participation

Wu Miao^{1,*}, Jiang Nan^{1,2}, Ke Lv¹

¹School of Science, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China

²School of Systems Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: At present, shared parking has become one of the main ways to solve the problem of "difficult parking" in cities. In order to promote the development of shared parking platforms and promote the shared parking industry, this paper constructs a tripartite evolutionary game model with travelers, parking space owners and shared parking platforms as the main body, discusses the impact of parking fees and service fees on the evolutionary equilibrium of shared parking platforms, provides suggestions for the formulation of charging standards for shared parking platforms, and carries out numerical simulation analysis on the model. The results show that the three evolution strategies influence each other; The change of parking fee and service fee has a great influence on the strategy choice of parking space owners. Reducing parking fees can increase travelers' willingness to use the shared platform and improve the speed at which the system reaches a stable state. According to the evolution ratio of the three parties, appropriately increasing the service fee charged by the platform can also improve the speed of the system to reach a stable state, and finally make the system

基金项目: 武汉科技大学大学生创新创业计划 (编号: 2022157).

*通信作者: 吴淼, 1601345558@qq.com

收稿日期: 2023-08-22; 接受日期: 2023-09-25; 在线出版日期: 2023-10-09

<http://www.wjoms.com>

reach the evolutionary equilibrium state of the shared parking platform opening, travelers and parking space owners using the shared parking platform, and promote the good development of the shared parking industry.

Keywords: Shared Parking; Tripartite Evolutionary Game; Evolutionary Equilibrium

1 引言

随着社会经济的高速发展和城市化进程的不断加快, 为汽车的发展提供了巨大的空间, 据公安部统计, 2022年全国机动车保有量达4.17亿辆, 其中汽车3.19亿辆, 占比76.1% [1]。由于自驾出行的便捷性和自由性, 越来越多的人选择自驾出行, 停车需求也不断增大, 因此, “停车难”的问题亟待解决。由此导致的违章停车行为也越来越多。中国36个大城市所有交通违法行为查处中, 违章停车查处量占比最高, 且远高于其他道路违法行为发生数量[2]。其原因之一: 不能合理分配不同区域的停车位需求, 空闲停车位不能有效利用。2019年中国停车场的平均空置率为51.3%, 南京市事业单位和政府机关停车位夜间利用率为40%~50%。这意味着: 一方面, 大量停车位闲置浪费; 另一方面, 很多车辆无处可停而导致路内违章停车[3], 因此搭建共享停车平台, 可以帮助出行者找到闲置的停车位, 使停车更加便捷; 还可以让停车位拥有者出租自己闲置的停车位从而获得收益; 还有利于减少违章停车的数量, 减少安全隐患。进一步, 达到“三赢”的目的, 践行绿色、开放、创新、协调、共享的发展理念。

共享停车概念最早在2000年代初期开始出现。并在2008年美国旧金山的创业公司ParkatmyHouse(现在称为JustPark)成立, 成为最早的共享停车平台之一。该平台允许车主将闲置的停车位出租给其他车主使用。随着智能手机的普及, 共享停车开始受到更广泛的关注。一些新兴公司推出了基于手机应用的共享停车平台, 使停车位的预订和租赁更加便捷。共享停车涉及到参与方之间的利益分配和收益获取等问题。博弈论可以研究共享停车系统中不同参与方的收益和效用函数, 分析合作和竞争之间的关系, 以及如何实现最优的利益分配, 提供了对共享停车系统中参与方间收益分配和合作机制的理解和优化。

近年来, 演化博弈理论(Evolutionary game theory)[4, 5]综合了经典博弈论及生物演化动力学的基本思想以揭示群体行为的变化特征。演化博弈理论

是一种建立在参与主体“有限理性”基础之上的博弈。具有有限理性的博弈参与人不会在最开始就选择最佳策略, 而是通过不断地学习、选择, 最终达到动态演化的稳定状态。演化博弈理论被广泛应用于经济学[6-8], 金融学[9-13, 22]等多个领域[14]。演化博弈论在共享停车相关问题的研究中也有较多应用。贾富强[15]等研究了在政府鼓励条件下, 出行者和车位拥有者的演化博弈稳定性分析; 王洪飞[16]等深入研究了以政府, 企业, 停车位拥有者为主体的三方演化博弈, 分析了不同策略对停车产业推广的影响; 王晓青[17]等使用博弈模型通过社区停车位共享试点项目为基础, 针对城市中心居住区特点, 从风险角度分析停车资源共享的最优均衡, 并提出可行性评估和引导措施; 段满珍[18]通过分析城市中心居住区停车问题及资源共享, 提出博弈论和共享停车理论相结合的研究方法, 建立共享停车选择行为的动态博弈模型, 探索解决城市停车困难的对策建议; 孙超[19]等研究了一种面向出行系统最优配置的停车选择及泊位分配整合模型, 提升了城市出行及停车供需匹配的效率; 龙朝党[20]基于共享泊位的时空特性和使用特点, 将共享泊位分为敏感泊位和非敏感泊位; 并针对不同类型的共享泊位进行停车设施时空资源容量研究, 提出基于泊位共享的停车设施时空资源匹配方法。

在共享停车过程中, 共享停车平台发挥着非常重要的作用。它可以利用互联网平台实现停车资源及时互享, 减少空间资源的浪费, 促进停车位资源的高效配置与利用[21], 还可以解决停车收费标准过高的问题。因此, 为了研究共享停车平台开设的可行性与开设后平台的收费标准。本文以出行者, 停车位拥有者, 共享停车平台三个博弈方为博弈主体, 构建了三方演化博弈模型, 探讨演化模型路线与演化稳定点, 并使用Python进行数值仿真, 分析了出行者使用共享停车平台享受到的优惠以及共享停车平台的收益对系统的影响, 并给出建议。

2 以出行者、停车位拥有者、共享停车平台为主体的演化动态模型

2.1 模型假设与参数说明

本文将出行者，停车位拥有者，共享停车平台三个利益方作为博弈的主体，且三方博弈主体均是有限理性的，并且具有自主学习能力。在本文，停车位拥有者指居住区停车场、公共停车场和独立的私家车位等停车设施。

假设一：出行者有使“用共享停车平台(U)”和“不使用共享停车平台(NU)”两种策略，概率分别为 x 和 $(1-x)$ ，其中 $x \in [0,1]$ ；停车位拥有者有“使用共享停车平台(S)”和“不使用共享停车平台(NS)”两种策略，概率分别为 y 和 $(1-y)$ ，其中 $y \in [0,1]$ ；共享停车平台有“开放共享平台(O)”和“不开放共享平台(NO)”两种策略，概率分别为 z 和 $(1-z)$ ，其中 $z \in [0,1]$ 。

假设二：出行者在出行到达目的地后停车会支出出行成本 C_b ，如油费等。当出行者使用共享停车平台时可以节省停车成本 C_j 。为了保证停车位拥有者和共享停车平台的收益，故对加入共享停车平台的出行者未规范停车增加成本 C_e ；停车位拥有者在购买车位时会支出固定成本 P_g ，为了防止共享停车位被其他车辆

占据，故对未规范使用共享停车位的停车位拥有者增加额外费用 P_e ，由于加入了共享停车平台，停车位拥有者可以有更多的停车次数，故假设此处给停车位拥有者带来的收益为 P_c ；共享停车平台在搭建共享停车APP时所付出的固定成本为 T_g ，每次停车共享停车平台可以获得收益 T_e ，停车位拥有者若加入共享停车平台需要支付加盟费 T_c 。模型中参数设置如表1所示。

表 1 参数定义

分类	参数	定义
出行者	C_b	出行者不使用共享停车时停车成本
	C_j	出行者使用共享车位节约成本
	C_e	出行者违规使用共享停车平台的成本
停车位拥有者	P_g	车位拥有者车位固定支出成本
	P_e	车位拥有者让非共享停车出行者停车的损失
	P_c	停车位拥有者使用共享停车平台收益
共享停车平台	T_g	平台开设支出的固定成本
	T_e	平台抽取的利润
	T_c	平台收取停车位拥有者的加盟费

2.2 三方博弈模型构建

根据以上假设和定义，我们可以建立以出行者，停车位拥有者，共享停车平台为主体的三方博弈收益矩阵，如表2所示。

表 2 三方博弈矩阵

停车位拥有者	共享平台	出行者	
		使用共享平台 x	不使用共享平台 $1-x$
使用共享平台 y	开设 z	$-C_b + C_j$ $-P_g + C_b - C_j - T_e + P_c - T_g + T_e + T_c$	$-C_b$ $-P_g - P_e + P_c$ $T_g + P_e + T_c$
	不开设 $1-z$	$-C_b$ $-P_g$ $-T_g$	$-C_b$ $-P_g$ $-T_g$
不使用共享平台 $1-y$	开设 z	$-C_b + C_j - C_e$ $-P_g$ $-T_g + T_e + C_e$	$-C_b$ $-P_g$ $-T_g$
	不开设 $1-z$	$-C_b$ $-P_g$ $-T_g$	$-C_b$ $-P_g$ $-T_g$

2.2.1 对出行者的策略的复制动态分析

出行者采取“使用”和“不使用”的收益分别为 U_1 和 U_2 :

$$U_1 = yz(-C_b + C_j) + y(1-z)(-Cb) + (1-y)z(-C_b + C_j - C_e) + (1-y)(1-z)(-C_b)$$

$$U_2 = yz(-C_b) + y(1-z)(-C_b) + (1-y)z(-C_b) + (1-y)(1-z)(-C_b)$$

$$U = xU_1 + (1-x)U_2 = (xyC_e + (C_j - C_e)x)z - C_b$$

出行者的复制动态方程为:

$$F_1(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_1 - U) = (yC_e + C_j - C_e)zx(1-x)$$

由演化博弈相关定理可知:

1) 当 $y = \frac{C_j - C_e}{C_e}$ 时 $F_1(x) = 0$, 表明 x 无论取何值, 出行者的策略都是稳定状态, 出行者无论有多少比例选择“使用共享停车平台”都是演化稳定的。

2) 当 $y \neq \frac{C_j - C_e}{C_e}$ 时, 令 $F_1(x) = 0$, 得到 $x=0$ 和 $x=1$ 两个稳定点:

① $0 < y < \frac{C_j - C_e}{C_e}$ 时, $F_1'(x)|_{x=0} < 0, F_1'(x)|_{x=1} > 0$, 于是 $x=0$ 是稳定点, 即当停车位拥有者选择“使用共享停车平台”的比例小于 $\frac{C_j - C_e}{C_e}$ 时, 出行者最终会选择“不使用共享停车平台”的策略;

② $\frac{C_j - C_e}{C_e} < y$ 时, $F_1'(x)|_{x=1} < 0, F_1'(x)|_{x=0} > 0$, 于是 $x=1$ 是稳定点, 即当停车位拥有者选择“使用共享停车平台”的比例大于 $\frac{C_j - C_e}{C_e}$ 时, 出行者最终会选择“使用共享停车平台”的策略。

2.2.2 对停车位拥有者的策略的复制动态分析

停车位拥有者采取“使用”和“不使用”的收益分别为 S_1 和 S_2 :

$$S_1 = xz(-P_g + C_b - C_j - T_e + P_c) + x(1-z)(-P_g) + (1-x)z(-P_g - P_e + P_c) + (1-x)(1-z)(-P_g)$$

$$S_2 = xz(-P_g) + x(1-z)(-P_g) + (1-x)z(-P_g) + (1-x)(1-z)(-P_g)$$

$$S = yS_1 + (1-y)S_2 = ((P_e - C_j - T_e + C_b + P_c)x - P_e + P_c)yz - P_g$$

停车位拥有者的复制动态方程为:

$$F_2(y) = \frac{dy}{dt} = y(S_1 - S) = [(P_e - C_j - T_e + C_b + P_c)x - P_e + P_c]z(1-y)y$$

由演化博弈相关定理可知:

1) 当 $x = \frac{P_e - P_c}{P_e - C_j + C_b - T_e + P_c}$ 时 $F_2(y) \equiv 0$, 表明 y 无论取何值, 出行者的策略都是稳定状态, 停车位拥有者无论有多少比例选择“使用共享停车平台”都是稳定策略。

2) 当 $x \neq \frac{P_e - P_c}{P_e - C_j + C_b - T_e + P_c}$ 时, 令 $F_2(y) = 0$, 得到 $y=0$ 和 $y=1$ 两点个稳定点:

① $0 < x < \frac{P_e - P_c}{P_e - C_j + C_b - T_e + P_c}$ 时, $F_2'(y)|_{y=0} < 0, F_2'(y)|_{y=1} > 0$, 于是 $y=0$ 是演化策略的稳定点, 即当出行者选择“使用共享停车平台”的比例小于 $\frac{P_e - P_c}{P_e - C_j + C_b - T_e + P_c}$ 时, 停车位拥有者最终会选择“不使用共享停车平台”的策略;

② $\frac{P_e - P_c}{P_e - C_j + C_b - T_e + P_c} < x$ 时, $F_2'(y)|_{y=1} < 0, F_2'(y)|_{y=0} > 0$, 于是 $y=1$ 是演化策略的稳定点, 即当出行者选择“使用共享停车平台”的比例大于 $\frac{P_e - P_c}{P_e - C_j + C_b - T_e + P_c}$ 时, 停车位拥有者最终会选择“使用共享停车平台”的策略;

2.2.3 对共享停车平台的策略的复制动态分析

共享停车平台采取“开放”和“不开放”的收益分别为:

$$O_1 = xy(-T_g + T_e + T_c) + x(1-y)(-T_g + T_e + C_e) + (1-x)y(-P_g - P_e) + (1-x)(1-y)(-P_g - P_e)$$

$$O_2 = yx(-T_g) + y(1-x)(-T_g) + (1-y)x(-T_g) + (1-y)(1-x)(-T_g)$$

$$O = zO_1 - (1-z)O_2 = [(T_c - C_e)xy + (P_g + C_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e - T_g]z + T_g$$

共享停车平台复制动态方程为:

$$F_3(z) = \frac{dz}{dt} = z(O_1 - O) = ((T_c - C_e)xy + (P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g)z(1-z)$$

由演化博弈相关定理可知:

1) 当 $y = \frac{(P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g}{x(T_c - C_e)}$ 时 $F_3(x) \equiv 0$, 表明 x 无论取何值, 出行者的策略都是稳定状态,

停车位拥有者无论有多少比例选择“使用共享停车平台”都是稳定策略。

2) 当 $y \neq \frac{(P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g}{x(T_c - C_e)}$, 令 $F_3(x) = 0$, 得到 $z=0$ 和 $z=1$ 两点个稳定点:

① $0 < y < \frac{(P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g}{x(T_c - C_e)}$ 时, $F_3'(z)|_{z=0} < 0, F_3'(\zeta)|_{z=1} > 0$, 于是 $z=0$ 是演化策略的稳定点,

即当停车位拥有者选择“使用共享停车平台”的比例小于 $\frac{(P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g}{x(T_c - C_e)}$ 时, 共享停车平台最终会选择“不使用共享停车平台”的策略;

② $\frac{(P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g}{x(T_c - C_e)} < y$ 时, $F_3'(z)|_{z=1} < 0, F_3'(\zeta)|_{z=0} > 0$, 于是 $z=1$ 是演化策略的稳定点, 即

当停车位拥有者选择“使用共享停车平台”的比例大于 $\frac{(P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g}{x(T_c - C_e)}$ 时, 出行者最终会选择“使用共享停车平台”的策略。

通过上述分析我们可以列出上述三个利益主体的动态博弈模型

$$\begin{cases} F_1(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_1 - U) = (yC_e + C_j - C_e)zx(1-x) \\ F_2(y) = \frac{dy}{dt} = y(S_1 - S) = [(P_e - C_j - T_e + C_b + P_c)x - P_e + P_c]z(1-y)y \\ F_3(z) = \frac{dz}{dt} = z(O_1 - O) = ((T_c - C_e)xy + (P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g)z(1-z) \end{cases} \quad (1)$$

3 模型稳定性分析

3.1 均衡点及渐进稳定性分析

令 $F_1(x) = 0, F_2(y) = 0, F_3(z) = 0$, 可以得到模型(1)中的均衡点, 包括边界均衡点和内部均衡点。Selten 指出在非对称演化博弈中混合策略均衡一定不是演化稳定均衡[23]。因此, 我们只需研究边界均衡点(纯策略均衡点) $A_1[0,0,0]$ 、 $A_2[1,0,0]$ 、 $A_3[0,1,0]$ 、 $A_4[0,0,1]$ 、 $A_5[1,1,0]$ 、 $A_6[1,0,1]$ 、 $A_7[0,1,1]$ 、 $A_8[1,1,1]$ 。下面我们研究 A_1 至 A_8 的稳定性, 分别对 $F_1(x), F_2(y), F_3(z)$ 求 x, y, z 的偏导得到雅可比矩阵

$$J = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

其中

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{\delta F(x, y, z)}{\delta x} = (P_e - C_j - T_e + C_b + P_c)z(1-y)y, \\ a_{12} &= \frac{\delta F(x, y, z)}{\delta y} = [(P_e - C_j - T_e + C_b + P_c)x - P_e + P_c]z(1-2y), \\ a_{13} &= \frac{\delta F(x, y, z)}{\delta z} = [(P_e - C_j - T_e + C_b + P_c)y(1-y), \\ a_{21} &= \frac{\delta G(x, y, z)}{\delta x} = (yC_e + C_j - C_e)z(1-z), \\ a_{22} &= \frac{\delta G(x, y, z)}{\delta y} = zx(1-x)C_e, \\ a_{23} &= \frac{\delta G(x, y, z)}{\delta z} = (yC_e + C_j - C_e)x(1-x), \\ a_{31} &= \frac{\delta H(x, y, z)}{\delta x} = [(T_c - C_e) + P_g + P_e + C_e + T_e - T_g]z(1-z), \end{aligned}$$

$$a_{32} = \frac{\delta H(x, y, z)}{\delta y} = (T_c - C_e)xz(1-z),$$

$$a_{33} = \frac{\delta H(x, y, z)}{\delta z} = [(T_c - C_e)xy + (P_g + P_e + C_e + T_e - T_g)x - P_g - C_e + T_g](1-2z)$$

根据李亚普诺夫第一法则, 8 个均衡点的稳定性判断如表 3 所示。

表 3 均衡点的稳定性判定

均衡点	特征根			状态
$A_2[1, 0, 0]$	0	0	$P_g + P_e + C_e + T_e - T_g - P_g - C_e + T_g$	不稳定
$A_3[0, 1, 0]$	0	0	$T_g - P_g - C_e$	不稳定
$A_4[0, 0, 1]$	$C_j - C_e$	$P_c - P_e$	$C_e + P_g - T_g$	条件 1
$A_5[1, 1, 0]$	0	0	$T_c + P_e + T_e - C_e$	不稳定
$A_6[1, 0, 1]$	$C_e - C_j$	$2P_c + C_b - C_j - T_e$	$-P_e - T_e$	条件 2
$A_7[0, 1, 1]$	C_j	$P_e - P_c$	$P_g + C_e - T_g$	不稳定
$A_8[1, 1, 1]$	$-C_j$	$-2P_c - C_b + C_j + T_e$	$C_e - T_c - P_e - T_e$	条件 3

3.2 演化稳定点结果分析

根据表 3 所给出的均衡点稳定条件分析, 在条件 1 的情况下, 出行者, 停车位拥有者, 共享停车平台三方策略演化到“不使用”, “不使用”, “开放共享平台”的策略, 即 $A_4[0, 0, 1]$, 需要满足条件:

$C_j < C_e$, $P_c < P_e$, $C_e + P_g < T_g$ 。即当出行者使用共享车位节约成本小于出行者在非共停车位所支付的额外费用、停车位拥有者使用共享停车平台收益小于车位拥有者让非共享停车出行者停车的额外费用、出行者在非共停车位所支付的额外费用与车位拥有者车位固定支出成本小于平台开设支出的固定成本时, 出行者最终趋于不使用共享停车平台策略, 停车位拥有者趋于不使用共享停车平台策略, 共享停车平台趋于开放策略。

在条件 2 的情况下, 出行者, 停车位拥有者, 共享停车平台三方策略演化到“使用”, “不使用”, “开放共享平台”, 即 $A_6[1, 0, 1]$, 需要满足条件:

$C_e < C_j$, $2P_c + C_b < C_j + T_e$ 。即当出行者在非共停车位所支付的额外费用小于出行者使用共享车位节约成本、停车位拥有者使用共享停车平台收益小于车位拥有者让非共享停车出行者停车的额外费用、停车位使用共享停车平台的额外收益的两倍与出行者不使用共享停车平台的停车成本之和小于出行者使用共享停车平台节约的成本与平台抽取的利润之和

时, 出行者最终趋于使用共享停车平台策略, 停车位拥有者趋于不使用共享停车平台策略, 共享停车平台趋于开放策略。

在条件 3 的情况下, 出行者, 停车位拥有者, 共享停车平台三方策略演化到“使用”, “使用”, “开放共享平台”, 即 $A_8[1, 1, 1]$, 需要满足条件: $C_j + T_e < 2P_c + C_b$, $T_c + P_e + T_e < C_e$ 。即当出行者使用共享停车平台节约的成本与平台抽取的利润之和小于停车位拥有者使用共享停车平台的额外收益的两倍与出行者不使用共享停车平台的停车成本之和、共享停车平台收取停车位拥有者的加盟费加上停车位拥有者让非共享停车出行者停车的额外费用再加上平台抽取的利润之和小于出行者在非共享停车位停车所支付的额外费用时, 出行者最终趋于使用共享停车平台策略, 停车位拥有者趋于使用共享停车平台策略, 共享停车平台趋于开放策略。

由以上分析可以看出, 由于出行成本, 停车位成本, 共享停车平台的成本都是固定的, 共享停车平台采取不同的收费标准会导致模型中三个博弈方演化到不同的策略, 并保持稳定。其中, 我们所希望的稳定点是 $A_8[1, 1, 1]$, 即出行者、停车位拥有者选择“使用共享停车平台”策略, 共享停车平台选择“开设共享停车平台”策略, 于是共享停车平台可以通过为停车位拥有者提供优惠和奖励政策, 例如:

(1) 首次注册奖励、推荐奖励、销售提成等方法

增加停车位拥有者使用共享停车平台的额外收益, 来激发停车位拥有者加入共享停车平台的积极性;

- (2) 同时, 共享停车平台通常会有用户评价和信用积分系统, 出行者的行为可以通过这一系统记录和反馈。如果出行者在平台上违规停车, 可以扣除其信用分数, 从而降低其在平台上的信用等级和优先权, 限制其在平台上的使用权益等措施来增加出行者使用共享停车平台却在非共享停车位停车的额外成本, 从而提高出行者使用规范共享停车平台的意愿。

因此共享停车平台根据理论参考, 设置合适的收费标准、惩罚措施, 来保障博弈模型演化到对所有博弈主体都有利的稳定点。

4 数值仿真

4.1 演化路径

为了更加直观的分析出行者、停车位拥有者和共享停车平台的演化路径动态, 选择了上述两种演化情景并进行参数变量进行具体赋值, 并利用 Python 软件对这 2 种情景演化稳定策略分别进行仿真, 展示策略频率随时间的变化过程, 揭示策略之间的相互影响和演化路径的复杂性和动态趋势。

对于条件 1 所示的稳定点 $A_4[0,0,1]$, 我们对各参数进行赋值, 且满足条件 $C_j < C_e$ 、 $P_c < P_e$ 、 $C_e + P_g < T_g$, 则取 $C_e = 10$, $P_e = 7$, $T_e = 1.2$, $C_j = 2$, $C_b = 3$, $T_g = 15$, $P_g = 3$, $P_c = 1$, $T_c = 4$ 进行仿真演化, 演化路径结果如图 1 所示; 于条件 3 所示的稳定点 $A_8[1,1,1]$, 我们对各参数进行赋值, 且满足条件 $-2P_c - C_b + C_j + T_e < 0$ 、 $C_e - T_c - P_e - T_e < 0$, 则 $P_g = 5$, $T_g = 19$, $C_b = 13$, $C_j = 9$, $T_e = 2$, $P_e = 5$, $C_e = 10$, $T_c = 6$, $P_c = 4.9$ 进行仿真演化, 演化路径结果如图 2 所示。

4.2 主要参数对演化主体的影响

为了研究平台服务费和出行者节约的成本对三方决策的影响, 并探究平台服务费和出行者节约的成本对演化系统的影响, 所以选择在条件 3 下, 设定不同的 T_e 和 C_j 的值, 以初始值 $x_0 = y_0 = z_0 = 0.2$ 为例, 研究 x, y, z 随时间演化趋势。

在条件 3 其他参数不变的情况下, 即 $P_g = 5$, $T_g = 19$, $C_b = 13$, $C_j = 9$, $P_e = 5$, $C_e = 10$, $T_c = 6$, $P_c = 4.9$ 设置参数 $T_e = 1, T_e = 2, T_e = 3$ 分别如图 3, 图 4, 图 5 所示。

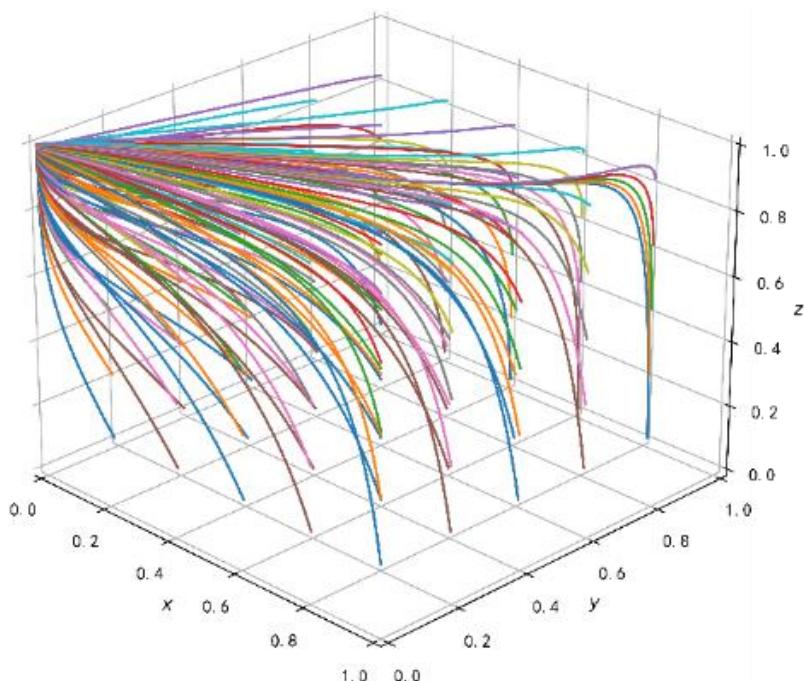


图 1 [0,0,1] 演化相位图

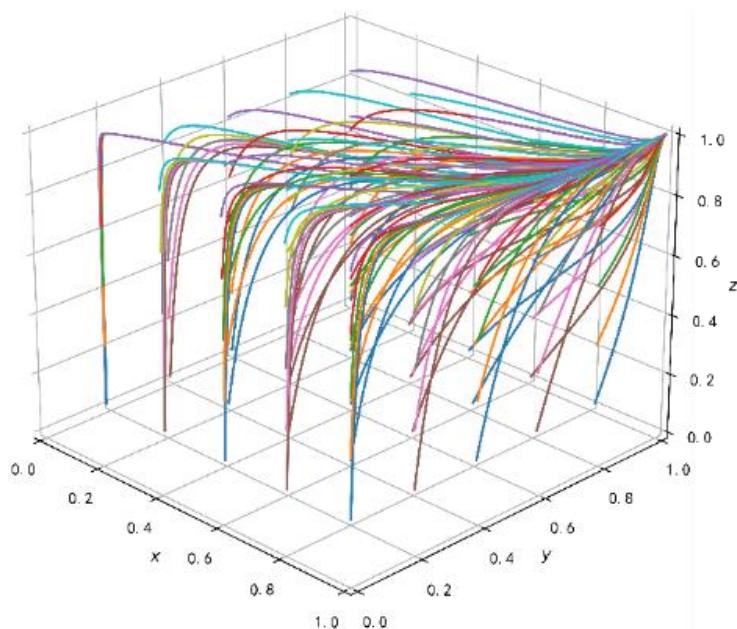
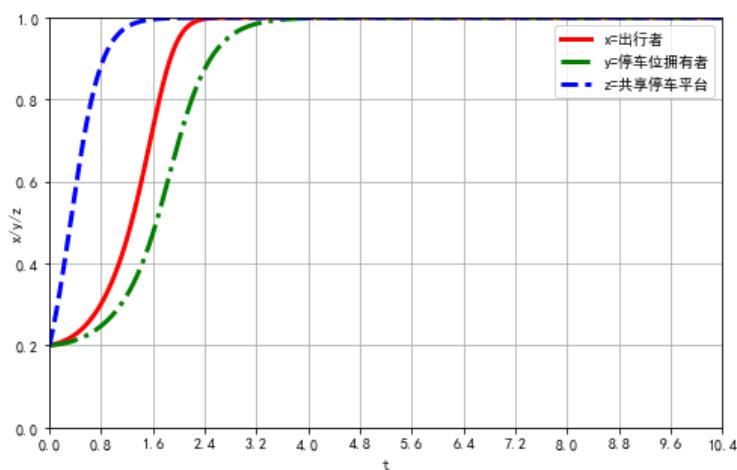
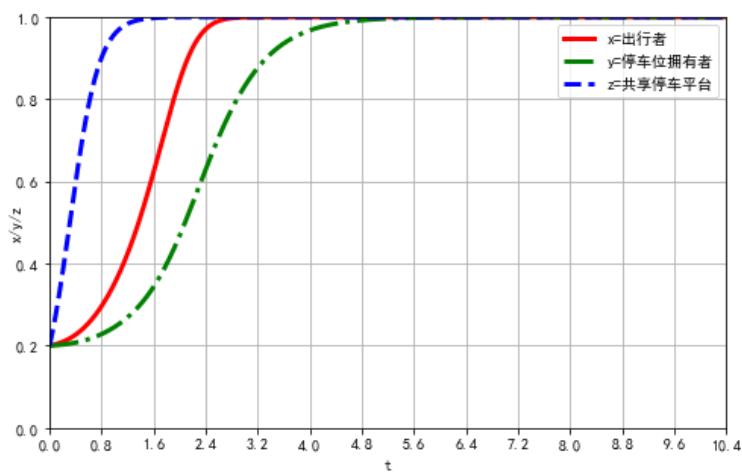
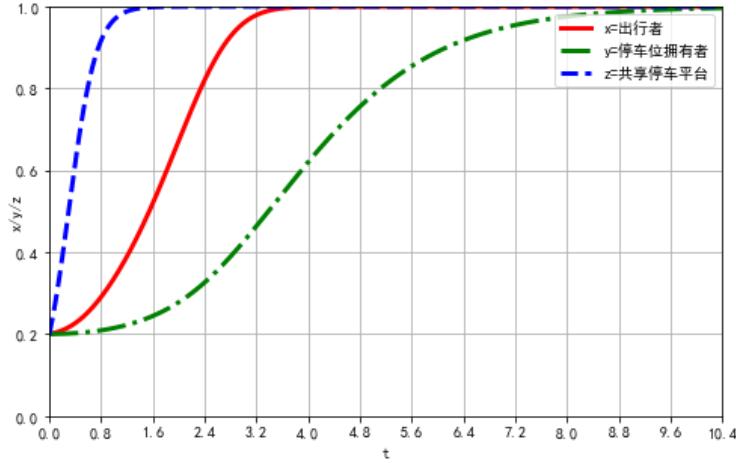
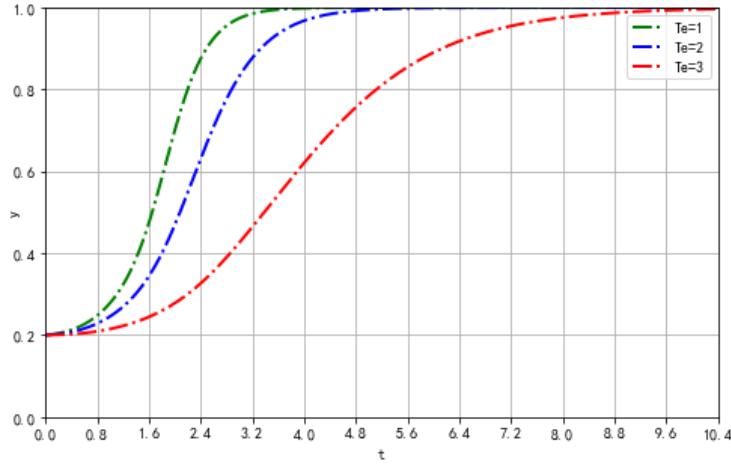


图 2 [1,1,1]演化相位图

图 3 $T_e = 1$ 时出行者、停车位拥有者、共享平台的演化仿真图图 4 $T_e = 2$ 时出行者、停车位拥有者、共享平台的演化仿真图

图 5 $T_e = 3$ 时出行者、停车位拥有者、共享平台的演化仿真图图 6 T_e 变化时 y 的演化仿真图

从图 3, 图 4, 图 5 可看出当 T_e 的值改变时对出行者和共享停车平台收敛到 1 的速度影响不大, 但从图 6 可以看出 T_e 的值改变时对停车位拥有者的收敛速度影响较大, 且在 T_e 达到某一阈值前, 当 T_e 越小时, 停车位拥有者的收敛速度越快, 演化系统能更快的达到稳定状态。由此可见, 政府可以出台相应政策, 鼓励和支持共享停车平台的发展, 例如:

- (1) 提供减税或免税政策, 降低平台的运营成本。
- (2) 政府还可以与平台合作, 共同承担一部分平

台的维护和运营费用, 减轻平台的负担。

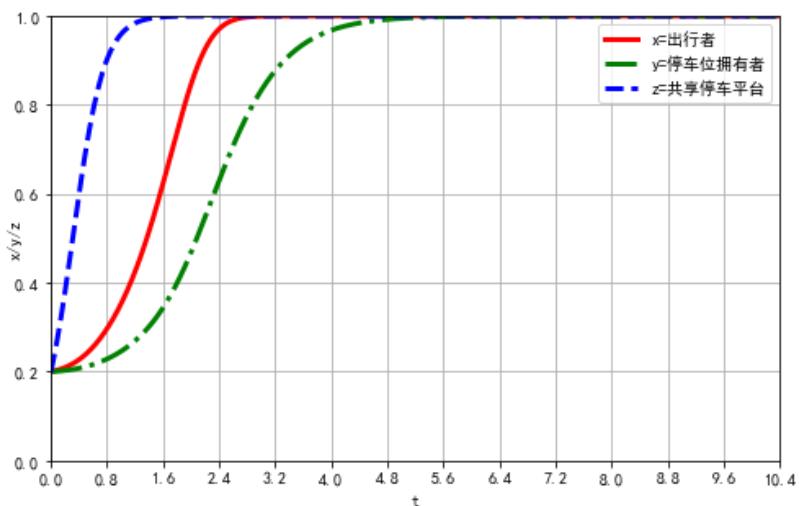
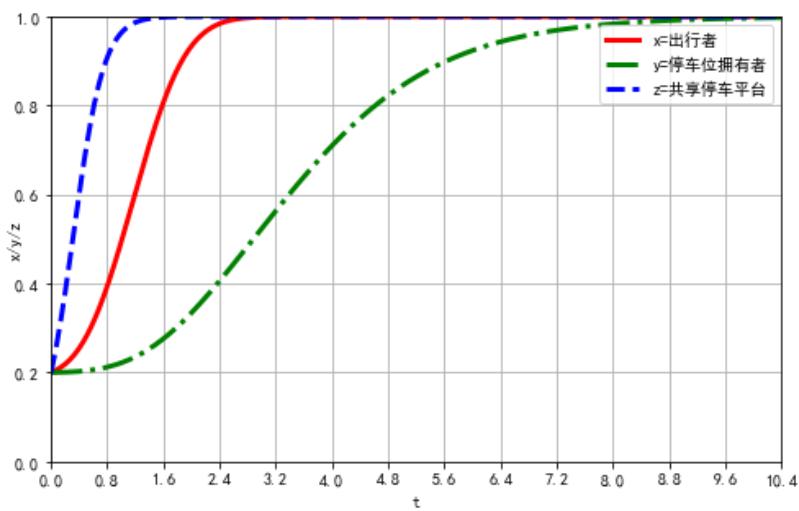
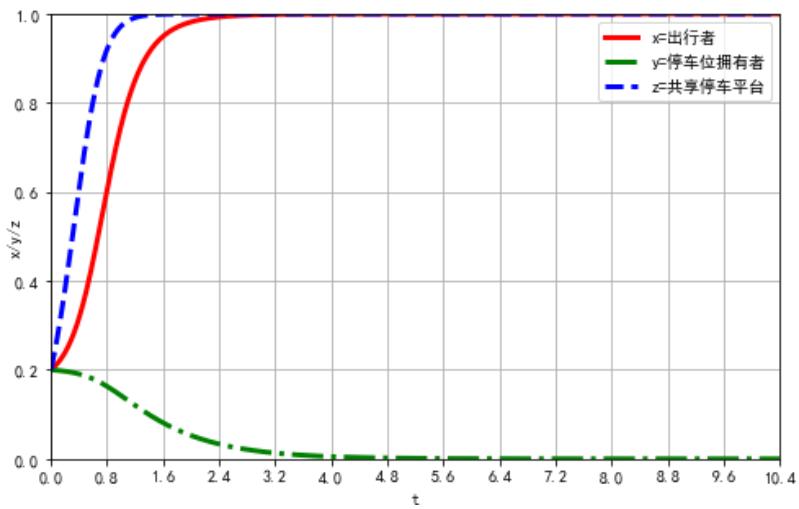
平台可以通过优化技术和流程来降低维护成本, 例如:

- (1) 采用智能停车系统和自动化管理, 减少人力成本和操作复杂性。平台还可以与相关的第

三方服务提供商合作, 共享技术和资源, 降低平台的开发和维护成本;

- (2) 平台也可以通过积极的市场推广和用户增长策略, 增加用户规模和活跃度;
- (3) 随着用户数量的增加, 平台可以通过规模效应降低运营成本, 进一步减少服务费和维护成本, 从而提高共享停车平台使用比例增加速度, 达到快速推广的目的。

在条件 3 其他参数不变的情况下, 即 $P_g = 5$, $T_g = 19$, $C_b = 13$, $T_e = 2$, $P_e = 5$, $C_e = 10$, $T_c = 6$, $P_c = 4.9$ 设置参数 $C_j = 9$, $C_j = 10$, $C_j = 12$ 分别如图 7, 图 8, 图 9 所示。

图 7 $C_j = 9$ 时出行者、停车位拥有者、共享平台的演化仿真图图 8 $C_j = 10$ 时出行者、停车位拥有者、共享平台的演化仿真图图 9 $C_j = 12$ 时出行者、停车位拥有者、共享平台的演化仿真图

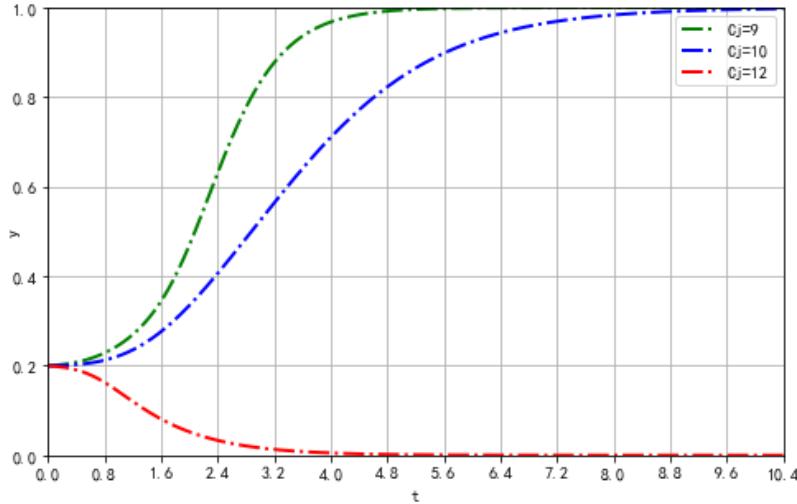
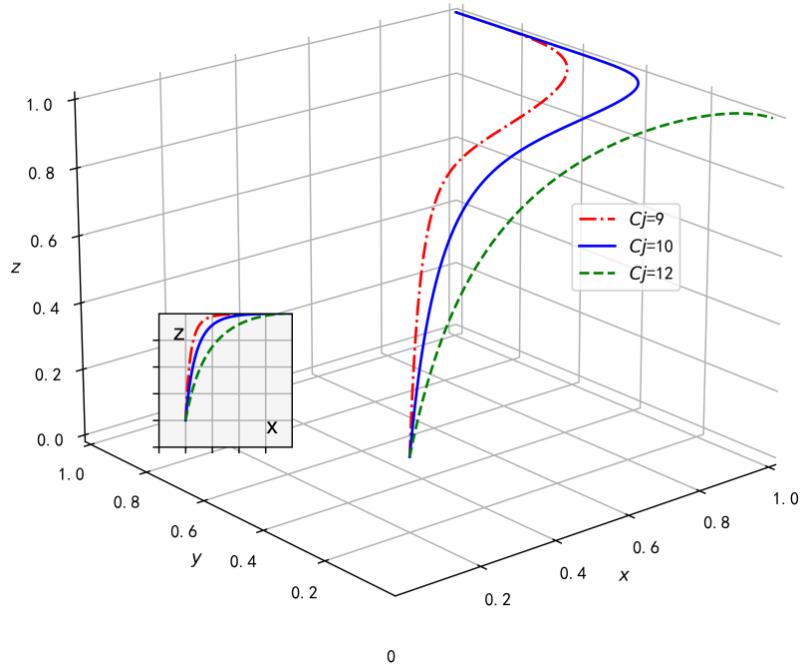
图 10 C_j 变化时 y 的演化仿真图

图 7, 图 8, 图 9 可看出当 C_j 的值改变时对出行者和共享停车平台收敛到 1 的速度影响不大, 但从图 10 可以看出 C_j 的值改变时对停车位拥有者的收敛速度影响较大, 且在 C_j 达到某一阈值前, 当 C_j 越大时, 停车位拥有者的收敛速度越慢。当突破某一阈值后, 增加 C_j 会使的停车位拥有者的演化策略趋向于“不使用共享停车平台”。此外, 在上述情况下我们给出了三个主体的策略演化路径。

图 11 参数 C_j 的影响

由图 11 可以看出当 C_j 超过某一阈值时, 即停车费收费标准过低时, 会损害停车位拥有者的利益, 减少停车位拥有者使用共享停车平台的意愿, 最终导致停车位拥有者偏向于不使用共享停车平台。因此共享停车平台在设置收费标准时要注意停车费收费标准的范围,

给出以下建议:

- (1) 由于阈值与 x , y , z 的比例水平有关, 是实时变动的, 所以共享停车平台可以周期性进行市场调研和竞争分析, 了解当地停车市场的定价水平和趋势。根据市场需求和供给情

- 况, 平台可以制定相对合理的停车费标准;
- (2) 考虑不同区域的停车位供需状况和价值差异, 采用区域差异化定价策略。例如, 在交通繁忙的商业区或城市中心, 停车费可以相对较高, 而在低需求区域, 停车费可以适度降低;
 - (3) 采用弹性定价机制来应对供需波动和特殊事件。例如, 在活动举办期间或特定节假日, 可以适度提高停车费以应对更高的停车需求;
 - (4) 根据停车时长的长短, 设置不同的停车费用。短时停车可以采用较低的费率, 鼓励短期停车需求, 而长时间停车则可以采用较高的费率, 以鼓励停车位的流动性和高周转率。来保障停车位拥有者的利益。

5 结论

本文研究了共享停车过程中出行者、停车位拥有者和共享停车平台三方的演化博弈模型, 在考虑了有限理性和自主学习能力的情况下构建了三方博弈矩阵, 并分别对出行者、停车位拥有者、共享停车平台进行了复制动态分析。逐一分析 8 个均衡点的稳定性, 找到 3 个可能的演化稳定点。通过 Python 进行数值仿真, 首先分析了三方演化路径, 展示了策略频率随时间的变化过程, 揭示了策略之间的相互影响和演化路径的复杂性, 有助于理解演化博弈中的动态特性和趋势。接着研究了平台服务费和出行者节约成本对系统稳定性和收敛速度的影响, 得到结论: 当平台服务费变化时对出行者和共享停车平台收敛的速度影响不大, 但对停车位拥有者的收敛速度影响较大, 且当平台服务费越小, 停车位拥有者的收敛速度越快, 演化系统能更快的达到稳定状态; 看出当出行者节约的成本改变时对出行者和共享停车平台收敛到 1 的速度影响不大, 但对停车位拥有者的收敛速度影响较大, 达到随 x , y , z 比例的阈值前, 当出行者节约成本越大时, 停车位拥有者向的收敛速度越慢。当突破这一阈值后, 会使的停车位拥有者的演化策略趋向于“不使用共享停车平台”。根据数值仿真的结果, 本文提出了相应的政策和建议, 以促进共享停车平台的发展和优化利益分配。

从共享平台的角度:

- (1) 平台也可以通过积极的市场推广和用户增长策略, 增加用户规模和活跃度;
- (2) 随着用户数量的增加, 平台可以通过规模效应降低运营成本, 进一步减少服务费和维护

成本, 从而提高共享停车平台使用比例增加速度, 达到快速推广的目的;

- (3) 共享停车平台可以周期性进行市场调研和竞争分析, 了解当地停车市场的定价水平和趋势。根据市场需求和供给情况, 平台可以制定相对合理的停车费标准, 例如: 考虑不同区域的停车位供需状况和价值差异, 采用区域差异化定价策略; 采用弹性定价机制来应对供需波动和特殊事件; 根据停车时长的长短, 设置不同的停车费用。短时停车可以采用较低的费率, 鼓励短期停车需求, 而长时间停车则可以采用较高的费率, 以鼓励停车位的流动性和高周转率。来保障停车位拥有者的利益。

从政府的角度:

- (1) 提供减税或免税政策, 降低平台的运营成本;
- (2) 政府还可以与平台合作, 共同承担一部分平台的维护和运营费用, 减轻平台的负担。

参考文献

- [1] 张弘. 2022 年我国机动车保有量达 4.17 亿辆 [N]. 人民公安报 交通安全周刊, 2023-01-13 (001).
- [2] 杨昆, 时燕, 罗毅等. 经济快速发展背景下中国民用汽车拥有量变化的时空特征 [J]. 地理科学, 2019, 39(04): 654-662.
- [3] 尹晨, 邵祖峰, 王华琴. 城市路内违章停车治理困境及路径探究 [J]. 交通企业管理, 2022, 37(05): 38-40.
- [4] 约翰·梅纳德·史密斯著; 潘春阳译. 演化与博弈论 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2008.
- [5] 谢识予. 经济博弈论 (第 4 版) [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2017.
- [6] Hanauske M, Kunz J, Bernius S and Konig W. Doves and hawks in economics revisited: An evolutionary quantum game theory based analysis of financial crises [J]. Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications, 2010, 389(21): 5084-5102.
- [7] Zhou M and Deng F Q. Evolutionary dynamics of an asymmetric game between a supplier and a retailer [J]. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2006, 4222: 466-469.
- [8] Liu X W, Zhang Z X, Qi W and Wang D W. An Evolutionary Game Study of the Behavioral Management of Bid Evaluations in Reserve Auctions [J]. IEEE Access, 2020, 8: 95390-95402.

- [9] 徐玲玲, 丛雪薇. 商业银行与第三方物流合作供应链金融的演化博弈研究 [J]. 金融理论与实践, 2022, 513(04): 10-18.
- [10] Zhang S Y, Pardalos P M and Jiang X D. Evolutionary Game Analysis of Capital-Constrained Supplier's and Manufacturer's Financing Schemes [J]. Complexity, 2021, 8875794, 1-13.
- [11] Li S C and Wang B. Evolutionary game simulation of corporate investing and financing behavior from a risk perspective [J]. Cluster Computing-The Journal of Networks Software Tools and Applications, 2019, 22(3): S5955-S5964.
- [12] 周学广, 张坚, 杜建国. 基于逆向拍卖的演化博弈分析 [J]. 中国管理科学, 2010, 18 (05): 171-178.
- [13] 吴文清, 赵黎明. 创业与投资的演化博弈分析与政策建议 [J]. 统计与决策, 2008, 265(13): 56-58.
- [14] 王先甲, 顾翠伶, 何奇龙等. 供应链金融信贷市场三方演化博弈动态 [J]. 运筹与管理, 2022, 31(01): 30-37.
- [15] 贾富强, 李引珍, 杨信丰等. 基于演化博弈的政府鼓励条件下共享停车行为分析 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(01): 163-170.
- [16] 王洪飞. 基于三方演化博弈的共享停车产业推广研究 [J]. 上海管理科学, 2020, 42(06): 107-112.
- [17] 王晓青, 吴梓敬. 基于多方博弈的社区停车资源共享模式探究——一个满意度优化模型 [J]. 智能城市, 2023, 9(03): 81-84.
- [18] 段满珍. 基于博弈论的居住区共享停车理论与方法研究 [D]. 吉林大学, 2017.
- [19] 孙超, 李世杰, 张鹏等. 出行系统最优配置下共享停车选择及泊位分配 [J]. 郑州大学学报 (工学版), 2023, 44(01): 38-43.
- [20] 龙朝党. 小城市中心区停车泊位共享容量与需求匹配策略研究 [D]. 桂林电子科技大学, 2022.
- [21] 陈俊坤, 刘亦婷, 谢雨俊等. 共享停车服务平台的设计 [J]. 数字技术与应用, 2023, 41(01): 153-155.
- [22] 樊丽娟. 中国证券市场参与人之间的博弈和演化博弈分析 [D]. 广州大学, 2008.
- [23] Seltzer R. A note on evolutionarily stable strategies in asymmetrical animal contests [J]. Journal of Theoretical Biology, 1980, 84: 93-101.