

考虑平台奖惩机制的外卖骑手危险骑行行为演化博弈分析

刘林^a, 朱国兴^a, 吴金南^b

(安徽工业大学 a. 管理科学与工程学院; b. 商学院, 安徽 马鞍山 243032)

摘要: 外卖骑手危险骑行导致道路交通事故频发, 为深入揭示骑手危险骑行行为决策的内在机制和演化规律, 以美团外卖骑手为研究对象, 构建外卖平台和骑手之间的演化博弈模型, 分析双方策略选择的稳定条件, 并基于模型参数假设进行数值仿真, 探讨平台绩效奖励和违规处罚对骑手危险骑行行为的动态影响机制。研究发现: 平台绩效奖励显著影响骑手危险骑行策略选择, 平台奖励水平越高, 骑手选择危险骑行的概率越大; 平台违规处罚对骑手危险骑行行为具有一定抑制作用, 合理设定违规处罚金额可以降低骑手危险骑行的概率, 但若处罚金额大幅度提高, 反而会导致骑手行为策略出现波动, 并降低平台选择严格监管的概率; 降低监管成本能够有效提高平台严格监管意愿, 进而提高骑手选择安全骑行的概率。因此, 外卖平台应构建基于配送效率和安全保障的多维度绩效奖励机制, 引导骑手严格遵守交通法规; 合理设定违规处罚力度, 避免因处罚过重引发骑手报复性危险骑行行为; 通过增强平台严格监管意愿与提高骑手危险骑行的感知成本, 促使骑手更倾向于安全骑行策略。

关键词: 安全科学与工程; 外卖骑手; 绩效奖励; 违规处罚; 安全骑行; 危险骑行; 演化博弈; 新业态

中图分类号: X 951 **文献标志码:** A **doi:** 10.12415/j.issn.1671-7872.25008



Evolutionary Game Analysis on Take-away Riders' Risky Driving Considering Platform Incentive and Penalty Mechanisms

LIU Lin^a, ZHU Guoxing^a, WU Jinnan^b

(a. School of Management Science and Engineering; b. School of Business, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

Abstract: Road accidents happened frequently due to the risky riding of take-away riders. In order to explore the complex mechanism and evolutionary trends of take-away riders' decision-making regarding risky riding behavior, taking Meituan take-away riders as the research object, an evolutionary game model of the platform and riders was constructed. The stability conditions of strategy selection for both game parties were systematically analyzed. Based on parameter assumptions of the game model, numerical simulation analysis was conducted to investigate the dynamic mechanisms of platform performance reward and violation penalty on take-away riders' risky riding behaviors. The results show that the platform performance reward has a significant impact on take-away riders' choice of risky riding behavior, higher performance rewards increase the probability of take-away riders' choice of

收稿日期: 2025-01-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(72304002); 安徽省优秀青年教师培育重点项目(YQZD2023028); 安徽省高校优秀青年科研项目(2024AH030067)

作者简介: 刘林(1983—), 女, 安徽池州人, 博士, 副教授, 主要研究方向为员工安全违规行为决策与治理。

引文格式: 刘林, 朱国兴, 吴金南. 考虑平台奖惩机制的外卖骑手危险骑行行为演化博弈分析[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2025, 42(5):564-573.

risky riding. Platform violation penalty has a certain inhibitory effect on restraining take-away riders' risky riding behavior. Setting reasonable violation penalty can reduce the probability of risky riding. However, a substantial increase in violation penalty amount may cause fluctuations in the evolution of risky riding behavior, and reduce the probability of strict supervisory by platform. Moreover, reducing regulatory costs can effectively increase the platform's willingness to enforce strict supervision, and improve the probability of take-away riders' choice of safe riding. Therefore, the platforms can design multi-dimensional performance reward mechanisms based on delivery efficiency and safety assurance to guide and encourage riders strictly complying with traffic regulations. By adjusting the severity of violation penalty, it can avoid irrational behaviors where take-away riders choose retaliatory dangerous riding due to excessive penalty. By increasing the platform's willingness to strictly supervise and the perceived cost of take-away riders' dangerous riding, the platform can constrain take-away riders to adopt more safe riding strategies.

Keywords: safety science and engineering; take-away rider; performance reward; violation penalty; safe riding; risky riding; evolutionary game; new form of business

随着零工经济的迅猛发展,以外卖骑手为代表的新业态劳动者数量持续增加^[1]。2023年初全国总工会第九次全国职工队伍状况调查结果显示,外卖骑手人数已高达1300万人,成为新业态劳动者就业群体的重要组成部分。然而,在新业态发展推动骑手规模扩大的同时,与之相关的交通安全违规问题日益突出^[2]。近年来,国内多地屡屡发生因外卖骑手闯红灯、违规变道、超速行驶、逆行等危险骑行行为引发的恶性交通事故,甚至造成人员伤亡。外卖骑手的危险骑行行为(违反交通法规的安全违规行为)已成为困扰城市交通治理和零工经济健康持续发展的痛点和难点^[3]。尽管已有研究发现,平台依托算法实施的绩效惩罚(如超时配送惩罚)对外卖骑手的劳动权益造成了损害^[4-5],但算法驱动的绩效奖励机制以及针对危险骑行行为的惩罚措施是否以及如何影响外卖骑手的危险骑行行为,现有文献尚未提供充分的解释。这在一定程度上影响了政府部门出台精准有效的政策法规,导致骑手危险骑行行为难以得到有效治理,既不利于保障其职业安全,也对道路交通安全构成持续威胁。因此,深入揭示外卖骑手危险骑行行为的成因和演化机制,提出科学、有效的防范和干预策略,对切实维护外卖骑手劳动权益,降低道路交通事故发生率,推动零工经济健康发展具有重要的现实意义。

尽管有关外卖骑手交通事故的报道屡见不鲜,但针对该群体的学术研究仍相对有限^[6]。现有研究主要集中于外卖骑手危险骑行行为的表现、特征及其影响因素等方面。Qin等^[7]通过在北京交通信号灯路口的观察研究发现,外卖骑手危险骑行行为的

比例显著高于普通电动自行车骑手,其中闯红灯和在机动车道骑行最为常见。为避免平台超时配送惩罚并获取更高的收入,近80%的外卖骑手会选择闯红灯,53.89%的外卖骑手会驶入机动车道。蔡凌霄等^[8]对西安市多个信号交叉口处外卖骑手的闯红灯行为的调查显示,与平峰期相比,午高峰和晚高峰期间骑手闯红灯的概率分别增加了5.1%和27.8%。在探究骑手危险骑行影响因素方面,Wang等^[9]基于上海市某交叉路口的实地调查数据统计分析发现,骑手对交通法规的熟悉程度是关键因素,接受过系统交通法规培训的骑手,其闯红灯、逆行等高风险行为发生率显著降低;Oscart-Trespacios^[10]运用决策树方法对澳大利亚2000多名外卖骑手的数据分析表明,道路基础设施和平台管理对骑手危险骑行行为具有显著影响;Pervez等^[11]基于对巴基斯坦1344名青年骑手的问卷调查分析发现,教育程度和工资水平会直接影响骑手危险骑行行为;Christie等^[12]针对英国外卖骑手的(通过深度访谈和在线调查)发现,平台的激励机制(快速交付对应更高收入)会促使骑手在危险条件下骑行,例如超速和闯红灯。此外,演化博弈方法为理解不同机制下各方主体行为策略的动态选择过程提供了有效工具。汪翼等^[13]构建了新零售平台、骑手以及消费者三方演化博弈模型,并结合数值仿真分析发现,平台建立超时补偿机制可有效减少顾客投诉,从而降低骑手配送过程中的道路交通安全风险。

现有研究肯定了平台企业的激励机制(如超时配送惩罚与超时补偿等)对外卖骑手危险骑行行为的重要影响,但尚未系统验证和揭示绩效奖励和安

全违规惩罚这2种激励机制是否以及如何具体影响外卖骑手的危险骑行行为。当前关于危险骑行行为影响因素的研究多依赖统计分析、回归分析等静态方法,虽有助于识别影响因素,但骑手骑行行为的选择是一个动态调整过程,静态方法难以捕捉其行为的动态演变趋势与演化规律。此外,相较于固定工作场所中的员工安全违规行为研究,零工经济背景下外卖骑手为代表的非固定工作场所安全违规行为的研究仍较为有限^[14-15]。因此,本文基于劳资双方互动视角,以美团外卖骑手为研究对象,采用演化博弈方法剖析外卖骑手危险骑行行为发生的内在规律与动态演化特征。与现有研究相比,本文的边际贡献主要体现在两方面:第一,多数文献从个体特征和外部环境视角出发,运用静态方法识别骑手危险骑行的影响因素^[7-12],较少从利益均衡视角探讨实现安全骑行的条件和机制。本文通过将博弈论与动态演化过程分析相结合,从时间演变的视角分析系统主体决策的利益互动关系,既帮助相关部门从利益驱动视角引导供需主体行为决策,也可保障骑手职业安全、促进零工经济规范有序发展提供决策参考。第二,少数采用演化博弈方法的研究主要关注惩罚机制对危险骑行行为的影响^[6],本文同时考虑正向激励(绩效奖励)和负向激励(违规惩罚)2种激励机制对外卖骑手(以下简称骑手)骑行行为的影响,从更全面的视角考察多维激励机制对个体行为的影响作用机制,既可拓展员工不安全行为领域的理论研究,又能为平台企业优化奖惩机制提供更全面的理论支撑。

1 演化博弈模型构建

1.1 研究假设

基于理性选择理论,个体的行为选择过程本质上是其对行为收益和成本进行权衡的结果^[17]。当骑手选择安全骑行带来的收益大于所需付出的成本时,骑手倾向于选择安全骑行;反之,则可能选择危险骑行。同样,当外卖平台(以下简称平台)选择严格监管策略带来的收益大于其成本时,平台倾向于选择严格监管策略;反之,则会选择宽松监管。平台监管策略的选择对骑手的骑行行为选择有直接影响。当平台采用严格监管策略时,会通过警告弹窗、暂停接单、扣除绩效奖金等方式对危险骑行行为进行严厉处罚。尽管此举需要平台承担较高的监管成本,但能有效约束骑手的危险行为,降低交通事故发生风险;相反,

当平台采用宽松监管策略时,平台对骑手的危险骑行行为不进行处罚。由于惩罚成本较低,骑手为完成更多订单而选择危险骑行的动机增强,从而显著提高交通事故发生的概率^[18]。

骑手的工资收入取决于订单完成量。当骑手采取安全骑行时,交通事故发生概率极低(接近零),但由于需要花费更多的时间观察交通情况(如等待红绿灯、绕道骑行等),会导致订单完成量减少,从而降低其收入(绩效奖励)。相反,当骑手采取危险骑行时,虽可通过缩短配送时间完成更多的订单量以获取更高收入(绩效奖励),但会显著提高发生交通事故和职业伤害的概率。一旦发生事故,骑手需承担相应的事故损失^[13]。

在外卖配送服务体系中,骑手和平台均致力于通过优化资源配置以实现自身收益最大化^[19]。为简化分析过程,本文聚焦于平台和骑手两大博弈主体,并基于演化博弈理论,对参与博弈的各方主体作出如下分析与假设。

假设1:平台和骑手均为有限理性决策人,基于利益最大化原则作出决策。

假设2:单个外卖交易订单完成后,骑手获取的收益为 R_1 ,平台获取的收益为 R_2 。

假设3:骑手的策略选择空间为{安全骑行,危险骑行}。骑手选择安全骑行的概率为 $x(0 \leq x \leq 1)$ 。在配送过程中,骑手选择安全骑行需要另外付出的时间成本为 L ,在付出相同时间成本的情况下完成的订单量相应减少,投入产出比为 $1/\alpha$,骑手分享劳动收益的比例为 $\beta(0 < \beta < 1)$,平台分享劳动收益的比例为 $1-\beta$,骑手能够完成的订单量为 K_1 ;骑手选择危险骑行的概率为 $1-x(0 \leq 1-x \leq 1)$,骑手选择危险骑行时发生交通事故的概率为 p ,预期事故损失为 D ,能够完成的订单量为 K_2 ,即在危险骑行状态下骑手的订单完成量高于安全骑行状态下的订单完成量,即 $K_2 > K_1$,此时骑手可获取更高的绩效奖励(W)。

假设4:平台的策略选择空间为{严格监管,宽松监管},作为其管理策略。平台选择严格监管的概率为 $y(0 \leq y \leq 1)$,此时平台需付出的监管成本为 C ,当骑手选择危险骑行时,平台会对骑手进行违规惩罚,惩罚金额为 F ;平台选择宽松监管的概率为 $1-y(0 \leq 1-y \leq 1)$,此时平台对骑手的危险骑行行为不作出任何惩罚,当骑手发生交通事故时,平台会因此遭受声誉损失(S)^[20]。

假设5:当骑手选择安全骑行策略时,无论平台采取严格监管或宽松监管,其收益均为 $K_1 R_1 - L \alpha \beta$ 。

当骑手选择危险骑行策略时, 若平台实施宽松监管, 则骑手收益为 K_2R_1+W-pD ; 若平台实施严格监管, 骑手将因违规行为受到惩罚, 其收益为 $K_2R_1+W-F-pD$ 。

假设 6: 当平台选择严格监管策略时, 若骑手选择安全骑行, 平台收益为 $K_1R_2-C-L\alpha(1-\beta)$; 若骑手选择危险骑行, 平台通过对骑手进行惩罚获取的收益为 K_2R_2+F-C 。当平台选择宽松监管策略时, 若骑手选择安全骑行, 平台收益为 $K_1R_2-L\alpha(1-\beta)$; 若骑手选择危险骑行, 平台需承担事故风险成本, 收益为 K_2R_2-pS 。

根据以上假设及参数设置, 构建平台与骑手双方的收益矩阵, 具体参数设置说明如表 1, 双方收益矩阵如表 2。

表 1 参数设置及含义

Tab. 1 Parameter settings and meanings

参数	含义
$x(0 \leq x \leq 1)$	骑手安全骑行的概率
$y(0 \leq y \leq 1)$	平台严格监管的概率
R_1	骑手完成单个订单获得的收益
R_2	骑手完成单个订单平台获得的收益
F	平台对骑手危险骑行时的惩罚
L	骑手安全骑行需要多花费的时间
α	投入产出比的倒数
β	骑手分享的劳动收益比例
C	平台监管成本
K_1	骑手安全骑行完成的订单量
K_2	骑手危险骑行完成的订单量
W	骑手获得的绩效奖励
p	骑手发生交通事故的概率
D	骑手发生事故的损失
S	平台声誉损失

表 2 平台和骑手的收益矩阵

Tab. 2 Payoff matrix of platform and rider

		平台	
		严格监管	宽松监管
安全骑行	骑手收益	$K_1R_1-L\alpha\beta$	$K_1R_1-L\alpha\beta$
	平台收益	$K_1R_2-C-L\alpha(1-\beta)$	$K_1R_2-L\alpha(1-\beta)$
危险骑行	骑手收益	$K_2R_1+W-F-pD$	K_2R_1+W-pD
	平台收益	K_2R_2+F-C	K_2R_2-pS

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1-2x)[yF + (K_1 - K_2)R_1 + pD - W - L\alpha\beta] & x(1-x)F \\ y(1-y)(-F - pS) & (1-2y)[x(-F - pS) + F + pS - C] \end{pmatrix} \quad (9)$$

1.2 期望收益和复制动态方程

根据表 1 的收益矩阵, 在严格监管和宽松监管 2 种策略下, 平台的期望收益以及平均期望收益 (E_y, E_{1-y}, \bar{E}_1) 分别为:

$$E_y = x[K_1R_2 - C - L\alpha(1-\beta)] + (1-x)(K_2R_2 + F - C) = x[(K_1 - K_2)R_2 - L\alpha(1-\beta) - F] + K_2R_2 + F - C \quad (1)$$

$$E_{1-y} = x[(K_1R_2 - L\alpha(1-\beta))] + (1-x)(K_2R_2 - pS) = x[(K_1 - K_2)R_2 - L\alpha(1-\beta) + pS] + K_2R_2 - pS \quad (2)$$

$$\bar{E}_1 = yE_y + (1-y)E_{1-y} \quad (3)$$

同理可得, 骑手采取安全骑行和危险骑行时的期望收益及平均期望收益 ($E_x, (E_{1-x}, \bar{E}_2)$) 分别为:

$$E_x = y(K_1R_1 - L\alpha\beta) + (1-y)(K_1R_1 - L\alpha\beta) = K_1R_1 - L\alpha\beta \quad (4)$$

$$E_{1-x} = y(K_2R_1 + W - F - pD) + (1-y)(K_2R_1 + W - pD) = y(-F) + K_2R_1 + W - pD \quad (5)$$

$$\bar{E}_2 = xE_x + (1-x)E_{1-x} \quad (6)$$

根据 Malthusian 动态方程, 计算骑手与平台双方策略选择的复制动态方程如下:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_x - \bar{E}_2) = x(1-x)(E_x - E_{1-x}) = x(1-x)[yF + (K_1 - K_2)R_1 + pD - W - L\alpha\beta] \quad (7)$$

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_y - \bar{E}_1) = y(1-y)(E_y - E_{1-y}) = y(1-y)[x(-F - pS) + F + pS - C] \quad (8)$$

2 均衡点稳定性分析

为便于分析系统的均衡点及稳定性, 令 $x^* = (C - F - pS) / (-F - pS), y^* = ((K_2 - K_1)R_1 + W + L\alpha\beta - pD) / F$, 根据平台与骑手的复制动态方程可知, 系统演化的 5 个局部均衡点为 $(0,0), (0,1), (1,0), (1,1), (x^*, y^*)$ 。复制动态方程的均衡点不一定满足系统的演化稳定策略 (evolutionarily stable strategy, ESS)。根据 Friedman^[21] 提出的方法, 系统均衡点的稳定性由该系统的雅可比 (Jacobian) 矩阵 (记为 J) 局部稳定分析导出。因此, 分别对骑手和平台的复制动态方程求 x 和 y 的偏导数, 得到如下雅可比矩阵:

进一步计算雅可比矩阵 J 的行列式 $\det J$ 和迹 $\text{tr} J$, 具体表达式如下:

$$\det J = \frac{\partial F(x)}{\partial x} \frac{\partial F(y)}{\partial y} - \frac{\partial F(x)}{\partial y} \frac{\partial F(y)}{\partial x} = (1-2x)(1-2y) [yF + (K_1 - K_2)R_1 + pD - W - L\alpha\beta][x(-pS - F) + F + pS - C] - x(1-x)y(y-1)F(-pS - F) \quad (10)$$

$$\text{tr} J = \frac{\partial F(x)}{\partial x} + \frac{\partial F(y)}{\partial y} = (1-2x)[yF + (K_1 - K_2)R_1 + pD - W - L\alpha\beta] + (1-2y)[x(-pS - F) + F + pS - C] \quad (11)$$

为使复制动态方程的均衡点成为演化稳定的策略 (ESS), 必须同时满足如下 2 个条件^[22]: $\det J = b_{11}b_{22} -$

$b_{12}b_{21} > 0$, $\text{tr} J = b_{11} + b_{22} < 0$ 。同时, 为使博弈双方的收益更接近现实, 需增加以下约束条件:

1) $W + L\alpha\beta > F$, 即骑手危险骑行获取的收益大于违规罚款, 否则骑手缺乏危险骑行动机。

2) $pS > C$, 即平台因骑手事故承担的损失需大于严格监管成本, 否则平台无严格监管动力。

在局部均衡点 (x^*, y^*) 处有 $b_{11} + b_{22} = 0$ 不符合 $\text{tr} J = b_{11} + b_{22} < 0$, 故均衡点 (x^*, y^*) 不符合演化稳定点 ESS 的条件。基于以上约束条件, 对复制动态方程均衡点的稳定性进行分析, 结果如表 3。

表 3 均衡点的稳定性分析

Tab. 3 Stability analysis of equilibrium points

均衡点	$\det J$	$\text{tr} J$	稳定性
(0,0)	$[(K_1 - K_2)R_1 + pD - W - L\alpha\beta][F + pS - C]$	$(K_1 - K_2)R_1 + pD - W - L\alpha\beta + F + pS - C$	不稳定点
(0,1)	$[F + (K_1 - K_2)R_1 + pD - W - L\alpha\beta][C - F - pS]$	$(K_1 - K_2)R_1 + pD - W - L\alpha\beta + C - pS$	ESS
(1,0)	$[W + L\alpha\beta - (K_1 - K_2)R_1 - pD](-C)$	$W + L\alpha\beta - (K_1 - K_2)R_1 - pD - C$	ESS
(1,1)	$[W + L\alpha\beta - (K_1 - K_2)R_1 - pD - F]C$	$W + L\alpha\beta - (K_1 - K_2)R_1 - pD - F + C$	不稳定点
(x^*, y^*)	$-MN$	0	鞍点

表 3 中 M, N 的表达式分别为:

$$M = \frac{C - F - pS}{-pS - F} \left(1 - \frac{C - F - pS}{-pS - F} \right) F$$

$$N = \frac{(K_2 - K_1)R_1 + W + L\alpha\beta - pD}{F - pD} \left(1 - \frac{(K_2 - K_1)R_1 + W + L\alpha\beta - pD}{F - pD} \right) (-pS - F)$$

当均衡点为 (0,1) 时, 平台实施严格监管, 骑手选择危险骑行的条件为 $F + pD < (K_2 - K_1)R_1 + W + L\alpha\beta$ 且 $C + pD < pS$ 。在这种情况下, 骑手危险骑行的违规处罚 F 与危险骑行造成的事故损失 pD 之和低于危险骑行获得的超基准绩效收入 $(K_2 - K_1)R_1$ 、绩效奖励 W 与安全骑行另外付出的时间成本 $L\alpha\beta$ 之和, 且平台监管成本 C 与骑手危险骑行造成的事故损失 pD 之和低于平台声誉损失 pS 。

当均衡点为 (1,0) 时, 平台实施宽松监管, 骑手选择安全骑行的条件为 $pD > W + (K_2 - K_1)R_1 + L\alpha\beta$ 。在这种情况下, 骑手危险骑行造成的事故损失 pD 大于危险骑行获得的绩效奖励 W 、超基准绩效收入 $(K_2 - K_1)R_1$ 与安全骑行多付出的时间成本 $L\alpha\beta$ 之和。

3 数值仿真分析

上述分析结果揭示了平台与骑手双方演化博弈模型的最终稳定策略。为了更详细地刻画不同参数变化对系统演化的影响, 采用 MATLAB 软件对双

方演化博弈模型进行数值仿真分析, 模拟平台和骑手之间博弈的变动趋势, 从而揭示骑手行为决策的内在规律。该模型涉及 14 个变量参数, 其中骑手的劳动投入产出比倒数 α 、骑手的劳动收益比例 β 为背景参数, 取值为一定的常数, 参考刘素霞等^[23]与吕丹等^[24]的研究, 设置 $\alpha=0.8, \beta=0.7$ 。依据平台和骑手的演化博弈模型和收益矩阵 (表 2), 骑手的决策主要受违规惩罚 F 和绩效奖励 W 的影响, 而平台的决策主要受监管成本 C 的影响。 W, F, C 这 3 个参数直接影响骑手和平台在博弈中的策略选择, 因此本文对这 3 个关键参数分别进行数值仿真分析。参照叶贵等^[25]的研究, 将骑手与平台选择每一种策略的概率 (x, y) 初始值均设为 0.5。参照朱立龙等^[26]的研究, 假设平台严格监管时产生的监管成本 $C=120$ 元; 同时, 设置骑手在安全骑行状态下完成的订单量 K_1 为基准订单量 1, 而骑手在危险骑行状态下能够完成的订单量 K_2 为基准订单量的 1.2 倍。根据现实情境, 对其他参数进行合理设置, 具体为: $p=0.7, F=50$ 元, $L=10$ min, $D=150$ 元, $W=200$ 元, $R_1=5$ 元, $S=40$ 元。初始状态下, 骑手与平台策略演化的仿真结果如图 1 所示, 双方策略选择最终收敛于稳定点 (0,0), 即平台选择宽松监管, 骑手选择危险骑行。为了改变现实情境中骑手倾向于选择危险骑行的不良状况, 本文对相关参数进行敏感性分析, 寻求最优策略选择。

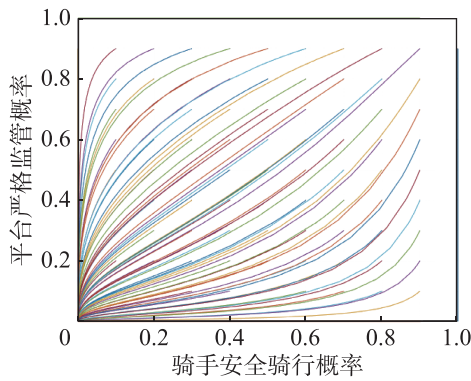


图1 双方初始策略的演化路径

Fig. 1 Evolutionary path of initial strategy of both sides

3.1 平台绩效奖励对骑手行为策略的影响

平台的绩效奖励与其订单完成量直接相关, 骑手订单的完成量越多, 其获得的绩效奖励越高。为了分析平台绩效奖励 (W) 对骑手骑行策略的影响, 在其他参数 (除绩效奖励 W 外, 表 1 中的其他参数) 保持初始设置的条件下, 分别取 $W=85, 93, 100, 200, 300$ 元进行模拟分析, 结果如图 2。由图 2 可看出: 当平台绩效奖励逐步增加时, 骑手的行为策略由安全骑行 ($W=85, 93$ 元) 向危险骑行转变 ($W=100, 200, 300$ 元)。绩效奖励越低, 骑手选择安全骑行的概率越高。当 $W \leq 85$ 元时, 骑手的策略选择完全趋向于 1, 即骑手倾向选择安全骑行; 当 $W > 100$ 元时, 绩效奖励越高, 曲线收敛于 0 的时间越短, 骑手选择危险骑行的概率越高, 即骑手倾向选择危险骑行。由此表明, 平台的绩效奖励显著影响骑手的骑行策略, 基于订单完成量的绩效奖励机制虽然在有效调动骑手工作积极性方面发挥了重要作用, 但也使骑手被禁锢在配送时长的“隐形牢笼”中, 被迫采用危险骑行策略以完成更多的订单, 从而获得更多的绩效奖励。

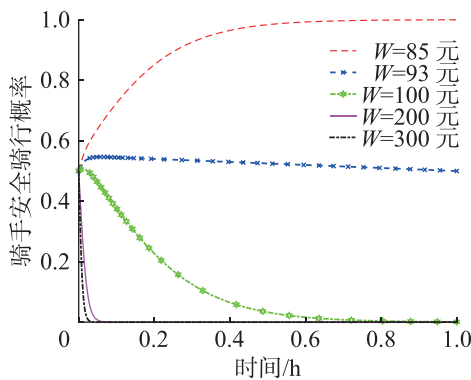


图2 平台绩效奖励对骑手骑行行为的影响

Fig. 2 Impact of platform performance reward on riders' cycling behavior

3.2 平台违规惩罚对骑手行为策略的影响

其他参数 (除 F 外, 表 1 中的其他参数) 保持初始设置的条件下, 设置 $F=[50 \text{ 元}, 350 \text{ 元}]$, 模拟分析平台违规处罚对骑手骑行行为的影响, 结果如图 3, 4。

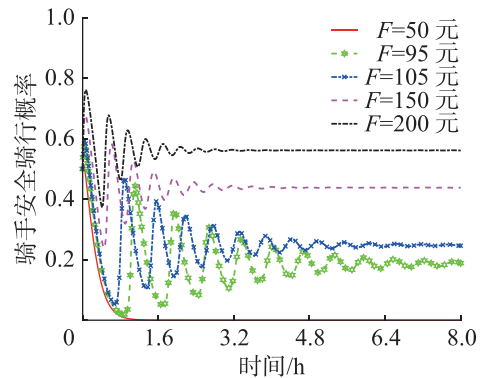
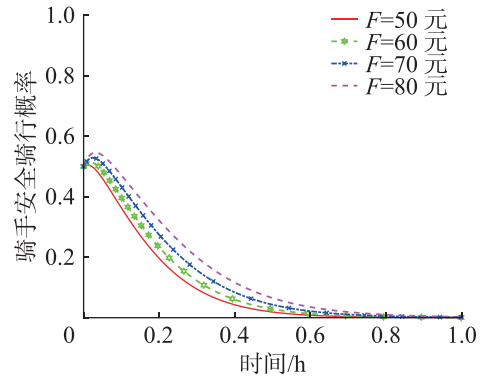


图3 违规惩罚对骑手骑行行为的影响

Fig. 3 Impact of punishment for violation on riders' cycling behavior

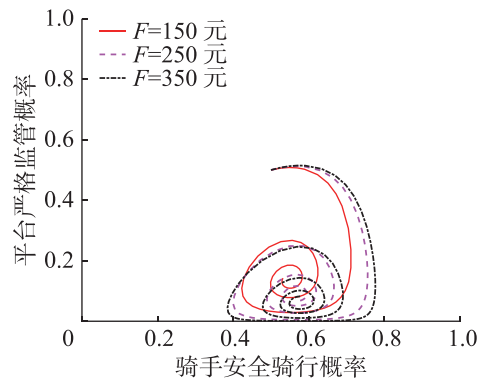


图4 违规惩罚对博弈双方策略的影响

Fig. 4 Impact of punishment for violation on the strategy of both parties in the game

由图 3 可看出: 当平台对骑手危险骑行的违规惩罚金额逐渐增加 (F 由 50 元逐步增至 60, 70, 80 元) 时, 骑手选择安全骑行的概率略微提高; 当平台对骑手危险骑行的违规惩罚金额高于 95 元 (F 由 50 元逐步增至 95, 105, 150, 200 元) 时, 骑手行为的演化轨迹均经过一段波动后趋于平稳, 且违规惩罚金

额越高,骑手选择危险骑行的概率越低。以上结果表明,违规惩罚对纠正骑手危险骑行行为具有一定的抑制作用,提高违规惩罚金额可提高骑手安全骑行概率。然而,当违规惩罚金额超过一定阈值时($F \geq 95$ 元),骑手行为策略演化轨迹会出现波动。可能的原因是,当违规惩罚金额过高时,骑手会陷入两难境地:采用安全骑行策略难以获得较高的绩效奖励,而采用危险骑行策略又可能面临高额的违规惩罚。在此情况下,骑手只能通过延长工作时间增加订单的完成量,以提高自己的收入,从而陷入骑手困境^[27]。部分骑手会选择危险骑行策略报复平台的高额惩罚,并通过危险骑行获取一定的超额绩效奖励以弥补惩罚损失,从而导致道路交通事故发生率提高,进而危害平台声誉,增加平台运营风险。但是,随着时间的演化,在这些采取报复行为的骑手中,部分选择退出平台,部分逐渐趋于理性,最终仍将收敛于偏向安全骑行^[28]。但是,在此过程中骑手和平台的利益均受到了损害。

另一方面,随着平台违规惩罚金额的提高,平台选择严格监管的概率下降,如图4所示。其原因可能是随着惩罚严厉性的提高,平台很容易陷入以罚代管的管理模式,监管的重心也随之由复杂的事前预防(高监管成本)转向简单的事后处罚(低监管成本),从而导致平台严格监管概率下降。

综上所述表明,仅仅增加对骑手危险骑行的惩罚金额并不能显著降低骑手危险骑行概率,平台单纯依赖惩罚机制来督促骑手选择安全骑行策略的效果具有局限性。

3.3 平台监管成本对骑手行为策略的影响

平台严格监管概率(y)越高,骑手选择安全骑行的概率也越高(图5所示),表明平台严格监管有助于促进骑手选择安全骑行策略。监管成本(C)是平台是否采取严格监管策略的重要影响因素,其他参数(除 C 外,表1中的其他参数)保持不变,分别取 $C=95, 100, 105, 120, 140$ 元进行模拟分析,结果如图6。由图6可看出:当平台的监管成本 C 逐渐降低时,平台的策略选择由宽松监管($C=140, 120$ 元)向严格监管($C=105, 100, 95$ 元)转变。当平台监管成本 C 降至95元时,平台的策略选择倾向于1,即严格监管;当平台的监管成本提高至140元时,平台的策略选择倾向于0,即宽松监管。以上结果表明,监管成本对平台严格监管策略的选择具有显著影响,监管成本越低,平台严格监管的意愿越高,骑手选择安全骑行的概率越高。

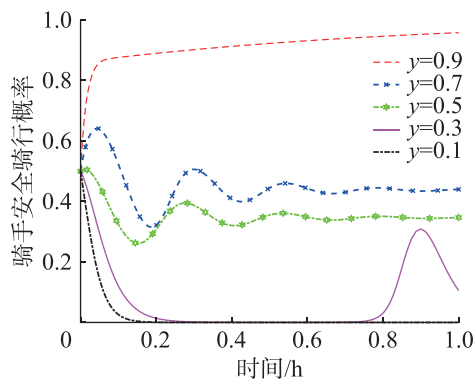


图5 平台监管策略对骑手骑行行为的影响

Fig. 5 Impact of platform regulation strategy on riders' cycling behavior

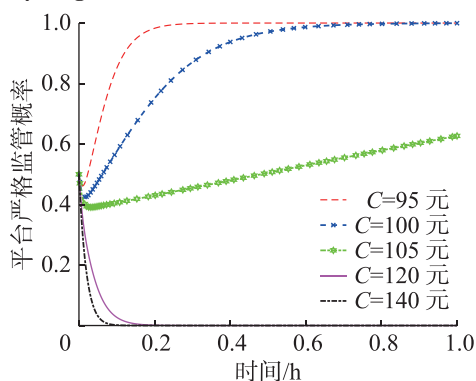


图6 监管成本对平台监管策略选择的影响

Fig. 6 Impact of regulatory cost on platform's choice of regulatory strategy

4 结论与建议

4.1 结论

针对外卖骑手危险骑行行为引发的道路交通安全问题,构建外卖平台和骑手的演化博弈模型,并采用MATLAB软件对其进行数值仿真分析。通过剖析博弈主体行为决策的影响因素与演化路径,揭示平台绩效奖励和违规处罚对骑手危险骑行行为的动态影响机制,主要结论如下:

1) 平台基于订单完成量的绩效奖励机制显著影响骑手的骑行策略选择,绩效奖励越高,骑手选择危险骑行的概率越高。

2) 平台的违规惩罚机制对骑手危险骑行的约束作用呈现复杂而非简单线性特征。一定范围内提高危险骑行的违规惩罚金额,可有效降低骑手选择危险骑行概率,督促骑手更多地选择安全骑行;但是,违规惩罚金额提高至一定程度后,继续增加惩罚金额不仅导致骑手行为策略演化出现波动,进而损害平台声誉和增加平台运营风险,还会降低平台选择严格监管策略的概率,间接损害骑手的利益。

3) 外卖平台的严格监管策略对骑手选择安全骑行行为具有促进作用。然而,严格监管策略选择受到监管成本的影响,监管成本越高,平台选择严格监管的意愿越低,从而导致骑手选择危险骑行行为的概率增加,交通事故风险也随之上升。

4.2 建议

由本文结论可知,外卖平台可以通过调整绩效奖金和惩罚机制督促骑手采取安全骑行行为。为保障骑手安全骑行,促进新业态经济平稳发展,提出如下具体建议:

1) 针对平台绩效奖金对骑手危险骑行行为的正向影响,平台可以考虑调整单一绩效奖金规则,将安全骑行作为骑手绩效奖金的重要因素^[29]。具体而言,平台可以设计基于配送效率和安全保障的多维度绩效奖金机制,在考核骑手订单完成量的同时,将骑手的安全骑行行为纳入绩效评估体系。通过这种方式引导和鼓励骑手严格遵守道路交通安全法规,从而减少危险骑行行为的发生。

2) 针对平台的违规惩罚机制对骑手危险骑行行为的非线性复杂影响,平台在提高违规惩罚额度时需要谨慎操作,避免因惩罚过重导致骑手选择报复性危险骑行行为的不理智行为。虽然违规惩罚能够在一定程度上约束骑手的行为,过高的惩罚金额可能引发骑手的抵触情绪,从而影响其工作效率和服务质量^[28]。

3) 平台的严格监管策略对骑手选择安全骑行策略具有促进作用,但平台是否选择严格监管策略受到监管成本的制约。较高的监管成本可能降低平台严格监管的意愿,从而削弱其对骑手危险骑行行为的约束效果。因此,亟需构建政府、平台、社会协同治理机制^[30],通过多方协作以降低平台监管成本,从利益驱动的视角提高平台严格监管意愿和骑手危险骑行的感知成本,进而约束骑手更多地采取安全骑行策略。

本研究从劳资双方互动的视角,探讨了平台的绩效奖金和违规惩罚机制对骑手危险骑行行为的影响。然而,一方面,骑手危险骑行行为受多方面因素影响^[31],如政府监管、交通状况、竞争环境、平台特征、算法特征、骑手特征等;此外,受支付矩阵的限制,本文仅考虑了平台奖惩机制对骑手危险骑行行为的影响,未来可以探索多因素、多主体交互作用下外卖骑手危险骑行行为的演化机制^[32]。另一方面,本研究将骑手视为无差异的个体,忽视了个体差异性对骑手行为策略的影响。然而,奖励和惩罚机制

可能会对不同类型骑手(如众包骑手和专送骑手,普通骑手和单王骑手)产生差异化影响。因此,后续可针对不同类型骑手的行为策略差异开展深入分析,从而为平台设计更精准的差异化激励机制和分级惩罚措施提供理论依据。

参考文献:

- [1] 闻效仪. 去技能化陷阱:警惕零工经济对制造业的结构风险[J]. 探索与争鸣, 2020(11):150-159,180.
WEN X Y. The trap of de-skilling: guard against the structural risks of the gig economy to the manufacturing industry[J]. Exploration and Free Views, 2020(11): 150-159,180
- [2] 黄再胜. 网络平台劳动的合约特征、实践挑战与治理路径[J]. 外国经济与管理, 2019, 41(7):99-111,136.
HUANG Z S. Contractual features of online platform labor, practical challenges and governance approaches[J]. Foreign Economics & Management, 2019, 41(7):99-111,136.
- [3] SALMON P M, BHAWANA K, IRWIN B G, et al. What influences gig economy delivery rider behaviour and safety?: a systems analysis[J]. Safety Science, 2023, 166:106263.
- [4] 裴嘉良,刘善仕,张志朋,等. 好算法,坏算法:算法逻辑下零工工作者的过度劳动研究[J]. 管理工程学报, 2024, 38(1):101-115.
PEI J L, LIU S S, ZHANG Z P, et al. Good algorithms, bad algorithms: research on the gig workers' overwork under the algorithmic logic[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2024, 38(1):101-115.
- [5] 闫泽华. 算法逻辑下的数字劳动权益及治理转型[J]. 学习与实践, 2023(12):23-32.
YAN Z H. Digital labor rights and governance transformation under algorithmic logic[J]. Study and Practice, 2023(12):23-32.
- [6] 涂永前,谢文曦,熊赞. 平台经济下劳动者职业安全探究:基于对北京X站点外卖骑手的劳动社会学调查[J]. 温州大学学报(社会科学版), 2021, 34(2):26-38.
TU Y Q, XIE W X, XIONG Y. Occupational safety of workers in platform economy: based on the sociological survey of the labor of food delivery riders at X site in Beijing[J]. Journal of Wenzhou University (Social Science Edition), 2021, 34(2):26-38.
- [7] QIN H, WEI Y H, ZHANG Q D, et al. An observational study on the risk behaviors of electric bicycle riders performing meal delivery at urban intersections in China[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2021, 79:107-117.
- [8] 蔡凌霄,周备,张生瑞,等. 考虑均值及方差异质性的外

- 卖骑手闯红灯行为影响因素分析[J]. 交通信息与安全, 2024, 42(1):59-66.
- CAI L X, ZHOU B, ZHANG S R, et al. Factors affecting red-light running behaviors of takeaway delivery riders considering heterogeneity in the means and variances[J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2024, 42(1):59-66.
- [9] WANG X S, CHEN J W, QUDDUS M, et al. Influence of familiarity with traffic regulations on delivery riders' E-bike crashes and helmet use: two mediator ordered logit models[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2021, 159:106277.
- [10] OVIEDO-TRESPALACIOS O, RUBIE E, HAWORTH N. Risky business: comparing the riding behaviours of food delivery and private bicycle riders[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2022, 177:106820.
- [11] PERVEZ A, LEE J J, ULLAH W, et al. Risky riding behaviors among motorcyclists and self-reported safety events in Pakistan[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2024, 105:350-367.
- [12] CHRISTIE N, WARD H. Delivering hot food on motorcycles: a mixed method study of the impact of business model on rider behaviour and safety[J]. *Safety Science*, 2023, 158:105991.
- [13] 汪翼, 李秀晖, 雒兴刚. 考虑配送交通风险的新零售平台、骑手及消费者三方演化博弈分析[J]. *系统管理学报*, 2024, 33(1):46-58.
- WANG Y, LI X H, LUO X G. Three-party evolutionary game analysis of new retail platform, deliverymen, and consumer considering delivery traffic risk[J]. *Journal of Systems & Management*, 2024, 33(1):46-58.
- [14] CHENG T C, CAPONECCHIA C, O'NEILL S. Workplace safety and future and emerging ways of work: a systematic literature review[J]. *Safety Science*, 2022, 155:105873.
- [15] 刘林, 梅强, 吴金南. 工作场所安全行为国际研究 50 年: 知识演化与未来展望[J]. *安徽工业大学学报(自然科学版)*, 2024, 41(1):87-97.
- LIU L, MEI Q, WU J N. International research on safety behavior at workplace in the past 50 years: knowledge evolution and future prospect[J]. *Journal of Anhui University of Technology (Natural Science)*, 2024, 41(1):87-97.
- [16] 耿纪超, 李雪, 杨力. 基于三方演化博弈的外卖骑手违规驾驶协同治理研究[J]. *衡阳师范学院学报*, 2024, 45(3):108-119.
- GENG J C, LI X, YANG L. On collaborative governance of illegal driving by delivery riders based on tripartite evolutionary game[J]. *Journal of Hengyang Normal University*, 2024, 45(3):108-119.
- [17] FELS E S, HERBERT A. Models of man, social and rational: mathematical essays on rational human behavior in a social setting[J]. *Jahrbücher Für Nationalökonomie und Statistik*, 1958, 170(1):305-308.
- [18] 许恒, 郁芸君, 张一林. 骑手的诞生: 数字平台、定向匹配与就业创造[J]. *中国工业经济*, 2024(4):114-132.
- XU H, YU Y J, ZHANG Y L. Birth of the rider: digital platforms, targeted matching and job creation[J]. *China Industrial Economics*, 2024(4):114-132.
- [19] 赵晓红. 动态奖惩机制下政府、平台电商与消费者三方演化博弈研究[J]. *商业经济研究*, 2022(20):96-98.
- ZHAO X H. Research on evolutionary game among government, platform E-commerce and consumers under dynamic reward and punishment mechanism[J]. *Journal of Commercial Economics*, 2022(20):96-98.
- [20] 杨雪, 田阳, 宋爱峰, 等. Bradley curve 视角下矿工违章行为的惩罚机制分析[J]. *管理学报*, 2021, 18(8):1238-1244.
- YANG X, TIAN Y, SONG A F, et al. Analysis on punishment mechanism of miners' violation behavior from the perspective of Bradley curve[J]. *Chinese Journal of Management*, 2021, 18(8):1238-1244.
- [21] FRIEDMAN D. On economic applications of evolutionary game theory[J]. *Journal of Evolutionary Economics*, 1998, 8(1):15-43.
- [22] 于涛, 刘长玉. 政府与第三方在产品质量监管中的演化博弈分析及仿真研究[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(6):90-96.
- YU T, LIU C Y. The analysis of evolution game model and simulation between governments and the third-party in product quality regulation[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(6):90-96.
- [23] 刘素霞, 梅强, 张赞赞. 中小企业员工安全遵守行为演化路径[J]. *系统管理学报*, 2012, 21(2):275-282.
- LIU S X, MEI Q, ZHANG Z Z. On the evolution of workers' safety compliance behavior in small and medium-size enterprises[J]. *Journal of Systems & Management*, 2012, 21(2):275-282.
- [24] 吕丹, 李明珠. 基于演化博弈视角的“乡贤”参与乡村治理及其稳定性分析[J]. *农业经济问题*, 2020, 41(4):111-123.
- LYU D, LI M Z. Rural governance participation and stability analysis of village elite based on evolutionary game theory[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2020, 41(4):111-123.
- [25] 叶贵, 杨丽萍, 李学征, 等. 奖惩对建筑工人安全行为演化的正向效应研究[J]. *安全与环境学报*, 2022, 22(1):201-210.
- YE G, YANG L P, LI X Z, et al. Study on the positive effect of rewards and punishments on the evolution of construction

- workers' safety behavior[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2022, 22(1):201-210.
- [26] 朱立龙, 荣俊美, 张思意. 政府奖惩机制下药品安全质量监管三方演化博弈及仿真分析[J]. *中国管理科学*, 2021, 29(11):55-67.
- ZHU L L, RONG J M, ZHANG S Y. Three-party evolutionary game and simulation analysis of drug quality supervision under the government reward and punishment mechanism[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, 29(11):55-67.
- [27] 金桥, 赵君. 三重脱嵌: 外卖骑手的结构性困境探究: 基于上海 671 份问卷的调查分析[J]. *青年学报*, 2020(3): 77-84.
- JIN Q, ZHAO J. Triple disembedding: the structural dilemma of take-away riders based on analysis of 671 questionnaires in Shanghai[J]. *Youth Research*, 2020(3): 77-84.
- [28] 肖亮, 李宏勇, 余福茂. 基于前景理论的即时物流骑手交通违规监管演化博弈分析[J]. *北京邮电大学学报(社会科学版)*, 2024, 26(3):66-78.
- XIAO L, LI H Y, YU F M. Evolutionary game analysis of traffic violation regulation for instant logistics riders based on prospect theory[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications (Social Sciences Edition)*, 2024, 26(3):66-78.
- [29] 冯爱兰, 周映雪, 龚艳茹, 等. 抢派结合模式下外卖配送问题研究[J]. *控制与决策*, 2024, 39(9):3135-3142.
- FENG A L, ZHOU Y X, GONG Y R, et al. Research on takeout distribution based on combination mode of order dispatching and grabbing[J]. *Control and Decision*, 2024, 39(9):3135-3142.
- [30] 胡放之. 网约工劳动权益保障问题研究: 基于湖北外卖骑手的调查[J]. *湖北社会科学*, 2019(10):56-62.
- HU F Z. Research on the protection of labor rights and interests for the network contract worker: based on the investigation to the takeaway riders in Hubei Province[J]. *Hubei Social Sciences*, 2019(10):56-62.
- [31] 牛莉霞, 韩羲秀, 赵蕊. “赶工游戏”对外卖骑手不安全驾驶的影响: 基于压力认知评价的视角[J]. *中国安全科学学报*, 2024, 34(4):17-25.
- NIU L X, HAN X X, ZHAO R. Effect of “rush game” on unsafe driving of take-away riders: a perspective based on evaluation of stress perception[J]. *China Safety Science Journal*, 2024, 34(4):17-25.
- [32] 陈述, 任亚萍, 席炎, 等. 动态惩罚机制下企业安全生产行为演化分析[J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32(1): 51-57.
- CHEN S, REN Y P, XI Y, et al. Evolutionary analysis on work safety behavior in firms under dynamic punishment mechanism[J]. *China Safety Science Journal*, 2022, 32(1):51-57.

责任编辑: 何莉