

骑手风险驾驶的协同治理研究

——基于平台、骑手和政府三方演化博弈分析

倪 艳,柳文轩

(湖北省社会科学院 经济研究所,湖北 武汉 430062)

摘要:随着零工经济新就业形态的迅速兴起,骑手风险驾驶问题愈发凸显,在线劳动平台的单一治理难以奏效。鉴于多地政府有关“限速令”的发布,引入协同治理理念,对政府和平台共同参与的骑手风险驾驶治理模式进行研究。基于演化博弈理论,构建在线劳动平台、骑手和政府的三方演化博弈模型,并通过数据仿真,分析演化过程。结果表明,平台、骑手和政府三方策略互相影响;平台调整算法需要考虑社会效益与成本、政府补贴等因素;骑手规范驾驶需要考虑风险驾驶与配送超时对收入的影响、配送超时的概率等因素;政府采取限速需要考虑社会效益与成本、为平台提供的补贴等因素;当演化策略为平台调整算法、骑手规范驾驶和政府限速时,政府与平台之间实现了对骑手风险驾驶问题的协同治理,骑手的劳动权益得到有效保障。研究结论为制定推动各主体达成协同治理的实质性方案提供了理论基础。

关键词:外卖骑手;风险驾驶;平台经济;演化博弈;政府监管

中图分类号:F224.32

文献标识码:A

文章编号:1008-7699(2025)06-0108-17

一、引言

近年来,以人工智能、云计算为代表的新一代信息技术迅猛发展,推动了平台经济的崛起,并催生了以零工经济为代表的新就业形态。党的二十届三中全会通过了《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》,其中提到:要“促进平台经济创新发展,健全平台经济常态化监管制度”、“支持和规范发展新就业形态”并“健全灵活就业人员、农民工、新就业形态人员社保制度”。零工经济是一种不依赖于固定劳动关系,而是通过在线劳动平台对接短期、任务型工作与个人劳动力的新型就业模式。其凭借准入门槛低、退出机制便利等特征迅速崛起并广泛渗透到各行各业^[1],零工作者群体规模迅速扩张:美团平台的《企业社会责任报告》显示,截至 2023 年 12 月,该平台骑手数量由 2020 年 6 月的 295 万人持续增加到约 745 万人,提升 2.5 倍。根据阿里研究院的预测,2036 年我国零工作者群体数量将多达 4 亿。

然而,随着零工经济的迅猛增长,零工作者劳动安全问题开始显现^[2]。以城市配送行业为例,在线劳动平台、骑手、顾客三方都有其独特的利益诉求:平台利用算法优化订单分配和配送路径以实现利润最大化;相对缺乏定价权的骑手则更关注取餐等待时间、劳动强度等配送过程中的成本效益;顾客的关注点主要集中在配送的时效性和服务质量上。因此,一些平台在设计算法时过分强调配送效率,忽视了骑手的实际工作条件。这种单一目标导向的算法设计会促使骑手因追求效率而采取风险驾驶,为确保在限定的时间内完成配送任务,出现超速等违章现象^[3]。另外,当前在线劳动平台为激励骑手提高工作效率,设计了包括按时送达奖励、超时惩罚以及送餐单数累计奖金等机制,这些即时反馈机制本欲通过“游

收稿日期:2025-01-09

基金项目:湖北省社会科学基金重点项目(HBSKJJ2025111)

作者简介:倪 艳(1979—),女,湖北天门人,湖北省社会科学院经济研究所副研究员.

戏化”赋予骑手自由感、提升积极性,实则却将他们困入了一个高度紧张的“赶工游戏”之中,^[4]巨大的时间压力和竞争压力引发骑手的风险驾驶行为^[5]。

部分学者对骑手风险驾驶及其产生机制进行深入分析。WANG 等^[6]通过实地观察和访谈的方式,记录骑手的驾驶习惯和配送过程中可能的道路风险因素。张玲瑞^[7]则探讨性别、从业时间、全职/兼职、年龄等个人属性对骑手风险驾驶行为的影响。还有一些学者聚焦骑手交通事故发生的原因,Zhang 等^[8]认为闯红灯的规模效应、骑手对时间的需求和职业努力程度是影响骑手风险驾驶的关键因素。部分学者认为应从完善平台企业管理制度、^[9]改进订单分配及路径优化、^[10]打造负责任和人性化的平台算法、^[11]提高骑手的职业保障^[12]等方面入手,解决骑手风险驾驶问题。近年来,为落实企业社会责任,在线劳动平台不断优化算法:2021 年美团公开了“订单分配”算法,即算法会优先选择时间宽裕、顺路的骑手;2022 年美团上线“建议到店时间”并启动“出餐后调度”试点,使骑手每单等餐时长同比下降 18%。上述方式虽然对解决骑手的风险驾驶问题提供了多方面思路,但仍未有效降低骑手的风险驾驶数量。2023 年 9 月,上海交警公布,仅一周时间内,外卖骑手的交通违法数量依旧高达 1.5 万起。

刘善仕等^[13]则从地方政策的角度切入,探讨了骑手驾驶行为的管理现状和存在的问题,并提出相应的治理路径。针对骑手风险配送问题,我国加速构建治理体系,2024 年 1 月,针对“即时配送”行业,国务院常务会议审议通过《关于促进即时配送行业高质量发展的指导意见》,强调督促企业守好“两条底线”。2024 年 2 月人力资源和社会保障部发布了《新就业形态劳动者休息和劳动报酬权益保障指引》,将骑手等零工工作者纳入最低工资保障,明确法定节假日应支付更高报酬,指导企业科学确定工作量,防止劳动者过劳。郑祁和杨伟国^[14]指出,政府和有关部门仍需继续加大力度,进一步规范零工市场,制定相应的政策解决劳动者过劳问题。多地对骑手驾驶电动自行车的速度相继发布了规定:广州市市场监督管理局牵头市外卖行业电动车联合管理工作专班成员单位,指导广州道路运输行业协会饮食配送服务专委会发布全省首个网约配送行业公约《广州市网约配送行业公约》,并于 2024 年 5 月正式实施,要求配送员按照最高速度 25km/h 驾驶,并对一周内违法行为超过三次的骑手实施停单一天的处罚;厦门市市场监督管理局等四部门印发并于 2025 年 1 月实施的《网络餐饮外卖配送监督管理规范》明确要求,外卖配送速度不得超过 25km/h。作为一项保护骑手权益的专项监管措施,政府颁布的“限速令”,已成为政府与平台协同治理、骑手劳动权益保护的重要举措^[15]。

演化博弈理论在分析在线劳动平台、顾客以及骑手三方动态协同方面,具有较大优势,^[16]但国内外运用该理论对骑手风险驾驶行为进行的研究尚处于起步阶段^[17]。肖亮^[18]通过构建融入主观概率权重函数与价值函数的骑手违规配送监管演化博弈模型,分析了平台监管与骑手配送决策之间的互动关系与影响因素,并引入声誉激励机制,构建骑手关于配送收入的决策行为影响模型,探究了平台治理不同风险态度骑手冒险配送行为的新思路。汪翼^[9]则在原有演化博弈基础上加入消费者这一主体,探讨建立超时补偿机制能否破解高风险配送的“骑手困境”。耿纪超^[19]尝试从三方共同承担超时责任的角度,构建“外卖平台-商家-骑手”协同合作模式解决骑手风险驾驶问题。然而,鉴于城市配送行业运营模式的多边性与复杂性,仅依靠平台自身,难以调和各方利益,实现对骑手风险驾驶的有效治理。现有演化博弈研究均忽视了治理骑手风险驾驶中最为重要的监管主体,即政府的关键作用。

鉴于此,本文引入多主体协同治理理论,基于“政企合作”机制,构建在线劳动平台、骑手和政府的三方博弈模型,对三方主体策略选择的演化路径与稳定性进行分析,设定稳定策略情境并运用 Matlab 软件进行数值仿真分析,丰富多维博弈环境下的策略选择研究,为解决骑手风险驾驶问题提供一定理论参考。

二、模型假设与构建

(一) 模型假设

本文构建平台、骑手和政府三方演化博弈模型,提出以下假设。

假设一:由于环境的复杂性与信息不完全性等因素,平台、骑手和政府均是有限理性的参与主体,策略选择以自身利益最大化作为决策依据,不断通过学习和行为调整进行演化,最终稳定于最优策略^[20,21]。

假设二:平台可以通过延长配送时间、降低骑手同时接单量、提高每单骑手收入等方式调整算法,^[22]平台调整算法的概率为 x 、不调整算法的概率为 $1-x$, $0 \leqslant x \leqslant 1$;骑手规范驾驶时需遵守交通规则、在限速范围内驾驶,骑手选择规范驾驶的概率为 y 、选择风险驾驶的概率为 $1-y$, $0 \leqslant y \leqslant 1$;政府通过颁布限速令要求骑手限速并对风险驾驶行为予以处罚,政府选择限速的概率为 z 、选择不限速的概率为 $1-z$, $0 \leqslant z \leqslant 1$ 。

假设三:平台调整算法付出的成本为 C_1 ,包括研发与技术升级、数据采集与处理以及骑手培训等方面的投入^[23]。平台调整算法体现了其对骑手福祉与社会责任的重视,有助于提升影响力与信誉度,从而获得社会效益 P_1 ,反之会产生声誉损失 S_1 。当骑手规范驾驶时,平台每日平均利润为 P_2 ;骑手通过风险驾驶在相同时间内完成更多订单,从而提升平台的整体配送效率,平台能够因此获得额外利润 ΔP_2 。

假设四:政府限速的成本为 C_2 ,包括对骑手是否遵守限速规定进行监管的交通监控设施的建设和维护成本、执法人员的配置和培训等投入。通过限速来降低交通事故的发生率,保护了骑手和其他道路使用者的安全,反映了政府承担社会责任和对骑手工作条件和劳动权益的关注,政府获得社会效益 P_3 。为鼓励外卖平台积极配合政府的限速政策,政府为调整算法的平台提供补贴 E 。

假设五:骑手规范驾驶时每日平均收入为 P_4 ,通过风险驾驶获得的额外收入为 ΔP_4 。若骑手配送超时,将受到平台罚款 K ;同时,配送超时会降低顾客满意度,可能导致顾客流失,给平台带来利润损失 S_2 ^[24]。若平台不调整算法,骑手风险驾驶的配送超时概率为 α_1 ($0 < \alpha_1 < 1$),规范驾驶的超时概率为 1;若平台调整算法,即使骑手规范驾驶,因商家出餐延迟、交通状况等外部因素,其配送仍存在超时概率 α_2 ($0 < \alpha_2 < 1$)。政府限速后,骑手因风险驾驶将面临罚款、全行业停单等惩罚,平台损失利润 W_1 ,骑手收入损失 W_2 。

所构建模型具体参数如表 1 所示。

(二) 得益矩阵构建

根据上述假设,并结合实际情况,平台、骑手和政府三者的得益矩阵如表 2、表 3 所示。

表 1 平台、骑手和政府演化博弈模型参数说明

参数	含义
x	平台选择调整算法的概率
y	骑手采取规范驾驶的概率
z	政府限速的概率
C_1	平台调整算法付出的成本
C_2	政府限速的成本
P_1	平台调整算法获得的社会效益
P_2	骑手规范驾驶时平台每日平均利润
ΔP_2	骑手风险驾驶时平台每日额外平均利润
P_3	政府限速获得的社会效益
P_4	骑手规范驾驶时骑手每日平均收入
ΔP_4	骑手风险驾驶时骑手每日额外平均收入
S_1	平台不调整算法损失的社会效益
S_2	骑手配送超时平台损失的利润
E	政府为调整算法的平台提供的补贴
W_1	政府限速而骑手风险驾驶时平台损失的利润
W_2	政府限速而骑手风险驾驶时骑手损失的收入
K	骑手配送超时平台的罚款
α_1	平台不调整算法,骑手风险驾驶时配送超时的概率
α_2	平台调整算法,骑手规范驾驶时配送超时的概率

表 2 政府限速下的三方得益矩阵(z)

博弈主体行为		骑手	
		规范驾驶(y)	风险驾驶($1-y$)
调整算法(x)		$P_1 + P_2 + E - C_1 - \alpha_2 S_2$	$P_1 + P_2 + \Delta P_2 + E - C_1 - W_1$
		$P_4 - \alpha_2 K$	$P_4 + \Delta P_4 - W_2$
平台		$P_3 - E - C_2$	$P_3 - E - C_2$
		$P_2 - S_1 - S_2$	$P_2 + \Delta P_2 - S_1 - W_1 - \alpha_1 S_2$
不调整算法($1-x$)		$P_4 - K$	$P_4 + \Delta P_4 - W_2 - \alpha_1 K$
		$P_3 - C_2$	$P_3 - C_2$

表 3 政府不限速下的三方得益矩阵($1-z$)

博弈主体行为		骑手	
		规范驾驶(y)	风险驾驶($1-y$)
调整算法(x)		$P_1 + P_2 - C_1 - \alpha_2 S_2$	$P_2 + \Delta P_2 + P_1 - C_1$
		$P_4 - \alpha_2 K$	$P_4 + \Delta P_4$
平台		0	0
		$P_2 - S_1 - S_2$	$P_2 + \Delta P_2 - S_1 - \alpha_1 S_2$
不调整算法($1-x$)		$P_4 - K$	$P_4 + \Delta P_4 - \alpha_1 K$
		0	0

三、演化策略模型稳定性分析

(一) 平台的策略稳定性分析

令平台选择调整算法和不调整算法的期望收益分别为 U_{x1} 、 U_{x2} , 平均期望收益为 \bar{U}_x , 有:

$$U_{x1} = yz(P_1 + P_2 + E - C_1 - \alpha_2 S_2) + z(1-y)(P_1 + P_2 + \Delta P_2 + E - C_1 - W_1) + (1-z)y(P_1 + P_2 - S_1 - \alpha_2 S_2) + (1-z)(1-y)(P_2 + \Delta P_2 + P_1 - C_1), \quad (1)$$

$$U_{x2} = yz(P_2 - S_1 - S_2) + z(1-y)(P_2 + \Delta P_2 - S_1 - W_1 - \alpha_1 S_2) + (1-z)y(P_2 - S_1 - S_2) + (1-z)(1-y)(P_2 + \Delta P_2 - S_1 - \alpha_1 S_2), \quad (2)$$

$$\bar{U}_x = x \times U_{x1} + (1-x) \times U_{x2}. \quad (3)$$

由此可得平台策略选择的复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{x1} - \bar{U}_x) = x[U_{x1} - xU_{x1} - (1-x)U_{x2}] = x(1-x)(U_{x1} - U_{x2}) = x(1-x)[P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 - C_1 + (1-\alpha_1 - \alpha_2)S_2y + Ez], \quad (4)$$

$$\frac{d(F(x))}{dx} = (1-2x)[P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 - C_1 + (1-\alpha_1 - \alpha_2)S_2y + Ez]. \quad (5)$$

根据微分方程稳定性定理, 当 $F(x) = 0$ 且 $\frac{d(F(x))}{dx} < 0$ 时, 平台选择调整算法的概率稳定。记

$$y^* = \frac{C_1 - P_1 - \alpha_1 S_2 - S_1 - Ez}{(1-\alpha_1 - \alpha_2)S_2}.$$

(1)当 $y = y^*$ 时, $F(x) \equiv 0$, 此时平台不能确定稳定策略。

(2)当 $y < y^*$ 时, $\frac{d(F(x))}{dx}|_{x=0} < 0$, 令 $F(x) = 0$, $x = 0$ 为稳定点, 平台不调整算法。

(3)当 $y > y^*$ 时, $\frac{d(F(x))}{dx}|_{x=1} < 0$,令 $F(x) = 0, x = 1$ 为稳定点,平台调整算法。图1为平台复制动态相位图。其中,x轴为平台调整算法的概率,y轴为骑手规范驾驶的概率,z轴为政府限速的概率。

命题一:骑手规范驾驶和政府限速的概率越大,平台调整算法的概率越大。

当骑手规范驾驶的概率 $y > y^*$ 时,平台选择策略的初始状态位于 V_1 内,稳定点为 $x = 1$;当骑手规范驾驶的概率 $y < y^*$ 时,平台选择策略的初始状态位于 V_2 内,稳定点为 $x = 0$ 。可以看出,随着 y, z 的增大,平台的演化稳定策略由 $x = 0$ 朝 $x = 1$ 演进,平台选择调整算法的概率增大。因此,当骑手规范驾驶概率增大时,交通事故发生率下降,骑手安全性和服务质量上升,若平台仍维持既有算法,将导致骑手超时率上升、订单履约率下降,并进一步引发骑手流失、用户投诉及

社会舆论关注,平台会选择通过调整算法降低平台的运营成本和负面舆论压力;当政府限速时,平台为积极响应政府政策、避免因政策执行不力而引发的负面舆论压力,会选择调整算法。

命题二:随着 P_1, S_1, S_2, α_1 和 E 增大以及 C_1, α_2 减小,平台调整算法的概率越大。

当 P_1, S_1, S_2, α_1 和 E 增大, C_1, α_2 减小时, y^* 变小,代表平台调整算法概率的 V_1 体积变大。可以看出,当平台调整算法时获得的社会效益和政府补贴、不调整算法时损失的社会效益和骑手风险驾驶配送超时的概率增加时,平台倾向于选择调整算法;当调整算法时,若平台付出的成本和骑手规范驾驶配送超时概率上升,则平台倾向于选择不调整算法。

(二)骑手的策略稳定性分析

令骑手选择规范驾驶、风险驾驶的期望收益分别为 U_{y1}, U_{y2} ,平均期望收益为 \bar{U}_y ,有:

$$U_{y1} = xz(P_4 - \alpha_2 K) + x(1-z)(P_4 - \alpha_2 K) + (1-x)z(P_4 - K) + (1-x)(1-z)(P_4 - K), \quad (6)$$

$$\begin{aligned} U_{y2} = & xz(P_4 + \Delta P_4 - W_2) + x(1-z)(P_4 + \Delta P_4) + (1-x)z(P_4 + \Delta P_4 - W_2 - \alpha_1 K) \\ & + (1-x)(1-z)(P_4 + \Delta P_4 - \alpha_1 K), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\bar{U}_y = y \times U_{y1} + (1-y) \times U_{y2}. \quad (8)$$

由此可得骑手策略选择的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(y) = \frac{dy}{dt} &= y(U_{y1} - \bar{U}_y) = y[U_{y1} - yU_{y1} - (1-y)U_{y2}] \\ &= y(1-y)(U_{y1} - U_{y2}) = y(1-y)[(\alpha_1 - 1)K - \Delta P_4 + W_2 z + (1 - \alpha_1 - \alpha_2)Kx], \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{d(F(y))}{dy} = (1-2y)[(\alpha_1 - 1)K - \Delta P_4 + W_2 z + (1 - \alpha_1 - \alpha_2)Kx]. \quad (10)$$

根据微分方程稳定性原理,当 $F(y) = 0$ 且 $\frac{d(F(y))}{dy} < 0$ 时,骑手选择规范驾驶的概率稳定。记 $x^* = \frac{\Delta P_4 + (1 - \alpha_1)K - W_2 z}{(1 - \alpha_1 - \alpha_2)K}$ 。

(1)当 $x = x^*$ 时, $F(y) \equiv 0$,骑手不能确定稳定策略。

(2)当 $x < x^*$ 时, $\frac{d(F(y))}{dy}|_{y=0} < 0$,令 $F(y) = 0, y = 0$ 为稳定点,骑手选择风险驾驶。

(3)当 $x > x^*$ 时, $\frac{d(F(y))}{dy}|_{y=1} < 0$,令 $F(y) = 0, y = 1$ 为稳定点,骑手选择规范驾驶。图2为骑

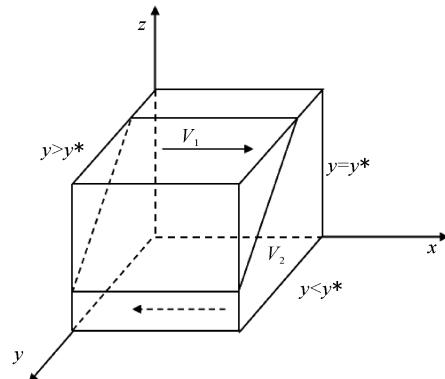


图1 平台复制动态相位图

手复制动态相位图。

命题三:平台调整算法和政府限速的概率越大,骑手规范驾驶的概率越大。

当平台调整算法的概率 $x > x^*$ 时,骑手选择策略的初始状态位于 V_3 内,稳定点为 $y = 1$;当平台不调整算法的概率 $x < x^*$ 时,骑手选择策略的初始状态位于 V_4 内,稳定点为 $y = 0$ 。可以发现,随着 x 、 z 的增大,骑手的演化稳定策略由 $y = 0$ 朝 $y = 1$ 演进,骑手选择规范驾驶的概率增大。因此,政府限速相当于提供了明确的法律界限和安全标准,同时平台算法调整会影响骑手的工作模式和激励机制。例如,通过放宽配送时间限制或提供其他形式的奖励来鼓励安全驾驶,骑手为了遵守法律规定、避免处罚和提高自身安全,会倾向于按照限速要求驾驶。

命题四:随着 W_2 、 K 、 α_1 增大以及 ΔP_4 、 α_2 减小,骑手选择规范驾驶的概率增大。

当 W_2 、 K 、 α_1 增大且 ΔP_4 、 α_2 减小时, x^* 变小,代表骑手规范驾驶概率 V_3 的体积变大。可以看出,当政府限速导致骑手因风险驾驶而收入减少,或平台调整算法导致骑手因风险驾驶配送超时概率与罚款提高时,骑手倾向于选择规范驾驶;当平台调整算法导致骑手因规范驾驶导致配送超时的概率上升,或风险驾驶可为骑手带来更高的每日额外平均收入时,骑手则倾向于选择风险驾驶。

(三)政府的策略稳定性分析

令政府选择限速和不限速的期望收益分别为 U_{z1} 、 U_{z2} ,平均期望收益为 \bar{U}_z ,有:

$$U_{z1} = xy(P_3 - E - C_2) + x(1-y)(P_3 - E - C_2) + (1-x)y(P_3 - C_2) + (1-x)(1-y)(P_3 - C_2), \quad (11)$$

$$U_{z2} = 0, \quad (12)$$

$$\bar{U}_z = z \times U_{z1} + (1-z) \times U_{z2}. \quad (13)$$

由此可得政府策略选择的复制动态方程为:

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(U_{z1} - \bar{U}_z) = z[U_{z1} - zU_{z1} - (1-z)U_{z2}] = z(1-z)(U_{z1} - U_{z2}) \\ = z(1-z)(P_3 - C_2 - Ex), \quad (14)$$

$$\frac{d(F(z))}{dz} = (1-2z)(P_3 - C_2 - Ex). \quad (15)$$

根据微分方程稳定性原理,当 $F(z) = 0$ 且 $\frac{d(F(z))}{dz} |_{z=0} < 0$ 时,政府选择限速的概率稳定。记 $x^* =$

$$\frac{P_3 - C_2}{E}.$$

(1)当 $x = x^*$ 时, $F(z) \equiv 0$,此时政府不能确定稳定策略。

(2)当 $x > x^*$ 时, $\frac{d(F(z))}{dz} |_{z=0} < 0$,令 $F(z) = 0$, $z = 0$ 为稳定点,政府选择不限速。

(3)当 $x < x^*$ 时, $\frac{d(F(z))}{dz} |_{z=1} < 0$,令 $F(z) = 0$, $z = 1$ 为稳定点,政府选择限速。图 3 为政府复

制动态相位图。

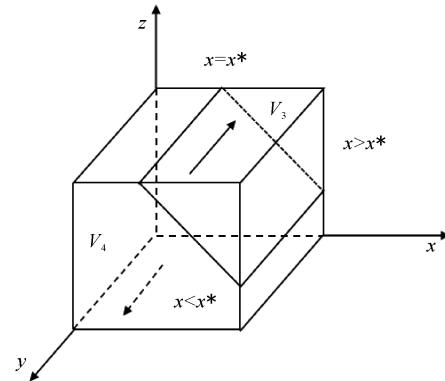


图 2 骑手复制动态相位图

命题五:平台调整算法的概率越小,政府限速的概率越大。记 $x^* = \frac{P_3 - C_2}{E}$ 。

当平台调整算法的概率 $x < x^*$ 时,政府选择策略的初始状态位于 V_5 内,稳定点为 $z=1$;当平台调整算法的概率 $x > x^*$ 时,政府选择策略的初始状态位于 V_6 内,稳定点为 $z=0$ 。可以发现,随着 x 、 y 的减小,政府的演化稳定策略由 $z=0$ 朝 $z=1$ 演进,政府选择限速的概率增大。因此,平台不调整算法,骑手为了追求效率而频繁超速驾驶,增加了发生交通事故的风险,激发社会对骑手安全和道路安全的担忧,政府为了保护

公共安全、回应社会关切、减少交通事故和提高行业安全标准,可能会介入并颁布限速令,强制要求平台和骑手遵守,确保配送行业的健康和可持续发展。

命题六:随着 P_3 增大以及 C_2 和 E 减小,政府选择限速的概率增大。

当 P_3 增大, C_2 和 E 减小时, x^* 变大,代表政府限速概率的 V_5 的体积会变大,选择限速的概率会变大。可以看出,当政府限速获得的社会效益增加时,政府倾向于选择限速;当政府限速的成本、政府为调整算法的平台提供的补贴上升时,政府倾向于选择不限速。

(四)三方主体的演化稳定性

将平台、骑手和政府的复制动态方程联立,得到三者的复制动力系统:

$$\begin{cases} F(x) = x(1-x)[P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 - C_1 + (1-\alpha_1-\alpha_2)S_2y + Ez] \\ F(y) = y(1-y)[(\alpha_1-1)K - P_4 + W_2z + (1-\alpha_1-\alpha_2)Kx] \\ F(z) = z(1-z)(P_3 - C_2 - Ex) \end{cases} \quad (16)$$

根据 Ritzberger 和 Weibull^[25] 的结论,只需讨论纯策略点 $E_1(0,0,0)$ 、 $E_2(1,0,0)$ 、 $E_3(0,1,0)$ 、 $E_4(0,0,1)$ 、 $E_5(1,1,0)$ 、 $E_6(1,0,1)$ 、 $E_7(0,1,1)$ 、 $E_8(1,1,1)$ 。根据 Friedman^[26] 的方法可知,通过分析 Jacobi 矩阵可以得到系统的演化稳定策略,三方演化博弈系统的 Jacobi 矩阵如下:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

其中:

$$\frac{\partial F(x)}{\partial x} = (1-2x)[P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 - C_1 + (1-\alpha_1-\alpha_2)S_2y + Ez], \quad (18)$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial y} = x(1-x)(1-\alpha_1-\alpha_2)S_2, \quad (19)$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial z} = x(1-x)E, \quad (20)$$

$$\frac{\partial F(y)}{\partial x} = y(1-y)(1-\alpha_1-\alpha_2)K, \quad (21)$$

$$\frac{\partial F(y)}{\partial y} = (1-2y)[(\alpha_1-1)K - \Delta P_4 + W_2z + (1-\alpha_1-\alpha_2)Kx], \quad (22)$$

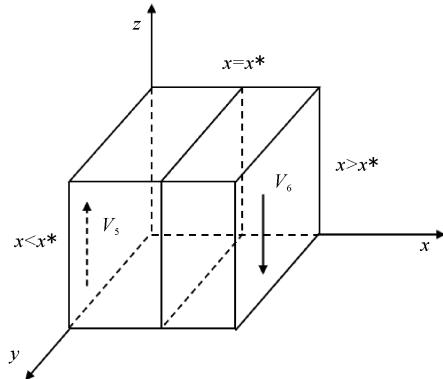


图 3 政府复制动态相位图

$$\frac{\partial F(y)}{\partial z} = y(1-y)W_2, \quad (23)$$

$$\frac{\partial F(z)}{\partial x} = -z(1-z)E, \quad (24)$$

$$\frac{\partial F(z)}{\partial y} = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\partial F(z)}{\partial z} = (1-2z)(P_3-C_2-Ex). \quad (26)$$

根据 Lyapunov 第一法则,当特征值均为负数时,均衡点为演化博弈的稳定点^[27]。以均衡点 $E_3(0,1,0)$ 为例,其 Jacobi 矩阵为:

$$J_3 = \begin{bmatrix} P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 - C_1 & 0 & 0 \\ 0 & -[-(1-\alpha_1)K - \Delta P_4] & 0 \\ 0 & 0 & P_3 - C_2 \end{bmatrix}. \quad (27)$$

特征值分别为 $\lambda_1 = P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 - C_1$ 、 $\lambda_2 = -[-(1-\alpha_1)K - \Delta P_4]$ 、 $\lambda_3 = P_3 - C_2$ 。 $\lambda_2 = -[-(1-\alpha_1)K - \Delta P_4]$ 始终为正值,所以 $E_3(0,1,0)$ 为不稳定点。据此,各均衡点的稳定性分析如表 4 所示,存在 $E_1(0,0,0)$ 、 $E_2(1,0,0)$ 、 $E_4(0,0,1)$ 、 $E_6(1,0,1)$ 、 $E_7(0,1,1)$ 、 $E_8(1,1,1)$ 六个可能的渐进稳定点。

表 4 各均衡点的特征值和稳定性分析

均衡点	特征值	稳定性条件	局部稳定性
$E_1(0,0,0)$	$\lambda_1 = P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 - C_1$	$P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 < C_1$	渐近稳定点
	$\lambda_2 = -(1-\alpha_1)K - \Delta P_4$	$P_3 < C_2$	
	$\lambda_3 = P_3 - C_2$		
$E_2(1,0,0)$	$\lambda_1 = -(P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 - C_1)$	$P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 > C_1$	渐近稳定点
	$\lambda_2 = -\alpha_2 K - \Delta P_4$	$P_3 < C_2 + E$	
	$\lambda_3 = P_3 - C_2 - E$		
$E_3(0,1,0)$	$\lambda_1 = P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 - C_1$	存在正特征值	不稳定点
	$\lambda_2 = -[-(1-\alpha_1)K - \Delta P_4]$		
	$\lambda_3 = P_3 - C_2$		
$E_4(0,0,1)$	$\lambda_1 = P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 + E - C_1$	$P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 + E < C_1$	渐近稳定点
	$\lambda_2 = W_2 - (1-\alpha_1)K - \Delta P_4$	$P_3 > C_2$	
	$\lambda_3 = -(P_3 - C_2)$	$W_2 - (1-\alpha_1)K < \Delta P_4$	
$E_5(1,1,0)$	$\lambda_1 = -(P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 - C_1)$	存在正特征值	不稳定点
	$\lambda_2 = \alpha_2 K + \Delta P_4$		
	$\lambda_3 = P_3 - C_2 - E$		
$E_6(1,0,1)$	$\lambda_1 = -(P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 + E - C_1)$	$P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 + E > C_1$	渐近稳定点
	$\lambda_2 = W_2 - \alpha_2 K - \Delta P_4$	$P_3 > C_2 + E$	
	$\lambda_3 = -(P_3 - C_2 - E)$	$W_2 - \alpha_2 K < \Delta P_4$	
$E_7(0,1,1)$	$\lambda_1 = P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 + E - C_1$	$P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 + E < C_1$	渐近稳定点
	$\lambda_2 = -[W_2 - (1-\alpha_1)K - \Delta P_4]$	$W_2 - (1-\alpha_1)K > \Delta P_4$	
	$\lambda_3 = -(P_3 - C_2)$	$P_3 > C_2$	
$E_8(1,1,1)$	$\lambda_1 = -[P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 + E - C_1]$	$P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 + E > C_1$	渐近稳定点
	$\lambda_2 = -[W_2 - \alpha_2 K - \Delta P_4]$	$P_3 > C_2 + E$	
	$\lambda_3 = -(P_3 - C_2 - E)$	$W_2 - \alpha_2 K > \Delta P_4$	

四、仿真分析

为了验证博弈模型和演化结果的准确性,利用 Matlab 软件进行数值仿真。

(一) 均衡稳定策略的演化路径分析

第一,设置 x, y, z 的初始值为 0.1,并以 0.2 为间隔依次取值至 0.9。在每组初始条件下进行 100 期动态演化,模拟策略随时间的变化趋势及其最终稳定状态。第二,根据《广州市网约配送行业公约》,平台企业应切实贯彻安全主体责任理念,完善平台订单分派机制、优化配送路线、合理确定订单饱和度和制定申诉补时等相关机制,政府会对不遵守行规行约的平台企业采取警告、责令公开检查甚至罚款、吊销营业执照等行政处罚。美团 2023 年财务报告与骑手权益保障社会责任报告中提到,美团全年包含对算法的优化和调整在内的研发支出达到 212 亿元,2023 年第四季度的净利润为 36 亿元。本文参考以往研究的参数赋值思想,^[7]并参考上述对在线劳动平台、政策相关数据的查询、设定与计算,将平台调整算法付出的成本以及政府限速付出的成本取值分别定为 $C_1 = 60, C_2 = 100$,骑手规范驾驶时平台每日平均利润以及骑手每日平均收入取值分别定为 $P_2 = 20, P_4 = 10$,骑手风险驾驶时平台每日额外平均利润以及骑手每日额外平均收入取值分别定为 $P_2 = 20, P_4 = 10$,骑手配送超时平台损失的利润取值定为 $S_2 = 5$,平台不调整算法骑手风险驾驶时配送超时的概率取值定为 $\alpha_1 = 0.1$ 。本文设置平台调整算法获得的社会效益 $P_1 \in [15, 35]$,不调整算法损失的社会效益 $S_1 \in [15, 35]$,政府限速获得的社会效益 $P_3 \in [80, 130]$,为调整算法的平台提供的补贴 $E \in [20, 25]$;此外,《广州市网约配送行业公约》对违反条例的骑手按照违法程度实行从“停派单 1 天”到“拉入行业黑名单”等不同等级的处罚。因此,本文设置政府限速而骑手风险驾驶时平台损失的利润 $W_1 \in [10, 20]$,骑手损失的收入 $W_2 \in [10, 20]$;骑手配送超时平台的罚款 $K \in [5, 10]$,平台调整算法骑手规范驾驶时配送超时的概率 $\alpha_2 \in [0.1, 0.2]$ 。根据表 4 的均衡点稳定性分析结果,均衡点 $E_1(0,0,0), E_2(1,0,0), E_4(0,0,1), E_6(1,0,1), E_7(0,1,1), E_8(1,1,1)$ 在六类不同条件下的 Jacobi 矩阵所有特征值均具有负实部,表明这些均衡点在相应条件下均为 ESS(均衡稳定状态)。因此,分六种情形进行仿真分析并讨论稳定策略,如表 5 所示。

表 5 六种情形的稳定性

均衡点	情形 1		情形 2		情形 3		情形 4		情形 5		情形 6	
	特征值	稳定性										
$E_1(0,0,0)$	(-, -, -)	ESS	(+, -, *)	非稳定点	(-, -, +)	非稳定点	(*, -, +)	非稳定点	(-, -, +)	非稳定点	(*, -, +)	非稳定点
$E_2(1,0,0)$	(+, -, -)	非稳定点	(-, -, -)	ESS	(+, -, *)	非稳定点	(*, -, +)	非稳定点	(+, -, *)	非稳定点	(*, -, +)	非稳定点
$E_3(0,1,0)$	(*, +, -)	非稳定点	(*, +, *)	非稳定点	(*, +, +)	非稳定点	(*, +, *)	非稳定点	(-, +, +)	非稳定点	(*, +, *)	非稳定点
$E_4(0,0,1)$	(*, -, +)	非稳定点	(+, *, *)	非稳定点	(-, -, -)	ESS	(+, -, *)	非稳定点	(-, +, -)	非稳定点	(*, +, *)	非稳定点
$E_5(1,1,0)$	(+, *, -)	非稳定点	(*, +, -)	非稳定点	(*, +, *)	非稳定点	(*, +, +)	非稳定点	(+, +, *)	非稳定点	(*, +, +)	非稳定点
$E_6(1,0,1)$	(*, *, +)	非稳定点	(-, *, +)	非稳定点	(+, -, *)	非稳定点	(-, -, -)	ESS	(*, +, *)	非稳定点	(*, +, -)	非稳定点
$E_7(0,1,1)$	(*, *, +)	非稳定点	(+, *, *)	非稳定点	(*, +, -)	非稳定点	(+, +, -)	非稳定点	(-, -, -)	ESS	(+, -, -)	非稳定点
$E_8(1,1,1)$	(*, *, +)	非稳定点	(*, *, +)	非稳定点	(*, +, *)	非稳定点	(-, +, -)	非稳定点	(+, -, *)	非稳定点	(-, -, -)	ESS

情形 1。当 $P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 < C_1, P_3 < C_2$ 时, $E_1(0,0,0)$ 为 Jacobi 矩阵的唯一稳定点。取 $C_1 = 60, C_2 = 100, P_2 = 20, P_4 = 10, \Delta P_2 = 20, \Delta P_4 = 10, S_2 = 5, \alpha_1 = 0.1, P_1 = 15, S_1 = 15, P_3 = 80, E = 20, W_1 = 10, W_2 = 10, K = 10, \alpha_2 = 0.2$, 满足该情形下的约束条件,仿真结果如图 4 所示。其中, x 轴为平台调整算法的概率, y 轴为骑手规范驾驶的概率, z 轴为政府限速的概率。在骑手风险驾驶和政府不限速的情况下,平台调整算法付出的成本,大于调整算法获得的社会效益以及不调整算法时损失的社会效

益、骑手配送超时平台损失的利润之和,此时,平台选择不调整算法,结果向 $(0,0,0)$ 聚拢,演化策略为(不调整算法,风险驾驶,不限速)。此情形下,骑手在智能算法的推动下,配送时间不断缩短,他们因需要在更短的时间内完成更多的订单而风险驾驶;平台、骑手和政府三方均采取消极态度,这是一种较糟糕的稳定状态。

情形 2。当 $P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 > C_1, P_3 < C_2 + E$ 时, $E_2(1,0,0)$ 为 Jacobi 矩阵的唯一稳定点。取 $C_1 = 60, C_2 = 100, P_2 = 20, P_4 = 10, \Delta P_2 = 20, \Delta P_4 = 10, S_2 = 5, \alpha_1 = 0.1, P_1 = 35, S_1 = 35, P_3 = 80, E = 25, W_1 = 10, W_2 = 10, K = 10, \alpha_2 = 0.2$, 满足该情形下的约束条件, 仿真结果如图 5 所示。此时, 即使骑手风险驾驶和政府不限速, 平台调整算法付出的成本, 小于调整算法获得的社会效益以及不调整算法时损失的社会效益、骑手配送超时平台损失的利润之和, 此时平台选择调整算法, 结果向 $(1,0,0)$ 聚拢, 演化策略为(调整算法, 风险驾驶, 不限速)。此情形反映出, 政府不限速时, 平台主动调整算法未能有效引导骑手规范驾驶, 骑手仍会选择风险驾驶。因而, 仅靠平台调整算法是不能提高骑手的安全性的。

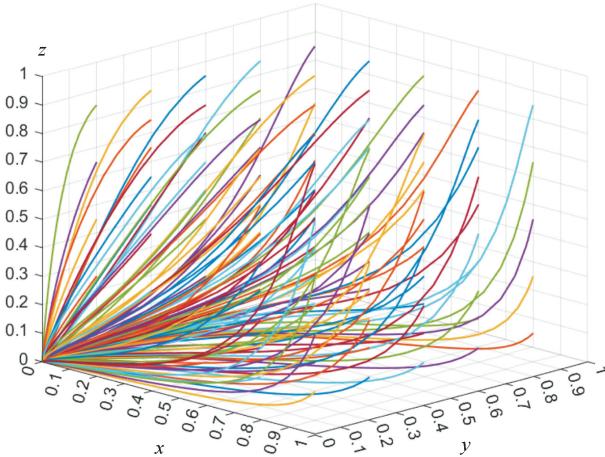


图 4 情形 1 仿真分析

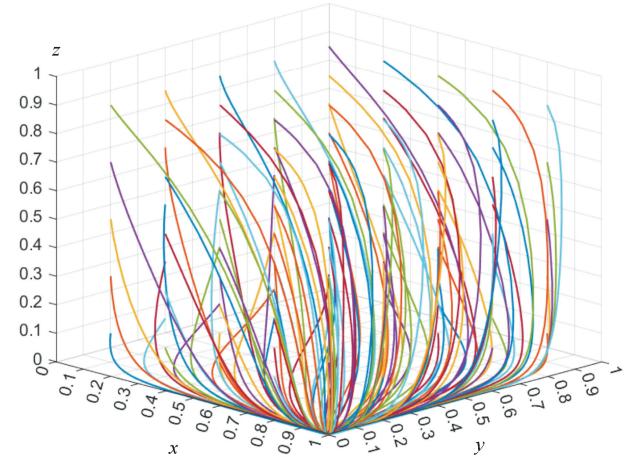


图 5 情形 2 仿真分析

情形 3。当 $P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 + E < C_1, P_3 > C_2$ 且 $W_2 - (1 - \alpha_1)K < P_4$ 时, $E_4(0,0,1)$ 为 Jacobi 矩阵的唯一稳定点。取 $C_1 = 60, C_2 = 100, P_2 = 20, P_4 = 10, \Delta P_2 = 20, \Delta P_4 = 10, S_2 = 5, \alpha_1 = 0.1, P_1 = 15, S_1 = 15, P_3 = 130, E = 20, W_1 = 10, W_2 = 10, K = 10, \alpha_2 = 0.2$, 满足该情形下的约束条件, 仿真结果如图 6 所示。政府因限速获得的社会效益大于付出的成本, 选择限速; 但平台因调整算法付出的成本减去政府补贴后, 仍大于调整算法获得的社会效益以及不调整算法时损失的社会效益、骑手配送超时平台损失的利润之和, 平台会选择不调整算法; 骑手因政府对于风险驾驶的处罚小于配送超时时平台的罚款与风险驾驶时每日额外平均收入之和, 其会选择风险驾驶, 结果向 $(0,0,1)$ 聚拢, 演化策略为(不调整算法, 风险驾驶, 限速)。此情形下, 尽管政府提供补贴以鼓励平台调整算法, 但由于成本因素, 平台未作出调整; 同时, 骑手迫于压力仍选择风险驾驶。因而, 仅政府限速不能提高骑手的安全性。

情形 4。当 $P_1 + S_1 + \alpha_1 S_2 + E > C_1, P_3 > C_2 + E$ 且 $W_2 - \alpha_2 K < P_4$ 时, $E_6(1,0,1)$ 为 Jacobi 矩阵的唯一稳定点。取 $C_1 = 60, C_2 = 100, P_2 = 20, P_4 = 10, \Delta P_2 = 20, \Delta P_4 = 10, S_2 = 5, \alpha_1 = 0.1, P_1 = 35, S_1 = 35, P_3 = 130, E = 25, W_1 = 10, W_2 = 10, K = 5, \alpha_2 = 0.1$, 满足该情形下的约束条件, 仿真结果如图 7 所示。在政府限速的条件下, 平台因调整算法付出的成本减去政府补贴后, 小于调整算法获得的社会效益以及不调整算法时损失的社会效益、骑手配送超时平台损失的利润之和, 平台会选择调整算法; 但骑手将因为政府对于风险驾驶的处罚, 小于平台调整算法后配送超时的罚款与风险驾驶时每日额外平均收入之和, 而仍选择风险驾驶, 结果向 $(1,0,1)$ 聚拢, 演化策略为(调整算法, 风险驾驶, 限速)。此情形反映了, 在政府限速、平台调整算法的情况下, 骑手因风险驾驶的收益和对配送超时的担忧仍大于风险驾驶将面临的惩

罚,而选择风险驾驶。因而,在较低监督强度下,政府限速和平台调整算法不能提高骑手的安全性。

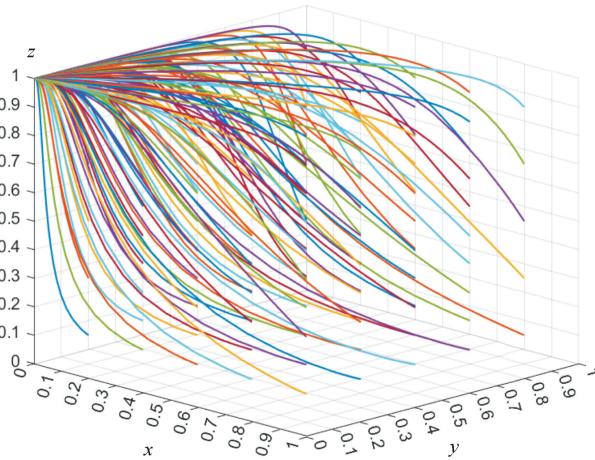


图6 情形3 仿真分析

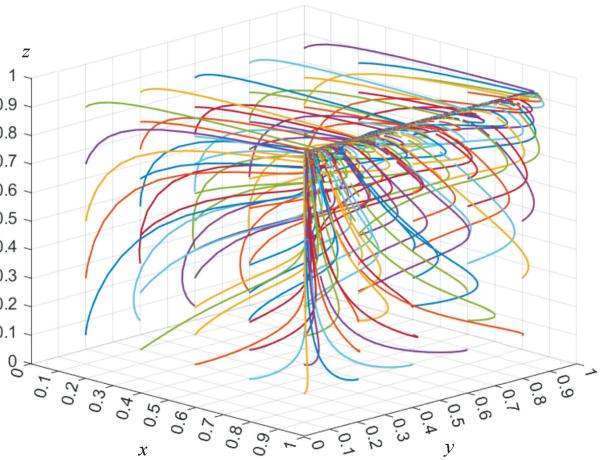


图7 情形4 仿真分析

情形5。当 $P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 + E < C_1, P_3 > C_2$ 且 $W_2 - (1-\alpha_1)K > P_4$ 时, $E_7(0,1,1)$ 为 Jacobi 矩阵的唯一稳定点。取 $C_1 = 60, C_2 = 100, P_2 = 20, P_4 = 10, \Delta P_2 = 20, \Delta P_4 = 10, S_2 = 5, \alpha_1 = 0.1, P_1 = 15, S_1 = 15, P_3 = 130, E = 20, W_1 = 20, W_2 = 20, K = 10, \alpha_2 = 0.2$, 满足该情形下的约束条件, 仿真结果如图8所示。在政府限速的条件下, 平台因调整算法付出的成本减去政府补贴后, 仍大于调整算法时获得的社会效益、骑手配送超时平台损失的利润以及不调整算法时损失的社会效益之和, 平台会选择不调整算法; 即使如此, 骑手因政府对于风险驾驶的处罚大于配送超时的罚款与风险驾驶时每日额外平均收入之和, 其会选择规范驾驶, 结果向 $(0,1,1)$ 聚拢, 演化策略为(不调整算法, 规范驾驶, 限速)。此情形下, 受到政府对骑手风险驾驶行为严厉惩罚的影响, 骑手倾向于选择规范驾驶; 然而, 平台出于成本考量并未调整算法, 骑手收入将显著降低, 骑手劳动权益不能得到有效保障。

情形6。当 $P_1 + S_1 + (1-\alpha_2)S_2 + E > C_1, P_3 > C_2 + E$ 且 $W_2 - \alpha_2 K > P_4$ 时, $E_8(1,1,1)$ 为 Jacobi 矩阵的唯一稳定点。取 $C_1 = 60, C_2 = 100, P_2 = 20, P_4 = 10, \Delta P_2 = 20, \Delta P_4 = 10, S_2 = 5, \alpha_1 = 0.1, P_1 = 35, S_1 = 35, P_3 = 130, E = 25, W_1 = 20, W_2 = 20, K = 5, \alpha_2 = 0.1$, 满足该情形下的约束条件, 仿真结果如图9所示。在政府限速和平台调整算法的条件下, 骑手因政府对于风险驾驶的处罚, 大于平台调整算法后配送超时的罚款与风险驾驶时每日额外平均收入之和, 其会选择规范驾驶, 结果向 $(1,1,1)$ 聚拢, 演化策略

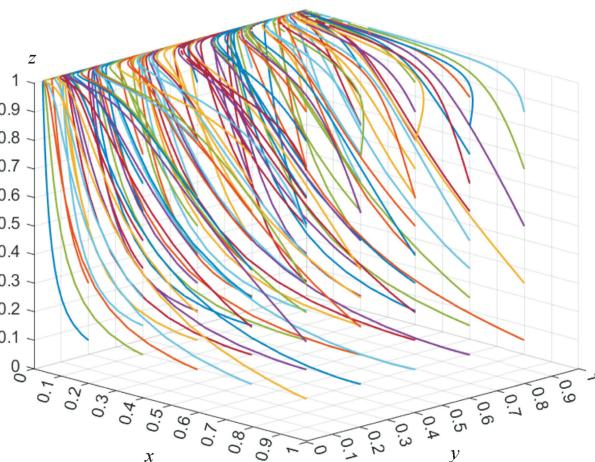


图8 情形5 仿真分析

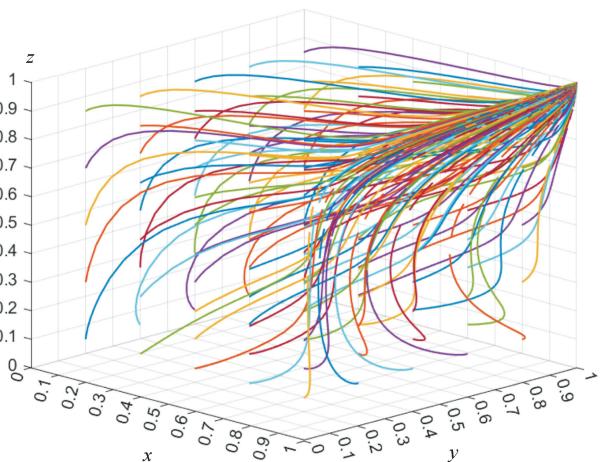


图9 情形6 仿真分析

为(调整算法,规范驾驶,限速)。此情形下,在政府选择限速策略的情况下,平台受到政策激励而调整算法,骑手则在政府与平台的协同治理下选择规范驾驶,平台、骑手和政府三方都选择积极策略,整体利益达到最大化,是一种理想的稳定状态。

(二)参数的敏感性分析

$E_8(1,1,1)$ 是博弈系统期望达到的理想稳定状态。情形 6 描述了特定情形下博弈系统向唯一均衡稳定策略点 $E_8(1,1,1)$ 演化的过程,变化情况符合解决骑手风险驾驶现状的期望,故选择 $E_8(1,1,1)$ 作为博弈系统唯一均衡稳定策略的基础情境,进一步研究该情境下相关参数变化对于均衡稳定策略 $E_8(1,1,1)$ 的影响。

(1) 平台调整算法获得社会效益的敏感性分析。将平台、骑手和政府三方都选择积极策略的初始概率设置为 0.2,平台调整算法获得的社会效益 P_1 分别设置为 15、25、35,代入得到仿真结果(如图 10)。

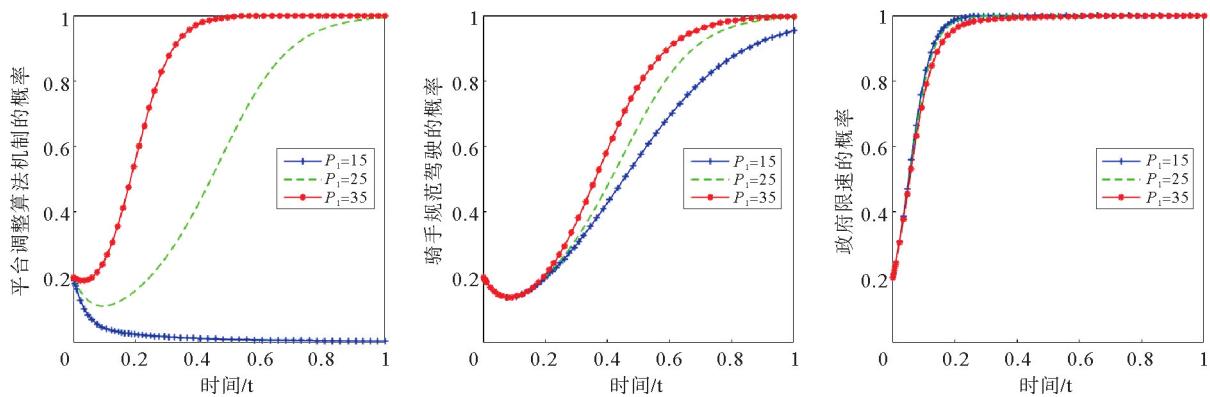


图 10 平台调整算法获得社会效益的敏感性分析

由图 10 可见,随着平台调整算法获得的社会效益的增大,平台与骑手分别收敛于调整算法、安全驾驶的速度越快;当该社会效益低于某一阈值时,平台的策略收敛方向发生变化,将收敛于不调整算法。随着平台因调整算法而获得的社会效益逐步增大,平台更倾向于通过调整算法来实现长期利益最大化,其策略收敛速度加快。同时,由于平台调整算法能够改善骑手工作条件并降低风险驾驶的收益,骑手对规范驾驶的倾向性显著提高,策略也趋于快速收敛于安全驾驶。然而,当社会效益低于某一阈值时,调整算法的边际收益不足以抵消其成本,平台为追求短期利润将收敛于不调整算法。

(2) 政府限速获得社会效益的敏感性分析。将平台、骑手和政府三方都选择积极策略的初始概率设置为 0.2,政府限速获得的社会效益 P_3 分别设置为 80、105、130,代入得到仿真结果(如图 11)。

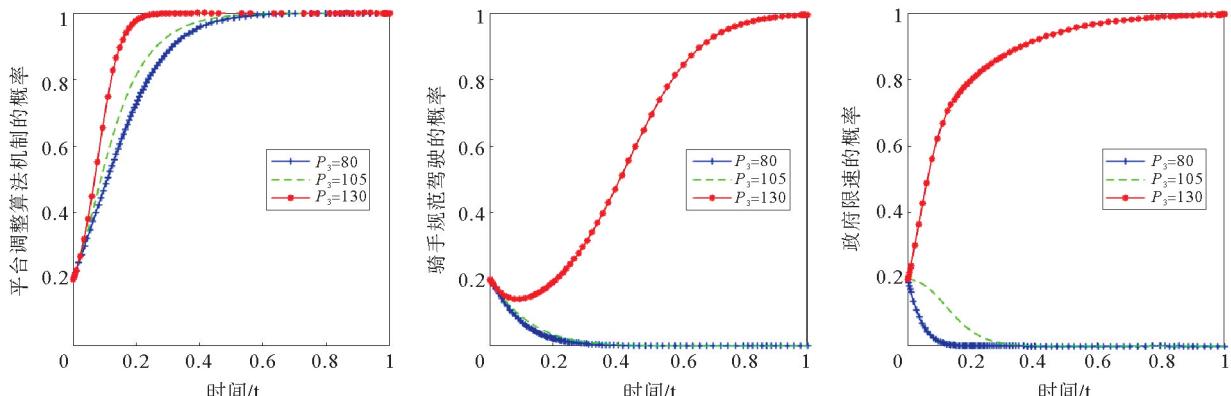


图 11 政府限速获得社会效益的敏感性分析

由图 11 可见,随着政府限速获得的社会效益的增大,平台收敛于调整算法的速度越快;当该社会效益低于某一阈值时,骑手与政府的策略收敛方向发生变化,将分别收敛于不调整算法、不限速。随着政府因实施限速政策获得的社会效益不断增大,平台为顺应政策导向和公众期待而调整算法的速度明显加快。然而,当政府限速的社会效益不足以弥补其实施成本(如监管和执法支出)时,政府将优先考虑减少干预,收敛于不限速的策略。同时,限速政策缺乏足够激励时,骑手为追求短期利益可能逐步转向不规范驾驶,从而改变原有策略收敛方向。

(3)政府为调整算法的平台提供补贴的敏感性分析。将平台、骑手和政府三方都选择积极策略的初始概率设置为 0.2,政府为调整算法的平台提供的补贴 E 分别设置为 15、25、35,代入得到仿真结果(如图 12)。

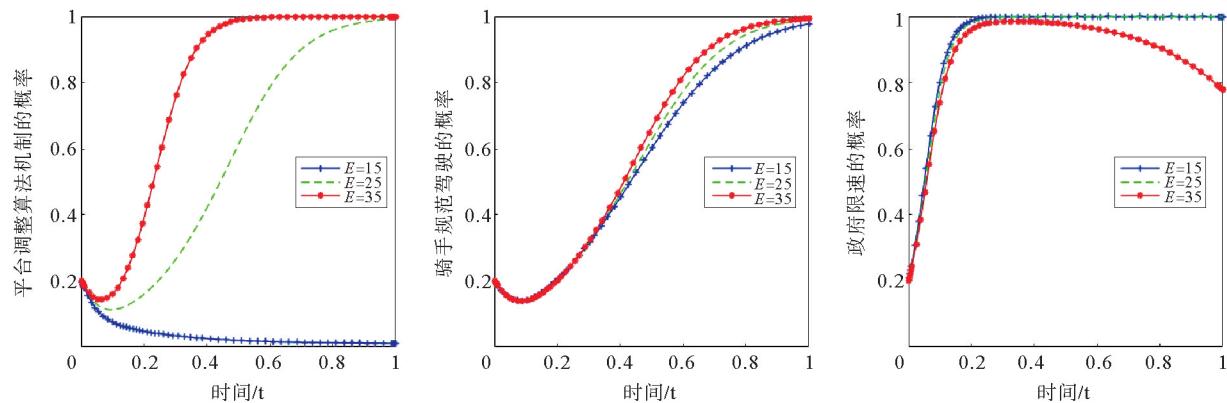


图 12 政府为调整算法的平台提供补贴的敏感性分析

由图 12 可见,随着政府为调整算法的平台提供的补贴的增大,平台与骑手分别收敛于调整算法、安全驾驶的速度越快;当该社会效益低于某一阈值时,平台的策略收敛方向发生变化,将收敛于不调整算法。当政府提高对调整算法的平台的补贴额度时,平台调整算法的收益显著增加,推动其策略快速收敛于调整算法的方向。同时,因算法调整改善了骑手的收入与工作条件,骑手对规范驾驶的倾向性也随之增强,策略收敛速度加快。然而,若政府补贴不足以覆盖平台调整算法的成本时,平台可能基于经济考量选择不调整算法,策略收敛方向随之改变。

(4)政府限速而骑手风险驾驶时骑手损失收入的敏感性分析。将平台、骑手和政府三方都选择积极策略的初始概率设置为 0.2,政府限速而骑手风险驾驶时骑手损失的收入 W_2 分别设置为 5、15、20,代入得到仿真结果(如图 13)。

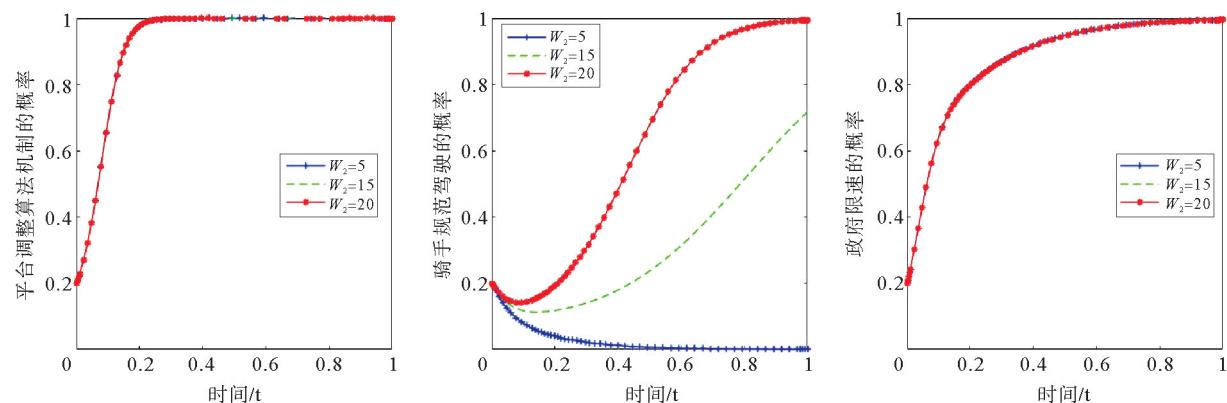


图 13 政府限速而骑手风险驾驶时骑手损失收入的敏感性分析

随着政府限速而骑手风险驾驶时骑手损失的收入超过某一阈值时,骑手的策略收敛方向发生变化,将收敛于规范驾驶。当政府限速导致骑手因风险驾驶而遭受的收入损失超过某一关键阈值时,风险驾驶的经济回报显著下降,骑手可能改变策略方向,从风险驾驶逐渐转向规范驾驶以试图弥补损失。这表明收入损失成为骑手行为选择的关键驱动因素。

(5) 骑手配送超时时受到平台罚款的敏感性分析。将平台、骑手和政府三方都选择积极策略初始概率设置为 0.2, 骑手配送超时时受到平台的罚款 K 分别设置为 5、10、15, 代入得到仿真结果(如图 14)。

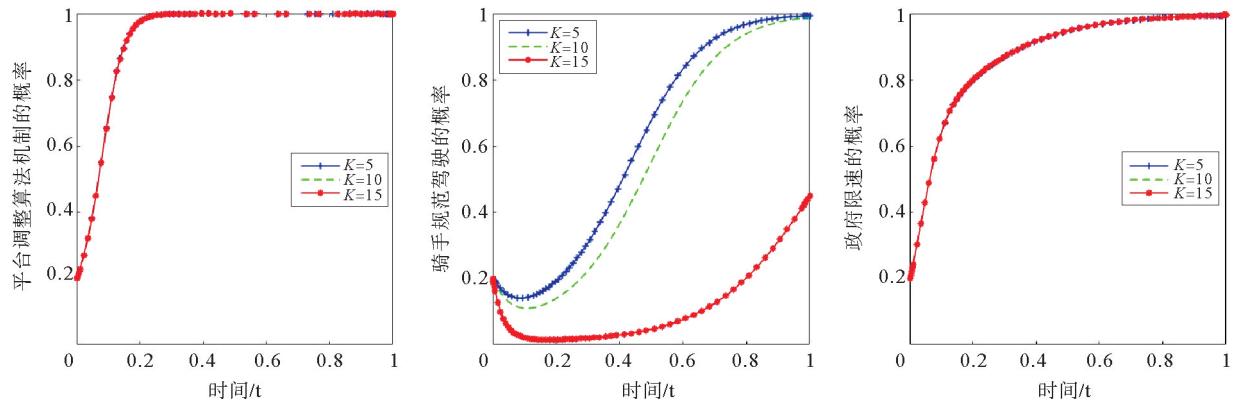


图 14 骑手配送超时时受到平台罚款的敏感性分析

随着骑手配送超时受到平台的罚款超过某一阈值时,骑手的策略收敛点趋向风险驾驶和安全驾驶之间。一方面,高额罚款促使骑手选择更高效但危险的驾驶方式以减少超时风险;另一方面,罚款也可能提高骑手对规范驾驶的接受度,以避免因风险驾驶导致额外惩罚。

(6) 平台调整算法对骑手规范驾驶时配送超时概率的敏感性分析。将平台、骑手和政府三方都选择积极策略的初始概率设置为 0.2, 平台调整算法情况下,骑手规范驾驶时配送超时概率 α_2 分别设置为 0.01、0.1、1, 代入得到仿真结果(如图 15)。

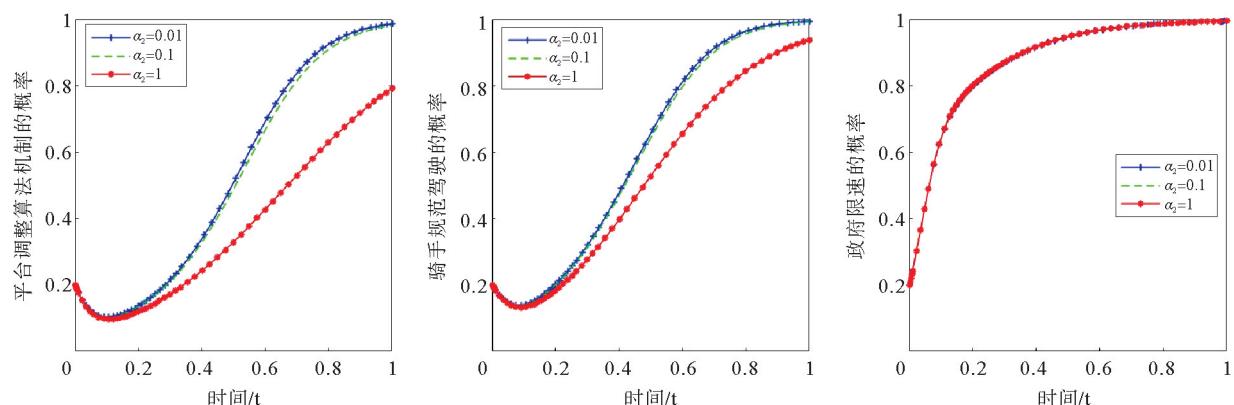


图 15 平台调整算法且骑手规范驾驶时配送超时概率的敏感性分析

在平台调整算法后,骑手规范驾驶时配送超时的概率超过某一临界点,算法调整未能显著改善配送效率,反而对平台与骑手利益构成双重威胁。在此情形下,平台可能在算法调整与不调整之间权衡,策略收敛点趋于中间状态。同样,骑手对规范驾驶的支持度可能下降,转向风险驾驶以降低配送超时的损失,策略收敛于风险驾驶与安全驾驶之间的动态平衡状态。

五、结论和建议

针对骑手风险驾驶问题,本文通过构建平台、骑手、政府的三方演化博弈模型,分析各方策略选择的稳定性,探讨影响各方策略选择的影响因素,并进行数值仿真分析,揭示了各方策略选择的相互影响机制及协同治理条件,为骑手风险驾驶的治理提供了参考。结论如下。

(1)从单个主体的演化策略来看,平台、骑手和政府三方策略互相影响:政府选择限速和骑手选择规范驾驶的概率,正向影响平台选择调整算法的概率,政府选择限速和平台选择调整算法的概率,对骑手选择规范驾驶的概率有正向影响,而平台选择调整算法的概率,对政府选择限速的概率有负向影响。

(2)从各方策略选择的具体影响因素来看,平台调整算法的概率,与调整算法时获得的社会效益、政府补贴,以及不调整时所损失的社会效益、骑手风险驾驶导致配送超时的概率均呈正相关;而与调整算法付出的成本、骑手规范驾驶配送超时的概率呈负相关。骑手规范驾驶的概率,与政府限速情况下骑手风险驾驶所损失的收入、平台调整算法时骑手风险驾驶配送超时的概率以及罚款呈正相关;而与平台调整算法时骑手规范驾驶配送超时的概率、骑手风险驾驶所能获得的每日额外平均收入呈负相关。政府选择限速的概率,与限速所带来的社会效益呈正相关,与限速成本及为平台提供的补贴呈负相关。

(3)从三方共同参与的层面来看,当演化策略为(调整算法,规范驾驶,限速)时,政府与平台实现了对骑手风险驾驶问题的协同治理。达到最优演化策略的条件为:平台因调整算法付出的成本减去政府补贴后,小于调整算法获得的社会效益以及不调整算法时损失的社会效益、骑手配送超时平台损失的利润之和,选择调整算法;骑手因政府对于风险驾驶的处罚,大于平台调整算法后配送超时的罚款与风险驾驶时每日额外平均收入之和,会选择规范驾驶;政府因限速获得的社会效益大于限速付出的成本与为调整算法的平台提供的补贴之和,会选择限速。

依据上述结论,可以得出如下启示。

(1)政府应完善限速机制,强化协同治理。传统的管制型治理方式越来越难以应对现实需要,对新业态的治理需要改变观念与方式。第一,要学习部分地区骑手交通违法治理经验,积极制定相应政策、明确限速标准,完善风险驾驶处罚机制并厘清监管职责。第二,要压实平台的主体责任,推动平台企业建立与劳动强度相匹配的收入分配机制,督促平台适时制定、修改关系骑手切身利益的规则和算法;同时,可以对平台给予鼓励和资金支持,增大企业调整算法的动力。第三,要与平台建立联动机制、加强“政企合作”,共同打造全方位的监管网络,建立起政府、平台、骑手联动的零工劳动安全规制体系。第四,要通过社交平台等多种渠道,加强对限速规定的宣传解释,提高公众的理解和支持。

(2)平台应明确自身社会责任,积极调整算法。平台是保障网约工劳动权益的重要切入点,平台应该在履行社会责任方面发挥主导作用,与政府共同加强对网约工合法权益的保障。第一,要推动算法从“精细化管理”向“人性化管理”转变,科学合理地确定订单数量、准时率、在线率和顾客评价等指标,将工作要求和压力控制在适当范围,不应片面地按照最高效率、最低成本设置最严算法。第二,要构建更为合理、透明的考核与激励体系,调整对外卖骑手的考核机制,确保外卖骑手在遵守限速的同时,其收入不会受到太大影响。第三,要对骑手加强交通安全培训,提高骑手交通安全意识,避免超速、逆行等违规行为。第四,要建立骑手诉求反映的直接渠道,明确诉求处置程序和时限,加强民主协商和平等沟通,及时解决因客观因素造成的配送超时等问题。

(3)骑手应自觉遵守相关法律法规,将工作安全置于首位,确保在保障自身人身安全和社会公共安全的前提下完成配送任务。第一,骑手应了解平台算法的基本运作机制,结合自身的体力、技能和精神状态,合理规划工作节奏,设定适合自身的工作目标,以避免因过度负荷而引发的安全隐患。第二,骑手应及时关注政府与平台发布的最新政策和规定,严格遵循相关的管理要求,主动配合检查,规范驾驶行为,严守不超速、不逆行等交通规则,减少因违规驾驶带来的风险。第三,骑手应积极参加平台或相关部门组

织的各类安全培训与教育活动,以提高自身的安全意识和应急处置能力,增强自我保护意识。第四,骑手可积极加入工会等组织,借助集体协商机制,通过合法途径维护自身权益,从而获得更加稳定的保障。

参考文献:

- [1] 李海舰,赵丽.数字经济时代大型平台企业新业态从业人员的劳动权益保障[J].改革,2023(1):95-108.
- [2] 苏炜杰.我国新业态从业人员职业伤害保险制度:模式选择与构建思路[J].中国人力资源开发,2021(3):74-90.
- [3] 熊浩,鄢慧丽.数据驱动外卖平台智能派单的实现机理研究[J].南开管理评论,2022(2):15-25.
- [4] 黄岩.工厂外的赶工游戏——以珠三角地区的赶货生产为例[J].社会学研究,2012(4):187-203.
- [5] 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(4):17-25.
- [6] WANG Z, NEITZEL R L, ZHENG W L, et al. Road safety situation of electric bike riders: A cross-sectional study in courier and take-out food delivery population[J]. Traffic injury prevention, 2021(7):564-569.
- [7] 张玲瑞,刘阳.外卖骑手的个人属性对风险驾驶行为的影响分析[J].中国物流与采购,2022(9):55-57.
- [8] ZHANG F, JI Y J, LV H T, et al. Analysis of factors influencing delivery e-bikes' red-light running behavior: A correlated mixed binary logit approach[J]. Accident analysis and prevention, 2021, 152:127-136.
- [9] 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(1):46-58.
- [10] WANG Y, LEI L F, ZHANG D X, et al. Towards delivery-as-a-service: Effective neighborhood search strategies for integrated delivery optimization of E-commerce and static O2O parcels[J]. Transportation research Part B: Methodological, 2020, 139:38-63.
- [11] TANG C Y, LIU C L, LI C L. Research on delivery problem based on two-stage multi-objective optimization for takeout riders[J]. Journal of industrial and management optimization, 2023(11):7881-7919.
- [12] 徐景一,赵慧.劳动过程理论视阈下的零工劳动者权益保障问题研究——以短视频社交平台为例[J].经济学家,2023(6):120-128.
- [13] 刘善仕,裴嘉良,葛淳棉,等.在线劳动平台算法管理:理论探索与研究展望[J].管理世界,2022(2):225-239.
- [14] 郑祁,杨伟国.零工经济前沿研究述评[J].中国人力资源开发,2019(5):106-115.
- [15] 堡琴因.新业态劳动者权益保障的政策工具选择研究[J].中国行政管理,2020(9):42-48.
- [16] 赵驰,李浩,耿敏.数据确权、规模差异与平台跨界成长[J].经济学报,2024(3):394-431.
- [17] 肖亮,李宏勇.新就业形态下如何破局劳动者工伤保险不完全覆盖困境——基于众包骑手群体的演化博弈分析[J].经济与管理,2024(5):19-32.
- [18] 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(3):66-78.
- [19] 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(3):108-119.
- [20] WEIBULL J W. Evolutionary game theory[M]. Massachusetts: MIT Press, 1997: 29.
- [21] 张国兴,高晚霞,管欣.基于第三方监督的食品安全监管演化博弈模型[J].系统工程学报,2015(2):153-164.
- [22] 郭彤梅,苗梓欣,戈童言,等.安抚算法:零工作者算法反馈策略[J].中国人力资源开发,2023(11):86-101.
- [23] 李国昊,梁永滔,苏佳璐.破除数字平台企业算法黑箱治理困境:基于算法透明策略扩散研究[J].信息资源管理学报,2023(2):81-94.
- [24] 冯向楠,詹婧.人工智能时代互联网平台劳动过程研究——以平台外卖骑手为例[J].社会发展研究,2019(3):61-83.
- [25] WEIBULL J W, RITZBERGER K. Evolutionary selection in normal-form games [J]. Econometrica: Journal of the econometric society, 1995(6):1371-1399.
- [26] FRIEDMAN D. A simple testable model of double auction markets[J]. Journal of economic behavior and organization, 1991(1):47-70.
- [27] LYAPUNOV A M, WALKER J A. The general problem of the stability of motion[J]. Journal of applied mechanics, 1994

(1):226.

Collaborative Governance of Risky Driving Among Delivery Riders: An Evolutionary Game Analysis of the Interaction Among Platform, Riders and Government Interactions

NI Yan, LIU Wenxuan

(Institute of Economics, Hubei Academy of Social Sciences, Wuhan 430062, China)

Abstract: With the rapid rise of new employment forms in the gig economy, the issue of risky driving among delivery riders has become increasingly prominent, while unilateral governance by online labor platforms has proven ineffective. In light of recent government-imposed “speed limit” regulations in multiple regions, this study introduces the concept of collaborative governance to explore a model where both the government and platforms jointly manage risky riding behavior. Based on evolutionary game theory, a tripartite evolutionary game model is constructed involving online labor platforms, riders, and the government, followed by simulation analysis of the evolutionary process. The results indicate that strategies among the three parties are interdependent: platforms’ adjustments to algorithmic mechanisms need to balance social benefits, costs, and government subsidies; riders’ adherence to safe driving must weigh the trade-offs between risky driving, delivery delays, and associated income loss; government enforcement of speed limits requires consideration of social benefits, costs, and subsidies provided to platforms. When the evolutionary strategies converge to platform algorithm adjustments, rider compliance, and government speed limits, collaborative governance over risky driving is achieved, and labor rights of riders are effectively safeguarded. The study provides a theoretical foundation for formulating substantive collaborative governance strategies among all stakeholders.

Key words: delivery riders; risky driving; platform economy; evolutionary game; government regulation

(责任编辑:魏 霄)

(上接第 107 页)

Risk Contagion Effect Among Industries: An Analysis Based on Modified KMV Model and Network Model

JIANG Cuifeng, LU Xiaotong

(School of Economics, Qingdao University, Qingdao, Shandong 266061, China)

Abstract: To clarify the risk contagion effect among industries, we utilize the stock market data spanning from 2007 to 2023 as the basis for our investigation. The modified KMV model and TENET model are used to calculate the risk indicators and risk spillover effects across 24 industries, and a risk contagion network among industries is constructed. Our findings reveal that, in addition to the real estate and financial industries, certain non-systemically important industries also exhibit a heightened susceptibility to financial risks, a factor that warrants careful consideration. Concurrently, with the rapid development of the economy, the interconnectedness among various industries continues to escalate, displaying pronounced temporal patterns. After further constructing the risk correlation network, it has been found that the risk spillover effects among industries remain robust, accompanied by a notable cross-sectoral contagion phenomenon. These research outcomes hold substantial referential value for the timely management of risk contagion across industries. Moreover, they offer insightful guidance for regulatory bodies in formulating industry-specific financial risk regulations and fostering the development of various sectors. Ultimately, our study furnishes empirical evidence for the proactive regulation of systemic risks and the promotion of high-quality economic growth.

Key words: industry risk spillover; systemic risk; TENET; risk contagion network; real economy

(责任编辑:魏 霄)