

企业应用

基于工业互联网平台的制造企业安全生产监管 演化博弈分析

章书凝¹, 吴 桥², 钱忆薇³, 张红叶², 赵钰逸²

(1. 浙江邮电职业技术学院经济管理学院, 浙江 绍兴 312000; 2. 浙江万里学院物流与电子商务学院, 浙江 宁波 315000;
3. 绍兴市越城区交通运输局, 浙江 绍兴 312000)

摘要:立足制造企业安全生产的客观实际,结合工业互联网的时代背景,构建“工业互联网安全生产监管平台-制造企业-政府”的三方演化博弈模型,对系统的演化策略稳定性进行分析及验证,研究制造企业支付的佣金系数、平台的开发及运营成本系数、政府对平台处以的罚金金额对演化结果的影响。结果表明:增加制造企业支付的佣金系数,可提升平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率和制造企业选择加入工业互联网安全生产监管平台的概率;降低平台的开发及运营成本系数,可提升平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率;增加政府对平台处以的罚金金额,可提升平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率和政府选择对工业互联网安全生产监管平台进行积极规制的概率。

关键词:工业互联网平台; 安全生产监管; 制造企业; 演化博弈

中图分类号: X921 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)11-0218-06

随着新一代信息技术的发展,如云计算、大数据、物联网等,结合工业领域,工业4.0、智能制造已成为时代主流,工业互联网也迅速发展^[1]。工业互联网最早由通用电气(GE)提出,并被定义为具有先进的计算分析、低成本传感和互联网允许的新水平连接的全球工业体系的融合^[2],其是实施制造业企业数字化转型的重要技术支撑^[3],对提高制造企业运营效率、推动制造业高质量发展具有重要意义^[4]。

安全生产是实现制造企业高质量发展的重要保障,是制造企业实现可持续发展的关键^[5]。制造企业一旦忽略安全生产的重要性,就可能会产生重大生产安全事故。近年来,随着工业互联网的发展,出现了一些由于软件、网络攻击导致的生产安全事故,如本田汽车遭受工业型勒索软件攻击,部分生产系统中断等。这类生产安全事故影响了制造企业的正常生产经营,造成了严重损失。

1 文献综述

工业互联网作为一种跨学科的科学集成技术,其不断与新技术相融合^[6]。目前,工业互联网已广泛应用于化工、机械等以制造业为基础的行业^[7]。Dou等^[8]认为加快工业互联网平台创新发展,是新一代信息技术与制造业融合的必然要求。Xu等^[9]认为工业互联网能提高制造企业的生产效率、安全性以及智能化程度。Zhang等^[10]认为基于工业互联网平台的制造服务协同目前面临的最大挑战之一是亟须一个安全、可靠、多用户满意的解决方案。

近年来,国内外学者开始研究如何将工业互联网应用到安全生产监管领域。Li等^[11]研究发现自动化集装箱码头的生产操作的安全状态可以借助工业互联网等先进技术实时监测。Wang等^[12]认为可以将工业互联网平台与计算机视觉技术相结合应用于工人安全生产监管领域。Yang^[13]研究

收稿日期: 2024-11-08

基金项目: 国家社会科学基金(19BGL046);宁波市软科学项目(2021R030)

作者简介: 章书凝(1997—),女,浙江绍兴人,硕士,助教,研究方向为平台经济与管理;通信作者吴桥(1983—),男,浙江金华人,博士,副教授,研究方向为供应链管理;钱忆薇(1998—),女,浙江绍兴人,硕士,研究方向为交通运输;张红叶(1998—),女,浙江宁波人,硕士,研究方向为工业互联网;赵钰逸(1996—),女,浙江宁波人,硕士,研究方向为供应链管理。

了工业互联网流量检测方法,以此进一步完善提升工业领域的安全生产。褚健^[14]以生产安全作为重点,提出基于工业操作系统为平台的解决方案。陈龄龙等^[15]提出了一种基于工业互联网的钢铁企业安全生产监管平台设计方法,有效提升钢铁企业安全生产数字化、网络化水平。张国之等^[16]总结了化工企业利用工业互联网进行安全生产管理的现状,集中在数据采集、汇聚、分析、运用与协作共享等环节。可以看出,已有不少学者研究了工业互联网应用到安全生产监管领域,同时也有学者指出工业互联网+安全生产存在行业平台稳定性不足等问题^[17]。

目前,工业互联网安全生产监管平台尚在发展初期,平台安全生产监管机制主要为动态感知、事前预防、全局联防,通过平台将政府部门监管服务创新与企业安全管控方式创新相结合,对安全生产监管工作进行赋能。然而,平台在监管制造企业生产行为的过程中,有时存在安全生产监管力度不强、提供安全生产监管服务水平较低的现象;同时,政府部门支持平台发展建设,给予补贴资助,但存在部分平台骗取补贴或网络安全性低等现象,政府需要对平台进行规制,上述问题亟须解决。

因此,本文立足制造企业安全生产的客观实际,结合工业互联网的时代背景,构建“工业互联网安全生产监管平台-制造企业-政府”三方演化博弈模型,对系统的演化策略稳定性进行分析,并分析部分重要参数对演化结果的影响。

2 演化博弈模型的构建

2.1 模型基本假设

工业互联网背景下制造企业安全生产的三方参与主体进行博弈,博弈主体三方均为有限理性,主体分别为工业互联网安全生产监管平台(简称平台)、制造企业以及政府。平台基于自身发展需要以及收益方面考虑,选择向制造企业提供何种水平的安全生产监管平台服务;制造企业也会依据自身安全生产以及利益,选择是否加入平台;政府是平台发展的倡导者及监督者,其会依据平台及制造企业的发展运行情况,选择实施积极规制或消极规制的策略。

假设 1:假设初始状态下,平台选择提供高水平的安全生产监管服务的概率为 x , 选择提供低水平的安全生产监管服务的概率为 $1-x$ 。制造企业选择

加入平台的概率为 y , 选择不加入的概率为 $1-y$ 。政府选择对平台进行积极规制的概率为 z , 选择进行消极规制的概率为 $1-z$ 。其中, $0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < z < 1$ 。

假设 2:平台对制造企业进行安全生产监管。安全生产监管程度的高低会决定平台建立安全生产监管运行体系所产生的开发及运营成本的多少,影响系数为 λ_P , 其中 $\lambda_P > 0$; 同时,其也会决定制造企业由此获得的收益及支付给平台的佣金多少,影响系数为 λ_E , 其中 $\lambda_E > 0$ 。

假设 3:当平台建立安全生产监管运行体系时,其前期建立安全生产监管运行体系所产生的开发成本为 $\lambda_P C_P^1$, 其在运行时所产生的运营成本为 $\lambda_P C_P^2$ 。当平台选择提供高水平的安全生产监管服务时,此时平台服务水平系数为 θ_H , 其中 $\theta_H > 1$, 开发成本为 $\theta_H \lambda_P C_P^1$, 运营成本为 $\theta_H \lambda_P C_P^2$; 当平台选择提供低水平的安全生产监管服务时,此时平台服务水平系数为 θ_L , 其中 $\theta_L > 1, \theta_H > \theta_L$, 开发成本为 $\theta_L \lambda_P C_P^1$, 运营成本为 $\theta_L \lambda_P C_P^2$ 。

假设 4:当制造企业选择加入平台时,其获得的收益为 $\lambda_E R_E$, 支付给平台的佣金为 $\lambda_E C_E$, 净收益为 $I_E = \lambda_E R_E - \lambda_E C_E$, 即意味着此时平台获得的收益也为 $\lambda_E C_E$, 净收益为 $I_P = \lambda_E C_E - \lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2$ 。当制造企业选择加入平台、平台提供高水平服务时,此时制造企业获得的收益为 $\theta_H \lambda_E R_E$, 支付给平台的佣金为 $\theta_H \lambda_E C_E$, 制造企业净收益为 $I_E^H = \theta_H (\lambda_E R_E - \lambda_E C_E)$, 平台净收益为 $I_P^H = \theta_H (\lambda_E C_E - \lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2)$; 当制造企业选择加入平台、平台提供低水平服务时,此时制造企业获得的收益为 $\theta_L \lambda_E R_E$, 支付给平台的佣金为 $\theta_L \lambda_E C_E$, 制造企业净收益为 $I_E^L = \theta_L (\lambda_E R_E - \lambda_E C_E)$, 平台净收益为 $I_P^L = \theta_L (\lambda_E C_E - \lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2)$ 。

假设 5:当政府选择实施消极规制时,政府会对平台给予技术、研发等方面的补贴资助,从而鼓励平台建立安全生产监管运行体系,政府补贴为 S , 其中 $S > 0$ 。当政府选择实施积极规制时,除了上述的补贴政策外,还会对平台进行监管,如严查骗取补贴行为、平台网络安全的监管等,并根据监管结果对平台予以处罚,当平台提供低水平服务时,此时罚金为 F , 当平台提供高水平服务时,此时罚金为 αF , 其中 $F > 0, 0 < \alpha < 1$ 。

基于以上研究假设,三方博弈群体收益矩阵见表 1。

表1 三方博弈群体收益矩阵

博弈策略		制造企业加入平台		制造企业不加入平台	
		政府积极规制	政府消极规制	政府积极规制	政府消极规制
工业互联网安全 生产监管平台	高水平服务	$\theta_H(\lambda_E C_E - \lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2) + S - aF,$ $\theta_H(\lambda_E R_E - \lambda_E C_E),$ $-S + aF$	$\theta_H(\lambda_E C_E - \lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2) + S,$ $\theta_H(\lambda_E R_E - \lambda_E C_E),$ $-S$	$\theta_H(-\lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2) + S - aF,$ $0,$ $-S + aF$	$\theta_H(-\lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2) + S,$ $0,$ $-S$
	低水平服务	$\theta_L(\lambda_E C_E - \lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2) + S - F,$ $\theta_L(\lambda_E R_E - \lambda_E C_E),$ $-S + F$	$\theta_L(\lambda_E C_E - \lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2) + S,$ $\theta_L(\lambda_E R_E - \lambda_E C_E),$ $-S$	$\theta_L(-\lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2) + S - F,$ $0,$ $-S + F$	$\theta_L(-\lambda_P C_P^1 - \lambda_P C_P^2) + S,$ $0,$ $-S$

平台期望收益为

$$U_P = y\theta_H\lambda_EC_E + \theta_H(-\lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2) + S - \alpha F;$$

$$U_{LP} = y\theta_L\lambda_EC_E + \theta_L(-\lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2) + S - \alpha F.$$

平台复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(1-x)(U_P - U_{LP}) = x(1-x)[y(\theta_H - \theta_L)\lambda_EC_E + (\theta_H - \theta_L)(-\lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2) + (1-\alpha)F].$$

制造企业期望收益为

$$U_E = (\theta_L - x\theta_L + x\theta_H)(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E), U_{NE} = 0.$$

制造企业复制动态方程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(1-y)(U_E - U_{NE}) = y(1-y)(\theta_L - x\theta_L + x\theta_H)(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E).$$

政府期望收益为

$$U_G = (\alpha - 1)xF + F - S, U_{NG} = -S.$$

政府复制动态方程为

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(1-z)(U_G - U_{NG}) = z(1-z)[(\alpha - 1)x + 1]F.$$

令 $F(x) = 0, F(y) = 0, F(z) = 0$, 得到系统的 8 个均衡点, 分别为 $E_1(0, 0, 0), E_2(0, 0, 1), E_3(1, 0, 0), E_4(1, 0, 1), E_5(0, 1, 0), E_6(0, 1, 1), E_7(1, 1, 0), E_8(1, 1, 1)$ 。

2.2 系统演化策略稳定性分析

为分析系统演化稳定策略, 首先计算均衡点处的雅克比矩阵:

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

雅克比矩阵特征值的计算见表 2。纯策略均衡点的稳定性分析见表 3。

表2 雅克比矩阵特征值

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
$E_1(0, 0, 0)$	$(\theta_H - \theta_L)(-\lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2)$	$\theta_L(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E)$	F
$E_2(0, 0, 1)$	$(\theta_H - \theta_L)(-\lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2) + (1-\alpha)F$	$\theta_L(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E)$	$-F$
$E_3(1, 0, 0)$	$(\theta_H - \theta_L)(\lambda_PC_P^1 + \lambda_PC_P^2)$	$\theta_H(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E)$	aF
$E_4(1, 0, 1)$	$(\theta_H - \theta_L)(\lambda_PC_P^1 + \lambda_PC_P^2) - (1-\alpha)F$	$\theta_H(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E)$	$-aF$
$E_5(0, 1, 0)$	$(\theta_H - \theta_L)(\lambda_EC_E - \lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2)$	$-\theta_L(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E)$	F
$E_6(0, 1, 1)$	$(\theta_H - \theta_L)(\lambda_EC_E - \lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2) + (1-\alpha)F$	$-\theta_L(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E)$	$-F$
$E_7(1, 1, 0)$	$(\theta_H - \theta_L)(-\lambda_EC_E + \lambda_PC_P^1 + \lambda_PC_P^2)$	$-\theta_H(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E)$	aF
$E_8(1, 1, 1)$	$(\theta_H - \theta_L)(-\lambda_EC_E + \lambda_PC_P^1 + \lambda_PC_P^2) - (1-\alpha)F$	$-\theta_H(\lambda_ER_E - \lambda_EC_E)$	$-aF$

表3 均衡点稳定性分析

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3	稳定性
$E_1(0, 0, 0)$	< 0	$-$	> 0	鞍点
$E_2(0, 0, 1)$	$-$	$-$	< 0	若 $(\theta_H - \theta_L)(\lambda_PC_P^1 + \lambda_PC_P^2) > (1-\alpha)F$ 且 $R_E < C_E$, 是稳定点; 否则, 是鞍点
$E_3(1, 0, 0)$	> 0	$-$	> 0	鞍点或不稳定点
$E_4(1, 0, 1)$	$-$	$-$	< 0	若 $(\theta_H - \theta_L)(\lambda_PC_P^1 + \lambda_PC_P^2) < (1-\alpha)F$ 且 $R_E < C_E$, 是稳定点; 否则, 是鞍点
$E_5(0, 1, 0)$	$-$	$-$	> 0	鞍点或不稳定点
$E_6(0, 1, 1)$	$-$	$-$	< 0	若 $(\theta_H - \theta_L)(\lambda_EC_E - \lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2) < (1-\alpha)F$ 且 $R_E > C_E$, 是稳定点; 否则, 是鞍点
$E_7(1, 1, 0)$	$-$	$-$	> 0	鞍点或不稳定点
$E_8(1, 1, 1)$	$-$	$-$	< 0	若 $(\theta_H - \theta_L)(\lambda_EC_E - \lambda_PC_P^1 - \lambda_PC_P^2) > (1-\alpha)F$ 且 $R_E > C_E$, 是稳定点; 否则, 是鞍点

3 数值仿真

针对系统较为理想的一种稳定性状态 $E_8(1,1,1)$, 对比分析制造企业支付的佣金系数、平台的开发及运营成本系数、政府对平台处以的罚金金额对演化结果的影响。运用 MATLAB R2022b 软件进行数值仿真。为了让数值仿真更符合实际, 参考文献[18-19]及其他相关资料, 前往浙江省杭州市工业制造企业开展实地调研, 结合上述获取到的数据, 进行参数假设。参数设置如下: $\lambda_P = 1, \lambda_E = 1.2, C_P^1 = 8, C_P^2 = 6, \theta_H = 2, \theta_L = 1, R_E = 22, C_E = 20.5, \alpha = 0.5, F = 5$ 。

参数设置依据如下: λ_P 为安全生产监管程度影响平台建立安全生产监管运行体系所产生的开发及运营成本的系数, 参考制造企业相关数据及文献, 该系数设为 1; λ_E 为安全生产监管程度影响制造企业由此获得的收益及支付给平台佣金的系数, 该系数设为 1.2; $\lambda_P C_P^1$ 为平台前期建立安全生产监管运行体系所产生的开发成本, 设 C_P^1 为 8, 由于 λ_P 为 1, 则 $\lambda_P C_P^1$ 为 8; $\lambda_P C_P^2$ 为平台在运行安全生产监管体系时所产生运营成本的系数, 设 C_P^2 为 6, 由于 λ_P 为 1, 则 $\lambda_P C_P^2$ 为 6; θ_H 为平台选择提供高水平的安全生产监管服务时的服务水平系数, 由于是提供高水平安全生产监管服务, 所以此时服务水平系数较高, 设为 2; θ_L 为平台选择提供低水平的安全生产监管服务时的服务水平系数, 由于是提供低水平安全生产监管服务, 所以此时服务水平系数较低, 设为 1; $\lambda_E R_E$ 为制造企业选择加入平台时其获得的收益, 设 R_E 为 22, 则 $\lambda_E R_E$ 为 26.4; $\lambda_E C_E$ 为制造企业选择加入平台时其支付给平台的佣金, 设 C_E 为 20.5, 则 $\lambda_E C_E$ 为 24.6; F 为政府选择实施积极规制时, 平台提供低水平服务时应缴的罚金, 设为 5; αF 为政府选择实施积极规制时, 平台提供高水平服务时应缴的罚金, 由于是提供高水平安全生产监管服务, 所以在此时监管结果相比于低水平时较好, 应缴罚金相比于低水平时较少, 设 α 为 0.5, 则 αF 为 2.5。

3.1 模型检验

为检验系统演化稳定分析的有效性, 将参数代入模型中进行仿真, 运行结果如图 1 所示。

由图 1 可知, 在设定的参数条件下系统最终会演化到 $E_8(1,1,1)$, 与上一节中系统演化策略稳定性分析的内容一致, 说明模型具有有效性, 对工业互联网安全生产监管平台、制造企业、政府具有重要现实指导意义。

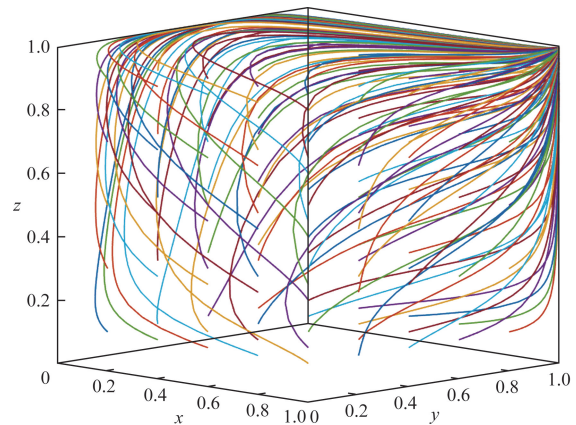


图 1 系统演化博弈仿真图

3.2 佣金系数、成本系数对演化结果的影响

为了研究佣金系数、成本系数对演化结果的影响, 将制造企业支付的佣金系数 λ_E 、平台的开发及运营成本系数 λ_P 分别作为变量进行数值仿真, 得到仿真结果, 如图 2、图 3 所示。

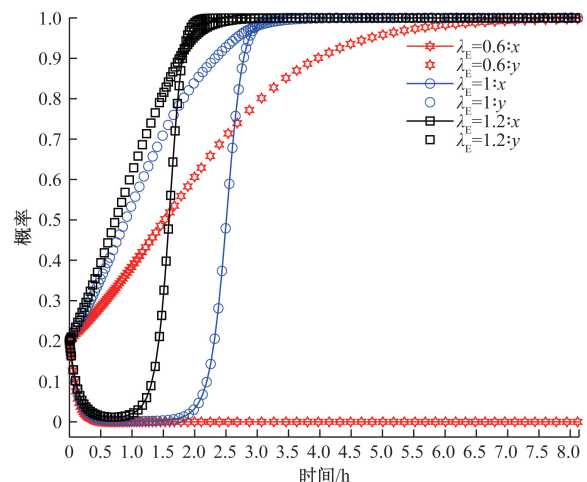


图 2 λ_E 对演化结果的影响

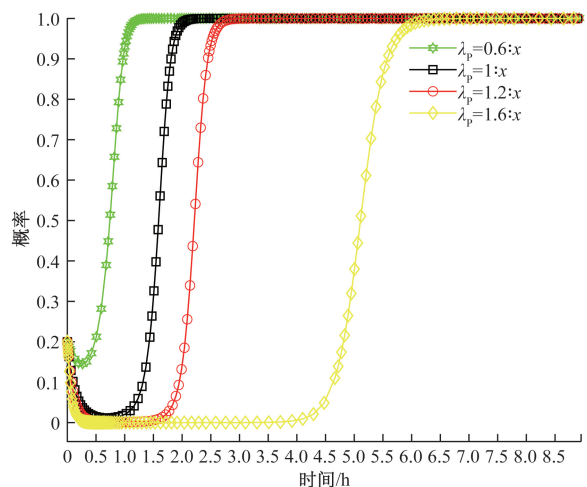


图 3 λ_P 对演化结果的影响

由图2可知,当 λ_E 的数值为0.6时,平台的策略选择最终趋向于0,当 λ_E 的数值为1、1.2时,平台的策略选择从开始时趋向于0,转变至最终趋向于1,并且随着 λ_E 的数值增大,平台选择提供高水平的安全生产监管服务策略的速率增大;当 λ_E 的数值为0.6、1、1.2时,制造企业的策略选择趋向于1,并且随着 λ_E 的数值增大,制造企业选择加入平台策略的速率增大。

由图3可知,当 λ_P 的数值为0.6、1、1.2及1.6时,平台的策略选择从开始时趋向于0,转变至最终趋向于1,然而随着 λ_P 的数值增大,平台选择提供高水平的安全生产监管服务策略的速率减小。

结合图2、图3,可得到以下结论。

(1)平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率与 λ_E 成正比,与 λ_P 成反比。这意味着,增加制造企业支付的佣金系数、降低平台的开发及运营成本系数,可提升平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率。

(2)制造企业选择加入工业互联网安全生产监管平台的概率与 λ_E 成正比。这意味着,增加制造企业支付的佣金系数,可提升制造企业选择加入工业互联网安全生产监管平台的概率。

3.3 罚金金额对演化结果的影响

为了研究罚金金额对演化结果的影响,将政府对平台处以的罚金金额 F 作为变量进行数值仿真,得到仿真结果,如图4所示。

由图4可知,当 F 的数值为5、8及10时,平台的策略选择从开始时趋向于0,转变至最终趋向于1,并且随着 F 的数值增大,平台选择提供高水平的安全生产监管服务策略的速率增大;当 F 的数值为5、8及10时,政府的策略选择趋向于1,并且随着 F

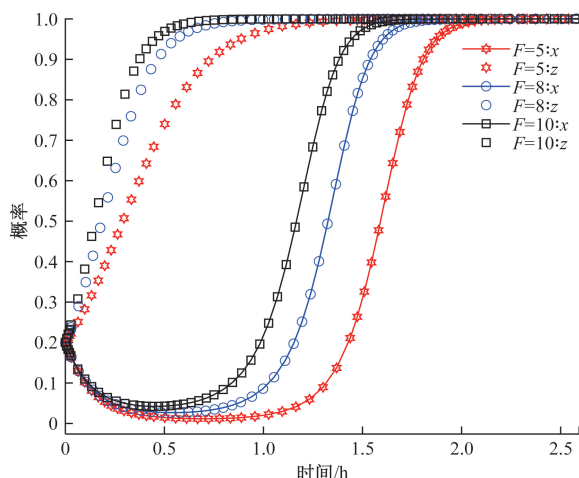


图4 F 对演化结果的影响

的数值增大,政府选择对平台进行积极规制的速率增大。因此,可得到以下结论。

(1)平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率与 F 成正比。这意味着,增加政府对平台处以的罚金金额,可提升平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率。

(2)政府选择对工业互联网安全生产监管平台进行积极规制的概率与 F 成正比。这意味着,增加政府对平台处以的罚金金额,可提升政府选择对工业互联网安全生产监管平台进行积极规制的概率。

4 结论与启示

本文分析了基于工业互联网平台的制造企业安全生产监管的演化博弈问题,分析了制造企业支付的佣金系数、平台的开发及运营成本系数、政府对平台处以的罚金金额对演化结果的影响,得到以下结论。

(1)平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率与其开发及运营成本系数成反比,与制造企业支付的佣金系数成正比;制造企业选择加入平台的概率与其支付的佣金系数成正比。

(2)平台选择高程度的安全生产监管服务水平的概率与政府对平台处以的罚金金额成正比;政府对平台进行积极规制的概率与其对平台处以的罚金金额成正比。

根据以上的研究结论,得到以下管理启示。

(1)工业互联网安全生产监管平台应适当提高平台安全生产监管程度,在合理范围内增加制造企业支付的佣金系数,降低开发及运营成本系数,以此来吸引更多的制造企业选择加入工业互联网安全生产监管平台。

(2)政府应对工业互联网安全生产监管平台进行积极规制,在合理范围内适当增加对平台处以的罚金金额,引导工业互联网安全生产监管平台发挥积极的安全生产监管作用,实现良性发展。

参考文献

- [1] GIOVANNI C, CHIARA F, COSIMO P, et al. Smart behavioural filter for industrial internet of things[J]. Mobile Networks & Applications, 2018, 23(4): 809-816.
- [2] CHENG J F, ZHANG H, TAO F, et al. DT-II: digital twin enhanced industrial internet reference framework towards smart manufacturing[J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2020, 62: 1-14.
- [3] 刘怡君, 王亚楠, 常媛. 工业互联网对制造企业数字化转型

- 型的影响: 基于多时点 PSM-DID 的验证[J]. 企业经济, 2023, 42(8): 83-92.
- [4] 王康周, 王冬冬, 豆垒, 等. 工业互联网场景下运营管理研究综述[J]. 工业工程, 2024, 27(2): 1-13.
- [5] SYAIFULLAH D H, TIAHJONO B, MCILHATTON D, et al. The impacts of safety on sustainable production performance in the chemical industry: a systematic review of literature and conceptual framework[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 366: 1-15.
- [6] QIN W, CHEN S Q, PENG M G. Recent advances in industrial internet: insights and challenges[J]. Digital Communications and Networks, 2020, 6(1): 1-13.
- [7] ZHAO J, WU D. The risk assessment on the security of industrial internet infrastructure under intelligent convergence with the case of G. E. 's Intellectual Transformation[J]. Mathematical Biosciences and Engineering, 2022, 19(3): 2896-2912.
- [8] DOU K Q, LI J, ZHOU Y. Research on design and monitoring of a development index of an industrial internet platform based on a fixed-base index method[J]. Electronics, 2022, 274: 1-18.
- [9] XU H S, YU W, GRIFFITH D, et al. A survey on industrial internet of things: a cyber-physical systems perspective[J]. IEEE Access, 2018, 6: 78238-78259.
- [10] ZHANG Y P, ZHANG P Y, TAO F, et al. Consensus aware manufacturing service collaboration optimization under blockchain based industrial internet platform[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 135: 1025-1035.
- [11] LI Y, CHANG D F, GAO Y P, et al. Automated container terminal production operation and optimization via an AdaBoost: based digital twin framework[J]. Journal of Advanced Transportation, 2021, 2021: 1-16.
- [12] WANG S, LI X Y, CHEN W, et al. An intelligent vision-based method of worker identification for industrial internet of things(IoT)[J]. Wireless Communications & Mobile Computing, 2022, 2022: 1-11.
- [13] YANG D H. Research on traffic detection method of secure transmission industrial internet of things based on computer vision[J]. Scientific Programming, 2021, 2021: 1-11.
- [14] 褚健. 工业互联网时代工厂安全生产的思考与实践[J]. 科技导报, 2019, 37(12): 92-96.
- [15] 陈龄龙, 管强, 余凯. 基于工业互联网的钢铁企业安全生产监管平台设计与实践[J]. 冶金自动化, 2022, 46(S1): 275-278.
- [16] 张国之, 王云龙, 穆波. 工业互联网在化工企业安全生产中的研究现状和发展趋势[J]. 应用化工, 2022, 51(5): 1403-1407.
- [17] 曹旭, 王如君, 魏利军, 等. “工业互联网+油气管道安全生产”系统架构研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(1): 5-9.
- [18] 谭钦文, 郎流胜. 考虑社会监督行为的工贸企业安全监管演化博弈分析[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(1): 139-146.
- [19] 董昌其, 刘纪达, 米加宁. 安全生产数字化协同监管集体行动的随机演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2023, 32(11): 155-162.

Evolutionary Game Analysis of Production Safety Supervision in Manufacturing Enterprises Based on Industrial Internet Platform

ZHANG Shuning¹, WU Qiao², QIAN Yiwei³, ZHANG Hongye², ZHAO Yuyi²

(1. School of Economics and Management, Zhejiang Post and Telecommunication College, Shaoxing 312000, Zhejiang, China;

2. School of Logistics and E-commerce, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315000, Zhejiang, China;

3. Shaoxing Yuecheng District Transport Bureau, Shaoxing 312000, Zhejiang, China)

Abstract: Based on the reality of safety production in manufacturing enterprises and the background of industrial Internet, a tripartite evolutionary game model of industrial internet safety production supervision platform-manufacturing enterprises-government was constructed to analyze and verify the stability of the system's evolutionary strategy. The effects of the commission coefficient paid by the manufacturing enterprises, the development and operating cost coefficient of the platform, and the amount of fines imposed by the government on the platform on the evolution results are studied. The results show that increasing the commission coefficient paid by manufacturing enterprises can improve the probability of the platform choosing a high degree of safety production supervision service level and the probability of manufacturing enterprises choosing to join the industrial Internet safety production supervision platform. Reducing the development and operating cost coefficient of the platform can improve the probability of the platform choosing a high degree of production safety supervision service level. Increasing the amount of fines imposed by the government on the platform can improve the probability of the platform choosing a high degree of production safety supervision service level, and the probability of the government choosing to actively regulate the industrial Internet production safety supervision platform.

Keywords: industrial internet platform; work safety supervision; manufacturing enterprise; evolutionary game