

基于多主体演化博弈均衡模型的数据要素的进场交易与可信流通体系构建研究

张丽丽, 章政

引用本文

张丽丽, 章政. 基于多主体演化博弈均衡模型的数据要素的进场交易与可信流通体系构建研究[J]. 计算机科学, 2025, 52(3): 127-136.

ZHANG Lili, ZHANG Zheng. Study on Data Entry Transaction and Trusted Circulation System Construction Based on Multi-agent Evolutionary Game Equilibrium Model [J]. Computer Science, 2025, 52(3): 127-136.

相似文献推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

专利交易中区块链应用的三方演化博弈分析

Tripartite Evolutionary Game Analysis of Blockchain Applications in Patent Transactions
计算机科学, 2024, 51(10): 432-441. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.230800116>

基于动态演化博弈的装备采购模型仿真研究

Simulation of Equipment Procurement Model Based on Dynamic Evolutionary Game
计算机科学, 2023, 50(11A): 220900051-10. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220900051>

区块链架构下医疗数据共享的三方演化博弈研究

Tripartite Evolutionary Game Analysis of Medical Data Sharing Under Blockchain Architecture
计算机科学, 2023, 50(6A): 221000080-7. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.221000080>

基于DE-lightGBM模型的上市公司高送转预测实证研究

Empirical Study on the Forecast of Large Stock Dividends of Listed Companies Based on DE-lightGBM
计算机科学, 2022, 49(11A): 211000017-7. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.211000017>

基于前景理论的微信健康信息质量三方博弈分析

Evolutionary Game Analysis of WeChat Health Information Quality Optimization Based on Prospect Theory
计算机科学, 2022, 49(6A): 694-704. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210900186>

基于多主体演化博弈均衡模型的数据要素的进场交易与可信流通体系构建研究

张丽丽¹ 章 政²

1 西北工业大学马克思主义学院 西安 710072

2 北京大学经济学院 北京 100871

摘 要 与传统生产要素相比,数据要素的非排他性、非竞争性和非标准化性等特点决定了可信场内交易体系是实现数据要素市场可持续发展的关键。引导交易双方进场交易是解决当前我国数据要素可信流通体系缺失、数据流动不足、场内交易不活跃等问题的“突破口”。通过构建包括政府、数据提供方、数据需求方三方主体的演化博弈模型并进行政策仿真分析发现,在给定条件下,政府通过提高场外交易惩罚额度、提高场内交易收益、降低进场交易成本和场外交易收益等措施,可以促进交易双方进场交易行为的实现;而进场交易补贴激励、进场激励或场外交易惩戒强度、数据需求方场外交易收益等政策变量对推动相关主体进场交易的作用并不显著,在政策机制设计中可忽略这些变量的影响。

关键词: 数据要素交易;场内交易;机制设计;演化博弈;仿真分析

中图分类号 TP309;F49

Study on Data Entry Transaction and Trusted Circulation System Construction Based on Multi-agent Evolutionary Game Equilibrium Model

ZHANG Lili¹ and ZHANG Zheng²

1 School of Marxism, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

2 School of Economics, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract Compared with traditional production factors, the characteristics of non exclusivity, non competitiveness, and non standardization of data factors determine that a trustworthy on exchange trading system is the key to achieving sustainable development of the data factor market. Guiding both parties to enter the market for trading is a breakthrough in solving the current lack of reliable data element circulation system, insufficient data flow, and inactive on exchange trading in China. By constructing an evolutionary game model that includes the government, data providers, data demanders, and conducting policy simulation analysis, it is found that the government's measures such as increasing the penalty amount for over-the-counter transactions, strengthening the punishment intensity for over-the-counter transactions, reducing entry transaction costs, and increasing entry transaction profits can help promote the implementation of entry trading behavior by both parties. However, the policy variables such as the subsidy incentive, the entry incentive or the disciplinary intensity of OTC transactions, and the OTC transaction income of the data demander are not significant in promoting the entry transactions of the relevant subjects. The influence of these variables can be ignored in the design of policy mechanism.

Keywords Data element trading, Floor trading, Mechanism design, Evolutionary game, Simulation analysis

1 问题提出

当今世界数据经济发展方兴未艾。根据《国家数据资源调查报告》((2021,2022)显示,2021年我国数据全年产量达6.6ZB,2022年达8.1ZB,在全球中占比为10.5%,年均产量位居全球第二(仅次于美国的16ZB),且预计未来年均增长率为30%左右^[1]。相较于现实产生的海量数据和丰富的应用场景,我国数据场内交易规模和交易频次并不高,2021年

数据要素总交易额为73亿美元,仅为世界第一大市场美国(按照数据产量比计算,美国2020年数据要素交易额为2550亿美元,数据要素产量约为我国2倍多)的1/15左右^[1]。

现实中,数据交易主要包括场外交易和场内交易。场外交易一般为直接交易,即采用“一对一”或“一对多”交易方式^[2]。当前我国大部分数据交易采用场外“一对一”的交易方式进行,这种交易方式虽然灵活高效,但普遍存在交易纠纷频发、个人隐私泄露、数据非法收集买卖、数据滥用和

¹⁾ 点“数”成金 数据产业迎来快速发展期,证券时报,2022年11月21日。

²⁾ 双方自行决定数据产品或服务类型、购买方式、期限、转让条件等。

到稿日期:2024-02-01 返修日期:2024-07-21

通信作者:张丽丽(1979181270@qq.com)

难于监管等风险。现实中也存在部分交易采用场外“一对多”方式进行,场外“一对多”单边交易虽有利于数据专业化开发¹⁾,但数据掌握在少数平台企业手中,存在会员门槛高、定价不透明、数据垄断、无法满足更多个性化需求等问题,长远来看并不利于数据要素价值充分释放。

场内交易多采用平台化的“多边交易”模式,数据交易机构作为完全独立的第三方,主要为数据供需双方提供交易撮合服务,以及数据清洗、分析、建模等数据增值服务;同时,数据交易机构对交易过程进行管理、规范、监督。场内交易模式有效改善了数据供需双方信息不对称的问题,让数据产品获得更多流通机会,且同时保证了数据主体权益和安全监管条件,满足了数据交易灵活性和规范性的双重要求。场内交易主要包括 4 类主体:数据提供方²⁾、数据需求方³⁾、交易所、数据经纪人(或数据商)⁴⁾。通常情况下,数据要素流转标的并非风险较大的原始数据,而是在隐私保护技术支持下,按照“可用不可见”原则围绕数据提供一种数据要素“服务产品”的交易。按开放程度以及当事主体对数据控制权的差异,实践中交易数据一般包括以下类型:转让数据物理存储载体的服务器以转让数据⁵⁾;将去除敏感信息的数据资产质押融资;数据集的整体复制;开放数据接口允许其他主体在特定范围内使用⁶⁾;不转让数据仅输出计算结果的算法服务方式等。

从场内外交易模式来看,我国现有数据要素交易结构失衡问题严重。2021 年以来,北京、上海、广州、重庆、深圳等地陆续宣布成立大数据交易所/中心,目前全国已成立 47 家由地方政府或国资主导的数据交易机构⁶⁾,旨在加快推进数据要素市场化发展,同时实现数据交易的安全合规、有效监管和市场健康持续发展目标。然而,2021 年我国数据交易所主导的场内交易仅占交易总额的 2%,点对点场外交易占比达到 98%⁷⁾。2015 年成立的贵阳大数据交易所在成立时预计“未来 5 年内日交易额实现 100 亿元”,而实际全年交易均量仅达到 500 万~800 万元,数据要素场内场外交易结构失衡问题普遍存在⁸⁾。

“场外活跃、场内冷清”折射出我国数据要素市场仍处于粗放发展阶段,交易面临着数据安全风险、数据权益冲突、合规监管困难等系列挑战,同时这些问题又进一步限制了数据交易规模。当前我国亟需通过制度创新推动数据交易市场由“低水平”进入高质量发展阶段。国内外有关“数据要素可信交易”的研究主要集中于 3 个学科领域,按不同学科研究逻辑

划分,相关研究路径可概括为技术先行-法学规范-经济学深化 3 个阶段。

1)基于计算机科学技术对数据可信交易进行数字底层的建构研究。相关文献主要集中于计算机软件与应用领域,包括应用区块链^[3]、云计算^[4]等,对数据收集共享^[5]、存储^[6]、流通^[7]建立数据可信化技术平台;同时提出可信数据空间^[8]、可信供应链平台^[9]等可信技术解决方案。

2)从法学学科对数据要素流通交易的法律规范的研究。国外文献主要围绕数据隐私保护和产权化两个问题展开,代表性的如 2018 年美国加利福尼亚州的《消费者隐私保护法》,对个人数据控制、使用和交易做了严格规定,被视为最严格的消费者数据保护法^[10]。国内有关文献主要集中于对数据交易市场的不正当竞争^[11]、市场化法治保障、数据要素产权的形成^[12]、数据要素收益归属^[13]、数权世界治理^[14]、撮合数据交易安全认证^[15]的研究。

3)从经济学学科对数据要素的特点、属性、定价和交易规则设计的研究。相较于传统生产要素,数据要素存在确权困难、非竞争性、难排他性和异质性特征^[16]。确权困难指数据要素的归属权往往难以明确,尤其是当数据涉及多个主体时,如个人、企业、政府等,需要综合考虑数据来源、收集、处理和使用多个环节^[17];非竞争性是指数据的使用不会减少其他人对数据的可用量,意味着数据可以被多次使用和共享,而不会导致数据的耗竭^[18];非排他性指很难阻止其他人获取和使用数据,这使得交易过程设计需要考虑采取有效的技术手段和法律措施来确保数据安全和合规使用^[19];异质性指不同来源、不同类型数据具有不同的价值和用途,因此交易规则需要特别考虑其准确性、完整性、时效性等因素^[20]。

有关数据要素交易难实现的原因、解决途径和交易定价的研究中,Arrow^[21]早在 1962 年就提出“数据交易悖论”的概念,交易买方需要事先了解或获取数据信息以确定数据产品的价值,但数据一旦被披露,买方就实现了免费获取数据。此后,“阿罗悖论”被不断发展重构,Kurt 等^[22]提出数据交易“双重信任困境”,数据卖方“需要相信买方不会窃取信息”,数据买方则“希望自己购买不会被欺骗”,简单的信息披露并不能达成交易,需要双方持续沟通以对产品进行详细了解才能实现。在此基础上,Bergemann 等^[23]对数据占有者囤积而非分享数据,进而利用数据要素的排他性获得持续收益并导致垄断问题的逻辑进行了研究。Liu 等^[24]根据数据要素特点和市场结构搭建了两阶段斯塔克伯格博弈模型,对包含数据

¹⁾ 在“一对多”模式下,数据交易机构以数据服务商身份,对自身通过购买、网络爬虫等方式收集的数据进行分类、汇总、加工、归档、筛选、清洗等初加工,一般采用会员、云账户等方式为客户提供数据包(库)、数据接口(API 接口)、数据报告和应用服务等,属于“一对多”单边交易。

²⁾ 通过日常经营积累或处理了大量数据的主体,如中国电信、中国移动、互联网平台企业等,以及专业数据服务商。

³⁾ 基于数据辅助经营或决策的主体,如用户浏览数据购买以个性化推荐或个性化广告,银行购买用户信用数据等。

⁴⁾ 提供包括数据质量评估服务、数据撮合交易、数据安全评估和策略供应商、数据资产评估、数据安全合规评估商、数据云服务、数据区块链交易等服务。

⁵⁾ 企业整体并购下发生,并非对数据课题直接交易。

⁶⁾ 根据 BanTech 智库整理资料。

⁷⁾ 预计 2025 年数据交易市场规模将超 2200 亿元,中国新闻网,2023 年 4 月 15 日。

⁸⁾ 理想很丰满现实很骨感 贵阳大数据交易所这六年,证券时报,2021 年 7 月 12 日。

经纪人、需求方和供给方的数据交易价格策略进行模型化分析。Joon-Soo^[25]在收益法定价分析基础上提出引入数据价格和估值流程,通过引进数据质量认证主体建立科学的数据交易价格体系。

现有文献从技术保障、法律规范和经济规则设计角度对数据要素流通交易的顺利实现进行了多学科、多角度分析,这对我国数据要素市场建设具有重要参考价值。同时,基于数据市场发展的一般规律,以当前我国数据要素交易市场为背景,对数据要素市场建设应兼顾发展与规范问题开展的针对性研究仍以定性讨论为主。本文基于政府、数据采集者(提供方)、数据分析者(购买方)多主体行为策略的演化博弈模型的理论分析,构建数据要素市场交易和监管均衡体系,并通过政策仿真模拟对我国数据要素可信交易机制进行量化研究,探索通过政策设计对各方主体行为进行引导,重点分析新型信用监管中的激励与惩戒两个政策变量如何影响数据交易相关主体的交易行为选择,以期为解决目前数据要素市场发展不足、场内交易活力低的问题提供新的政策视角。

2 数据要素进场交易演化博弈模型构建

以信用激励引导数据主体进场交易,对场外违规交易进行惩戒是数据市场可信监管机制的核心。为进一步探究市场发展初期监管政策的运行机理与各方主体对监管措施的反馈效果,以及如何通过优化制度设计和量化奖惩规定,高效引导交易主体场内交易目标实现,本部分主要构建包括政府、数据提供者、数据需求者三方主体的演化博弈模型,围绕进场交易博弈策略均衡的实现针对不同主体博弈行为进行分析,研究不同变量(如进场补贴、场外惩戒、奖惩强度、进场成本、场内交易收益)对均衡点实现路径的影响,为科学决策提供理论支撑。

市场发展初期,围绕数据交易主体进场交易目标(包括政府、数据提供者(卖方或数据采集者)、数据分析者(买方或数据分析师)三方)演化博弈模型的基本情况如下:政府主要围绕引导交易双方进场交易或场外惩戒进行行为选择;数据提供者和需求者则围绕是否选择进场交易进行行为选择。三方关于进场交易的行为策略博弈关系如图 1 所示。

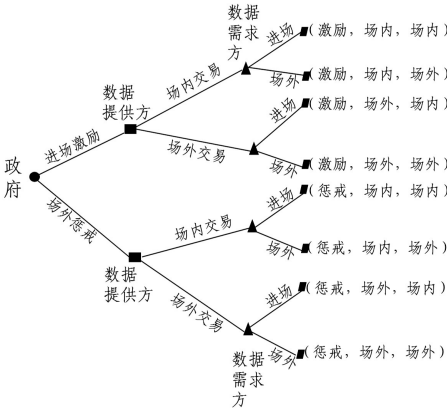


图 1 政府、数据提供者、需求者三方主体演化博弈关系示意图
Fig.1 Schematic of the evolutionary game relationship between government, data providers and demanders

假设 1 在是否进场交易的演化博弈模型中,假设政府、数据提供方(采集方、卖方)、数据需求方(分析方、买方)各类主体均处于不完全信息条件下,在有限理性行为下追求自身利益最大化。

假设 2 考虑到数据市场发展初期以推动主体进场交易为主要目标,假设政府的策略集为(进场交易激励,场外交易惩戒)。实际上在政策引导下如果实现了市场主体进场交易目标,那么场内交易规则从交易平台技术搭建、制度规范到流程监管等方面均可以实现数据的合规交易,即政府在前期通过激励政策引导主体进场后,在场内施行违法惩戒的概率较小。与政府进行场内激励相对应的监管行为是对场外交易实施惩戒,考虑场外交易因不合规问题面临较大风险故被视为“黑市”交易,因此政府对场外交易监管措施为“实施惩戒”。

政府以概率 x 选择进场交易激励,以概率 $(1-x)$ 选择场外交易惩戒, $x \in [0,1]$;政府在实施进场交易激励策略时,对数据提供方的进场激励补贴为 k_s ,对数据需求方的进场激励补贴为 k_b ,政府对提供方和需求方实施进场交易的激励强度均为 $a, a \in [0,1]$;政府在实施场外交易惩戒策略时,对数据提供方的场外交易惩罚为 $C_{s\text{罚}}$,对数据需求方的场外交易惩罚为 $C_{b\text{罚}}$,政府对提供方和需求方实施场外交易的惩戒强度均为 $b, b \in [0,1]$;如果数据提供和数据需求方均进场交易,则政府实施激励或惩戒策略措施可以得到监管带来的公共收益为 R ,如果仅数据提供方进场,则公共收益为 R_1 ,如果仅数据需求方进场,则公共收益为 R_2 ,如果双方均不进场交易,则公共收益损失为 C 。

假设 3 假设数据提供方的策略集为(场内交易,场外交易)。数据提供方入场交易即进入数据合规交易的全流程管理环境,场外交易属于数据黑市不合规交易。数据提供方以概率 y 选择场内交易,以概率 $(1-y)$ 选择场外交易, $y \in [0,1]$;数据提供方进场交易的进场成本为 C_s ;提供方向监管方披露数据信息获得授信,以及获得政府提供的进场激励补贴,总激励收益为 k_s ;数据提供方进场或场外交易均可获得由数据交易带来的收益,分别为 t_1 和 t_2 ;场外交易被惩罚的损失为 $C_{s\text{罚}}$ 。

假设 4 假设数据需求方的策略集为(场内交易,场外交易)。数据需求方入场交易即进入数据合规交易的全流程管理环境,场外交易则属于数据黑市不合规交易。数据需求方以概率 z 选择场内交易,以概率 $(1-z)$ 选择场外交易, $z \in [0,1]$;数据需求方进场交易的进场成本为 C_b ;数据需求方向监管方披露自身主体信息获得授信,以及获得政府提供的进场激励补贴,总激励收益为 k_b ;数据需求方进场或场外交易均可获得由数据带来的收益,分别为 i_1 和 i_2 (该所得实际为数据给需求方带来的增值收益);数据需求方在场外交易被惩罚的损失为 $C_{b\text{罚}}$ 。

以上假设部分所涉及的变量及其含义如表 1 所列。
根据以上假设,建立政府、数据提供方、数据需求方多主体混合策略博弈矩阵,并得出三方演化博弈收益矩阵(见表 2)。

表 1 三方主体演化博弈模型所涉变量及其含义

Table 1 Variables and their meanings involved in the three-way subject evolutionary game model

符号	政府	符号	数据提供方	符号	数据需求方
x	进场交易激励	y	场内交易	z	场内交易
a	进场交易激励强度	k_s	进场补贴	k_b	进场补贴
b	场外交易惩戒强度	$C_{s\text{罚}}$	场外交易惩罚	$C_{b\text{罚}}$	场外交易惩罚
R	政府介入的公共收益	C_s	进场交易成本	C_b	进场交易成本
R_1	仅提供方进场公共收益	k_s	进场激励收益	k_b	进场激励收益
R_2	仅需求方进场公共收益	t_1	进场数据交易所得收益	i_1	进场数据交易所得收益
C	均不进场公共收益损失	t_2	场外交易数据所得收益	i_2	场外交易数据所得收益
		$C_{s\text{罚}}$	场外交易被惩罚所受损失	$C_{b\text{罚}}$	场外交易被惩罚所受损失

表 2 三方主体演化博弈收益矩阵

Table 2 Income matrix of trilateral subject evolutionary game

策略组合	政府收益	数据提供方 收益	数据需求方 收益
(激励,场内,场内)	$R-a(k_s+k_b)$	$ak_s+t_1-C_s$	$ak_b+i_1-C_b$
(惩戒,场内,场内)	R	t_1-C_s	i_1-C_b
(激励,场内,场外)	R_1-ak_s	ak_s-C_s	0
(惩戒,场内,场外)	$R_1+bC_{b\text{罚}}$	$-C_s$	$-bC_{b\text{罚}}$
(激励,场外,场内)	R_2-ak_b	0	ak_b-C_b
(惩戒,场外,场内)	$R_2+bC_{s\text{罚}}$	$-bC_{s\text{罚}}$	$-C_b$
(激励,场外,场外)	$-C$	t_2	i_2
(惩戒,场外,场外)	$-C+bC_{s\text{罚}}+bC_{b\text{罚}}$	$t_2-bC_{s\text{罚}}$	$i_2-bC_{b\text{罚}}$

3 演化博弈模型分析

3.1 政府主体的策略稳定性分析

根据表 2 所列主体演化博弈收益,政府选择进场交易激励策略期望收益为 $U_{11}^{\text{政府}}$,选择场外交易惩戒策略期望收益为 $U_{12}^{\text{政府}}$,平均收益为 $U_1^{\text{政府}}$,则:

$$\begin{cases} U_{11}^{\text{政府}} = yz[R-a(k_s+k_b)] + y(1-z)(R_1-ak_s) + \\ \quad z(1-y)(R_2-ak_b) - (1-y)(1-z)C \\ U_{12}^{\text{政府}} = yzR + y(1-z)(R_1+bC_{b\text{罚}}) + z(1-y) \\ \quad (R_2+bC_{s\text{罚}}) + (1-y)(1-z)(bC_{s\text{罚}}+bC_{b\text{罚}}-C) \\ U_1^{\text{政府}} = xU_{11}^{\text{政府}} + (1-x)U_{12}^{\text{政府}} \end{cases}$$

得到

$$\begin{cases} U_{11}^{\text{政府}} = R-2yzR-yak_s-zak_b \\ U_{12}^{\text{政府}} = R+ybC_{b\text{罚}}-bzC_{b\text{罚}} \\ U_1^{\text{政府}} = xU_{11}^{\text{政府}} + (1-x)U_{12}^{\text{政府}} \end{cases} \quad (1)$$

政府主体策略选择的复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{11}^{\text{政府}} - U_1^{\text{政府}}) = x(1-x)(U_{11}^{\text{政府}} - U_{12}^{\text{政府}})$$

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(1-x)[-C_{b\text{罚}}b - C_{s\text{罚}}b + C_{s\text{罚}}by + C_{b\text{罚}}bz - \\ ayk_s - zak_b] \quad (3)$$

根据演化博弈理论,各方主体博弈均衡点满足两个条件,即复制动态方程 $F(x)=0$,以及 $F'(x)<0^{[26]}$,由此可得:

$$F'(x) = (1-2x)[-C_{b\text{罚}}b - C_{s\text{罚}}b + C_{s\text{罚}}by + C_{b\text{罚}}bz - \\ ayk_s - zak_b] \quad (4)$$

由政府博弈均衡条件可得:

$$y^* = \frac{bC_{b\text{罚}} + bC_{s\text{罚}} + z(ak_b - bC_{b\text{罚}})}{bC_{s\text{罚}} - ak_s} \quad (5)$$

讨论:1)当 $y=y^*$ 时, $F'(x)=0,x\in[0,1]$ 上的任何值,或政府选择实施激励(或惩戒)的任何概率下的稳定性不能确定;

2)当 $y>y^*$ 时, $F'(x)|_{x=0}>0,F'(x)|_{x=1}<0$,故 $x=1$ 是稳定点,此时场内交易激励策略为政府的演化稳定策略(ESS)。演化稳定策略(Evolutionary Stable Strategy,ESS),即群体中某个个体采用 ESS 策略后,自然选择状态下,不存在具有突变特征的策略能侵犯群体。此处条件为 $(bC_{s\text{罚}} - ak_s)>0,(bC_{b\text{罚}} - ak_b)>0$,否则 $x=0$ 是稳定点。

3)当 $y<y^*$ 时, $F'(x)|_{x=0}<0,F'(x)|_{x=1}>0$,故 $x=0$ 是稳定点,此时场外交易惩戒策略为政府的演化稳定策略(ESS)。此处条件为 $(bC_{s\text{罚}} - ak_s)>0,(bC_{b\text{罚}} - ak_b)>0$,否则故 $x=1$ 是稳定点。

对政府博弈策略演化进行分析,政府选择场外交易惩戒策略概率 V_{A1} 为:

$$V_{A1} = \iint_0^{1z^*} y^* dz dx = \int_0^1 dx \int_0^{\frac{bC_{b\text{罚}} + bC_{s\text{罚}}}{bC_{s\text{罚}} - ak_b}} y^* dz \quad (6)$$

令 $bC_{b\text{罚}} + bC_{s\text{罚}} = m_1, bC_{b\text{罚}} - ak_b = m_2 > 0, bC_{s\text{罚}} - ak_s = m_3 > 0$

$V_{A1} = \frac{m_1^2}{2m_2m_3}$,则政府选择进场交易激励策略概率 $V_{A2} = 1 - V_{A1}$ 。

推论 1 由于 $\frac{\partial V_{A1}}{\partial k_s} < 0, \frac{\partial V_{A1}}{\partial k_b} < 0$,政府对数据提供方和需求方进场补贴数额(k_s 或 k_b)与政府选择进场交易激励策略概率正相关;

推论 2 由于 $\frac{\partial V_{A1}}{\partial a} < 0$,政府对数据提供方和需求方实施进场交易的激励强度(a)与政府选择进场交易激励策略概率正相关;

推论 3 由于 $\frac{\partial V_{A1}}{\partial b}, \frac{\partial V_{A1}}{\partial C_{b\text{罚}}}, \frac{\partial V_{A1}}{\partial C_{s\text{罚}}}$,正负号不能确定,因此政府对数据提供方和需求方实施场外交易的惩罚强度 b ,数据提供方和需求方在场外交易被惩罚的损失($C_{s\text{罚}}$ 和 $C_{b\text{罚}}$)与政府策略选择概率的相关性不能确定。

3.2 数据提供方的策略稳定性分析

根据表 2 所列主体演化博弈收益,得出数据提供方不同策略选择的期望收益。数据提供方选择场内交易策略期望收益为 $U_{11}^{\text{供给}}$,选择场外交易策略期望收益为 $U_{12}^{\text{供给}}$,平均收益为 $U_1^{\text{供给}}$,则:

$$\begin{cases} U_{11}^{\text{供给}} = xz(ak_s+t_1-C_s) + x(1-z)(ak_s-C_s) + \\ \quad z(1-x)(t_1-C_s) + (1-x)(1-z)(-C_s) \\ U_{12}^{\text{供给}} = x(1-z)t_2 + z(1-x)(-bC_{s\text{罚}}) + \\ \quad (1-x)(1-z)(t_2-bC_{s\text{罚}}) \\ U_1^{\text{供给}} = yU_{11}^{\text{供给}} + (1-y)U_{12}^{\text{供给}} \end{cases}$$

得到:

$$\begin{cases} U_{11}^{\text{供给}} = xak_s + t - C_s \\ U_{12}^{\text{供给}} = t + xbC_{s\text{罚}} - bC_{s\text{罚}} \\ U_1^{\text{供给}} = yU_{11}^{\text{供给}} + (1-y)U_{12}^{\text{供给}} \end{cases} \quad (7)$$

得到数据提供方策略选择的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(y) &= \frac{dy}{dt} \\ &= y(1-y)[bC_{s\text{罚}} - t_2 - C_s + \alpha t_2 + \alpha t_1 - xbC_{s\text{罚}} + \\ &\quad \alpha k_s] \end{aligned} \quad (8)$$

均衡点:

$$F'(y) = (1-2y)[bC_{s\text{罚}} - t_2 - C_s + \alpha t_2 + \alpha t_1 - xbC_{s\text{罚}} + \alpha k_s] \quad (9)$$

由博弈均衡条件可得:

$$x^* = \frac{bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2 + \alpha(t_1 + t_2)}{bC_{s\text{罚}} - ak_s} \quad (10)$$

讨论:1)当 $x=x^*$ 时, $F'(y)=0$, $y \in [0,1]$ 上的任何值,或数据提供方选择实施场内或场外交易的任意概率的稳定性不能确定。

2)当 $x > x^*$ 时, $F'(y)|_{y=0} < 0$, $F'(y)|_{y=1} > 0$,故 $y=0$ 是稳定点,此时数据提供方选择场外交易策略为其演化稳定策略(ESS)。

3)当 $x < x^*$ 时, $F'(y)|_{y=0} > 0$, $F'(y)|_{y=1} < 0$,故 $y=1$ 是稳定点,此时数据提供方选择场内交易策略为其演化稳定策略(ESS)。此处条件为 $(bC_{s\text{罚}} - ak_s) > 0$ 。

对数据提供方博弈策略进行演化分析,其选择场内交易策略的概率 V_{B1} 为:

$$\begin{aligned} V_{B1} &= \int_0^1 dy \int_0^{\frac{t_2+C_s-ak_s}{t_1+t_2}} x^* dz \\ &= \frac{(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2)(t_2 + C_s - ak_s)}{2(bC_{s\text{罚}} - ak_s)(t_1 + t_2)} \end{aligned} \quad (11)$$

数据提供方选择场外交易策略的概率 V_{B2} 为:

$$V_{B2} = 1 - V_{B1}$$

推论 4 $(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2) < 0$, $(t_2 + C_s - ak_s) > 0$, $(bC_{s\text{罚}} - ak_s) > 0$ 同时满足的条件下,有 $\frac{\partial V_{B1}}{\partial t_1} = -\frac{(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2)(t_2 + C_s - ak_s)}{(2bC_{s\text{罚}} - 2ak_s)(t_1 + t_2)^2} > 0$, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial t_1} > 0$,即如果数据提供方的场外交易收益和进场成本之和大于场外交易惩罚数额,同时大于进场交易激励数额,则数据提供方选择进场交易策略的概率与数据提供方场内交易收益正相关。

推论 5 $(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2) < 0$, $(t_2 + C_s - ak_s) > 0$, $(bC_{s\text{罚}} - ak_s) > 0$ 同时满足条件下, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial C_s} < 0$, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial C_s} = \frac{(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2) - (t_2 + C_s - ak_s)}{(2bC_{s\text{罚}} - 2ak_s)(t_1 + t_2)} < 0$, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial C_s} < 0$,即如果数据提供方的场外交易收益和进场成本之和大于场外交易惩罚数额,同时大于进场交易激励数额,则数据提供方选择(进场交易)策略的概率与数据提供方进场成本负相关¹⁾。

推论 6 $(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2) < 0$, $(t_2 + C_s - ak_s) > 0$, $(bC_{s\text{罚}} -$

$ak_s) > 0$ 条件下, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial C_{s\text{罚}}} = \frac{(t_2 + C_s - ak_s)}{(2bC_{s\text{罚}} - 2ak_s)(t_1 + t_2)} + \frac{2b(-bC_{s\text{罚}} + C_s + t_2) + (t_2 + C_s - ak_s)}{(2bC_{s\text{罚}} - 2ak_s)^2(t_1 + t_2)} = \frac{b(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2) - b(t_1 + t_2)(t_2 + C_s - ak_s)}{(bC_{s\text{罚}} - ak_s)^2(t_1 + t_2)} > 0$, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial C_{s\text{罚}}} > 0$,如

果数据提供方的场外交易收益和进场成本之和大于场外交易惩罚数额,同时大于进场交易激励数额,则数据提供方选择进场交易策略的概率与政府对数据提供方实施场外交易惩罚 $C_{s\text{罚}}$ 正相关,即政府对场外交易惩罚额度越大,数据提供方选择场内交易策略的概率越大。

推论 7 $(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2) < 0$, $(t_2 + C_s - ak_s) > 0$, $(bC_{s\text{罚}} - ak_s) > 0$ 条件下, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial b} = \frac{-C_{s\text{罚}}(t_2 + C_s - ak_s)}{(2bC_{s\text{罚}} - 2ak_s)(t_1 + t_2)} - \frac{2C_{s\text{罚}}(-bC_{s\text{罚}} + C_s + t_2) + (t_2 + C_s - ak_s)}{(2bC_{s\text{罚}} - 2ak_s)^2(t_1 + t_2)} = \frac{C_{s\text{罚}}(C_s + t_2) + (t_2 + C_s - ak_s)}{2(bC_{s\text{罚}} - ak_s)^2(t_1 + t_2)} > 0$, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial b} > 0$,即数据提供方的

场外交易收益和进场成本之和大于场外交易惩罚数额,同时大于进场交易激励数额,则政府对提供方和需求方实施场外交易的惩戒强度 b 与数据提供方选择场内交易策略的概率正相关,即政府实施场外交易惩戒强度越大,数据提供方选择进场交易策略的概率越大。

推论 8 由于 $\frac{\partial V_{B1}}{\partial a}$, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial k_s}$, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial t_2}$,正负号不能确定,因此数据提供方选择进场交易策略的概率与政府激励强度 a 、政府向数据提供方提供的补贴 k_s ,以及数据提供方在场外交易所获收益 t_2 的相关性不能确定。

3.3 数据需求方的策略稳定性分析

根据表2所列主体演化博弈收益,得出数据需求方不同策略选择的期望收益,数据需求方选择场内交易策略期望收益为 $U_{11}^{\text{需求}}$,选择场外交易策略期望收益为 $U_{12}^{\text{需求}}$,平均收益为 $U_1^{\text{需求}}$:

$$\begin{cases} U_{11}^{\text{需求}} = xy(ak_b + i_1 - C_b) + x(1-y)(ak_b - C_b) + \\ \quad y(1-x)(i_1 - C_b) + (1-x)(1-y)(-C_b) \\ U_{12}^{\text{需求}} = x(1-y)i_2 + y(1-x)(-bC_{b\text{罚}}) + \\ \quad (1-x)(1-y)(i_2 - bC_{b\text{罚}}) \\ U_1^{\text{需求}} = \alpha U_{11}^{\text{需求}} + (1-\alpha)U_{12}^{\text{需求}} \end{cases}$$

得到

$$\begin{cases} U_{11}^{\text{需求}} = xak_b + i - C_b \\ U_{12}^{\text{需求}} = i - bC_{b\text{罚}} + xbC_{b\text{罚}} \\ U_1^{\text{需求}} = \alpha U_{11}^{\text{需求}} + (1-\alpha)U_{12}^{\text{需求}} \end{cases} \quad (12)$$

得到数据提供方策略选择的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(z) &= \frac{dz}{dt} \\ &= z(1-z)(bC_{b\text{罚}} - i_2 - C_b + yi_1 + yi_2 - xbC_{b\text{罚}} + \\ &\quad xak_b) \end{aligned} \quad (13)$$

$$F'(z) = (1-2z)(bC_{b\text{罚}} - i_2 - C_b + yi_1 + yi_2 - xbC_{b\text{罚}} + xak_b) \quad (14)$$

由博弈均衡条件可得:

¹⁾ 注:在 $(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2) < 0$, $(t_2 + C_s - ak_s) > 0$, $(bC_{s\text{罚}} - ak_s) > 0$ 同时满足条件下, $\frac{\partial V_{B1}}{\partial C_s} = \frac{(bC_{s\text{罚}} - C_s - t_2) - (t_2 + C_s - ak_s)}{(2bC_{s\text{罚}} - 2ak_s)(t_1 + t_2)} < 0$ 。

$$x^* = \frac{C_b - bC_{b\text{罚}} + i_2 - yi_1 - yi_2}{ak_b - bC_{b\text{罚}}}$$

(15)

讨论:1)当 $x=x^*$ 时, $F'(z)=0,z\in[0,1]$ 上的任何值,数据提供方或选择实施场内或场外交易的任意概率的稳定性不能确定。

2)当 $x>x^*$ 时, $F'(z)|_{z=0}<0,F'(z)|_{z=1}>0$,故 $z=0$ 是稳定点,此时数据需求方选择场外交易策略为其演化稳定策略(ESS)。

3)当 $x<x^*$ 时, $F'(z)|_{z=0}>0,F'(z)|_{z=1}<0$,故 $z=1$ 是稳定点,此时数据需求方选择场内交易策略为其演化稳定策略(ESS)。本部分满足条件为 $(bC_{b\text{罚}}-ak_b)>0$ 。

对数据需求方策略演化过程进行分析,选择场内交易策略的概率 V_{C1} 为:

$$V_{C1} = \int_0^{y^*} \int_0^1 x^* dz dy$$
$$= \int_0^1 dz \int_0^1 x^* dy$$
$$= \frac{(2C_b - 2bC_{b\text{罚}}) + i_2 - i_1}{2(ak_b - bC_{b\text{罚}})}$$

(16)

推论 9 当 $(bC_{b\text{罚}}-ak_b)>0$ 时, $\frac{\partial v_{C1}}{\partial i_1} = \frac{1}{2(bC_{b\text{罚}}-ak_b)} > 0$; $\frac{\partial v_{C1}}{\partial i_2} = -\frac{1}{2(bC_{b\text{罚}}-ak_b)} < 0$,即如果政府对数据需求方的场外交易惩罚数额大于进场交易激励补贴数额,数据需求方实施进场交易策略的概率与数据需求方在场内交易所获得的收益正相关,与场外交易所获得收益负相关,即场内交易所获得的收益越大,场外交易所获得的收益越小,数据需求方选择进场交易策略的概率越大。

推论 10 当 $(bC_{b\text{罚}}-ak_b)>0$ 时, $\frac{\partial v_{C1}}{\partial C_b} < 0$,即如果政府对数据需求方的场外交易惩罚数额大于进场交易激励补贴

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (1-2x)G(y)-\lambda & x(1-x)(ak_s-bC_{s\text{罚}}) & x(1-x)(ak_b-bC_{b\text{罚}}) \\ y(1-y)(ak_s-bC_{s\text{罚}}) & (1-2y)M(x)-\lambda & y(1-y)(t_1+t_2) \\ z(1-z)(ak_b-bC_{b\text{罚}}) & z(1-z)(i_1+i_2) & (1-2z)T(x)-\lambda \end{vmatrix}$$

其中,

$$G(y) = (C_{b\text{罚}}b + C_{s\text{罚}}b - C_{s\text{罚}}by - C_{b\text{罚}}bz + ayk_s + zak_b)$$
$$M(x) = (bC_{s\text{罚}} - t_2 - C_s + zt_2 + zt_1 - xbC_{s\text{罚}} + axk_s)$$
$$T(x) = (bC_{b\text{罚}} - i_2 - C_b + yi_1 + yi_2 - xbC_{b\text{罚}} + xak_b)$$

表 3 各均衡点的稳定性情况
Table 3 Stability of each equilibrium point

均衡点	雅各比矩阵特征值情况分析		稳定性讨论*
	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	符号	
$E_1(0,0,0)$	$-C_{b\text{罚}}b - C_{s\text{罚}}b, bC_{b\text{罚}} - i_2 - C_b, bC_{s\text{罚}} - t_2 - C_s$	(-, 不定, 不定)	避免条件 1ESS
$E_2(0,0,1)$	$-ak_b - bC_{s\text{罚}}, bC_{s\text{罚}} - C_s + t_1, C_b + i_2 - bC_{b\text{罚}}$	(-, 不定, 不定)	避免条件 2ESS
$E_3(0,1,0)$	$-bC_{b\text{罚}} - ak_s, t_2 + C_s - bC_{s\text{罚}}, i_1 + bC_{b\text{罚}} - C_b$	(-, 不定, 不定)	避免条件 3ESS
$E_4(1,0,0)$	$C_{b\text{罚}}b + C_{s\text{罚}}b, ak_s - C_s - t_2, ak_b - C_b - i_2,$	(+, 不定, 不定)	不稳定
$E_5(0,1,1)$	$-ak_s - ak_b, C_s - t_1 - bC_{s\text{罚}}, C_b - bC_{b\text{罚}} - i_1$	(-, -, -)	条件 4 唯一 ESS
$E_6(1,0,1)$	$ak_b + bC_{s\text{罚}}, t_1 + ak_s - C_s, -ak_b + C_b + i_2$	(+, 不定, 不定)	不稳定
$E_7(1,1,0)$	$bC_{b\text{罚}} + ak_s, t_2 - ak_s + C_s, i_1 + ak_b - C_b$	(+, 不定, 不定)	不稳定
$E_8(1,1,1)$	$ak_s + ak_b, -ak_b + C_b - i_1, -ak_s + C_s - t_1$	(+, 不定, 不定)	不稳定

注:条件 1 为 $bC_{b\text{罚}} - i_2 - C_b < 0, bC_{s\text{罚}} - t_2 - C_s < 0$; 条件 2 为 $bC_{s\text{罚}} + t_1 - C_s < 0, i_2 + C_b - bC_{s\text{罚}} < 0$; 条件 3 为 $-bC_{s\text{罚}} + t_2 + C_s < 0, i_1 - C_b + bC_{s\text{罚}} < 0$; 条件 4 为 $C_s - t_1 - bC_{s\text{罚}} < 0, C_b - bC_{b\text{罚}} - i_1 < 0$ 。

数额,数据需求方实施进场交易策略的概率与数据需求方进场交易成本负相关,即进场交易成本越高,数据需求方选择进场交易策略的概率越小。

推论 11 由于 $\frac{\partial v_{C1}}{\partial C_{b\text{罚}}}, \frac{\partial v_{C1}}{\partial a}, \frac{\partial v_{C1}}{\partial b}, \frac{\partial v_{C1}}{\partial k_b}$,正负号不能确定,

因此数据需求方选择进场交易的策略概率与数据需求方场外交易惩罚数额 C_{bf} 、政府激励强度 a 、政府惩戒强度 b 、政府向数据需求方的补贴 k_b 的相关性不能确定。

3.4 三方演化博弈系统均衡渐近稳定性分析

以上分别对政府、数据提供方、数据需求方博弈均衡点策略和影响因素进行了分析。多主体演化博弈模型构建和均衡分析,是在三方相互作用和相互影响下不同主体进行博弈策略决策,对博弈模型在演化过程中达到系统均衡状态的分析。三方演化博弈系统均衡点满足: $F(x)=0,F(y)=0,F(z)=0$ 条件。综合前文分析,系统均衡点为:

$$\begin{cases} E_1(0,0,0), E_2(0,0,1), E_3(0,1,0), E_4(1,0,0), \\ E_5(0,1,1), E_6(1,0,1), E_7(1,1,0), E_8(1,1,1), \\ E_9(0,y^*,z), E_{10}(1,y^*,z), E_{11}(x^*,0,z), E_{12}(x^*,1,z), \\ E_{13}(x^*,y^*,0), E_{14}(x^*,y^*,1) \end{cases}$$

(17)

其中, $E_9(0,y^*,z), E_{10}(1,y^*,z), E_{12}(x^*,1,z), E_{13}(x^*,y^*,0), E_{14}(x^*,y^*,1)$ 因不确定值不稳定, $(zak_b + bzC_{b\text{罚}}) > 0, E_{11}(x^*,0,z)$ 为不可能点,故舍去。取 x^*, y^* 点时,方程(17)中 V_1, V_2, V_3 存在为 0 的情况,特征方程无实际意义,故舍去。

根据李雅普诺夫^[27]定理 1—定理 3,若一次近似方程的所有特征值实部为负,则原方程零解渐近稳定;若至少有一特征值实部为正,则原方程零解不稳定;若存在零实部特征值,则不能判断原方程零解稳定性。

三方博弈演化系统的雅各比矩阵为:

设 $(1-2x)G(y)-\lambda=V_1, (1-2y)M(x)-\lambda=V_2, (1-2z)T(x)-\lambda=V_3$,代入特征方程可得雅各比矩阵特征值,分别讨论式(17)中各均衡点下的特征值,根据特征值讨论各点稳定性,结果如表 3 所列。

推论 12 通过对表 3 各均衡点的系统稳定性分析可知,均衡点 $E_1(0,0,0)$ 稳定策略需要满足的条件 1 为 $bC_{s\text{罚}} - i_2 - C_b < 0, bC_{s\text{罚}} - t_2 - C_s < 0$, 即政府对数据提供方和需求方实施场外交易惩罚发生数额小于交易双方场外交易所获取的收益与相应的进场成本之和。也就是说,为避免 $E_1(0,0,0)$ 策略均衡点(场外交易惩戒,场外交易,场外交易)出现,即陷入场外低水平交易循环,政府应提高场外交易惩罚额度至相应的进场成本与场外交易收益之和以上,避免以上条件实现。

推论 13 通过对表 3 各均衡点的系统稳定性分析可知,均衡点 $E_2(0,0,1)$ 博弈稳定策略需要满足条件为 $bC_{s\text{罚}} + t_1 - C_s < 0, i_2 + C_b - bC_{s\text{罚}} < 0$, 即数据提供方进场成本大于政府对其实施场外交易惩罚额与其进场交易获收益之和,政府对数据提供者场外交易惩罚额大于需求者场外交易所获收益与进场成本之和。也就是说,为避免 $E_2(0,0,1)$ 策略均衡点(场外交易惩戒,场外交易,场内交易)出现,即陷入场外低水平交易循环,政府应提高对数据提供者场外交易的惩罚成本,提高其进场交易获得的收益,降低进场成本,避免以上条件实现。

推论 14 通过对表 3 各均衡点的系统稳定性分析可知,均衡点 $E_3(0,1,0)$ 为系统博弈稳定策略需要满足的条件为 $-bC_{s\text{罚}} + t_2 + C_s < 0, i_1 - C_b + bC_{s\text{罚}} < 0$, 即数据需求方进场交易所获收益与数据提供方场外交易惩罚数额之和小于需求方进场成本,且数据提供方场外交易所获收益与进场成本之和小于场外交易惩罚额。因后者易于实现,为避免 $E_3(0,1,0)$ 策略均衡点(场外交易惩戒,场内交易,场外交易)出现,即陷入场外低水平交易循环,应降低需求方的进场成本,令提供方惩罚成本与进场交易收益大于需求方的入场成本,避免以上条件实现。

推论 15 通过对表 3 各均衡点的系统稳定性分析可知,均衡点 $E_5(0,1,1)$ 为系统的演化博弈稳定策略,此时假设条件为 $C_s - t_1 - bC_{s\text{罚}} < 0, C_b - bC_{b\text{罚}} - i_1 < 0$, 即政府对数据提供方实施场外交易惩罚数额 $bC_{s\text{罚}}$ 与场内交易所获收益之和大于数据提供方进场交易成本 C_s ; 政府对数据需求方实施场外交易惩罚发生数额 $bC_{b\text{罚}}$ 与其进场交易所获收益之和大于数据需求方进场交易成本 C_b 。此时策略(场外交易惩戒,场内交易,场内交易)为演化博弈模型的唯一稳定均衡策略。因此,在数据交易市场发展初期,政府作为监管者应采用不合规场外交易严惩策略,同时对数据提供方和需求方均辅以低成本进场,推动数据交易双方进场交易,实现数据合规交易。

推论 16 通过对三方主体演化博弈模型的系统稳定性分析可知,数据交易可信流通体系中关于数据要素市场的“激励与惩戒机制”需要根据市场不同发展阶段进行策略调整。数据市场发展初期主要矛盾是解决交易双方场内交易不足、规范性缺失的问题,对数据提供方和需求方的进场交易激励,特别是提供补贴的措施机制,并不能取得预期的效果。即使单方面分析激励举措与政府主体进场激励策略选择存在正相关,但系统演化博弈路径显示,无论此类补贴数额和激励强度如何规定,相关策略均非演化博弈系统稳定均衡状态,因此不能实现既定目标。

4 仿真分析

为验证上述三方演化博弈模型系统稳定性分析的有效性,本文应用 Matlab2022a 对演化博弈模型进行赋值仿真。根据前文各方主体演化博弈均衡情况分析,在条件 4 存在唯一均衡点 $E_5(0,1,1)$, 赋值数组 $1^{[28]}$ 为: $(C_s = 50, C_b = 100, C_{s\text{罚}} = C_{b\text{罚}} = 1000, k_b = k_s = 100, a = b = 0.8, t_1 = 500, t_2 = 600, i_1 = 500, i_2 = 600)$ 。以数组 1 为基础,分别分析 $C_s, C_b, C_{s\text{罚}}, C_{b\text{罚}}, k_b, k_s, a, b, t_1, t_2, i_1, i_2$ 这 12 个变量数据对演化博弈过程结果的影响。研究发现,这 12 个数据中有 7 个变量数据的变化对演化博弈过程影响显著,在设计引导场内交易的奖惩机制时可以考虑这些政策变量选择组合。其余 5 个变量对政策目标形成过程的影响几乎可忽略。下文将介绍各变量变化对演化博弈过程影响的具体情况。

4.1 数据提供者进场成本 C_s 的影响

分别对 C_s 赋值 100, 200, 300, 复制动态方程组随时间演化 50 次^[27], 起始点为 $(0.1, 0.1, 0.1)$, 仿真结果如图 2 所示。随着数据提供者进场成本 C_s 增加, 数据提供者选择场内交易策略的概率降低, 政府选择场内交易激励策略的概率提高, 数据需求者选择场内交易策略的概率提高, 进场成本 C_s 的增加降低了数据提供者进场交易的演化速度。在市场发展初期应降低数据提供者的进场成本, 以引导推动其进场交易。

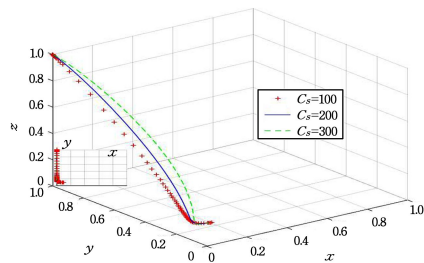


图 2 数据提供者进场成本 C_s 对演化博弈均衡的影响仿真示意图

Fig. 2 Simulation schematic diagram of impact of data provider entry cost C_s on evolutionary game equilibrium

4.2 数据需求者进场交易成本 C_b 的影响

分别对 C_b 赋值 100, 200, 300, 复制动态方程组随时间演化 50 次^[27], 起始点为 $(0.1, 0.1, 0.1)$, 得到的仿真结果如图 3 所示。

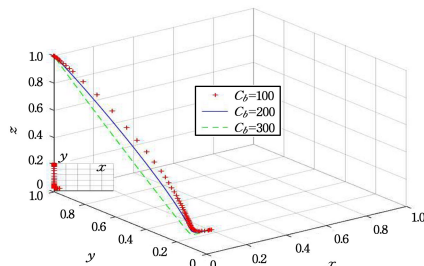


图 3 数据需求者进场交易成本 C_b 对演化博弈均衡的影响仿真示意图

Fig. 3 Simulation schematic diagram of impact of entry transaction cost C_b of data demanders on evolutionary game equilibrium

随着数据需求方进场交易成本 C_b 提高, 数据提供者选择进场交易策略的概率提高, 政府选择场内交易激励策略概率

降低,数据需求者选择进场交易策略概率降低,各方策略均衡点演化速度加快。在数据交易市场政策和法律法规制定中,在提高数据需求方进场交易成本的同时需要注意与其他政策变量进行配合, C_b 的提高可能影响数据需求者选择场内交易策略的概率,应通过政策合力合理引导数据需求者的进场交易行为。

4.3 数据提供者场外交易惩罚 $C_{s\text{罚}}$ 的影响

分别对 $C_{s\text{罚}}$ 赋值 700,900,1 100,复制动态方程组随时间演化 50 次^[27],起始点为(0.1,0.1,0.1),得到的仿真结果如图 4 所示。随着对数据提供方的场外交易惩罚提高,数据提供者选择进场交易策略的概率提高,政府选择场内交易激励策略概率降低,数据需求者选择进场交易策略概率降低,各方策略均衡点演化速度加快。在政策制定中需注意,在提高数据提供者场外交易惩戒的同时,需要注意通过其他要素引导数据需求者的进场交易行为。

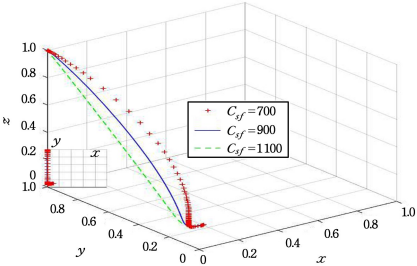


图 4 数据提供者场外交易惩罚 $C_{s\text{罚}}$ 对演化博弈均衡的影响仿真示意图
Fig. 4 Simulation schematic diagram of impact of the off exchange trading penalty $C_{s\text{罚}}$ of data providers on evolutionary game equilibrium

4.4 数据需求者场外交易惩罚 $C_{b\text{罚}}$ 的影响

分别对 $C_{b\text{罚}}$ 赋值 800,1 000,1 200,复制动态方程组随时间演化 50 次^[27],起始点为(0.1,0.1,0.1),得到的仿真结果如图 5 所示。随着对数据需求方场外交易惩戒强度增大,数据提供者选择进场交易策略的概率降低,政府选择场外交易惩戒策略的概率提高,数据需求者选择进场交易策略的概率提高,各方策略均衡点演化速度降低。因此,在选择提高数据需求方场外交易惩戒的同时,需要注意数据提供者选择策略的变化。

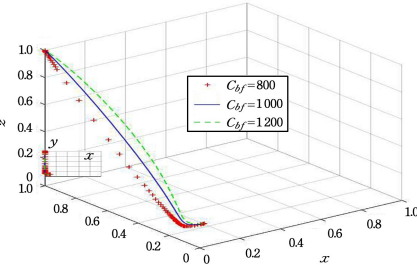


图 5 数据需求者场外交易惩罚 $C_{b\text{罚}}$ 对演化博弈均衡的影响仿真示意图
Fig. 5 Simulation schematic diagram of impact of the off exchange trading penalty $C_{b\text{罚}}$ of data demanders on evolutionary game equilibrium

4.5 数据提供者场内交易收益 t_1 的影响

分别对 t_1 赋值 400,700,1 000,复制动态方程组随时间演化 50 次^[27],起始点为(0.1,0.1,0.1),得到的仿真结果如图 6 所示。可见,随着进场交易收益提高,数据提供者选择进场交易策略的概率提高,政府选择场外交易惩戒策略的概率提高,数据需求者选择进场交易策略的概率降低,各方策略均衡点演化速度加快。在数据交易市场政策和法律法规制定中,在提高数据提供者进场交易收益的同时,需要注意通过其他要素引导数据需求者的进场交易行为。

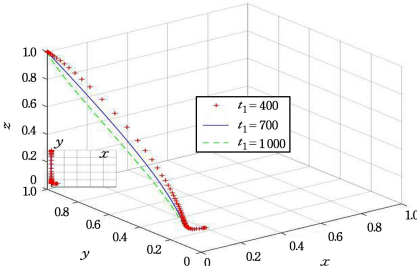


图 6 数据提供者场内交易收益 t_1 对演化博弈均衡的影响仿真示意图
Fig. 6 Simulation schematic diagram of impact of exchange trading returns t_1 of data providers on evolutionary game equilibrium

4.6 数据提供者场外交易收益 t_2 的影响

分别对 t_2 赋值 600,800,1 000,复制动态方程组随时间演化 50 次,起始点为(0.1,0.1,0.1)^[27],得到的仿真结果如图 7 所示。随着数据提供者场外交易收益增大,数据提供者选择进场交易策略的概率降低,政府选择场外交易惩戒策略的概率降低,数据需求者选择进场交易策略的概率提高,各方策略均衡点演化速度降低。因此,在数据提供者场外交易收益提高时,政府应该加强场外交易惩罚的监管强度,同时注意搭配其他政策变量引导数据提供者选择进场交易策略。

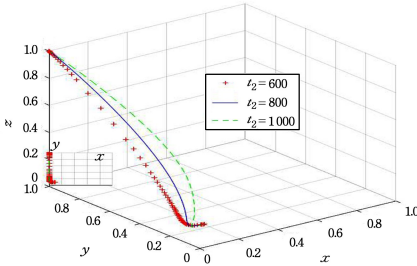


图 7 数据提供者场外交易收益 t_2 对演化博弈均衡的影响仿真示意图
Fig. 7 Simulation schematic diagram of impact of over-the-counter trading revenue t_2 of data providers on evolutionary game equilibrium

4.7 数据需求者场外交易收益 i_2 的影响

分别对 i_2 赋值 500,650,800,复制动态方程组随时间演化 50 次^[27],起始点为(0.1,0.1,0.1),得到的仿真结果如图 8 所示。随着数据需求方场外交易收益提高,数据提供者选择进场交易策略的概率提高,政府选择场外交易惩戒策略的概率降低,数据需求者选择进场交易策略的概率降低,各方策略均衡点演化速度加快。在政策变量选择时需要注意不同变量之间的配合,以达到均衡目标。

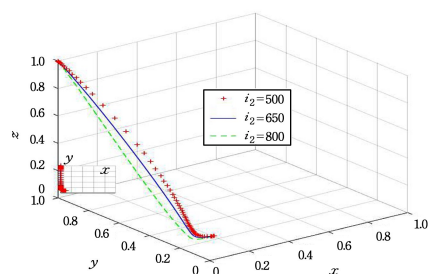


图8 数据需求者场外交易收益 i_2 对演化博弈均衡的影响仿真示意图

Fig. 8 Simulation schematic diagram of impact of over-the-counter trading revenue i_2 of data demanders on evolutionary game equilibrium

4.8 其他变量的影响

除以上7个变量带来显著影响以外,按照前述赋值仿真过程分别对 k_0, k_s, a, b, i_1 进行相应赋值并作政策仿真^[27]。以 k_s 为代表得到的仿真结果如图9所示,其他变量得到的仿真结果图形与其类似。可见,这些变量变化对演化博弈过程和各主体均衡策略的选择几乎没有影响,在政策制定中可不采用这些变量,以降低不必要的政策实施成本。

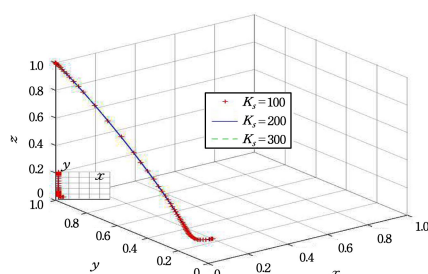


图9 以 k_s 为代表的其他变量对演化博弈均衡的影响仿真示意图

Fig. 9 Simulation schematic diagram of impact of other variables represented by k_s on evolutionary game equilibrium

结束语 当前我国数据要素交易存在市场发展缓慢、进场交易不足、场外交易相对场内交易更活跃、交易监管缺失、数据安全风险较大等问题,这一系列问题之间存在相互影响、相互制约的关系,说明数据要素交易市场仍处于粗放式发展阶段。通过科学合理的政策设计,引导市场跳出自身低效发展循环是数据经济高质量发展的必要途径和现实选择。本文通过构建包括数据提供者、数据需求者、政府三者的演化博弈模型,对数据交易各方主体的策略选择和系统均衡问题进行了量化分析,得出相关政策建议,以期促进数据交易市场的高效高质量有序发展。

研究发现,选择不同政策在引导促进数据要素交易双方进场交易中的效果不尽相同。在数据交易双方的场外交易惩罚额度与进场交易收益之和大于进场成本的条件下,政府通过提高场外交易惩罚额度、提高场内交易收益、降低进场交易成本和降低场外交易收益等措施的配合,促进了交易双方进场交易行为的实现;而通过进场激励补贴,提高进场交易激励强度、提高场外交易惩戒强度、提高数据需求方场外交易所得收益等措施并不能推动相关主体进场交易目标的实现。同时,政府在制定政策时需注意演化博弈均衡点所需条件的满足,以促进博弈各方实现进场交易的均衡状态。

根据以上结论,建议前期首先完善数据交易法律法规体系,加强对场外交易不合规行为的监管力度和惩戒强度,对非法数据交易等严重违法行为施以重罚。其次,应通过政府引导建立技术功能完善的数据交易基础设施,包括采用区块链技术搭建数据交易平台,实现对场内交易数据的赋权、“零知识证明”、全程记录和可信执行的平台化运行。此类数字平台中的运行机制具有数字经济非竞争性、非排他性和规模性的特点,其以数字公共品提供的方式显著降低了数据交易方的进场成本。最后,政府应加强对数据交易全链条产业发展的政策引导和政策扶持,通过数据要素交易下游产业链发展提升产业链前端即数据进场交易的收益所得,实现数据交易市场稳定可持续发展。

参考文献

- [1] LI Y X. National Data Resources Survey Report(2021) Released [J]. Software and Integrated Circuits, 2022(8): 63-63.
- [2] BAO X L, DU W L. Institutional Construction of a Data Trusted Trading System: Based on the Perspective of on exchange Trading [J]. E-government, 2023(6): 38-50.
- [3] QIAN W N, SHAO Q F, ZHU Y C, et al. Blockchain and Trusted Data Management: Problems and Methods [J]. Journal of Software, 2018, 29(1): 150-159.
- [4] LI Y. Research on trustworthy data collection of sensor clouds based on fog computing [D]. Xiamen: Overseas Chinese University, 2018.
- [5] WANG H Y, WANG R C, HUANG H P, et al. A trustworthy data collection method for wireless sensor networks based on ARMA model [J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2009, 29(4): 85-89, 96.
- [6] HUANG Y X, LIANG Z H, HUANG B, et al. Supply Chain Trusted Data Management Based on Blockchain [J]. Computer System Applications, 2018, 27(12): 9-17.
- [7] KERROS. Norms of Computer Trespass [EB/OL]. <https://columbialawreview.org/wp-content/uploads/2016/05/Orin-S.-Kerr.pdf>.
- [8] SONG Q Y. Research and Application of Personal Trusted Data Space [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2019.
- [9] HUANG Y X, LIANG Z H, HUANG B, et al. Supply Chain Trusted Data Management Based on Blockchain [J]. Computer System Applications, 2018, 27(12): 9-17.
- [10] Congress Enacts the Clarifying Lawful Overseas Use of Data (CLOUD) Act. Reshaping US law governing crossborder access to data [J]. The American Journal of International Law, 2018, 112(3): 487-493.
- [11] YANG D, LI Z S. On the Reconstruction of Anti Unfair Competition Law: With the Regulation System of Data Elements as the Core [J]. Legal Application, 2022(11): 15-25.
- [12] HU L. The Formation of Property Rights in Data Elements: From Legal Structure to Market Structure [J]. Oriental Law, 2022(2): 120-131.
- [13] YAN Y, MENG T G. Typology, Property Ownership and Gov-

ernance Logic of Data Elements [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University(Social Science Edition), 2022, 42(2): 103-111.

[14] YIN Q. Data Elements and Data Governance: The Dual Core Driver of the Digital Power World [J]. Academic Exchange, 2022(2): 44-54.

[15] DING X D. How to Break Through Data Trading: The Arrow Information Paradox and Legal Response in the Data Element Market [J]. Oriental Law, 2022(2): 144-158.

[16] ZHENG J H, YANG J R. The Development Path of Industrial Digitization: Complementarity, Dynamics, and Strategy [J]. Industrial Economic Review, 2024(6): 60-71.

[17] SUN J, WANG J D. The overall plan for forming a closed-loop policy of resource utilization, asset utilization, and capitalization of data elements under a multi-level market system [J]. E-government, 2024(2): 12-20.

[18] SHEN X L, QIAN Q W. Research on the Governance Dilemma and Prevention Mechanism of Data Elements from the Perspective of Value and Risk Integration [J]. Journal of Information Resource Management, 2023, 13(6): 17-28, 42.

[19] LI H J, ZHAO L. Research on Data Value Theory [J]. Finance, Trade and Economics, 2023, 44(6): 5-20.

[20] XU Y, WANG Z C. Marketization Construction of Data Elements and Digital Transformation of Enterprises-A Quasi Natural Experiment Based on Data Trading Platforms [J]. Soft Science, 2024, 38(9): 24-26, 39.

[21] ARROW K J. Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention [EB/OL]. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-349-15486-9_13.

[22] KURT R, BURNT SCHAFFER H. The Solomon's Knot: What can the law do to overcome poverty? [M]. Beijing: Peking University Press, 2014.

[23] BERGEMANN D, BONATTI A, SMOLIN A. The Design and Price of Information [J]. American Economic Review, 2018, 108(1): 1-48.

[24] LIU Z, LI M Q, KONG J S. Selling information products: Sale Channel selection and versions strategy with network externality [J]. International Journal of Production Economics, 2015, 166: 1-10.

[25] JOON-SOO Y. A Study on Data Transactions and Brokerage: Focusing on Data Prices [J]. Korean Management Consulting Review, 2022, 22(6): 279-288.

[26] ZHAO Z Y, LIU Y M, LIANG X Y, et al. Consider the four party evolutionary game of product quality supervision with insiders whistleblowing [J]. Chinese Management Science, 2024, 32(2): 43-53.

[27] ZHU L L, RONG J M, ZHANG S Y. Three party evolutionary game and simulation analysis of drug safety and quality supervision under government reward and punishment mechanisms [J]. China Management Science, 2021, 29(11): 55-67.

[28] SUN G Q, XIE Y F. Blockchain Technology, Supply Chain Networks, and Data Sharing: From an Evolutionary Game Perspective [J]. Chinese Management Science, 2023, 31(12): 149-162.



ZHANG Lili, born in 1983, postdoctor, associate professor. Her main research interests include digital economy, econometrics, credit management, and socialism with Chinese characteristics.

(责任编辑:何杨)