

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2021.23.022

# 区块链视角下供应链多主体数据共享意愿博弈研究

杨学成, 李业勤

(北京邮电大学经济管理学院, 北京 100876)

**摘要:** 分析区块链技术对供应链数据共享的驱动作用, 并建立供应链多主体数据共享演化博弈模型, 通过仿真模拟的方法探索供应链数据共享的影响因素及其演化路径。结果表明, 第一, 区块链技术的应用有利于供应链内确认数据权属、统一数据标准、降低数据风险、提高惩罚力度, 进而提高供应链数据共享水平; 第二, 数据共享激励系数和惩罚系数对供应链多主体数据共享意愿有正向影响, 数字系统建设成本、共享边际成本和数据风险系数对其有负向影响。

**关键词:** 数据共享; 区块链; 供应链; 演化博弈; 多主体

**中图分类号:** F49; TP311.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7695 (2021) 23-0181-12

## Study on the Willingness of Sharing Multi-agent Data of Supply Chain from the Perspective of Blockchain Technology

Yang Xuecheng, Li Yeqin

(School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

**Abstract:** This paper analyzes the driving effect of blockchain technology on supply chain data sharing, and then establishes the evolution game model of supply chain multi-agent data sharing. By means of simulation, this paper explores the influencing factors and evolution path of supply chain data sharing. The research results show that: Firstly, blockchain technology is contributing to data ownership confirmation, data standardization, data risks reduction and the enhancement of punishment, which promotes the data sharing in turn. Secondly, the incentive coefficient and penalty coefficient of data sharing have a positive influence on the willingness of multi-agent data sharing in supply chain, while the construction cost, sharing marginal cost and data risk coefficient of digital system have a negative influence on it.

**Key words:** data sharing, block chain, supply chain, evolutionary game, multi-agent

数据作为新型生产要素, 其价值实现方式与传统资源有很大不同, 数据共享是充分释放数据价值的必经之路<sup>[1]</sup>。许多国家政府已把数据共享列为重要发展战略, 例如欧盟委员会发布的《欧洲企业间数据共享研究报告》中, 将企业间的数据共享作为促进欧洲数字经济发展的关键方面。同时, 一些巨头企业, 例如空客、沃尔玛等, 已经构建了以自身企业为核心的数据共享平台, 通过与供应链上下游企业相互共享数据来共同提高生产效率、产品质量和服务水平。并且, 学术界许多学者也证明了数据共享对供应链发展有降低成本<sup>[2]</sup>、能力提升等多方面重要作用<sup>[3]</sup>。然而, 当前供应链企业间数据共享

意愿不足, 数据孤岛现象较为严重。供应链内的数据共享意味着多主体间的数据流动, 其中所涉及到的数据权属、数据风险、共享成本等问题仍制约着数据共享水平的提升。区块链技术的出现, 为破解供应链企业间存在的数据孤岛难题提供了新的解决方案<sup>[4]</sup>。已有学者以区块链技术为核心, 探索了供应链内数据共享的实现机制<sup>[5]</sup>。但当前学术界对于供应链多主体数据共享意愿影响因素的研究尚不充分, 更缺乏讨论区块链技术对于供应链数据共享的影响方式。鉴于当前供应链内数据共享面临的实际问题和相关理论缺口, 本文拟分析区块链技术对供应链数据共享的推动作用, 并通过演化博弈方法,

收稿日期: 2021-05-09, 修回日期: 2021-08-06

基金项目: 国家重点研发计划资助项目“科技创新 2030 ‘新一代人工智能’重大项目”(2020AAA0105302)

分析供应链多主体间数据共享意愿的影响因素和动态演化路径,对比传统技术方案和区块链技术方案下演化结果的差异,探索供应链多主体数据共享实现机制,为供应链企业间建立高效的数据共享合作关系提供理论指导和实践建议。

## 1 文献综述

学者们围绕供应链数据共享问题已就共享价值、影响因素、实现方式及激励机制三方面展开了许多探索。(1)共享价值方面。Lee等<sup>[6]</sup>、Cachon等<sup>[7]</sup>和Zhou等<sup>[8]</sup>学者均证明了在供应链中信息共享有利于减少库存、缓解牛鞭效应。韩孟孟等<sup>[9]</sup>证明了内部和外部的数据共享对企业生产率有显著正向影响。王展祥等<sup>[10]</sup>指出数据共享有助于企业提高企业创新投入的概率和规模。学者们对供应链内数据共享的重要意义已基本形成共识。(2)影响因素方面。Du等<sup>[11]</sup>指出企业关系和数据动态性对企业间数据共享意愿有显著影响。Tran等<sup>[12]</sup>证明了风险和信任对企业数据共享的影响。袁旭梅等<sup>[13]</sup>指出技术联盟和技术应用对供应链数据共享的质量和内容的都有显著正向影响。(3)实现方式及激励机制方面。Lee等<sup>[14]</sup>指出供应链数据共享实现方式分为信息传输模式、第三方模式、信息中心模式三类。官子力等<sup>[15]</sup>围绕供应链需求不确定问题,提出基于两部补偿契约的数据共享激励策略。卢安文等<sup>[16]</sup>通过构建委托-代理模型对比分析收益分享激励和固定报酬激励两种激励策略对提供商信息共享激励效果的影响。

数据共享问题的本质在于不同主体间针对数据资源进行博弈,寻找各主体可以良好合作的均衡解。基于博弈视角,Pan等<sup>[17]</sup>探讨数据量和数据价值变化对企业数据共享决策的影响。高峰等<sup>[18]</sup>基于合作博弈方法分析了数据共享平台的监督力度与效益的动态关联规律。王娟等<sup>[19]</sup>基于不完全信息动态博弈模型,讨论了政府数据开放共享的策略选择与收益。传统博弈方法基于理性人假设进行分析,存在一定局限性,演化博弈论的出现放宽了该假设,为分析经济实体的演化规律提供了良好的研究范式<sup>[20]</sup>,许多学者开始基于演化博弈方法对数据共享问题展开探索。邢海龙等<sup>[21]</sup>引入“机会主义共享”策略,建立了数据资源共享动态演化博弈模型。魏益华等<sup>[22]</sup>探索了数据资源异质性和企业信任度对企业数据共享意愿的影响。张新等<sup>[23]</sup>基于数据规模、数据异质性、道德风险和共享意愿分析了信用数据共享演化博弈结果。

过去供应链数据共享实现方式通常采用EDI系统来实现,然而一方面该机制效率低下、风险较高,

企业面临经济损失<sup>[24]</sup>,另一方面许多中小企业也没有能力采用成本高昂的EDI系统<sup>[25]</sup>。区块链技术的出现为数据共享提供了新的思路和解决方案<sup>[26]</sup>。为解决供应链数据共享中的信任和隐私问题,Wang等<sup>[5]</sup>设计了一种基于区块链技术的数据共享机制。谷俊等<sup>[27]</sup>构建了基于区块链技术的数据共享系统模型,提升了数据共享追踪能力并保护了数据共享者的权利。张楠等<sup>[28]</sup>基于区块链智能合约技术和协作理论,提出了“制度-业务-系统”的多层次数据共享分析框架。肖炯恩等<sup>[29]</sup>围绕数字身份应用场景,构建了以区块链为核心的数据共享平台。Hofman<sup>[30]</sup>指出供应链内不同的数字解决方案中数据共享需要额外成本,而区块链技术有助于打通不同解决方案间的数据流通。Epiphaniou等<sup>[31]</sup>认为在安全和监管方面,利用区块链技术进行分布式数据的授权和快速访问能够避免单点故障,也保持了实时在线的数据监管。由此可见,区块链技术有助于解决数据共享中利益分配、隐私保护、可靠性、信任、成本等问题,对数据共享水平的提高有着重要作用,但学者们对区块链技术在供应链数据共享领域中应用的具体机理探索尚不充分,仍有待进一步的研究。

综上所述,供应链数据共享是近年来理论与实践关注的焦点问题,国内外研究集中于共享价值、影响因素与运作机理等角度。但一方面,区块链技术的发展使得供应链数据共享的实现方式发生较大变化,该视角下的研究还处于起步探索阶段,相关工作仍需进一步深入。另一方面,虽然部分学者已经对供应链数据共享模型进行了设计与优化,但对供应链数据共享问题中的多主体博弈分析仍不充分<sup>[21]</sup>。鉴于当前研究存在的不足,本文将探讨区块链技术对供应链数据共享的推动作用,并采用演化博弈方法,对供应链多主体数据共享动态过程进行建模分析,对比传统技术方案和区块链技术方案下演化路径的差异,以期揭示区块链技术赋能下供应链高水平数据共享的实现路径。

## 2 区块链技术与供应链数据共享

区块链技术具有分布式账本、智能合约、共识机制、非对称加密和时序数据等特性,能够满足供应链数据共享场景中确认数据权属、统一数据标准、降低数据风险、提高惩罚力度等需求,进而可以有效提升供应链各主体数据共享意愿,促进供应链数据共享水平提高。

### 2.1 确认数据权属

数据权属的确认和保护有助于供应链企业间的数据的流通和共享<sup>[32]</sup>,但过去基于TCP/IP协议的

传统互联网，只能实现数据的传播，不能实现数据的产权界定。数据在 TCP/IP 协议下可以无限复制且自由传播，数据成为了无竞争性和无排他性的公共物品，市场主体只能通过人为制造排他性和竞争性保证数据产权归自身所有<sup>[33]</sup>，但这大大限制了数据资源的高效流通，导致了数据孤岛问题的出现。数据权属不清阻碍了数据的充分流动，无法建立起稳定有效的数据共享激励机制，加大了企业利用外部数据资源的阻力，数据价值难以有效发挥。

传统的数据确权方法中较有代表性的是贵阳大数据交易所提出的“提交权属证明+专家评审”模式<sup>[34]</sup>。在此模式下，通过大数据的拥有者提交权属证明、大数据交易所组织专家进行评审、大数据交易所公布结果三个阶段完成数据确权。但一方面这种模式可能存在评审专家主观情感或偏见的影响，甚至可能出现大数据交易所内部人员恶意篡改结果，影响数据确权的公平性，另一方面该模式需要大量的人力进行确权，影响数据确权的高效性。

区块链技术允许供应链企业就数据权属问题进行特别约定<sup>[35]</sup>，为解决数据确权问题提供了更加可信、高效的方案。首先，区块链通过竞争机制为数据块打上时间戳，使链上数据产生异质性。然后，通过智能合约实现数据在不同主体间流通时产权自动变化。最后，通过分布式账本，在多方主体相互监督条件下，确保了数据确权结果的始终一致性<sup>[34]</sup>。利用区块链技术确定数据权属，能有效提升供应链企业进行数据共享的激励水平<sup>[36]</sup>。当数据被上传到区块链数字系统中时，其所有权会同时记录在其中。当其他主体想要使用或购买数据时，通过智能合约来规定相应的数据使用或购买方式，保证了数据贡献者的权益。因此在区块链技术支持下数据权属不清的难题得以解决，数据贡献者不必担心共享数据后难以得到相应的激励收益，这对促进供应链内数据共享有着重要积极意义。

## 2.2 统一数据标准

数据标准是指保障数据定义和使用的一致性、准确性和完整性的规范性约束。数字经济时代下，随着数据应用和分析挖掘的逐步深入，由于数据标准不统一造成的数据使用问题越来越多。目前企业中普遍存在不同的数据标准，导致企业无法对海量数据进行高效利用<sup>[37]</sup>。一方面，对于企业内部而言，如果没有进行数据标准体系的建设，不同人员对于数据的理解很难达到完全一致，导致工作中经常出现数据统计口径偏差、数据重复采集等问题。同时企业的各个系统一般都是不同厂商建设的，所以不同系统之间的标准不一致，致使不同系统之间数据

融合应用较为困难。另一方面，对于供应链内的上下游企业而言，数据系统差异更大，数据标准的不统一大大降低了各企业间的数字化协作效率。举例来说，供应链内物料和资金的清算数据需要人力反复审核，难以形成企业间智能清算。供应链企业在利用共享数据时需要人力转换为自身企业可用格式标准，导致了数据利用成本较高，阻碍了数据的高效流通。

区块链技术为数据标准统一提供了新的解决方案，让多主体以多中心化的方式进行数据标准的制定和维护<sup>[38]</sup>。利用区块链技术搭建的数据标准库链网络，由所有加入的节点共同构建和维护。新的数据标准通过各节点共识算法验证后，链接到标准库链中，保证了数据标准库的稳定和公开透明，使得数据标准库的信息更加权威可信<sup>[39]</sup>。供应链内企业利用区块链技术组成联盟链，对联盟节点的数据上链标准进行统一，能够保证供应链各企业间的数据标准化，促进企业内业务流程以及企业间协作流程的自动化和智能化。在数据标准统一的前提下，供应链内各类数据经过共享后能够及时便捷的使用，降低了共享数据的使用成本，有助于共享数据价值的充分发挥。

## 2.3 降低数据风险

大数据时代供应链中企业的私有数据面临着泄露的风险<sup>[40]</sup>，供应链私有数据泄露会对公司造成严重的损失<sup>[41]</sup>，因此供应链企业对于数据风险的考量会影响数据共享决策。供应链内数据风险主要分为两个方面。一方面在供应链合作企业间数据共享时，合作企业可能对仅有使用权的数据进行占有、私自传播等机会主义行为。另一方面，供应链数字系统出现网络攻击、灾害损害等问题，共享数据面临着泄露和遗失等风险。合作伙伴滥用或占有数据等机会主义行为，可以通过前文所提及的利用区块链技术确认数据权属来有效解决。针对网络攻击等问题，区块链技术的分布式存储特性能够很好的应对。传统的数据存储往往通过第三方机构的中心化存储，当中心机构遭受攻击时数据面临的损失或被盗窃的风险。区块链技术通过分布式存储方式保证了单一或少数节点遭受攻击时仍然能够保证数据的完备和不被篡改，降低了数据泄露的风险。

## 2.4 提高惩罚力度

供应链企业间在共享数据资源时，企业会有使用其他企业所共享的数据但不共享自身数据的机会主义行为倾向。假如供应链联盟内对采取机会主义的企业没有有效的惩罚机制，或惩罚力度不足，则会使机会主义行为泛滥，最终导致没有企业愿意共



享数据。区块链技术由于其公开透明、防篡改、去中心化、时间戳等特征，企业行为数据上链后将会被准确记录。因此在区块链技术的介入下，企业违约后一方面难以篡改违约数据，另一方面违约行为的全网广播所带来的声誉损失很高，企业机会主义行为成本增高<sup>[42]</sup>。在采用了区块链技术的系统中能够搭建合理的惩罚机制，提高对机会主义企业的惩罚力度，有助于供应链联盟走向数据开放共享的共赢局面。

### 3 基本假设与模型构建

#### 3.1 供应链数据共享特点

供应链中企业间联系密切，很多供应链内部有着信息共享机制，同时在数字经济背景下供应链企业大多进行了数字化改造，拥有一定的基础数字设施，因此供应链拥有良好的数据共享基础。供应链企业间进行数据共享，有助于供应链实现业务流程改造、产品及服务创新、资源高效利用等。同时数据资源具有海量性、易于复制性、共享性等特征，数据资源经共享融合后的价值远大于数据割裂的价值，因此数据共享对供应链整体发展有着较大意义。

供应链进行数据共享面临着众多挑战。第一，数据权属的确认较为困难，拥有权和使用权难以分离，导致企业数据共享的激励动力不足；第二，数据共享的实施需要供应链企业投入数据系统建设成本以及后续的运维成本，共享成本较高；第三，数据共享也面临着核心数据泄露的风险；第四，由于供应链内也存在竞争关系，供应链成员会尝试“搭便车”等机会主义行为，使用其他企业共享的数据而自身不共享。

#### 3.2 模型变量与假设

本文研究供应链多主体数据共享意愿的演化博弈模型，模型构建基于以下假设。

假设 1：供应链数据共享参与主体为三方：供

应商  $X$ ，制造商  $Y$  和零售商  $Z$ 。且三方主体均是在非完全信息条件下进行数据共享决策，进行决策时是有限理性的。他们之间的博弈策略集合均为 [ 共享数据，不共享数据 ]，共享数据的比例分别为  $x$ ， $y$ ， $z$ ，不共享数据的比例分别为  $1-x$ ， $1-y$ ， $1-z$ 。

假设 2：不同企业所能共享的数据量  $d_i(i=x,y,z)$  不同。同时不同企业对数据的利用能力不同，因此从数据中挖掘出的价值不同， $r_i(i=x,y,z)$  表示数据共享收益系数。企业  $i$  从数据共享中所挖掘出的数据价值为自身的收据共享收益系数与其他主体所共享数据的乘积。

假设 3：企业共享数据时会增加建设成本和边际成本。 $c_i$  表示企业  $i$  数字系统建设成本，不同企业所需要建立的数字系统复杂程度不同，因此其数字系统建设成本有差异。 $m$  表示数据共享边际成本，代表企业在进行数据共享时的各种持续开支，例如技术运维、数据转换、通信成本等。

假设 4：企业共享数据时会增加相应风险。 $s$  表示数据共享风险系数，企业共享数据越多越有可能泄露企业核心数据或损失知识优势。

假设 5：对于积极共享数据的企业会有相应的激励措施， $\alpha$  表示数据共享激励系数，供应链联盟会对积极共享数据的企业进行奖励，例如物质奖励以及声誉奖励等，企业共享的数据越多其激励收益越大。对于消极共享数据的企业会有相应的惩罚措施， $\beta$  表示惩罚系数，当企业自身不进行数据共享但是利用其它企业数据时会遭受惩罚，包括减少企业合作、企业声誉降低等方面。

供应商  $X$ 、制造商  $Y$  和零售商  $Z$  在供应链中共享数据时，三方均可以选择共享或者不共享，因此博弈三方的策略组合共有 8 种。

#### 3.3 支付矩阵与复制动态方程

根据上述参数假定，得出供应链三方数据共享收益矩阵，如表 1 所示。

表 1 支付收益矩阵

博弈方		零售商		
		共享数据 $z$	不共享数据 $1-z$	
供应商	共享数据 $x$	制造商 共享数据 $y$	$r_x(d_x+d_z)+ad_x-c_x-md_x-sd_x$ $r_x(d_x+d_z)+ad_y-c_y-md_y-sd_y$ $r_z(d_x+d_z)+ad_z-c_z-md_z-sd_z$	$r_xd_x+ad_x-c_x-md_x-sd_x$ $r_yd_x+ad_y-c_y-md_y-sd_y$ $r_z(d_x+d_z)-\beta(d_x+d_z)$
		制造商 不共享数据 $1-y$	$r_xd_x+ad_x-c_x-md_x-sd_x$ $r_y(d_x+d_z)-\beta(d_x+d_z)$ $r_zd_x+ad_z-c_z-md_z-sd_z$	$ad_x-c_x-md_x-sd_x$ $r_yd_x-\beta d_x$ $r_zd_x-\beta d_x$
	不共享数据 $1-x$	制造商 共享数据 $y$	$r_x(d_x+d_z)-\beta(d_x+d_z)$ $r_yd_z+ad_y-c_y-md_y-sd_y$ $r_zd_y+ad_z-c_z-md_z-sd_z$	$r_xd_x-\beta d_x$ $ad_y-c_y-md_y-sd_y$ $r_zd_y-\beta d_z$
		制造商 不共享数据 $1-y$	$r_xd_x-\beta d_x$ $r_yd_x-\beta d_x$ $ad_z-c_z-md_z-sd_z$	0 0 0

根据表 1 支付收益矩阵以及复制动态方程计算方法，计算可得供应商、制造商、零售商三方的复制动态方程为：

$$F(x)=dx/dt=x(1-x)(y\beta d_y+z\beta d_z+ad_x-c_x-md_x-sd_x) \quad (1)$$

$$F(y)=dy/dt=y(1-y)(x\beta d_x+z\beta d_z+ad_y-c_y-md_y-sd_y) \quad (2)$$

$$F(z)=dz/dt=z(1-z)(x\beta d_x+y\beta d_y+ad_z-c_z-md_z-sd_z) \quad (3)$$

为使得公式直观清晰并且方便计算，设  $C_i=c_i+md_i+sd_i$  表示企业共享数据的总阻力，三方演化博弈复制动态方程组简化为：

$$F(x)=dx/dt=x(1-x)(y\beta d_y+z\beta d_z+ad_x-C_x) \quad (4)$$

$$F(y)=dy/dt=y(1-y)(x\beta d_x+z\beta d_z+ad_y-C_y) \quad (5)$$

$$F(z)=dz/dt=z(1-z)(x\beta d_x+y\beta d_y+ad_z-C_z) \quad (6)$$

### 3.4 稳定性及演化路径分析

#### 3.4.1 供应商

根据微分方程的稳定性定理及演化稳定策略的性质，供应商要到达演化稳定策略，需要满足的必要条件是  $dF(x)/dx < 0$ 。若  $y = -zd_z/d_y + (-ad_x + C_x)/\beta d_y$ ， $F(x) \equiv 0$ ，此时所有  $x$  都为稳定状态。若  $y \neq -zd_z/d_y + (-ad_x + C_x)/\beta d_y$ ，令  $F(x)=0$ ，得到  $x=0$  或  $x=1$  两个稳定状态。当  $y > -zd_z/d_y + (-ad_x + C_x)/\beta d_y$  时， $dF/dx|_{x=0} > 0$ ， $dF/dx|_{x=1} < 0$ ，因此  $x=1$  为平衡点；当  $y < -zd_z/d_y + (-ad_x + C_x)/\beta d_y$  时， $dF/dx|_{x=0} < 0$ ， $dF/dx|_{x=1} > 0$ ，因此  $x=0$  为平衡点。对复制动态方程求解可得出供应商选择策略的演化过程，如图 1 所示。

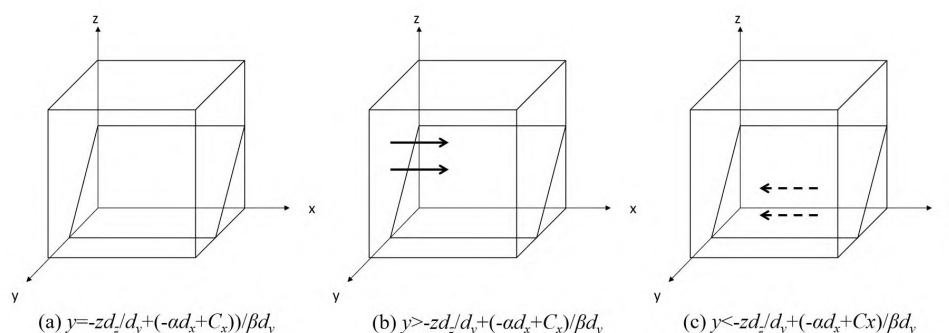


图 1 供应商选择策略演化过程

#### 3.4.2 制造商

同理，制造商要到达演化稳定策略，需要满足的必要条件是  $dF(y)/dy < 0$ 。若  $x = -zd_z/d_x + (-ad_y + C_y)/\beta d_x$ ， $F(y) \equiv 0$ ，此时所有  $y$  都为稳定状态。若  $x \neq -zd_z/d_x + (-ad_y + C_y)/\beta d_x$ ，令  $F(y)=0$ ，得到  $y=0$ ，

$y=1$  两个稳定状态。当  $x > -zd_z/d_x + (-ad_y + C_y)/\beta d_x$  时， $dF(y)/dy|_{y=0} > 0$ ， $dF(y)/dy|_{y=1} < 0$ ，因此  $y=1$  为平衡点；当  $x < -zd_z/d_x + (-ad_y + C_y)/\beta d_x$  时， $dF(y)/dy|_{y=0} < 0$ ， $dF(y)/dy|_{y=1} > 0$ ，因此  $y=0$  为平衡点。对复制动态方程求解可得出制造商选择策略的演化过程，如图 2 所示。

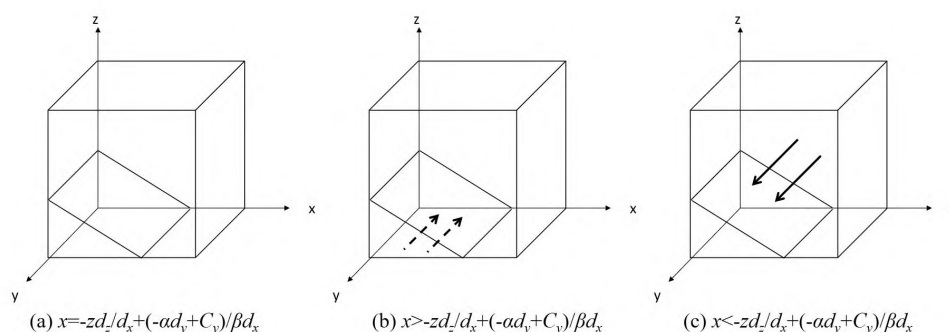


图 2 制造商选择策略演化过程

#### 3.4.3 零售商

同理，零售商要到达演化稳定策略，需要满足的必要条件是  $dF(z)/dz < 0$ 。若  $x = -yd_y/d_x + (-ad_z + C_z)/\beta d_x$ ， $F(z) \equiv 0$ ，此时所有  $z$  都为稳定状态。若  $x \neq -yd_y/d_x + (-ad_z + C_z)/\beta d_x$ ，令  $F(z)=0$ ，得到  $z=0$ ， $z=1$

两个稳定状态。当  $x > -yd_y/d_x + (-ad_z + C_z)/\beta d_x$  时， $dF(z)/dz|_{z=0} > 0$ ， $dF(z)/dz|_{z=1} < 0$ ，因此  $z=1$  为平衡点；当  $x < -yd_y/d_x + (-ad_z + C_z)/\beta d_x$  时， $dF(z)/dz|_{z=0} < 0$ ， $dF(z)/dz|_{z=1} > 0$ ，因此  $z=0$  为平衡点。对复制动态方程求解可得出零售商选择策略的演化过程，如图 3 所示。

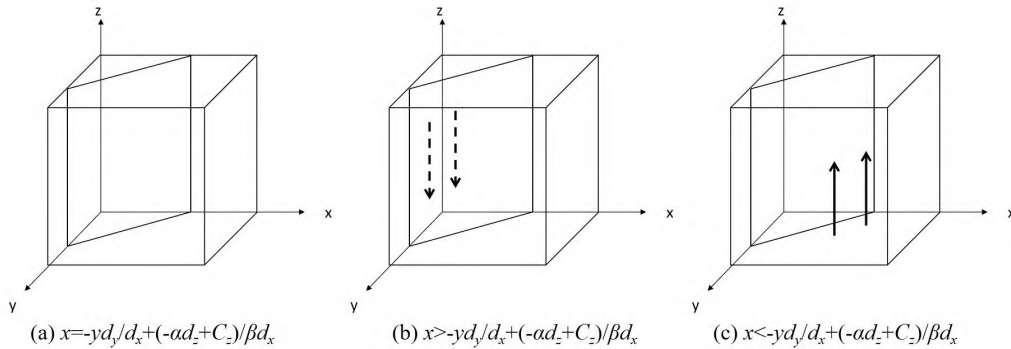


图3 零售商选择策略演化过程

3.4.4 三方共同作用的演化策略稳定性分析

通过雅克比矩阵的特征值  $\lambda$  可以判断演化博弈的演化稳定策略 (ESS)。根据李雅普诺夫判别法 (间接法) [43], 特征值  $\lambda$  全部大于零, 均衡点不稳定且为源点; 特征值  $\lambda$  有正也有负, 均衡点为鞍点; 特

征值  $\lambda$  全部小于零, 均衡点为汇点也是稳定点。本文演化博弈的雅克比矩阵如公式 (7) 所示。根据雅克比矩阵局部稳定性方法, 8 个均衡点的特征值分布和稳定性条件如表 2 所示。

$$\begin{bmatrix}
 (1-2x)(y\beta d_y + z\beta d_z + \alpha d_x - C_x) & y(1-y)\beta d_x & z(1-z)\beta d_x \\
 x(1-x)\beta d_y & (1-2y)(x\beta d_x + z\beta d_z + \alpha d_y - C_y) & z(1-z)\beta d_y \\
 x(1-x)\beta d_z & y(1-y)\beta d_z & (1-2z)(x\beta d_x + y\beta d_y + \alpha d_z - C_z)
 \end{bmatrix} \quad (7)$$

表2 博弈局部均衡点特征值分布

均衡点	特征值			汇点稳定性条件
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	
E1(0,0,0)	$\alpha d_x - C_x$	$\alpha d_y - C_y$	$\alpha d_z - C_z$	$\alpha d_x < C_x$ $\alpha d_y < C_y$ $\alpha d_z < C_z$
E2(0,0,1)	$\beta d_z + \alpha d_x - C_x$	$\beta d_z + \alpha d_y - C_y$	$-(\alpha d_z - C_z)$	$\beta d_z + \alpha d_x < C_x$ $\beta d_z + \alpha d_y < C_y$ $\alpha d_z > C_z$
E3(0,1,0)	$\beta d_y + \alpha d_x - C_x$	$-(\alpha d_y - C_y)$	$\beta d_y + \alpha d_z - C_z$	$\beta d_y + \alpha d_x < C_x$ $\alpha d_y > C_y$ $\beta d_y + \alpha d_z < C_z$
E4(1,0,0)	$-(\alpha d_x - C_x)$	$\beta d_x + \alpha d_y - C_y$	$\beta d_x + \alpha d_z - C_z$	$\alpha d_x > C_x$ $\beta d_x + \alpha d_y < C_y$ $\beta d_x + \alpha d_z < C_z$
E5(1,1,0)	$-(\beta d_y + \alpha d_x - C_x)$	$-(\beta d_x + \alpha d_y - C_y)$	$\beta d_x + \beta d_y + \alpha d_z - C_z$	$\beta d_y + \alpha d_x > C_x$ $\beta d_x + \alpha d_y > C_y$ $\beta d_x + \beta d_y + \alpha d_z < C_z$
E6(1,0,1)	$-(\beta d_z + \alpha d_x - C_x)$	$\beta d_x + \beta d_z + \alpha d_y - C_y$	$-(\beta d_x + \alpha d_z - C_z)$	$\beta d_z + \alpha d_x > C_x$ $\beta d_x + \beta d_z + \alpha d_y < C_y$ $\beta d_x + \alpha d_z > C_z$
E7(0,1,1)	$\beta d_y + \beta d_z + \alpha d_x - C_x$	$-(\beta d_z + \alpha d_y - C_y)$	$-(\beta d_y + \alpha d_z - C_z)$	$\beta d_y + \beta d_z + \alpha d_x < C_x$ $\beta d_z + \alpha d_y > C_y$ $\beta d_y + \alpha d_z < C_z$
E8(1,1,1)	$-(\beta d_y + \beta d_z + \alpha d_x - C_x)$	$-(\beta d_x + \beta d_z + \alpha d_y - C_y)$	$-(\beta d_x + \beta d_y + \alpha d_z - C_z)$	$\beta d_y + \beta d_z + \alpha d_x > C_x$ $\beta d_x + \beta d_z + \alpha d_y > C_y$ $\beta d_x + \beta d_y + \alpha d_z > C_z$

以 E8(1,1,1) 为例讨论, 当全部特征值  $\lambda < 0$  时, 即满足  $\beta d_y + \beta d_z + \alpha d_x > C_x$ ,  $\beta d_x + \beta d_z + \alpha d_y > C_y$ ,  $\beta d_x + \beta d_y + \alpha d_z > C_z$  时, 是均衡点 E8(1,1,1) 成为稳定点的条件。通过表 2 能够看出, 各点稳定性条件相互冲突, 该博弈中只会有少数的稳定均衡点。

4 演化仿真分析

演化博弈仿真重点在于分析关键要素对均衡结果的影响, 探索如何才能实现理想均衡。本文的理想均衡是供应链三方均积极共享数据, 既 E8(1,1,1)。本文通过 matlab 仿真模拟各影响因素对

演化稳定策略的影响，探讨实现供应链三方均积极共享数据的理想均衡演化路径。

#### 4.1 传统方案参数模拟

模型参数的设定须满足经济学假设和经验判断，本文依据前人的研究经验和客观事实<sup>[20][24]</sup>，首先设定传统数字系统方案下的模型参数值。当前环境下，相比于供应商和制造商的生产制造相关数据，零售商拥有的客户数据体量更大，因此设企业共享数据量 $d_x=40$ ， $d_y=40$ ， $d_z=50$ ；设数据收益系数 $r_x=4$ ， $r_y=3$ ， $r_z=1$ ；数字系统建设成本方面，制造商和供应商业务复杂，其数据建设成本较高，因此设数字系统建设成本 $c_x=200$ ， $c_y=180$ ， $c_z=50$ ；设数据共享边际成本 $m=1$ ；数据共享风险系数 $s=2$ ；数据共享激励系数 $\alpha=1$ ；惩罚机制系数 $\beta=3$ ，各项参数值具体如表3所示。

表3 影响因素的初始基准值

变量	取值	变量	取值
$d_x$	40	$c_y$	180
$d_y$	40	$c_z$	50
$d_z$	50	$m$	1
$r_x$	4	$s$	2
$r_y$	3	$\alpha$	1
$r_z$	1	$\beta$	3
$c_x$	200		

从表2可知，该传统数字系统方案参数下的8个均衡点中只有 $E1(0,0,0)$ 为稳定汇点， $E2-E8$ 为不稳定点，最终演化汇集到汇点 $E1$ ，表明在传统数字系统方案参数设定下，不论初始共享比例大小为何值，博弈即只有可能均衡于三方不共享的结果，仿真如图4所示。

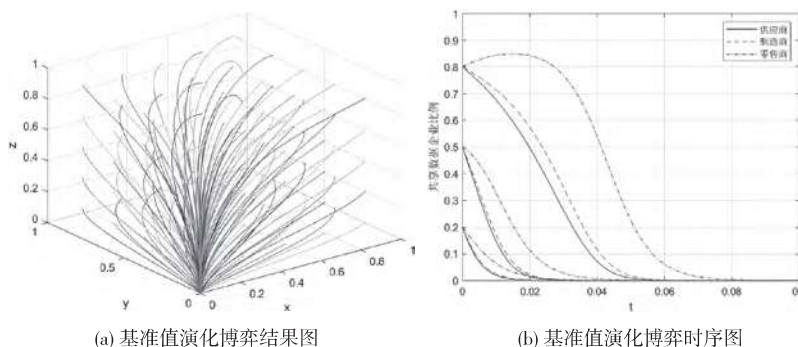


图4 传统方案演化博弈稳定过程

#### 4.2 区块链方案参数模拟

在传统方案模拟演化中，均衡结果为三方均不共享数据，供应链各主体陷入数据孤岛困境中。区块链技术方案的应用对模型中多个关键参数值有较大影响，有助于演化结果向三方共享的理想均衡转变。

##### 4.2.1 激励系数

区块链技术通过确认数据权属，可以有效提升数据共享激励水平，增大数据激励系数 $\alpha$ 。当模型中的数据激励系数 $\alpha$ 值从1增大为3时，演化路径如下图5-a所示，均衡结果稳定于 $E1(0,0,0)$ 或 $E8(1,1,1)$ ，不同的初始状态会趋向不同的均衡结果。

从图5-b中能够看出，当三方初始概率为 $[0.2,0.2,0.2]$ 时，三方主体均快速收敛于不共享。而当三方初始概率为 $[0.5,0.5,0.5]$ 时，制造商和供应商快速收敛于不共享，而零售商的共享数据概率先上升再下降收敛于不共享。而当三方初始概率为 $[0.8,0.8,0.8]$ 时，三方均快速收敛于共享数据。当增大数据激励系数 $\alpha$ 值为5时，演化路径如图5-c所示，三方决策均衡均稳定于 $E8(1,1,1)$ ，说明初始概率不同不会影响最终结果，达到三方所有初值均进行数据共享的理想均衡状态。从图5-d中可以看出，三方的积极共享概率均快速上升收敛于共享数据。



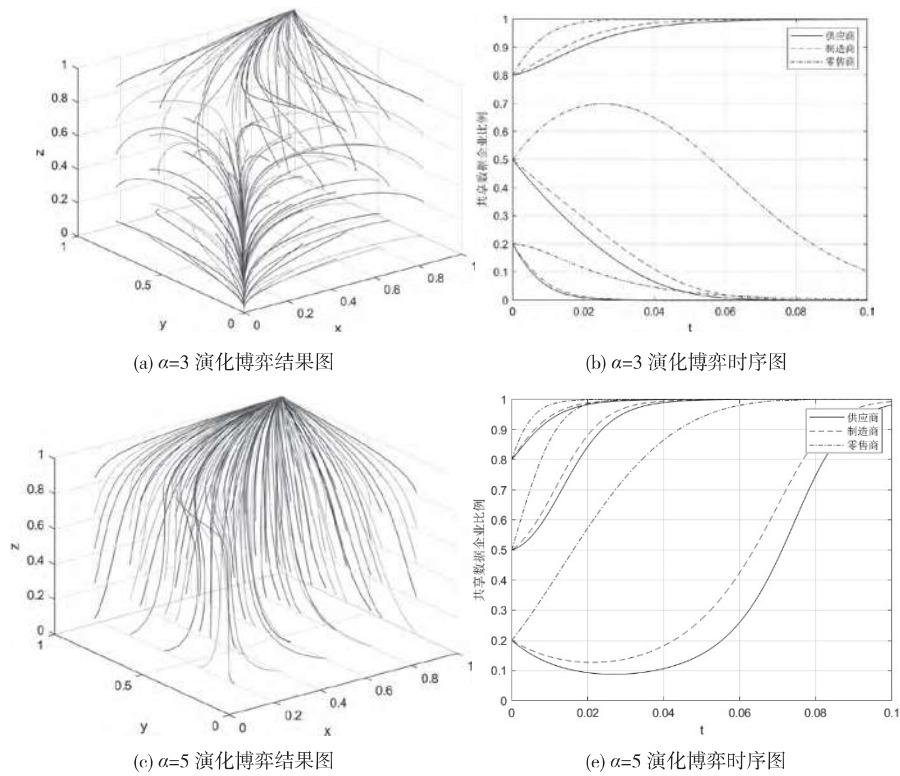


图 5 激励系数的动态演化图

通过分析汇点均衡条件和仿真结果能够看出，激励系数  $\alpha$  对均衡结果有着十分重要的影响。八个均衡点的均衡条件均与  $\alpha$  相关，并且能否所有初始状态均达到  $E8$  理想均衡状态与  $\alpha$  密切相关。 $\alpha$  值越大，均衡结果为  $E8$  的占比越大，当  $\alpha > \max\{C_x/d_x, C_y/d_y, C_z/d_z\}$  时，能保证所有初始状态都会趋向于三方共享的理想均衡结果，并且  $\alpha$  越大演化收敛速度越快。

#### 4.2.2 惩罚系数

区块链技术的可追溯和不可篡改特性会增加企业违约成本，增大惩罚系数  $\beta$ 。当模型中的惩罚系数  $\beta$  从 3 增大到 5 时，演化路径如下图 6-a 所示，三方决策均衡稳定于  $E1(0,0,0)$  或  $E8(1,1,1)$ ，不同的初始概率会趋向不同的均衡结果。从图 6-b 中能够看出，

当三方初始概率为  $[0.2,0.2,0.2]$  时，三方主体均快速收敛于不共享。而当三方初始概率为  $[0.5,0.5,0.5]$  时，制造商和供应商快速收敛于不共享，而零售商的共享数据概率先上升再下降收敛于不共享。而当三方初始概率为  $[0.8,0.8,0.8]$  时，三方均快速收敛于共享数据。而当继续增大惩罚系数  $\beta$  到 10 时，演化路径如下图 6-c 所示，虽然大部分初始状态均衡区域理想均衡  $E8(1,1,1)$ ，但仍然是  $E1(0,0,0)$  或  $E8(1,1,1)$  两个均衡结果。同样从图 6-d 中能够发现，在初始值较小时趋向于三方不共享的结果。说明增大惩罚系数虽然有助于提升走向理想均衡的比例，但无法让所有初始状态均走向三方共享的理想均衡。



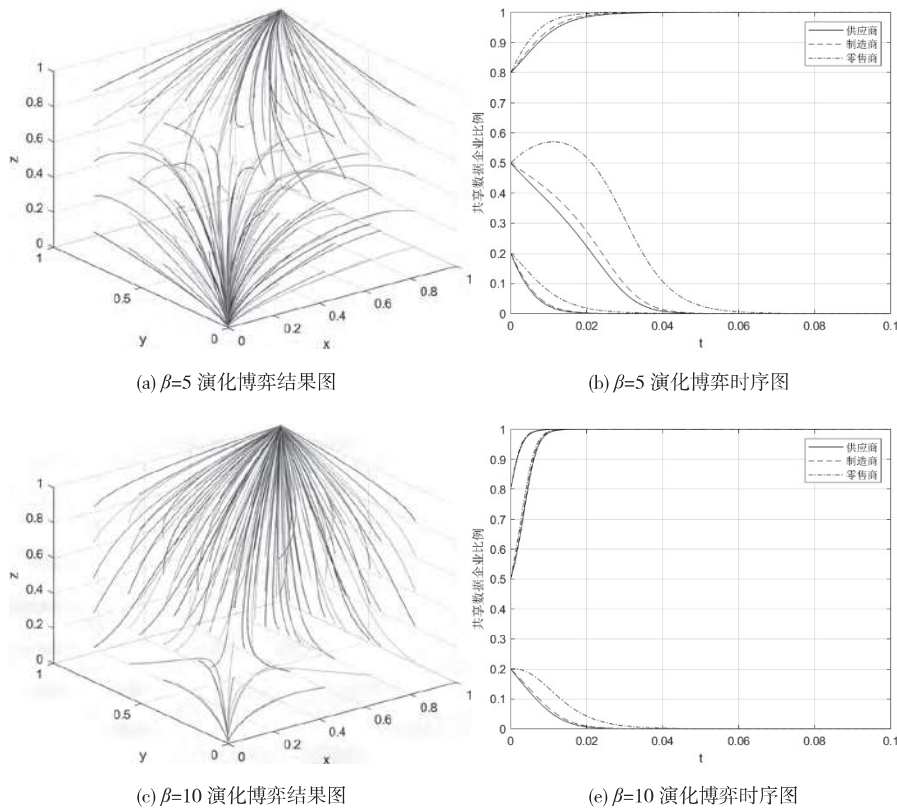


图6 惩罚系数的动态演化图

通过仿真结果能够看出，惩罚系数  $\beta$  同样对均衡结果有很大影响，能够在激励系数  $\alpha$  不高时，亦能实现部分初始状态实现三方共享的理想均衡， $\beta$  系数越大均衡结果为  $E8$  的初值比例越大。但  $\beta$  系数的增大无法实现所有初始状态均走向三方共享的理想均衡，因为该结果的实现必须要求  $\alpha$  系数相对较大，使  $E1$  点的稳定条件不满足。

#### 4.2.3 建设成本与边际成本

过去供应链内各主体通常各自建设自己的数字系统，一方面导致了数据系统建设成本过高，另一

方面也导致了不同主体间数字系统差异化较大，数据标准不统一。而区块链技术通过搭建联盟链，各主体采用同一套标准的数字系统，既保证了数字系统的复用性降低了建设成本，也保证了数据标准的统一，降低数据共享的边际成本。

在建设成本方面，通过区块链技术搭建供应链内各主体可复用的数字系统，能够降低建设成本  $c_i$ 。当模型中的建设成本减小为  $c_x=100$ ,  $c_y=90$ ,  $c_z=25$  时，能够实现部分初始状态实现  $E8$  均衡，其他初始状态实现  $E1$  均衡，如下图 7 所示。

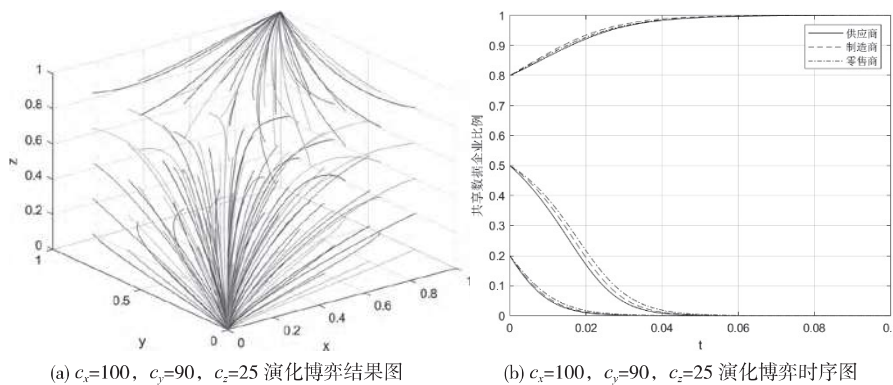


图7 建设成本的动态演化图

区块链技术通过数据标准统一方式能够减小数据共享边际成本，当模型数据共享边际成本  $m$  减小

为 0 时，能够实现少部分初始状态实现  $E8$  均衡，大部分初始状态依然走向不共享结果，如下图 8 所示。

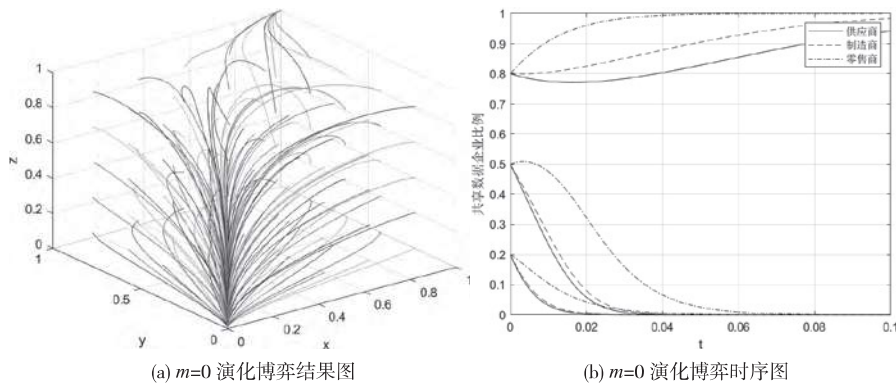


图8 数据共享边际成本的动态演化图

#### 4.2.4 数据共享风险

区块链技术既保证了数据的不可篡改，也防范了数据滥用，降低了数据共享风险系数。当模型中数据共享风险  $s$  减小为 0.5 时，与数据共享边际成本

减小的结果相似，能够实现少部分初始状态实现  $E8$  均衡，大部分初始状态依然走向不共享结果，如下图 9 所示。

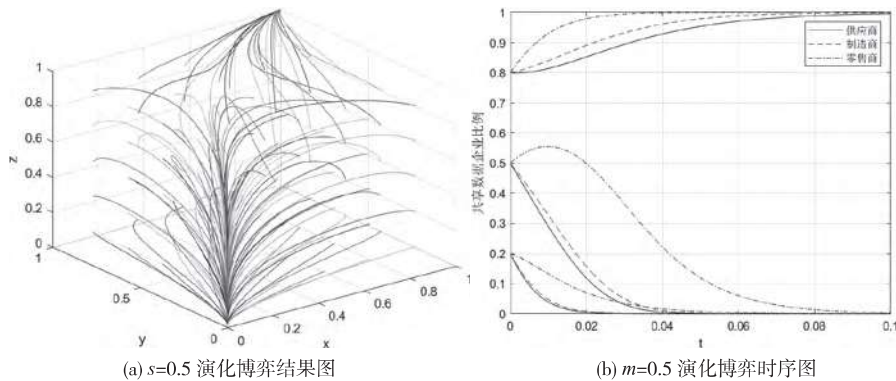


图9 数据共享边际成本的动态演化图

## 5 结论与建议

### 5.1 主要结论

数字经济时代，供应链内部的数据共享有助于各企业更加充分的挖掘数据价值，对于促进供应链高质量发展不可或缺。本文进行了区块链技术如何促进供应链数据共享以及供应链多主体数据共享意愿演化路径的研究，主要得出以下结论：

在区块链技术如何促进供应链数据共享方面，区块链技术可以通过确认数据权属、统一数据标准、降低数据风险和提高惩罚力度四方面来促进数据共享。第一，区块链技术有助于实现数据确权，是设计合理的数据共享激励机制支撑性技术。第二，区块链技术通过确立数据标准，减少了数据系统的重复建立以及数据流通时的转换阻力。第三，区块链通过分布式存储和加密技术，可以降低数据泄露风险。第四，区块链技术的不可篡改特性，增加了对违约企业的惩罚力度。

在供应链多主体数据共享意愿演化路径方面，

首先，合理的数据共享激励机制是提升数据共享意愿的关键措施。对积极共享数据的企业进行合理激励能有效提升供应链企业共享数据的意愿，形成供应链多主体均积极数据共享的理想局面。其次，数据共享惩罚措施是防止企业利用其它企业数据而不积极共享自身数据的重要手段。企业在共享数据的利用中可能存在机会主义行为，合理的惩罚措施能有效防止该类机会主义。最后，数据共享成本和风险的降低是促进数据共享的重要措施。数据系统建设成本、数据共享边际成本和数据风险是数据共享过程的阻碍力量，三者的降低能有效促进数据共享。

### 5.2 理论贡献

本文深化了数据共享领域相关理论。一方面，本文围绕区块链技术对数据共享的促进作用进行了分析和总结，从数据权属、数据标准、数据风险、惩罚机制四个角度解释其影响方式。另一方面，本文基于多主体演化博弈模型探索了供应链企业数据共享意愿的影响因素，得出激励、惩罚、成本、风险等相关因素对供应链多主体数据共享的具体影响。

研究结论丰富和完善了数据共享相关理论，揭示了区块链技术对供应链数据共享的影响方式以及供应链内多主体间数据共享的动态演化过程，为后续研究的继续开展提供了一定的理论基础。

### 5.3 管理建议

为改善供应链数据孤岛问题，提升供应链数据共享水平，本文结合研究结果，提出供应链数据共享“规划—引进—试点—反馈—复制”五步走实施战略，为相关企业提供管理建议。（1）规划：供应链数据共享活动开展起始阶段，供应链核心企业应牵头组建数据共享联盟，共同规划共享的实施方案和顶层设计，为供应链数据共享的顺利开展做好意识准备。核心企业在联盟内率先培养数据共享意识，在重视数据资源的高效共享利用方面形成联盟共识。（2）引进：传统供应链企业以生产制造、运输、零售为主，缺乏专门的数字技术服务企业为供应链提供数字技术支撑服务，导致供应链企业数字系统建设成本高，数据资源利用阻力大。建议共享联盟引进第三方信息服务公司，采用区块链技术搭建数据共享系统，提高系统的可复用性，降低系统建设成本，同时统一数据标准，保证共享数据利用的高效性。（3）试点：选择核心企业间部分关键业务场景，联盟对数据共享系统开展试点应用，主要对系统可用性、权益保护性、抗风险性进行实验，测试数据共享中的明确权属、惩罚机制、数据风险等问题是否完善解决。（4）反馈：联盟根据试点过程中所发现的问题对数据共享系统进行反馈及调整，优化共享机制，促进数据共享的各个主体共享意愿不断提升，逐步形成完善的数据共享系统。（5）复制：经过对系统的试点和反馈后，联盟将成熟完善的数据共享系统向其他中小企业进行复制扩展，降低合作伙伴的系统建设成本，扩大数据共享边界，更大范围的相互共享数据，发挥数据资源的融合价值。

### 5.4 研究局限

本文总结了区块链技术对供应链数据共享的影响，并揭示了供应链多主体数据共享的演化路径，但仍存在一些研究局限。本文采取的演化博弈模型没有考虑供应链企业的连接机制、网络分布等因素，也没有考虑供应链外的数据主体对数据共享因素的影响，这些问题可以结合复杂网络理论在日后研究中深入探讨。

### 参考文献：

- [1] LIANG F, YU W, AN D, et al. A Survey on big data market: pricing, trading and protection [J]. IEEE Access, 2018,6:15132-15154.
- [2] 种法辉,陈丽华,巩天啸. 供应链信息共享研究进展评述: 基于文献计量的分析 [J]. 商业研究, 2015,57(8):171-180.
- [3] 冯华, 聂蕾, 海峰. 信息共享水平与供应链能力的相互作用关系研究: 基于社会控制的中介效应 [J]. 南开管理评论, 2018,21(4):85-92.
- [4] 周茂君, 潘宁. 赋权与重构: 区块链技术对数据孤岛的破解 [J]. 新闻与传播评论, 2018,71(5):58-67.
- [5] WANG L, GUO S. Block chain based data trust sharing mechanism in the supply chain [C] //YANG C, PENG S, JAIN L. Security with Intelligent Computing and Big-Data Services. Cham: Springer, 2020:43-53.
- [6] LEE H L, SO K C, TANG C S, et al. The value of information sharing in a two-level supply chain [J]. Management Science, 2000,46(5):626-643.
- [7] CACHON G P, FISHER M. Supply Chain inventory management and the value of shared information [J]. Management Science, 2000,46(8):1032-1048.
- [8] ZHOU H, BENTON JR W C. Supply Chain practice and information sharing [J]. Journal of Operations Management, 2007,25(6):1348-1365.
- [9] 韩孟孟, 张三峰, 顾晓光. 信息共享能提升企业生产率吗?: 来自中国制造业企业调查数据的证据 [J]. 产业经济研究, 2020,9(1):42-56.
- [10] 王展祥, 魏琳. 信息共享有利于制造业企业的协同创新吗?: 基于中国企业营商环境调查数据的实证分析 [J]. 当代财经, 2019,40(10):95-106.
- [11] DU T C, LAI V S, CHEUNG W, et al. Willingness to share information in a supply chain: a partnership-data-process perspective [J]. Information & Management, 2012,49(2):89-98.
- [12] TRAN T T H, CHILDERHOUSE P, DEAKINS E. Supply Chain information sharing: challenges and risk mitigation strategies [J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2016,27(8):1102-1126.
- [13] 袁旭梅, 张旭. 技术能力对供应链信息共享程度的影响研究 [J]. 工业技术经济, 2016,35(2):3-8.
- [14] LEE H L, WHANG S. Information sharing in a supply Chain [J]. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 2000,1(1):79-93.
- [15] 官子力, 张旭梅, 但斌. 需求不确定下制造商服务投入影响销售的供应链信息共享与激励 [J]. 中国管理科学, 2019,27(10):56-65.
- [16] 卢安文, 刘佳奇. 物流服务供应链信息共享激励策略研究 [J]. 科技管理研究, 2019,39(7):221-225.
- [17] PAN X, MA J, WU C. Decision game of data sharing in supply chain enterprises considering data value over time [J]. The Journal of Supercomputing, 2020,76(5):3659-3672.
- [18] 高峰, 王剑. 基于合作博弈的农业科学数据平台共享管理机制研究 [J]. 技术与创新管理, 2013,34(5):457-460.
- [19] 王娟, 王贇芝, 曹芬芳. 大数据时代政府数据开放共享的博弈分析: 基于不完全信息动态模型 [J]. 情报科学, 2018,36(11):17-22,87.
- [20] WEIBULL. Evolutionary game theory [M]. Massachusetts: MIT Press, 1997.
- [21] 邢海龙, 高长元, 翟丽丽, 等. 大数据联盟成员间数据资源共享动态演化博弈模型研究: 基于共享积极性视角 [J]. 管理评论, 2020,32(8):155-165.
- [22] 魏益华, 陈旭琳, 邹晓峰. 数据共享、企业策略和政府监督激励: 基于演化博弈分析 [J]. 财经科学, 2020,64(4):107-120.
- [23] 张新, 张玉明, 孙永坤. 共享金融模式下信用数据共享的演化博弈分析 [J]. 东北师大学报 (哲学社会科学版),



- 2020,65(2):119-127.
- [ 24 ] HAN G, DONG M. Sustainable regulation of information sharing with electronic data interchange by a trust-embedded contract [ J ] . Sustainability, 2017,9(6):964.
- [ 25 ] STEFANSSON G. Business-to-business data sharing: a source for integration of supply chains [ J ] . International Journal of Production Economics, 2002,75(1/2):135-146.
- [ 26 ] WEN Q, GAO Y, CHEN Z, et al. A block chain-based data sharing scheme in the supply chain by IOT [ C ] //HUEI Y L, JUAN J, KAO S. 2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS). Taipei: IEEE, 2019: 695-700.
- [ 27 ] 谷俊, 许鑫. 人文社科数据共享模型的设计与实现: 以联盟链技术为例 [ J ] . 情报学报, 2019,38(4):354-367.
- [ 28 ] 张楠, 赵雪娇. 理解基于区块链的政府跨部门数据共享: 从协作共识到智能合约 [ J ] . 中国行政管理, 2020,36(1):77-82.
- [ 29 ] 肖炯恩, 吴应良. 基于区块链的政务系统协同创新应用研究 [ J ] . 管理现代化, 2018,38(5):60-65.
- [ 30 ] HOFMAN W J. A methodological approach for development and deployment of data sharing in complex organizational supply and logistics networks with block chain technology [ J ] . IFAC-Papers Online, 2019,52(3):55-60.
- [ 31 ] EPIPHANIOU G, PILLAI P, BOTTARELLI M, et al. Electronic regulation of data sharing and processing using smart ledger technologies for supply-chain security [ J ] . IEEE Transactions on Engineering Management, 2020,67(3):979-979.
- [ 32 ] 陈兵, 顾丹丹. 数字经济下数据共享思路的反思与再造: 以数据类型化考察为视角 [ J ] . 上海财经大学学报, 2020,22(2):122-137.
- [ 33 ] 赵金旭, 孟天广. 技术赋能: 区块链如何重塑治理结构与模式 [ J ] . 当代世界与社会主义, 2019,40(3):187-194.
- [ 34 ] 王海龙, 田有亮, 尹鑫. 基于区块链的大数据确权方案 [ J ] . 计算机科学, 2018,45(2):15-19,24.
- [ 35 ] 程啸. 区块链技术视野下的数据权属问题 [ J ] . 现代法学, 2020,42(2):121-132.
- [ 36 ] 宋远方, 冯绍雯, 宋立丰. 互联网平台大数据收集的困境与新发展路径: 基于区块链理念 [ J ] . 中国流通经济, 2018,32(5):3-11.
- [ 37 ] 刘婵, 谭章祿. 大数据条件下企业数据共享实现方式及选择 [ J ] . 情报杂志, 2016,35(8):169-174.
- [ 38 ] HOVLAND G, KUCERA J. Nonlinear feedback control and stability analysis of a proof-of-work block chain [ J ] . 2017. Modeling, Identification and Control, 2017,38(4):157-168.
- [ 39 ] 宋俊典, 戴炳荣, 蒋丽雯, 等. 基于区块链的数据治理协同方法 [ J ] . 计算机应用, 2018,38(9):2500-2506.
- [ 40 ] 刘盼, 易树平. 私有情报泄露对数据驱动型供应链竞合关系的影响 [ J ] . 情报学报, 2017,36(1):39-48.
- [ 41 ] ANAND K S, GOYAL M. Strategic information management under leakage in a supply chain [ J ] . Management Science, 2009,55(3):438-452.
- [ 42 ] 邓爱民, 李云凤. 基于区块链的供应链“智能保理”业务模式及博弈分析 [ J ] . 管理评论, 2019,31(9):231-240.
- [ 43 ] 郭亮, 王俐. 现代控制理论理论基础 [ M ] . 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013:127-128.

作者简介: 杨学成 (1977—), 男, 山东青岛人, 教授, 博士, 主要研究方向为数字经济、智能经济; 李业勤 (1995—), 通信作者, 男, 山西临汾人, 硕士研究生, 主要研究方向为大数据管理、大数据营销。