

考虑隐私保护的闭环数据供应链 数据产品定价策略研究

摘要

聚焦闭环数据供应链中的数据产品定价难题，以数据供应商、数据服务商与异质终端用户为研究对象，将隐私保护内化为决策变量，构建 Stackelberg 博弈模型，系统比较了统一定价与个性化定价的均衡结果。研究发现，终端用户隐私敏感度通过隐私补偿机制影响其数据供给意愿与供应链决策，而隐私保护投入能有效缓解该效应，且隐私保护效果受其成本系数与数据开发技术水平。同时，存在隐私敏感度临界值，使得低于该值时个性化定价能提升供应链利润，高于该值时统一定价更有利于维护消费者剩余并更具社会福利优势，这为差异化隐私环境下的闭环数据供应链数据产品定价策略提供了理论依据与管理启示。

关键词

闭环数据供应链；数据产品定价；Stackelberg 博弈；隐私保护

中图分类号:F274

文献标志码:A

Research on Data Product Pricing Strategies in a Closed-loop Data Supply Chain Considering Privacy Protection

SONG Peng, DENG Zanmei

1. School of Economics and Management, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

Abstract

Focusing on the pricing problem of data products in a closed-loop data supply chain, taking data suppliers, data service providers and heterogeneous end-users as the research objects. By internalizing privacy protection as a decision variable, a Stackelberg game model was constructed to systematically compare the equilibrium results of uniform pricing and personalized pricing. The study finds that the privacy sensitivity of end-users affects their willingness to supply data and supply chain decisions through a privacy compensation mechanism, while privacy protection investment can effectively alleviate this effect. Moreover, the privacy protection effect is influenced by its cost coefficient and the level of data development technology. Meanwhile, there exists a critical value of privacy sensitivity, below which personalized pricing can increase supply chain profits, and above which uniform pricing is more conducive to maintaining consumer surplus and has a greater social welfare advantage. This study provides a theoretical basis and management implications for the pricing strategy of data products in a closed-loop data supply chain under a differentiated privacy environment.

Key words

closed-loop data supply chain, pricing of data products, Stackelberg game, privacy protection

宋鹏，邓赞梅 山西大学经济与管理学院，山西 太原 030006

0 引言

随着全球加速迈入数字经济时代，数据已成为驱动经济社会进步的核心战略资源与新型生产要素。2020年4月，中共中央国务院在《关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》中首次将数据明确列为继劳动力、土地、资本、技术之后的第五大生产要素，加快构建数据要素市场化配置机制，培育发展数据交易市场就成了全社会高度关注的话题^[1]。据IDC数据显示，全球数据总量于2028年达到384.6ZB，较2024年增加一倍以上。《经济学人》指出，数据已取代石油成为新时代最具价值的核心资源^[2]。在此背景下，数据市场应运而生，并逐步形成涵盖数据收集、加工、交易与应用的数据供应链体系，对于释放数据要素潜能、促进数字产业化和产业数字化具有基础性作用^[3]。

数据作为数字经济的新型生产要素和创新动力源泉，其价值日益凸显^[4]。当前，数据的价值已经超越了传统认知的边界，成为驱动商业决策、优化运营流程、创新产品服务的关键要素。我国拥有丰富的数据资源，为数据交易市场的发展提供了天然禀赋^[5]。然而，海量数据的价值并非与生俱来，而是需要通过系统性的加工和处理才能得以释放^[6]。在此背景下，数据供应链的兴起不仅标志着数据管理进入一个全新的阶段，更是企业转型升级、重塑竞争优势的重要抓手。新兴的数据供应链作为一种商业模式，借鉴了传统供应链的思想，将数据从产生到应用的整个过程视为一个链条，为理解和优化数据价值的实现

过程提供了全新的视角^[7]。数据供应链主要由三类参与者构成：（1）数据供应商，负责数据收集、整合、存储与供给；（2）数据服务商，对原始数据进行加工与开发，形成增值后的数据产品或服务；（3）终端用户，通过购买并使用数据产品来辅助业务决策^[8]。对于数据产品的定价策略研究，本文认为终端用户作为原始数据的提供者，将原始数据提供给数据供应商；数据供应商对原始数据进行脱敏处理后，将可交易数据销售给数据服务商，数据服务商经过加工开发成一种数据产品，并销售给终端用户，从而构成一个完整的闭环数据供应链。

随着数据及数据产品交易的不断发展，考虑到数据的非竞争性、网络外部性、价值不确定性、场景依赖性等特性^[9]，传统的定价方法难以适用，使得大数据背景下数据交易策略的设定、数据资产价值的计量和定价方法已成为数据市场可持续发展的瓶颈。此外，数据产品的规模和质量是衡量其价值的两个核心维度。一方面，质量直接反映了数据在采集与处理过程中所投入的成本，也是影响用户支付意愿和决策效果的关键因素^[10]。另一方面，数据量的增加不仅增加了交易行为的发生，同时也优化了数据交易参与者的预测和决策；但数据量并不总是越多越好^[11]，例如，谷歌仅使用其0.1%的数据的子样本来授权其决策支持系统^[12]。科学合理的数据产品定价策略是数据市场参与者之间公平交易的重要前提，也是更好地释放数据资源的潜力和维护数据市场发展的基础。

目前，数据定价相关研究主要聚焦于数据供应商与数据服务商或终端用户之间的两方直接交易场景，而针对完整的数据供应链，特别是闭环数据供应链的数据定价问题，尚缺乏系统性探讨^[8]。传统闭环

供应链理论中，集中定价、分散定价、收益共享、差异性定价等方法^[13]为数据产品定价策略研究奠定了重要基础。然而，数据产品因其非竞争性、非排他性及价值评估的高度不确定性等特殊属性，在数据供应链中的交易模式与传统供应链存在显著差异，使得既有的定价模型无法直接应用于数据供应链的数据产品定价策略研究中。

此外，数据交易和数据产品个性化定价也引发了消费者对隐私风险的担忧。虽然个人信息的商业化利用释放了巨大的经济价值，但其对自身感知数据被收集、分析、共享乃至潜在滥用的担忧日益加剧，这不仅影响了消费者福利，也会反作用于数据市场的供需结构。为缓解消费者隐私敏感性并促成数据交易，企业逐步将隐私保护纳入运营决策，并通过差分隐私、区块链等技术投入降低数据泄露与滥用风险，从而促进数据交易达成率。

基于此，本文构建了包含单个数据供应商、单个数据服务商与多个异质终端用户的闭环数据供应链模型，结合Stackelberg博弈方法，拟解决以下核心问题：（1）终端用户的隐私敏感度如何影响其数据供给意愿，进而影响数据供应商与数据服务商的决策行为？（2）数据供应商的隐私保护投入是否能够缓解终端用户的隐私敏感性带来的负面效应，其隐私保护投入与效率受到哪些因素的制约？（3）在统一定价与个性化定价策略下，数据供应商应如何制定最优数据批发价和隐私保护努力水平，以及数据服务商应如何确定最优数据规模和数据产品最优销售价格，以实现各自利润最大化？

本文的边际贡献包括：（1）本文通过构建闭环数据供应链博弈模型，将终端用户同时作为数据供给者与数据产品消费者的双重角色纳入分析框架，突破了既有研

究将数据供给与数据产品消费割裂的局限性，并揭示了闭环数据供应链的数据产品定价机制。（2）在闭环数据供应链博弈框架下，将数据供应商的隐私保护努力内化为核心决策变量，揭示了其隐私保护投入的机制作用，并通过比较统一定价与个性化定价策略下的最优决策、消费者福利及社会福利，为理解隐私保护对不同定价策略下的供应链均衡影响提供了理论依据。

1 文献综述

1.1 闭环数据供应链

数据市场作为数字经济发展的核心支撑，其高效配置与流通是释放数据价值动能的关键驱动力。SPIEKERMANN等认为，数据要素交易市场中的参与者可分为三类：数据提供方、数据需求方，以及第三方服务商与交易中介^[14]。随着数据要素市场化进程的加快推进，数据定价机制问题已成为学界与业界共同关注的焦点。在构建数据定价模型的过程中，已有研究以市场主体交互模式为划分依据，将数据要素市场划分为单边市场、集中式双边市场和分散式双边市场三种类型^[15]。以往研究为了简化模型，一般假设数据市场为单边市场，来构建只有一个买家或卖家时的定价模型。另外一些学者则从经济学角度对数据市场进行划分，李雪梅等依据市场参与者规模、产品同质化程度和信息完备性等维度，将数据市场结构划分为完全竞争市场、垄断市场、寡头垄断市场与垄断竞争市场四种类型^[16]。

不同于传统供应链，数据供应链则将数据从采集到应用的全流程视为价值增值链条，其核心参与方包括数据提供商、产品开发商和产品消费者^[17]，其中产品开发

商从数据供应商处获取原始数据，经数据分析与加工处理，向产品消费者提供数据服务。该新兴商业模式正逐步演变为驱动数据交易发展的重要引擎。当前，已有学者针对数据交易和数据供应链开展了相关研究，博弈论已成为数据定价研究的重要方法，尤其是 Stackelberg 博弈^[18]和讨价还价博弈^[19]。凌帅等针对一个由数据供应商、数据交易平台和数据买方组成的三级数据供应链系统，分析了微分博弈模型下的数据供应链三方最优决策，并验证了信任对于数据供应链交易策略的重要性^[20]。扈文秀等构建了由数据产品制造商和数据产品服务商构成的两级数据供应链，并将数据产品价值不确定性纳入博弈模型，探讨了不同权力结构下数据供应链参与者的最优决策，并进行灵敏度分析验证^[21]。

1.2 数据产品

数据产品是数据资源经商品化形成的产品或服务，是数据价值化与资产化的实现载体，也是数据要素市场的核心交易标的^[22]。数据产品具有不同于一般信息产品的特点：首先，数据是非竞争性的，其复制与分割的边际成本近乎为零^[23]；其次，数据的价值高度依赖于买家的异质性特征，不同的使用场景导致市场需求差异化，这直接影响了数据产品的定价与盈利能力^[24]。数据价值的实现依托于具体应用与交易场景，不同行业场景下数据产品的属性、功能、价值及适用的度量方法各有不同，进而影响定价策略。对此，杨玉颖等进一步提出基于场景定价的双路径，即业务应用场景的“场景化”定价与交易场景的机制设计^[25]。现有的数据产品定价方法主要借鉴传统会计估值法理论框架，采用成本法^[26]、收益法^[27]和市场法^[28]等基础方

法进行理论层面的定价分析。此外，部分学者采用如基于信息熵的定价^[29]、基于博弈论的定价^[30]、基于机器学习的定价^[31]和基于数据质量的定价^[32]等定价方法来研究数据产品或服务的定价问题。

数据质量是影响数据价值评估与定价的核心要素。为量化数据质量，BATINI 等构建了涵盖一致性、准确性、完整性、实时性的四维评价体系，为数据质量的量化奠定了方法论基础^[33]。王今朝等分别从数据供方追求公共福利与个体利润的不同角度，着重探讨了企业的内部数据应用能力与外部数据质量对不同定价策略的调节作用^[34]。为此，有必要在闭环数据供应链框架下，将数据质量纳入数据产品定价策略，对数据产品的科学定价及数据供应链的高效运作有重要参考价值^[35]。

1.3 隐私保护

随着数据要素市场化进程的深入推进，不同主体在跨领域协作中的隐私安全问题日益凸显。具体而言，个人身份、健康状况等敏感信息，常因过度采集或第三方滥用等技术管理缺陷而泄露，这不仅可能导致身份信息盗用，甚至会引发公共信任危机等一系列负外部性问题^[36]。因而，数据隐私保护成为一个极其重要的问题。

数据隐私保护是针对数据收集、处理、分析与存储的全生命周期，综合运用多元策略与技术手段，以防范隐私泄露、算法滥用等风险的系统性机制^[37]。当前，数据匿名^[38]和差分隐私^[39]已成为两种主要的数据隐私保护方法。早期已有学者从经济学视角切入，围绕个人隐私保护与外部性问题进行探讨，系统分析了隐私开放带来的影响，并指出隐私的保护或开放将带来额外收益与潜在成本。ZENG 等以隐私收益

与隐私成本为核心，刻画消费者隐私价值的异质性，具体表现为不同学历、收入水平的消费者对隐私的估值不同，并进一步探讨了该异质性对服务提供商定价策略的影响^[40]。李三希等通过构建差异化双寡头模型，分别在寡头竞争与垄断市场结构下研究企业的信息收集强度和隐私保护投资水平，并发现在两类市场情境中，竞争显著抑制企业的信息收集强度，并同时提升其隐私保护投资水平^[41]。綦勇等基于传统 Hotelling 模型，在水平差异化市场结构下考虑具有不同数据利用能力厂商的价格竞争，探讨不同隐私保护政策下厂商的最优定价决策及其对社会福利的影响^[42]。

已有文献围绕数据要素市场化、数据产品定价及隐私保护等相关问题进行了大量探讨，多数研究聚焦于两方直接交易，但是对于终端用户同时作为数据提供方与数据产品购买方的闭环数据供应链的数据产品定价策略问题研究较少；其次，既有研究通常将隐私保护视为外生变量或固定成本，未能将其作为供应链参与方的内生决策变量纳入博弈模型，难以深入分析隐私保护投入的激励机制及隐私保护成本系数与开发技术水平的内在制约。此外，在策略比较上，传统闭环供应链定价策略难以直接应用于数据产品，且缺乏在闭环框架下对统一定价与个性化定价策略的系统比较，使得不同定价策略下各参与方的最优决策、消费者福利与社会福利的差异缺乏明确理论依据。鉴于此，本文基于数据的自身价值及其特性，通过构建包含数据供应商、数据服务商与异质终端用户的闭环数据供应链 Stackelberg 博弈模型，将隐私保护努力内生化的系统比较统一定价与个性化定价策略下各参与方的最优决策、消费者福利和社会福利，为理解隐私规制如何影响不同定价策略下的供应链均衡提

供了明确的理论依据。

2 模型构建

2.1 问题描述

本文假设一个数据市场，该数据市场中只包含单个数据供应商 DP、单个数据服务商 SP 和多个异质性终端用户 EU^[8]。该闭环数据供应链结构如图 1 所示：

整个交易过程可以分为数据采集、数据交易和数据产品交易三个阶段，具体表现为：数据供应商 DP 以其隐私保护努力水平 e_1 向终端用户 EU 支付激励补偿 m 以获取原始数据，并对原始数据进行脱敏处理，生成可交易数据后，按批发价 w 出售给数据服务商 SP；数据服务商 SP 运用自身或外部技术资源，将可交易数据进行加工开发成一种质量为 q 的数据产品，并销售给终端用户 EU。

为了更加清晰地说明考虑隐私保护的闭环数据供应链数据产品定价策略研究，首先对本文的相关符号进行定义，如表 1 所示。

2.2 基本假设

在整个数据交易过程中，假设满足以下条件：

假设 1：终端用户 EU 对同一数据产品的购买意愿存在显著的异质性。参考文献^[10]，用 θ 表示不同终端用户的类型，来体现其支付意愿， θ 服从 $[0,1]$ 均匀分布，且每个终端用户 EU 的决策是相互独立的。

假设 2：数据服务商 SP 的数据产品开发成本 c_1 是关于数据规模 n 的二次函数，可表示为： $c_1 = \frac{1}{2}an^2$ ，其中 a 为其开发努

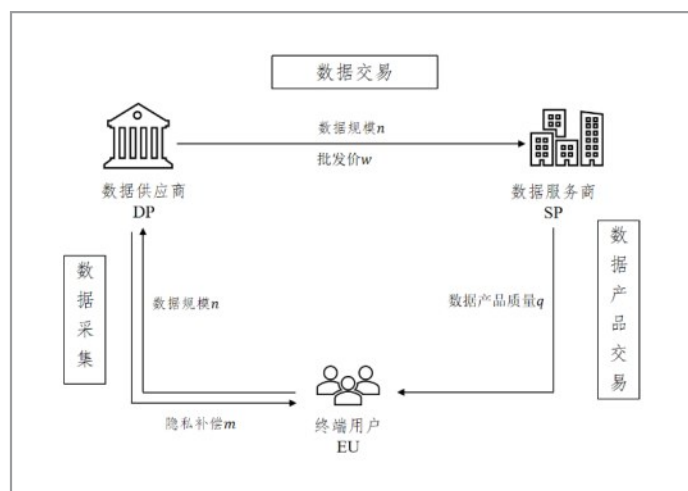


图1 闭环数据供应链结构示意图

Fig.1 Schematic Diagram of the Closed-loop Data Supply Chain Structure

表1 符号定义与说明

Tab.1 Symbol Definition and Explanation

符号	定义
w^i	DP 向 SP 出售原始数据的批发价格
n^i	原始数据规模
m^i	DP 向 EU 提供的单位数据供给补偿
θ	EU 的类型, $\theta \in [0, 1]$
c	DP 的单位处理成本
c_1	SP 的数据产品开发成本
c_2^i	DP 的隐私保护成本
e_1^i	DP 的隐私保护努力水平
α	开发努力成本系数
β	数据产品开发技术水平

Continued Tab.1 Symbol Definition and Explanation

符号	定义
λ	EU的隐私敏感度
γ_1	DP的隐私保护成本系数
Π_{DP}^i	DP的利润函数
Π_{SP}^i	SP的利润函数
CS^i	消费者剩余
SW^i	社会总福利

$i \in \{UP, PP\}$, UP 表示统一定价策略, PP 表示个性化定价策略。

力成本系数，即在数据产品开发中，随着数据规模越大，数据服务商SP所需付出的开发成本越多。

假设3: 数据产品质量 q 与数据规模 n 和数据产品开发技术水平 β 之间存在正相关关系, 即数据规模 n 越大, 数据产品开发技术水平 β 越高, 数据产品质量 q 就越高。本文沿用文献^[43]等的方法, 定义 $q = \beta n$, 从而描述数据产品质量。

假设4: 终端用户EU对自身数据具有敏感性, 本文通过参考文献^[44]引入参数 λ 表示其隐私敏感度, 且 $0 \leq \lambda \leq 1$ 。其中 $\lambda = 0$ 表示EU完全不关注隐私(完全愿意披露个人信息), $\lambda = 1$ 表示EU极度关注隐私(拒绝披露任何敏感信息)。一般而言, λ 越大, 表示终端用户EU对隐私越敏感, 提供数据和购买数据产品时需要的补偿越多。

假设5:数据供应商为激励终端用户EU提供原始数据,需支付单位补偿 m 。一般隐私保护努力水平 e_1 越高,终端用户EU感知的隐私风险越低,补偿越少,其关系式可表示为: $m=\lambda(1-e_1)$ 。

假设6: 为降低终端用户 EU 的隐私损

失，数据供应商 DP 需投入资源（如脱敏、加密服务等）进行隐私保护。参考文献^[45]，假设 DP 的隐私保护成本 c_2 是关于隐私保护成本系数 γ_1 和隐私保护努力水平 e_1 的二次函数，可表示为： $c_2 = \frac{1}{2}\gamma_1 e_1^2$ 。

3 模型求解与分析

3.1 统一定价策略

3.1.1 交易过程

1. 数据供应商（DP）

数据供应商 DP 从终端用户 EU 处收集规模为 n^{UP} 的原始数据，并对原始数据进行脱敏处理后，以批发价 w^{UP} 将可交易数据销售给数据服务商 SP。在此交易过程中，数据供应商 DP 的利润函数为：

$$\Pi_{DP}^{UP} = (w^{UP} - c)n^{UP} - m^{UP}n^{UP} - \frac{1}{2}\gamma_1(e_1^{UP})^2 \quad (1)$$

2. 终端用户（EU）

终端用户 EU 作为数据产品购买者，

其购买数据产品的效用可表示为：

$$U^{UP} = \theta q^{UP} - p^{UP}$$

其中， θq^{UP} 为类型 θ 的终端用户 EU 对数据产品的估值。当且仅当 $U^{UP} \geq 0$ 时，终端用户 EU 才会选择购买数据产品。此时，终端用户 EU 的需求函数为：

$$D^{UP} = \int_{\frac{p^{UP}}{\beta n}}^1 f(\theta) d\theta = 1 - \frac{p^{UP}}{\beta n^{UP}}$$

3. 数据服务商（SP）

数据服务商 SP 从数据供应商 DP 处购买可交易数据后，运用自身或外部技术资源，对数据进行加工处理，开发出一种数据产品并销售给终端用户 EU。在该过程中，数据服务商 SP 的利润函数为：

$$\Pi_{SP}^{UP} = p^{UP} \left(1 - \frac{p^{UP}}{\beta n^{UP}} \right) - w^{UP} n^{UP} - \frac{1}{2}\alpha(n^{UP})^2 \quad (2)$$

3.1.2 博弈顺序

在统一定价策略下，该闭环数据供应链的数据交易博弈顺序如图 2 所示：

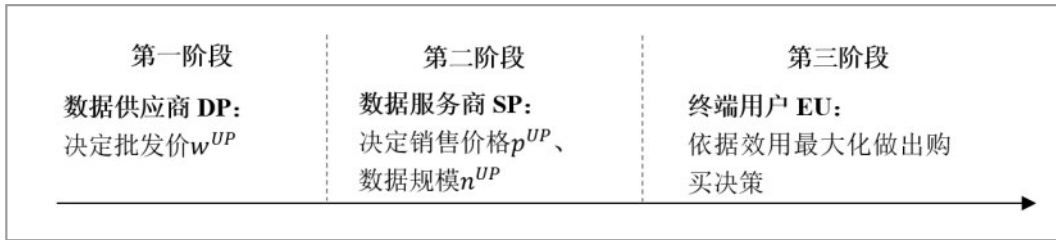


图 2 统一定价策略下的博弈顺序

Fig.2 Game Sequence Under Unified Pricing Strategy

阶段一：数据供应商 DP 确定其隐私保护努力水平 e_1^{UP} ，并向终端用户 EU 支付单位数据隐私补偿 m^{UP} 以获取原始数据，再对数据进行脱敏处理，并以批发价 w^{UP} 向

数据服务商 SP 销售可交易数据。

阶段二：数据服务商 SP 根据批发价 w^{UP} 决定其向数据供应商 DP 购买的数据规模 n^{UP} ，并对所有终端用户 EU 制定统一的

数据产品销售价格 p^{UP} 。

阶段三：终端用户 EU 依据效用最大化原则做出数据产品购买决策。

3.1.3 博弈均衡分析

首先，数据供应商 DP 从终端用户 EU 处收集原始数据；其次，数据供应商 DP 对原始数据进行脱敏处理后销售给数据服务商 SP，并决策批发价 w^{UP} 和隐私保护努力水平 e_1^{UP} ；最后，数据服务商 SP 从数据供应商 DP 处购买数据，并向终端用户 EU 销售数据产品，并决策数据产品价格 p^{UP} 和数据规模 n^{UP} 。该模型可表示为：

$$\begin{aligned} \max \Pi_{DP}^{UP} &= (w^{UP} - c)n^{UP} - m^{UP}n^{UP} - \frac{1}{2}\gamma_1(e_1^{UP})^2 \\ \text{st.} \quad &\max \left\{ \Pi_{SP}^{UP} = p^{UP} \left(1 - \frac{p^{UP}}{\beta n^{UP}} \right) - \right. \\ &\left. w^{UP}n^{UP} - \frac{1}{2}\alpha(n^{UP})^2 \right\} \end{aligned}$$

根据 Stackelberg 博弈顺序，并结合逆向归纳法求解该模型的均衡结果。当数据服务商采用统一定价策略时，最优批发价 w^{UP*} 、隐私保护努力水平 e_1^{UP*} 、数据规模 n^{UP*} 、数据产品销售价格 p^{UP*} 分别为：

$$w^{UP*} = \frac{c}{2} + \frac{\beta}{8} + \frac{\lambda}{2} \left[1 - \frac{\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2} (\beta - 4c - 4\lambda) \right] \quad (3)$$

$$e_1^{UP*} = \frac{\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2} (\beta - 4c - 4\lambda) \quad (4)$$

$$n^{UP*} = \frac{1}{8\alpha} (\beta - 4c) - \frac{\lambda}{2\alpha} \left[1 - \frac{\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2} (\beta - 4c - 4\lambda) \right] \quad (5)$$

$$p^{UP*} = \frac{\beta}{16\alpha} (\beta - 4c) - \frac{\lambda\beta}{4\alpha} \left[1 - \frac{\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2} (\beta - 4c - 4\lambda) \right] \quad (6)$$

此时，数据供应商 DP 的最大利润 Π_{DP}^{UP*} 、数据服务商 SP 的最大利润 Π_{SP}^{UP*} 分别为：

$$\Pi_{DP}^{UP*} = \frac{\gamma_1}{8(8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2)} (\beta - 4c - 4\lambda)^2 \quad (7)$$

$$\Pi_{SP}^{UP*} = \frac{(\beta - 4c - 4\lambda)\gamma_1}{4(8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2)} \left[\beta - \frac{2(2 + \alpha)\gamma_1}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2} (\beta - 4c - 4\lambda) \right] \quad (8)$$

综上可得，消费者剩余 CS^{UP*} 为：

$$\begin{aligned} CS^{UP*} &= \int_{\frac{1}{2}}^1 (\theta\beta n^{UP} - p^{UP}) d\theta + m^{UP}n^{UP} = \lambda + \\ &\frac{\beta - 4c - 4\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2} \left(\frac{\beta\gamma_1}{8} - \lambda^2 \right) \end{aligned} \quad (9)$$

社会福利为 SW^{UP*} ：

$$\begin{aligned} SW^{UP*} &= \Pi_{DP}^{UP*} + \Pi_{SP}^{UP*} + CS^{UP*} \\ &= \lambda + \frac{\beta - 4c - 4\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2} \left(\frac{3\beta\gamma_1}{8} - \lambda^2 \right) + \\ &\frac{(\beta - 4c - 4\lambda)^2\gamma_1}{2(8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2)} [\gamma_1(\alpha - 2) - \lambda^2] \end{aligned} \quad (10)$$

3.2 个性化定价策略

在统一定价策略的基础上，本节进一步研究数据服务商 SP 能够根据终端用户 EU 的支付意愿进行个性化定价的情形。本节将构建并求解个性化定价策略下的 Stackelberg 博弈模型，分析数据供应链各参与者的最优决策、消费者剩余和社会福利。

3.2.1 交易过程

1. 数据供应商 (DP)

数据供应商 DP 从终端用户 EU 处收集规模为 n^{PP} 的原始数据，并对原始数据进行脱敏处理后，以批发价格 w^{PP} 销售给数据服务商 SP。在此交易过程中，数据供应商 DP 的利润函数为：

$$\Pi_{DP}^{PP} = (w^{PP} - c)n^{PP} - m^{PP}n^{PP} - \frac{1}{2}\gamma_1(e_1^{PP})^2 \quad (11)$$

2. 终端用户 (EU)

假设数据服务商 SP 能够准确识别每个终端用户 EU 的类型 θ ，并实施差异化定价。此时，终端用户 EU 作为数据产品购买者，其购买数据产品的效用可表示为：

$$U^{PP} = \theta q^{PP} - p(\theta)^{PP}$$

此时，终端用户 EU 全部购买数据产品，即市场需求量 $D^{PP} = 1$ 。

3. 数据服务商 (SP)

数据服务商 SP 从数据供应商 DP 处购买可交易数据后，运用自身或外部技术资源，对数据进行加工处理，开发出一种数据产品并销售给终端用户 EU。在该过程中，数据服务商 SP 的利润函数为：

$$\Pi_{SP}^{PP} = \int_0^1 p(\theta)d\theta - w^{PP}n^{PP} - \frac{1}{2}\alpha(n^{PP})^2 \quad (12)$$

3.2.2 博弈顺序

在个性化定价策略下，该闭环数据供应链的数据交易博弈顺序如图 3 所示：

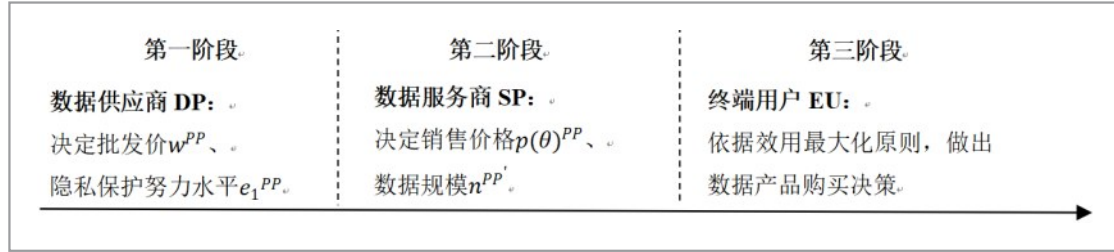


图3 个性化定价策略下的博弈顺序

Fig.3 Game Sequence Under Personalized Pricing Strategies

阶段一：数据供应商 DP 确定其隐私保护努力水平 e_1^{PP} ，并向终端用户 EU 支付单位数据隐私补偿 m^{PP} 以获取原始数据，再对数据进行脱敏处理，并以批发价 w^{PP} 向数据服务商 SP 销售可交易数据。

阶段二：数据服务商 SP 根据批发价 w^{PP} 决定其向数据供应商 DP 采购的数据规模 n^{PP} ，并对终端用户 EU 实施个性化定价，且数据产品销售价格为 $p(\theta)^{PP}$ 。

阶段三：终端用户 EU 依据效用最大化原则做出数据产品购买选择。

3.2.3 博弈均衡分析

首先，数据供应商 DP 从终端用户 EU 处收集原始数据；其次，数据供应商 DP 对原始数据进行脱敏处理后销售给数据服务商 SP，并决策批发价 w^{PP} 和隐私保护努力水平 e_1^{PP} ；最后，数据服务商 SP 从数据供应商 DP 处购买数据，并向终端用户 EU 以差异化价格销售数据产品，并决策数据产品价格 $p(\theta)^{PP}$ 和数据规模 n^{PP} 。该模型可表示为：

$$\max \Pi_{DP}^{PP} = (w^{PP} - c)n^{PP} - m^{PP}n^{PP} - \frac{1}{2}\gamma_1(e_1^{PP})^2$$

$$\text{st.} \quad \max \left\{ \Pi_{SP}^{PP} = \frac{\beta n^{PP}}{2} - w^{PP} n^{PP} - \frac{1}{2} \alpha (n^{PP})^2 \right\}$$

根据 Stackelberg 博弈顺序, 并结合逆向归纳法求解该模型的均衡结果。当数据服务商采用个性化定价策略时, 最优批发价 w^{PP*} 、隐私保护努力水平 w^{PP*} 、数据规模 n^{PP*} 、数据产品销售价格 $p(\theta)^{PP*}$ 分别为:

$$w^{PP*} = \frac{c}{2} + \frac{\beta}{4} + \frac{\lambda}{2} \left[1 - \frac{\lambda}{4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2} (\beta - 2c - 2\lambda) \right] \quad (13)$$

$$e_1^{PP*} = \frac{\lambda}{4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2} (\beta - 2c - 2\lambda) \quad (14)$$

$$n^{PP*} = \frac{1}{4\alpha} (\beta - 2c) - \frac{\lambda}{2\alpha} \left[1 - \frac{\lambda}{4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2} (\beta - 2c - 2\lambda) \right] \quad (15)$$

$$p(\theta)^{PP*} = \theta \beta \left[\frac{1}{4\alpha} (\beta - 2c) - \frac{\lambda}{2\alpha} \left(\frac{1}{4\alpha} (\beta - 2c) - \frac{\lambda}{2\alpha} \right) \right] \quad (16)$$

此时, 数据供应商 DP 的最大利润 Π_{DP}^{PP*} 、数据服务商 SP 的最大利润 Π_{SP}^{PP*} 分别为:

$$\Pi_{DP}^{PP*} = \frac{(\beta - 2c - 2\lambda)^2 \gamma_1}{4(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)} + \frac{\lambda\beta}{4\alpha} - \frac{(\beta - 2c - 2\lambda)\lambda^2 \beta}{4\alpha(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)} \quad (17)$$

$$\Pi_{SP}^{PP*} = \frac{(\beta - 2c - 2\lambda)^2 \gamma_1^2 \alpha}{2(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)} \quad (18)$$

综上可得, 消费者剩余 CS^{PP*} 为:

$$CS^{PP*} = m^{PP} n^{PP} = \frac{(\beta - 2c - 2\lambda)\lambda\gamma_1}{4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2} (4\alpha\gamma_1 - \lambda\beta^2 + 2c\lambda) \quad (19)$$

社会福利 SW^{PP*} 为:

$$\begin{aligned} SW^{PP*} &= \Pi_{DP}^{PP*} + \Pi_{SP}^{PP*} + CS^{PP*} \\ &= \frac{\lambda\beta}{4\alpha} + \frac{\beta - 2c - 2\lambda}{4(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)} \left[\gamma_1 (\beta - 2c - 2\lambda) - \frac{\lambda^2 \beta}{\alpha} \right] + \\ &\quad \frac{(\beta - 2c - 2\lambda)^2 \gamma_1}{(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)^2} \left(\frac{\alpha\gamma_1}{2} - \lambda^2 \right) \end{aligned} \quad (20)$$

3.3 均衡结果比较分析

本研究构建了统一定价、个性化定价策略下的闭环数据供应链 Stackelberg 博弈模型, 并求解得到相应的均衡结果。本节旨在对上述均衡结果进行比较静态分析, 揭示数据供应商 DP 隐私保护在不同定价策略下对数据供应商和数据服务商的最优决策、消费者剩余及社会福利的影响, 从而为数据产品定价策略的选择提供理论依据。

为更清晰呈现, 本文汇总了统一定价、个性化定价策略下各关键决策变量与相关分析指标的均衡结果, 如表 2 所示:

基于表 2 均衡结果, 可以得到如下命题, 以揭示不同定价策略的内在逻辑与影响。

命题 1 在相同的参数 (β 、 α 、 c 、 γ_1 、 λ) 下, 数据供应商的最优隐私保护努力水平 e_1^* 满足:

$$e_1^{PP*} > e_1^{UP*}$$

其中, e_1^{PP*} 、 e_1^{UP*} 分别表示个性化定价、统一定价策略下的最优隐私保护努力水平。

证明: 由于 $e_1^{PP*} - e_1^{UP*} = \frac{\lambda\beta}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2} > 0$, 即证 $e_1^{PP*} > e_1^{UP*}$

该命题表明, 在个性化定价策略下, 数据服务商 SP 能够完全识别终端用户 EU 的类型并实施一级价格歧视, 从而最大化数据产品的价值创造。数据价值的提升增

表2 同定价策略均衡结果比较

Tab.1 Comparison of Balanced Results of Different Pricing Strategies

变量	统一定价策略	个性化定价策略
隐私保护努力 e_1^*	$\frac{\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2}(\beta - 4c - 4\lambda)$	$\frac{\lambda}{4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2}(\beta - 2c - 2\lambda)$
批发价 w^*	$\frac{c}{2} + \frac{\beta}{8} + \frac{\lambda}{2} [1 - \frac{\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2}(\beta - 4c - 4\lambda)]$	$\frac{c}{2} + \frac{\beta}{4} + \frac{\lambda}{2} [1 - \frac{\lambda}{4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2}(\beta - 2c - 2\lambda)]$
数据规模 n^*	$\frac{1}{8\alpha}(\beta - 4c) - \frac{\lambda}{2\alpha}$ $[1 - \frac{\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2}(\beta - 4c - 4\lambda)]$	$\frac{1}{4\alpha}(\beta - 2c) - \frac{\lambda}{2\alpha}$ $[1 - \frac{\lambda}{4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2}(\beta - 2c - 2\lambda)]$

Continued Tab.1 Comparison of Balanced Results of Different Pricing Strategies

变量	统一定价策略	个性化定价策略
数据 产品 销售 价格 p^* 或 $p(\theta)^*$	$\frac{\beta}{16\alpha}(\beta - 4c) - \frac{\lambda\beta}{4\alpha}$ $[1 - \frac{\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2}(\beta - 4c - 4\lambda)]$	$\theta\beta[\frac{1}{4\alpha}(\beta - 2c) - \frac{\lambda}{2\alpha}(\frac{1}{4\alpha}(\beta - 2c) - \frac{\lambda}{2\alpha})]$
DP 利润 Π_{DP}^*	$\frac{\gamma_1}{8(8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2)}(\beta - 4c - 4\lambda)^2$	$\frac{(\beta - 2c - 2\lambda)^2\gamma_1}{4(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)} + \frac{\lambda\beta}{4\alpha} - \frac{(\beta - 2c - 2\lambda)\lambda^2\beta}{4\alpha(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)}$
SP 利润 Π_{SP}^*	$\frac{(\beta - 4c - 4\lambda)\gamma_1}{4(8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2)}$ $[\beta - \frac{2(2 + \alpha)\gamma_1}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2}(\beta - 4c - 4\lambda)]$	$\frac{(\beta - 2c - 2\lambda)^2\gamma_1^2\alpha}{2(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)}$
消费 者剩 余 CS^*	$\lambda + \frac{\beta - 4c - 4\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2}(\frac{\beta\gamma_1}{8} - \lambda^2)$	$\frac{(\beta - 2c - 2\lambda)\lambda\gamma_1}{4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2}(4\alpha\gamma_1 - \lambda\beta^2 + 2c\lambda)$
社会 福利 SW^*	$\lambda + \frac{\beta - 4c - 4\lambda}{8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2}(\frac{3\beta\gamma_1}{8} - \lambda^2) + \frac{(\beta - 4c - 4\lambda)^2\gamma_1}{2(8\alpha\gamma_1 - 4\lambda^2)}[\gamma_1(\alpha - 2) - \lambda^2]$	$\frac{\lambda\beta}{4\alpha} + \frac{\beta - 2c - 2\lambda}{4(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)}$ $[\gamma_1(\beta - 2c - 2\lambda) - \frac{\lambda^2\beta}{\alpha}] + \frac{(\beta - 2c - 2\lambda)^2\gamma_1}{(4\alpha\gamma_1 - 2\lambda^2)^2}(\frac{\alpha\gamma_1}{2} - \lambda^2)$

加了数据供应商 DP 的边际收益，激励其投入更多资源进行隐私保护以降低数据获取的单位补偿成本；统一定价策略下，数据价值实现程度最低，数据供应商 DP 的隐私保护投入动机最弱。因此，在数据要

素市场化进程中，鼓励数据产品创新和精准定价不仅能够提升数据利用效率，还能通过市场机制激励数据供应商加强隐私保护。相反，若强制实行单一、僵化的定价模式，可能削弱数据供应商投入隐私保护

技术的经济动机,反而不利于数据安全与隐私保护努力水平的提升。

命题2 在相同的参数 (β 、 α 、 c 、 γ_1 、 λ) 下,最优数据规模 n^* 满足:

$$n^{PP*} > n^{UP*}$$

其中, n^{PP*} 、 n^{UP*} 分别表示个性化定价、统一定价策略下的最优数据规模。

证明: 由均衡结果得知, $n^{PP*} - n^{UP*} = \frac{\beta}{8\alpha} + \frac{\lambda^2(c+\lambda)}{\alpha(4\alpha\gamma_1-2\lambda^2)} > 0$, 即证 $n^{PP*} > n^{UP*}$

该命题表明, 个性化定价能够服务整个数据市场, 从而最大化数据产品的潜在需求, 这激励了数据服务商购买更多的数据; 统一定价策略下, 由于数据服务商无法区分终端用户的支付意愿, 导致低支付意愿的终端用户无法获得服务, 导致数据供应链运行效率损失, 数据规模最小。这一结果表明, 要想促进数据要素的规模交易与高效利用, 需要鼓励发展能够更精准匹配数据产品价值与终端用户支付意愿的定价策略。

命题3 在相同的参数 (β 、 α 、 c 、 γ_1 、 λ) 下, 数据供应商设定的最优批发价 w^* 满足:

$$w^{PP*} > w^{UP*}$$

其中, w^{PP*} 、 w^{UP*} 分别表示个性化定价、统一定价策略下的最优批发价。

证明: 由于 $w^{PP*} - w^{UP*} = \frac{\beta}{8} + \frac{\lambda^2\beta}{2(8\alpha\gamma_1-4\lambda^2)} > 0$, 即证 $w^{PP*} > w^{UP*}$

该命题揭示了数据供应商作为 Stackelberg 博弈的领导者, 通过批发价机制获取数据服务商因采用更精细的定价策略所创造的价值增值, 且最优批发价由数据产品开发技术增值分成、成本转移和隐私补偿三部分构成。个性化定价策略下, 数据服务商能够通过一级价格歧视获取全

部消费者剩余, 数据产品的总价值最大, 因此数据供应商要求最高的技术增值分成 $\frac{\beta}{4}$; 统一定价策略下, 数据价值实现程度最低, 分成比例为 $\frac{\beta}{8}$ 。尽管更高的隐私保护投入 (命题1) 会降低隐私补偿, 但该效应不足以抵消技术增值分成项的差异。这一结果表明, 在数据要素市场中, 拥有原始数据的数据供应商能够通过批发价有效获取数据服务商创造的数据产品价值增值。

命题4 存在一个隐私敏感度临界值 $\lambda_c > 0$, 使得不同定价策略下社会福利的大小随隐私敏感度 λ 而变化。

(1) 当 $0 < \lambda < \lambda_c$ 时, 终端用户 EU 的隐私敏感度较低。此时, 个性化定价策略下的社会福利高于统一定价策略下的社会福利, 即:

$$SW^{PP*} > SW^{UP*}$$

(2) 当 $\lambda > \lambda_c$ 时, 终端用户 EU 的隐私敏感度较高。此时, 统一定价策略的社会福利高于个性化定价策略下的社会福利, 即:

$$SW^{UP*} > SW^{PP*}$$

其中, SW^{PP*} 、 SW^{UP*} 分别为个性化定价、统一定价策略下的均衡社会福利。

证明: 社会福利 SW 为数据供应商 DP 的利润 Π_{DP} 、数据服务商 SP 的利润 Π_{SP} 与消费者剩余 CS 之和, 均是隐私敏感度 λ 的函数。本文将通过分析函数性质来证明临界点的存在性。

(1) 当 $\lambda = 0$ 时, 模型转化为不考虑数据供应商隐私保护的基准模型, 可知:

$$SW^{PP*} = \frac{3\beta^2}{32\alpha} + \frac{3c^2}{8\alpha} - \frac{5c\beta}{16\alpha} SW^{UP*} = \frac{5\beta^2}{128\alpha} + \frac{3c^2}{8\alpha} - \frac{5c\beta}{16\alpha},$$

则 $SW^{PP*} - SW^{UP*} = \frac{7\beta^2}{128\alpha} > 0$, 故 $SW^{PP*} > SW^{UP*}$ 。定义函数 $f(\lambda) = SW^{PP*}(\lambda) - SW^{UP*}(\lambda)$, 且 $f(\lambda)$ 为连续函数, 要证明 $f(\lambda)$ 为严格单调递减函数。由于隐私敏感度 λ 的增加通过隐私补偿成本 $\lambda(1 - e_1)n$ 与隐私保护成本 $\frac{1}{2}\gamma_1 e_1^2$ 来影响社会福利。由命题 1 和命题 2, 对任意相同的隐私敏感度 λ , 均有 $e_1^{PP*} > e_1^{UP*}$ 且 $n^{PP*} > n^{UP*}$, 个性化定价的成本对 λ 的变化更敏感, 故其社会福利随 λ 的增加而下降更快, 即 $\frac{dSW^{PP*}}{d\lambda} < \frac{dSW^{UP*}}{d\lambda} < 0$, 故 $f'(\lambda) < 0$ 。

已知 $f(\lambda) > 0$, 且当 λ 足够大, 可证 $f(\lambda) < 0$ 。根据连续函数的介值定理即严格单调性, 存在唯一的 λ_c 使得 $f(\lambda_c) = 0$, 且满足:

(2) 当 $0 < \lambda < \lambda_c$ 时, $f(\lambda) > 0$, 即 $SW^{PP*} > SW^{UP*}$

(3) 当 $\lambda > \lambda_c$ 时, $f(\lambda) < 0$, 即 $SW^{PP*} < SW^{UP*}$

该命题揭示了在终端用户的隐私敏感度较低的数据市场环境中, 当数据服务商采用个性化定价策略时, 可最大化利用数据价值, 从而获得更大的社会福利。然而, 在隐私敏感度较高的市场环境中, 统一定价反而带来更大的社会福利。这表明, 从数据市场监管者的角度来看, 应根据使用场景和用户群体的隐私敏感度等特征, 实施分类分级管理。例如, 对于脱敏彻底的匿名化数据, 可允许更灵活的定价机制; 而对于涉及个人可识别信息、用于精准营销的数据, 则应施加更多限制, 保护消费者权益。

4 数值分析

为了更加直观地分析在统一定价与个

性化定价策略下, 隐私敏感度和隐私保护成本系数对该数据供应链均衡策略与最优利润的影响, 本文采用数值仿真分析法进一步比较分析。在满足假设的条件下设置基本参数为: 开发努力成本系数 $\alpha = 0.6$, 数据产品开发技术水平 $\beta = 0.8$, 原始数据单位处理成本 $c = 0.02$ 。

4.1 隐私敏感度对消费者剩余和社会福利的影响

首先设置隐私保护成本系数 $\gamma_1 = 0.8$, 验证终端用户隐私敏感度 λ 对消费者剩余、社会福利的影响, 比较结果如图 4 和图 5 所示。

由图 4 可知, 在统一定价策略下, 消费者剩余 CS 随隐私敏感度 λ 变化呈单调递增; 而在个性化定价策略下, 消费者剩余 CS 随隐私敏感度 λ 变化呈现先小幅上升后持续下降的趋势。统一定价策略通过隐私补偿机制将隐私成本转化为对终端用户的补偿, 隐私敏感度 λ 的增加表明终端用户在提供数据时获得的净收益相应提升, 从而使消费者剩余 CS 持续增长; 而采用个性化定价策略时, 在隐私敏感度 λ 较低时, 能够通过完全价格歧视覆盖全部市场, 在一定程度上提升消费者剩余; 随着隐私敏感度 λ 进一步增加, 个性化定价所要求的高隐私保护水平带来显著的成本增加, 同时数据价值 $\beta - 2c - 2\lambda$ 随隐私敏感度 λ 增大而衰减, 使得消费者剩余 CS 逐步下降。

由图 5 可知, 在统一定价与个性化定价策略下, 社会福利随隐私敏感度 λ 的提升均呈现下降趋势。此外, 存在一个隐私敏感度临界值, 使得当隐私敏感度 λ 较低时, 个性化定价策略下的社会福利大于统一定价策略下的社会福利; 反之, 则统一定价策略下的社会福利大于个性化定价策略下的社会福利。随着隐私敏感度 λ 的增

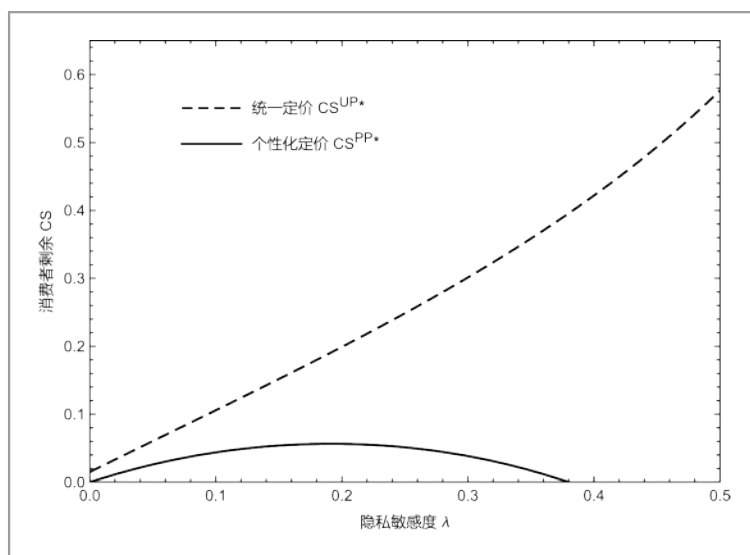


图4 两种定价策略下的消费者剩余比较

Fig.4 Comparison of Consumer Surplus Under Two Pricing Strategies

大，数据供应商DP为激励终端用户EU提供原始数据而支付的隐私补偿相应增加，同时其隐私保护努力水平 e_1 的提升也增加了其隐私保护成本 c_2 。这两部分成本使得

数据供应链的整体运营成本随之增加，进而压缩了数据供应商DP和数据服务商SP的利润空间，社会福利逐步下降。

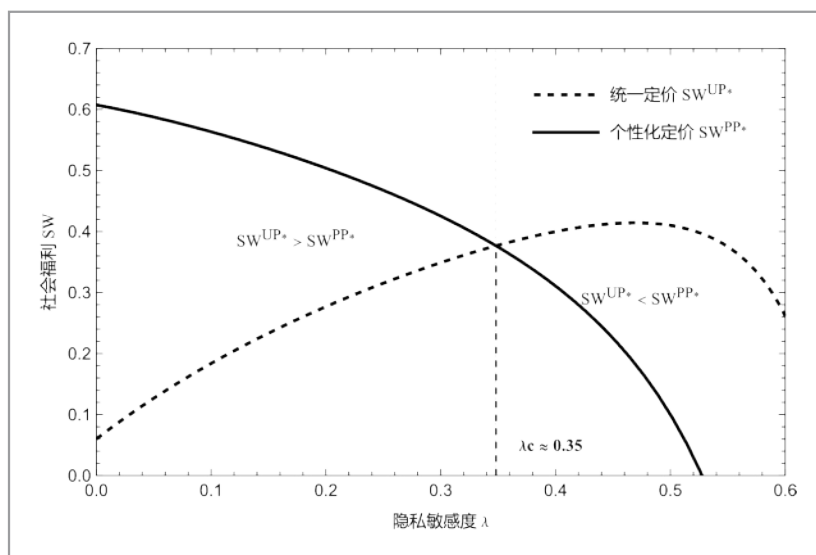


图5 两种定价策略下的社会福利比较

Fig.4 Comparison of Social Welfare Under Two Pricing Strategies

4.2 隐私保护成本系数对最优利润、消费者剩余和社会福利的影响

首先设置终端用户隐私敏感度 $\lambda=0.1$ ，验证数据供应商 DP 隐私保护成本系数 γ_1 对数据供应商和数据服务商的最优利润、消费者剩余和社会福利的影响，比较结果如图 6、图 7、图 8 和图 9 所示。

图 6 直观展示了在统一定价与个性化定价策略下，数据供应商 DP 的利润随其隐私保护成本系数增大的变化趋势。整体而言，数据供应商 DP 的利润增长率随隐私保护成本系数的增加而下降，这与模型假设 6，隐私成本保护系数的增加直接提

高了数据供应商 DP 的隐私保护成本保持一致，并验证了成本上升对利润空间的影响作用。比较两种定价策略发现，个性化定价策略下的数据供应商 DP 利润始终高于统一定价策略。这是因为在个性化定价策略下，数据供应商 DP 能够设定更高的批发价（命题 3）和更大的数据规模（命题 2），从而获得更多收益，并在相同成本系数下获得更优利润。然而，随着隐私保护成本系数的持续增大，两条曲线的增长率下降速度均加快，表明在隐私保护高成本系数的约束下，无论采用何种定价策略，数据供应商 DP 的利润空间都将受到严重压缩。

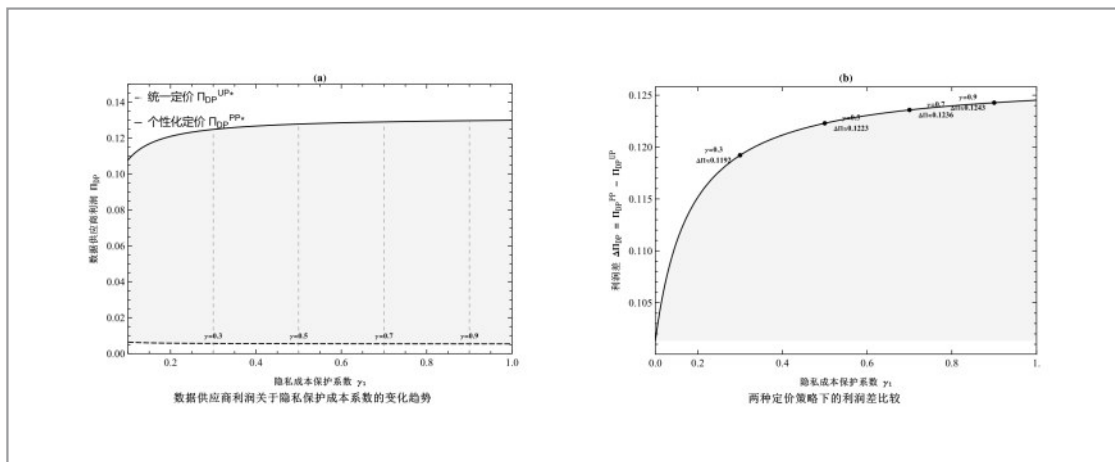


图 6 隐私保护成本系数对数据供应商利润的影响比较

Fig.6 Comparison of the Impact of Privacy Protection Cost Coefficients on the Profits of Data Providers

图 7 直观展示了在统一定价与个性化定价策略下，数据服务商 SP 利润随隐私保护成本系数的变化情况。两种定价策略下数据服务商 SP 的利润随隐私保护成本增加均呈现递增趋势，且个性化定价策略下的利润始终高于统一定价策略，如图 7 (a) 所示。这是因为在统一定价策略下，数据供应商 DP 提升隐私保护努力水平虽然增

加了自身成本，但显著提高了终端用户 EU 的数据供给意愿与数据质量，使得数据服务商 SP 能够通过更优质的数据产品获得更高收入，其增长幅度足以覆盖批发价的上涨幅度，从而实现净利润持续增长。而在个性化定价策略下，数据供应商 DP 作为博弈领导者，会通过设定更高的批发价 ($w^{PP*} > w^{UP*}$) 来转移自身急剧增加的隐

私保护成本,使其极大获取了数据服务商SP通过完全价格歧视所能获得的潜在收益。两种定价策略下,数据服务商SP的利润差随隐私保护成本增加而明显扩大,如图7(b)所示。这表明在考虑隐私保护的 market 环境中,对于数据服务商SP而言,采用个性化定价策略,则可能因数据供应商

DP的成本转嫁行为而无法实现理论上的盈利优势;而采用统一定价策略能通过与上游数据供应商DP的价值协同实现利润增长。这直观地印证了该模型命题的结论,为现实中数据服务商SP的定价策略选择提供了清晰的决策参考。

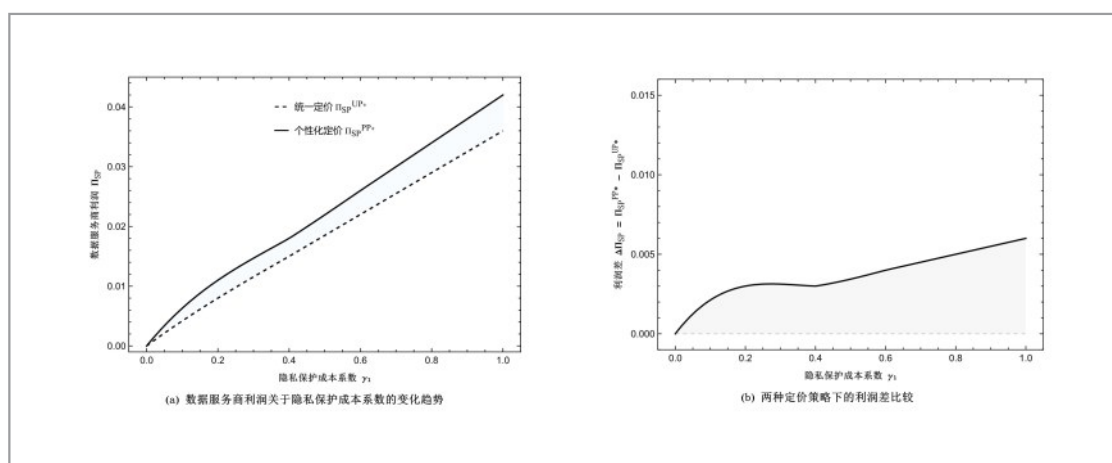


图7 隐私保护成本系数对数据服务商利润的影响比较

Fig.7 Comparison of the Impact of Privacy Protection Cost Coefficients on the Profits of Data Service Provider

图7直观展示了在统一定价与个性化定价策略下,消费者剩余随隐私保护成本系数的变化情况。在统一定价策略下,消费者剩余呈先升后降趋势。这是因为随着隐私保护成本系数的提高,消费者剩余通过激励补偿机制实现增加;随着隐私保护成本系数提高,数据供应商DP的隐私保护成本急剧上升,这抑制了数据产品价格或数据规模,导致消费者剩余回落。在个性化定价策略下,消费者剩余单调上升。当终端用户的隐私敏感度较低时,主要通过降低数据供应商DP的隐私保护努力水平影响消费者剩余,且随着隐私保护成本系数的增加,消费者剩余单调递增。

由图9可知,两种定价策略下的社会

福利均随隐私保护成本系数的增大而单调递减,且统一定价策略下的社会福利始终高于个性化定价策略。这是因为在个性化定价策略下的最优隐私保护努力水平更高,导致其对隐私保护成本系数增长的成本变动更为敏感;而随着隐私保护成本系数的增加,统一定价策略通过相对较低的隐私保护投入与有效的隐私补偿机制,实现了隐私成本控制与终端用户激励的平衡。

5 结束语

数据产品定价是闭环数据供应链高效运作的核心,它直接影响数据要素的流通

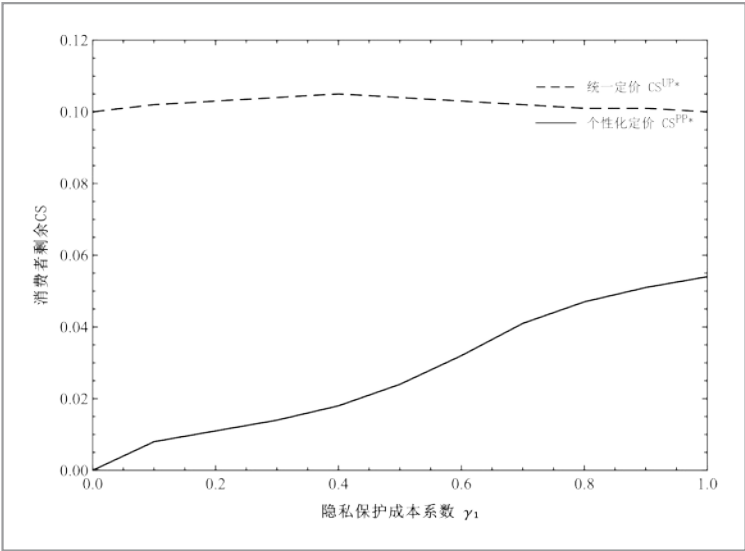


图8 隐私保护成本系数对消费者剩余的影响比较

Fig.8 Comparison of the Impact of Privacy Protection Cost Coefficients on Consumer Surplus

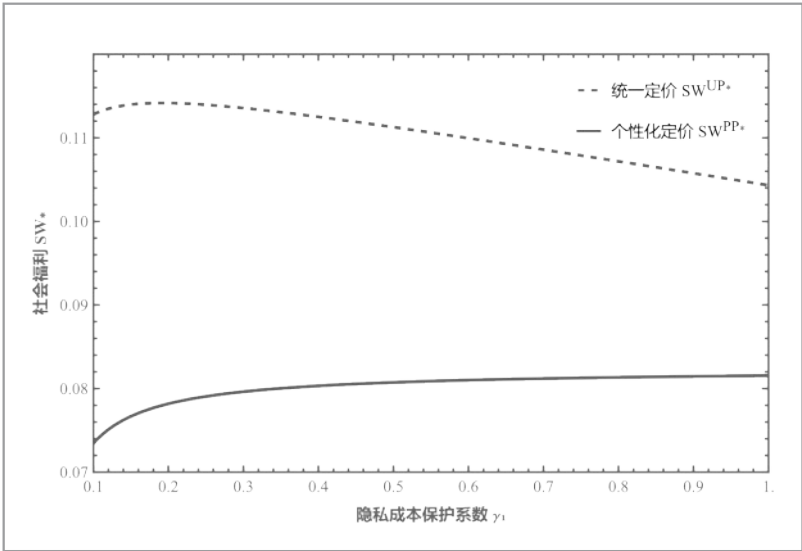


图9 隐私保护成本系数对社会福利的影响比较

Fig.9 Comparison of the Impact of Privacy Protection Cost Coefficients on Social Welfare

效率、数据供应商和数据服务商的最优利润、消费者剩余以及社会福利。本研究聚焦闭环数据供应链中的数据产品定价难题，以数据供应商、数据服务商与异质终端用户为研究对象，通过构建 Stackelberg 博弈模型，系统分析在有隐私保护的闭环数

据供应链的定价决策模型中，采用统一定价、个性化定价策略时数据供应商和数据服务商的最优策略，以及关键参数对均衡决策、消费者剩余和社会福利的影响。研究发现：首先，终端用户的隐私敏感度通过隐私补偿机制直接影响其数据供给意愿

与供应链决策，数据供应商的隐私保护投入能有效缓解该负面效应，但其效果受隐私保护成本系数及数据产品开发技术水平的制约。其次，在隐私敏感度较低的市场中，个性化定价能够激励更高的隐私保护努力、扩大数据规模并提升供应链利润；而在隐私敏感度较高时，统一定价通过成本控制与合理补偿更有利于维护消费者福利与社会总福利。本研究为数据要素市场各参与方提供了明确的管理启示：数据供应商应根据数据市场隐私敏感度动态调整定价策略与隐私保护投入；数据服务商需关注隐私保护成本转嫁效应，在隐私敏感度高的数据市场应采用统一定价以稳定利润；政策制定者可实施基于隐私敏感度的分类分级管理，对低隐私敏感数据交易鼓励市场化定价创新，对高敏感数据交易强化规制以平衡效率与数据安全。

本文考虑隐私保护的闭环数据供应链数据产品定价问题，仅基于单周期静态博弈与单一市场主体假设，未能刻画多期动态交互与竞争性市场结构。未来研究可拓展至多周期动态博弈框架，引入数据质量迭代反馈机制，并探讨多方竞争情境下隐私保护与定价策略的协同演化，以增强模型的现实解释力。

参考文献：

[1] 刘典. 数据治理的“不可能三角”[J]. 文化纵横, 2022, (02): 74-83.
LIU D. The “Impossible Triangle” of data governance[J]. Cultural Trends, 2022, (02): 74-83.

[2] PARKINS D. The world’s most valuable resource is no longer oil, but data[J]. The Economist, 2017, 6.

[3] 杨艳, 林凌. 数据要素高质量供给:内涵解析困境挑战与规制设计[J]. 电子政务, 2024,

(11): 15-26.
YANG Y, LIN L. High-quality supply of data elements: connotation analysis, challenges and regulatory design[J]. E-Government, 2024, (11): 15-26.

[4] 刘宗豪, 夏杰长. 数据要素赋能数字产业集群的逻辑 机理与路径[J]. 中国流通经济, 2025, 39(06): 69-80.
LIU Z H, XIA J C. The logic, mechanism and path of data elements empowering digital industry clusters[J]. China Circulation Economy, 2025, 39(06): 69-80.

[5] 刘涛雄, 李若菲, 戎珂. 基于生成场景的数据确权理论与分级授权[J]. 管理世界, 2023, 39(02): 22-39.
LIU T X, LI R F, RONG K. Data rights confirmation theory and hierarchical authorization based on generation scenarios[J]. Management World, 2023, 39(02): 22-39.

[6] 端利涛, 李海舰. 数据供给 流通与应用逻辑——基于数据特性的视角[J]. 经济管理, 2025, 47(06): 22-40.
DUAN L T, LI H J. Data supply, circulation and application logic: a perspective based on data characteristics[J]. Economic Management, 2025, 47(06): 22-40.

[7] 王静. 数字化供应链转型升级模式及全链路优化机制研究[J]. 经济学家, 2022, (09): 59-68.
WANG J. Research on the transformation and upgrading model of digital supply chain and the full-chain optimization mechanism[J]. Economist, 2022, (09): 59-68.

[8] 喻海飞, 黄晋婷. 基于闭环数据供应链的数据产品定价策略研究[J]. 管理工程学报, 2023, 37(01): 136-146.
YU H F, HUANG J T. Research on pricing strategy of data products based on closed-loop data supply chain[J]. Journal of Management Engineering, 2023, 37(01): 136-146.

[9] 朱秀梅, 林晓玥, 王天东, 等. 数据价值化:研究

评述与展望[J]. 外国经济与管理, 2023, 45(12): 3-17.

ZHU X M, LIN X Y, WANG T D, et al. Data value realization: research review and prospect[J]. Foreign Economics & Management, 2023, 45(12): 3-17.

[10] 林娟娟, 黄志刚, 唐勇. 数据质量 数量与数据资产定价:基于消费者异质性视角[J]. 中国管理科学, 2025, 33(05): 88-98.

LIN J J, HUANG Z G, TANG Y. Data quality, quantity and data asset pricing: from the perspective of consumer heterogeneity[J]. Chinese Journal of Management Science, 2025, 33(05): 88-98.

[11] BATAINEH A, MIZOUNI R, BENTAHAR J, et al. Toward monetizing personal data: a two-sided market analysis[J]. Future Generation Computer Systems, 2020, 111: 435-459.

[12] VARIAN H. Big data: new tricks for econometrics[J]. The Journal of Economic Perspectives, 2014, 28(2): 3-27.

[13] 周晓阳, 陈可欣, 温浩宇, 等. 政府补贴下考虑零售商不同竞争行为的闭环供应链决策及合同选择[J]. 中国管理科学, 2022, 30(03): 176-188.

ZHOU X Y, CHEN K X, WEN H Y, et al. Closed-loop supply chain decision-making and contract selection considering different competitive behaviors of retailers under government subsidies[J]. Chinese Journal of Management Science, 2022, 30(03): 176-188.

[14] SPIEKERMANN M. Data marketplaces: trends and monetisation of data goods[J]. Intereconomics, 2019, 54(4): 208-216.

[15] 欧阳日辉, 杜青青. 数据要素定价机制研究进展[J]. 经济学动态, 2022, (02): 124-141.

OUYANG R H, DU Q Q. Research progress on data element pricing mechanism[J]. Economic Trends, 2022, (02): 124-141.

[16] 李雪梅, 赵小磊. 基于经济学视角的数据要素定价研究[J]. 河南社会科学, 2024, 32(01): 33-42.

LI X M, ZHAO X T. Research on data element pricing from an economic perspective[J]. Henan Social Sciences, 2024, 32(01): 33-42.

[17] 张小伟, 江东, 袁野. 基于博弈论和拍卖的数据定价综述[J]. 大数据, 2021, 7(04): 61-79.

ZHANG X W, JIANG D, YUAN Y. A review of data pricing based on game theory and auction[J]. Big Data, 2021, 7(04): 61-79.

[18] XIAO Z, HE D, DU J. A stackelberg game pricing through balancing trilateral profits in big data market[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(16): 12658-12668.

[19] 王重润, 王文静, 赵冬暖. 基于讨价还价模型的大数据资产定价研究[J]. 会计之友, 2023, (06): 20-29.

WANG C R, WANG W J, ZHAO D N. Research on big data asset pricing based on bargaining model[J]. Accounting Friend, 2023, (06): 20-29.

[20] 凌帅, 谢肖蝶, 李庚. 信任对数据交易决策的影响:基于微分博弈分析[J]. 工业工程与管理, 2024, 29(04): 109-119.

LING S, XIE X D, LI G. The impact of trust on data trading decisions: based on differential game analysis[J]. Industrial Engineering and Management, 2024, 29(04): 109-119.

[21] 扈文秀, 刘亚洲, 苏欣欣. 考虑权力结构和价值不确定性的数据供应链定价策略分析[J]. 计算机工程与应用, 2025, 61(04): 310-322.

HU W X, LIU Y Z, SU X X. Analysis of data supply chain pricing strategy considering power structure and value uncertainty[J]. Computer Engineering and Applications, 2025, 61(04): 310-322.

[22] 韩文龙, 晏宇翔, 张瑞生. 推动数字经济与实体经济融合发展研究[J]. 政治经济学评论, 2023, 14(03): 67-88.

- HAN W L, YAN Y X, ZHANG R S. Research on promoting the integrated development of digital economy and real economy[J]. Review of Political Economy, 2023, 14(03): 67-88.
- [23] HUANG L, DOU Y, LIU Y, et al. Toward a research framework to conceptualize data as a factor of production: the data marketplace perspective[J]. Fundamental Research, 2021, 1(5): 586-594.
- [24] SAMEER M, MILIND D, GANESH J, et al. How to sell a data set? pricing policies for data monetization[J]. Information Systems Research, 2021, 32(4): 1281-1297.
- [25] 杨玉颖, 凡航, 刘敦楠, 等. 能源电力行业数据要素定价研究[J]. 大数据, 2026, 12(01): 174-188.
- YANG Y Y, FAN H, LIU D N, et al. Research on pricing of data elements in the energy and power industry[J]. Big Data, 2026, 12(01): 174-188.
- [26] 邹贵林, 陈雯, 吴良峥, 等. 电网数据资产定价方法研究——基于两阶段修正成本法的分析[J]. 价格理论与实践, 2022, (03): 89-93+204.
- ZOU G L, CHEN W, WU L Z, et al. Research on pricing method of power grid data assets: an analysis based on two-stage modified cost method[J]. Price Theory and Practice, 2022, (03): 89-93+204.
- [27] 罗玫, 李金璞, 汤珂. 企业数据资产化: 会计确认与价值评估[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2023, 38(05): 195-209+226.
- LUO M, LI J P, TANG K. Enterprise data assetization: accounting recognition and value assessment[J]. Journal of Tsinghua University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2023, 38(05): 195-209+226.
- [28] 李雨霏, 刘海燕, 闫树. 面向价值实现的数据资产管理体系构建[J]. 大数据, 2020, 6(03): 45-56.
- LI Y F, LIU H Y, YAN S. Construction of data asset management system oriented to value realization[J]. Big Data, 2020, 6(03): 45-56.
- [29] 尹传儒, 金涛, 张鹏, 等. 数据资产价值评估与定价: 研究综述和展望[J]. 大数据, 2021, 7(04): 14-27.
- YIN C R, JIN T, ZHANG P, et al. Data asset value assessment and pricing: research review and prospect[J]. Big Data, 2021, 7(04): 14-27.
- [30] 蔡莉, 黄振弘, 梁宇, 等. 数据定价研究综述[J]. 计算机科学与探索, 2021, 15(09): 1595-1606.
- CAI L, HUANG Z H, LIANG Y, et al. A review of data pricing research[J]. Computer Science and Exploration, 2021, 15(09): 1595-1606.
- [31] 王勇, 刘乐易, 迟熙, 等. 流量博弈与流量数据的最优定价——基于电子商务平台的视角[J]. 管理世界, 2022, 38(8): 116-132.
- WANG Y, LIU L Y, CHI X, et al. Traffic game and optimal pricing of traffic data: from the perspective of e-commerce platforms[J]. Management World, 2022, 38(8): 116-132.
- [32] AXUN X, WANG H Y, BEI B, et al. Contract theory-based collection, updating, and packaging combination strategies in data trading[J]. Service Science, 2024, 16(4): 297-318.
- [33] BATINI M, SCANNAPIECO M. Data and information quality: dimensions, principles and techniques[M]. Springer International Publishing, 2018.
- [34] 王今朝, 张潇扬, 窦一凡, 等. 数据要素的类别与定价: 基于经济模型分析[J]. 管理评论, 2024, 36(07): 3-11.
- WANG J Z, ZHANG X Y, DOU Y F, et al. Categories and pricing of data elements: an analysis based on economic models[J]. Management Review, 2024, 36(07): 3-11.

[35] 龚伟, 李晓华. 数据的信息本质与数据交易困境探析[J]. 经济学家, 2025, (10): 47-56.
GONG W, LI X H. Analysis of the information nature of data and the dilemma of data trading[J]. Economist, 2025, (10): 47-56.

[36] 刘立伟, 傅超豪, 孙泽堃, 等. 数据要素流通全流程隐私关键技术:现状 挑战与展望[J]. 软件学报, 2025 (01): 301-325.
LIU L W, FU C H, SUN Z K, et al. Key privacy technologies for the entire process of data element circulation: current situation, challenges and prospects[J]. Journal of Software, 2025 (01): 301-325.

[37] 孙政霞, 吴春颖. 基于CiteSpace的国内数据隐私保护可视化分析[J]. 现代信息科技, 2025, 9(07): 173-178.
SUN Z X, WU C Y. Visualization analysis of domestic data privacy protection based on citespace[J]. Modern Information Technology, 2025, 9(07): 173-178.

[38] 张艳, 王璐瑶. 政府数据开放场景下匿名化数据的再识别风险防范[J]. 电子政务, 2024, (05): 64-76.
ZHANG Y, WANG L Y. Risk prevention of re-identification of anonymized data in the context of government data openness[J]. E-government, 2024, (05): 64-76.

[39] 张征. 生成式人工智能与数据隐私的安全防护技术研究[J]. 网络安全技术与应用, 2025, (04): 75-77.
ZHANG Z. Research on security protection technology of generative artificial intelligence and data privacy[J]. Network Security Technology and Application, 2025, (04): 75-77.

[40] ZENG D, LIU Y, BIN D, et al. Pricing strategy with customers' privacy concerns in smart-x systems[J]. Enterprise Information Systems, 2022, 16(3): 445-471.

[41] 李三希, 张仲元, 焦倩. 竞争会降低企业收集消费者信息并增加隐私保护投资吗?[J]. 管理世界, 2023, 39(07): 1-26.
LI S X, ZHANG Z Y, JIAO Q. Will competition reduce enterprises' collection of consumer information and increase their investment in privacy protection? [J]. Management World, 2023, 39(07): 1-26.

[42] 綦勇, 侯泽敏, 曹金霞. 差异化隐私数据保护政策下的厂商数据利用策略研究[J]. 中国管理科学, 2025, 33(03): 151-161.
QI Y, HOU Z M, CAO J X. Research on vendor data utilization strategies under differentiated privacy data protection policies[J]. Chinese Journal of Management Science, 2025, 33(03): 151-161.

[43] 徐艺轩, 吴冰. 数据产品定价策略:独占式与非独占式定价[J]. 大数据, 2025, 11(02): 177-187.
XU Y X, WU B. Pricing strategies for data products: exclusive and non-exclusive pricing[J]. Big Data, 2025, 11(02): 177-187.

[44] 陈荣, 龚本刚, 程晋石, 等. 不同回收模式下用户隐私关切对闭环供应链决策的影响[J]. 系统科学与数学, 2022, 42(03): 659-675.
CHEN R, GONG B G, CHENG J S, et al. The impact of user privacy concerns on closed-loop supply chain decisions under different recycling modes[J]. Systems Science and Mathematics, 2022, 42(03): 659-675.

[45] 陈翼, 孙晓曼, 张宁, 等. 数智驱动营销下企业网络平台供应链的绿色产品营销策略研究[J]. 中国管理科学, 2024, 32(05): 81-92.
CHEN Y, SUN X M, ZHANG N, et al. Research on green product marketing strategies of enterprise network platform supply chain under digital intelligence-driven marketing[J]. China Management Science, 2024, 32(05): 81-92.



宋鹏（1979-），男，博士，山西大学经济与管理学院教授、博士生导师，主要研究方向为数据智能决策。



邓赞梅（1996-），女，山西大学经济与管理学院硕士生，主要研究方向为数据产品定价。

收稿日期: XXXX-XX-XX
通信作者: dzm_1207@126.com
基金项目: 国家自然科学基金面上项目-基于多粒度的多准则推荐系统研究(72171137)
Foundation Items: National Natural Science Foundation of China General Program – Research on Multi-Granularity Multi-Criteria Recommendation System (No. 72171137)