

分类号: F724.6

学校代码: 10363

密 级: 公开

学 号: 2220720110



安徽工程大学

Anhui Polytechnic University

硕士学位论文

题 目 电商用户隐私保护的多主体博弈模型
与动态策略演化研究

论 文 作 者 李怡

指 导 教 师 程晋石 教授

学 科 (专 业) 管理科学与工程

研 究 方 向 物流与供应链管理

论文提交日期: 2025 年 5 月 14 日

分类号: F724.6

密 级: 公开

单位代码: 10363

学 号: 2220720110

题 目 电商用户隐私保护的多主体博弈模型与动态策略演化研究

英文并列

题 目 RESEARCH ON MULTI-SUBJECT GAME MODEL AND
DYNAMIC STRATEGY EVOLUTION FOR E-
COMMERCE USER PRIVACY PROTECTION

学生姓名: 李怡

指导教师: 程晋石 教授

专 业: 管理科学与工程

研究方向: 物流与供应链管理

论文答辩日期: 2025 年 5 月 14 日

安徽工程大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

李怡

日期：2025 年 5 月 14 日

安徽工程大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权安徽工程大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

学位论文作者签名：



指导教师签名：



日期： 2025 年 05 月 14 日

日期： 2025 年 05 月 14 日

电商用户隐私保护的多主体博弈模型与动态策略演化研究

摘 要

数字经济时代，电子商务已成为全球经济增长的重要驱动力。然而，随着行业的快速发展，大规模用户数据的采集与分析在提高运营效率的同时，也引发了用户对个人信息泄露的担忧。在此背景下，如何有效保障用户隐私安全已成为电子商务生态系统健康发展的核心议题。本文基于微分博弈和随机演化博弈模型，系统研究了电商平台与商家的隐私保护策略及其在政府监管下的最优决策行为，同时考察了相关主体在不确定性环境中的策略演化。本文首先构建了自主决策的微分博弈模型，分析了无补贴的非合作模式、有补贴的非合作模式和合作模式下平台和商家的最优隐私保护策略及其收益表现。在此基础上，引入时间延迟效应对模型进行拓展，探讨时间延迟对策略的影响。随后，本文将政府监管行为纳入模型框架，研究其奖惩机制如何影响平台和商家的决策行为，分析政府监管下的最优隐私保护策略。最后，考虑到市场环境的不确定性，引入高斯白噪声构建三方随机演化博弈模型，研究随机干扰下政府、电商平台、商家的行为动态及其策略的稳定性。研究表明：

首先，与无补贴模式相比，有补贴的非合作模式在平台和商家收益、整体隐私保护水平和声誉方面实现了帕累托改进。该模式下平台的努力投入保持稳定，只有当收入系数达到特定阈值时才提供补贴，

而商家的投入则显著增加。协同合作模式能表现出更优的决策效果，此时隐私保护水平、声誉和经济收益均显著高于非合作模式。拓展模型分析表明，合作模式下隐私保护水平与声誉均可达到最优，但收益的最优状态仅在延迟时间处于特定范围内时实现，超过阈值后收益甚至可能低于非合作模式。

其次，在政府监管情境下，平台的补贴策略不仅受到收益系数的影响，还受到市场条件和政府奖惩比例的制约。在非合作模式下，平台和商家的努力投入主要受政府对单一主体奖惩比例调节的影响。而在合作模式下，这种投入则更多地依赖于政府对整个电商的宏观奖惩。政府对电商的整体奖惩行为有效推动平台和商家加强隐私保护，提高收益。尽管补贴机制在一定程度上提升了整体隐私保护水平、声誉和经济收益，但效果仍低于协同合作模式的整体增益。

最后，政府在策略演化过程中始终偏好严格监管；平台虽最终趋向于积极管理，但其策略选择受政府与商家影响，呈现出一定波动性；商家多倾向于违规利用用户隐私，但其行为亦受到政府与平台的动态制约。此外，平台与商家对隐私泄露概率高度敏感：在隐私泄露概率较低时倾向于消极策略，随概率升高转向积极保护。进一步分析表明，政府奖惩机制对平台与商家的策略演化具有显著影响，其中褒奖效果优于惩戒；奖惩分配系数会影响平台与商家策略平衡。随机干扰强度会影响主体演化过程的速率及波动幅度，但并不改变最终稳定结果。

关键词：电子商务，隐私保护，微分博弈，政府监管，随机演化博弈

RESEARCH ON MULTI-SUBJECT GAME MODEL AND DYNAMIC STRATEGY EVOLUTION FOR E-COMMERCE USER PRIVACY PROTECTION

ABSTRACT

In the era of digital economy, e-commerce has become an essential driver of global economic growth. However, with the rapid development of the industry, the collection and analysis of large-scale user data has raised concerns about the leakage of users' personal information while improving operational efficiency. In this context, effectively safeguarding user privacy has become a core issue for the healthy development of the e-commerce ecosystem. Based on differential game and stochastic evolutionary game models, this paper systematically studies the privacy protection strategies of e-commerce platforms and merchants and their optimal decision-making behaviors under government regulation and examines the strategy evolution of related subjects in an uncertain environment. In this paper, we first construct a differential game model for autonomous decision-making and analyze the optimal privacy protection

strategies of platforms and merchants and their revenue performance under the non-cooperative mode without subsidy, non-cooperative mode with subsidy, and cooperative mode. On this basis, the time delay effect is introduced to extend the model and explore the impact of time delay on strategies. Furthermore, government regulation behavior is incorporated into the model framework to investigate how the reward and punishment mechanism affects the decision-making behavior of platforms and merchants and to analyze the optimal privacy protection strategies under government regulation. Lastly, considering the uncertainty of the market environment, Gaussian white noise is introduced to construct a three-party stochastic evolutionary game model to study the behavioral dynamics of the government, e-commerce platforms, and merchants and the stability of their strategies under random interference. Numerical simulation is used to further verify the influence of key parameters on the evolution of privacy protection strategies. The research results show that:

Firstly, a subsidized non-cooperative model achieves Pareto improvements in platform and merchant revenues, the overall level of privacy protection, and reputation over an unsubsidized model. In this model, the platform's effort input remains stable while the merchant's input increases significantly, and the platform only provides a subsidy when the revenue factor reaches a specific threshold. The collaborative model showed superior decision-making outcomes, with significantly higher

levels of privacy protection, reputation, and economic gains than the non-collaborative model. The extended model analysis shows that both the level of privacy protection and the benefits can be optimal in the cooperative mode, but the optimality of the benefits is only achieved when the delay time is in a specific range, and the benefits may even be lower than in the non-cooperative mode after exceeding the threshold.

Secondly, in the government regulatory context, the platform's subsidy strategy is not only affected by the revenue coefficient but also constrained by a combination of market conditions and the government's reward and punishment ratios. In the non-cooperative model, the effort inputs of platforms and merchants are mainly influenced by the government's adjustment of the proportion of rewards and punishments for a single entity. In contrast, under the cooperative model, this input is more dependent on the government's macro rewards and punishments for e-commerce as a whole. The government's overall reward and punishment behavior towards e-commerce effectively pushes platforms and merchants to enhance privacy protection and increase revenue. Although the subsidy mechanism enhances the level of privacy protection, reputation, and economic gain to some extent, the effect is still lower than the overall gain of the synergistic cooperation model.

Finally, in the stochastic evolutionary game model, the government always prefers strict regulation in the process of strategy evolution;

although the platform eventually tends to manage actively, its strategy choice is influenced by both the government and the merchants, showing a certain degree of volatility; although the merchants tend to adopt the strategy of violating the use of users' privacy, their behaviors are also subject to the dynamic constraints of the government and the platform. In addition, platforms and merchants are highly sensitive to the probability of privacy breaches: they prefer negative strategies when the probability of privacy breaches is low, and gradually shift to positive protection measures when the probability of breaches rises. Further analyses show that government rewards and punishments have a significant impact on the strategy evolution of platforms and merchants, with praise being more effective than punishment; the reward and punishment allocation coefficients affect the balance of platform and merchant strategies. The intensity of random interference affects the rate and fluctuation amplitude of the subjective evolution process but does not change the final stable result.

KEY WORDS: E-commerce; privacy protection; differential games; government regulation; stochastic evolutionary games

Author: Yi Li (School of Economics and Management)

Supervised by: Professor Jinshi Cheng

目录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 研究内容、方法及技术路线.....	3
1.2.1 研究内容.....	3
1.2.2 研究方法.....	4
1.2.3 技术路线.....	5
1.3 研究贡献.....	6
第 2 章 文献综述及相关理论.....	7
2.1 文献综述.....	7
2.1.1 用户隐私及其保护研究.....	7
2.1.2 政府行为研究.....	8
2.1.3 微分博弈应用研究.....	9
2.1.4 演化博弈应用研究.....	10
2.1.5 国内外研究现状评述.....	11
2.2 相关理论概述.....	12
2.2.1 微分博弈理论.....	12
2.2.2 随机演化博弈理论.....	13
第 3 章 自主决策下电商平台与商家的隐私保护合作策略研究.....	15
3.1 问题描述及模型构建.....	15
3.2 模型分析.....	18
3.2.1 无补贴的非合作博弈模型.....	18
3.2.2 有补贴的非合作博弈模型.....	19
3.2.3 合作博弈模型.....	21
3.3 比较分析.....	22
3.4 数值算例.....	24
3.4.1 补贴对无补贴模式的改善作用.....	24
3.4.2 三种模式下整体收益的对比.....	24
3.4.3 转换系数对努力和收益的影响.....	25
3.4.4 参数对双方隐私保护努力的影响.....	27
3.5 隐私保护延时效应.....	28
3.5.1 延时效应下无补贴的非合作博弈模型.....	28
3.5.2 延时效应下有补贴的非合作博弈模型.....	29
3.5.3 延时效应下合作博弈模型.....	31
3.5.4 延时对隐私保护努力的影响.....	31
3.5.5 延时对整体隐私保护水平和声誉轨迹的影响.....	32

3.5.6 延时对收益的影响.....	33
3.6 本章小结.....	35
第 4 章 政府监管下电商平台与商家的隐私保护合作策略研究.....	37
4.1 问题描述及模型假设.....	37
4.2 模型构建及分析.....	40
4.2.1 无补贴的非合作博弈.....	40
4.2.2 有补贴的非合作博弈.....	42
4.2.3 合作博弈模型.....	44
4.3 比较分析.....	45
4.3.1 不同模式下电商成员最优努力比较分析.....	45
4.3.2 不同模式下整体隐私保护水平和声誉轨迹比较分析.....	46
4.3.3 不同模式下收益比较分析.....	47
4.4 数值算例.....	48
4.4.1 参数对平台最优补贴的影响.....	48
4.4.2 参数对整体隐私保护水平和声誉轨迹的影响.....	49
4.4.3 参数对收益的影响.....	50
4.5 本章小结.....	51
第 5 章 随机干扰下电商相关主体策略行为的演化博弈分析.....	53
5.1 问题描述及模型假设.....	53
5.1.1 问题描述.....	53
5.1.2 模型假设.....	54
5.2 模型构建.....	55
5.2.1 复制动态方程.....	55
5.2.2 随机扰动因素.....	57
5.2.3 均衡解与稳定性分析.....	58
5.2.4 复制动态方程的随机泰勒展开式.....	58
5.3 数值仿真分析.....	59
5.3.1 初始选择概率对演化结果的影响.....	60
5.3.2 隐私泄露概率对策略选择的影响.....	61
5.3.3 不同奖惩强度对策略选择的影响.....	63
5.3.4 奖惩分配系数对策略选择的影响.....	64
5.3.5 随机干扰强度对策略选择的影响.....	66
5.4 本章小结.....	67
第 6 章 总结与展望.....	68
6.1 全文总结.....	68
6.2 研究展望.....	70
参考文献.....	71
附 录.....	77
攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文.....	85
致谢.....	86

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

1994 年 8 月，CD-ROM 首次在互联网上交易，标志着购物和商业模式的重大转变^[1]。此后，电子商务行业迅速发展，并催生了亚马逊（Amazon）、eBay 和阿里巴巴（Alibaba）等全球性平台。如今，电子商务的发展迅猛并极大地改变着人们的购物与交易等生活方式，为用户提供了前所未有的便利、多样化的产品选择和灵活的购物体验^[2]。移动应用程序和电子商务网站的普及使用户能够随时随地浏览和购买商品。同时，智能搜索算法和个性化推荐系统通过分析用户的浏览记录和购买行为，精准匹配并推送相关商品。这种高度个性化的购物体验不仅提高了效率，还显著促进了电子商务销售额的增长。Webretailer 数据显示，2023 年全球电子商务销售总额已达 6.3 万亿美元，预计到 2025 年将突破 7.5 万亿美元，占全球消费支出的 23.6%^[3]。

然而，在电子商务快速发展的同时，也引发了用户对于隐私和数据安全的担忧。电子商务交易往往需要消费者提供个人信息，包括身份验证、支付安全、订单验证等。特别是在个性化商品推荐和定制服务过程中，消费者需要披露更为详细的个人资料，从而加剧隐私泄露的风险。中国消费者协会的调查显示，85.2% 的消费者有过个人信息泄露的经历，常见表现为推销电话、垃圾短信、诈骗电话、垃圾邮件等。研究表明，个人数据泄露会显著削弱消费者对电子商务平台的信任^[4]。PYMNTS 与 Riskified 的联合调查进一步指出，数据泄露是影响消费者信任度的主要因素之一，23% 的受访者因隐私和安全问题而不信任电子商务。此外，Anshori 等^[5]发现，消费者对安全性、隐私性、感知价值和信任度的降低会对重复使用电子商务应用程序的意愿产生负面影响。因此，平台和商家作为电子商务的主要参与者，在决策时必须充分考虑用户隐私保护问题。

从制度和管理角度看，电子商务平台在用户数据保护方面发挥着主导作用。平台通常掌握较为完善的技术手段与政策框架，以规范用户数据的收集、存储与使用。而商家作为直接面向消费者的主体，在运营过程中同样需要处理大量用户数据，其数据管理方式对用户隐私安全具有直接影响。若商家在数据管理过程中缺乏足够的安全措施，或基于利益驱动对数据使用不当，均可能导致消费者信息泄露^[6-7]。例如，一些亚马逊第三方卖家利用虚假刷单计划，导致超过 1300 万条敏感信息泄露，涉及多达 20 万用户。这凸显了商家在数据管理方面面临的挑战。因此，仅靠平台管理不足以保障电商环境下的数据安全，需要更全面的治理策略，如加强对商家的数据安全培训、推广隐私保护工具、制定规范的数据管理手册等，鼓励全行业共同维护用户隐私安全。

近年来，各国政府也纷纷出台法规，加强对电子商务行业的监管。中国政府高度重视数据安全和隐私保护，国家发展改革委等部委联合出台指导意见，推进信用联合奖惩机制，规范市场秩序，加强消费者权益保护。各地政府也积极响应，开展专项整治行动。例如，淘宝和京东在用户信息保护方面的优良实践得到了中央网信办、工信部等相关部门的高度肯定；阿里巴巴在加强个人信息保护方面也取得了积极成效。然而，隐私保护问题的挑战依然严峻。近期，一淘、云集、闲鱼等平台因违规收集用户信息被监管部门通报整改，反映出当前电子商务环境下的隐私保护问题仍具有较大的复杂性和动态性。首先，电商行业规模庞大、参与者众多，隐私问题的动态性和复杂性使得政府监管难以做到实时、全面覆盖^[8]。其次，电商平台与商家作为市场主体，在隐私保护与经济利益之间存在矛盾与博弈^[9-10]。在逐利动机的驱使下，部分平台可能通过降低隐私保护标准来减少运营成本，而部分商家则可能利用或非法交易用户数据来获取额外利润。因此，电商行业的隐私保护问题不仅涉及政府监管的有效性，也深刻反映了市场主体之间复杂的博弈关系。深入研究主体在用户隐私保护中的行为策略及其相互影响机制，对于构建更加安全可信的电子商务环境具有重要意义。

1.1.2 研究意义

从理论意义来看，现有研究主要将微分博弈模型应用于资源配置和供应链管理等领域，而在电子商务领域的应用研究相对匮乏。虽然在电子商务的渠道运营

和收益协调方面有丰富的研究成果，但对隐私保护策略优化的研究仍显不足。本文将微分博弈理论引入到电子商务隐私保护问题中，拓展了微分博弈模型的应用，并通过求解探索了不同合作模式下平台和商家的最优努力投入程度和收益函数，为后续相关研究提供了理论依据。此外，本文还探讨了政府监管行为对平台和商家决策行为的影响。这一研究不仅丰富了博弈论在政府监管领域的应用，也为政府如何有效监管电子商务环境提供了理论支持。

从实践意义来看，本文为电商平台和商家的决策优化提供了参考。本文通过求解不同合作模式下的微分博弈模型，明确了平台和商家在隐私保护方面的最优投入水平及收益，为实际运营中的决策提供依据，有助于平台和商家合理配置隐私保护资源，平衡经济效益与隐私保护水平。同时，本文对隐私保护整体水平和声誉轨迹的分析，有助于平台和商家预见隐私保护策略对自身声誉和长远发展的影响，从而制定更具前瞻性的战略规划。对于政府监管部门来说，本文的研究为政策制定提供了科学依据。通过分析政府监管下的博弈模型，政府可以更全面地了解不同监管措施对平台和商家行为的影响，从而制定出更准确有效的监管政策。

1.2 研究内容、方法及技术路线

1.2.1 研究内容

本文聚焦于单一平台与单一商家的电商系统，通过构建自主决策和政府监管下平台和商家的微分博弈模型，深入探讨了不同模式下主体的最优隐私保护策略。在此基础上，进一步分析了不确定环境下主体的演化稳定策略及其动态特征。论文内容主要由以下六方面构成，具体如下：

第一章：绪论。本章首先阐述研究背景，明确研究的核心问题，并系统梳理研究目的及意义。在此基础上，概述研究的主要内容、方法及创新点，为后续章节的展开奠定理论与结构基础。

第二章：文献综述及相关理论。本章围绕“用户隐私及其保护”“政府行为”“微分博弈应用”以及“演化博弈应用”等核心主题，对国内外相关研究成果进行系统梳理，找出已有文献尚未涉及的研究领域。此外，本章还详细阐述了构建本研究模型所依赖的主要理论框架，为后续建模分析提供理论支撑。

第三章：自主决策下电商平台与商家的隐私保护合作策略研究。本章以电子商务整体隐私保护水平和声誉为状态变量构建微分博弈模型，系统分析了无补贴的非合作决策、有补贴的非合作决策及合作决策三种模式下，电子商务平台与商家的最优隐私保护策略及其收益。此外，本章还在基本模型的基础上构建了考虑时延效应的拓展模型，以探讨时间延迟在主体决策中的作用及其对均衡解的影响。

第四章：政府监管下电商平台与商家的隐私保护合作策略研究。本章通过构建包含政府奖惩机制的微分博弈模型，分析政府干预下电商平台和商家的最优决策和收益表现。具体而言，本章分别探讨了无补贴的非合作决策、有补贴的非合作决策、合作决策下各主体在政府奖惩机制影响下的最优隐私保护策略，并进一步分析了关键参数对策略选择的影响。

第五章：随机干扰下电商相关主体策略行为的演化博弈分析。本章主要考虑内外部不确定性因素，引入高斯白噪声，构建政府、电商平台、电商商家三方的随机演化博弈模型。通过分析三方的演化过程及其在随机干扰下的策略稳定性，研究不确定环境下各主体的行为动态。同时，借助数值仿真探讨了相关参数对策略演化的影响。

第六章：总结与展望。本章对第三、四、五章的研究内容进行归纳总结，并结合研究成果提出了相关的实践见解。最后，针对本研究的不足之处，展望了未来的研究方向，为后续学术研究提供参考。

1.2.2 研究方法

本文的研究方法有：

（1）文献综述法

本文通过中国知网、万方数据、Web of Science、IEEE Xplore 等学术数据库，检索并梳理了国内外最新与研究主题相关的核心文献，重点关注博弈论、用户隐私保护、电子商务等领域的前沿研究成果。在阅读和分析文献的过程中，考察现有研究的理论框架、研究方法、核心结论和局限性，从而找出研究空白点和潜在创新点，理清研究思路并开展研究。

（2）数学建模法

在建模方面，本研究采用微分博弈模型构建哈密顿-雅可比方程（Hamilton-

Jacobi Equation), 以刻画动态环境下主体的策略选择和互动关系。通过求解该方程, 可以得到主体的最优策略组合及其对系统状态的影响。此外, 为了更全面地考虑环境不确定性和随机因素对群体策略演化的影响, 本研究进一步构建了随机演化博弈模型, 模拟随机环境下群体的策略演化过程, 揭示群体行为的动态规律。

(3) 数值仿真法

在理论模型均衡解的基础上, 本研究结合实际数据及相关文献中的经验数据进行参数赋值, 并借助 Matlab、Mathematica 等数学计算软件进行数值模拟分析。通过仿真结果, 直观反映模型的动态演化特征, 并与理论分析结果进行对比, 相互验证, 确保模型的合理性和可靠性。

1.2.3 技术路线

本文的技术路线如图 1-1 所示:

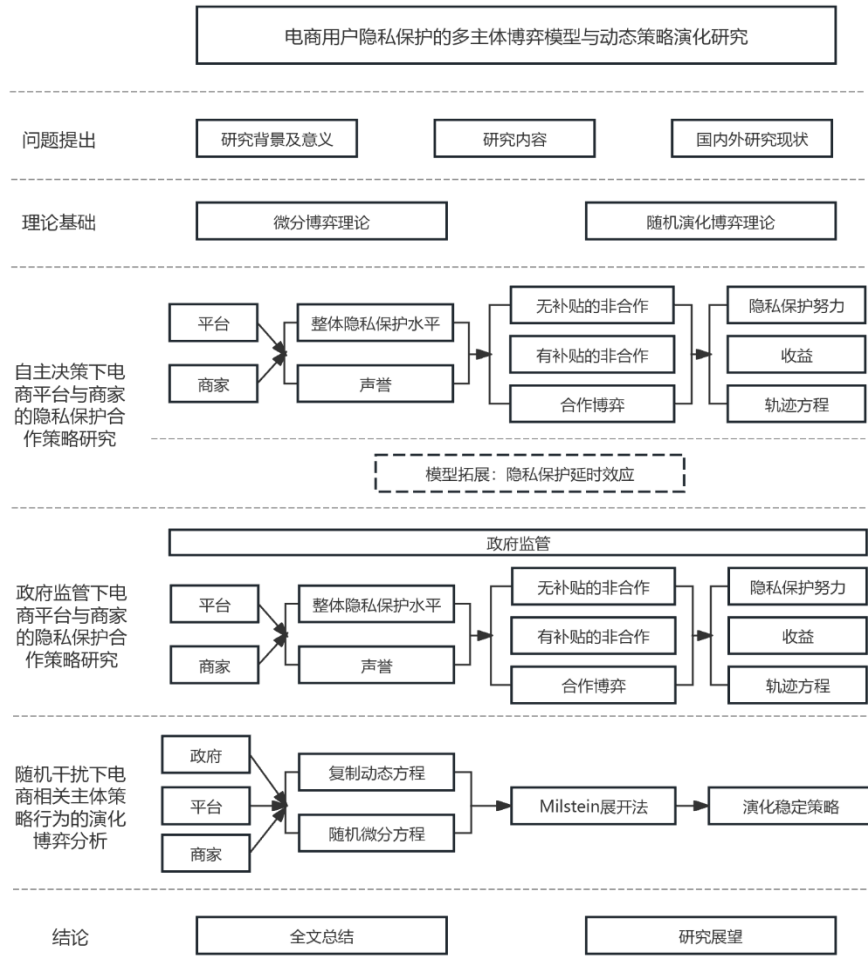


图 1-1 技术路线

1.3 研究贡献

本文的主要贡献主要体现在以下两个方面：

（1）多模式下主体策略分析

在探讨电商平台与电商商家在用户隐私保护方面的互动关系时，本研究创新性地构建了无补贴的非合作、平台补贴的非合作及双方协同合作三种模式，全面细致地呈现了不同合作关系对隐私保护策略的影响。这为理解不同合作状态下电子商务主体的策略制定提供了多维视角。

（2）引入政府奖惩机制的综合考量

将政府作为监管主体纳入研究体系，分析政府的奖惩措施如何影响电子商务平台和商家的策略选择，不仅丰富了电子商务隐私保护策略研究的维度，也为政府制定科学合理的监管政策以及电子商务平台和商家优化自身的隐私保护策略提供了理论支持。

第2章 文献综述及相关理论

2.1 文献综述

现有文献中与本文主题密切相关的学术研究主要集中在以下四个领域：用户隐私及其保护研究、政府监管行为研究、微分博弈应用以及演化博弈应用研究。基于上述研究脉络，本章将对这些文献进行系统性梳理与评述，旨在明确本文的研究定位，并阐明与既有研究的差异所在。

2.1.1 用户隐私及其保护研究

近年来，用户隐私相关问题逐渐成为研究热点。成燕等^[11]研究了用户隐私风险感知时，社交账号登录对平台、广告主和用户三方的影响以及平台开放社交账号登录的决策选择。汪洋等^[12]从消费者心理特征——数据隐私敏感性出发，探究了这一特征对消费者线上搜索转线下购买渠道迁徙意愿的影响。陈荣等^[13]则着眼于用户隐私关切对不同回收模式下闭环供应链成员决策的影响。Duan等^[14]分析了信息披露水平及用户隐私关注如何影响媒体平台的策略。Song和Cheng^[15]考察了在消费者逐利行为和隐私敏感的战略行为下，传统单渠道零售商实施全渠道零售的最优市场运营策略。何向等^[16]研究发现，无论商家销售搜索型还是体验型产品，消费者是否出现反展厅现象都与隐私成本有关。

尽管已有众多研究关注用户隐私问题，但近年来用户隐私泄露事件频发，已引发社会广泛关注。作为建立用户信任和规范数据处理行为的基石，隐私政策是用户隐私保护的重要工具^[17]。Aïmeur等^[18]提出了一种用户隐私政策，为用户向其他用户、第三方和SNS提供商说明和传达其隐私问题提供了一种简单灵活的方式。该政策明确了个人数据的使用方式，间接展示了网站的安全和保护机制。杨瑞仙等^[19]构建社交媒体APP隐私政策评价指标体系，为评估和完善我国社交媒体APP隐私政策提供了理论与实践的指引。Jiang和Zheng^[20]针对健康码应用程序的隐私政策进行了深入分析，揭示了其存在的隐患，并强调了加强个人信息（PI）保护

的重要性。张敏等^[21]基于认知负荷和内容合规性的双重视角，对互联网医院APP隐私政策进行了实证评估。然而，隐私政策语言的复杂性和理解的差异性对其有效性构成了巨大挑战^[22]。认识到这一点后，学者逐步设计出适应网络环境的隐私保护框架。Shahid等^[23]分析了发展中国家医疗数据的隐私保护框架，并提出了相应的改进建议。Wu等^[24]创新性地提出了FedPerGNN联合图神经网络框架，旨在提供个性化服务的同时保护隐私。Zhang等^[25]基于可视密码学和可信计算，开发了一种无密钥依赖的医疗图像隐私保护框架，以保护医疗数据隐私。除了框架构建，隐私保护技术也是重要的研究领域。目前，隐私保护策略主要围绕区块链技术、K-匿名性隐私保护^[26-27]、隐私访问控制^[28-29]和差分隐私^[30-31]等核心技术展开。

当前学术界在多个领域均涉及用户隐私问题，尤其是在医疗健康、在线社交网络等领域，用户隐私保护的研究已取得了显著的成果。然而，相较之下，电子商务领域对用户隐私保护的研究尚处于较为薄弱的阶段。现有研究主要集中于隐私保护政策、技术框架和隐私计算等方面，但对于电子商务生态系统中各主体在隐私保护中的合作行为与策略选择的研究仍然不足。

2.1.2 政府行为研究

政府在引导企业行为方面发挥着至关重要的作用。已有研究围绕政府补贴和监管政策在推动减排、农产品质量安全、回收和定价等方面的作用机制进行了深入探讨。其中，政府补贴是研究较多的政府行为。向小东和林华^[32]研究了不同信息环境下政府补贴政策对减排博弈行为的影响。张川和陈宇潇^[33]以零售商主导的动力电池闭环供应链为背景，探讨了政府补贴与规模效应对最优决策及协调机制的影响。Wu等^[34]基于Stackelberg博弈论，分析了差异化绿色补贴对异质性农产品供应链决策的影响。王道平和常敬雅^[35]将持股合作战略引入供应链减排决策，研究了政府补贴政策下的最优决策及其动态协调机制。Jin等^[36]研究了政府成本补贴和环境监管对制造商定价、环境质量决策和三重底线（3BL）绩效的影响机制。梁喜等^[37]将区块链技术的可追溯性与政府补贴政策相结合，构建了以制造商为主导的绿色闭环供应链模型，并分析了三种不同回收模式下的最优定价机制和回收策略。Wu等^[38]通过实证研究发现，政府补贴对农业企业的技术创新起到了积极的促进作用，并对企业的长期发展路径产生了重要影响。Huang等^[39]系统评

估了政府研发补贴、消费补贴和双重补贴的作用，分析了不同政策情景下最优批发价格、销售价格、产品绿色化水平以及政府补贴策略的环境效益和社会效益。林志炳^[40]构建了一个包含产能约束的供应商与绿色制造商的两周期绿色供应链模型，深入研究了政府对消费者补贴的影响及渠道成员的应对策略。

除政府补贴，政府监管作为另一类干预手段，也受到了学者的广泛关注。王方等^[41]通过构建双渠道回收博弈模型，探讨了消费者信息敏感度、政府监管强度与惩罚力度、非正规回收渠道的信息泄露概率、正规回收渠道信息清理成本等因素对企业回收策略的影响。王笑笑等^[42]立足于地方政府、养老机构及养老服务提供商的三方互动关系，分析了不同服务质量达标情境下政府监管对养老机构外包决策的影响。Huang等^[43]将市场运营场景划分为纯市场运营模式与政府管制模式，并比较了不同监管模式下供应链绿色协同创新行为的演化稳定性。赵连霞等^[44]针对政府监管下的生态标签欺诈问题，构建包含标签欺诈行为的博弈模型，揭示了企业在违规与监管环境下的竞争策略及普通产品企业的同行监督行为。

政府行为的研究已经在环境减排、农产品质量安全、回收与定价等领域取得了显著进展。然而，关于政府行为如何影响电子商务领域隐私保护的研究相对较少。目前文献多集中于政府补贴和惩戒性监管机制的作用，关于奖惩结合机制对隐私保护行为的影响尚缺乏系统性探讨。

2.1.3 微分博弈应用研究

微分博弈已成为分析参与者在动态环境下相互作用及优化策略的重要工具，在供应链管理领域的研究中得到深入探讨。Yang 等^[45]深入探讨了个人、政府与企业在不同回收框架下的最优决策策略，揭示了各方在资源回收过程中的战略选择。王道平等^[46]研究再制造技术先进度以及线上线下回收商竞争对成员定价和收益的影响，并在此基础上揭示再制造技术先进度的动态演化规律。He 等^[47]评估了双边参与策略对低碳供应链动态减排努力及相关绩效的影响。张明等^[48]研究了跨界污染影响下寡头企业的最优行为策略和当地污染物存量的动态演化特征。Liang 等^[49]以公共技术创新为背景，构建由政府与两家竞争企业组成的创新供应链模型，研究了供应链成员在创新激励下的行为选择。徒君等^[50]在研究三类供应链结构（集中式、分散式及收益共享结构）下的线上线下渠道竞争时，探讨

了各结构对供应链成员决策行为的影响。刘浪等^[51]在边际利润波动及制造商价格竞争的背景下,分析了广告延时对供应链各成员最优决策的影响。林帅成和张桂涛^[52]结合微分博弈和连续动态规划理论,研究了车企的定价策略、续航努力与广告宣传策略。段梅等^[53]基于修正的 Bass 扩散模型,构建了考虑消费者后悔效应的制造商主导型闭环供应链动态模型,揭示了后悔系数对定价策略、销售动态及利润分配的显著影响。此外,微分博弈模型在生态补偿机制^[54-56]、平台定价^[57-59]等决策也有广泛应用。

微分博弈已被广泛应用于回收、减排、市场竞争、广告、生态补偿和定价等供应链管理领域,但关注电子商务环境下隐私保护策略优化协调的研究较少。为填补这一研究空白,本文构建微分博弈模型,以深入分析电子商务平台与商家在用户隐私保护中的行为策略。

2.1.4 演化博弈应用研究

演化博弈作为一种动态分析工具,在电商领域的研究主要聚焦于信用监督、信息服务质量控制、物流以及打假等议题。例如,王丹丹等^[60]构建了跨境电商平台商家信用监督的演化博弈模型,从消费者反馈共治、商家自律经营及平台监管等角度探讨了不同情境下的演化均衡策略。Xu 等^[61]基于信息生态学视角,构建了包含商家、电商平台与政府的三方演化博弈模型,以分析有限理性条件下信息服务质量控制的动态演化过程及最优策略。针对直播电商背景下农产品供应链存在的生鲜农产品配送延误及消费者购买意愿低等问题,张芳和张经纬^[62]构建了电商平台、物流企业及消费者的三方演化博弈模型,并分析了各方的演化稳定策略。余文涛等^[63]建立了由电商平台、物流企业和商家组成的生态合作博弈模型,考察各主体在生态合作中的策略选择及其影响因素。Qiu 等^[64]则围绕电商平台假货治理问题,构建了商家、消费者和电商平台三方进化博弈模型,以研究影响各方策略选择的关键因素。Le 等^[65]通过构建卖家、买家与电商平台之间的演化博弈模型,研究了区块链技术下的真实评论机制。

虽然传统演化博弈模型在电子商务领域的应用取得了不少研究进展,但在描述受随机扰动影响的系统时仍存在局限性。Foster 和 Young^[66]等指出,在博弈系统中引入随机过程可以更准确地模拟真实情境中主体间复杂的互动。为了弥补传

统演化博弈方法的不足,一些学者通过在复制的动态方程中引入高斯白噪声干扰项,构建了随机演化博弈模型,以更全面地刻画不确定环境下的策略演化过程。例如,徐新杨和杨杨^[67]基于碳交易政策背景,构建了由地方政府、制造商与物流企业组成的三方随机演化博弈模型,探讨了在碳交易政策下物流和制造业的协同减排策略。Zhang 和 Ding^[68]结合碳交易和税收机制,提出了碳减排领域行政部门、大型航空公司和小型航空公司之间的随机演化博弈模型,并分析了政策调控下航空业主体的博弈行为。董昌其等^[69]基于制度性集体行动框架,构建了综合监管部门、行业监管部门及生产经营单位的三方随机演化博弈模型,以探讨集体行动因素对监管策略演化的影响。刘琦铀等^[70]构建了政府监管部门、农企及第三方检测机构的三方随机演化博弈模型,研究了政府绿色农产品安全监管中的合谋寻租问题。Lu 等^[71]围绕污染控制议题,研究了由三家企业组成的污染控制战略联盟的随机演化博弈模型,分析其内部污染控制策略的演化机制及稳定性。陈伟杰等^[72]结合环境信用联合奖惩机制,构建了地方政府、第三方治理企业及排污企业的三方随机演化博弈模型,并考察了公众环境关注度对各主体策略演化的影响。

演化博弈在电子商务领域的应用较广泛。然而,传统的演化博弈在处理随机扰动影响的时存在一定的局限。近年来,环境治理、安全生产、污染控制等社会治理问题中的随机演化博弈研究较多,为本文隐私保护研究提供了有益的参考。

2.1.5 国内外研究现状评述

在用户隐私保护研究方面,学术界已在医疗、社交网络等领域积累了丰富的成果,相关研究主要围绕隐私保护的实证分析及相应算法展开。然而,与其他领域相比,电子商务环境下的隐私保护,尤其是电子商务平台与商家在隐私保护策略上的互动与博弈行为,还缺乏系统的探讨。此外,政府行为在电子商务隐私保护策略优化中的作用也未得到充分研究,尤其是对监管激励的讨论还很有限。与此同时,尽管微分博弈和演化博弈方法已被广泛应用于供应链管理、社会治理问题等,但针对电商用户隐私保护问题的研究仍然较为匮乏。

本文在此背景下展开,并在已有研究的基础上做出了以下贡献。首先,在确定性假设下,本文研究了自主决策情境和政府监管情境下电商平台与商家的最优隐私保护策略。其次,进一步引入随机扰动因素,以更贴近现实市场中的不确定

性环境，从动态视角探讨各主体策略的稳定性、相互关系和动态演化规律。

2.2 相关理论概述

2.2.1 微分博弈理论

微分博弈是指在连续的一段时间内，由多个参与方进行的持续的博弈，力求完成各自独立、不同的最优化目标，最终获得各参与者们随时间演变出现的策略并使策略达到纳什均衡，即任何参与者都没有单独改变自身策略的意愿。主要用于研究连续时间内多人参与的动态决策问题。微分博弈不同于传统的静态博弈，它考虑了时间因素，参与者的策略选择不仅取决于当前状态，还取决于过去的行为和未来的预期。微分博弈的核心在于参与者如何在连续时间内做出最优决策，以实现自身利益的最大化。每个参与者的决策不仅会影响自身的利益，还会影响其他参与者的决策和整个系统的状态。微分博弈分析通常涉及状态变量、控制变量和目标函数的设置。状态变量描述系统的动态，控制变量代表参与者的决策行为，目标函数则是参与者希望最大化的收益或最小化的成本。

微分博弈中参与者的战略选择是一个连续的过程，系统的动态演化通常通过微分方程来描述。假设有 n 个参与者，每个参与者在 t 时刻选择的行动为 $u_i(t)$ ，那么整个博弈期间的总收益目标函数可以表示为：

$$\max_{x_i} \int_0^T g_i[x_i(t), u_i(t), u_1(t), \dots, u_n(t)] dt + Q[x(T)]$$

其中， $g_i[x_i(t), u_i(t), u_1(t), \dots, u_n(t)]$ 表示参与者 i 在时刻 t 的即时收益，它不仅取决于其自身的策略选择，还受到其他参与者策略 $u_j(t) (j \neq i)$ 及系统状态 $x(t)$ 的影响，函数 $Q[x(T)]$ 是在 T 时刻博弈结束时的最终收益。状态变量 $x(t)$ 满足以下动态方程：

$$\dot{x}(t) = f[t, x(t), u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)], x(t_0) = x_0$$

该方程描述了状态变量随时间的变化，反映参与者的决策对系统状态的影响。

微分博弈的分类可以基于参与者的合作意愿和报酬函数的性质。根据参与者是否有合作意愿可以分为合作博弈和非合作博弈。在合作博弈中，参与者通过协商和合作达成共同的最优策略，以实现整体利益最大化。在非合作博弈中，参与

者各自为战，追求自身利益最大化，通常会出现纳什均衡。根据报酬函数之和是否为零，博弈可分为零和博弈和非零和博弈。在零和博弈中，参与者的收益和损失之和为零，一方的收益意味着另一方的损失。在非零和博弈中，参与者的收益和损失之和不为零，可能出现双赢局面，也可能出现共损局面。

微分博弈广泛应用于供应链管理、资源分配、环境保护等领域。例如，在供应链管理中，微分博弈可以用来研究供应商和制造商之间的动态合作关系。通过建立微分博弈模型，可以分析每个参与者在不同时间点的决策行为，以及这些决策对供应链整体绩效的影响。在资源配置问题中，微分博弈可以帮助决策者制定最优资源配置策略，实现资源的高效利用和可持续发展。在环境保护领域，微分博弈可用于研究国家或地区之间在减排和环境保护方面的合作与竞争，为全球环境政策的制定提供理论支持。微分博弈作为动态博弈理论的核心分支，不仅继承了传统博弈论的基本框架，还引入了时间维度和动态演化机制，从而能够更准确地描述和分析现实世界中的复杂决策问题。通过构建微分博弈模型，研究人员能够探索各决策主体在连续时间内的战略选择及其对系统状态的影响，为政策制定和实际应用提供理论支持。

2.2.2 随机演化博弈理论

演化博弈论是一种研究在自然选择和个体间互动过程中策略如何演化的理论。该理论起源于生物学，由 Fisher、Hamilton 等人最先提出。相较于传统的博弈论，它摒弃了完全理性和完全信息的假设，因而更具现实意义。随后，其应用领域扩展到经济学、社会学、政治学等多个学科，为研究群体行为的动态演化提供了独特的视角。传统的博弈论往往假定各博弈主体是超级理性的，并且在完全信息条件下进行，这要求博弈参与人足够聪明、拥有无穷的推断能力并且不会犯错。然而在现实中，一个系统不断地受到小的扰动，这些扰动是通过突变或者普通的偶然事件产生的，进而影响到个体的繁殖，因此，充分考虑系统所受到的随机干扰所带来的影响是十分有必要的。作为演化博弈论的一个重要分支，随机演化博弈考虑了环境中的不确定性因素，更接近现实世界中复杂多变的情况。

在随机演化博弈中，存在一个由大量个体组成的群体。每个个体都被视为参与者，从有限的策略集 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 中选择策略。个体的收益由支付函数决定。

支付函数 $u(s_i, s_j)$ 表示当采用策略 s_i 的个体与采用策略 s_j 个体相互作用时前者所获得的收益。例如，在生物群体中，支付可理解为个体的繁殖成功率等；在经济群体中，支付可能是企业的利润。适应度是个体在群体中生存和繁殖能力的衡量标准，通常与支付相关联，支付越高，适应性越强。

随机演化博弈的核心特征是引入随机因素。这些随机因素可能来自环境的随机波动、个体行为的偶然偏差等。例如，在市场环境中，宏观经济形势的突然变化、消费者偏好的随机变化等都可以被视为随机因素，它们会对个体的支付和策略选择产生影响。经典的复制者动态方程描述了群体中策略频率的确定性变化。在随机演化博弈中，需要对其进行扩展，以纳入随机因素。通常引入随机微分方程来描述策略频率的动态演化。设 $x_i(t)$ 表示在时刻 t 群体中采用策略 s_i 的个体比例， $\sum_{i=1}^n x_i(t) = 1$ 。考虑随机扰动后的动态方程可表示为：

$$dx_i(t) = \left[x_i(t) \left(u(s_i, x(t)) - \bar{u}(x(t)) \right) \right] dt + \sigma_i dw_i(t)$$

其中， $u(s_i, x(t))$ 是策略 s_i 在群体策略分布为 $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ 时的期望支付。 $\bar{u}(x(t)) = \sum_{j=1}^n x_j(t) u(s_j, x(t))$ 是群体的平均支付， σ_i 是与策略 s_i 相关的随机扰动强度， $dw_i(t)$ 是代表随机噪声的标准维纳过程。

在随机演化博弈中，需要对传统的演化稳定策略（ESS）概念进行调整。随机稳定状态是指在长期演化过程中，群体以高概率趋同的状态，即使受到随机扰动，群体也有较大可能回到邻近状态。它反映了随机环境中群体策略分布的相对稳定性。例如，在一个区域内产业集群的演化模型中，企业间合作与竞争战略的某种组合可能成为一种随机稳定状态，这意味着尽管受到技术创新和市场波动等随机因素的影响，产业集群仍倾向于长期保持这种战略结构。

随机演化博弈论通过引入随机性、策略调整和信息不完全性等要素，不仅能更准确地模拟现实世界中复杂的博弈问题，还能揭示个体如何在不同环境条件下适应性地调整策略，以应对竞争与合作的挑战。因此，随机演化博弈论已成为博弈论研究的重要工具，并被广泛应用于生态学、经济学、社会学等领域，特别是在分析长期演化过程中的稳定性和均衡性方面，具有重要的理论价值。

第3章 自主决策下电商平台与商家的隐私保护合作策略研究

电商的海量交易催生了大规模数据的产生与流转,数据隐私保护问题日益凸显。电商平台及商家在用户数据的收集、管理和应用过程中面临着严峻的挑战。电商隐私保护行为不仅影响用户信任和电商声誉,还对收益产生深远影响。本章考虑电商整体隐私保护水平和声誉的动态变化,构建非合作和合作博弈下平台与商家的微分博弈模型,分析不同决策模式下双方的最优隐私保护策略,并探讨相关影响因素对双方隐私保护投入努力和收益的影响。此外,本章还将模型拓展到考虑电商隐私保护延时效应的影响,并给出了模型的均衡解。

3.1 问题描述及模型构建

为简化模型,考虑一个由单一平台与单一商家构成的电商系统。通常,消费者倾向于享有更好的隐私保护服务,因此用户对电商整体隐私保护水平的信任会影响其声誉。但当用户对电商隐私保护措施了解不透彻时,又会依赖平台的声誉做出决策。本章具体研究框架图如图 3-1 所示。

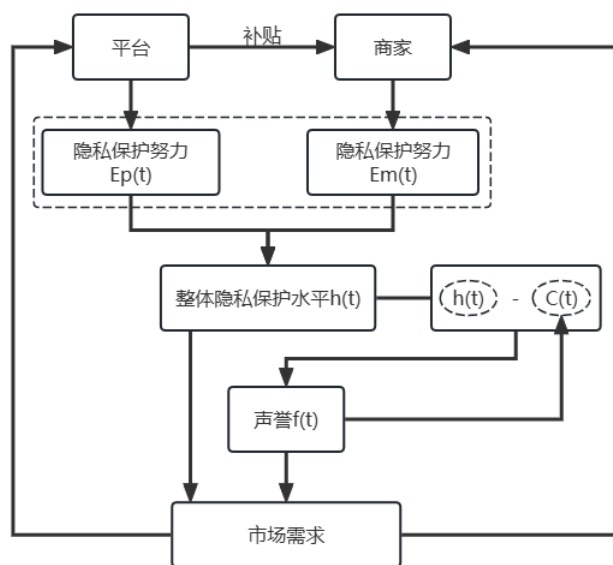


图 3-1 研究框架图

假设 1 平台和商家都是理性决策者，双方具有相同的贴现率 $\rho > 0$ （评估隐私保护措施未来收益或成本的当前值）。

假设 2 平台和商家针对隐私保护问题投入的努力程度分别为 $E_p(t)$ 、 $E_m(t)$ ，其中 $t \in [0, +\infty]$ 为时间变量。

假设 3 平台、商家的隐私保护成本与各自投入的努力程度有关，假定隐私保护成本是投入努力程度的二次凸函数^[73]，即

$$C_i(t) = \frac{1}{2} r_i E_i^2(t), (i = p, m)$$

其中 $r_i > 0$ 为各方投入努力的成本系数， $i = p, m$ 指代平台和商家。

假设 4 电商的整体隐私保护水平是一个随时间变化的动态变量。参考文献[74]，用变量 $h(t)$ 表示 t 时刻电商的整体隐私保护水平，其动态变化率与平台和商家的决策行为有关，因此动态变化率满足下列微分方程：

$$\dot{h}(t) = \lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t), h(0) = h_0 \quad (3-1)$$

其中， λ_p 、 λ_m 分别为各自的隐私保护努力水平对整体隐私保护程度的影响； $\omega > 0$ 表示由于一些原因（如隐私保护技术随着时间的流逝而退化、黑客的攻击等）导致的隐私保护水平的衰退。

假设 5 电商的声誉也是一个动态变化的过程，受用户信任效应的影响^[75]。而电商的隐私保护措施是获得用户信任的基础^[76]，故有 $h(t) - C(t)$ 。采用 Nerlove-Arrow 商誉模型^[77]的变形来表示声誉的变化过程：

$$\dot{f}(t) = \varepsilon [h(t) - C(t)] - \eta f(t), f(0) = f_0 \quad (3-2)$$

其中， $C(t)$ 为用户信任与满意度， $\varepsilon > 0$ 为用户信任效应对声誉的影响系数， $\eta > 0$ 为声誉随时间演变而造成的衰减系数。

假设 6 当用户对电商隐私保护措施不了解时，电商声誉会影响用户的信任和满意度^[78-79]，这里有

$$C(t) = \tau f(t) \quad (3-3)$$

其中， $\tau > 0$ 为用户信任和满意度—声誉之间的转换系数。将式(3-3)代入式(3-

2), 得

$$\dot{f}(t) = \varepsilon h(t) - (\varepsilon\tau + \eta)f(t), f(0) = f_0$$

因电商声誉和隐私保护会影响消费者购买意愿^[80-81], 假设电商市场规模受隐私保护程度和声誉的共同影响, 市场规模越大, 各方收益就越高, 有

$$\pi_i(t) = \theta_i [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)], (i = p, m) \quad (3-4)$$

其中, $D_0 > 0$ 为基础市场规模; $\alpha > 0$ 、 $\beta > 0$ 分别表示隐私保护程度和声誉对市场规模的影响系数; $\theta_i > 0$ 为除了隐私保护成本以外的, 单位收益减去单位运营成本的各方收益系数。

本文将建立非合作博弈和合作博弈模型。非合作博弈分为无补贴和有补贴情形, 其中, 有/无补贴指代平台向商家补贴与否。合作博弈不涉及补贴问题。所以, 假设 7 如下。

假设 7 为促进商家积极地保护用户隐私信息, 平台可以采用激励商家的方式给予其部分补贴 $\varphi \in (0, 1]$, 以实现减少自身监管成本、提高市场核心竞争力的目标。

符号定义如表 3-1 所示。

表 3-1 符号定义

符号	定义
$E_i(t)$	t 时刻隐私保护投入努力, $i = p, m$ (平台, 商家)
r_i	投入努力的成本系数($r_i > 0$)
$h(t)$	t 时刻电商整体的隐私保护水平
λ_i	隐私保护努力对整体隐私保护程度的影响
$f(t)$	t 时刻电商系统声誉
ε	用户信任效应对声誉的影响系数($\varepsilon > 0$)
η	声誉随时间演化而造成的衰减系数($\eta > 0$)
τ	用户信任—声誉之间的转换系数($\tau > 0$)
α	隐私保护对市场规模的影响系数($\alpha > 0$)
β	声誉对市场规模的影响系数($\beta > 0$)
D_0	基础市场规模($D_0 > 0$)
θ_i	边际收益系数($\theta_i > 0$)
ρ	贴现率($\rho > 0$)
$C(t)$	t 时刻用户信任与满意度
ω	隐私保护水平衰退系数($\omega > 0$)

3.2 模型分析

3.2.1 无补贴的非合作博弈模型

考虑平台和商家同时且独立地确定自身的隐私保护决策。这种情况多体现在平台发展初期，由于平台的普及率较低，参与主体在隐私保护方面的投入取决于即时收益，且此时平台不给予商家补贴。故两方的收益函数分别为

$$\begin{cases} J_p^N = \max_{E_p} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) \right\} d_t \\ J_m^N = \max_{E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m}{2} E_m^2(t) \right\} d_t \end{cases} \quad (3-5)$$

命题 3.1 均衡结果如下

平台和商家的最优努力投入为

$$E_p^{N*} = \frac{\theta_p \lambda_p [\beta \varepsilon + \alpha (\varepsilon \tau + \eta + \rho)]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_p}, \quad (3-6)$$

$$E_m^{N*} = \frac{\theta_m \lambda_m [\beta \varepsilon + \alpha (\varepsilon \tau + \eta + \rho)]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_m}. \quad (3-7)$$

双方的均衡收益为

$$V_p^{N*} = \frac{1}{2} \theta_p \left(\frac{\frac{2f^N \beta}{\varepsilon \tau + \eta + \rho} + \frac{2h^N [\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)}}{2D_0 + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)]^2 (2r_p \theta_m \lambda_m^2 + r_m \theta_p \lambda_p^2)}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p}} \right), \quad (3-8)$$

$$V_m^{N*} = \frac{1}{2} \theta_m \left(\frac{\frac{2f^N \beta}{\varepsilon \tau + \eta + \rho} + \frac{2h^N [\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)}}{2D_0 + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)]^2 (r_p \theta_m \lambda_m^2 + 2r_m \theta_p \lambda_p^2)}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p}} \right). \quad (3-9)$$

整体隐私保护水平的最优轨迹为

$$\begin{aligned} h^{N*} &= \frac{Q^N}{\omega} + \left(h_0 - \frac{Q^N}{\omega} \right) e^{-\omega t}, \\ Q^N &= \frac{[\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)] (r_p \theta_m \lambda_m^2 + r_m \theta_p \lambda_p^2)}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_m r_p}. \end{aligned} \quad (3-10)$$

电商系统声誉的最优轨迹为

$$\begin{aligned} f^{N*} &= e^{-(\varepsilon\tau+\eta)t} \left(f_0 - \frac{G^N}{\varepsilon\tau+\eta} \right) + \frac{G^N}{\varepsilon\tau+\eta}, \quad G^N = \varepsilon \left[K^N + e^{-t\omega} (h_0 - K^N) \right], \\ K^N &= \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\rho + \varepsilon\tau + \eta)](r_p\theta_m\lambda_m^2 + r_m\theta_p\lambda_p^2)}{(\varepsilon\tau + \eta + \rho)\omega(\rho + \omega)r_m r_p}. \end{aligned} \quad (3-11)$$

证明 见附录 1-1-1。

推论 3.1 无补贴情形下，平台和商家的努力投入与各参数关系有

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_i^N}{\partial \lambda_i} > 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \theta_i} > 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \varepsilon} > 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \tau} < 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \eta} < 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \omega} < 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial r_i} < 0, \\ \frac{\partial E_i^N}{\partial \rho} < 0. \end{aligned}$$

证明 见附录 1-1-3。

分析表明，整体隐私保护水平和声誉对市场规模的影响系数 α 和 β 都与平台和商家的隐私保护投入呈正相关。同样，用户信任对声誉的影响系数 ε 也与隐私保护投入呈正相关。而用户信任与满意度—声誉的转化系数 τ 、声誉衰减系数 η 、隐私保护水平衰减系数 ω 、成本系数 r_i 以及贴现率 ρ 均与隐私保护投入呈负相关。值得注意的是，当转化系数较高时，电商平台和商家可能会产生认知偏差，误认为即使减少隐私保护投入，只要在其他方面保持用户信任度和满意度，整体声誉和市场表现就不会受到影响。此外，经济利益和成本控制压力也常常促使平台和商家减少隐私保护方面的投入。然而，隐私保护投入的收益往往在未来才能体现，较高的贴现率会降低这些未来收益的现值，从而导致与隐私保护投入的负相关。

3.2.2 有补贴的非合作博弈模型

随着用户隐私意识的增强，电商平台会通过补贴激励商家提供更好的用户隐私保护服务。因此，该模式下的决策顺序是：平台是博弈的主导者，商家是跟随者，商家在观察平台的决策后做出自己的决策。在此，两方的收益函数分别为

$$\begin{aligned} J_m^S &= \max_{E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m}{2} (1 - \varphi) E_m^2(t) \right\} dt \\ J_p^S &= \max_{E_p} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) - \frac{r_m}{2} \varphi E_m^2(t) \right\} dt. \end{aligned} \quad (3-12)$$

命题 3.2 均衡结果如下

平台和商家的最优努力投入为

$$E_p^{S*} = \frac{\theta_p \lambda_p [\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]}{(\eta + \rho + \varepsilon \tau)(\rho + \omega) r_p}, \quad (3-13)$$

$$E_m^{S*} = \frac{\lambda_m (\theta_m + 2\theta_p) [\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]}{2(\eta + \rho + \varepsilon \tau)(\rho + \omega) r_m}. \quad (3-14)$$

平台对商家的最优补贴为

$$\varphi^* = 1 - \frac{2\theta_m}{\theta_m + 2\theta_p}. \quad (3-15)$$

双方的均衡收益为

$$V_p^{S*} = \frac{f^S \beta \theta_p}{\varepsilon \tau + \eta + \rho} + \frac{h^S [\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)] \theta_p}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)} + \frac{8D_0 \theta_p + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]^2 [r_p (\theta_m + 2\theta_p)^2 \lambda_m^2 + 4r_m \theta_p^2 \lambda_p^2]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p}}{8\rho}, \quad (3-16)$$

$$V_m^{S*} = \frac{1}{4} \theta_m \left(\frac{\frac{4f^S \beta}{\varepsilon \tau + \eta + \rho} + \frac{4h^S [\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)}}{4D_0 + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]^2 [r_p (\theta_m + 2\theta_p)^2 \lambda_m^2 + 4r_m \theta_p^2 \lambda_p^2]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p}} \right). \quad (3-17)$$

整体隐私保护水平的最优轨迹为

$$h^{S*} = \frac{Q^S}{\omega} + \left(h_0 - \frac{Q^S}{\omega} \right) e^{-\omega t}, \quad (3-18)$$

$$Q^S = \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)] [r_p (\theta_m + 2\theta_p)^2 \lambda_m^2 + 2r_m \theta_p^2 \lambda_p^2]}{2(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_m r_p}.$$

电子商务声誉的最优轨迹为

$$f^{S*} = e^{-(\varepsilon \tau + \eta)t} \left(f_0 - \frac{G^S}{\varepsilon \tau + \eta} \right) + \frac{G^S}{\varepsilon \tau + \eta}, \quad G^S = \varepsilon [K^N + e^{-t\omega} (h_0 - K^S)], \quad (3-19)$$

$$K^S = \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)] [r_p (\theta_m + 2\theta_p)^2 \lambda_m^2 + 2r_m \theta_p^2 \lambda_p^2]}{2(\varepsilon \tau + \eta + \rho)\omega(\rho + \omega) r_m r_p}.$$

证明 见附录 1-1-2。

推论 3.2 较之于无补贴情形，在补贴情形下，商家的最优努力水平除了与自身收益系数 θ_m 正相关，也与平台的收益系数 θ_p 正相关，且平台收益系数 θ_p 对商家努力水平的影响大于商家自身收益系数 θ_m 对决策的影响。

证明 见附录 1-1-4。

在补贴环境中，商家的最优努力水平与其自身收益系数 θ_m 成正比，揭示了商家根据盈利情况调整努力以最大化个体利益的理性经济行为。然而，更加引人关注的是平台收益系数 θ_p 对商家努力水平的影响超过商家自身收益系数 θ_m 。这一发现表明商家在决策时可能更重视平台收益而非仅限于个体收益。与无补贴情形不同，补贴在调节市场驱动的资源投入结构方面具有重要作用。当平台盈利能力更强时，商家更愿意积极投入，这凸显了平台对商家行为和决策的影响。因此，平台在设计补贴政策时，应重点考虑如何提高用户隐私保护服务下的收益潜力，间接提升商家共同推进隐私保护标准的积极性和行动力。

推论 3.3 平台补贴商家情形下，只有当 $\theta_p > \frac{\theta_m}{2}$ 时，平台才会给予商家补贴。且平台最优补贴比例 φ^* 与平台收益系数 θ_p 正相关，与商家收益系数 θ_m 负相关。

可以看出，平台是否愿意补贴取决于其最低收益是否足够大。这表明，补贴的设计应权衡成本和收益，并考虑到双方收益的差异。为了提高隐私保护环境下补贴的有效性，有必要确保平台本身在用户隐私保护方面具有较高的收益影响。此外，平台应注意最优补贴比例与平台收益系数的正比关系，以及与商家收益系数的反比关系。也就是说，平台的收入系数越高，可提供的补贴比例就越高。反之，商家收入系数的增加可能会降低平台的补贴意愿。

3.2.3 合作博弈模型

合作模式下平台和商家共同决策以实现整体收益实现最大化。目标函数为

$$J^T = \max_{E_p, E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ (\theta_p + \theta_m) [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) - \frac{r_m}{2} E_m^2(t) \right\} dt. \quad (3-20)$$

命题 3.3 均衡结果为

平台和商家的最优努力投入为

$$E_p^{T*} = \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)](\theta_m + \theta_p)\lambda_p}{(\eta + \rho + \varepsilon \tau)(\rho + \omega)r_p}, \quad (3-21)$$

$$E_m^{T*} = \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)](\theta_m + \theta_p)\lambda_m}{(\eta + \rho + \varepsilon \tau)(\rho + \omega)r_m}. \quad (3-22)$$

均衡收益为

$$V^{T*} = \frac{(\theta_m + \theta_p)}{2} \left(\frac{\frac{2f^T \beta}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} + \frac{2h^T [\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)} + \frac{2D_0 + \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]^2 (\theta_m + \theta_p)(r_p \lambda_m^2 + r_m \lambda_p^2)}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p}}{\rho} \right). \quad (3-23)$$

整体隐私保护水平的最优轨迹为

$$h^{T*} = e^{-\omega t} \left(h_0 - \frac{Q^T}{\omega} \right) + \frac{Q^T}{\omega}, \quad (3-24)$$

$$Q^T = \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)](\theta_m + \theta_p)(r_p \lambda_m^2 + r_m \lambda_p^2)}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)r_m r_p}.$$

电子商务声誉的最优轨迹为

$$f^{T*} = e^{-(\varepsilon\tau + \eta)t} \left(f_0 - \frac{G^T}{\varepsilon\tau + \eta} \right) + \frac{G^T}{\varepsilon\tau + \eta}, \quad G^T = \varepsilon [K^T + e^{-t\omega} (h_0 - K^T)], \quad (3-25)$$

$$K^T = \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)](\theta_m + \theta_p)(r_p \lambda_m^2 + r_m \lambda_p^2)}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)\omega(\rho + \omega)r_m r_p}.$$

证明过程与上述类似，此处省略。

推论 3.4 在协同合作博弈下，平台和商家的努力水平 E_i^{T*} 以及整体收益 V^{T*} 都与两者的边际收益之和 $\theta_p + \theta_m$ 呈正比。

推论 3.4 揭示了合作博弈模式下平台与商家的互动机制及其经济效应。当双方的边际收益之和较高时，平台和商家会加大对隐私保护的投入，整体电子商务收益也将相应增加。在电子商务系统中，平台和商家是关键参与者，其合作的深度和广度直接影响着市场活动的效率和效果。当它们能够基于共同利益优化资源配置、减少内部矛盾时，合作的边际收益就会增加，并形成协同效应，促进整体收益的提高。因此，平台和商家应将隐私保护视为共同的责任，树立共同利益意识，构建完善的合作框架和沟通机制，实现高标准的隐私保护。

3.3 比较分析

在本节中，为了评估不同模式下的决策，对第 3.2 节中的结果进行了比较分析。

推论 3.5 不同模式下平台和商家的最优隐私保护投入满足： $E_p^{N*} = E_p^{S*} < E_p^{T*}$ ，

$$E_m^{N*} < E_m^{S*} < E_m^{T*}。$$

证明 见附录 1-1-5。

如上分析所示，虽然补贴期间平台在隐私保护方面的直接投入没有显著增加，但补贴显著增加了商家在隐私保护方面的投入。这凸显了平台补贴政策在激励商家加强数据隐私保护方面的积极作用。在合作推进用户隐私保护的过程中，平台与商家的努力达到了帕累托最优。通过明确激励机制，可以进一步激励商家积极参与隐私保护措施，确保电商在用户隐私保护方面的正外部性。在合作框架的设计中，引导商家的努力与平台的整体战略目标保持一致至关重要。这种一致性不仅有助于优化资源配置，还能促进长期互利的合作关系。

推论 3.6 不同模式下最优整体隐私保护水平、声誉满足： $h_p^{N*} < h_p^{S*} < h_p^{T*}$ ，

$$f_p^{N*} < f_p^{S*} < f_p^{T*}。$$

证明 见附录 1-1-6。

平台对商家的补贴可以显著提高电子商务系统的整体隐私保护水平和声誉。通过构建合作机制，可以实现整体隐私保护水平和电子商务声誉的双重优化。这一现象凸显了补贴不仅是促使商家积极参与的经济激励，也间接推动了整个电子商务环境向更高的安全和声誉水平迈进。当平台和商家建立起紧密的合作关系时可以更高效地整合资源，协同应对隐私保护的挑战，从而实现电子商务整体隐私保护水平和声誉的帕累托最优。因此，电子商务管理者应战略性地运用激励与合作机制，不断深化隐私保护的进程。

推论 3.7 不同模式下的最优收益满足： $V_p^{S*} > V_p^{N*}$ ， $V_m^{S*} > V_m^{N*}$ ， $V^{T*} > V^{S*}$ 。

推论 3.7 指出，当电商平台对商家进行补贴时，与无补贴模式相比，双方都能实现收益的帕累托改进。电商平台的补贴策略可以看作是对长期收益的战略投资。通过这一策略，商家有动力加强隐私保护，提高销售额，从而对平台产生积极影响，最终形成良性商业循环。

此外，研究进一步发现，平台与商家合作的综合收益超过了双方独立行动所能实现的单独收益。这一发现凸显了促进和维护合作互信的商业生态系统以促进互惠互利的重要性。

3.4 数值算例

为了验证分析结果并进一步比较三种模式之间的差异,本节将进行数值模拟分析。参数设置如下: $\lambda_m = 0.3$, $\lambda_p = 0.2$, $r_m = 0.3$, $r_p = 0.2$, $\omega = 0.1$, $\varepsilon = 0.5$, $\eta = 0.1$, $D_0 = 1$, $\alpha = 0.6$, $\beta = 0.5$, $\rho = 0.1$, $h_0 = 5$, $f_0 = 3$ 和 $\tau = 0.5$ 。根据上述分析,只有当 $2\theta_p > \theta_m$ 时,平台才会选择激励商家保护用户隐私,因此设置 $\theta_p = 0.5$, $\theta_m = 0.5$ 。

3.4.1 补贴对无补贴模式的改善作用

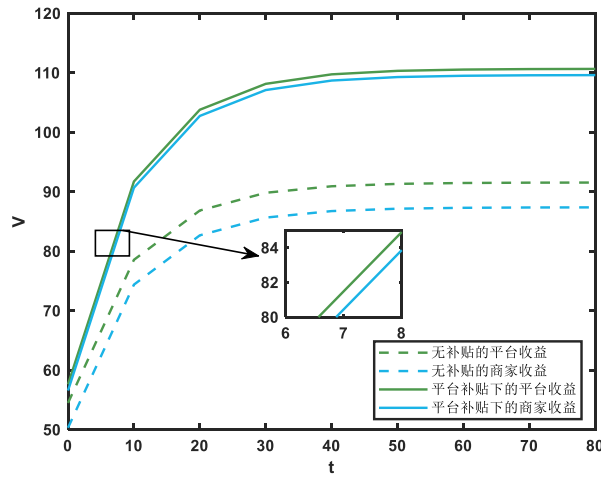


图 3-2 补贴前后收益对比

如图 3-2 所示,在 Stackelberg 主从博弈模型框架下,电商平台通过向商家提供补贴,实现了双方收益的提升。随着时间 t 的推移,参与者的回报逐步增长,最终达到稳定水平,并显著优于无补贴情形。该补贴策略的核心在于激励商家更加关注用户隐私保护,从而带来两方面的收益:一是直接商品销售收益的增加,二是通过补贴获得的额外收益。随着隐私保护水平的提高,市场规模进一步扩展,进而增强平台的整体盈利能力。如 Shopify 通过推出先进的客户隐私管理模块,帮助商家保护用户隐私并提升用户体验。Shopify 持续优化卖家服务,此举得到了许多商家的认可,使商家数量和平台表现都得到了提高。

3.4.2 三种模式下整体收益的对比

根据图 3-3,三种模式下的最优收益排序如下:双边合作博弈收益最高,主

从博弈次之，无补贴决策收益最低。此外，合作博弈的收益明显高于非合作模式。这一结果验证了我们的理论模型，并提供了重要的实践启示。在当今的商业环境中，企业面临着与其他企业、组织或个人合作的多种选择。其中，用户隐私保护作为一项重要的考虑因素，不仅关系到企业的合规性，还直接影响到用户信任的建立和企业竞争力的提升。为应对这一挑战，企业应积极寻求与供应链伙伴、技术提供商或用户的合作，共同保障用户隐私安全。例如，苹果公司通过“隐私标签”和“应用追踪透明化（ATT）”政策与开发者开展合作，这一举措不仅加强了用户数据的安全性，还实现了收入的可持续增长。

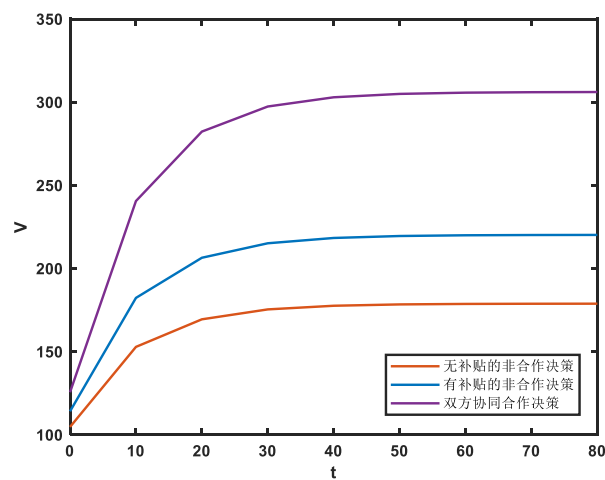


图 3-3 整体收益比较

3.4.3 转换系数对努力和收益的影响

图 3-4、3-5、3-6 展示了用户信任与满意度—声誉之间的转换系数与平台和商家投入的努力及收益的关系。

随着转换系数的增大，平台和商家在隐私保护方面的投入及相应收益都呈下降趋势。当用户认为高声誉是优质体验和服务的保证时，电商平台可能面临战略误判的风险：过度依赖声誉，低估隐私保护投入的必要性。且当用户高度依赖电商的声誉来衡量信任和满意度时，往往会对服务抱有很高的期望。如果这些期望得不到满足，用户可能会产生失望情绪，进而影响后续的购买行为和忠诚度，最终影响电商收益。因此，企业应认识到忽视隐私保护措施可能会导致潜在的信任危机，特别是在数据泄露之后，声誉可能会严重受损。

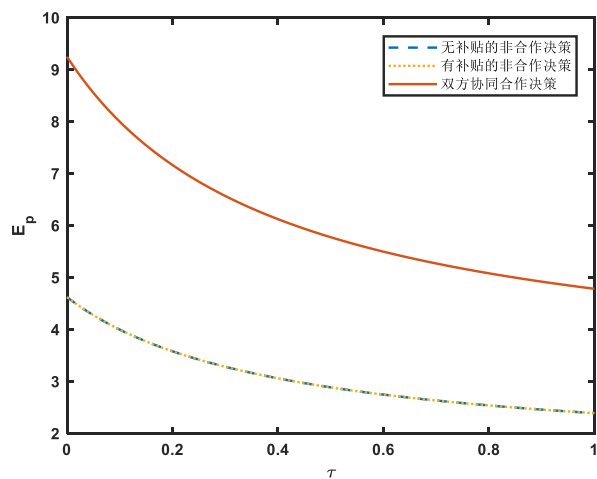


图 3-4 转换系数 τ 对平台隐私保护努力的影响

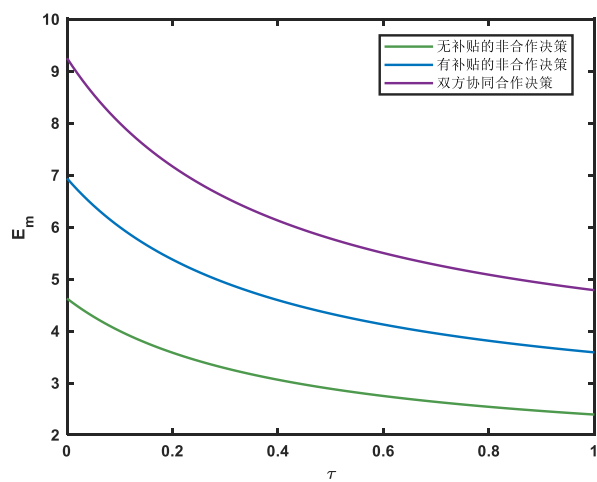


图 3-5 转换系数 τ 对商家隐私保护努力的影响

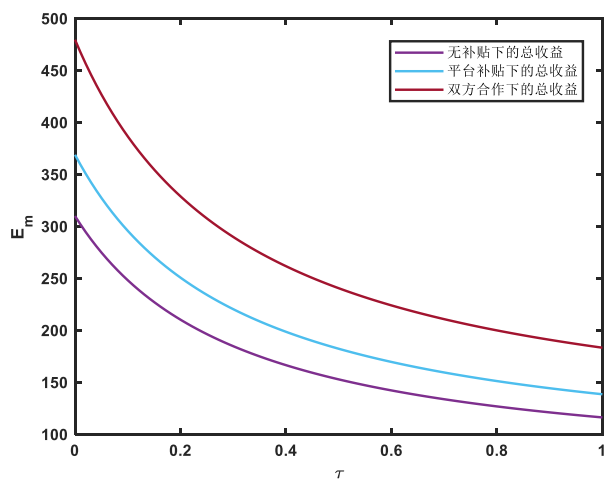


图 3-6 转换系数 τ 对整体收益的影响

3.4.4 参数对双方隐私保护努力的影响

图 3-7 和图 3-8 揭示了三种模式中关键参数与各方投入努力之间的关系。首先，隐私保护投入的效率 λ_i 与平台和商家的努力水平呈正相关。换言之，当隐私保护资源得到有效分配时，平台和商家更倾向于投入更多努力。这种投入不仅能增强用户信任，还能扩大平台的用户群。相反，这些投入的成本 r_i 与努力水平呈负相关。这一结果强调了成本效益在隐私保护工作中的重要性，过高的成本可能会阻碍甚至终止隐私保护措施的实施。因此，在制定隐私保护战略时，必须权衡投入和产出，努力实现最佳平衡。值得注意的是，在有补贴和无补贴的决策方案中，平台的努力程度都表现出稳定性。这种稳定性在有补贴的决策环境中尤为明显，这主要归因于平台在决策中的主导地位。在这一模型中，平台采取战略措施维持努力水平以实现收入最大化，从而导致投入水平的稳定。在合作博弈模式中，平台和商家的最优努力水平最大化，以优化隐私保护收益和声誉发展轨迹。

这些发现对管理实践具有深远意义。首先，企业应重视隐私保护的投入效率，通过技术创新和流程优化提高资源转化效率。其次，企业在追求更高水平的隐私保护时，需要综合考虑成本收益权衡机制，确保投入成本与预期收益相匹配，避免过度投入导致资源错配或经营压力增大。最后，在合作过程中，企业应充分发挥自身优势，通过精准的战略规划、动态的合作模式调整、优化的资源整合路径，实现各方利益最大化的共赢目标。

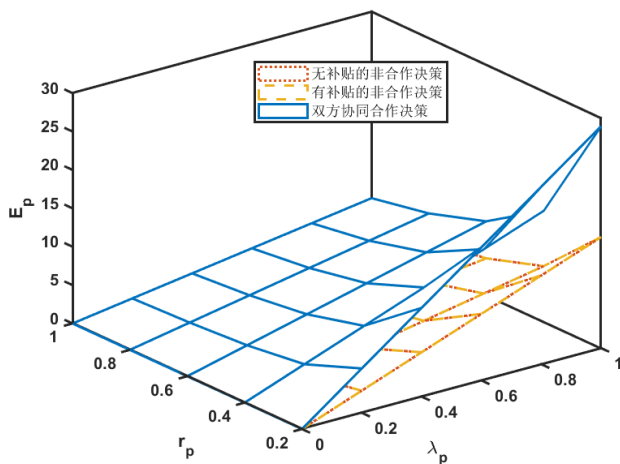
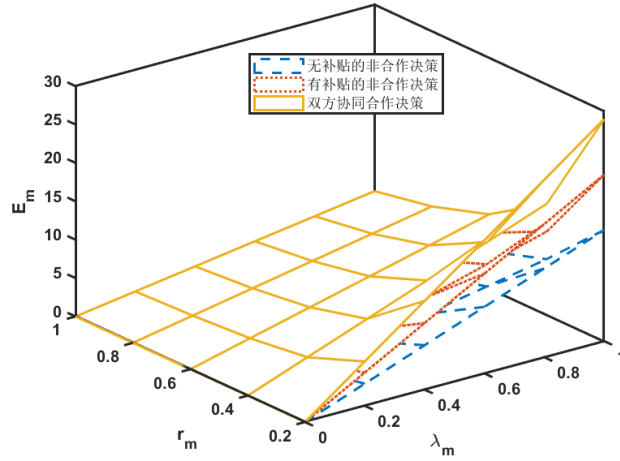


图 3-7 r_p 、 λ_p 对平台努力水平的影响


 图 3-8 r_m 、 λ_m 对商家努力水平的影响

3.5 隐私保护延时效应

实际上，用户隐私保护是一项复杂的系统工程，涉及多方面的举措。无论是电子商务平台还是商家，其在隐私保护方面的资源投入对隐私保护整体水平的影响通常不是一蹴而就的。具体来说，实施技术、系统集成、人员培训、意识转变，以及对用户感知和市场反馈的考虑等，都会涉及延时，从而影响整体隐私保护水平。

因此，本节将整体隐私保护的延时效应纳入决策框架，对基础模型进行拓展研究。通过引入平台隐私保护努力延迟时间和商家隐私保护努力延迟时间两个关键参数，考察在延时效应下平台和商家隐私保护策略的动态过程。参考文献[82]，整体隐私保护的动态变化可表示为：

$$\dot{h}(t) = \lambda_p E_p(t - d_p) + \lambda_m E_m(t - d_m) - \omega h(t), h(0) = h_0. \quad (3-26)$$

3.5.1 延时效应下无补贴的非合作博弈模型

在无补贴的非合作博弈下，电子商务平台和商家的收益函数分别为

$$\begin{cases} J_p^{dN} = \max_{E_p} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) \right\} dt \\ J_m^{dN} = \max_{E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m}{2} E_m^2(t) \right\} dt \end{cases}. \quad (3-27)$$

命题 3.4 均衡结果如下

平台和商家的最优努力投入为

$$E_p^{dS*} = \frac{e^{d_p \omega} [\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)] \theta_p \lambda_p}{(\eta + \rho + \varepsilon \tau)(\rho + \omega) r_p}, \quad (3-28)$$

$$E_m^{dS*} = \frac{e^{d_m \omega} [\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)] (\theta_m + 2\theta_p) \lambda_m}{2(\eta + \rho + \varepsilon \tau)(\rho + \omega) r_m}. \quad (3-29)$$

双方的均衡收益为

$$V_p^{dN*} = \frac{1}{2} \theta_p \left\{ \frac{2f^{dN} \beta}{\varepsilon \tau + \eta + \rho} + \frac{2h^{dN} [\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)} + \frac{2D_0 + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]^2 [2e^{d_m \omega} r_p \theta_m \lambda_m^2 - e^{d_p \omega} (-2 + e^{d_p \omega}) r_m \theta_p \lambda_p^2]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p}}{\rho} \right\}, \quad (3-30)$$

$$V_m^{dN*} = \frac{1}{2} \theta_m \left\{ \frac{2f^{dN} \beta}{\varepsilon \tau + \eta + \rho} + \frac{2h^{dN} [\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)} + \frac{2D_0 + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau)]^2 [-e^{d_m \omega} (-2 + e^{d_m \omega}) r_p \theta_m \lambda_m^2 + 2e^{d_p \omega} r_m \theta_p \lambda_p^2]}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p}}{\rho} \right\}. \quad (3-31)$$

整体隐私保护水平的最优轨迹为

$$h^{dN*} = \frac{Q^N}{\omega} + \left(h_0 - \frac{Q^N}{\omega} \right) e^{-\omega t}, \quad (3-32)$$

$$Q^N = \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)] (e^{d_m \omega} r_p \theta_m \lambda_m^2 + e^{d_p \omega} r_m \theta_p \lambda_p^2)}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_m r_p}.$$

电子商务声誉的最优轨迹为

$$f^{dN*} = e^{-(\varepsilon \tau + \eta)t} \left\{ f_0 - \varepsilon \left[\frac{h_0}{\varepsilon \tau + \eta} + \frac{Q^N}{(\varepsilon \tau + \eta)\omega} - \frac{Q^N}{(\varepsilon \tau + \eta - \omega)\omega} \right] \right. \\ \left. + \varepsilon \left[\frac{h_0}{\varepsilon \tau + \eta} + \frac{Q^N}{(\varepsilon \tau + \eta)\omega} - \frac{e^{-t\omega} Q^N}{(\varepsilon \tau + \eta - \omega)\omega} \right] \right\}. \quad (3-33)$$

3.5.2 延时效应下有补贴的非合作博弈模型

在有补贴的非合作博弈下，电商平台和商家的收益函数分别为

$$\begin{cases} J_m^{dS} = \max_{E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m}{2} (1 - \phi) E_m^2(t) \right\} dt \\ J_p^{dS} = \max_{E_p} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) - \frac{r_m}{2} \phi E_m^2(t) \right\} dt \end{cases}. \quad (3-34)$$

命题 3.5 均衡结果如下

平台和商家的最优努力投入为

$$E_p^{dS*} = \frac{e^{d_p\omega} [\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)] \theta_p \lambda_p}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)r_p}, \quad (3-35)$$

$$E_m^{dS*} = \frac{e^{d_m\omega} [\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)] (\theta_m + 2\theta_p) \lambda_m}{2(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)r_m}. \quad (3-36)$$

平台对商家的最优补贴为

$$\varphi^{d*} = \begin{cases} 1 - \frac{2\theta_m}{\theta_m + 2\theta_p}, & 2\theta_p > \theta_m \\ 0, & 2\theta_p \leq \theta_m \end{cases} \quad (3-37)$$

双方的均衡收益为

$$V_m^{dS*} = \frac{1}{4} \theta_m \left\{ \frac{\frac{4f^{dS}\beta}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} + \frac{4h^{dS}[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)} + \frac{4D_0}{\rho} + \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]^2 [-e^{d_m\omega}(-2 + e^{d_m\omega})r_p(\theta_m + 2\theta_p)\lambda_m^2 + 4e^{d_p\omega}r_m\theta_p\lambda_p^2]}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2(\rho + \omega)^2 r_m r_p}}{\rho} \right\}, \quad (3-38)$$

$$V_p^{dS*} = \frac{f^{dS}\beta\theta_p}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} + \frac{h^{dS}[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]\theta_p}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)} + \frac{D_0\theta_p}{\rho} + [\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]^2 \frac{\{e^{d_m\omega}r_p(\theta_m + 2\theta_p)[e^{d_m\omega}(\theta_m - 2\theta_p) + 4\theta_p]\lambda_m^2 - 4e^{d_p\omega}r_m\theta_p\lambda_p^2\}}{8(\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2(\rho + \omega)^2 r_m r_p}. \quad (3-39)$$

整体隐私保护水平的最优轨迹为

$$h^{dS*} = \frac{Q^S}{\omega} + \left(h_0 - \frac{Q^S}{\omega} \right) e^{-\omega t}, \quad (3-40)$$

$$Q^S = \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)][e^{d_m\omega}r_p(\theta_m + 2\theta_p)\lambda_m^2 + 2e^{d_p\omega}r_m\theta_p\lambda_p^2]}{2(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)r_m r_p}.$$

电子商务声誉的最优轨迹为

$$f^{dS*} = e^{-(\varepsilon\tau + \eta)t} \left\{ f_0 - \varepsilon \left[\frac{h_0}{\varepsilon\tau + \eta} + \frac{Q^S}{(\varepsilon\tau + \eta)\omega} - \frac{Q^S}{(\varepsilon\tau + \eta - \omega)\omega} \right] \right\} + \varepsilon \left[\frac{h_0}{\varepsilon\tau + \eta} + \frac{Q^S}{(\varepsilon\tau + \eta)\omega} - \frac{e^{-t\omega}Q^S}{(\varepsilon\tau + \eta - \omega)\omega} \right]. \quad (3-41)$$

3.5.3 延时效应下合作博弈模型

合作决策下的收益函数为：

$$J^{dT} = \max_{E_p, E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ (\theta_p + \theta_m) [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) - \frac{r_m}{2} E_m^2(t) \right\} dt. \quad (3-42)$$

命题 3.6 均衡结果如下

平台和商家的最优努力投入为

$$E_p^{dT*} = \frac{e^{d_p \omega} [\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)] (\theta_m + \theta_p) \lambda_p}{(\eta + \rho + \varepsilon \tau) (\rho + \omega) r_p}, \quad (3-43)$$

$$E_m^{dT*} = \frac{e^{d_m \omega} [\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)] (\theta_m + \theta_p) \lambda_m}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho) (\rho + \omega) r_m}. \quad (3-44)$$

均衡收益为

$$V^{dT*} = \frac{1}{2} (\theta_m + \theta_p) \left\{ \frac{\frac{2f^{dT} \beta}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} + \frac{2h^{dT} [\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)]}{(\eta + \rho + \varepsilon \tau) (\rho + \omega)} + \frac{2D_0}{\rho} - \frac{[\beta \varepsilon + \alpha (\eta + \rho + \varepsilon \tau)]^2 (\theta_m + \theta_p) \left[\frac{e^{d_m \omega} (-2 + e^{d_m \omega}) r_p \lambda_m^2 + e^{d_p \omega} (-2 + e^{d_p \omega}) r_m \lambda_p^2}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p} \right]}{\rho} \right\}. \quad (3-45)$$

整体隐私保护水平的最优轨迹为

$$h^{dT*} = \frac{Q^T}{\omega} + \left(h_0 - \frac{Q^T}{\omega} \right) e^{-\omega t}, \quad (3-46)$$

$$Q^T = \frac{[\beta \varepsilon + \alpha (\varepsilon \tau + \eta + \rho)] (\theta_m + \theta_p) (e^{d_m \omega} r_p \lambda_m^2 + e^{d_p \omega} r_m \lambda_p^2)}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho) (\rho + \omega) r_m r_p}.$$

电子商务声誉的最优轨迹为

$$f^{dT*} = e^{-(\varepsilon \tau + \eta)t} \left\{ f_0 - \varepsilon \left[\frac{h_0}{\varepsilon \tau + \eta} + \frac{Q^T}{(\varepsilon \tau + \eta) \omega} - \frac{Q^T}{(\varepsilon \tau + \eta - \omega) \omega} \right] \right. \\ \left. + \varepsilon \left[\frac{h_0}{\varepsilon \tau + \eta} + \frac{Q^T}{(\varepsilon \tau + \eta) \omega} - \frac{e^{-t\omega} Q^T}{(\varepsilon \tau + \eta - \omega) \omega} \right] \right\}. \quad (3-47)$$

3.5.4 延时对隐私保护努力的影响

图 3-9 和图 3-10 显示，不论是即时影响还是延迟影响，合作博弈下电子商务平台和商家对隐私保护的投入都高于非合作博弈。在隐私保护的即时影响下，无论博弈模式如何，平台和商家的投入都保持不变，且低于延迟影响下的投入。

就隐私保护的延迟影响而言，三种决策模式的延迟时间越长，平台和商家的隐私保护努力投入就越高。这表明，在一定范围内，较长的延迟时间能有效激励平台和商家增加隐私保护投入。

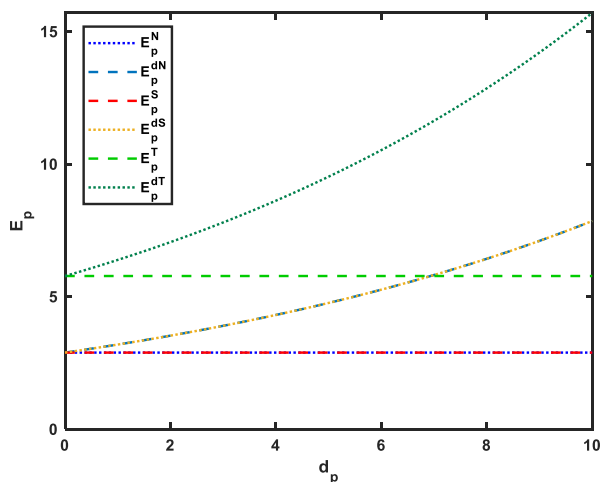


图 3-9 延时对平台隐私保护努力的影响

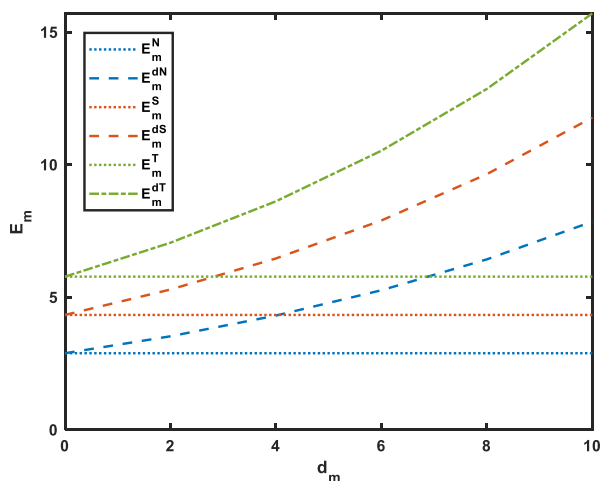


图 3-10 延时对商家隐私保护努力的影响

3.5.5 延时对整体隐私保护水平和声誉轨迹的影响

如下图所示，无论平台和商家的隐私保护努力存在何种延迟，在相同时间点上，受延时效应影响的整体隐私保护水平和声誉均不低于即时生效情况下的水平。这一现象的根本原因在于，延迟时间促使平台和商家增加对隐私保护的投入，从而提升电子商务的声誉。因此，延迟时间对电子商务的整体隐私保护水平和声誉具有正向影响。此外，在合作决策模式下，隐私保护水平和声誉普遍高于非合作博弈模式。对比分析表明，相较于平台隐私保护的延迟，商家隐私保护的延迟对

整体隐私保护和电子商务声誉的影响更大。随着时间的推移，整体隐私保护和声誉水平逐渐趋于稳定状态。

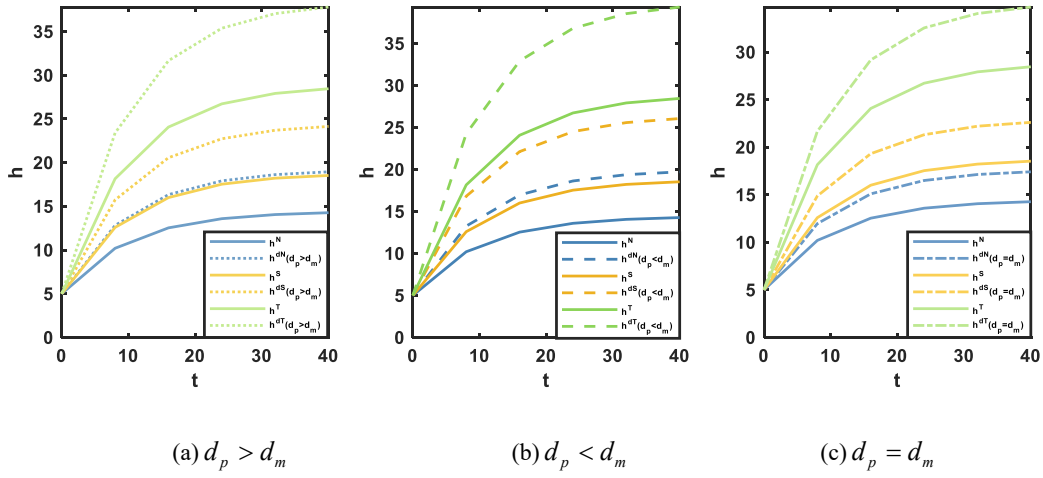


图 3-11 不同模式下整体隐私保护水平的时问轨迹图

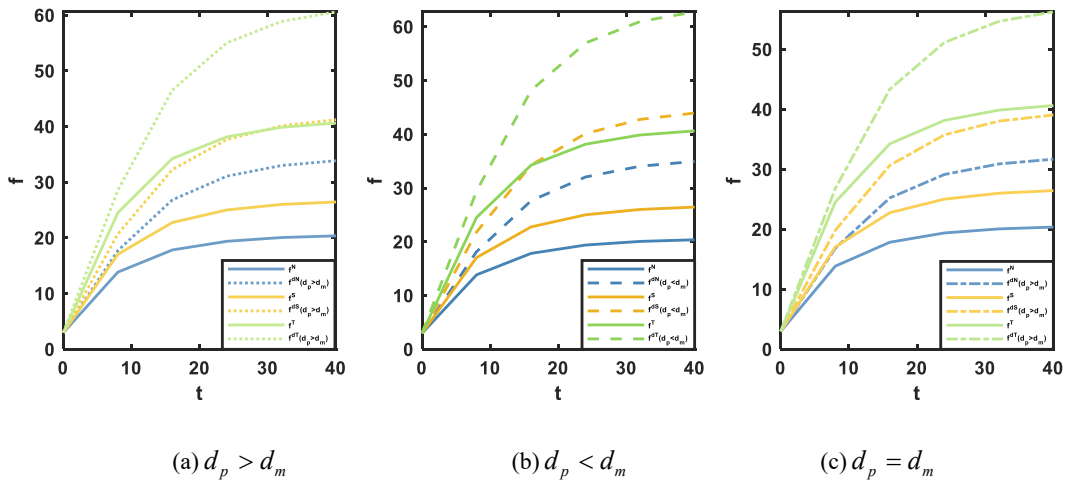


图 3-12 不同模式下声誉的时问轨迹图

3.5.6 延时对收益的影响

图 3-13 表明，当平台和商家的隐私保护延迟时间较短时，补贴策略能有效提升平台收益。具体来说，当 $d_m \in [0, 7.62]$ 时，补贴促使电商成员增加隐私保护投入，从而提高平台收益，使平台倾向于选择补贴策略。相反，当商家的隐私保护延迟较长时（ $d_m \in [7.62, 10]$ ），尽管补贴促进了隐私保护投入，但平台收益并未因此提升，此时平台更倾向于选择不补贴策略。当 $d_p \in [0, 4.74]$ 时，无论是否补贴，

平台的收益都会随延迟时间的增加而上升。当 $d_p \in [4.74, 10]$ 时, 收益会随着延迟时间的增加而下降。

图 3-14 显示, 无论延迟时间如何变化, 非合作博弈下有补贴策略始终能带来更高的商家收益。在当 $d_m \in [0, 4.74]$ 时, 商家的收益随着延迟时间的增加而上升; 当 $d_m \in [4.74, 10]$ 时, 收益则随着延迟时间的增加而下降。

图 3-15 表明, 在非合作博弈模式下, 无补贴时整体收益随延迟时间增加而上升。补贴下的电子商务收益超过无补贴的决策, 并随着平台延迟时间的增加而上升。当 $d_m \in [0, 7.62]$, 收益会随延迟时间的增加而上升; 但当 $d_m \in [7.62, 10]$ 时, 收益则逐渐下降。当 $d_p = 10$ 且 d_m 达到 9.44 时, 有补贴的非合作博弈收益将低于无补贴决策。在合作决策模式下, 商家的隐私保护延迟时间较短时, 整体电子商务收益明显高于非合作博弈模式下的收益。而 $d_p \in [0, 4.74]$, 收益则随着延迟时间的增加而减少。当 $d_m = 0$ 且 d_p 达到 8.93 时, 合作决策下的收益低于有补贴的非合作博弈, 但仍高于无补贴。对 $d_m \in [0, 4.74]$, 收益随着商家延迟时间的增长而增加; 而对 $d_m \in [4.74, 10]$, 收益则逐渐下降。当 $d_p = 10$ 且 d_m 达到 3.32 时, 合作决策下的收益甚至低于无补贴的非合作决策。因此, 电子商务平台和商家应仔细考虑延迟对收益的双重影响, 并根据延迟阈值调整合作策略。

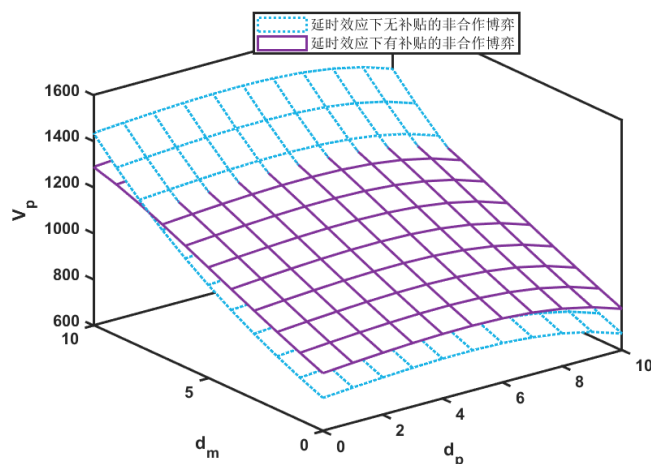


图 3-13 延迟时间对平台收益的影响

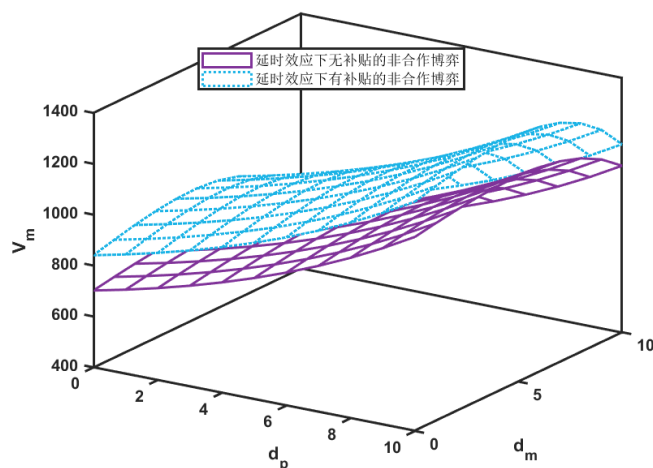


图 3-14 延迟时间对商家收益的影响

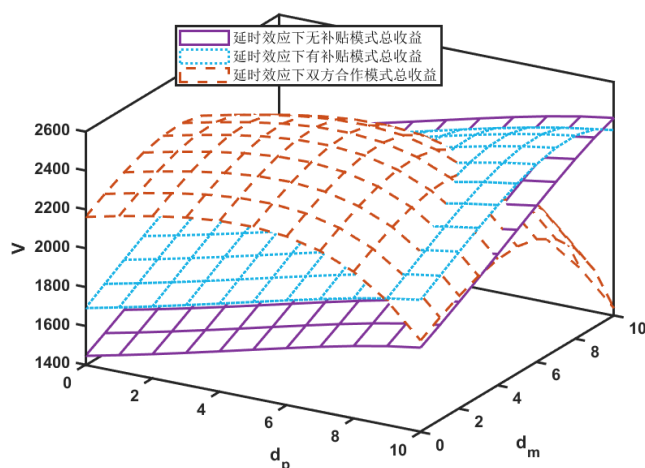


图 3-15 延迟时间对总收益的影响

3.6 本章小结

本章通过构建微分博弈模型，探讨了电子商务平台和商家在无补贴的非合作博弈、有补贴的非合作博弈和合作博弈三种模式下的最优隐私保护策略。得出以下结论：

首先，补贴策略被认为是增加平台和商家收入的有效手段，但其有效性主要取决于平台收入系数的门槛。只有当平台的收入系数超过特定水平时，平台才会向商家提供补贴支持。其次，补贴机制的引入极大地影响了双方的投入行为模式。平台倾向于保持一定的投入力度以实现收益最大化，而商家则在补贴的激励下加大对隐私保护的投入。最后，在合作博弈模型下，双方都能在隐私保护、声誉和

经济收益方面实现全面优化。此外，本章还考虑了时间延迟效应，对主要模型进行了拓展，从而得出所有模型的均衡解。从这些均衡解中得到的管理启示在主模型和扩展模型中都是一致的。研究发现，尽管存在延迟，与非合作博弈相比，合作博弈会带来更多的隐私保护努力、更高的总体隐私保护水平和更强的声誉。此外，只要延迟时间在可控范围内，合作博弈就能带来比非合作决策更高的整体电子商务收益。因此，适度地延迟时间对电子商务有利。

然而，虽然平台和商家可以通过自主决策下的博弈达到均衡，但这种均衡主要依赖于市场机制的自发调节，缺乏外部监管的现实约束。随着数据隐私问题的日益突出，仅靠市场主体的自律难以满足社会对隐私保护的需求。特别是在各种立法实践的影响下，建立以政府为主导的法治监管框架已成为全球趋势。这为研究监管干预下的博弈关系提供了现实基础。

第4章 政府监管下电商平台与商家的隐私保护合作策略研究

第3章探讨了自主决策情境下平台和商家的最优隐私保护策略及其收益。本章重点研究政府监管介入后平台与商家的策略互动机制。随着欧盟 GDPR 和中国《网络安全法》、《数据安全法》、《个人信息保护法》“三位一体”法治体系的实施，强制性的监管干预正在深刻改变电子商务经济生态系统。基于此，本章通过构建政府监管并奖惩下平台与商家的微分博弈模型，分析不同模式下平台与商家的最优隐私保护策略，并进一步探讨关键参数对决策结果的影响。

4.1 问题描述及模型假设

考虑一个由单一平台和单一商家组成的电子商务系统。在这个系统中，用户一般倾向于享受较为全面的隐私保护服务，同时，政府对电子商务平台和商家提供的隐私保护服务有严格的监管要求。本章的具体研究框架如图 4-1 所示。

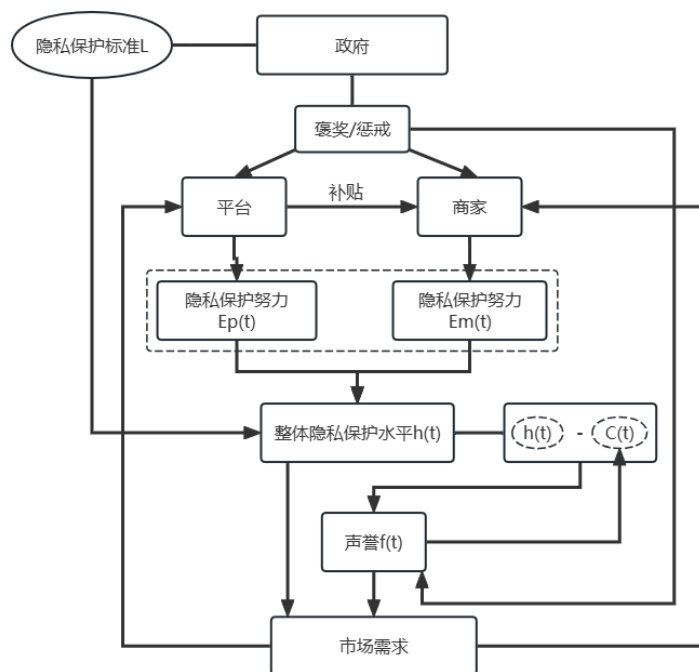


图 4-1 研究框架图

假设 1 平台与商家均为理性的经济决策主体，二者采用相同的贴现率 $\rho > 0$ 来衡量隐私保护措施所带来的未来收益与成本的现值。

假设 2 在隐私保护方面，平台与商家所投入的努力程度分别为 $E_p(t)$ 、 $E_m(t)$ ，其中 $t \in [0, +\infty]$ 为时间变量。

假设 3 平台与商家的隐私保护成本与其各自的努力程度有关。设定隐私保护成本是投入努力程度的二次凸函数：

$$C_i(t) = \frac{1}{2} r_i E_i^2(t), (i = p, m),$$

其中 r_p 、 r_m 分别表示平台和商家在隐私保护中投入努力的成本系数。

假设 4 电商的整体隐私保护水平为动态变量。设 $h(t)$ 表示 t 时刻电商的隐私保护水平。电商整体隐私保护水平动态变化率与平台、商家的努力投入有关：

$$\dot{h}(t) = \lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t), h(0) = h_0$$

其中， λ_p 、 λ_m 分别表示平台和商家隐私保护努力对整体隐私保护水平的影响系数； $\omega > 0$ 为因技术衰退、黑客攻击等原因引起的隐私保护水平退化率。

假设 5 政府设定了隐私保护水平的标准值 L ，当电商系统的整体隐私保护水平 $h(t)$ 高于该标准时，政府对商家和平台进行褒奖；当 $h(t)$ 低于标准时，政府对商家和平台进行惩戒。具体的褒奖或惩戒措施为：

商家获得的褒奖/惩戒为 $\mu\nu(h(t)-L)$ ，平台获得的褒奖/惩戒为 $\mu(1-\nu)(h(t)-L)$ 。

其中 μ 政府对整个电子商务行业的奖惩系数， ν 、 $1-\nu$ 分别表示政府对商家、平台的奖惩比例。

假设 6 电商声誉也是一个动态变化的过程，受用户信任效应的影响。而电商的隐私保护措施是获得用户信任的基础，故有 $h(t)-C(t)$ 。根据政府的监管措施，电商平台与商家的声誉还会受到政府褒奖或惩戒的作用。声誉变化率为：

$$\dot{f}(t) = \varepsilon[h(t)-C(t)] + \kappa(h(t)-L) - \eta f(t), f(0) = f_0.$$

其中， $C(t)$ 为用户信任与满意度， κ 为政府监管对声誉的影响系数， $\varepsilon > 0$ 为用户信任效应对声誉的影响系数， $\eta > 0$ 为声誉随时间演化而造成的衰减系数。

假设 7 当用户缺乏对电商隐私保护措施的充分认知时，电商的声誉会直接影响用户的信任与满意度，即 $C(t) = \tau f(t)$ ， $\tau > 0$ 为用户信任和满意度—声誉之间的转换系数。将其代入声誉演化方程，得

$$\dot{f}(t) = (\varepsilon + \kappa)h(t) - (\varepsilon\tau + \eta)f(t) - \kappa L, f(0) = f_0.$$

鉴于电商的隐私保护水平和声誉均会影响消费者的购买意愿，假设市场规模受二者共同作用，市场规模越大，各方收益就越高，其变化关系如下：

$$\pi_i(t) = \theta_i [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)], (i = p, m)$$

其中， $D_0 > 0$ 为基础市场规模； $\alpha > 0$ 、 $\beta > 0$ 分别表示整体隐私保护水平和声誉对市场规模的影响系数； $\theta_i > 0$ 为除了隐私保护成本以外的，单位收益减去单位运营成本的各方收益系数。

假设 8 为了激励商家主动提高隐私保护水平，电商平台可采取补贴措施，即向商家提供一定的激励 $\varphi \in (0, 1]$ ，以降低其隐私保护成本，从而减少自身监管支出，同时提升市场竞争力。

符号定义如表 4-1 所示。

表 4-1 符号定义

符号	定义
$E_i(t)$	t 时刻隐私保护投入努力， $i = p, m$ (平台，商家)
r_i	投入努力的成本系数($r_i > 0$)
$h(t)$	t 时刻电商整体的隐私保护水平
λ_i	隐私保护努力对整体隐私保护程度的影响
$f(t)$	t 时刻电商系统声誉
L	政府规定的隐私保护水平标准
μ	政府对电商整体的奖惩系数($\mu > 0$)
$\nu, 1 - \nu$	政府对商家, 平台的奖惩比例($0 < \nu < 1$)
ε	用户信任效应对声誉的影响系数($\varepsilon > 0$)
η	声誉随时间演化而造成的衰减系数($\eta > 0$)
τ	用户信任—声誉之间的转换系数($\tau > 0$)
α	隐私保护对市场规模的影响系数($\alpha > 0$)
β	声誉对市场规模的影响系数($\beta > 0$)
D_0	基础市场规模($D_0 > 0$)
θ_i	边际收益系数($\theta_i > 0$)
ρ	贴现率($\rho > 0$)
$C(t)$	t 时刻用户信任与满意度
ω	隐私保护水平衰退系数($\omega > 0$)

4.2 模型构建及分析

4.2.1 无补贴的非合作博弈

无补贴下的主体均已以自身利润最大化为目标来做出决策, 双方收益函数为

$$\begin{cases} J_p^N = \max_{E_p} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) + \mu(1-\nu)(h-L) \right\} d_t \\ J_m^N = \max_{E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m}{2} E_m^2(t) + \mu\nu(h-L) \right\} d_t \end{cases} \quad (4-1)$$

命题 4.1 均衡结果如下

在无补贴的非合作模式下, 平台和商家的最优努力投入分别为

$$E_p^{N*} = \frac{\left[\mu(1-\nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\varepsilon\tau+\eta+\rho} \right) \theta_p \right] \lambda_p}{(\rho+\omega)r_p}, \quad (4-2)$$

$$E_m^{N*} = \frac{\left[\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\varepsilon\tau+\eta+\rho} \right) \theta_m \right] \lambda_m}{(\rho+\omega)r_m}. \quad (4-3)$$

双方的均衡收益分别为

$$\begin{aligned} V_p^{N*} = & \frac{f^N \beta \theta_p}{\varepsilon\tau+\eta+\rho} + \frac{h^N \left[\mu(1-\nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) \theta_p \right]}{\rho+\omega} + \frac{L\mu(-1+\nu) - \frac{L\beta\kappa\theta_p}{\varepsilon\tau+\eta+\rho} + D_0\theta_p}{\rho} \\ & + \left[\frac{\mu - \mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) \theta_p}{2\rho(\rho+\omega)^2} \right] \left\{ \frac{2 \left[\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) \theta_m \right] \lambda_m^2}{r_m} \right. \\ & \left. + \frac{\left[\mu - \mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) \theta_p \right] \lambda_p^2}{r_p} \right\}, \end{aligned} \quad (4-4)$$

$$\begin{aligned} V_m^{N*} = & \frac{f^N \beta \theta_m}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} + \frac{h^N \left[\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) \theta_m \right]}{\rho+\omega} + \frac{D_0\theta_m - L \left(\mu\nu + \frac{\beta\kappa\theta_m}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right)}{\rho} \\ & + \left[\frac{\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) \theta_m}{2\rho(\rho+\omega)^2} \right] \left\{ \frac{\left[\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) \theta_m \right] \lambda_m^2}{r_m} \right. \\ & \left. - \frac{2 \left[\mu - \mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) \theta_p \right] \lambda_p^2}{r_p} \right\}. \end{aligned} \quad (4-5)$$

整体隐私保护水平的最优轨迹为

$$\begin{aligned}
 h^{N*} &= \frac{Q^N}{\omega} + \left(h_0 - \frac{Q^N}{\omega} \right) e^{-\omega t}, \\
 Q^N &= \frac{\left[\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) \theta_m \right] \lambda_m^2}{r_m} + \frac{\left[\mu - \mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) \theta_p \right] \lambda_p^2}{r_p} \quad (4-6) \\
 &\quad \rho + \omega
 \end{aligned}$$

电商系统声誉的最优轨迹为

$$\begin{aligned}
 f^{N*} &= e^{-(\varepsilon\tau + \eta)t} \left(f_0 - \frac{G^N}{\varepsilon\tau + \eta} \right) + \frac{G^N}{\varepsilon\tau + \eta}, M = \frac{Q^N}{\omega}, G^N = \varepsilon \left[M^N + e^{-t\omega} (h_0 - M^N) \right], \\
 M^N &= \frac{\left[\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) \theta_m \right] \lambda_m^2}{r_m} + \frac{\left[\mu - \mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) \theta_p \right] \lambda_p^2}{r_p} \quad (4-7) \\
 &\quad \omega(\rho + \omega)
 \end{aligned}$$

推论 4.1 在无补贴的非合作模式下, 电商平台和商家的隐私保护努力投入与相关参数有如下关系:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial E_i^N}{\partial \alpha} > 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial \beta} > 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial \kappa} > 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial \mu} > 0, \quad \frac{\partial E_p^N}{\partial (1-\nu)} > 0, \quad \frac{\partial E_m^N}{\partial \nu} > 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial \omega} < 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial r_i} < 0, \\
 \frac{\partial E_i^N}{\partial \eta} < 0.
 \end{aligned}$$

由推论 4.1 可知, 隐私保护和声誉对市场规模的影响系数 α 和 β 显著影响主体的隐私投入努力。具体而言, 隐私保护和声誉对市场规模的正向影响越明显, 平台和商家就越倾向于增加隐私保护方面的投入。此外, 政府监管在隐私保护体系中也起着关键作用。声誉的影响以及相关的奖惩措施可以有效指导电子商务平台和商家优化隐私保护策略。奖惩措施都能促使主体加大对隐私安全的投入。同时, 隐私保护努力与投入成本 r_i 、隐私保护衰减 ω 和声誉衰退 η 呈负相关。这表明, 平台和商家在制定隐私保护策略时需要进行严格的成本效益分析, 以确保投入能带来长期的经济效益。在此过程中, 关键是要利用技术创新降低隐私保护措施失效的概率, 并采取有效手段延缓声誉衰退, 以延长声誉积累带来的市场优势。

综上, 电商平台和商家应将隐私保护作为长期竞争战略的一部分, 通过持续投入和创新来提升隐私安全。在战略实施过程中, 要合理控制投入成本, 通过技术手段降低隐私措施失效的可能性。此外, 还应加强声誉管理, 通过诚信经营和优质服务赢得消费者的信任, 从而减缓声誉下降的速度, 巩固市场地位。最后,

政府监管部门应加强政策干预，完善相关法律法规，构建科学合理的褒奖惩戒机制，鼓励电商平台和商家积极履行隐私保护责任。

4.2.2 有补贴的非合作博弈

平台在电商中处于主导地位，商家则为跟随者，为保护用户隐私安全，平台会考虑给予商家一定激励，双方进行 Stackelberg 博弈。双方收益函数为

$$\begin{cases} J_m^S = \max_{E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m}{2} (1-\varphi) E_m^2(t) + \mu \nu (h-L) \right\} d_t \\ J_p^S = \max_{E_p} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) - \frac{r_m}{2} \varphi E_m^2(t) + \mu (1-\nu) (h-L) \right\} d_t \end{cases} \quad (4-8)$$

命题 4.2 均衡结果如下

双方最优努力投入分别为

$$E_p^{S*} = \frac{\left[\mu - \mu \nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{R} \right) \theta_p \right] \lambda_p}{(\rho + \omega) r_p}, \quad (4-9)$$

$$E_m^{S*} = \frac{\left\{ -\mu(-2+\nu)(\eta + \rho + \varepsilon \tau) + \left[\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau) \right] (\theta_m + 2\theta_p) \right\} \lambda_m}{2(\eta + \rho + \varepsilon \tau)(\rho + \omega) r_m}. \quad (4-10)$$

平台给予商家的最优补贴为

$$\varphi^* = \frac{\mu(-2+3\nu)(\eta + \rho + \varepsilon \tau) + \left[\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau) \right] (\theta_m - 2\theta_p)}{\mu(-2+\nu)(\eta + \rho + \varepsilon \tau) - \left[\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon \tau) \right] (\theta_m + 2\theta_p)}. \quad (4-11)$$

双方的均衡收益为

$$V_m^{S*} = \frac{f^S \beta \theta_m}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} + \frac{h^S \left[\mu \nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) \theta_m \right]}{\rho + \omega} + \frac{D_0 \theta_m - L \mu \nu - \frac{L \beta \kappa \theta_m}{\eta + \rho + \varepsilon \tau}}{\rho} + \frac{\left\{ \mu(2-\nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) (\theta_m + 2\theta_p) \right\} \lambda_m^2 + \left\{ \mu \nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) \theta_m \right\} \left[\frac{\left(\frac{\mu(2-\nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) (\theta_m + 2\theta_p)}{r_m} \right) \lambda_m^2 + 4 \left[\frac{\mu - \mu \nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) \theta_p}{r_p} \right] \lambda_p^2}{4\rho(\rho + \omega)^2} \right]}{4\rho(\rho + \omega)^2}, \quad (4-12)$$

$$\begin{aligned}
 V_p^{S*} = & \frac{f^S \beta \theta_p}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} + \frac{h^S \left[\mu - \mu \nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) \theta_p \right]}{\rho + \omega} + \frac{D_0 \theta_p + L \left[\frac{\mu(-1 + \nu)}{\beta \kappa \theta_p} - \frac{\beta \kappa \theta_p}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right]}{\rho} \\
 & + \frac{4 \left[\mu - \mu \nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) \theta_p \right]^2}{r_p} \lambda_p^2 + \frac{\left[\mu(-2 + \nu) - \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) (\theta_m + 2\theta_p) \right]^2}{r_m} \lambda_m^2 \\
 & + \frac{r_p}{8\rho(\rho + \omega)^2} + \frac{r_m}{8\rho(\rho + \omega)^2}。
 \end{aligned} \tag{4-13}$$

整体隐私保护水平的最优轨迹为

$$\begin{aligned}
 V^{S*} = & \frac{Q^S}{\omega} + \left(h_0 - \frac{Q^S}{\omega} \right) e^{-\omega t}, \\
 Q^S = & \frac{\left\{ -\mu(-2 + \nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) (\theta_m + 2\theta_p) \right\} \lambda_m^2}{r_m} + \frac{2 \left[\mu - \mu \nu + R^* \theta_p \right] \lambda_p^2}{r_p} \\
 & \frac{r_m}{2(\rho + \omega)}。
 \end{aligned} \tag{4-14}$$

电商系统声誉的最优轨迹为

$$\begin{aligned}
 f^{S*} = & e^{-(\varepsilon \tau + \eta)t} \left(f_0 - \frac{G^S}{\varepsilon \tau + \eta} \right) + \frac{G^S}{\varepsilon \tau + \eta}, M = \frac{Q^S}{\omega}, G^S = \varepsilon \left[M^N + e^{-t\omega} (h_0 - M^S) \right], \\
 M^S = & \frac{\left[\mu(2 - \nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) (\theta_m + 2\theta_p) \right] \lambda_m^2}{2\omega(\rho + \omega)r_m} \\
 & + \frac{2 \left[\mu - \mu \nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon \tau} \right) \theta_p \right] \lambda_p^2}{2\omega(\rho + \omega)r_p}。
 \end{aligned} \tag{4-15}$$

推论 4.2 当满足下列条件时，平台才会愿意给予商家补贴：

- ① 当 $0 < \nu < \frac{2}{3}$ ，且 $\theta_p \geq \frac{\theta_m}{2}$ ；
- ② 当 $\nu = \frac{2}{3}$ 时，且 $\theta_p > \frac{\theta_m}{2}$ ；
- ③ 当 $\frac{2}{3} < \nu < 1$ ， $\theta_p > \frac{\theta_m}{2}$ 且 $\alpha \geq \frac{-2\mu + 3\mu\nu}{-\theta_m + 2\theta_p}$ 。

推论 4.2 明确了电商平台向商家提供补贴需要满足的条件，其中涵盖了政府奖惩的不同区间以及平台收益系数与商家收益系数之间的约束条件。研究表明，电商平台是否选择补贴商家取决于自身的边际收益能力，这是补贴策略的核心前提。此外，政府的奖惩政策也起着重要作用。政府通过调整奖惩比例，可以

直接影响电商平台的运营成本结构及其市场竞争优势。因此，政府应建立灵活弹性的奖惩机制，引导电商平台制定合理的补贴策略，在促进市场竞争的同时，保证补贴政策的有效性和可持续性。同时，电商平台在制定补贴方案时应注意收益的稳健性，借助精细化的市场分析和数据优化补贴分配，提高补贴的整体效益。

4.2.3 合作博弈模型

合作博弈下的平台和商家构成一个有机整体，共同决策以实现整体收益的最大化。此时目标函数为

$$J^T = \max_{E_p, E_m} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ (\theta_p + \theta_m) [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p}{2} E_p^2(t) - \frac{r_m}{2} E_m^2(t) + \mu(h - L) \right\} dt. \quad (4-16)$$

命题 4.3 均衡结果如下

双方合作下的最优努力投入分别为

$$E_p^{T*} = \frac{\left\{ \mu + \frac{[\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)](\theta_m + \theta_p)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right\} \lambda_p}{(\rho + \omega)r_p}, \quad (4-17)$$

$$E_m^{T*} = \frac{\left\{ \mu + \frac{[\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)](\theta_m + \theta_p)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right\} \lambda_m}{(\rho + \omega)r_m}. \quad (4-18)$$

整体隐私保护水平的最优轨迹方程为

$$h^{T*} = e^{-\omega t} \left(h_0 - \frac{Q^T}{\omega} \right) + \frac{Q^T}{\omega}, \quad (4-19)$$

$$Q^T = \frac{\left[\mu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) (\theta_m + \theta_p) \right] (r_p \lambda_m^2 + r_m \lambda_p^2)}{(\rho + \omega)r_m r_p}.$$

均衡收益为

$$V^{T*} = \frac{f^T \beta (\theta_m + \theta_p)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} + \frac{h^T \left[\mu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) (\theta_m + \theta_p) \right]}{\rho + \omega} + \frac{L \left[\mu + \frac{\beta \kappa (\theta_m + \theta_p)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right]}{\rho} + \frac{D_0 (\theta_m + \theta_p) - (r_p \lambda_m^2 + r_m \lambda_p^2) \left\{ \mu (\eta + \rho + \varepsilon\tau) + [\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)] (\theta_m + \theta_p) \right\}^2}{2\rho (\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p}. \quad (4-20)$$

电商系统声誉的最优轨迹方程为

$$f^{T*} = e^{-(\varepsilon\tau+\eta)t} \left(f_0 - \frac{G^T}{\varepsilon\tau+\eta} \right) + \frac{G^T}{\varepsilon\tau+\eta}, M = \frac{Q^T}{\omega}, G^T = \varepsilon [M^T + e^{-t\omega} (h_0 - M^T)],$$

$$M^T = \frac{\left[\mu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau} \right) (\theta_m + \theta_p) \right] (r_p \lambda_m^2 + r_m \lambda_p^2)}{\omega(\rho+\omega)r_m r_p}。 \quad (4-21)$$

推论 4.3 在协同合作模式下，奖惩比例对主体努力水平的影响如下：

$$\frac{\partial E_p^T}{\partial(1-\nu)} = 0, \quad \frac{\partial E_m^T}{\partial \nu} = 0。$$

上述分析表明，当电商平台与商家建立合作关系时，平台和商家的隐私保护努力投入不再单纯取决于奖惩比例。这一结论表明，合作框架下隐私保护的動力主要来自双方合作的内在价值，而非外部激励。在这种模式下，政府针对单一电商主体的奖惩政策未必能有效提升其隐私保护投入。

因此，政府应从对单个主体的微观干预转向对整个电子商务行业的宏观调控。调整整个行业的奖惩机制，可以增强企业保护隐私的积极性。同时，电商平台和商家应充分认识到，隐私保护不仅是对政策要求的被动应对，更是提升用户信任、巩固商业合作、维护企业声誉的重要战略举措。因此，即使在缺乏外部强制激励的情况下，电商主体也应主动优化资源配置，以促进隐私保护能力的提升。

4.3 比较分析

4.3.1 不同模式下电商成员最优努力比较分析

推论 4.4 平台与商家在三种不同决策模式下的努力水平关系满足：

$$E_p^{N*} = E_p^{S*}, \quad E_p^{T*} > E_p^{S*}, \quad E_m^{S*} > E_m^{N*}, \quad E_m^{T*} > E_m^{S*}。$$

证明：

$$\text{由 } 0 < \nu \leq \frac{2}{3}, \quad \theta_p > \frac{\theta_m}{2}, \quad \frac{2}{3} < \nu < 1, \quad \theta_p > \frac{\theta_m}{2}, \quad \alpha \geq \frac{-2\mu+3\mu\nu}{-\theta_m+2\theta_p}, \quad \text{得}$$

$$E_p^{T*} - E_p^{S*} = \frac{\left\{ \mu\nu(\varepsilon\tau+\eta+\rho) + [\beta(\varepsilon+\kappa) + \alpha(\varepsilon\tau+\eta+\rho)]\theta_m \right\} \lambda_p}{(\eta+\rho+\varepsilon\tau)(\rho+\omega)r_p} > 0。$$

$$E_m^{S*} - E_m^{N*} = -\frac{\left\{ \mu(2-3\nu)(\varepsilon\tau+\eta+\rho) + [\beta(\varepsilon+\kappa) + \alpha(\varepsilon\tau+\eta+\rho)](2\theta_p - \theta_m) \right\} \lambda_m}{2(\varepsilon\tau+\eta+\rho)(\rho+\omega)r_m} > 0。$$

$$E_m^{T*} - E_m^{S*} = \frac{\{\mu\nu(\varepsilon\tau + \eta + \rho) + [\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\varepsilon\tau + \eta + \rho)]\theta_m\}\lambda_m}{2(\varepsilon\tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)r_m} > 0。$$

当平台引入补贴时，推论 4.4 揭示了以下关键现象：平台的隐私保护水平没有显著变化，而商家的隐私保护水平却显著提高。这一结果表明，补贴在激励商家加强隐私保护方面发挥了直接作用。然而，商家在隐私保护方面的投入并非由单一变量决定，而是受到政府奖惩机制、商家和平台收入结构等多重因素的影响。因此，平台在制定补贴政策时，需要综合考虑这些因素，确保补贴能够最大限度地激励商家加强隐私保护。

此外，研究还发现，合作关系能显著增加双方在隐私保护方面的投入，从而优化整体隐私保护效果。这表明，除了补贴政策，平台和商家之间的密切合作也是改善隐私保护的重要手段。作为连接用户和商家的纽带，平台在隐私保护方面的立场和行动将直接影响商家的行为选择。因此，平台应充分认识到自身在隐私保护方面的责任，积极与商家建立和维护合作关系，共同促进隐私保护水平提高。

4.3.2 不同模式下整体隐私保护水平和声誉轨迹比较分析

推论 4.5 平台与商家在三种不同决策模式下整体隐私保护水平和电商声誉大小满足： $h^{S*} > h^{N*}$ ， $h^{T*} > h^{S*}$ ， $f^{S*} > f^{N*}$ ， $f^{T*} > f^{S*}$ 。

证明：

$$h^{T*} - h^{S*} = \frac{e^{-t\omega}(-1 + e^{t\omega})(r_p\lambda_m^2 + 2r_m\lambda_p^2)\left\{\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau}\right)\theta_m\right\}}{2\omega(\rho + \omega)r_mr_p} > 0。$$

$$f^{S*} - f^{N*} = \frac{e^{-t\omega}(-1 + e^{t\omega})(r_p\lambda_m^2 + 2r_m\lambda_p^2)\left\{\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau}\right)\theta_m\right\}}{2\omega(\rho + \omega)r_mr_p} > 0。$$

$$h^{S*} - h^{N*} = \frac{e^{-t\omega}(-1 + e^{t\omega})\left\{\mu(2 - 3\nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau}\right)(2\theta_p - \theta_m)\right\}\lambda_m^2}{2\omega(\rho + \omega)r_m}，$$

$$f^{T*} - f^{S*} = \frac{(\varepsilon + \kappa)e^{-t[(\varepsilon\tau + \eta) + \omega]}[-1 + e^{t(\varepsilon\tau + \eta)}](-1 + e^{t\omega})\left[\mu(2 - 3\nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau}\right)(2\theta_p - \theta_m)\right]\lambda_m^2}{2(\varepsilon\tau + \eta)\omega(\rho + \omega)r_m}，$$

根据 $0 < v \leq \frac{2}{3}$, $\theta_p > \frac{\theta_m}{2}$, $\frac{2}{3} < v < 1$, $\theta_p > \frac{\theta_m}{2}$, $\alpha \geq \frac{-2\mu+3\mu v}{-\theta_m+2\theta_p}$, 可得 $h^{S*} > h^{N*}$, $f^{T*} > f^{S*}$ 。

推论 4.5 表明, 电子商务平台对商家实施的补贴策略在显著提升整体隐私保护水平的同时, 也对声誉的良性发展起到了积极的推动作用。当单向补贴逐渐演变为平台与商家之间的合作模式时, 隐私保护和声誉都得到了优化。在这一过程中, 补贴作为一种激励机制, 直接提高了商家在隐私保护方面的投入意愿, 促进了平台与商家在声誉管理方面的合作。在合作模式下, 平台和商家的利益联系更加紧密, 在隐私保护和声誉管理方面的投入更加协调。因此, 电商平台和商家需要充分认识补贴与合作策略的关键作用, 并将其作为提高隐私保护水平和市场竞争优势的核心手段。

4.3.3 不同模式下收益比较分析

推论 4.6 三种不同决策模式下的收益关系满足: $V_p^{S*} > V_p^{N*}$, $V_m^{S*} > V_m^{N*}$, $V^{T*} > V^{S*}$ 。

证明:

由 $h^{S*} > h^{N*}$, $f^{S*} > f^{N*}$, $h^{T*} > h^{S*}$, $f^{T*} > f^{S*}$, $0 < v \leq \frac{2}{3}$, $\theta_p > \frac{\theta_m}{2}$, $\frac{2}{3} < v < 1$, $\theta_p > \frac{\theta_m}{2}$, $\alpha \geq \frac{-2\mu+3\mu v}{-\theta_m+2\theta_p}$, 得

$$\begin{aligned}
 V_p^{S*} - V_p^{N*} &= \frac{(h^S - h^N)\mu(1-v) + \left\{ (h^S - h^N) \left[\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right] + \frac{(f^S - f^N)\beta(\rho + \omega)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right\} \theta_p}{\rho + \omega} \\
 &\quad + \frac{\left\{ \mu(-2+3v)(\eta + \rho + \varepsilon\tau) + [\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)](\theta_m - 2\theta_p) \right\}^2 \lambda_m^2}{8\rho(\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2(\rho + \omega)^2 r_m} > 0, \\
 V_m^{S*} - V_m^{N*} &= \frac{(h^S - h^N)\mu v + \theta_m \left\{ (h^S - h^N) \left[\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right] + \frac{(f^S - f^N)\beta(\rho + \omega)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right\}}{\rho + \omega} \\
 &\quad + \frac{\left\{ \mu(2-3v)(\eta + \rho + \varepsilon\tau) + \left[\frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} + \alpha \right](-\theta_m + 2\theta_p) \right\}^2 \lambda_m^2}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)r_m} + 8 \left[\frac{\mu - \mu v + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) \theta_p}{\left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) \theta_p} \right] \lambda_p^2 > 0.
 \end{aligned}$$

$$V^{T*} - V^{S*} = \frac{(h^T - h^S)\mu + \left\{ (h^T - h^S) \left[\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right] + \frac{(f^T - f^S)\beta(\rho + \omega)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right\} (\theta_m + \theta_p)}{\rho + \omega} + \frac{\left\{ \mu\nu(\eta + \rho + \varepsilon\tau) + [\beta(\varepsilon + \kappa) + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]\theta_m \right\}^2 (r_p\lambda_m^2 + 4r_m\lambda_p^2)}{8\rho(\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p} > 0。$$

在无补贴的非合作博弈中，平台和商家通常会根据自身利益做出独立决策，这种独立性限制了其收益的潜在增长。相反，引入补贴后，平台和商家的收益都会增加。这表明，补贴政策作为一种外部激励，有效地激发了商家保护隐私的积极性，从而促进了资源的优化配置。补贴不仅直接促进了商家的销售，还通过增加平台的流量和收入间接带来了更大的经济效益。进一步的分析表明，当平台和商家采取协同合作策略时，与非合作模式相比，他们能够实现电子商务整体收入的显著增长。这一结果揭示了合作模式和适当的补贴激励在优化平台与商家互动、促进共同发展方面的重要性。

4.4 数值算例

针对上述模型，本节采用 MATLAB 进行数值分析。基准参数设置如下：

$\lambda_m = 0.3$ ， $\lambda_p = 0.2$ ， $r_m = 0.3$ ， $r_p = 0.2$ ， $\omega = 0.1$ ， $\varepsilon = 0.5$ ， $\eta = 0.1$ ， $D_0 = 1$ ， $\alpha = 0.6$ ， $\beta = 0.5$ ， $\rho = 0.1$ ， $h_0 = 5$ ， $f_0 = 3$ ， $\kappa = 0.4$ 和 $\tau = 0.5$ 。并根据上述分析，设定 $\theta_p = 0.5$ ， $\theta_m = 0.5$ ， $\nu = 0.6$ 。

4.4.1 参数对平台最优补贴的影响

图 4-2 直观地呈现了政府奖惩机制对电商平台补贴策略的影响。从图中可以观察到，在政府奖惩系数 μ 保持不变的前提下，随着政府对商家的奖惩比例 ν 逐步提高，电商平台向商家提供的最优补贴 ϕ 呈现出递减态势。这一现象表明，政府通过强化褒奖措施或加大惩戒力度能够直接干预商家的决策行为，从而减少电商平台提供额外补贴的必要性，进而在一定程度上起到了替代平台补贴的作用。

进一步分析显示，当奖惩比例固定时，电商平台对补贴策略的调整是非线性的。具体而言，当政府奖惩比例 ν 低于 1/2 时，增加政府奖惩系数 μ 会促使电商

平台增加对商家的补贴额度。然而，当奖惩比例 ν 超过 1/2 这一临界点后，政府奖惩系数 μ 的进一步增加会导致电商平台补贴金额的减少。这一结果表明，在不同的奖惩比例下，政府总体奖惩系数对电商平台补贴策略的影响存在显著差异。在较低的奖惩比例下，提高政府总体奖惩系数会促使平台增加对商家的补贴。然而在较高奖惩比例条件下，政府的激励和惩罚足以直接引导商家的决策，从而降低了平台补贴的边际效应。

因此，电商平台在制定补贴策略时，需要充分考虑政府奖惩措施的作用，防止外部政策调整影响自身补贴的有效性和必要性，尤其是在不同奖惩比例阈值下，可能呈现出不对称的特征。

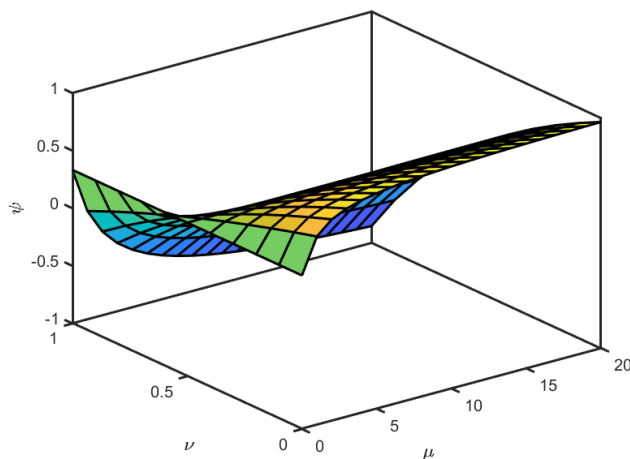
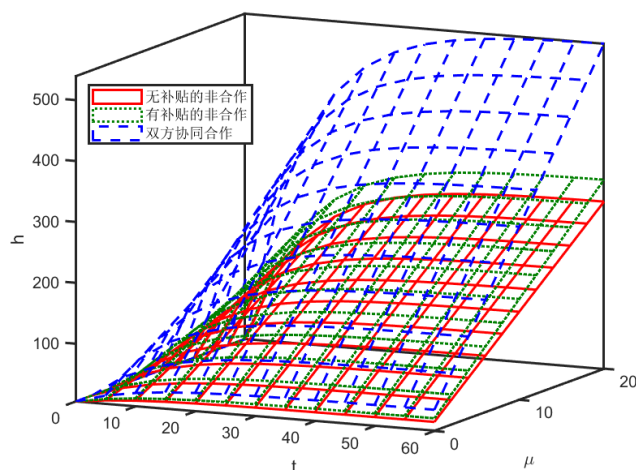
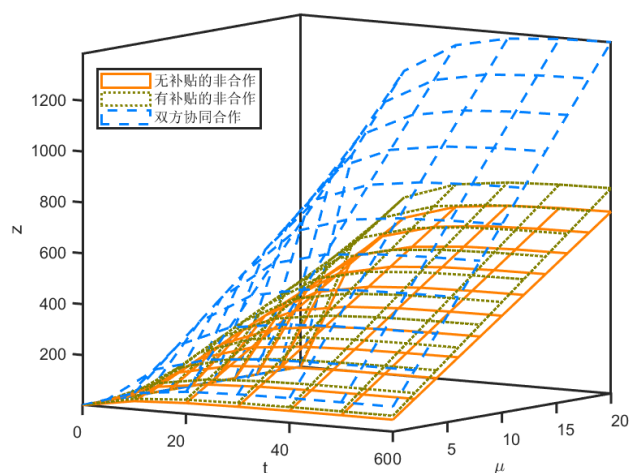


图 4-2 μ 和 ν 对最优补贴的影响

4.4.2 参数对整体隐私保护水平和声誉轨迹的影响

图 4-3 和图 4-4 分析了关键参数与电子商务隐私保护水平及其声誉之间的关系。从图中的趋势可以看出，随着时间的推进以及奖惩系数 μ 的增加，整体隐私保护水平和声誉都会提高。其中，奖惩系数 μ 的增加对隐私保护水平和声誉有显著影响。这一现象进一步验证了政府监管的积极作用，即通过加强对电商平台的激励和约束，可以有效促进其隐私保护水平的提升，并在此过程中促进其声誉的不断优化。此外，在协作环境下，整体隐私保护水平和声誉都会得到优化。这一结果与推论 5 一致，表明协作模式在提高隐私保护水平和加强电子商务声誉方面发挥着关键作用。

图 4-3 μ 和 t 对整体隐私保护水平的影响图 4-4 μ 和 t 对声誉的影响

4.4.3 参数对收益的影响

图 4-5、4-6 探讨了政府设定的隐私保护标准 L 与整体奖惩系数 μ 对电商平台和商家收益的影响，分析中设定 $t=10$ 。如图所示，政府设立的隐私保护标准 L 与各方收益之间呈负相关。造成这种负相关的根本原因在于，随着隐私保护标准的提高，电商平台和商家的隐私保护成本增加，导致利润空间受到挤压。但值得强调的是，政府的奖惩系数 μ 与平台及商家收益呈正相关。这说明政府可以通过褒奖或惩戒的方式有效激励电商平台和商家增加收益。对此现象的解释可以归结为政府的褒奖政策通过降低运营成本或提高技术效率间接促进了平台和商家的收益增长，而政府对电商行业的惩戒措施尽管在短期内可能会增加企业的运营成本，

但从长期来看却能有效改善市场秩序。在更加规范有序的市场环境下，合规的电商企业能够在竞争中占据优势，从而提高市场份额和收益。这进一步验证了政府对电子商务行业的监管和奖惩机制具有积极的推动作用。此外，分析结果表明，商家在获得补贴时的收入明显高于无补贴模式，而平台在提供补贴模式下能够实现同样的收入提升。这表明，通过向商家提供补贴，平台可以实现与商家的双赢。

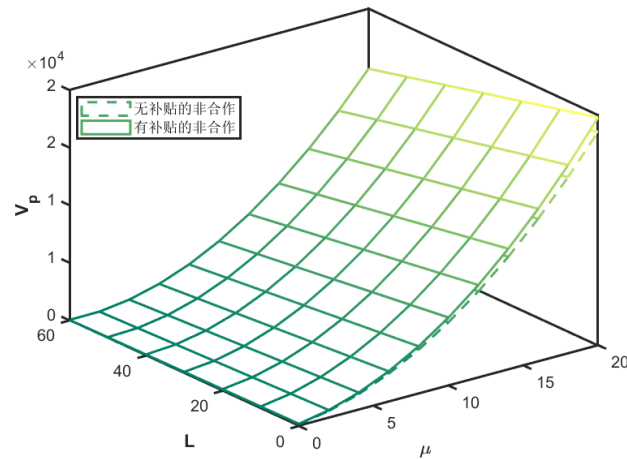


图 4-5 μ 和 L 对平台收益的影响

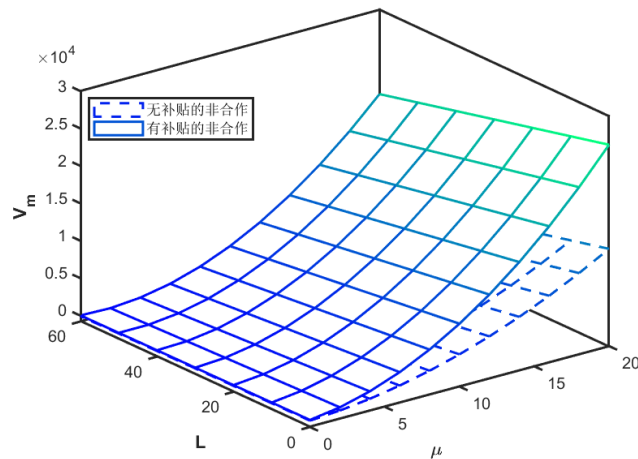


图 4-6 μ 和 L 对商家收益的影响

4.5 本章小结

本章基于动态分析视角，研究了当政府对电商隐私保护服务进行监管（即对平台和商家进行奖惩）时，电商平台和商家在隐私保护方面的行为策略。具体地，通过构建微分博弈模型，系统探讨了独立决策、主从决策和合作博弈三种博弈模

式下各方的最优决策和收益。结论如下：

平台对商家的补贴策略受政府奖惩比例、市场环境以及平台与商家之间收益分配关系的影响。补贴的实施直接影响到双方的努力程度，其中平台通常会维持既定的努力程度以实现自身利益最大化，而商家在获得补贴奖励后会相应增加隐私保护投入。在合作博弈模型中，平台和商家的隐私保护投入不再直接受政府奖惩比例的制约，而是与政府对整个电子商务行业的奖惩系数相关。政府对电商行业奖惩系数的增加有助于提高平台和商家的隐私保护投入和收益。与无补贴模式相比，引入补贴可以在一定程度上提高电商平台和商家的收益，实现帕累托改进，但与合作模式下的最优水平相比仍有差距。在合作模型中，电商平台和商家在隐私保护投入、收益、整体隐私保护水平和声誉等方面都达到了最优状态。

上述研究揭示了政府监管框架下电子商务平台与商家在隐私保护方面的策略互动，但上述结论是基于确定性环境的假设。现实中，隐私保护生态系统主体的战略行为不仅受到主体间博弈关系的影响，还面临着内外部环境持续波动的挑战。各种不确定性可能导致系统演化路径偏离确定性模型的预测轨迹。为了更真实地描述动态环境中的策略调整机制，研究视角从微分博弈转向了随机演化博弈领域。

第5章 随机干扰下电商相关主体策略行为的演化博弈分析

第4章的研究聚焦于政府监管框架下电商平台与商家的最优隐私保护策略。本章进一步突破确定性环境假设的局限,将研究视角延伸至不确定环境。实践中,隐私保护体系的构建是一个长期而复杂的动态过程。政策的动态调整、市场环境的瞬息万变、技术创新带来的挑战等不确定性因素时刻干扰着各主体的策略选择。基于此,本章通过随机演化博弈理论,采用复制动态方程分析随机扰动环境下政府、平台和商家的演化稳定策略及互动机制,引入 $Itô$ 型随机微分方程并结合 Milstein 展开法来求解模型。此外,还通过数值模拟系统地研究了相关因素对博弈稳定性的影响。

5.1 问题描述及模型假设

5.1.1 问题描述

政府、电商平台与电商商家三方均为有限理性个体,政府可在严格监管与宽松监管间抉择,电商平台面临积极管理与消极管理的博弈策略,电商商家则需在合规保护与违规利用用户隐私间权衡。同时,主体行为对应不同成本、收益及奖惩机制,且行为选择影响用户隐私泄露状况。各主体关系如图所示。

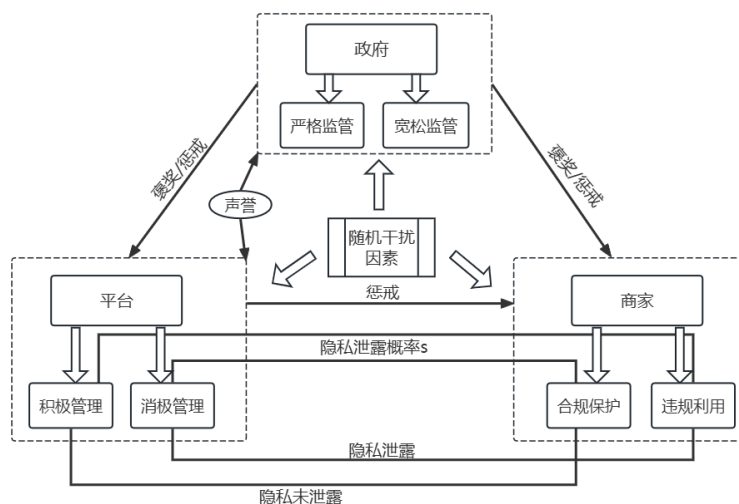


图 5-1 研究框架图

5.1.2 模型假设

假设 1 政府、电商平台与电商商家均为有限理性决策主体，其策略选择遵循概率分布。政府的策略集为 {严格监管, 宽松监管}, 选择“宽松监管”的概率为 x , 选择“严格监管”的概率为 $1-x$ ($0 \leq x \leq 1$)。电商平台的策略集为 {积极管理, 消极管理}, 选择“消极管理”的概率为 y , 选择“积极管理”的概率为 $1-y$ ($0 \leq y \leq 1$)。电商商家的策略集为 {合规保护, 违规利用}, 选择“违规利用”的概率为 z , 选择“合规保护”的概率为 $1-z$ ($0 \leq z \leq 1$)。

假设 2 政府的基本社会经济效益为 V_1 。其监管行为产生的成本及收益如下：实施严格监管时，政府需承担监管成本 C_1 , 并获得公众认可 R ；实施宽松监管时，政府监管成本为 C_2 ($C_1 > C_2$)，将面临公信力声誉损失 $F_1^{[83]}$ 。此外，在严格监管下，政府对守信主体给予褒奖 $\mu_1 A$, 对失信主体实施惩戒 $\mu_2 P$ ；其中 μ_1 和 μ_2 分别为褒奖系数和惩戒系数。

假设 3 电商平台与商家的基本收益分别为 V_2 和 V_3 。其行为策略对应不同成本：电商平台选择“积极管理”时，需承担成本 C_3 ；选择“消极管理”时，成本为 C_4 ($C_3 > C_4$)；商家选择“合规保护”时，需承担成本 C_5 ；选择“违规利用”时，成本为 C_6 ($C_5 > C_6$)。

假设 4 当电商平台和电商商家采取行为时，隐私泄露事件的发生概率及奖惩分配机制如下：当电商平台与商家均采取积极行为时，用户隐私泄露概率为 0，双方共享政府褒奖 A 。其中，平台获得的褒奖为 $(1-\nu)\mu_1 A$, 商家获得的褒奖为 $\nu\mu_1 A$, ν 和 $1-\nu$ ($0 \leq \nu \leq 1$) 为商家和平台的奖惩分配系数。当双方均采取消极行为时，用户隐私泄露概率为 1，双方共同承担政府的惩戒 P 。其中，平台承担的惩戒为 $(1-\nu)\mu_2 P$, 商家承担的惩戒为 $\nu\mu_2 P$ 。当一方采取消极行为而另一方采取积极行为时，用户隐私泄露概率为 s , 未泄露的概率为 $1-s$ 。若平台采取消极行为导致隐私泄露，其将损失声誉 F_2 ；若商家采取消极行为导致隐私泄露，将受到平台惩戒 ω 。

详细的符号描述及博弈矩阵如表 5-1、5-2 所示。

表 5-1 符号定义

符号	定义
$x, 1-x$	政府选择“宽松监管”和“严格监管”的概率 ($0 \leq x \leq 1$)
V_1	政府的基本社会经济效益
C_1, C_2	政府选择“严格监管”或“宽松监管”策略付出的成本
A	政府对守信电商的褒奖额度
P	政府对失信电商的惩戒额度
μ_1	政府对守信电商的褒奖系数 ($0 \leq \mu_1 \leq 1$)
μ_2	政府对失信电商的惩戒系数 ($0 \leq \mu_2 \leq 1$)
$y, 1-y$	平台选择“消极管理”或“积极管理”的概率 ($0 \leq y \leq 1$)
V_2	平台的基本收益
C_3, C_4	平台选择“积极管理”或“消极管理”策略付出的成本
$z, 1-z$	商家选择“违规利用”和“合规保护”的概率 ($0 \leq z \leq 1$)
V_3	商家的基本收益
C_5, C_6	商家选择“合规保护”或“违规利用”策略付出的成本
$\nu, 1-\nu$	商家和平台的奖惩分配系数 ($0 \leq \nu \leq 1$)
$s, 1-s$	用户隐私泄露、未泄露的概率 ($0 \leq s \leq 1$)
F_2	平台采取消极行为造成隐私泄露时损失的声誉
ω	商家采取消极行为造成隐私泄露时平台对其的惩戒

表 5-2 博弈矩阵

策略组合	政府	平台	商家
(严格监管, 积极管理, 合规保护)	$V_1 - C_1 - \mu_1 A + R$	$V_2 - C_3 + (1-\nu)\mu_1 A$	$V_3 - C_5 + \nu\mu_1 A$
(严格监管, 积极管理, 违规利用)	$V_1 - C_1 - (1-s)\mu_1 A + s\mu_2 P + R$	$V_2 - C_3 + (1-\nu)(1-s)\mu_1 A - s(1-\nu)\mu_2 P + s\omega$	$V_3 - C_6 + \nu\mu_1 A + (1-s)\nu\mu_1 A - s(\nu\mu_2 P + \omega)$
(严格监管, 消极管理, 合规保护)	$V_1 - C_1 - (1-s)\mu_1 A + s\mu_2 P + R$	$V_2 - C_4 + (1-\nu)(1-s)\mu_1 A - s(1-\nu)\mu_2 P - sF_2$	$V_3 - C_5 + \nu\mu_1 A + (1-s)\nu\mu_1 A - s\nu\mu_2 P$
(严格监管, 消极管理, 违规利用)	$V_1 - C_1 + \mu_2 P + R$	$V_2 - C_4 - (1-\nu)\mu_2 P - F_2 + \omega$	$V_3 - C_6 - \nu\mu_2 P - \omega$
(宽松监管, 积极管理, 合规保护)	$V_1 - C_2 - F_1$	$V_2 - C_3$	$V_3 - C_5$
(宽松监管, 积极管理, 违规利用)	$V_1 - C_2 - F_1$	$V_2 - C_3 + s\omega$	$V_3 - C_6 - s\omega$
(宽松监管, 消极管理, 合规保护)	$V_1 - C_2 - F_1$	$V_2 - C_4 - sF_2$	$V_3 - C_5$
(宽松监管, 消极管理, 违规利用)	$V_1 - C_2 - F_1$	$V_2 - C_4 - F_2 + \omega$	$V_3 - C_6 - \omega$

5.2 模型构建

5.2.1 复制动态方程

假设政府采取“宽松监管”或“严格监管”的期望收益分别为 U_{11} 和 U_{12} ,

平均期望收益记为 $\overline{U}_1$ 。

$$U11 = (1-y)(1-z)(V_1 - F_1 - C_2) + (1-y)z(V_1 - F_1 - C_2) + y(1-z)(V_1 - F_1 - C_2) + yz(V_1 - F_1 - C_2)$$

$$U12 = (1-y)(1-z)(V_1 - C_1 - \mu_1 A + R) + (1-y)z[V_1 - C_1 + R + s\mu_2 P - (1-s)\mu_1 A] \\ + yz(V_1 - C_1 + R + \mu_2 P) + y(1-z)[V_1 - C_1 + R + s\mu_2 P - (1-s)\mu_1 A]$$

$$\overline{U}_1 = xU11 + (1-x)U12$$

根据 Malthusian 方程相关理论，政府的复制动态方程如下：

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U11 - \overline{U}_1) = x(1-x)(U11 - U12) \\ = x(1-x)\{C_1 - C_2 - F_1 - R + [1 - sz - yz + sy(-1 + 2z)]\mu_1 A + [-sz - yz + sy(-1 + 2z)]\mu_2 P\}$$

假设电商平台采取“消极管理”或“积极管理”的期望收益分别为 $U21$ 和 $U22$ ，平均期望收益记为 $\overline{U}_2$ 。

$$U21 = (1-x)(1-z)[V_2 - C_4 + (1-s)(1-v)\mu_1 A - s(1-v)\mu_2 P - sF_2] \\ + (1-x)z[V_2 - C_4 - (1-v)\mu_2 P - F_2 + \omega] + x(1-z)(V_2 - C_4 - sF_2) + xz(V_2 - C_4 - F_2 + \omega)$$

$$U22 = (1-x)(1-z)[V_2 - C_3 + (1-v)\mu_1 A] + (1-x)z\left[\frac{V_2 - C_3 + (1-v)(1-s)\mu_1 A}{-s(1-v)\mu_2 P + s\omega}\right] + \\ x(1-z)(V_2 - C_3) + xz(V_2 - C_3 + s\omega)$$

$$\overline{U}_2 = yU21 + (1-y)U22$$

电商平台的复制动态方程如下：

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U21 - \overline{U}_2) = y(1-y)(U21 - U22) \\ = y(1-y)\left\{\begin{aligned} &C_3 - C_4 - F_2s + F_2(-1 + s)z + (-1 + x)[-z + s(-1 + 2z)](\mu_1 A + \mu_2 P)(-1 + v) \\ &- (-1 + s)z\omega \end{aligned}\right\}$$

假设电商商家采取“违规利用”或“合规保护”的期望收益分别为 $U31$ 和 $U32$ ，平均期望收益记为 $\overline{U}_3$ 。

$$U31 = (1-x)(1-y)[V_3 - C_6 + (1-s)v\mu_1 A - s(v\mu_2 P + \omega)] + (1-x)y(V_3 - C_6 - v\mu_2 P - \omega) + \\ x(1-y)(V_3 - C_6 - s\omega) + xy(V_3 - C_6 - \omega)$$

$$U32 = (1-x)(1-y)(V_3 - C_5 + v\mu_1 A) + (1-x)y[V_3 - C_5 + (1-s)v\mu_1 A - sv\mu_2 P] + x(1-y)(V_3 - C_5) \\ + xy(V_3 - C_5)$$

$$\overline{U}_3 = zU31 + (1-z)U32$$

电商商家的复制动态方程如下：

$$\begin{aligned} F(z) &= \frac{dz}{dt} = z(U_{31} - \overline{U_3}) = z(1-z)(U_{31} - U_{32}) \\ &= z(1-z)[C_5 - C_6 - (-1+x)(-s-y+2sy)(\mu_1 A + \mu_2 P)v - s\omega + (-1+s)y\omega] \end{aligned}$$

由于 $1-x$ 、 $1-y$ 、 $1-z$ 均非负，不影响博弈结果，因此将复制动态方程转化为如下形式：

$$F(x) = x\{C_1 - C_2 - F_1 - R + [1 - sz - yz + sy(-1+2z)]\mu_1 A + [-sz - yz + sy(-1+2z)]\mu_2 P\} \quad (5-1)$$

$$F(y) = y\left\{\begin{aligned} &C_3 - C_4 - F_2 s + F_2(-1+s)z + (-1+x)[-z + s(-1+2z)](\mu_1 A + \mu_2 P)(-1+v) \\ &-(-1+s)z\omega \end{aligned}\right\} \quad (5-2)$$

$$F(z) = z[C_5 - C_6 - (-1+x)(-s-y+2sy)(\mu_1 A + \mu_2 P)v - s\omega + (-1+s)y\omega] \quad (5-3)$$

5.2.2 随机扰动因素

在复杂的隐私保护生态系统中，政府、电商平台、商家都面临着多维度的不确定性。这种不确定性主要来源于两个层面：从外部环境看，法律法规体系的动态调整和制度供给的不足、技术创新的快速迭代以及用户隐私保护意识的显著增强，都可能对参与主体的策略选择产生影响；就内部环境而言，组织管理机制的调整、利润结构的优化等变量也会对主体的行为策略形成复杂的干扰。基于以上考虑，本研究在传统复制动态方程的基础上引入了高斯白噪声项，以更准确地刻画博弈系统的随机扰动特征，更精确地模拟复杂环境下的决策过程和策略演化。

$$\begin{aligned} dx(t) &= x(t)\{C_1 - C_2 - F_1 - R + [1 - sz - yz + sy(-1+2z)]\mu_1 A + [-sz - yz + sy(-1+2z)]\mu_2 P\}d(t) \\ &+ \sigma x(t)d\omega(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy(t) &= y(t)\{C_3 - C_4 - F_2 s - F_2 z + F_2 sz + (-1+x)[-z - s + 2sz](\mu_1 A + \mu_2 P)(-1+v) + (1-s)z\omega\}d(t) \\ &+ \sigma y(t)d\omega(t) \end{aligned}$$

$$dz(t) = z(t)[C_5 - C_6 - (-1+x)(-s-y+2sy)(\mu_1 A + \mu_2 P)v - s\omega + (-1+s)y\omega]d(t) + \sigma z(t)d\omega(t)$$

上式中， σ 表示随机干扰的强度， $\omega(t)$ 表示一维标准布朗运动（Brownian Motion）。布朗运动作为一种具有独立增量和平稳增量的连续时间随机过程，能够有效表征随机干扰对博弈主体决策行为的动态影响。 $d\omega(t)$ 表示高斯白噪声，当 $t > 0$ 及时间步长 $h > 0$ 时， $\omega(t+h) - \omega(t) \sim N(0, h)$ 。

5.2.3 均衡解与稳定性分析

假设初始状态为 $t=0$ ，初始值 $x(0)=0$ ， $y(0)=0$ ， $z(0)=0$ ，可以找到 $x(t)=0$ ， $y(t)=0$ ， $z(t)=0$ 为复制动态方程的均衡解。然而在实际博弈过程中，参与者的决策行为不可避免地会受到随机因素的干扰。因此，有必要引入随机理论，考察随机干扰对系统稳定性的影响。基于随机微分方程理论，系统稳定性判定定理如下：

定理 5.1 给定一个一维的随机微分方程为

$$dx(t) = f(t, x(t))dt + g(t, x(t))d\omega(t), x(t_0) = x_0$$

设 $x(t) = x(t, x_0)$ 为方程解，存在函数 $V(t, x)$ 与正常数 c_1, c_2 使 $c_1|x|^p \leq V(t, x) \leq c_2|x|^p$ ， $t \geq 0$ 。设 $LV(t, x) = V_t(t, x) + V_x(t, x)f(t, x) + 1/2g^2(t, x)V_{xx}(t, x)$ ：

若 $\exists \gamma > 0$ ，使 $LV(t, x) \leq -\gamma V(t, x)$ ， $t \geq 0$ ，则方程的零解阶矩指数稳定，且

$$E|x(t, x_0)|^p < \left(\frac{c_2}{c_1}\right)|x_0|^p e^{-\gamma t}, \quad t \geq 0。$$

若 $\exists \gamma > 0$ ，使 $LV(t, x) \geq -\gamma V(t, x)$ ， $t \geq 0$ ，则方程的零解阶矩指数不稳定，且

$$E|x(t, x_0)|^p \geq \left(\frac{c_2}{c_1}\right)|x_0|^p e^{-\gamma t}, \quad t \geq 0。$$

对高斯白方程，设 $V(t, x) = x$ ， $V(t, y) = y$ ， $V(t, z) = z$ ； $x, y, z \in [0, 1]$ ， $c_1 = c_2 = 1$ ， $P = 1$ ， $\gamma = 1$ ； $LV(t, x) = f(t, x)$ ， $LV(t, y) = f(t, y)$ ， $LV(t, z) = f(t, z)$ ，若方程的零解阶矩指数稳定，则需满足：

$$x\{C_1 - C_2 - F_1 - R + [1 - sz - yz + sy(-1 + 2z)]\mu_1 A + [-sz - yz + sy(-1 + 2z)]\mu_2 P\} \leq -x \quad (5-4)$$

$$y\left\{\begin{array}{l} C_3 - C_4 - F_2 s + F_2(-1 + s)z + (-1 + x)[-z + s(-1 + 2z)](\mu_1 A + \mu_2 P)(-1 + \nu) \\ -(-1 + s)z\omega \end{array}\right\} \leq -y \quad (5-5)$$

$$z[C_5 - C_6 - (-1 + x)(-s - y + 2sy)(\mu_1 A + \mu_2 P)\nu - s\omega + (-1 + s)y\omega] \leq -z \quad (5-6)$$

5.2.4 复制动态方程的随机泰勒展开式

由于非线性 Itô 随机微分方程无法直接得到解析解，故将随机微分方程用随

机 Taylor 展开。首先讨论以下的随机微分方程：

$$dx(t) = f(t, x(t))dt + g(t, x(t))d\omega(t)$$

在这个方程中， $t \in [t_0, T]$ ， $x(t_0) = x_0$ ， $x_0 \in R$ ， $\omega(t)$ 表示一维标准布朗运动，令

$h = (T - t_0) / N$ ， $t_n = t_0 + nh$ ，方程的随机泰勒展开式为：

$$\begin{aligned} x(t_{n+1}) = & x(t_n) + hf(x(t_n)) + \Delta\omega_n g(x(t_n)) + \frac{1}{2}[(\Delta\omega_n)^2 - h]g(x(t_n))g'(x(t_n)) \\ & + \frac{1}{2}h^2 \left[f(x(t_n))f'(x(t_n)) + \frac{1}{2}g^2(x(t_n))f''(x(t_n)) \right] + R \end{aligned}$$

在上面的展开式中， R 是残差项，本章采用 Milstein 数值方法求解方程，在 Milstein 方程中，将随机 Taylor 展开式截断为一阶表达式，残差项被丢弃，因此，上式修改为：

$$x(t_{n+1}) = x(t_n) + hf(x(t_n)) + \Delta\omega_n g(x(t_n)) + \frac{1}{2}[(\Delta\omega_n)^2 - h]g(x(t_n))g'(x(t_n))$$

因此，用 Milstein 方法求解 SDEs，可得：

$$\begin{aligned} x(t_{n+1}) = & x(t_n) + hx(t_n) \left(\begin{aligned} & C_1 - C_2 - F_1 - R + [1 - sz - yz + sy(-1 + 2z)]\mu_1 A + \\ & [-sz - yz + sy(-1 + 2z)]\mu_2 P \end{aligned} \right) \\ & + \Delta\omega_n \sigma x(t_n) + \frac{1}{2}((\Delta\omega_n)^2 - h)\sigma^2 x(t_n) \end{aligned} \quad (5-7)$$

$$\begin{aligned} y(t_{n+1}) = & hy(t_n) \left\{ \begin{aligned} & C_3 - C_4 - F_2 s + F_2(-1 + s)z \\ & + (-1 + x)[-z + s(-1 + 2z)](\mu_1 A + \mu_2 P)(-1 + \nu) - (-1 + s)z\omega \end{aligned} \right\} \\ & + y(t_n) + \Delta\omega_n \sigma y(t_n) + \frac{1}{2}((\Delta\omega_n)^2 - h)\sigma^2 y(t_n) \end{aligned} \quad (5-8)$$

$$\begin{aligned} z(t_{n+1}) = & zy(t_n) + hz(t_n) [C_5 - C_6 - (-1 + x)(-s - y + 2sy)(\mu_1 A + \mu_2 P)\nu - s\omega + (-1 + s)y\omega] \\ & + \Delta\omega_n \sigma z(t_n) + \frac{1}{2}((\Delta\omega_n)^2 - h)\sigma^2 z(t_n) \end{aligned} \quad (5-9)$$

5.3 数值仿真分析

为考察参数对演化结果的影响，本文采用 MATLAB 软件对随机演化博弈模型进行数值仿真。参考文献[84-85]，在满足矩指数稳定性约束条件下，设定参数值为： $C_1 = 10$ ， $C_3 = 10$ ， $C_5 = 8$ ， $C_2 = 8$ ， $C_4 = 8$ ， $C_6 = 6$ ， $\mu_1 = 0.4$ ， $\mu_2 = 0.6$ ， $A = 6$ ， $P = 10$ ， $F_1 = 6$ ， $R = 6$ ， $s = 0.5$ ， $F_2 = 6$ ， $\omega = 6$ ， $\nu = 0.5$ ， $x = y = z = 0.5$ 。在相关系数对比分析中，分别选取低值（0.1）和高值（0.9）作为对照组，以考察相关系数

对系统演化路径的影响程度。

5.3.1 初始选择概率对演化结果的影响

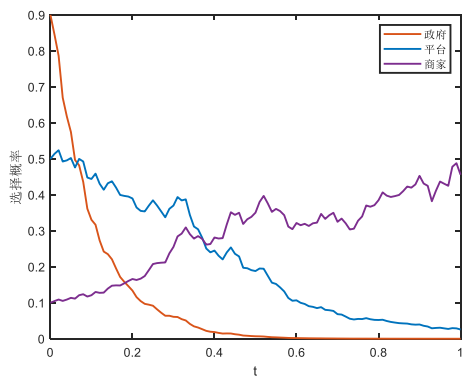


图 5-2 高一中一低初始概率

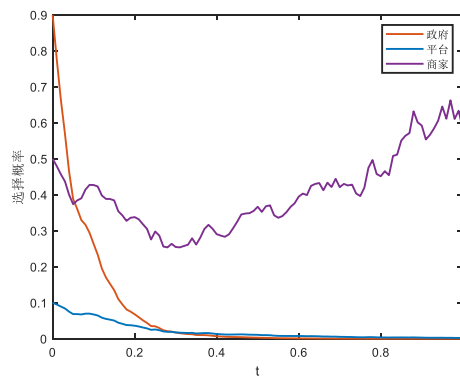


图 5-3 高一低一中初始概率

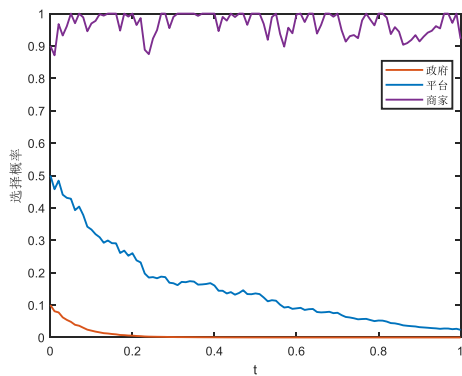


图 5-4 低一中-高初始概率

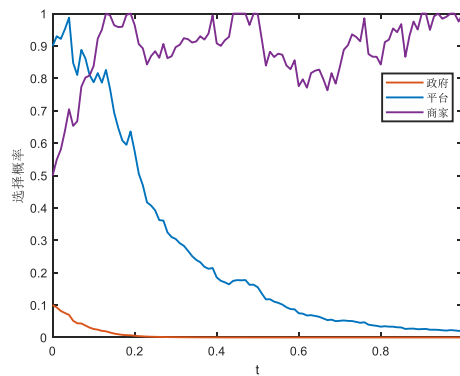


图 5-5 低一高一中初始概率

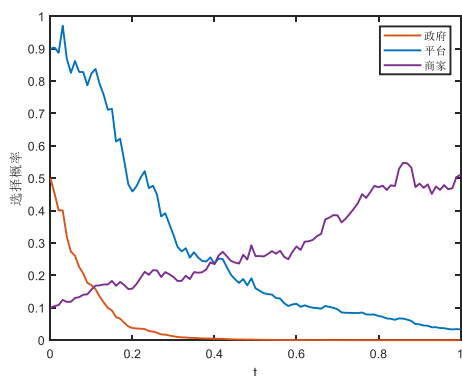


图 5-6 中一高一低初始概率

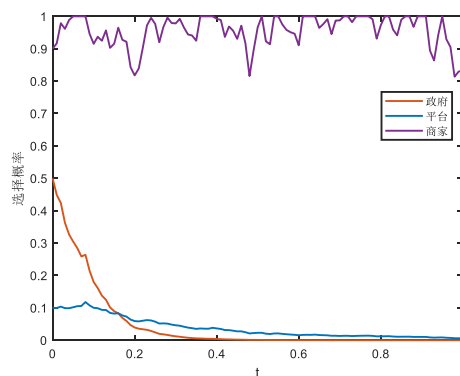


图 5-7 中-低-高初始概率

为探究各主体初始选择策略对系统演化结果的影响，设定高（0.9）中（0.5）和低（0.1）三种初始状态，并据此模拟演化过程，得到了相应的演化结果。

首先，政府作为电商隐私保护的监管主体，无论初始概率如何设定，政府在演化过程中选择“宽松监管”的比例均迅速下降，并在后期趋于稳定。这表明，当电商平台和商家采取不同策略响应时，政府会调整策略，降低宽松监管的可能

性，以增强隐私治理的有效性。

其次，从电商平台的策略演化来看，其选择“消极管理”策略的概率表现出一定的路径依赖性。当政府“宽松监管”的初始概率较高且商家“违规利用”初始概率较低时，电商平台“消极管理”策略整体保持稳定或略有上升。这表明，在较宽松的监管环境下，平台缺乏主动管理用户隐私的动力。然而，当政府的“严格监管”概率较高，商家“违规利用”初始概率也较高时，电商平台的“消极管理”概率显著下降，表明电商平台更倾向于采取“积极管理”策略，以降低隐私泄露带来的监管和市场风险。虽然电商平台策略概率的演变存在一些短期波动，但长期趋势是朝着“积极管理”方向发展。

最后，从商家的策略演化来看，其行为在不同模式下表现出高度的稳定性。在大多数情况下，商家选择“违规利用”策略的概率仍然较高，尤其是当初始违规倾向较高时，商家更有可能利用政府宽松的监管或平台的消极管理来获取短期经济利益。然而，即使在初始违规倾向较低时，商家仍有可能根据对市场收益的预期和其他主体策略的变化，逐步提高违规概率，以实现自身利益的最大化。但这种高违规概率并不是稳定的，而是受到市场竞争压力、用户反馈机制以及政府和平台策略的调整等综合因素的影响，导致商家策略在长期演化过程中存在一定的波动性。

5.3.2 隐私泄露概率对策略选择的影响

设定了隐私泄露概率高（0.9）中（0.5）和低（0.1）三种状态，以探讨其对政府、电子商务平台和商家策略选择的影响。研究表明，在向理想稳态演化的过程中，不同主体受隐私泄露概率变化的影响存在显著差异。

首先，政府策略的演化受随机干扰的影响较小，无论隐私泄露概率的高低，政府都倾向于选择“严格监管”策略，并且这种选择表现出较高的稳定性和一致性。这说明政府在隐私保护治理方面具有较强的制度刚性和长期导向性，能够有效保持监管政策的连续性。

相比之下，电商平台和商家的策略对隐私泄露概率的变化更为敏感。当隐私泄露概率较低时，电商平台和商家的策略波动较大，都倾向于采取不利于隐私保护的行为。然而，当隐私泄露的概率上升到中等水平时，平台会逐渐意识到隐私

和安全风险带来的潜在损失，并开始向“积极管理”策略演化，以提高隐私保护措施的有效性。

与此同时，商家仍然倾向于违规利用用户隐私数据，但其违规行为的增长速度有所减缓。当隐私泄露的概率进一步上升到高水平时，电子商务平台和商家的战略调整速度会明显加快。平台更加倾向于演化至“积极管理”策略，以减少隐私泄露可能带来的声誉损失和法律风险。而商家在高风险环境下逐步向“合规保护”策略靠拢，这表明在高概率隐私泄露情况下，不合规的潜在成本会大幅增加，从而鼓励商家选择更合规的经营方式。同时，由于主体的策略趋于稳定，博弈系统的随机干扰也随之减少，整体演化的稳定性进一步增强。

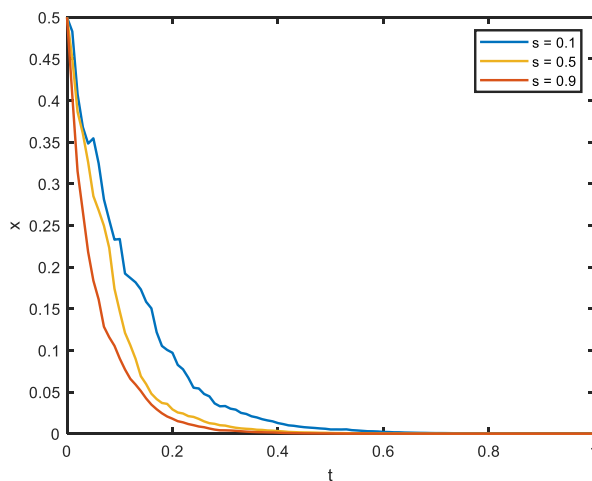


图 5-8 隐私泄露概率对政府的演化影响

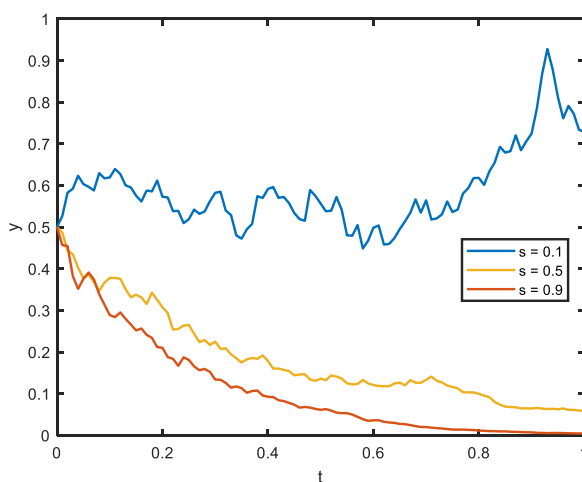


图 5-9 隐私泄露概率对平台的演化影响

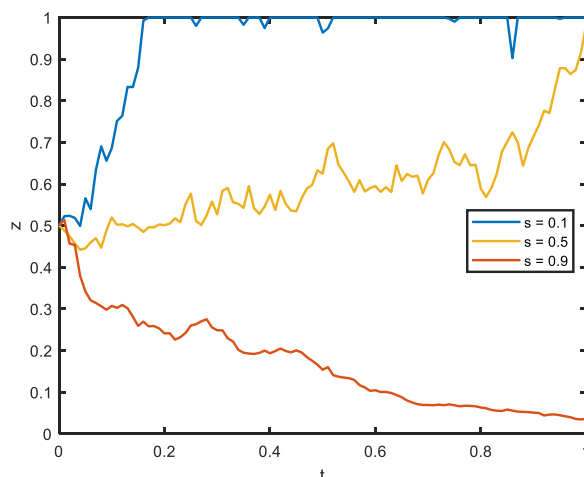


图 5-10 隐私泄露概率对商家的演化影响

5.3.3 不同奖惩强度对策略选择的影响

由图可见，奖惩强度的变化对电商平台和商家策略选择的影响显著，并呈现出一定的规律性。

随着奖惩强度的增加，平台和商家的策略逐渐向“积极管理”与“合规保护”的理想稳定状态演化，同时演化的速度明显加快。在奖惩强度相同的情况下，褒奖机制相较于惩戒机制更能激励平台和商家优化行为。这可能是因为褒奖机制能够直接提升市场主体的收益预期，从而增强其调整策略以获取更大收益的动力。此外，在较低的奖惩强度下，平台和商家的策略演化路径表现出较大的波动性，反映了主体面对不确定性的适应性调整过程。随着奖惩强度的进一步加大，策略演化的波动幅度趋于收敛，市场主体行为趋于稳定并向标准化方向发展。这一现象表明，适度提高奖惩强度有助于减少市场主体的投机行为，增强其采取合规策略的内在动力。

作为电商监管体系的主体，政府的策略选择在不同奖惩强度下总体保持稳定。这种稳定性主要源于政府在维护市场秩序、保障公共利益、促进行业健康发展等方面的职能要求。然而，由于高强度的褒奖机制对平台和商家的激励作用更为显著，这可能会在一定程度上延缓政府“严格监管”策略的演进。相反，随着惩戒强度的增加，政府向“严格监管”策略演化的速率则相应加快。因此，在设计奖惩机制的过程中，应综合考虑对不同市场主体行为的影响，实现监管目标的最优平衡，既促进市场主体的合规行为，又保证市场治理的有效性和可持续性。

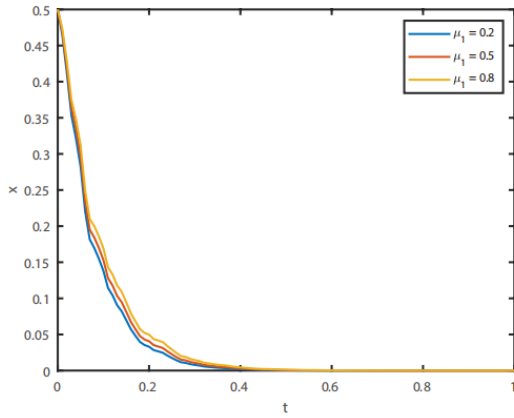


图 5-11 褒奖对政府策略选择的影响

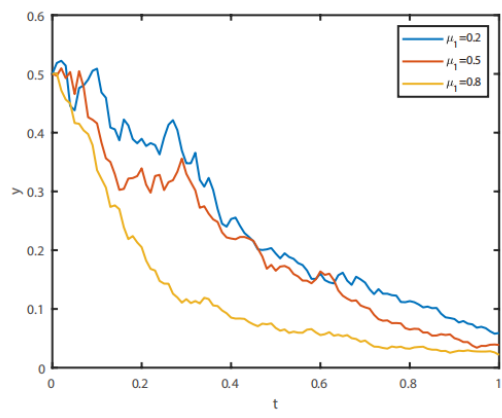


图 5-12 褒奖对平台策略选择的影响

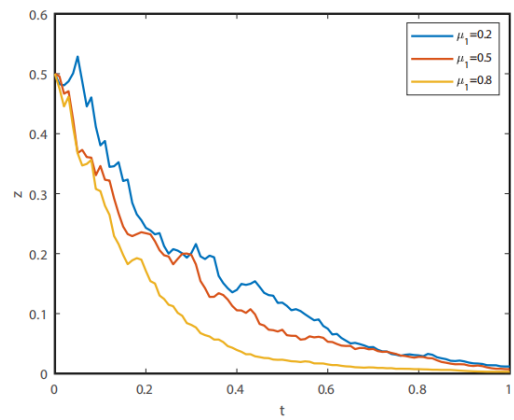


图 5-13 褒奖对商家策略选择的影响

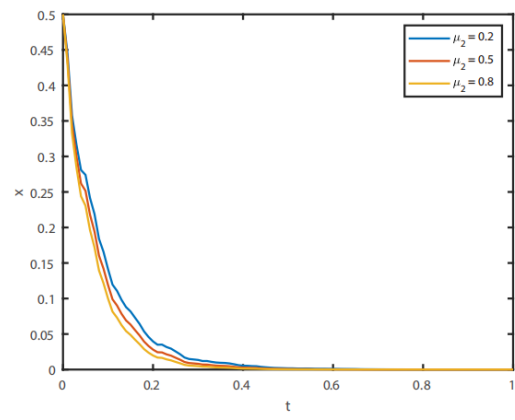


图 5-14 惩戒对政府策略选择的影响

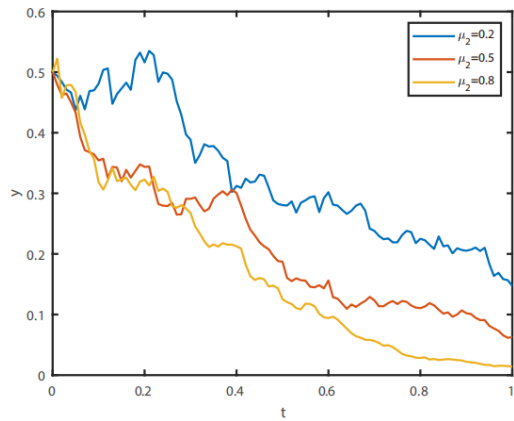


图 5-15 惩戒对平台策略选择的影响

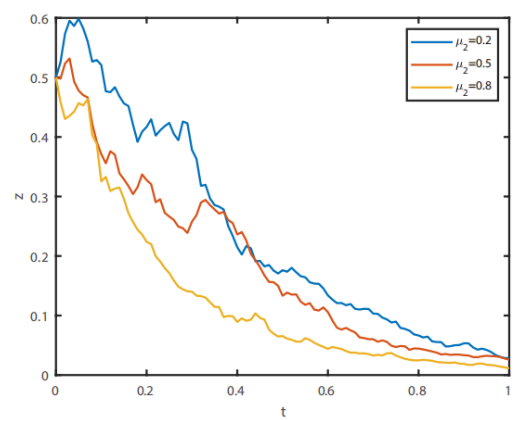


图 5-16 惩戒对商家策略选择的影响

5.3.4 奖惩分配系数对策略选择的影响

商家和平台策略的演变表明，奖惩分配系数 ν 会影响双方策略选择的平衡。具体而言，随着奖惩分配系数 ν 的增大，平台和商家的演变速度呈现出相反的趋势。

一方面，商家向“合规保护”策略演化的速率显著加快。这表明，随着政府加大对商家的奖惩力度，商家的合规行为受到了更严格的激励和约束，促使他们更快地采取隐私保护措施。这一现象凸显了奖惩措施在引导商家行为方面的关键作用，尤其是在奖惩强度较大的情况下，商家的隐私保护意识和执行能力都会显著增强。

另一方面，随着奖惩强度的加大，平台向“积极管理”策略演化的速率逐渐放缓。其原因在于，当政府对商家的奖惩占主导地位时，平台改进隐私保护措施的积极性就会降低。这一现象表明，对一方的奖惩分配过于偏重，可能会削弱另一方的积极性，从而影响整个隐私保护体系的协作效率。

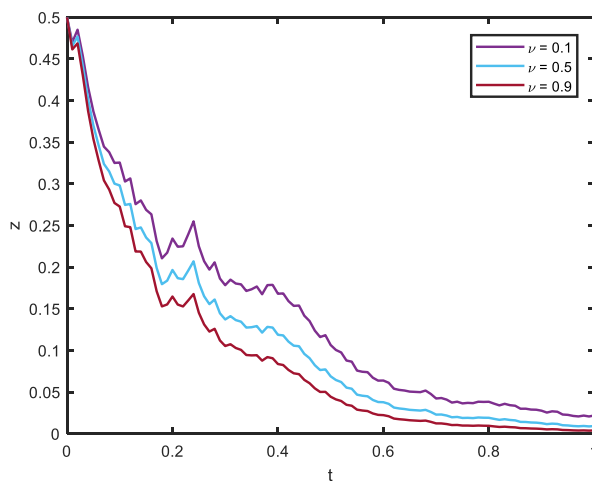


图 5-17 奖惩分配系数对商家策略选择的影响

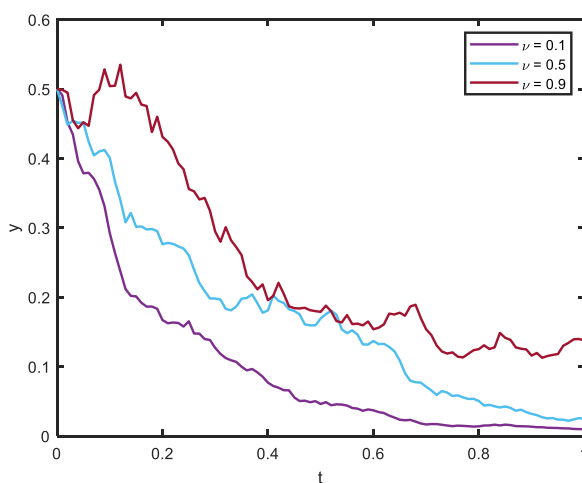


图 5-18 奖惩分配系数对平台策略选择的影响

5.3.5 随机干扰强度对策略选择的影响

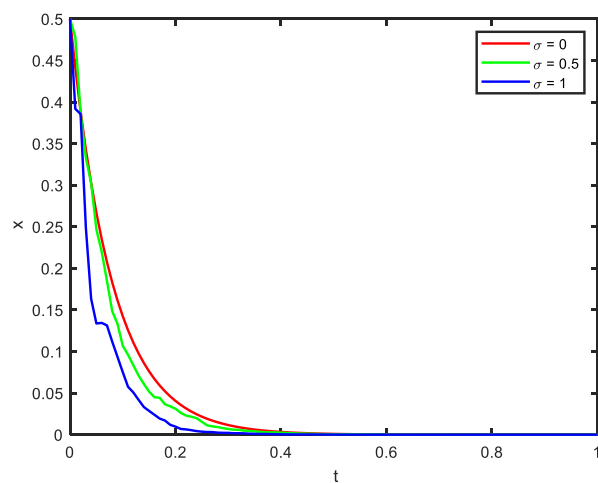


图 5-19 随机干扰强度对政府策略选择的影响

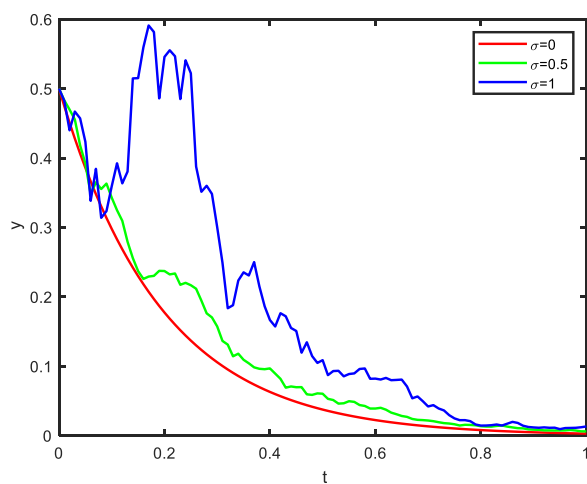


图 5-20 随机干扰强度对平台策略选择的影响

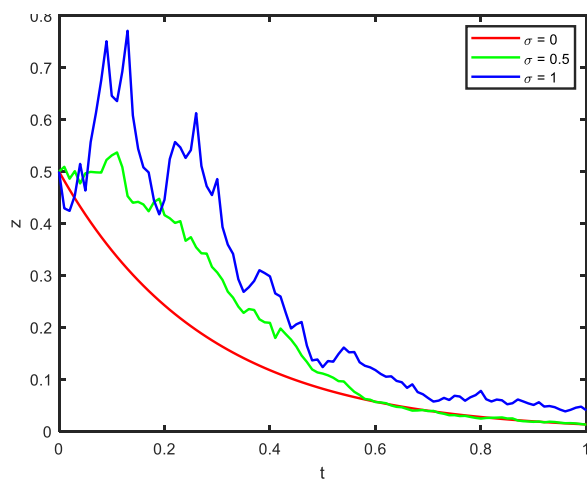


图 5-21 随机干扰强度对商家策略选择的影响

从演化结果图示中可以观察到,扰动强度的变化导致各主体策略演化轨迹出现不同幅度的波动现象。尽管扰动持续存在,主体最终均趋于稳定的策略状态。进一步研究表明,扰动强度对各主体的演化速度具有异质性影响:当干扰强度提升时,政府在策略调整方面反应更为迅速,表现出较强的动态适应性;相比之下,平台和商家的策略演化进程相对缓慢,反映出其对环境不确定因素的响应偏于谨慎或存在滞后性。此外,随机干扰强度与策略选择过程中的波动程度之间呈现正相关关系,即干扰水平越高,策略调整的频率和波动性越显著。

5.4 本章小结

本章通过构建政府、电商平台、商家三方用户隐私管理的随机演化博弈模型,深入探讨了随机环境下三方策略的演化稳定性以及关键参数对策略选择的影响。主要结论如下:

首先,在政府、电商平台和商家三方博弈过程中,三方策略相互影响。政府根据电商平台和商家的策略调整监管手段,降低监管不严的可能性;电商平台在政府监管和商家行为的双重影响下策略有所波动,但最终更倾向于积极进行隐私管理;商家的策略相对稳定,受短期利益驱动保持较高的违规概率,但受政府和平台策略调整等多重因素影响,商家的策略也会有所波动。其次,政府策略受随机因素和隐私泄露概率的影响较小,总是倾向于严格监管。而电商平台和商家对隐私泄露更为敏感,隐私泄露概率的增加会促使他们采取更积极的隐私保护措施,进而增强系统的稳定性。此外,研究还发现,政府的奖惩机制在促进电子商务系统向隐私保护演进的过程中起到了关键作用。其中,褒奖机制比惩戒机制更能有效引导主体行为,适度加大奖惩力度可以减少投机行为,提升隐私保护的整体水平。但奖惩力度对政府监管策略演进的影响各不相同,需要根据监管目标和实际情况进行权衡。在奖惩分配方面,分配系数的设定会影响平台与商家之间的策略平衡,过分偏向任何一方都可能削弱制度的协同效应。最后,随机干扰强度主要作用于主体策略的波动幅度和系统演化的稳定速度,但不改变最终的演化均衡状态。

第 6 章 总结与展望

6.1 全文总结

在大数据时代，电子商务用户的隐私安全已成为亟待解决的重要问题。本文以单一电商平台和商家为研究对象，构建了有/无政府监管的微分博弈模型，探讨了不同博弈模式（无补贴的非合作、有补贴的非合作和合作）下主体的最优隐私保护策略、收益、整体隐私保护水平和声誉。此外，本文还进一步分析了随机环境下三方策略的稳定性，并研究了关键参数对策略选择的影响。研究的主要结论如下：

在第 3 章的研究中，平台的补贴策略被证明是提升平台和商家收益的重要手段，其效果取决于平台的收益系数阈值。当且仅当该系数超过特定水平时，平台才会向商家提供补贴。补贴策略的引入极大地改变了平台和商家的努力投入行为模式，平台通常会保持现有的努力水平以实现收益最大化，而商家则会在补贴的激励下进一步加大对隐私保护的投入。在合作博弈中，平台和商家能够实现隐私保护、声誉和经济收益的整体优化。此外，拓展模型和主模型的管理见解基本保持一致。分析表明，尽管存在延迟，只要在延迟时间可控的情况下，合作决策能显著提升隐私保护投入，强化整体隐私安全措施，改善声誉表现，带来更高的整体收益，促进电子商务生态系统的良性发展。

第 4 章的研究揭示了政府监管下平台和商家的隐私保护策略行为。研究发现，平台补贴策略的实施不仅受市场环境和收益系数的影响，还与政府奖惩比例密切相关。补贴策略促使平台维持原有投入强度，而商家则在补贴激励下加大隐私保护投入。在合作模式下，平台和商家的隐私保护决策更依赖于政府对行业的整体奖惩，而非单一奖惩比例。且政府对电商整体的奖惩行为能促进平台和商家的隐私保护努力及收益。与无补贴模式相比，补贴能够实现帕累托改进，但在隐私保护投入、经济收益、整体隐私保护水平、声誉表现等方面仍不如合作模式，进一步印证了合作模式在隐私保护中的优越性。

在第 5 章中,研究通过引入政府、电商平台和商家三方随机演化博弈模型,系统分析了各主体策略的相互影响和演化特征。结果表明,随机扰动强度在一定程度上影响系统的演化路径,但并不改变其最终所达到的稳定状态。在演化过程中,政府会逐步降低宽松监管的可能性。平台的策略受到政府监管和商家行为的双重影响,最终倾向于采取积极的管理策略。而商家的策略演化相对稳定,但由于短期利益驱动,违规概率仍然较高。然而,在政府和平台行为的共同作用下,商家策略行为也会出现明显的波动。进一步分析发现,隐私泄露的概率与电商平台和商家的策略演变存在非线性关系。政府策略受随机扰动的影响较小,始终倾向于严格监管。平台和商家对隐私泄露概率高度敏感,泄露概率的增加会促使平台和商家采取更严格的隐私保护措施,从而增强系统的稳定性。此外,政府的奖惩机制在引导电子商务系统向隐私保护演进的过程中起着关键作用,其中褒奖机制的激励效果优于惩罚机制,适度加大奖惩强度可以减少投机行为,规范行为主体的决策。但是,不同的奖惩强度对政府战略演化速度的影响也不尽相同,需要综合考虑,以达到最优的调控平衡。最后,奖惩系数的分配对平台策略和商家策略之间的平衡有重要影响,过度偏袒可能会破坏整体合作的有效性。

基于此,可以得出以下管理启示:

电子商务平台需要认识到补贴政策的战略价值,以激励商家加强隐私保护并建立良好声誉。但补贴策略必须基于对平台收入和市场动态的准确评估,以确保其经济可行性和长期竞争优势。此外,平台和商家之间的协同效应也是实现互惠互利的关键。为此,应建立长期稳定的信息共享机制,定期交流市场趋势、用户需求、隐私保护技术发展等信息,共同制定符合双方利益的管理策略。同时,要充分考虑时间延迟因素对战略实施效果的影响,通过优化时间管理,提高整体运营效率和经济收益。

政府的监管政策制定应充分考虑电子商务市场主体之间的动态博弈关系,平衡各方收益。在监管实践中,可以依据市场环境及隐私泄露的概率动态调整政策,建立科学合理的奖惩机制。一方面,要合理控制奖惩力度,既要保证褒奖能够充分发挥正面引导作用,促使电商平台和商家主动采取更加严格的隐私保护措施。又要强化惩戒措施的威慑力,以有效遏制潜在的违规行为。另一方面,要基于平台与商家的收益精细设计奖惩分配机制,避免利益失衡,促进双方合作。

6.2 研究展望

本研究在一定程度上拓展了电子商务隐私保护的研究范围。但仍有一些研究方向值得进一步深化。

首先，本文主要构建了电子商务平台与商家之间的博弈模型，并考虑了政府的监管行为。用户作为隐私保护的重要利益相关者，其行为特征尚未完全纳入分析框架。未来的研究可以进一步引入用户行为模型，系统研究用户对隐私保护的态度和偏好及其对电子商务平台和商家隐私保护策略的影响。用户的隐私需求和参与程度可能会直接影响平台和商家的隐私保护投入和策略选择。

其次，本文的研究侧重于单一电商平台与商家之间的互动，而现实的电商生态系统往往涉及多个平台，这些平台可能在隐私保护政策、用户数据管理、补贴策略等方面存在竞争和博弈。这种跨平台的互动不仅会影响隐私保护的整体水平，还可能左右行业的长期发展格局。因此，未来的研究可以进一步扩展到多平台竞争或合作模式下的隐私保护博弈分析。

参考文献

- [1] Storer,D.What is Ecommerce? Definitions, Examples [EB/OL](2024-03-17).
<https://whop.com/blog/what-is-ecommerce>.
- [2] Chandrasekhar K, Das S, Gupta N, et al. Comparative analysis of impulse buying behaviour across retail channels: a study of physical stores, e-commerce websites and mobile shopping apps[J]. *Economic Affairs*, 2024, 69(2): 1109-1120.
- [3] Jake Pool.The World's Top Online Marketplaces 2023[EB/OL](2024-03-06).
<https://www.webretailer.com/marketplaces-worldwide/online-marketplaces>.
- [4] Strzelecki A, Rizun M. Consumers' change in trust and security after a personal data breach in online shopping[J]. *Sustainability*, 2022, 14(10): 5866.
- [5] Anshori M Y, Karya D F, Gita M N. A study on the reuse intention of E-commerce platform applications: security, privacy, perceived value, and trust[J]. *Journal of Theoretical & Applied*, 2022, 15(1): 14-24.
- [6] Preibusch S, Peetz T, Acar G, et al. Shopping for privacy: Purchase details leaked to PayPal[J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2016, 15: 52-64.
- [7] Zhong G. E-Commerce consumer privacy protection based on differential privacy[C] //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2019, 1168(3): 032084.
- [8] Shen L, Chen Y, Fan R, et al. Government Supervision on Explosive Enterprises' Immoral Behaviors in E-Commerce Enterprises: An Evolutionary Game Analysis[J]. *Complexity*, 2021, 2021(1): 6664544.
- [9] Boritz J E, No W G. E-commerce and privacy: Exploring what we know and opportunities for future discovery[J]. *Journal of Information Systems*, 2011, 25(2): 11-45.
- [10] 中国消费者协会. 中国消费者协会、中国网络空间安全协会、新华网三方联合发布《个人信息超范围收集与泄露问题分析研究报告》[EB/OL](2025-03-15). <https://www.xinhuanet.com/digital/20250314/4b37cc36b435452c8944d1c4f3dcae7e/c.html>.
- [11] 成燕,梅姝娥,仲伟俊. 用户隐私风险感知对平台社交账号登录方式选择的影响研究 [J]. *中国管理科学*, 2020, 28 (12): 196-207.
- [12] 汪洋,陈洁,范雯健. 消费者数据隐私敏感性对渠道迁徙意愿的影响研究[J]. *管理学报*, 2021, 18 (08): 1212-1219.
- [13] 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.
- [14] Duan Y, Liu P, Feng Y. Pricing strategies of two-sided platforms considering privacy concerns[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2022, 64: 102781.
- [15] Song Z, Cheng J. Omnichannel expansion for traditional retailers: Considering consumers' privacy concerns[J]. *Managerial and Decision Economics*, 2023, 44(7): 3997-4010.

- [16] 何向,李莉,朱星圳,等. 线上线下渠道中考虑消费者反展厅现象的定价和广告策略[J]. 系统工程理论与实践, 2024, 44 (03): 1114-1130.
- [17] Bennett C J, Raab C D. The governance of privacy: Policy instruments in global perspective[M]. Routledge, 2017.
- [18] Aïmeur E, Gambs S, Ho A. Upp: User privacy policy for social networking sites[C]// 2009 Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services. IEEE, 2009: 267-272.
- [19] 杨瑞仙,沈嘉宁,许帆,等. 社交媒体APP隐私政策评价指标体系构建及实证研究[J]. 情报理论与实践,2023,46(1):81-89.
- [20] Jiang J,Zheng Z.Personal Information Protection and Privacy Policy Compliance of Health Code Apps in China: Scale Development and Content Analysis[J]. JMIR mHealth and uHealth,2023(11): e48714.
- [21] 张敏,沈嘉裕,刘华玮,等. 我国互联网医院APP的隐私政策评价研究——基于认知负荷与内容合规双重视域[J]. 现代情报,2023,43 (3):110-122.
- [22] Reidenberg J R, Breaux T, Cranor L F, et al. Disagreeable privacy policies: Mismatches between meaning and users' understanding[J]. Berkeley Tech. LJ, 2015, 30: 39.
- [23] Shahid J, Ahmad R, Kiani A K, et al. Data protection and privacy of the internet of healthcare things (IoHTs)[J]. Applied Sciences, 2022, 12(4): 1927.
- [24] Wu C, Wu F, Lyu L, et al. A federated graph neural network framework for privacy-preserving personalization[J]. Nature Communications, 2022, 13(1): 3091.
- [25] Zhang D, Ren L, Shafiq M, et al. A privacy protection framework for medical image security without key dependency based on visual cryptography and trusted computing[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2023, 2023(1): 6758406.
- [26] Onesimu J A, Karthikeyan J, Sei Y. An efficient clustering-based anonymization scheme for privacy-preserving data collection in IoT based healthcare services[J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2021, 14(3): 1629-1649.
- [27] Chen Y, Meng L, Zhou H, et al. A blockchain-based medical data sharing mechanism with attribute-based access control and privacy protection[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2021, 2021(1): 6685762.
- [28] Guo G, Zhu Y, Yu R, et al. A privacy-preserving framework with self-governance and permission delegation in online social networks[J]. IEEE Access, 2020, 8: 157116-157129.
- [29] Alabdulatif A, Thilakarathne N N, Kalinaki K. A novel cloud enabled access control model for preserving the security and privacy of medical big data[J]. Electronics, 2023, 12(12): 2646.
- [30] Lv Z, Piccialli F. The security of medical data on internet based on differential privacy technology[J]. ACM Transactions on Internet Technology, 2021, 21(3): 1-18.
- [31] Zhang J, Si K, Zeng Z, et al. Iea-dp: information entropy-driven adaptive differential privacy protection scheme for social networks[J]. The Journal of Supercomputing, 2024, 80(14): 20546-20582.
- [32] 向小东,林华.补贴政策下政府与生产商不完全信息博弈研究[J]. 西安电子科

- 技大学学报(社会科学版),2020,30(3):1-15.
- [33] 张川,陈宇潇.政府补贴下考虑规模效应的动力电池梯次利用闭环供应链决策与协调[J]. 运筹与管理,2021,30(12):72-77,91.
- [34] Wu R, Chen Y, Jiang M, et al. Research on government green subsidy strategy of heterogeneous agricultural product supply chain[J]. *Discrete Dynamics in Nature and Society*,2023(1):8040707.
- [35] 王道平,常敬雅. 政府补贴下考虑持股合作战略的供应链减排动态协调方法[J]. 控制与决策,2024,39(4):1370-1378.
- [36] Jin W, Yang J, Wang C. Cost subsidy or environmental regulation? The effects of government interventions on environmental quality and 3BL performance[J]. *International Journal of Production Economics*, 2024, 270: 109180.
- [37] 梁喜,苏玉婷,胡鑫,等. 考虑区块链及补贴的绿色闭环供应链定价与回收渠道选择[J/OL]. 系统工程, 1-26[2025-02-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1115.n.20250211.1424.004.html>.
- [38] Wu L, Hu K, Lyulyov O, et al. The impact of government subsidies on technological innovation in agribusiness: The case for China[J]. *Sustainability*, 2022, 14(21): 14003.
- [39] Huang S, Du B, Chen Z, et al. The government subsidy design considering the reference price effect in a green supply chain[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2024, 31(15): 22645-22662.
- [40] 林志炳. 考虑政府补贴及产能约束的两周期绿色供应链定价研究 [J/OL]. 工业工程与管理, 1-21[2025-03-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1738.T.20250226.1736.014.html>.
- [41] 王方,尹雪薇,余乐安.政府监管下信息敏感型WEEE双渠道回收策略研究[J]. 系统工程理论与实践,2024,44(08):2592-2604.
- [42] 王笑笑,梁昌勇,陈敬贤.政府质量监管下的养老机构外包决策研究[J/OL].中国管理科学,1-19[2025-02-17]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.1843>.
- [43] Huang X, Zhan W, Li C, et al. Collaborative decision-making of the supply chain system considering green innovation capability[J]. *Kybernetes*, 2024. <https://doi.org/10.1108/K-10-2023-2183>.
- [44] 赵连霞,龚眉,林梦婷,等. 考虑生态标签欺诈和同行监督的双寡头竞争策略研究[J/OL]. 系统工程理论与实践, 1-18[2025-03-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20250106.1621.004.html>.
- [45] Yang J, Long R, Chen H, et al. A comparative analysis of express packaging waste recycling models based on the differential game theory[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 168: 105449.
- [46] 王道平,张可,周玉.竞争视角下考虑技术创新的逆向供应链微分博弈[J]. 控制与决策,2023,38(09):2653-2662.
- [47] He L, Yuan B, Bian J, et al. Differential game theoretic analysis of the dynamic emission abatement in low-carbon supply chains[J]. *Annals of Operations Research*, 2023, 324(1): 355-393.
- [48] 张明,薛林昭,王文文.排放权交易与竞争机制下跨界污染控制策略研究[J/OL].中国管理科学,1-24[2025-02-17]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207>

- x.2022.0960.
- [49] Liang Y, Liang X, Wei H. Differential game study of competitive supply chain based on sustainable innovation of public technology[J]. IEEE Access, 2023, 11: 88824-88840.
- [50] 徒君,朱淼雨,黄敏. 不同供应链结构下基于微分博弈的线上线下渠道竞争策略[J]. 控制与决策, 2025, 40 (03): 736-744.
- [51] 刘浪,陈思仪,陈烁.制造商价格竞争的纵向延时合作广告与定价策略[J]. 中国管理科学,2024,32(09):182-192.
- [52] 林帅成,张桂涛. “双积分” 政策下考虑新能源汽车续航和广告宣传水平的微分策略研究[J/OL]. 中国管理科学,1-12[2025-02-17]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2024.0653>.
- [53] 段梅,刘振威,刘浪. 考虑消费者购买后悔的动态闭环供应链微分博弈 [J/OL]. 中国管理科学,1-11[2025-03-15]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.2756>.
- [54] Sun H, Gao G, Li Z. Research on the cooperative mechanism of government and enterprise for basin ecological compensation based on differential game[J]. Plos one, 2021, 16(7): e0254411.
- [55] Ding J, Chen L, Deng M, et al. A differential game for basin ecological compensation mechanism based on cross-regional government-enterprise cooperation[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 362: 132335.
- [56] 侯春娟,鲁祖亮,黄飞.基于微分博弈的政企间流域生态补偿价值机制研究[J]. 数学的实践与认识,2023,53(11):75-83.
- [57] Liu P, Wu Y. Differential Game Analysis of Shared Manufacturing Platform Pricing Considering Cooperative Advertising Under Government Subsidies[J]. IEEE Access, 2023, 11: 132852-132866.
- [58] Wu Y, Liu P. Pricing strategies for shared manufacturing platform considering cooperative advertising based on differential game[J]. PLoS One, 2024, 19(7): e0303928.
- [59] 刘丽,谷玉荣,韩同银.动态视角下考虑政府补贴方式的绿色供应链定价与投资策略[J]. 数学的实践与认识,2024,54(12):36-50.
- [60] 王丹丹,营利荣,付帅帅.考虑消费者反馈共治的跨境电商平台商家信用监督治理[J]. 计算机集成制造系统,2023,29(03):989-1000.
- [61] Xu X, Wang L, Wang X. Evolutionary game analysis of information service quality control of e-commerce platforms under information ecology[J]. Journal of Management Analytics, 2024, 11(1): 135-159.
- [62] 张芳,张经纬.考虑物流时效的电商农产品供应链演化博弈研究[J]. 计算机工程与应用,2024,60(19):323-333.
- [63] 余文涛,张国阳,何毅,等.平台经济环境下“平台-物流-商家”生态合作演化博弈研究[J/OL]. 系统工程理论与实践,1-30[2025-02-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20240928.1330.010.html>.
- [64] Qiu Z, Yin Y, Yuan Y, et al. Research on Credit Regulation Mechanism of E-commerce Platform Based on Evolutionary Game Theory[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2024: 1-30.
- [65] Le C, Zheng R, Lu T, et al. User Real Comments Incentive Mechanism Based on

- Blockchain in E-Commerce Transactions—A Tripartite Evolutionary Game Analysis[J]. *Entropy*, 2024, 26(12): 1005.
- [66] Foster D, Young P. Stochastic evolutionary game dynamics[J]. *Theoretical population biology*, 1990, 38(2): 219-232.
- [67] 徐新扬,杨扬.碳交易政策下的物流与制造业联动减排随机演化博弈[J]. *中国环境科学*,2022,42(10):4860-4870.
- [68] Zhang P, Ding R. How to achieve carbon abatement in aviation with hybrid mechanism? A stochastic evolutionary game model[J]. *Energy*, 2023, 285: 129349.
- [69] 董昌其,刘纪达,米加宁.安全生产数字化协同监管集体行动的随机演化博弈分析[J]. *运筹与管理*,2023,32(11):155-162.
- [70] 刘琦铀,林丽婷,张成科.基于随机演化博弈视角的绿色农产品生产与合谋监管研究[J]. *北方园艺*,2024,(11):119-126.
- [71] Lu Z, Xing L, Xu R, et al. Stochastic evolution game analysis of the strategic coalition of enterprise pollution control[J]. *AIMS MATHEMATICS*, 2024, 9(4): 9287-9310.
- [72] 陈伟杰,汤玉秀,张涛.环境信用监管下相关主体策略行为的随机演化分析[J/O L]. *复杂系统与复杂性科学*,1-10[2025-01-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1402.N.20240103.1237.002.html>.
- [73] Caulkins J P, Feichtinger G, Grass D, et al. Interaction of pricing, advertising and experience quality: A dynamic analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 256(3): 877-885.
- [74] Wang K, Wu P, Zhang W. Stochastic differential game of joint emission reduction in the supply chain based on CSR and carbon cap-and-trade mechanism[J]. *Journal of the Franklin Institute*, 2024, 361(6): 106719.
- [75] Patton M A, Jøsang A. Technologies for trust in electronic commerce[J]. *Electronic Commerce Research*, 2004, 4: 9-21.
- [76] Tang Z, Hu Y U, Smith M D. Gaining trust through online privacy protection: Self-regulation, mandatory standards, or caveat emptor[J]. *Journal of Management Information Systems*, 2008, 24(4): 153-173.
- [77] Nerlove M, Arrow K J. Optimal advertising policy under dynamic conditions[J]. *Economica*, 1962: 129-142.
- [78] Kusuma L, Rejeki S, Robiyanto R, et al. Reputation system of C2C e-commerce, buying interest and trust[J]. *Business: Theory and Practice*, 2020, 21(1): 314-321.
- [79] Aparicio M, Costa C J, Moises R. Gamification and reputation: key determinants of e-commerce usage and repurchase intention[J]. *Heliyon*, 2021, 7(3): e06383.
- [80] Belanger F, Hiller J S, Smith W J. Trustworthiness in electronic commerce: the role of privacy, security, and site attributes[J]. *The journal of strategic Information Systems*, 2002, 11(3-4): 245-270.
- [81] Zhou T. The effect of information privacy concern on users' social shopping intention[J]. *Online Information Review*, 2020, 44(5): 1119-1133.
- [82] Zhan L, Shu H, Zhou X, et al. A quality decision model considering the delay effects in a dual-channel supply chain[J]. *Sustainability*, 2022, 14(10): 6240.
- [83] 李晓娣,原媛.负责任创新的多主体随机演化博弈研究——以应对老年数字鸿沟为例[J].*运筹与管理*,2023,32(11):124-131.

- [84] Zhu Q, Zong R, Xu M. Three-party stochastic evolutionary game analysis of supply chain finance based on blockchain technology[J]. Sustainability, 2023, 15(4): 3084.
- [85] 危小超,余其平,聂规划.过度自信下直播电商信用监管的随机演化分析[J]. 系统工程学报,2024,39(04):552-569.

附录

1-1-1 证明第3章命题1

记 t 时刻最优收益函数为 $V_i^N (i = p, m)$

根据最优控制解法，平台、商家的 HJB 方程分别为：

$$\rho V_p^N = \max_{E_p} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p E_p^2(t)}{2} + V_{ph}^{N'} [\lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t)] + V_{pf}^{N'} [\varepsilon h(t) - (\varepsilon \tau + \eta) f(t)] \right\},$$

$$\rho V_m^N = \max_{E_m} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m E_m^2(t)}{2} + V_{mh}^{N'} [\lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t)] + V_{mf}^{N'} [\varepsilon h(t) - (\varepsilon \tau + \eta) f(t)] \right\}.$$

对上式两边同时对各自的决策变量 $E_p(t)$ 、 $E_m(t)$ 进行一阶偏导，解得：

$$E_p^N = \frac{\lambda_p V_{ph}^{N'}}{r_p}, \quad E_m^N = \frac{\lambda_m V_{mh}^{N'}}{r_m}.$$

将 $E_p^N = \frac{\lambda_p V_{ph}^{N'}}{r_p}$ ， $E_m^N = \frac{\lambda_m V_{mh}^{N'}}{r_m}$ 代入上述 HJB 方程整理可得：

$$\rho V_p^N = D_0 \theta_p + h(\varepsilon V_{pf}^{N'} - \omega V_{ph}^{N'} + \alpha \theta_p) + f[(-\varepsilon \tau - \eta) V_{pf}^{N'} + \beta \theta_p] + \frac{V_{mh}^{N'} V_{ph}^{N'} \lambda_m^2}{r_m} + \frac{V_{ph}^{N'^2} \lambda_p^2}{2r_p},$$

$$\rho V_m^N = D_0 \theta_m + h(\varepsilon V_{mf}^{N'} - \omega V_{mh}^{N'} + \alpha \theta_m) + f[(-\varepsilon \tau - \eta) V_{mf}^{N'} + \beta \theta_m] + \frac{V_{mh}^{N'^2} \lambda_m^2}{2r_m} + \frac{V_{mh}^{N'} V_{ph}^{N'} \lambda_p^2}{r_p}.$$

可知，该微分方程是齐次，故设 $V_{pi}^N(h, f) = a_1 h + b_1 f + c_1$ ， $V_{mi}^N(h, f) = a_2 h + b_2 f + c_2$ ，其

中 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 、 c_1 、 c_2 均为常数，此时 $V_{ph}^{N'} = a_1$ ， $V_{pf}^{N'} = b_1$ ， $V_{mh}^{N'} = a_2$ ， $V_{mf}^{N'} = b_2$ 。代入上式

可得：

$$\rho(a_1 h + b_1 f + c_1) = D_0 \theta_p + h(-\omega a_1 + \varepsilon b_1 + \alpha \theta_p) + f[(-\varepsilon \tau - \eta) b_1 + \beta \theta_p] + \frac{a_1 a_2 \lambda_m^2}{r_m} + \frac{a_1^2 \lambda_p^2}{2r_p},$$

$$\rho(a_2 h + b_2 f + c_2) = D_0 \theta_m + h(-\omega a_2 + \varepsilon b_2 + \alpha \theta_m) + f[(-\varepsilon \tau - \eta) b_2 + \beta \theta_m] + \frac{a_2^2 \lambda_m^2}{2r_m} + \frac{a_1 a_2 \lambda_p^2}{r_p}。$$

对比左右同类项系数，解得

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{(\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)) \theta_p}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)}, \quad b_1 = \frac{\beta \theta_p}{\varepsilon \tau + \eta + \rho}, \\ c_1 &= \frac{\theta_p \left(2D_0 + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)]^2 (2r_p \theta_m \lambda_m^2 + r_m \theta_p \lambda_p^2)}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p} \right)}{2\rho}。 \\ a_2 &= \frac{(\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)) \theta_m}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)}, \quad b_2 = \frac{\beta \theta_m}{\varepsilon \tau + \eta + \rho}, \\ c_2 &= \frac{\theta_m \left(2D_0 + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)]^2 (r_p \theta_m \lambda_m^2 + 2r_m \theta_p \lambda_p^2)}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p} \right)}{2\rho}。 \\ a_2 &= \frac{(\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)) \theta_m}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)}, \quad b_2 = \frac{\beta \theta_m}{\varepsilon \tau + \eta + \rho}, \\ c_2 &= \frac{\theta_m \left(2D_0 + \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)]^2 (r_p \theta_m \lambda_m^2 + 2r_m \theta_p \lambda_p^2)}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p} \right)}{2\rho}。 \end{aligned}$$

将上述结果代入式 $E_p^N = \frac{\lambda_p V_{ph}^{N'}}{r_p}$, $E_m^N = \frac{\lambda_m V_{mh}^{N'}}{r_m}$ 中可以得到最优努力程度，代入可以分

别得到用户、平台和商家的收益，将式 $E_p^N = \frac{\lambda_p V_{ph}^{N'}}{r_p}$, $E_m^N = \frac{\lambda_m V_{mh}^{N'}}{r_m}$ 分别代入(3-1)、(3-

2)可以得到最优轨迹方程。

证毕。

1-1-2 证明命题2

这里，采用逆向归纳法实施求解。首先，商家 HJB 方程为：

$$\rho V_m^S = \max_{E_m} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m (1 - \varphi) E_m^2(t)}{2} + V_{mh}^{N'} [\lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t)] \right. \\ \left. + V_{mf}^{N'} [\varepsilon h(t) - (\varepsilon \tau + \eta) f(t)] \right\}。$$

对上式两边同时对决策变量 $E_m(t)$ 进行一阶偏导，解得：

$$E_m^S = -\frac{\lambda_m V_{mh}^{S'}}{r_m (-1 + \varphi)}。$$

平台的 HJB 方程为:

$$\rho V_p^S = \max_{E_p} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + f(t)] - \frac{r_p E_p^2(t)}{2} - \frac{r_m \phi E_m^2(t)}{2} + V_{pf}^{S'} [\varepsilon h(t) - (\varepsilon \tau + \eta) f(t)] + V_{ph}^{S'} [\lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t)] \right\}.$$

完全信息下, 平台会根据商家的均衡策略来决定自身最优策略。故将式

$E_m^S = -\frac{\lambda_m V_{mh}^{S'}}{r_m(-1+\phi)}$ 代入上述平台 HJB 方程, 此时平台的 HJB 方程为

$$\rho V_p^S = \max_{E_p} \left\{ V_{pf}^{S'} [\varepsilon h(t) - (\varepsilon \tau + \eta) f(t)] - \frac{r_p E_p^2(t)}{2} + \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{\phi V_{mh}^{S'^2} \lambda_m^2}{2(-1+\phi)^2 r_m} + V_{ph}^{S'} \left[-\frac{V_{mh}^{S'} \lambda_m^2}{(-1+\phi) r_m} + \lambda_p E_p(t) - \omega h(t) \right] \right\}.$$

对上式两边分别同时对 $E_p(t)$ 、 ϕ 进行一阶偏导, 得到 $E_p^S = \frac{\lambda_p V_{ph}^{S'}}{r_p}$ 和 $\phi = \frac{2V_{ph}^{S'} - V_{mh}^{S'}}{2V_{ph}^{S'} + V_{mh}^{S'}}$ 。

剩余证明过程参考命题 1, 此处省略。

证毕。

1-1-3 证明推论 1

$$\frac{\partial E_i^N}{\partial \theta_i} = \frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)] \lambda_i}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_i} > 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial \alpha} = \frac{\theta_i \lambda_i}{(\rho + \omega) r_i} > 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial \beta} = \frac{\varepsilon \theta_i \lambda_i}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_i} > 0,$$

$$\frac{\partial E_i^N}{\partial \varepsilon} = \frac{\beta(\eta + \rho) \theta_i \lambda_i}{(\eta + \rho + \varepsilon \tau)^2 (\rho + \omega) r_i} > 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial \tau} = -\frac{\beta \varepsilon^2 \theta_i \lambda_i}{(\eta + \rho + \varepsilon \tau)^2 (\rho + \omega) r_i} < 0,$$

$$\frac{\partial E_i^N}{\partial \eta} = -\frac{\beta \varepsilon \theta_i \lambda_i}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega) r_i} < 0, \quad \frac{\partial E_i^N}{\partial \omega} = -\frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)] \theta_i \lambda_i}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)^2 r_i} < 0,$$

$$\frac{\partial E_i^N}{\partial r_i} = -\frac{[\beta \varepsilon + \alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)] \theta_i \lambda_i}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_i^2} < 0,$$

$$\frac{\partial E_i^N}{\partial \rho} = -\frac{[\alpha(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 + \beta \varepsilon(\varepsilon \tau + \eta + 2\rho + \omega)] \theta_i \lambda_i}{(\varepsilon \tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega)^2 r_i} < 0.$$

证毕。

1-1-4 证明推论 2

$$\frac{\partial E_m^S}{\partial \theta_m} = \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]\lambda_m}{2(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)r_m} < \frac{\partial E_m^S}{\partial \theta_p} = \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]\lambda_m}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)r_m}。$$

证毕。

1-1-5 证明推论 5

由均衡解可知

$$\text{平台方面, 有 } E_p^{N*} = E_p^{S*}, E_p^{T*} - E_p^{S*} = \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\varepsilon\tau + \eta + \rho)]\theta_m\lambda_p}{(\varepsilon\tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)r_p}, \text{ 即 } E_p^{T*} > E_p^{S*}。$$

$$\text{商家方面, 有 } E_m^{S*} - E_m^{N*} = -\frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\varepsilon\tau + \eta + \rho)](\theta_m - 2\theta_p)\lambda_m}{2(\varepsilon\tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)r_m}, \text{ 由 } 2\theta_p > \theta_m, \text{ 得到 } E_m^{S*} > E_m^{N*}。$$

$$E_m^{T*} - E_m^{S*} = \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\varepsilon\tau + \eta + \rho)]\theta_m\lambda_m}{2(\varepsilon\tau + \eta + \rho)(\rho + \omega)r_m} > 0, \text{ 即 } E_m^{T*} > E_m^{S*}。$$

证毕。

1-1-6 证明推论 6

对隐私保护程度来说,

$$h^{S*} - h^{N*} = \frac{e^{-t\omega}(-1 + e^{t\omega})[\beta\varepsilon + \alpha(\varepsilon\tau + \eta + \rho)](2\theta_p - \theta_m)\lambda_m^2}{2(\varepsilon\tau + \eta + \rho)\omega(\rho + \omega)r_m} > 0, \quad h^{S*} > h^{N*}。$$

$$h^{T*} - h^{S*} = \frac{e^{-t\omega}(-1 + e^{t\omega})[\beta\varepsilon + \alpha(\varepsilon\tau + \eta + \rho)]\theta_m(r_p\lambda_m^2 + 2r_m\lambda_p^2)}{2(\varepsilon\tau + \eta + \rho)\omega(\rho + \omega)r_mr_p} > 0, \quad h^{T*} > h^{S*}。$$

对声誉轨迹来说, 记

$$\partial_G \left[e^{-(\varepsilon\tau + \eta)t} \left(f_0 - \frac{G}{\varepsilon\tau + \eta} \right) + \frac{G}{\varepsilon\tau + \eta} \right] = \frac{1}{\varepsilon\tau + \eta} - \frac{e^{-t(\varepsilon\tau + \eta)}}{\varepsilon\tau + \eta} > 0, \text{ 即 } f(G) \text{ 单调递增。}$$

$$G^{S*} - G^{N*} = -\frac{e^{-t\omega}(-1 + e^{t\omega})\varepsilon[\beta\varepsilon + \alpha(\varepsilon\tau + \eta + \rho)](\theta_m - 2\theta_p)\lambda_m^2}{2(\varepsilon\tau + \eta + \rho)\omega(\rho + \omega)r_m} > 0, \quad f^{S*} > f^{N*}。$$

$$G^{T*} - G^{S*} = \varepsilon \left[\frac{e^{-t\omega}(-1 + e^{t\omega})[\beta\varepsilon + \alpha(\varepsilon\tau + \eta + \rho)]\theta_m(r_p\lambda_m^2 + 2r_m\lambda_p^2)}{2(\varepsilon\tau + \eta + \rho)\omega(\rho + \omega)r_mr_p} \right] > 0, \quad f^{T*} > f^{S*}。$$

证毕。

1-1-7 证明推论 7

由 $h^{S*} > h^{N*}$, $h^{T*} > h^{S*}$, $f^{S*} > f^{N*}$, $f^{T*} > f^{S*}$ 和 $2\theta_p > \theta_m$ 得到

$$\begin{aligned} V_p^{S*} - V_p^{N*} &= \frac{\left\{ (h^S - h^N) [\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)] + (f^S - f^N) \beta \right\} \theta_p}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)} + \\ &\quad \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]^2 (\theta_m - 2\theta_p)^2 \lambda_m^2}{8\rho(\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2 (\rho + \omega)^2 r_m} > 0, \\ V_m^{S*} - V_m^{N*} &= \frac{\left\{ (h^S - h^N) [\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)] + (f^S - f^N) \beta \right\} \theta_m}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)} + \\ &\quad \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]^2 \theta_m (2\theta_p - \theta_m) \lambda_m^2}{4\rho(\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2 (\rho + \omega)^2 r_m} > 0, \\ V^{T*} - V^{S*} &= \frac{\left\{ (h^T - h^S) [\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)] + (f^T - f^S) \beta \right\} (\theta_m + \theta_p)}{(\eta + \rho + \varepsilon\tau)(\rho + \omega)} + \\ &\quad \frac{[\beta\varepsilon + \alpha(\eta + \rho + \varepsilon\tau)]^2 \theta_m^2 (r_p \lambda_m^2 + 4r_m \lambda_p^2)}{8\rho(\eta + \rho + \varepsilon\tau)^2 (\rho + \omega)^2 r_m r_p} > 0. \end{aligned}$$

即 $V_p^{S*} > V_p^{N*}$, $V_m^{S*} > V_m^{N*}$, $V^{T*} > V^{S*}$ 。

证毕。

2-1-1 证明第 4 章推论 1

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_i^N}{\partial \alpha} &= \frac{\theta_i \lambda_i}{(\rho + \omega) r_i} > 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \beta} = \frac{(\varepsilon + \kappa) \theta_i \lambda_i}{(\varepsilon\tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_i} > 0, \frac{\partial E_i^N}{\partial \kappa} = \frac{\beta \theta_i \lambda_i}{(\varepsilon\tau + \eta + \rho)(\rho + \omega) r_i} > 0, \\ \frac{\partial E_p^N}{\partial \mu} &= \frac{(1 - \nu) \lambda_p}{(\rho + \omega) r_p} > 0, \frac{\partial E_m^N}{\partial \mu} = \frac{\nu \lambda_m}{(\rho + \omega) r_m} > 0, \frac{\partial E_p^N}{\partial (1 - \nu)} = \frac{\mu \lambda_p}{(\rho + \omega) r_p} > 0, \frac{\partial E_m^N}{\partial \nu} = \frac{\mu \lambda_m}{(\rho + \omega) r_m} > 0, \\ \frac{\partial E_p^N}{\partial r_p} &= - \frac{\left[\mu(1 - \nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\varepsilon\tau + \eta + \rho} \right) \theta_p \right] \lambda_p}{(\rho + \omega) r_p^2} < 0, \frac{\partial E_m^N}{\partial r_m} = - \frac{\left[\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\varepsilon\tau + \eta + \rho} \right) \theta_m \right] \lambda_m}{(\rho + \omega) r_m^2} < 0, \\ \frac{\partial E_m^N}{\partial \omega} &= - \frac{\left[\mu\nu + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) \theta_m \right] \lambda_m}{(\rho + \omega)^2 r_m} < 0, \frac{\partial E_p^N}{\partial \omega} = - \frac{\left[\mu(1 - \nu) + \left(\alpha + \frac{\beta(\varepsilon + \kappa)}{\eta + \rho + \varepsilon\tau} \right) \theta_p \right] \lambda_p}{(\rho + \omega)^2 r_p} < 0, \\ \frac{\partial E_i^N}{\partial \eta} &= - \frac{\beta(\varepsilon + \kappa) \theta_i \lambda_i}{(\varepsilon\tau + \eta + \rho)^2 (\rho + \omega) r_i} < 0. \end{aligned}$$

证毕。

2-1-2 证明推论 2

由 $\varphi^* = \frac{\mu(-2+3\nu)(\eta+\rho+\varepsilon\tau)+[\beta(\varepsilon+\kappa)+\alpha(\eta+\rho+\varepsilon\tau)](\theta_m-2\theta_p)}{\mu(-2+\nu)(\eta+\rho+\varepsilon\tau)-[\beta(\varepsilon+\kappa)+\alpha(\eta+\rho+\varepsilon\tau)](\theta_m+2\theta_p)} > 0$, 得

$$\textcircled{1} 0 < \nu < \frac{2}{3}, \text{ 且 } \theta_p \geq \frac{\theta_m}{2};$$

$$\textcircled{2} \nu = \frac{2}{3} \text{ 时, } \theta_p > \frac{\theta_m}{2};$$

$$\textcircled{3} \frac{2}{3} < \nu < 1, \theta_p > \frac{\theta_m}{2} \text{ 且 } \alpha \geq \frac{-2\mu+3\mu\nu}{-\theta_m+2\theta_p}.$$

证毕。

2-1-3 证明命题 1

记 t 时刻最优收益函数为 $V_i^N (i = p, m)$

根据最优控制解法, 平台、商家的 HJB 方程分别为:

$$\begin{aligned} \rho V_p^N &= \max_{E_p} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_p E_p^2(t)}{2} + \mu(1-\nu)(h-L) \right. \\ &\quad \left. + V_{ph}^{N'} [\lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t)] + V_{pf}^{N'} [(\varepsilon + \kappa)h - (\varepsilon\tau + \eta)f - \kappa L] \right\}, \\ \rho V_m^N &= \max_{E_m} \left\{ \theta_m [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{r_m E_m^2(t)}{2} + \mu\nu(h-L) \right. \\ &\quad \left. + V_{mh}^{N'} [\lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t)] + V_{mf}^{N'} [(\varepsilon + \kappa)h - (\varepsilon\tau + \eta)f - \kappa L] \right\}. \end{aligned}$$

对上式两边同时对各自的决策变量 $E_p(t)$ 、 $E_m(t)$ 进行一阶偏导, 解得:

$$E_p^N = \frac{\lambda_p V_{ph}^{N'}}{r_p}, \quad E_m^N = \frac{\lambda_m V_{mh}^{N'}}{r_m}.$$

将解得式代入上述 HJB 方程整理可得:

$$\begin{aligned} \rho V_p^N &= L\mu(-1+\nu) - L\kappa \dot{V}_{pf} + D_0 \theta_p + h \left[-\mu(-1+\nu) + (\varepsilon + \kappa) \dot{V}_{pf} - \omega \dot{V}_{ph} + \alpha \theta_p \right] \\ &\quad + f \left[(-\eta - \varepsilon\tau) \dot{V}_{pf} + \beta \theta_p \right] + \frac{\dot{V}_{mh} \dot{V}_{ph} \lambda_m^2}{r_m} + \frac{\dot{V}_{ph}^2 \lambda_p^2}{2r_p}, \\ \rho V_m^N &= -L\mu\nu - L\kappa \dot{V}_{mf} + D_0 \theta_m + h \left[\mu\nu + (\varepsilon + \kappa) \dot{V}_{mf} - \omega \dot{V}_{mh} + \alpha \theta_m \right] \\ &\quad + f \left[(-\eta - \varepsilon\tau) \dot{V}_{mf} + \beta \theta_m \right] + \frac{\dot{V}_{mh}^2 \lambda_m^2}{2r_m} + \frac{\dot{V}_{mh} \dot{V}_{ph} \lambda_p^2}{r_p}. \end{aligned}$$

可知, 该微分方程是齐次, 故设 $V_{pi}^N(h, f) = a_1 h + b_1 f + c_1$, $V_{mi}^N(h, f) = a_2 h + b_2 f + c_2$, 其中 a_1 、

a_2 、 b_1 、 b_2 、 c_1 、 c_2 均为常数, 此时 $V_{ph}^{N'}=a_1$, $V_{pf}^{N'}=b_1$, $V_{mh}^{N'}=a_2$, $V_{mf}^{N'}=b_2$ 。代入式(5)可得:

$$\begin{aligned}\rho(a_1h+b_1f+c_1) &= L\mu(-1+\nu)-L\kappa b_1+D_0\theta_p+h[-\mu(-1+\nu)-\omega a_1+(\varepsilon+\kappa)b_1+\alpha\theta_p] \\ &+f[(-\eta-\varepsilon\tau)b_1+\beta\theta_p]+\frac{a_1a_2\lambda_m^2}{r_m}+\frac{a_1^2\lambda_p^2}{2r_p}, \\ \rho(a_2h+b_2f+c_2) &= -L\mu\nu-L\kappa b_2+D_0\theta_m+h[\mu\nu-\omega a_2+(\varepsilon+\kappa)b_2+\alpha\theta_m] \\ &+f[(-\eta-\varepsilon\tau)b_2+\beta\theta_m]+\frac{a_2^2\lambda_m^2}{2r_m}+\frac{a_1a_2\lambda_p^2}{r_p}.\end{aligned}$$

对比左右同类项系数, 解得

$$\begin{aligned}a_1 &= \frac{\mu(1-\nu)+\left(\alpha+\frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\varepsilon\tau+\eta+\rho}\right)\theta_p}{\rho+\omega}; b_1 = \frac{\beta\theta_p}{\varepsilon\tau+\eta+\rho}; a_2 = \frac{\mu\nu+\left(\alpha+\frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}\right)\theta_m}{\rho+\omega}; \\ b_2 &= \frac{\beta\theta_m}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}; c_1 = \frac{L\mu(-1+\nu)-\frac{L\beta\kappa\theta_p}{\varepsilon\tau+\eta+\rho}+D_0\theta_p}{\rho}+ \\ &\frac{\left(\mu-\mu\nu+\left(\alpha+\frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}\right)\theta_p\right)\left(\frac{2\left(\mu\nu+\left(\alpha+\frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}\right)\theta_m\right)\lambda_m^2}{r_m}+\frac{\left(\mu-\mu\nu+\left(\alpha+\frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}\right)\theta_p\right)\lambda_p^2}{r_p}\right)}{2\rho(\rho+\omega)^2}; \\ c_2 &= \frac{D_0\theta_m-L\left(\mu\nu+\frac{\beta\kappa\theta_m}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}\right)}{\rho}+ \\ &\frac{\left(\mu\nu+\left(\alpha+\frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}\right)\theta_m\right)\left(\frac{\left(\mu\nu+\left(\alpha+\frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}\right)\theta_m\right)\lambda_m^2}{r_m}-\frac{2\left(\mu-\mu\nu+\left(\alpha+\frac{\beta(\varepsilon+\kappa)}{\eta+\rho+\varepsilon\tau}\right)\theta_p\right)\lambda_p^2}{r_p}\right)}{2\rho(\rho+\omega)^2}.\end{aligned}$$

将上述结果代入式 $E_p^N = \frac{\lambda_p V_{ph}^{N'}}{r_p}$, $E_m^N = \frac{\lambda_m V_{mh}^{N'}}{r_m}$ 中可以得到最优努力程度, 代入可以分别得到平台和商家的收益, 将式 $E_p^N = \frac{\lambda_p V_{ph}^{N'}}{r_p}$, $E_m^N = \frac{\lambda_m V_{mh}^{N'}}{r_m}$ 分别代入整体隐私保护水平 and 声誉方程中可以得到最优轨迹方程。

证毕。

2-1-4 证明命题2

这里，采用逆向归纳法实施求解。首先，商家 HJB 方程为：

$$\rho V_m^S = \max_{E_m} \left\{ \theta_m (D_0 + \alpha h + \beta f) - \frac{r_m (1 - \varphi) e m^2}{2} + \mu \nu (h - L) + \right. \\ \left. V_{mh} (\lambda_p e p + \lambda_m e m - \omega h) + V_{mf} [(\varepsilon + \kappa) h - (\varepsilon \tau + \eta) f - \kappa L] \right\}。$$

对上式两边同时对决策变量 $E_m(t)$ 进行一阶偏导，解得：

$$E_m^S = -\frac{V_{mh} \lambda_m}{(-1 + \varphi) r_m}。$$

平台的 HJB 方程为：

$$\rho V_p^S = \max_{E_p} \left\{ \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + f(t)] - \frac{r_p E_p^2(t)}{2} - \frac{r_m \varphi E_m^2(t)}{2} + \mu (1 - \nu) (h - L) + \right. \\ \left. V_{pf} [(\varepsilon + \kappa) h - (\varepsilon \tau + \eta) f - \kappa L] + V_{ph} [\lambda_p E_p(t) + \lambda_m E_m(t) - \omega h(t)] \right\}。$$

完全信息下，平台会根据商家的均衡策略来决定自身最优策略。故将式

$E_m^S = -\frac{V_{mh} \lambda_m}{(-1 + \varphi) r_m}$ 代入上式，此时平台的 HJB 方程为

$$\rho V_p^S = \max_{E_p} \left\{ (h - L) \mu (1 - \nu) + V_{pf} [-L \kappa + h(\varepsilon + \kappa) - f(\eta + \varepsilon \tau)] - \frac{r_p E_p^2(t)}{2} + \right. \\ \left. \theta_p [D_0 + \alpha h(t) + \beta f(t)] - \frac{\varphi V_{mh}^2 \lambda_m^2}{2(-1 + \varphi)^2 r_m} + V_{ph} \left[-\frac{V_{mh}^2 \lambda_m^2}{(-1 + \varphi) r_m} + \lambda_p E_p(t) - \omega h(t) \right] \right\}。$$

对上式两边分别同时对 $E_p(t)$ 、 φ 进行一阶偏导，得到 $E_p^S = \frac{\lambda_p V_{ph}^{S'}}{r_p}$ 和 $\varphi = \frac{2V_{ph}^{S'} - V_{mh}^{S'}}{2V_{ph}^{S'} + V_{mh}^{S'}}。$

剩余证明过程参考命题 1，此处省略。

证毕。

攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文

已发表或录用的学术论文

李怡,程晋石.基于政府监管的电商平台与商家隐私保护合作策略研究[J].西安电子科技大学学报(社会科学版),2024,34(03):42-55.DOI:10.16348/j.cnki.cn61-1336/c.2024.03.004.

致谢

行文至此，掩卷长思。在安徽工程大学度过的求学岁月，终将化作人生长卷中浓墨重彩的一章。值此论文完成之际，谨以最真挚的谢意致予那些照亮我学术之路的明灯。

首先，衷心感谢我的导师程晋石教授。在论文的选题、研究方法的确立及写作过程中，程老师始终给予我悉心指导。他治学严谨、学术造诣深厚，对科研的执着追求更是让我深受感染。在他的悉心教诲和严格要求下，我不仅夯实了专业知识，提高了科研能力，更培养了严谨务实的学术态度，使我在学术道路上受益良多。

其次，要感谢安徽工程大学经济与管理学院的各位老师。在课程学习和研究过程中，老师们的谆谆教诲让我拓宽了专业视野，掌握了系统的学科知识。他们的敬业精神、渊博学识和严谨态度，都深深影响了我，也将成为我未来职业生涯中不断前行的动力。

此外，感谢我的同学和朋友们。求学路上，我们并肩同行，彼此交流思想、分享心得，在相互启发与鼓励中共同成长。尤其是在论文写作期间，大家的鼓励和支持让我倍感温暖，帮助我克服了诸多困难。

最后，最深的感谢献给我的家人。父母的理解、包容与支持，是我不断前行的最大动力。他们默默地给予我无条件地关爱和支持，让我能安心求学，专注科研。

毕业不是终点，而是新旅程的起点。未来，我将怀揣感恩之心，铭记这段宝贵的学习经历，不忘初心、砥砺前行！