

分类号: F273.2

密 级: 公开

学校代码: 10363

学 号: 2220720112



安徽工程大学

Anhui Polytechnic University

硕士学位论文

题目 基于动态博弈模型的网络直播活动
中用户隐私保护策略研究

论文作者 杨海港

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: F273.2

单位代码: 10363

密 级: 公开

学 号: 2220720102

题 目 基于动态博弈模型的网络直播活动中用户隐私保护策略研究

英文并列

题 目 RESEARCH ON USER PRIVACY PROTECTION STRATEGIES IN NETWORK LIVE STREAMING ACTIVITIES BASED ON DYNAMIC GAME MODELS

学生姓名: 杨海港

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：

杨海港

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：

杨海港

日期：2025 年 5 月 14 日

指导教师签名：

郑磊

日期：2025 年 5 月 14 日

基于动态博弈模型的网络直播活动

中用户隐私保护策略研究

摘 要

网络直播和经济业态不断升级与更新,直播平台为了提高活跃度获得更多直播流量,通过提供个性化推荐给予用户更高的满意度,但个性化服务不可避免地引发了用户对隐私泄露的担忧。鉴于此背景,网络直播平台、主播和用户的协同合作成为推动直播流量增长、实现用户隐私保护的关键因素。本文以网络直播平台、主播和用户三方作为研究主体,以动态博弈理论为基础构建三方博弈模型,为实现各方的互利共赢提供建议。

为探究网络直播平台对用户隐私保护意愿、主播利用用户隐私意愿和用户共享隐私信息愿意及其影响因素,本文构建了网络直播平台、主播和用户的三方演化博弈模型,分析了各参与主体的策略选择倾向,揭示了系统的演化过程。研究表明,网络直播主体的行为发展经历了四个发展阶段,当网络直播平台持续对用户隐私信息进行保护且主播和用户的行为决策已经趋于稳定时进入第四阶段,此时直播活动持续发展、用户隐私得到保护。

进一步针对平台和主播的合作策略以及平台对用户的补贴策略构建含有动态流量的网络直播平台、主播、用户的三方微分博弈模型,对三方非合作决策、集中决策、成本补贴决策情形下的努力程度与收益水平进行比较分析。研究表明,用户共享隐私信息的努力程度

不总是随着平台对用户隐私保护投入额的增加而提高。此外，平台对用户提供的补贴可以作为一种有效的激励机制，实现了显著的帕累托改进。最后，平台与主播的收益分配比例对平台和主播各自努力程度以及双方的收益有相反的影响，当收益分配比例超过一定范围时主播没有付出更多的努力便得到更多的收益，从而导致主播“搭便车”现象。

最后针对平台和主播的合作策略以及主播对用户隐私信息使用策略构建含有动态流量的网络直播平台、主播、用户的三方微分博弈模型，对平台与主播签约、非签约以及主播是否告知其利用了用户隐私信息三种情形下的努力程度与收益水平进行比较分析。研究结果表明，当主播选择向用户告知主播使用了用户的隐私信息，只有当主播收取佣金在一定范围内时，网络直播平台才会对主播给予成本补贴。其次，网络直播平台与主播签约且主播告知用户其利用了隐私信息的策略相较于不告知的策略并不总是不利的，用户共享隐私信息的意愿受隐私不敏感型用户比例影响。并且当隐私不敏感型用户数量达到一定比例时，主播的告知行为将成为占优策略，实现帕累托改进。

关键词：网络直播平台，用户隐私，个性化，微分博弈，演化博弈

RESEARCH ON USER PRIVACY PROTECTION STRATEGIES IN NETWORK LIVE STREAMING ACTIVITIES BASED ON DYNAMIC GAME MODELS

ABSTRACT

With the continuous evolution and upgrading of online live streaming and economic formats, platforms strive to enhance user engagement and attract more viewership by providing personalized recommendations to improve user satisfaction. However, such personalized services inevitably raise concerns about privacy leakage. Given this context, collaborative efforts among live streaming platforms, streamers, and users have become a key factor in boosting viewership while ensuring user privacy protection. This study focuses on these three stakeholders—platforms, streamers, and users—and constructs a tripartite game model based on dynamic game theory, offering recommendations to achieve mutual benefits for all parties.

To investigate the willingness of live streaming platforms to protect user privacy, the willingness of streamers to exploit user privacy, and the willingness of users to share private information—along with their influencing factors—this study constructs a tripartite evolutionary game model involving platforms, streamers, and users. The model analyzes the strategic preferences of each participant and reveals the system's

evolutionary dynamics. The results show that the behavioral evolution of live streaming stakeholders progresses through four developmental stages. The system reaches the fourth stage when platforms consistently protect user privacy while the behavioral decisions of streamers and users stabilize. At this stage, live streaming activities achieve sustainable growth, and user privacy is effectively safeguarded.

To further investigate cooperative strategies between platforms and streamers, as well as platform subsidy strategies for users, this study constructs a tripartite differential game model incorporating dynamic traffic, involving live streaming platforms, streamers, and users. A comparative analysis is conducted on effort levels and profit outcomes under three scenarios: non-cooperative decision-making, centralized decision-making, and cost-subsidy decision-making. The results demonstrate that users' effort level in sharing private information does not always increase with the platform's growing investment in privacy protection. Furthermore, platforms' subsidies to users can serve as an effective incentive mechanism, achieving significant Pareto improvement. Finally, the profit-sharing ratio between platforms and streamers has opposing effects on their respective effort levels and profits. When the profit-sharing ratio exceeds a certain threshold, streamers obtain higher profits without exerting additional effort, leading to a 'free-riding' phenomenon.

Finally, we construct a three-party differential game model containing dynamic traffic among webcasting platforms, anchors, and users for the cooperation strategy of platforms and anchors and the anchors' strategy of using users' private information, and compare and analyze the level of efforts and benefits in three scenarios, namely, when platforms and anchors sign contracts, when anchors are non-signing contracts, and whether or not the anchors inform them of their utilization of users' private information. The results of the study show that when the anchor chooses to inform the user that the anchor has utilized the user's private information, the webcasting platform will subsidize the cost of the anchor only if the anchor receives a commission within a certain range. Second, the strategy of webcasting platforms signing contracts with anchors and anchors informing users that they utilize private information is not always unfavorable compared to the strategy of not informing them, and users' willingness to share private information is affected by the proportion of privacy-insensitive users. Moreover, when the number of privacy-insensitive users reaches a certain percentage, the anchor's informing behavior will become a dominant strategy and achieve Pareto improvement.

KEY WORDS: live streaming platform, user privacy, personalization, differential game, evolutionary game

目录

第 1 章 绪论.....	2
1.1 研究背景.....	2
1.2 研究内容及意义.....	3
1.2.1 研究内容	3
1.2.2 研究意义	3
1.3 研究方法、研究贡献及技术路线.....	4
1.3.1 研究方法	4
1.3.2 研究贡献	5
1.3.3 技术路线	5
第 2 章 文献综述及相关理论.....	8
2.1 网络直播平台经济研究.....	8
2.2 用户隐私关切研究.....	9
2.3 研究现状评述.....	11
2.4 相关理论概述.....	11
2.4.1 微分博弈理论	11
2.4.2 演化博弈理论	13
第 3 章 考虑用户隐私的网络直播主体行为策略演化博弈研究.....	14
3.1 博弈主体行为假设.....	14
3.1.1 网络直播平台行为	14
3.1.2 主播行为	15
3.1.3 用户行为	15
3.2 演化博弈分析.....	16
3.2.1 模型假设	16
3.2.2 模型分析	19
3.2.3 演化路径分析	22
3.3 本章小结.....	29
第 4 章 考虑用户隐私的网络直播主体行为策略微分博弈研究.....	30
4.1 问题描述及模型构建.....	30

4.2 模型分析.....	34
4.2.1 Nash 非合作决策.....	34
4.2.2 集中决策.....	36
4.2.3 成本补贴决策.....	38
4.3 比较分析.....	39
4.4 数值分析.....	41
4.5 本章小结.....	46
第 5 章 考虑用户隐私敏感性的网络直播主体行为策略微分博弈研究.....	47
5.1 问题描述及模型构建.....	47
5.2 模型分析.....	52
5.2.1 平台与主播不签约的决策.....	52
5.2.2 平台与主播签约但不告知用户其利用隐私信息的决策.....	53
5.2.3 平台与主播签约且告知用户其利用隐私信息的决策.....	55
5.3 比较分析.....	57
5.4 数值分析.....	58
5.5 本章小结.....	64
第 6 章 总结与展望.....	66
6.1 全文总结.....	66
6.2 研究展望.....	68
参考文献.....	69
附录.....	76
攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文.....	84
致谢.....	85

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

在互联网和社交媒体广泛使用的时代,网络直播商业和经济业态在不断升级与发展。根据艾媒咨询的《2022 年度中国直播行业发展现状及市场调研报告》中显示,2021 年中国网络直播用户规模达到 6.38 亿人,与 2020 年同期相比增长 4 7.2%,占网民整体的 63.1%^[1]。网络直播作为互联网平台的衍生物之一,通过主播在直播间中直播,吸引用户观看和参与。这使平台上的活跃度和流量增加,吸引了众多商业资源。在 2016 年“直播元年”里,蘑菇街推出了国内市场第一个“直播+内容+电商”的平台,同年 5 月,淘宝推出了自己的直播平台,为电商营销开启了新的商业模式。在后续的几年里,各大短视频平台开始纷纷推出直播带货功能,如快手平台的快手小店,抖音平台的抖音商城,使直播行业在我国消费市场上提升到了新的高度。艾媒咨询发布的《2020-2021 中国直播行业年度研究报告》中表示,2020 年中国直播电商市场规模已达到 9610 亿元,同比增长 121.5%^[3]。主播可以在直播间与用户互动,并通过网络销售产品^[4]。这说明直播电商已经成为我国新兴的互联网商业模式。

平台数据收集的深化了对用户需求的理解,促进了个性化服务,从而提升了用户的满意度^[5-6]。例如抖音、快手等短视频平台隐私政策说明,平台会收集、使用用户信息并通过计算机算法模型自动计算、预测偏好,以匹配用户感兴趣的视频和直播间。主播与电商平台签约便可从平台获取用户信息,主播利用用户信息增强定向能力,并针对特定用户制定个性化直播内容。从用户的角度来看,他们可能会基于互惠的考虑选择披露个人信息^[7]。然而,例如 Facebook 中用户的数据需求和使用分析可被第三方进行集成,且第三方人员能够访问用户数据以增加流量,这给用户的隐私信息带来了重大风险。因此,用户在获取个性化服务和牺牲隐私信息之间面临权衡。这种妥协的意愿源于对自我表达、娱乐和个性化服务等利益的渴望^[8]。为了有效运营,网络直播平台必须在提供优质服务、推动流量增长和保护用户隐私信息之间取得平衡。

本文在用户隐私问题日益突出的环境下为网络直播商业模式的发展提出思

考。在考虑用户隐私信息保护和使用时，网络直播平台、主播和用户最优行为策略是什么？平台和主播双方在长期博弈下的最优合作策略是什么？平台为了激励用户和主播所付出的最优成本补贴策略是什么？这是一个值得深入探讨的研究课题。

1.2 研究内容及意义

1.2.1 研究内容

论文主体内容主要由以下三方面构成，具体如下：

首先，本文在第一个研究子问题中分析网络直播平台隐私保护、主播利用用户隐私信息和用户共享隐私信息问题的策略选择倾向，研究影响各主体决策决定的重要影响因素，在考虑有限理性和时间连续性的基础上，选择演化博弈理论，构建网络直播平台、主播、用户三方演化博弈模型，经过分析各主体的演化博弈条件总结出网络直播的演化路径，然后经过公式推导得出三方主体各自的决策演变公式并求解各主体的演化稳定策略。

其次，在第二个子问题中，为更深层更具体的探究网络直播活动主体的行为策略。本文在考虑用户隐私共享行为、直播平台隐私保护行为和主播直播努力行为三方行为策略下，构建 Nash 非合作博弈模型和集中决策博弈模型，以及考虑平台对用户成本补贴的决策博弈模型。分析三种决策情形下三方最优努力程度和最优收益情况，并分析平台和主播的最优合作策略以及平台对用户的最优激励补贴机制。

最后，在第三个研究子课题中，本文进一步在区分用户隐私敏感型的条件下探究网络直播活动主体的行为策略。根据主播是否与直播平台签约以及在签约情形主播是否告知用户其使用了用户的隐私信息，构建三种决策情形，在不同决策情形下分析三方最优努力程度和最优收益情况，并分析平台和主播的最优合作策略以及平台对主播的最优激励补贴机制。

1.2.2 研究意义

本文以解决用户隐私泄露问题的同时促进网络直播活动发展为基础，通过分析网络直播活动中直播平台对用户隐私保护、主播直播努力和隐私利用、用户共享隐私的行为意愿以及三方行为的努力程度，探索网络直播活动发展和用户隐私

保护之间的平衡。

理论意义。(1) 本文为促进网络直播活动发展和保护用户隐私, 构建了网络直播平台、主播和用户三方行为策略下的演化博弈模型, 揭示了三方不同行为选择下的演化路径和影响因素, 推动网络直播行业健康发展。(2) 针对平台和主播合作策略以及平台对用户和主播的激励补贴策略建立不同情形下微分博弈模型。通过将问题转化为最优控制问题, 协调直播平台隐私保护的力度、主播直播和隐私利用力度、用户共享隐私信息力度, 实现三方各自收益最大化。研究结果为平台和主播对用户隐私信息的保护和管理提供了理论指导。

现实意义。(1) 本文通过分析网络直播活动主体行为策略的演化路径, 为平台和主播行为策略选择提供了一些决策意见。(2) 为了在用户隐私保护中促进网络直播活动的发展, 本研究考虑平台的成本补贴策略, 构建了三方微分博弈模型, 探究三方的最优均衡策略, 并进一步探索平台补贴对用户和主播的激励作用, 结论符合实际, 为平台和主播提供实践指导。

1.3 研究方法、研究贡献及技术路线

1.3.1 研究方法

本文采用文献综述法梳理了本领域中最新的研究成果, 以此确定了本研究的主题。随后, 综合运用演化博弈理论和微分博弈理论构建了数学模型, 以此系统地分析关于用户隐私信息的网络直播主体间动态博弈。最后, 采用数值仿真法对相关参数进行赋值分析。具体方法如下:

(1) 文献综述法

本文通过知网、Informs、Elsevier、Wiley 等期刊数据库, 检索并梳理了国内外最新有关网络直播平台经济和用户隐私的研究文章。通过总结现有文献的研究方向和关注焦点, 发掘有价值的课题方向, 由此确定本文的研究思路开展课题研究。

(2) 演化博弈理论

演化博弈理论源于生物进化论, 强调的是一种动态的博弈均衡。不同于经典博弈论, 演化博弈理论更加关注策略的动力学特性, 即不仅考虑各种竞争策略本身优劣的影响, 而且还要考虑竞争策略在群体中出现的频率的效果, 以对博弈过

程进行动态地分析和讨论。本文基于该理论去构建三方演化博弈模型。

（3）微分博弈理论

微分博弈理论是动态博弈的新兴方法，研究多个决策者在连续时间系统中通过控制微分方程描述的状态变量进行策略互动的过程。其核心在于将传统博弈论的策略均衡分析与动态最优控制理论相结合，适用于分析长期、动态的竞争或合作行为。

（4）赋值仿真法

在各模型均衡解的基础上，结合问题背景并参考有关文献的参数赋值经验，综合运用 Matlab, Mathematica 等软件对诸变量赋值，进行仿真分析。由此直观地展现不同情形下的最优策略的变化趋势，并验证结论及推论的严谨性和科学性。

1.3.2 研究贡献

本课题的主要研究贡献主要体现在以下三方面：

（1）在考虑网络直播平台 and 主播行为策略的同时，引入用户情绪效用来刻画模型中用户在网络直播活动的效用函数，进而分析网络直播平台、主播、用户三方的最优行为策略和最优收益。

（2）考虑网络直播平台对主播和用户补贴行为，通过比较不同的成本补贴比例，进而分析成本补贴对用户和主播的影响以及最优成本补贴比例。

（3）考虑不同用户隐私敏感型的差异，并将隐私敏感性差异纳入决策模型的构建中，进而分析不同比例隐私敏感和不敏感型用户对主播告知使用用户隐私信息行为策略的影响。

1.3.3 技术路线

本文研究框架如下：

第一章：绪论。本章主要介绍了本课题的研究背景、研究内容以及主要研究思路等内容，从整体出发阐述本课题的研究概况。

第二章：文献综述及相关理论。本章主要围绕“网络直播平台经济”和“用户隐私关切”这两个研究方向出发，梳理了国内外的研究现状并对比了本文与已有研究的异同和理论贡献。最后，介绍了理论建模所用到的相关理论。

第三章：考虑用户隐私的网络直播主体行为策略演化博弈研究，本章以网络直播平台、主播、用户作为主体，构建了三方演化博弈模型。将网络直播平台的

隐私保护水平、主播对用户隐私信息利用水平、用户共享隐私信息意愿设置为条件变量，通过计算分析来探究各主体间行为策略选择的联系。

第四章：考虑用户隐私的网络直播主体行为策略微分博弈研究，本章利用微分博弈模型，研究了平台对用户的隐私保护行为、主播直播努力行为以及用户共享隐私信息行为的问题，分析了三种情形下网络直播平台、主播、用户行为的最优努力水平和最优收益以及网络直播平台对用户补贴行为对收益的影响。

第五章：考虑用户隐私敏感型的网络直播主体行为策略微分博弈研究，本章由网络直播平台、主播和用户组成系统，构建三阶段微分博弈模型，得到三种决策情形下三方最优努力水平、直播间流量和收益。通过比较分析，探求网络直播平台与主播的签约关系与平台和主播对使用用户隐私信息的告知行为对三方收益的影响，并通过数值分析对结论加以验证。

第六章：总结与展望。本章首先总结了上述各子问题的结论，并给出了针对性的实践启示。其次，基于已有研究成果指出本研究的不足和可行的研究方向。

本研究技术路线如图 1-1 所示：

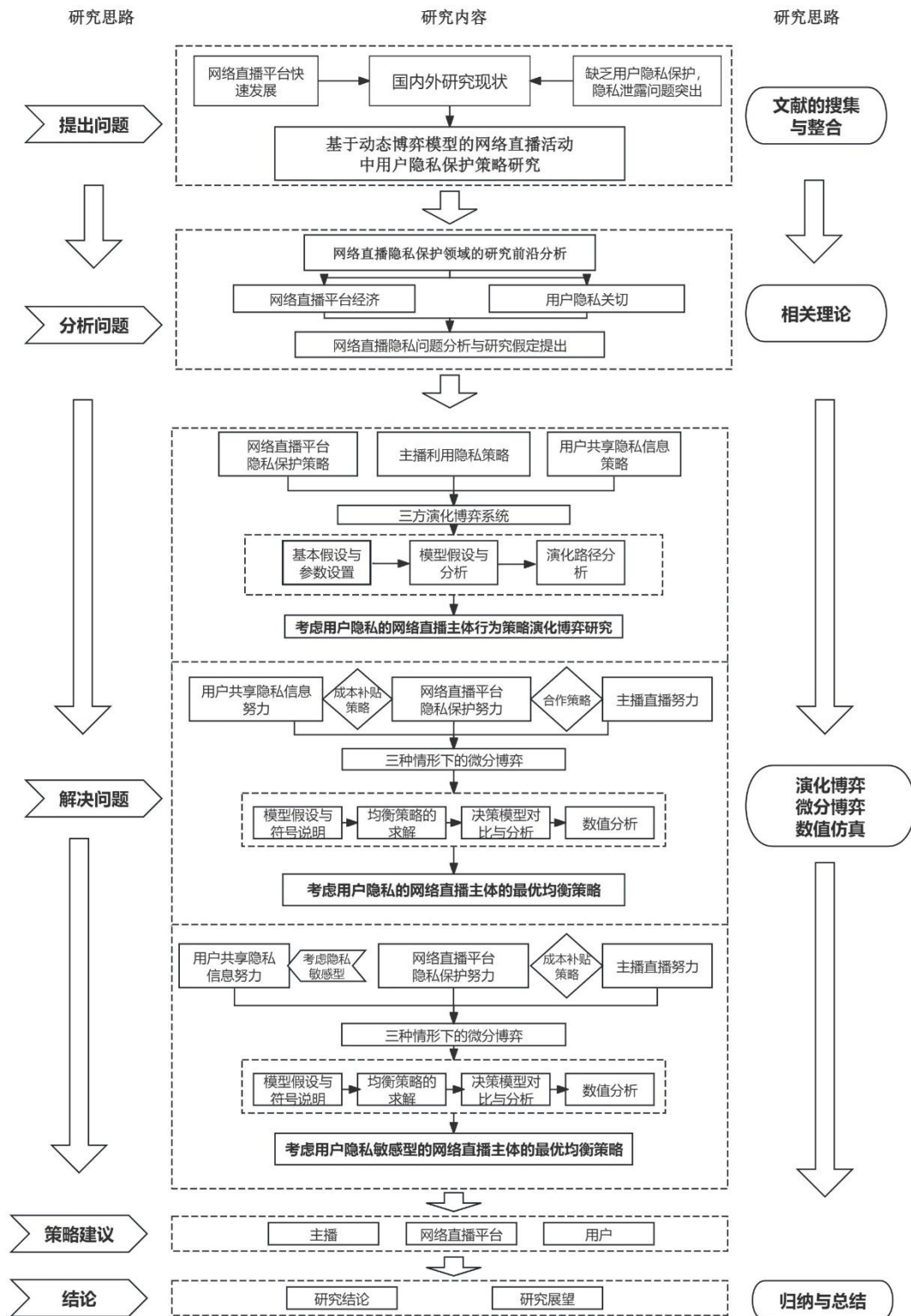


图 1-1 技术路线

第 2 章 文献综述及相关理论

与本文相关的研究主要有两个方向：网络直播平台经济研究及用户隐私关切研究。本章回顾并梳理了现有研究的发现并强调了本研究对该领域的新贡献。

2.1 网络直播平台经济研究

许多国家的经济增长越来越依赖于作为网络平台运营的成功初创企业^[9]。近年来，平台中流行的直播形式迅速成为主要且有效的销售方式。通过直播平台，观众可以通过文字、语音、视频和数据进行直接的网络交流，从而实现广泛的互动。关于直播平台的研究主要集中在直播对销售的影响、对 Facebook Live 等平台数据的分析，以及在动态和互动销售过程中吸引和留住客户的能力^[9]。丁美玲^[10]指出，“网红+直播+电商”商业模式就是消费者可以在观看直播娱乐的过程中，完成购买行为。直播的独特特征包括消费者与卖家之间的实时互动，从而促进沉浸式购物体验和人关系的建立^[11]。陈艺诗等^[12]深入分析了网络直播对消费者购买意愿的影响因素。谭羽利^[13]在研究中则提到，聚美优品有效利用了直播电商的营销传播机制，一定程度上破除了其平台“真假掺卖”的固有印象，增强了消费者信任和参与，助力平台形象再生。社交网站（SNS），如 Facebook Live，已被认为是通过直播增强消费者信任的工具，从而推动销售并培养忠诚度。Chen 和 Wu^[14]阐明了这种社会认知如何促进心流体验、情感依恋，并最终影响观众的购买意图。

此外，一些研究从直播场域的利益相关主体进行讨论。网络平台直播能够促进消费者与卖家之间实时互动，从而创造沉浸式购物体验和个性化服务^[15]。郑森圭等^[16]研究了不签约模式和签约模式下直播平台对收入的最优抽成比例问题；邢鹏等^[17]探讨了主播佣金比例和直播服务平台抽成比例对服务供应链最优策略和最优利润的影响；Wang 等^[18]从薪酬机制的角度研究了主播与平台抽成比例对供应链整体效益和利润分成模式的影响；Lu 和 Chen^[19]研究了主播如何影响消费者的购买意向；孙晓兰和郑悦^[20]考虑消费者对网络渠道的接受度、消费者的渠道偏好以及消费者渠道成本，构建双零售供应链模型并进行博弈分析；刘洋等^[21]构建 SOR 模型证实了直播购物氛围对消费者购买行为的显著影响；Tong 和 Jin^[22]

通过实证分析发现,直播的生动性、互动性和真实性会影响消费者的即时感和信任感,从而增强消费者的购买意向。

与此同时,其他研究者强调了直播表现研究的重要性,探索观众的特征和动机。Hu 等^[23]分析了中国两个直播平台的数据,发现观众对主播的认同感与其持续观看的意愿呈正相关。Hilvert-Bruce 等^[24]提出了一个八因素社会动机模型,以解释观众参与直播的动机。Dezuli 等^[25]将生动的场景捕捉、主播表演的实时分享以及保持观众连接性视为直播的主要驱动力。Ang 等^[26]和 Wang 等^[27]发现,消费者被直播购物吸引是因为感知到的实用性、享乐性和社会价值,这些价值增强了他们的体验以及对卖家和产品的态度,从而提高了购买意愿。曹二保等^[28]针对不同的直播销售模式和质量信息策略,研究了平台主播质量信息披露与品牌商销售渠道选择的交互影响。Ho 等^[29]以及 Hou 等^[30]利用调查数据分析了消费者观看或通过直播购物的动机。Hilvert-Bruce 等^[31]深入探讨了直播观众的社会动机与其心理和行为参与之间的复杂关系。张伟等^[32]研究了移动购物情境中,影响消费者冲动性购买意愿的产生过程。Skjuve 等^[33]研究了个人如何使用直播以及使用模式如何因性别、年龄和地理区域而异。Liang 等^[34]从薪酬机制的角度探讨了主播与工会之间的互动。此外, Li 等^[35]分析了 TikTok 的盈利模式,涵盖广告、营销竞争和直播中对网红的奖励等方面。Li 还探讨了 TikTok 的竞争策略。

已有研究多从平台运营模式、平台与主播角度和平台直播表现进行研究,然而忽略用户在直播活动中的参与,而本文探究平台、主播和用户三方行为并考虑用户在直播活动中的行为策略对网络直播活动的影响。

2.2 用户隐私关切研究

隐私问题是一个重要的伦理问题,网络平台依赖于收集和存储用户的个人信息^[36]。用户信息可能会被网络公司泄露,导致用户的隐私担忧加剧^[37]。因此,关于隐私披露存在一种持续的认知平衡,即在用户感知到的隐私损失风险与所获得利益之间进行权衡^[38]。Barroso^[39]强调,用户通过多个维度披露个人信息。Hu 等^[40]揭示,当用户能够控制自己的个人数据时,战略性消费者并不总是选择隐瞒这些信息。现有研究分析了一个丰富的微观数据集,包括来自 29 个欧洲国家的 15 3,053 名个体的反馈,发现隐私风险知识和网络信息共享水平与电子商务参与概

率呈正相关^[41]。根据王长潇等^[42]的研究,个体会进行隐私相关的计算,只有在他们认为收益大于感知成本时,才会在网络平台上披露个人信息——这种现象通常被称为“隐私悖论”;而一旦个体感到受到风险事件的威胁,隐私自我保护的动机就会增强^[43-44]。Lu 等^[45]强调了用户交出个人信息及其后隐私被侵蚀的问题。Mosteller 等^[46]研究了与用户在社交媒体中的隐私担忧相关的四个因素以及这些平台的保护行为。聂小琴等^[47]探究了用户隐私披露意愿影响因素的外在作用与内在关联。与传统商务相比,移动服务商能够更便捷地获取用户个人隐私信息^[48]。随着直播行业的兴起,平台和主播等主体的行为与决策也与利用用户隐私信息增强定向能力密切相关。如 Liang 等^[49]发现直播平台访问用户隐私信息可以更好地设计产品、理解用户意图给予其个性化服务以及提高公司收入。曾伏娥等^[50]的研究表明移动商务平台通过收集用户个人信息并经过专业化的处理和分析,了解用户的行为和偏好,并据此向用户提供相应的个性化产品与服务,在提高消费者的满意度与忠诚度的同时可获得更高的利润。然而,平台对隐私信息的使用已经引发用户隐私担忧^[51]。用户越发意识到与移动商务相关的隐私风险^[52]。而用户从隐私披露行为中获得了实际利益,故陷入担忧隐私泄露和继续披露隐私信息的窘境^[53]。因此,也有研究针对性地提出考虑政府监管因素下社交网络平台用户隐私保护的对策与方法^[54]。此外,邵秀燕等^[55]研究了隐私保护的直接机制与间接机制对用户信任态度的影响。胡雅萍等^[56]探究了隐私风险感知的影响因素对促进隐私信息保护的重要性。

在网络环境中,允许访问用户隐私信息可以促进产品设计的改进,并帮助理解用户对个性化服务的偏好。因此,较多研究重点集中在社交网站中用户隐私信息上。朱国玮等^[57]研究了隐私授权中的反默认效应,为平台合理、有效地获取用户隐私信息提供了建议。Xu 等^[58]研究了信息披露在共享经济平台上对消费者购买行为的影响。Macha 等^[59]观察到,用户对社交媒体平台隐私风险的认识逐渐增强。Khan 等^[60]指出,隐私怀疑主义显著影响了用户对社交媒体的满意度,但对用户对社交媒体的信任影响不显著。用户一方面希望通过分享隐私信息获得个性化服务,另一方面又对相关的隐私风险表示担忧。

此外,经历过隐私侵犯的用户很可能会质疑该媒体平台的有用性。例如,Mosteller 等^[61]发现,隐私侵犯经历会对用户对平台提供商的信任产生负面影响;

Xie 等^[62]认为，负面经历与 Facebook 用户的隐私保护行为呈正相关。

已有研究多注重用户隐私担忧的来源以及用户隐私利用等问题，而本文则站在对用户隐私信息进行保护的同时合理使用用户隐私信息的角度研究用户共享隐私信息行为和平台、主播对用户隐私信息使用和管理行为。

2.3 研究现状评述

通过对网络直播平台经济、用户隐私关切等领域内相关文献的回顾，可以发现：

(1) 以往关于直播平台研究的很多成果涉及了平台运营、直播销售、用户特征、动机以及平台经济学。然而，目前缺乏关于用户隐私对直播平台和主播影响的研究，特别是考虑在平衡用户隐私信息保护和管理的条件下，平台和主播的行为策略研究。

(2) 关于用户隐私关切的研究中，先前的研究主要集中在用户隐私担忧、隐私披露的风险、以及隐私利用和披露模式上。然而，较少有研究深入探讨影响用户在直播平台上披露隐私信息的意愿及其披露行为的因素。

2.4 相关理论概述

2.4.1 微分博弈理论

微分博弈作为动态博弈的重要组成部分，是一组与动态系统中的冲突建模和分析有关的问题，更具体地说，是经济主体在决策时受到一个或多个状态变量根据微分方程随时间变化下的动态规划和优化问题。下面介绍微分博弈的主要组成部分以及求解方法。

假设微分博弈是在时间间隔 $[0, T]$ 定义的，其中 $T > 0$ 表示博弈的终止时刻，所有参与者都可以在时间 $t \in [0, t]$ 范围内采取行动来获得博弈状态的演变以及自身和对方的目标函数。假设在一个微分博弈系统中，每个时刻 t 的状态都可以用一个 n 维向量 $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) \in X$ 来表示，其中 $X \in R^n$ 为所有可能状态的集合，集合 X 也被称为博弈的状态空间。假设状态的演变可以用如下常微分方程来描述：

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t), \quad (2-1)$$

初始条件为:

$$x(0) = x_0 \in X, \quad (2-2)$$

其中, $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)) \in R^m$ 为决策者在时间 t 选择的行动向量, 如果系统的状态为 x , 则在时间 t 内的所有行动的集合由 $U(x, t) \subseteq R^m$ 定义, x_0 是约束方程的初始状态。决策者的目标是在式(2-1)约束下最大化以下式子:

$$J(u(t)) = \int_0^T e^{-\rho t} F(x(t), u(t), t) dt + e^{-\rho T} S(x(T)), \quad (2-3)$$

其中, ρ 表示折现率, 当博弈的当前状态为 $x(t)$ 时, $F(x(t), u(t), t)$ 衡量了在时间 t 选择控制变量 $u(t)$ 所得到的瞬时效用, $S(x(T))$ 为决策时间下的系统终值, 函数 F 为效用或收益函数。上述约束问题即一个典型的微分博弈系统。

下面介绍本文所运用的主要求解方法:

汉密尔顿-雅可比-贝尔曼方程, 简称为 HJB 方程, 是求解最优控制问题的动态规划方法之一。早期的贝尔曼方程 (Bellman equation) 用于离散的动态规划问题, 而对于连续时间的最优化问题, 汉密尔顿等人将贝尔曼方程改进为偏微分方程形式, 并运用变分原理, 得到了现在的 Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程。下面介绍 HJB 方程求解最优控制问题。

首先, 一个最优控制问题如下:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \int_t^T e^{-\rho(s-t)} F(x(s), u(s), s) ds + e^{-\rho(T-t)} S(x(T)), \\ & \text{subject to } \dot{x}(s) = f(x(s), u(s), s), \\ & x(t) = x, \\ & u(s) \in U(x(s), s). \end{aligned} \quad (2-4)$$

若存在一个连续可微函数 $V(x, t)$ 满足如下偏微分方程:

$$\rho V(x, t) - V_t(x, t) = \max \{ F(x, u, t) + V_x(x, t) f(x, u, t) \mid u \in U(x, t) \}, \quad (2-5)$$

边界条件为 $V(T, x) = S(x)$, 式 (2-5) 称之为汉密尔顿-雅可比-贝尔曼方程, 对所有的 $(x, t) \in X \times [0, T]$, 令 $\phi(x, t)$ 表示最大化式 (2-5) 等号右边的控制变量集合 $u \in U(x, t)$, $u(\cdot)$ 为最优控制路径, 相应的 $V(x, t)$ 为最优控制问题 (2-4) 的最优价值函数^[63]。

2.4.2 演化博弈理论

博弈论被认为是经济学研究的一个分支，其还在军事、政治和心理学等多个领域得到广泛的应用。局中人具有理性的策略选择是传统博弈论的假设前提，并且理性的策略选择会从博弈开始一直持续到博弈结束，这种完全理性虽然便于博弈研究，但是也限制了对现实生活中存在问题的客观研究，尤其是针对人这一参与者，面对现实生活中许多问题并不是完全理性的，更不可能从开始到结束整个过程都保持理论上的完全理性。因此演化博弈论为了弥补传统博弈的假设缺陷，把假设中完全不切合实际的完全理性替换成为有限理性，允许参与者选择错误的决策，并通过迭代不断优化群体选择，极大程度地提高了实际应用价值。

演化博弈论最具特点的三个方面在于，第一是演化博弈的局中人是有限理性的，即参与者不能每次都准确无误且冷静地做出完全理性的决策^[64]，有限理性表示局中人并不会在博弈一开始就做出完全正确理性的最优选择，会随着慢慢的学习、经历以及他人的传播等方式，逐步向最优策略靠近并最终保持稳定。第二是博弈的参与方为群体而非个体，以个体为代表的局中人常常用于传统博弈论，以群体为研究对象是演化博弈论，其中的群体是指由同质的多个个体所共同组成的，因此以群体为研究对象的演化博弈相比于传统博弈更加实际也更加广泛。第三方面是演化博弈需要进行无限次的重复连续循环，传统博弈论一般进行一次或数次就能得到一个合理的结果，演化博弈论是需要进行无限次重复博弈，才可能得到一个稳定的演化状态，但也有可能完全达不到均衡，这一点也是由有限理性的前提假设条件决定的^[65]。

第3章 考虑用户隐私的网络直播主体行为策略演化博弈研究

本章在考虑各参与主体有限理性与动态演化过程的基础上,构建了网络直播平台、主播和用户的三方演化博弈模型,探讨了网络直播平台、主播和用户三方在推动直播流量增长和保护用户隐私过程中的策略选择问题,通过分析各主体的演化博弈条件总结出网络直播活动中三方的演化路径,为提高主体的行为愿意、促进三方达成协同关系提供可行建议。

3.1 博弈主体行为假设

利益最大化原则是博弈行为中每个主体进行活动的指导方针。本文基于网络直播平台、主播、用户的三方主体演化博弈模型展开讨论,其中一方主体行为策略发生变化,均会影响另外两方的利益,为了使主体的利益得到满足,每一方主体都会改变自身的行为策略,最终使系统的行为策略也发生变化。基于以上假设,本文同样对各博弈主体行为做出假设:

3.1.1 网络直播平台行为

网络直播平台是影响网络直播商业发展的主要因素,对用户共享隐私信息提供成本补贴,虽然会增加平台的成本压力,但是会促进网络直播活动发展,增加直播流量和用户参与度,给平台带来潜在收益。收益主要体现在平台通过主播直播活动获得流量收益分成。本文假设三方演化博弈模型中,网络直播平台主体采取的行为有对用户隐私信息进行保护和不保护两类,并分别讨论两类行为产生的收益和损失。

(1) 网络直播平台对用户隐私信息进行保护

在网络直播平台对用户隐私信息进行保护的主体行为决策后,其成本和收益主要体现在以下两个方面。一是网络直播平台进行隐私保护时付出的人力、物力、财力成本。由于平台需要投入资源进行隐私保护技术的研发和隐私保护制度的建立,增加了网络直播平台的成本压力。二是网络直播平台对用户的隐私保护行为所带来的收益。当网络直播平台隐私保护措施完善,用户对平台隐私保护有高度

的信任，会吸引更多的用户进入直播间进行消费活动，因此平台获得对用户的隐私保护行为所带来的收益。

（2）网络直播平台不对用户隐私信息进行保护

若网络直播平台采取不对用户隐私信息进行保护的主体行为决策，虽然能够省下一笔隐私保护成本，但是也会产生一些额外的损失。首先，缺乏网络直播平台的隐私保护措施，用户隐私信息被泄露，可能会对平台失去信任，从而减少使用频率或直接停止使用该平台。并且主播难以给用户提供精确的个性化服务内容和广告投放，导致直播收入减少，给网络直播平台和主播带来了损失。

3.1.2 主播行为

主播受网络直播平台雇佣在平台直播间向用户输出直播内容，通过平台支付的基本工资以及直播间流量转化获得收益，同时主播需要付出直播时人力、物力成本。本文研究的主播行为策略主要集中在主播是否利用用户隐私信息方面，主播通过利用或不利用用户隐私信息进行直播活动，不同行为产生的收益和损失如下。

（1）主播利用用户隐私信息

主播通过利用用户隐私信息，了解用户的兴趣和偏好，提供更具针对性的个性化直播内容，从而吸引用户的注意力，提高直播的观看体验已得到额外流量收益。但是也会产生相应的损失，一部分隐私敏感型用户在意识到自己的隐私被使用后，可能对主播失去信任导致观看人数和互动减少，直接影响到主播的粉丝基础和流量收入。

（2）主播不利用用户隐私信息

主播在尊重用户隐私的前提下也能选择不利用用户隐私信息进行直播的策略。此种主体行为同样存在优劣势。主播不利用用户隐私信息，用户会感受到主播对其隐私的尊重，从而增强对主播的信任感。这种信任有助于建立长期的用户基础和良好的粉丝关系。但是这也会使主播难以提供个性化的内容或服务，可能会导致直播体验不够吸引人，影响直播间流量。

3.1.3 用户行为

用户主体行为策略与网络直播平台和主播相似，都存在两种不同的行为类型，分别是用户共享隐私信息和不共享隐私信息。两种行为类型存在以下的收益与成

本。

（1）用户共享隐私信息

用户共享隐私信息可以帮助平台和主播提供个性化服务和内容推荐，提升其体验感受，满足其需求以实现更多情绪的收益。并且网络直播平台给予共享隐私的用户成本补贴也将是其收益的一部分。但用户享受个性化服务的同时也将面临隐私信息被泄露的风险，此时用户产生的后悔情绪被视为共享隐私信息的成本。

（2）用户不共享隐私信息

本文假设用户采取不共享隐私信息的行为策略，平台和主播无法确定用户的需求内容不能给予用户适宜的推荐。此时用户获得的收益和付出的成本均为0。

3.2 演化博弈分析

3.2.1 模型假设

假设网络直播平台、主播、用户三个主体处于三方演化博弈的初始阶段，网络直播平台选择“对用户隐私信息进行保护”行为的概率为 x ，选择“对用户隐私信息不进行保护”行为的概率为 $1-x$ ；主播选择“利用用户隐私信息”行为的概率为 y ，选择“不利用用户隐私信息”行为的概率为 $1-y$ ；消费者选择“共享隐私信息”行为的概率为 z ，选择“不共享隐私信息”行为的概率为 $1-z$ 。其中， $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ， $0 \leq z \leq 1$ 。

本文为更加直观地表示三方演化博弈模型中各主体行为决策的方式，分别对网络直播平台、主播、用户各自的主体行为策略集进行命名。网络直播平台的行策略集 $S_1 = \{M_1 \text{保护}、M_2 \text{不保护}\}$ ，其中“保护”是指网络直播平台对用户隐私信息进行保护；“不保护”是指网络直播平台放任用户隐私信息被主播或第三方平台使用，不对用户隐私信息进行保护措施。主播的行为策略集 $S_2 = \{K_1 \text{利用}、K_2 \text{不利用}\}$ ，其中“利用”是指主播在分析利用用户隐私信息，理解和满足用户的需求并提供个性化服务以吸引用户进入直播间；“不利用”是指主播不会利用用户的隐私信息。用户的行为策略集 $S_3 = \{N_1 \text{共享}、N_2 \text{不共享}\}$ ，其中“共享”代表用户愿意共享自己的隐私信息；“不共享”则代表用户有较高的隐私敏感性，不愿意共享自己的隐私信息。

本文基于上述主体行为假设，构建了网络直播平台、主播、用户三方的动态博弈图（如图 3-1 所示）。

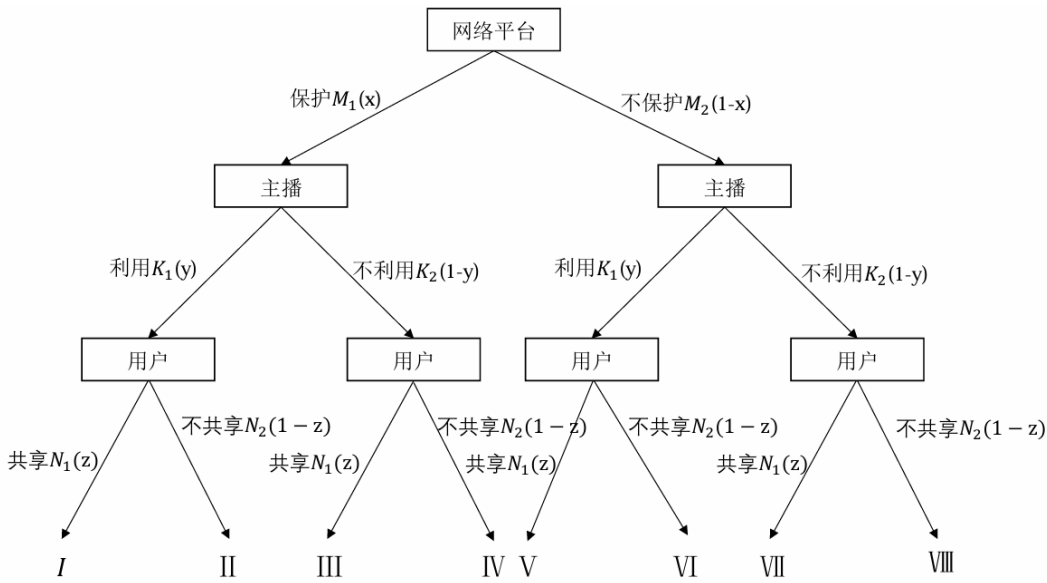


图 3-1 网络直播平台、主播、用户三方的动态博弈图

根据网络直播平台、主播、用户的动态博弈过程，能够得出以下八种行为策略集合。 $I = \{M_1 \text{保护}, K_1 \text{利用}, N_1 \text{共享}\}$ 、 $II = \{M_1 \text{保护}, K_1 \text{利用}, N_2 \text{不共享}\}$ 、 $III = \{M_1 \text{保护}, K_2 \text{不利用}, N_1 \text{共享}\}$ 、 $IV = \{M_1 \text{保护}, K_2 \text{不利用}, N_2 \text{不共享}\}$ 、 $V = \{M_2 \text{不保护}, K_1 \text{利用}, N_1 \text{共享}\}$ 、 $VI = \{M_2 \text{不保护}, K_1 \text{利用}, N_2 \text{不共享}\}$ 、 $VII = \{M_2 \text{不保护}, K_2 \text{不利用}, N_1 \text{共享}\}$ 、 $VIII = \{M_2 \text{不保护}, K_2 \text{不利用}, N_2 \text{不共享}\}$ 。同时，通过总结网络直播平台、主播、用户的博弈主体行为假设可知，三方演化博弈模型中每个主体的行为策略都会产生相应的收益与损失。为简化计算公式，本文对三方演化博弈模型中的有关参数进行定义，具体内容如下表 3-1 所示。

表 3-1 模型参数及含义

参数	含义
G_{P_1}	网络直播平台通过主播直播获得的收益
G_{P_2}	网络直播平台对用户的隐私保护行为所带来的收益
G_{C_1}	网络直播平台进行隐私保护时付出的物力、财力成本

G_{L_1}	主播利用用户隐私信息给网络直播平台带来的损失
S_{C_1}	主播的直播成本
S_{P_1}	主播通过直播从网络直播平台所获得的基本工资收益
S_{P_2}	主播通过直播从网络直播平台所获得的流量分成收益
S_{P_3}	主播通过利用用户隐私信息所获得的额外流量收益
S_{L_1}	主播利用用户隐私信息所产生的损失
S_{P_4}	主播不利用用户隐私信息所获得的流量收益
C_{P_1}	用户通过共享隐私信息所获得的收益
C_{P_2}	网络直播平台给予用户共享隐私信息的成本补贴收益
C_{C_1}	用户在主播采取利用隐私信息策略下所产生的后悔成本
C_{C_2}	用户在主播不采取利用隐私信息策略下所产生的后悔成本

注 a: 由于主播利用用户隐私信息,提升了直播间流量,所以本文默认 $S_{P_3} > S_{P_4}$, $C_{C_1} > C_{C_2}$ 。

结合图 3-1 和表 3-1 模型假设可知,当行为策略集合为 $I = \{M_1 \text{保护}, K_1 \text{努力}, N_1 \text{共享}\}$ 时,网络直播平台不仅需要支付主播工资以及佣金收入(S_{P_1})和为用户提供的共享隐私信息成本补贴(C_{P_1}),还需要额外支出一项用于进行隐私保护时付出的人力、物力、财力成本(G_{C_1}),但同时由主播主持用户参与的直播活动能够给网络直播平台带来直播收益(G_{P_1}),对用户的隐私保护行为能够增加用户对平台的信任感和满意度并带来收益(G_{P_2});对于主播来说,策略集合 I 虽然能够使自身在获得网络直播平台给予的基本工资收益(S_{P_1})和网络直播平台给予的流量分成收益(S_{P_2})的同时通过利用用户隐私信息获得流量收益(S_{P_3}),但是过度利用用户的隐私信息将引起用户产生不满情绪并产生损失(S_{L_1});在策略集合 I

中, 用户通过共享隐私信息获得个性化服务而产生情绪效用收益(C_p)和网络直播平台给予用户共享隐私信息的成本补贴收益(C_R), 但同时也会在主播采取利用隐私信息策略下产生后悔成本(C_C)。同理, 本文总结了三方演化博弈模型中每个主体的利益计算公式:

$$\text{网络直播平台收益} = \text{直播收入} - \text{补贴} - \text{成本 (损失)}, \quad (3-1)$$

$$\text{主播收益} = \text{直播工资收入} + \text{直播流量分成收入} - \text{成本 (损失)}, \quad (3-2)$$

$$\text{用户收益} = \text{情绪收益} + \text{补贴} - \text{成本 (损失)}, \quad (3-3)$$

综上, 本文得出网络直播平台、主播和用户在八种策略组合下的总体收益, 具体内容如表 3-2 所示。

表 3-2 三方博弈主体行为策略集合及其收益矩阵

策略组合	网络直播平台收益	主播收益	用户收益
(M_1, K_1, N_1)	$G_{R_1} + G_{P_2} - S_{R_1} - C_{P_2} - G_{C_1}$	$S_{R_1} + S_{P_2} + S_{P_3} - S_{C_1} - S_{L_1}$	$C_{P_1} + C_{P_2} - C_{C_1}$
(M_1, K_1, N_2)	$G_{R_1} + G_{P_2} - S_{R_1} - G_{C_1}$	$S_{R_1} + S_{P_2} - S_{C_1} - S_{L_1}$	0
(M_1, K_2, N_1)	$G_{R_1} + G_{P_2} - S_{R_1} - C_{P_2} - G_{C_1}$	$S_{R_1} + S_{P_2} + S_{P_4} - S_{L_1}$	$C_{P_1} + C_{P_2} - C_{C_2}$
(M_1, K_2, N_2)	$G_{R_1} + G_{P_2} - S_{R_1} - G_{C_1}$	$S_{R_1} + S_{P_2} - S_{C_1}$	0
(M_2, K_1, N_1)	$G_{R_1} - S_{R_1} - C_{P_2} - G_{L_1}$	$S_{R_1} + S_{P_2} + S_{P_3} - S_{C_1} - S_{L_1}$	$C_{P_1} + C_{P_2} - C_{C_1}$
(M_2, K_1, N_2)	$G_{R_1} - S_{R_1} - G_{L_1}$	$S_{R_1} + S_{P_2} - S_{C_1} - S_{L_1}$	0
(M_2, K_2, N_1)	$G_{R_1} - S_{R_1} - C_{P_2} - G_{L_1}$	$S_{R_1} + S_{P_2} + S_{P_4} - S_{C_1}$	$C_{P_1} + C_{P_2} - C_{C_2}$
(M_2, K_2, N_2)	$G_{R_1} - S_{R_1} - G_{L_1}$	$S_{R_1} + S_{P_2} - S_{C_1}$	0

3.2.2 模型分析

(1) 网络直播平台动态博弈演变

假设网络直播平台对用户隐私信息进行保护时的期望收益为 P_{G_1} , 不对用户隐私信息进行保护时的期望收益为 P_{G_2} 。则网络直播平台的动态博弈演变方程如下:

$$\begin{aligned}
 P_{G_1} &= yz(G_{P_1} + G_{P_2} - S_{P_1} - C_{P_2} - G_{C_1}) + y(1-z)(G_{P_1} + G_{P_2} - S_{P_1} - G_{C_1}) \\
 &+ (1-y)z(G_{P_1} + G_{P_2} - S_{P_1} - C_{P_2} - G_{C_1}) + (1-y)(1-z)(G_{P_1} + G_{P_2} - S_{P_1} - G_{C_1}) \\
 &= G_{P_1} + G_{P_2} - S_{P_1} - G_{C_1} - zC_{P_2} \\
 P_{G_2} &= yz(G_{P_1} - S_{P_1} - C_{P_2} - G_{L_1}) + y(1-z)(G_{P_1} - S_{P_1} - G_{L_1}) \\
 &+ (1-y)z(G_{P_1} - S_{P_1} - C_{P_2} - G_{L_1}) + (1-y)(1-z)(G_{P_1} - S_{P_1} - G_{L_1}), \\
 &= G_{P_1} - S_{P_1} - G_{L_1} - zC_{P_2}
 \end{aligned}$$

所以，网络直播平台的平均期望收益 $\bar{P}_G = xP_{G_1} + (1-x)P_{G_2}$ 。

因此，网络直播平台决策行为的复制动态方程如下所示：

$$\begin{aligned}
 F(x) &= \frac{dx}{dt} = x(P_{G_1} - \bar{P}_G) = x(1-x)(P_{G_1} - P_{G_2}) \\
 &= x(1-x)(G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1})
 \end{aligned}$$

由微分方程定理可知，如果网络直播平台希望实现主体动态博弈最优，则 x 需要满足以下条件：

$$F(x) = 0 \text{ 且 } \frac{\partial F(x)}{\partial x} < 0,$$

由 $F(x) = 0$ ，可解得 $x = 0$ 或 $x = 1$ ，

再由 $\frac{\partial F(x)}{\partial x} = (1-2x)(G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1}) < 0$ ，可解得：

$$\text{当 } x = 0 \text{ 时, } G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} < 0, \quad (3-4)$$

$$\text{当 } x = 1 \text{ 时, } G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0. \quad (3-5)$$

综上所述，网络直播平台的行为策略演变并不受到主播和用户的影响。只有网络直播平台对用户的隐私保护行为所带来的收益(G_{P_2})，主播利用用户隐私信息给网络直播平台带来的损失(G_{L_1})，网络直播平台进行隐私保护时付出的人力、物力、财力成本(G_{C_1})三者对网络直播平台行为决策产生影响。

(2) 主播动态博弈演变

假设主播利用用户隐私信息时的期望收益为 P_{S_1} ，不利用用户隐私信息时的期望收益为 P_{S_2} 。则主播的动态博弈演变方程如下：

$$\begin{aligned}
 P_{S_1} &= xz(S_{P_1} + S_{P_2} + S_{P_3} - S_{C_1} - S_{L_1}) + x(1-z)(S_{P_1} + S_{P_2} - S_{C_1} - S_{L_1}) \\
 &+ (1-x)z(S_{P_1} + S_{P_2} + S_{P_3} - S_{C_1} - S_{L_1}) + (1-x)(1-z)(S_{P_1} + S_{P_2} - S_{C_1} - S_{L_1}) \\
 &= S_{P_1} + S_{P_2} - S_{C_1} - S_{L_1} + zS_{P_3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{S_2} &= xz(S_{P_1} + S_{P_2} + S_{P_4} - S_{C_1}) + x(1-z)(S_{P_1} + S_{P_2} - S_{C_1}) \\
 &+ (1-x)z(S_{P_1} + S_{P_2} + S_{P_4} - S_{C_1}) + (1-x)(1-z)(S_{P_1} + S_{P_2} - S_{C_1}), \\
 &= S_{P_1} + S_{P_2} - S_{C_1} + zS_{P_4}
 \end{aligned}$$

所以，主播的平均期望收益 $\bar{P}_S = yP_{S_1} + (1-y)P_{S_2}$ 。

因此，主播决策行为的复制动态方程如下所示：

$$\begin{aligned}
 F(y) &= \frac{dy}{dt} = y(P_{S_1} - \bar{P}_S) = y(1-y)(P_{S_1} - P_{S_2}) \\
 &= y(1-y)[z(S_{P_3} - S_{P_4}) - S_{L_1}]
 \end{aligned}$$

同理可知，如果主播希望实现主体动态博弈最优，则 y 需要满足以下条件：

$$F(y) = 0 \text{ 且 } \frac{\partial F(y)}{\partial y} < 0,$$

$$\text{由 } F(y) = 0, \text{ 可解得 } y = 0, y = 1 \text{ 或 } z = \frac{S_{L_1}}{S_{P_3} - S_{P_4}},$$

$$\text{再由 } \frac{\partial F(y)}{\partial y} = (1-2y)[z(S_{P_3} - S_{P_4}) - S_{L_1}] < 0, \text{ 可解得:}$$

$$\text{当 } y = 0 \text{ 时, } 0 \leq z < \frac{S_{L_1}}{S_{P_3} - S_{P_4}}, \quad (3-6)$$

$$\text{当 } y = 1 \text{ 时, } \frac{S_{L_1}}{S_{P_3} - S_{P_4}} < z \leq 1. \quad (3-7)$$

(注： $S_{P_3} - S_{P_4} > 0$)

综上所述，主播的行为策略演变不受到网络直播平台行为的影响，但与用户的行为策略存在相关性。此外，主播利用用户隐私信息所产生的损失(S_{L_1})，主播通过利用用户隐私信息所获得的额外流量收益(S_{P_3})，主播不利用用户隐私信息所获得的流量收益(S_{P_4})三者也对主播的行为决策产生影响。

(3) 用户动态博弈演变

假设用户共享隐私信息行为的期望收益为 P_{C_1} ，不共享隐私信息行为的期望收益为 P_{C_2} 。则用户的动态博弈演变方程如下：

$$\begin{aligned}
 P_{C_1} &= xy(C_{R_1} + C_{P_2} - C_{C_1}) + x(1-y)(C_{R_1} + C_{P_2} - C_{C_2}) \\
 &+ (1-x)y(C_{R_1} + C_{P_2} - C_{C_1}) + (1-x)(1-y)(C_{R_1} + C_{P_2} - C_{C_2}), \\
 &= C_{R_1} + C_{P_2} - C_{C_2} - yC_{C_1} + yC_{C_2} \\
 P_{C_2} &= 0 \circ
 \end{aligned}$$

所以，用户的平均期望收益 $\bar{P}_C = zP_{C_1} + (1-z)P_{C_2}$ 。

因此，用户决策行为的复制动态方程如下所示：

$$\begin{aligned}
 F(z) &= \frac{dz}{dt} = z(P_{C_1} - \bar{P}_C) = z(1-z)(P_{C_1} - P_{C_2}) \\
 &= z(1-z)[y(C_{C_2} - C_{C_1})C_{R_1} + C_{P_2} - C_{C_2}] \circ
 \end{aligned}$$

同理可知，如果主播希望实现主体动态博弈最优，则 z 需要满足以下条件：

$$F(z) = 0 \text{ 且 } \frac{\partial F(z)}{\partial z} < 0,$$

$$\text{由 } F(z) = 0, \text{ 可解得 } z = 0, z = 1 \text{ 或 } y = \frac{C_{C_2} - C_{R_1} - C_{P_2}}{C_{C_2} - C_{C_1}},$$

$$\text{再由 } \frac{\partial F(z)}{\partial z} = (1-2z)[y(C_{C_2} - C_{C_1})C_{R_1} + C_{P_2} - C_{C_2}] < 0, \text{ 可解得:}$$

$$\text{当 } z = 0 \text{ 时, } \frac{C_{C_2} - C_{R_1} - C_{P_2}}{C_{C_2} - C_{C_1}} < y \leq 1, \quad (3-8)$$

$$\text{当 } z = 1 \text{ 时, } 0 \leq y < \frac{C_{C_2} - C_{R_1} - C_{P_2}}{C_{C_2} - C_{C_1}} \circ \quad (3-9)$$

(注： $C_{C_2} - C_{C_1} < 0$)

综上所述，用户的行为策略演变不受网络直播平台行为的影响，但受到主播策略的影响。并且用户通过共享隐私信息所获得的收益(C_{R_1})，网络直播平台给予用户共享隐私信息的成本补贴收益(C_{P_2})，用户在主播采取利用隐私信息策略下所产生的后悔成本(C_{C_1})，用户在主播不采取利用隐私信息策略下所产生的后悔成本(C_{C_2})四项参数均会对用户的行为产生影响。

3.2.3 演化路径分析

由图 3-1 可知，网络直播平台、主播和用户共经历了八种行为策略演变，分别是(0,0,0)、(1,0,0)、(0,1,0)、(0,0,1)、(1,1,0)、(1,0,1)、(0,1,1)、(1,1,1)。参考演绎条件

可知^[86]，三方主体可能的动态博弈演化路径存在以下三种：

路径一：由网络直播平台不保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略(0,0,0)向网络直播平台保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略(1,0,0)演变，再向网络直播平台保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略(1,1,0)演变，或者演变为网络直播平台保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略(1,0,1)，最终向网络直播平台保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略(1,1,1)演变。

路径二：由网络直播平台不保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略(0,0,0)向网络直播平台不保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略(0,1,0)演变，再向网络直播平台保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略(1,1,0)演变，或者演变为网络直播平台保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略(0,1,1)，最终向网络直播平台保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略(1,1,1)演变。在路径二中，当网络直播平台选择不保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略(0,1,0)时，由策略演变条件式(3-7)可知， $\frac{S_{L_1}}{S_{P_3}-S_{P_4}} < 0$ 。由于本文默认 $S_{P_3}-S_{P_4} > 0$ 且 $S_{L_1} > 0$ ，因此该式不成立，即无法改变用户购买行为策略实现三方最优均衡，所以演变路径二舍去。

路径三：由网络直播平台不保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略(0,0,0)向网络直播平台不保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略(0,0,1)演变，再向网络直播平台保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略(1,0,1)，或者演变为网络直播平台保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户共享隐私信

息策略(0,1,1)，最终向网络直播平台保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略(1,1,1)演变。在路径三中，当网络直播平台不保护用户隐私信息时，隐私泄露的风险使得用户担心敏感信息可能被不法分子利用并对平台缺乏信任感从而用户不会再愿意共享自己的隐私信息。因此路径三在现实中无法实现，应该舍去。

综上所述，只有第一条动态博弈演化路径真实存在，具体演变过程如表 3-3。

表 3-3 网络直播平台、主播、用户三方动态博弈路径优选表

序号	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段
路径一	(0,0,0)	→ (1,0,0)	→ (1,1,0) 或 (1,0,1)	→ (1,1,1)
路径二	(0,0,0)	→ (0,1,0)	→ (1,1,0) 或 (0,1,1)	→ (1,1,1) (舍)
路径三	(0,0,0)	→ (0,0,1)	→ (1,0,1) 或 (0,1,1)	→ (1,1,1) (舍)

因此，网络直播平台驱动的三方动态博弈演变路径及其演变条件如下：

(1) 网络直播平台不保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略的条件

当 $x=y=z=0$ 时，

由策略演变条件式 (3-4) 可解得： $G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} < 0$ ；

由策略演变条件式 (3-6) 可解得： $\frac{S_{L_1}}{S_{P_3} - S_{P_4}} > 0$ 恒成立；

由策略演变条件式 (3-8) 可解得： $\frac{C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2}}{C_{C_2} - C_{C_1}} < 0 \rightarrow C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2} > 0$ 。

因此，当 $x=y=z=0$ 时，需满足条件 $\begin{cases} G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} < 0 \\ C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2} > 0 \end{cases}$ 。

(2) 网络直播平台保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略的条件

当 $x=1, y=z=0$ 时，

由策略演变条件式 (3-5) 可解得： $G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0$ ；

由策略演变条件式 (3-6) 可解得: $\frac{S_{L_1}}{S_{P_3}-S_{P_4}} > 0$ 恒成立;

由策略演变条件式 (3-8) 可解得: $\frac{C_{C_2}-C_{P_1}-C_{P_2}}{C_{C_2}-C_{C_1}} < 0 \rightarrow C_{C_2}-C_{P_1}-C_{P_2} > 0$ 。

因此, 当 $x=1, y=z=0$ 时, 需满足条件 $\begin{cases} G_{P_2}+G_{L_1}-G_{C_1} > 0 \\ C_{C_2}-C_{P_1}-C_{P_2} > 0 \end{cases}$ 。

(3) 网络直播平台保护用户隐私信息策略后的演变条件

① 网络直播平台保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户不共享隐私信息策略的条件: $(1,0,0) \rightarrow (1,1,0)$

当 $x=y=1, z=0$ 时,

由策略演变条件式 (3-5) 可解得: $G_{P_2}+G_{L_1}-G_{C_1} > 0$;

由策略演变条件式 (3-7) 可解得: $\frac{S_{L_1}}{S_{P_3}-S_{P_4}} < 0$, 因为 $S_{P_3}-S_{P_4} > 0$ 且 $S_{L_1} > 0$, 所以

该式不成立;

由策略演变条件式 (3-8) 可解得: $\frac{C_{C_2}-C_{P_1}-C_{P_2}}{C_{C_2}-C_{C_1}} < 1 \rightarrow C_{C_1}-C_{P_1}-C_{P_2} > 0$ 。

因此, 该演变路径舍去。

② 网络直播平台保护用户隐私信息、主播不利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略的条件: $(1,0,0) \rightarrow (1,0,1)$

当 $x=z=1, y=0$ 时,

由策略演变条件式 (3-5) 可解得: $G_{P_2}+G_{L_1}-G_{C_1} > 0$;

由策略演变条件式 (3-6) 可解得: $\frac{S_{L_1}}{S_{P_3}-S_{P_4}} > 1 \rightarrow S_{L_1}-S_{P_3}+S_{P_4} > 0$;

由策略演变条件式 (3-9) 可解得: $\frac{C_{C_2}-C_{P_1}-C_{P_2}}{C_{C_2}-C_{C_1}} > 0 \rightarrow C_{C_2}-C_{P_1}-C_{P_2} < 0$ 。

因此，当 $x=y=1, z=0$ 时，需满足条件
$$\begin{cases} G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0 \\ S_{L_1} - S_{P_3} + S_{P_4} > 0 \\ C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2} < 0 \end{cases}$$

(4) 网络直播平台保护用户隐私信息、主播利用用户隐私信息、用户共享隐私信息策略的条件

当 $x=y=z=1$ 时，

由策略演变条件式 (3-5) 可解得： $G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0$ ；

由策略演变条件式 (3-6) 可解得： $\frac{S_{L_1}}{S_{P_3} - S_{P_4}} < 1 \rightarrow S_{L_1} - S_{P_3} + S_{P_4} < 0$ ；

由策略演变条件式 (3-9) 可解得： $\frac{C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2}}{C_{C_2} - C_{C_1}} > 1 \rightarrow C_{C_1} - C_{P_1} - C_{P_2} < 0$ 。

因此，当 $x=y=z=1$ 时，需满足条件
$$\begin{cases} G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0 \\ S_{L_1} - S_{P_3} + S_{P_4} < 0 \\ C_{C_1} - C_{P_1} - C_{P_2} < 0 \end{cases}$$

综上所述，在网络直播平台驱动的三方动态博弈演变过程中，各主体需满足的条件如表 3-4 所示。

表 3-4 网络直播平台驱动的三方策略演变条件表

演变条件			
演变 路径	网络直播平台	主播	用户
(0,0,0)	$G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} < 0$	——	$C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2} > 0$
(1,0,0)	$G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0$	——	$C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2} > 0$
(1,0,1)	$G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0$	$S_{L_1} - S_{P_3} + S_{P_4} > 0$	$C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2} < 0$
(1,1,1)	$G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0$	$S_{L_1} - S_{P_3} + S_{P_4} < 0$	$C_{C_1} - C_{P_1} - C_{P_2} < 0$

(1) 初始阶段(0,0,0)分析

网络直播平台建立之初需要以有限的资源快速吸引用户来建立市场份额以

谋求生存和扩张，平台倾向于追求即时的经济回报而非长期的用户信任。在网络直播平台建立初期，平台可能会选择简化注册流程、降低使用门槛，用户隐私信息可用度低。因此，对用户的隐私保护行为所带来的收益和主播利用用户隐私信息给网络直播平台带来的损失少。并且平台对用户隐私保护需要付出人力、物力、财力成本，而平台在评估风险时，可能认为暂时的不合规损失以及隐私保护到来的收益低于执行全面隐私保护的总成本。由表 3-4 可知，当 $G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} < 0$ 时，网络直播平台更愿意选择不保护用户隐私信息。

由于网络直播平台对用户隐私信息不予保护，任凭其被恶意使用或泄露，如果用户在共享后发现自己的信息被不当使用，导致骚扰、身份盗用或社交关系的负面影响，用户往往会感受到强烈的后悔和情绪困扰。尽管网络直播平台可能提供一定的补贴以吸引用户共享隐私信息，但如果这些补贴以及用户通过共享隐私信息所获得的收益无法与潜在的隐私泄露风险相比时，即当 $C_{C_2} - C_{R_1} - C_{P_2} > 0$ 时，用户更倾向于不共享隐私信息。

网络直播平台不保护用户隐私信息，用户不共享隐私信息时，使得网络直播平台陷入隐私安全危机，直播环境恶劣。无法提供令用户满意的内容，平台缺乏用户活力，波及到主播在平台直播的发展，也滞后了网络直播商业的发展进度。

（2）网络直播平台保护策略转变阶段（1,0,0）分析

由于网络直播平台的发展，平台建立了相对完善的管理机制，可以更有效地监督和执行隐私保护政策，降低了隐私保护成本。随着用户规模和业务规模达到一定水平，平台意识到隐私保护可以显著提升用户对平台的信任，从而增加用户留存率、活跃度和付费意愿，从而带来长期收益。此时当 $G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0$ 时，网络直播平台更愿意选择保护用户隐私信息。

网络直播平台虽然从对用户隐私信息不保护到保护，但用户对平台的信任是脆弱的，用户曾发现隐私信息被滥用，他们可能会对平台产生长期的负面印象，他们的后悔情绪成本仍大于网络直播平台的补贴以及用户通过共享隐私信息所获得的收益。即当 $C_{C_2} - C_{R_1} - C_{P_2} > 0$ 时，用户仍旧倾向于不共享隐私信息。

网络直播平台开始保护用户隐私信息，但用户仍不共享隐私信息时，使得网络直播平台开始投入更多成本也没有获取用户的信任，并没有营造一个良好的直

播平台发展氛围。久而久之，网络直播平台也将不再继续投入更多成本，严重阻碍网络直播商业发展。

（3）用户愿意共享隐私信息阶段（1,0,1）分析

随着网络直播平台的进一步发展，平台已经积累了一定的技术基础（如数据存储、加密技术），以及技术团队的能力和经验的提升，可以更高效地实施隐私保护措施，都降低了隐私保护的技术成本。并且随着市场竞争的加剧，隐私保护成为平台差异化竞争的重要手段，通过深化隐私保护手段，平台可以吸引更多注重隐私的用户，从而增加市场份额。此时当 $G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0$ 时，网络直播平台将保持选择保护用户隐私信息。

主播通过利用用户隐私信息可能会在短期内获得额外流量收益，但这种行为可能损害用户对主播的信任。用户信任的丧失会导致用户流失和流量下降，因此产生损失。并且如果主播没有能力充分利用用户隐私信息，将只会得到很少的额外流量收益。当 $S_{L_1} - S_{P_3} + S_{P_4} > 0$ 时，主播倾向于不利用用户隐私信息。

随着网络直播平台隐私保护的持续投入，平台通过透明的隐私政策和公开的隐私保护措施，增强了用户对隐私保护的信任，从而降低了用户的后悔成本。用户认识到，在隐私得到有效保护的前提下，共享隐私信息可以带来更多收益。并且随着平台的发展，平台有能力提供更具吸引力的用户补贴。即当 $C_{C_2} - C_{R_1} - C_{P_2} < 0$ 时，用户将愿意共享隐私信息。

（4）主播利用用户隐私信息阶段（1,1,1）分析

在该阶段下，网络直播平台充分发展，成本在持续降低。随着隐私保护法律法规的完善和执行力度加强，用户隐私变得愈发重要，平台投入更多资源进行隐私保护，获得了更多市场份额和收益。此时当 $G_{P_2} + G_{L_1} - G_{C_1} > 0$ 时，网络直播平台持续选择保护用户隐私信息。

随着主播定向能力的增强，利用用户隐私信息能力随之增强。主播能力充分利用用户隐私为用户提供满足用户需求的个性化服务。此时主播利用用户隐私信息能够带来更多的额外流量收益以及更少的损失。当 $S_{L_1} - S_{P_3} + S_{P_4} < 0$ 时，主播倾向于利用用户隐私信息。

网络直播平台隐私保护措施完善，用户对平台隐私保护的高度信任，用户的后悔成本低。用户认识到，在隐私得到有效保护的前提下，共享隐私信息可以得到符合自身需求的个性化服务。并且平台有能力提供更具吸引力的用户补贴。当 $C_{C_2} - C_{P_1} - C_{P_2} < 0$ 时，用户持续愿意共享隐私信息。

3.3 本章小结

本章首先做出三方博弈主体的行为假设，并基于网络直播平台、主播、用户主体构建了三方演化博弈模型，通过分析各主体的演化博弈条件总结出网络直播活动的演化路径，然后经过公式推导得出三方主体各自的决策演变公式，得出以下结论：

（1）当网络直播平台对用户隐私信息采取保护策略时，可以显著提升用户对平台的信任。用户在隐私得到有效保护的前提下，得到符合自身需求的个性化服务，吸引到更多用户在平台上进行互动、消费，对网络直播活动起到了积极带动作用。所以，在逐渐稳定的直播活动中，主播会选择利用用户隐私信息以寻求更多的利益。

（2）网络直播平台直播活动发展经历了四个发展阶段。首先是网络直播平台、主播、用户都采取消极行为策略的初级阶段，然后随着网络直播平台开始对用户隐私信息采取保护策略，用户对直播活动的参与度开始逐渐上升，最后使得主播开始利用用户隐私信息为用户提供个性化服务以实现流量收益增长，此时网络直播活动发展真正进入第四阶段。

（3）网络直播活动已经趋于稳定，具体表现在以下两个方面：一是网络直播平台持续对用户隐私信息进行保护；二是主播和用户的行为决策已经趋于稳定。此时，网络直播活动发展达到最优状态，即网络直播平台、主播、用户均能保证自身利益得到满足。

第 4 章 考虑用户隐私的网络直播主体行为策略微分博弈研究

通过第 3 章对网络直播平台、主播、用户三方的演化博弈分析可知,在满足一定条件下网络直播活动三方能够达成积极合作关系,这一良好关系有助于推动网络直播行业发展和用户隐私保护,营造互利共赢、良好的网络直播环境。对于具有行为意愿的网络直播平台、主播和用户而言,确定策略选择关系后,需要协调三方的努力程度以实现三方收益与整体收益的最大化,通过对比不同情形下的博弈结果,能够帮助各主体科学有效地制定决策。

基于此,本章将利用微分博弈方法进一步考察三方在直播活动中平台和主播的合作策略以及平台对用户的补贴策略三种决策情形,通过构建 Nash 非合作博弈、集中决策博弈和成本补贴博弈,探讨不同情形下网络直播平台、主播和用户的最优努力程度、收益及整体的最优收益情况。

4.1 问题描述及模型构建

假定博弈区间为 $(0, \infty)$, 设 $N = \{u, p, a\}$, 其中 u 代表用户, p 代表网络直播平台, a 代表主播, 三方均具有相同的贴现率 r , 且 $r > 0$ 。主播通过在直播过程中输出创作内容, 从而吸引用户获取流量, 而流量是产生收益的关键条件。网络直播平台通过实时优化和调整隐私政策数据以及技术投资等隐私保护行为, 促进与用户之间信任的建立。根据 Davidson 等^[66]的研究, YouTube 通过对用户隐私信息的实时分析来追踪其当前兴趣, 并动态调整其兴趣模型, 以提供个性化的视频推荐。这种做法使用户能够发现更符合其偏好的直播内容, 从而延长其在平台直播中的观看时间并推动流量的增长。用户分享隐私信息的意愿进一步影响了直播流量的动态变化。在本研究中, 直播流量被定义为一个随时间变化的动态变量, 遵循以下微分方程的原则, 其中 $X(t)$ 表示 t 时刻的直播流量。

$$\frac{dX}{dt} = \alpha E_u(t) + \gamma E_p(t) + \eta E_a(t) - \beta X(t), \quad (4-1)$$

其中, $E_u(t)$ 、 $E_p(t)$ 、 $E_a(t)$ 分别代表用户共享隐私信息的努力程度、网络直播平台对用户隐私信息保护的 effort 程度、主播直播的 effort 程度。 α 、 γ 、 η 表示各自的 effort 行为对直播间流量增长的系数。 β 为直播间流量自然衰减系数, $\beta X(t)$ 表示随着时间的流逝发生的直播间流量的自然流失量。 $X(t)$ 表示 t 时刻直播间的流量, 且 $X(0)=X_0$, 表示初始时间直播间的流量。

由于 effort 程度对应成本具有凸性特征, 因此博弈的三方参与者在 t 时刻对应的 effort 程度成本函数分别为:

$$\begin{aligned} C_u(t) &= \frac{1}{2} \mu_u E_u^2(t) \\ C_p(t) &= \frac{1}{2} \mu_p E_p^2(t), \\ C_a(t) &= \frac{1}{2} \mu_a E_a^2(t) \end{aligned} \quad (4-2)$$

其中, $C_u(t)$ 、 $C_p(t)$ 、 $C_a(t)$ 分别代表用户、网络直播平台、主播的 effort 成本, μ_u , μ_p , μ_a 分别代表各自 effort 程度投入的成本系数^[67]。

平台为了增加用户体验感, 提高直播间流量, 鼓励用户共享隐私信息, 通过对用户采取隐私保护手段来补贴用户共享隐私信息的成本, 故平台和用户签订成本补贴契约, 即平台向用户提供成本补贴比例为 $\psi(t)$ ($1 \geq \psi(t) \geq 0$)。

流量变现是网络直播平台经济常见的盈利方式, 如娱乐互动打赏、知识付费、广告合作等。主播通过直播努力输出自己创作的内容吸引用户观看, 用户因为主播的影响力及偏爱给平台带来正向经济效益 $w_a E_a(t)$, 并使直播间获得流量增长并引导感兴趣的用户深入了解广告、产品, 商家根据平台用户的点击数量、浏览时长等给予平台和主播收益 $\Pi_p X(t)$ 。平台通过隐私保护投入提高了整体隐私保护水平, 影响力得到提升从而产生更好的广告效应以及增强了用户的安全感知从而给平台带来经济效益 $w_p E_p(t)$ 。则 t 时刻平台和主播系统的总收益为:

$$B = \Pi_p X(t) + w_p E_p(t) + w_a E_a(t) - \frac{1}{2} \mu_p E_p^2(t) - \frac{1}{2} \mu_a E_a^2(t), \quad (4-3)$$

其中, w_p 和 w_a 分别表示平台在用户隐私保护方面的 effort 投入对系统总收益的影响系数, 以及主播在直播中的 effort 对系统总收益的影响系数。 Π_p 表示直播流量

对平台的边际收益贡献。网络直播平台 and 主播的系统收益在两者之间分配, 分配比例分别为 θ 和 $1-\theta$, 其中 $\theta(1>\theta>0)$ 表示平台在系统收益中分配比例。

假设网络直播平台的隐私保护投入额为 s , 由于平台隐私保护不仅包括平台对用户的隐私保护努力行为还包括平台内部隐私设置的搭建及运营等, 所以 $s > \frac{1}{2}\mu_p E_p^2(t)$ 。用户共享隐私信息获得个性化推荐时, 尽管平台有采取隐私保护行为但由于平台采取隐私保护行为会产生成本, 因此平台将会控制隐私保护的力度程度, 这使用户可能面临着隐私泄露的风险, 当用户隐私信息泄露后将会产生后悔情绪效用 u , 隐私泄露的概率与直播浏览量有关, 用户浏览量越多, 隐私泄露的可能性越大, 假定隐私泄露的概率为 ρ ; 当由于平台隐私保护努力程度加大时, 用户隐私信息也可能没有被泄露, 用户隐私信息没有被泄露的概率为 $1-\rho$ 。

随着用户共享的隐私信息增加, 用户隐私被泄露状况变得越来越频繁, 用户在直播间中的体验感逐渐降低, 用户就会产生不满、甚至投诉, 可认为用户所得的个性化效用是负值并产生后悔情绪效用 u ; 随着平台对用户隐私信息进行保护, 用户的效用则会随之提高。参考 Zou 等^[68]关于效用函数的设定, 用户感知的个性化效用水平低于其期望水平导致的不满意程度, 要大于相同幅度的个性化效用水平高于其期望水平引起的满意程度, 因此假定平台对用户信息的隐私保护投入的增加对用户效用的影响具有对数函数变化的特征。用户由于平台隐私保护获得的效用为 $\ln(S)$ 。

由此得到用户的情绪效用函数:

$$E = (1-\rho)\omega\ln(S) + \rho\sigma(-u) \quad (4-4)$$

那么, 用户的收益函数表示为:

$$B_u = \lambda[(1-\rho)\omega\ln(S) + \rho\sigma(-u)] - \frac{1}{2}\mu_u E_u^2(t) \quad (4-5)$$

其中 ω 为正向情绪对用户效用的影响系数, σ 为负向情绪对用户效用的影响系数。 λ ($\lambda>0$) 表示主播直播行为对直播流量影响的系数。

在 Wang 等^[69]提出的展望理论框架下, 参数定义如下: $\omega=1, \sigma>1$ 且 $\rho=X(t)\zeta$, 其中 ζ 表示浏览量对用户隐私泄露概率的影响系数。本研究开发的模型包含控制变量 $E_u(t), E_p(t), E_o(t)$ 以及状态变量 $X(t)$ 。由于在动态参数条件下求解的复杂性,

假设所有其他参数保持恒定且大于 0, 且与时间无关。此外, 在无限时间跨度内, 网络直播平台、主播和用户之间的互动基本遵循相同的框架, 导致策略仅限于静态条件, 并形成静态反馈均衡。为了研究网络直播平台、主播、用户行为努力水平的均衡, 并验证这些策略的有效性, 本研究探讨了三种情形: 无成本补贴的 Nash 非合作博弈 (记为 N)、平台与主播之间集中决策的协作博弈 (记为 C) 以及具有成本补贴激励的 Stackelberg 博弈 (记为 S)。详细参数说明见表 4-1。

表 4-1 模型参数及含义

参数	含义
$E_u(t)$	用户共享隐私信息努力程度
$E_p(t)$	平台保护用户隐私信息努力程度
$E_a(t)$	主播直播努力程度
$X(t)$	直播间流量
$\psi(t)$	平台给予用户的成本补贴比例 ($1 \geq \psi(t) \geq 0$)
$C_u(t)$	用户共享隐私信息成本
$C_p(t)$	平台保护用户隐私信息成本
$C_a(t)$	主播直播成本
Π_p	直播流量对平台的边际收益贡献
α	用户行为对促进直播间流量增长的影响系数
w_p	平台在用户隐私保护努力投入对系统总收益的影响系数
β	直播间流量自然衰减系数
γ	平台行为对促进直播间流量增长的影响系数
μ_u	用户共享隐私信息努力成本系数
μ_p	平台保护用户隐私信息努力成本系数
μ_a	主播直播努力成本系数
λ	用户期望效用对用户从直播间获得收益的影响系数 ($\lambda > 0$)
η	主播行为对促进直播间流量增长的影响系数

w_a	主播的直播努力对系统总收益的影响系数
ϖ	正向情绪对用户效用的影响系数 ($\varpi=1$)
σ	负向情绪对用户效用的影响系数 ($\sigma>1$)
s	平台的隐私保护投入额
ζ	直播浏览量对用户隐私信息泄露概率的影响系数
ρ	用户隐私信息泄露的概率 ($1>\rho>0$)
θ	平台对系统收益的分配比例 ($1>\theta>0$)

4.2 模型分析

4.2.1 Nash 非合作决策

在平台发展初始阶段，用户浏览网络直播平台，通过平台获得的初始服务体验决定用户是否需要更为个性化服务并决定他们对隐私信息的共享努力程度。此时主播作为独立个体在平台中通过主播努力为平台带来收益也为用户带来情绪价值。

在 Nash 非合作博弈情景中，网络直播平台、主播和用户三方相互独立且地位平等，三方确定各自的努力程度以期实现自身利润最大化，此时平台还需承担主播的直播佣金 A 。由于 Nash 非合作博弈情景中三方的决策目标都是最大化自身收益，平台所有者不会为用户补贴共享隐私信息成本，即 $\psi(t)=0$ 。

基于上述分析，利用微分博弈原理，得到平台的决策模型为：

$$\max J_p^N = \int_0^\infty e^{-\pi} \left\{ \theta [\Pi_p X(t) + w_p E_p(t) + w_a E_a(t)] - A - \frac{1}{2} \mu_p E_p^2(t) \right\} dt, \quad (4-6)$$

$$\text{s.t } \frac{dX}{dt} = \alpha E_u(t) + \gamma E_p(t) + \eta E_a(t) - \beta X(t), \quad X(0) = X_0.$$

主播的决策模型为：

$$\max J_a^N = \int_0^\infty e^{-\pi} \left\{ (1-\theta) [\Pi_p X(t) + w_p E_p(t) + w_a E_a(t)] + A - \frac{1}{2} \mu_a E_a^2(t) \right\} dt, \quad (4-7)$$

$$\text{s.t } \frac{dX}{dt} = \alpha E_u(t) + \gamma E_p(t) + \eta E_a(t) - \beta X(t), \quad X(0) = X_0.$$

用户的决策模型为:

$$\max J_u^N = \int_0^\infty e^{-rt} \left\{ \lambda[(1-\rho)\omega \ln(S) + \rho\sigma(-u)] - \frac{1}{2} \mu_u E_u^2(t) \right\} dt, \quad (4-8)$$

$$\text{s.t. } \frac{dX}{dt} = \alpha E_u(t) + \gamma E_p(t) + \eta E_a(t) - \beta X(t), \quad X(0) = X_0.$$

命题 1

(1) 在 Nash 非合作博弈情形中, 三方的最优努力程度分别为:

$$E_p^{N*} = \frac{\theta C}{P \mu_p}, E_a^{N*} = \frac{-ZK}{P \mu_a}, E_u^{N*} = \frac{-\alpha \zeta \lambda N}{P \mu_u}. \quad (4-9)$$

(2) 主播直播间流量的最优轨迹为:

$$X^{N*} = \frac{\varphi^{N*}}{\beta} + \frac{\beta X_0 - \varphi^{N*}}{\beta} e^{-\beta t} = \frac{(U+1) \left(U(PG\mu_u + (\gamma^2\theta\mu_a - \eta^2Z\mu_p)\mu_u\Pi_p) \right)}{\beta P \mu_a \mu_p \mu_u} \left(-U\alpha^2\zeta\lambda\mu_a\mu_p N + \beta P \mu_a \mu_p \mu_u X_0 \right), \quad (4-10)$$

$$\varphi^{N*} = \alpha E_u^* + \gamma E_p^* + \eta E_a^*$$

(3) 平台、主播、用户以及整体的最优收益表达式分别为:

$$V_p^{N*} = \frac{\theta \Pi_p}{P} X + MT_1, \quad V_a^{N*} = \frac{-Z \Pi_p}{P} X + MF, \quad V_u^{N*} = \frac{-N \zeta \lambda}{P} X + ML_1,$$

$$V^{N*} = V_p^{N*} + V_a^{N*} + V_u^{N*} = \frac{\Pi_p - \zeta \lambda N}{P} X + MQ_1. \quad (4-11)$$

详细证明请参阅附录 1-1-1。

命题 1 表明, 在非合作博弈模型下: (1) 随着直播间流量的增加, 平台将获得更多的收益。流量的边际贡献率 Π_p 和收益分配比例 θ 的增加将导致平台增加隐私保护努力投入, 但隐私保护努力投入成本系数 μ_p 的增加将导致平台减少隐私保护努力投入。(2) 随着直播间流量的增加, 主播也将获得更多的收益。流量的边际贡献率 Π_p 的增加将导致主播增加直播努力投入, 但收益分配比例 θ 和直播努力投入成本系数 μ_a 的增加将导致主播减少直播努力投入。(3) 当 $0 < S < e^{-u\sigma}$ 时, 随着直播间流量的增加, 用户将获得更多的收益。浏览量对用户隐私泄露概率的影响系数 ζ 和用户期望效用对用户从直播间获得收益的作用系数 λ 的增加将导致用户增加共享隐私信息努力投入, 当平台对用户隐私保护行为投入额不超过临界值 $e^{-u\sigma}$ 时, 随着平台对用户隐私保护行为投入额的增加将导致用户增加共享隐私信息努

力投入。但共享隐私信息努力成本系数 μ_u 和用户后悔情绪效用 u 的增加将导致用户减少共享隐私信息努力投入。

值得注意的是，平台对用户隐私保护行为投入额并不是越多越好，我们通常会认为对用户隐私保护行为的投入额越多，用户也会越有安全感，因此更愿意共享他们的隐私信息。但结果并非如此，当平台对用户隐私保护行为投入额超过临界值 $e^{-u\sigma}$ 时，平台认为保护用户隐私信息行为的投入成本过高，将会导致平台不再愿意进行对用户的隐私保护，那么此时用户的隐私将无法得到保护致使被广泛泄漏，因此用户也不再具有共享隐私信息行为。此外，命题 1 还表明收益分配比例 θ 对平台隐私保护行为和主播直播努力行为有相反的影响，而收益分配比例 θ 的大小取决于平台和主播系统间双方主导地位的高低，这意味着如果平台主导地位越高， θ 越大，那么平台对用户的隐私保护努力也将增加，而主播努力程度相应减少，反之亦然。

4.2.2 集中决策

随着平台的发展，此时平台已经拥有稳定的用户，他们通过共享隐私信息得到个性化服务以获得情绪效用。并且平台和主播为了得到更多收益，平台将签约主播。集中决策是系统的理想状态，其中平台与主播构成一个系统作为一个单元充分协调并与用户进行博弈，以确定平台、主播和用户各自的努力程度以期实现平台与主播系统和用户的收益最大化，此时平台不需支付主播的直播佣金。并且平台与主播系统不会为用户补贴共享隐私信息成本，即 $\psi(t)=0$ 。

基于上述分析，利用微分博弈原理，得到平台与主播系统的决策模型为：

$$\max J_{pa}^C = \int_0^{\infty} e^{-rt} \left\{ [\Pi_p X(t) + w_p E_p(t) + w_a E_a(t)] - \frac{1}{2} \mu_p E_p^2(t) - \frac{1}{2} \mu_a E_a^2(t) \right\} dt, \quad (4-12)$$

$$\text{s.t } \frac{dX}{dt} = \alpha E_u(t) + \gamma E_p(t) + \eta E_a(t) - \beta X(t), \quad X(0) = X_0.$$

用户的决策模型为：

$$\max J_u^C = \int_0^{\infty} e^{-rt} \left\{ \lambda[(1-\rho)\omega \ln(S) + \rho\sigma(-u)] - \frac{1}{2} \mu_u E_u^2(t) \right\} dt, \quad (4-13)$$

$$\text{s.t } \frac{dX}{dt} = \alpha E_u(t) + \gamma E_p(t) + \eta E_a(t) - \beta X(t), \quad X(0) = X_0.$$

命题 2

(1) 在集中决策博弈情形中，平台、主播、用户的最优努力程度分别为：

$$E_p^{C^*} = \frac{C}{P\mu_p}, \quad E_a^{C^*} = \frac{K}{P\mu_a}, \quad E_u^{C^*} = \frac{-\alpha\zeta\lambda N}{P\mu_u}。 \quad (4-14)$$

(2) 主播直播间流量的最优轨迹为：

$$X^{C^*} = \frac{\varphi^{C^*}}{\beta} + \frac{\beta X_0 - \varphi^{C^*}}{\beta} e^{-\beta t} = \frac{(U+1)R}{\beta P\mu_a\mu_p\mu_u}。 \quad (4-15)$$

$$\varphi^{C^*} = \alpha E_u^{C^*} + \gamma E_p^{C^*} + \eta E_a^{C^*}$$

(3) 平台与主播系统、用户以及整体的最优收益表达式分别为：

$$V_{pa}^{C^*} = \frac{\Pi_p}{P} X + MT_2, \quad V_u^{C^*} = -\frac{\zeta\lambda N}{P} X + ML_2, \quad V^{C^*} = \frac{-\zeta\lambda N + \Pi_p}{P} X + MQ_2。 \quad (4-16)$$

命题 2 表明，在集中决策博弈模型下：(1) 随着平台努力投入对系统收益的影响系数 w_p 和主播努力投入对系统收益的影响系数 w_a 的增加，平台与主播系统将获得更多的收益。流量边际贡献率 Π_p 和平台努力投入对系统收益的影响系数 w_p 的增加将导致平台增加隐私保护努力投入，但隐私保护努力投入成本系数 μ_p 的增加将导致平台减少隐私保护努力投入。流量边际贡献率 Π_p 和主播努力投入对系统收益的影响系数 w_a 的增加将导致主播增加直播努力投入，直播努力投入成本系数 μ_a 的增加将导致主播减少直播努力投入。(2) 当 $0 < S < e^{-u\sigma}$ 时，随着直播间流量的增加，用户将获得更多的收益。浏览量对用户隐私泄露概率的影响系数 ζ 和用户期望效用对用户从直播间获得收益的作用系数 λ 的增加将导致用户增加共享隐私信息努力投入，当平台对用户隐私保护行为投入额不超过临界值 $e^{-u\sigma}$ 时，随着平台对用户隐私保护行为投入额的增加将导致用户增加共享隐私信息努力投入。但共享隐私信息努力成本系数 μ_u 和用户后悔情绪效用 u 的增加将导致用户减少共享隐私信息努力投入。

从命题 2 可知：(1) 为了使系统获得更多收益，平台应该提升隐私信息在用户心中的地位，使用户意识到平台对于保护用户隐私信息行为的价值，因此增加平台对用户隐私保护的投入对系统收益的影响系数 w_p 。(2) 为了使系统获得更多收益，平台可以对主播进行培训以增加主播的直播表现力，增强主播在直

播间的收益能力,因此增加主播在直播间付出的努力投入对系统总收益的影响系数 w_a 。

4.2.3 成本补贴决策

该种情形下,平台与主播仍作为一个系统与用户进行博弈,以确定平台、主播和用户各自的努力程度以期实现平台与主播系统和用户的收益最大化,此时平台不需支付主播的直播佣金。

平台为了鼓励用户共享隐私信息,通过对用户采取隐私保护手段来补贴用户共享隐私信息的成本,故平台和用户签订成本补贴契约,即平台向用户提供成本补贴比例为 $\psi(t) \neq 0$ 。博弈分为两个阶段:首先平台确定其对用户隐私保护努力程度以及对用户成本补贴比例,然后用户根据平台的策略确定自身的最优隐私信息共享努力程度。博弈双方均以自身收益最大化为目标独立进行决策。

基于上述分析,利用微分博弈原理,得到平台的决策模型为:

$$\max J_{pa}^S = \int_0^{\infty} e^{-rt} \left\{ [\Pi_p X(t) + w_p E_p(t) + w_a E_a(t)] - \frac{1}{2} \mu_p E_p^2(t) - \frac{1}{2} \mu_a E_a^2(t) - \frac{1}{2} \psi(t) \mu_p E_p^2(t) \right\} dt, \quad (4-17)$$

$$s.t \frac{dX}{dt} = \alpha E_u(t) + \gamma E_p(t) + \eta E_a(t) - \beta X(t), \quad X(0) = X_0。$$

用户的决策模型为:

$$\max J_u^S = \int_0^{\infty} e^{-rt} \left\{ \lambda[(1-\rho)\omega \ln(S) + \rho\sigma(-u)] - \frac{1}{2} \mu_u E_u^2(t) + \frac{1}{2} \psi(t) \mu_p E_p^2(t) \right\} dt, \quad (4-18)$$

$$s.t \frac{dX}{dt} = \alpha E_u(t) + \gamma E_p(t) + \eta E_a(t) - \beta X(t), \quad X(0) = X_0。$$

命题 3

(1) 在成本补贴决策博弈情形中,平台、主播、用户的最优努力程度分别为:

$$E_a^{S*} = \frac{K}{P\mu_a}, \quad E_p^{S*} = \frac{C}{P\mu_p}, \quad E_u^{S*} = \frac{\alpha(2\Pi_p - \zeta\lambda N)}{2P\mu_u}。 \quad (4-19)$$

(2) 主播直播间流量的最优轨迹为

$$X^{S*} = \frac{\varphi^{S*}}{\beta} + \frac{\beta X_0 - \varphi^{S*}}{\beta} e^{-\beta t} = \frac{(U+1)(\mu_a \mu_p U \alpha^2 (2\Pi_p - \zeta\lambda N) + 2R)}{2\beta P \mu_a \mu_p \mu_u}。 \quad (4-20)$$

$$\varphi^{S*} = \alpha E_u^{S*} + \gamma E_p^{S*} + \eta E_a^{S*}$$

(3) 平台对用户共享隐私信息成本的最优补贴比例:

$$\psi^* = \begin{cases} \frac{\zeta\lambda N + 2\Pi_p}{\zeta\lambda N - 2\Pi_p} e^{\left(\frac{2\Pi_p}{\zeta\lambda} - u\sigma\right)} & S > e^{\left(\frac{2\Pi_p}{\zeta\lambda} + u\sigma\right)} \\ 0 & else \end{cases} \quad (4-21)$$

(4) 平台与主播系统、用户以及整体的最优收益表达式分别为:

$$V_{pa}^{S*} = \frac{\Pi_p}{P} X + MT_3, \quad V_u^{S*} = -\frac{\zeta\lambda N}{P} X + \frac{M}{2} L_3, \quad V^{S*} = \frac{-\zeta\lambda N + \Pi_p}{P} X + Q_3. \quad (4-22)$$

命题 3 表明, 在成本补贴决策博弈模型下: (1) 当 $0 < S < e^{-u\sigma}$ 时, 随着直播间流量的增加, 用户将获得更多的收益。当平台对用户隐私保护行为投入额不超过临界值 $e^{\left(\frac{2\Pi_p}{\zeta\lambda} - u\sigma\right)}$ 时, 随着平台对用户隐私保护行为投入额的增加将导致用户增加共享隐私信息努力投入。流量边际贡献率 Π_p 的增加也将导致用户增加共享隐私信息努力投入。但共享隐私信息努力成本系数 μ_u 和用户后悔情绪效用 u 的增加将导致用户减少共享隐私信息努力投入。(2) 平台与主播系统对于用户共享隐私信息努力投入补贴受到流量边际贡献率 Π_p 、浏览量对用户隐私泄露概率的影响系数 ζ 、用户期望效用对用户从直播间获得收益的作用系数 λ 、用户后悔情绪效用 u 以及平台对用户隐私保护行为投入额 s 的共同影响。当 $e^{\left(\frac{2\Pi_p}{\zeta\lambda} + u\sigma\right)} < S < e^{\left(\frac{2\Pi_p}{\zeta\lambda} - u\sigma\right)}$ 时, 平台与主播系统愿意对用户进行一定的补贴。在平台对用户隐私保护行为投入额 s 其他取值情况下, 系统不愿意对用户进行补贴。

从命题 3 可知: (1) 在成本补贴情形下, 流量边际贡献率 Π_p 的增加会导致平台与主播系统的收益增加, 此时系统更愿意对用户共享隐私信息努力投入进行补贴以得到更多用户隐私信息。因此在该情形下流量边际贡献率也对用户共享隐私信息努力程度产生影响。(2) 平台与主播系统对用户共享隐私信息成本的补贴策略受到平台对用户隐私保护行为投入额 s 取值的影响。当投入额过高时, 将会导致平台不再愿意进行对用户的隐私保护, 不会进行成本补贴。当投入额过低时, 用户没有共享隐私信息的意愿, 也不会进行成本补贴。因此只有当投入额 s 在适当的取值范围内, 平台才会对用户成本补贴。

4.3 比较分析

在上述命题基础上, 通过对用户隐私共享努力程度、网络直播平台对用户隐

私保护努力程度、主播直播努力程度以及直播间流量水平的稳态分析，探讨了用户后悔情绪和直播间流量增长的系数、直播间流量对平台的边际贡献率、各自成本系数、直播间流量自然衰退率、贴现率对三方努力程度的影响。

推论 1 当 $e^{-\left(\frac{2\Pi_p}{\zeta\lambda}+u\sigma\right)} < S < e^{\left(\frac{2\Pi_p}{\zeta\lambda}-u\sigma\right)}$ ，可得

- i. $E_p^{N*} < E_p^{C*} = E_p^{S*}$ 。
- ii. $E_a^{N*} < E_a^{C*} = E_a^{S*}$ 。
- iii. $E_u^{N*} = E_u^{C*} < E_u^{S*}$ 且 $\frac{E_u^{S*} - E_u^{C*}}{E_u^{S*}} = \frac{E_u^{S*} - E_u^{N*}}{E_u^{S*}} = \psi^*$ 。

详细证明请参阅附录 1-1-2。

推论 1 表明，集中决策情形下网络直播平台对用户隐私保护努力程度和主播直播努力程度相比 Nash 非合作博弈情形得到明显增加，而用户共享隐私信息努力程度保持不变；成本补贴情形下网络直播平台对用户隐私保护努力程度和主播直播努力程度相比集中决策情形下保持不变成本补贴情形下用户共享隐私信息努力程度相比 Nash 非合作博弈和集中决策情形下得到明显增加，增加强度等于平台对用户共享隐私信息成本的补贴比率，即最优“补贴因子”，说明平台给与的成本补贴作为一种激励机制，促使用户比没有补贴时付出更多的努力进行隐私信息共享，因此平台可以根据不同隐私敏感型用户群体制定特定的补贴策略，从而以最少的成本获得更多的效益。

推论 2 三种情形下直播间流量的比较结果如下： $X^{N*} < X^{C*} < X^{S*}$ 。

详细证明请参阅附录 1-1-3。

推论 2 表明，集中决策情形下稳态直播间流量高于 Nash 非合作博弈情形，说明平台与主播作为一个系统时，此系统以平台与主播的共同最大收益为目标进行决策，可以达成紧密、高效的合作因此增加了主播直播努力程度以及平台对用户隐私保护努力程度从而给予用户更好的使用体验因此增加了直播间流量。因此平台应该积极采取措施促进平台和主播之间的合作，优化主播激励机制。

成本补贴情形下稳态直播间流量高于集中决策情形，说明平台通过补贴用户共享隐私信息的成本促进了用户浏览直播间的行为，相较于集中决策情形的直播

间流量情况实现了帕累托改进。因此平台可以通过对用户进行补贴的方式促进直播间流量增长。

推论 3 三种情形下用户共享隐私信息的努力程度 E_u^* 随着 u 的增加而减少

在推论 3 中，三种决策稳态情形下，用户共享隐私信息努力程度随着用户后悔情绪效用的增大而降低 ($\frac{\partial E_u^{N*}}{\partial u} < 0$, $\frac{\partial E_u^{C*}}{\partial u} < 0$ 和 $\frac{\partial E_u^{S*}}{\partial u} < 0$)。说明用户的隐私信息被泄漏后，用户的后悔情绪效用越大则共享隐私信息努力程度越低。因此，为了减少用户后悔情绪效用增加用户体验感以提高共享隐私信息努力程度，平台应采取的措施如完善用户隐私保护机制、给予用户更多体验福利等。

针对这些问题，可以采取几项有针对性的措施。首先，平台应努力建立高效且透明的隐私保护机制，旨在增强用户对其个人信息安全的信心。这不仅包括技术策略的实施，还包括明确传达监管合规性和隐私政策，确保用户清楚地了解其信息处理和保护的方式。其次，为用户提供额外的体验福利是鼓励分享隐私信息的另一种有效策略。这些福利可能包括个性化服务、定制化推荐以及独特的用户体验。

推论 4

i. E_p^{N*} 随 γ 和 Π_p 的增加而增加。

ii. E_p^{N*} 随 μ_p , β 和 r 的增加而减少。

推论 4 表明，平台、主播和用户三方各自的最优隐私保护努力水平、最优直播努力水平和最优隐私信息共享努力水平与各自的努力行为对直播间流量增长的系数、直播间流量对平台的边际贡献率成正比，与各自成本系数、直播间流量自然衰退率、贴现率成反比 ($\frac{\partial E_p^{N*}}{\partial \gamma} > 0$, $\frac{\partial E_p^{N*}}{\partial \Pi_p} > 0$, $\frac{\partial E_p^{N*}}{\partial \mu_p} < 0$, $\frac{\partial E_p^{N*}}{\partial \beta} < 0$ 和 $\frac{\partial E_p^{N*}}{\partial r} < 0$)。

因此，平台可以通过降低成本系数（如减少推广成本、提高效率）以及提高流量贡献率（如增强用户参与度、提供精准推荐）来提升直播间的流量。这些措施有助于吸引更多用户进入直播间，从而提升整体流量并改善平台收益。

4.4 数值分析

在本节中通过数值分析验证上述结论。根据 Ma 等^[70]的研究，我们假设平台

和主播均分总收益，因此 $\theta=0.5$ 。此外，根据展望理论 $\sigma>1$ ，我们设 $\sigma=1.2$ 。其中， Π_p 表示直播流量对平台的边际收益贡献，反映了平台将每单位流量转化为收益的能力。为了与平台通过个性化服务将流量转化为收益的假设一致，我们设 $\Pi_p=0.8$ 。各参数设定见表 4-2。

表 4-2 参数值 (1)

α	γ	η	r	β	Π_p	w_p	w_a	θ
0.5	0.4	0.3	0.1	0.1	0.8	0.6	0.5	0.5
u	λ	ξ	μ_p	μ_u	μ_a	X_0	σ	
0.8	0.8	0.6	0.6	0.4	0.3	0	1.2	

由上述分析可知，平台在 Nash 非合作博弈和集中决策博弈情形下的用户隐私保护投资额 s 应满足条件 $0 < s < e^{-u\sigma}$ ，即 s 的取值范围 $(0, 0.38)$ 。平台在成本补贴情形下的用户隐私保护投资额 s 应满足条件 $e^{-\left(\frac{2\Pi_p}{\xi\lambda}+u\sigma\right)} < s < e^{-\left(\frac{2\Pi_p}{\xi\lambda}-u\sigma\right)}$ ，即 s 的取值范围 $(0.01, 10.73)$ 。由此取 $s=0.3$ 可满足其限制条件，由此得到表 4-3。

表 4-3 参数值 (2)

$E_p^{N^*}$	$E_a^{N^*}$	$E_u^{N^*}$	$E_p^{C^*}$	$E_a^{C^*}$	$E_u^{C^*}$	$E_p^{S^*}$	$E_a^{S^*}$	$E_u^{S^*}$	ψ^*
1.83	2.83	0.73	3.67	5.66	0.73	3.67	5.66	5.37	0.83

满足 $E_p^{N^*} < E_p^{C^*} = E_p^{S^*}$ ， $E_a^{N^*} < E_a^{C^*} = E_a^{S^*}$ ， $E_u^{N^*} = E_u^{C^*} < E_u^{S^*}$ 和

$$\frac{E_u^{S^*} - E_u^{C^*}}{E_u^{S^*}} = \frac{E_u^{S^*} - E_u^{N^*}}{E_u^{S^*}} = \psi^*，与推论 1 相符。$$

从图 4-1 可知，随着时间的推移 t ，主播直播间流量的最优轨迹呈现上升趋势，并逐渐收敛到稳定状态，表明随着三方努力的持续投入，直播流量得到了提升。随着直播流量自然衰减因子 β 的增加，直播间流量随之减少。在成本补贴博弈情形下，平台对用户共享隐私信息给予成本补贴促进了直播流量的增长，因此 $x^{S^*}(t)$ 显著高于其他两种决策情形，与推论 2 的结论一致。

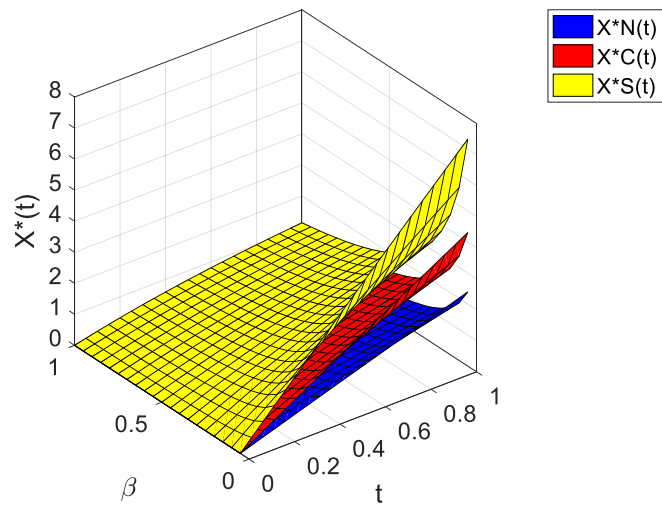


图 4-1 直播间流量的比较

由图 4-2~4-3 可知，在三种博弈决策情形中，平台与主播系统以及用户的最优收益随时间 t 递增，且均从各自收益最大化角度出发进行决策， $V_{pc}^{S*}(t) > V_{pc}^{C*}(t) > V_{pc}^{N*}(t)$ 、 $V_u^{S*}(t) > V_u^{C*}(t) > V_u^{N*}(t)$ ，成本补贴使得平台与主播系统以及用户的收益增加。随着直播间流量衰减系数 β 的增大，直播间流量自然下降的速度越快，系统与用户的收益也会降低。可见，为获得更高的收益，提升平台直播间流量是平台、主播和用户的共同目标。

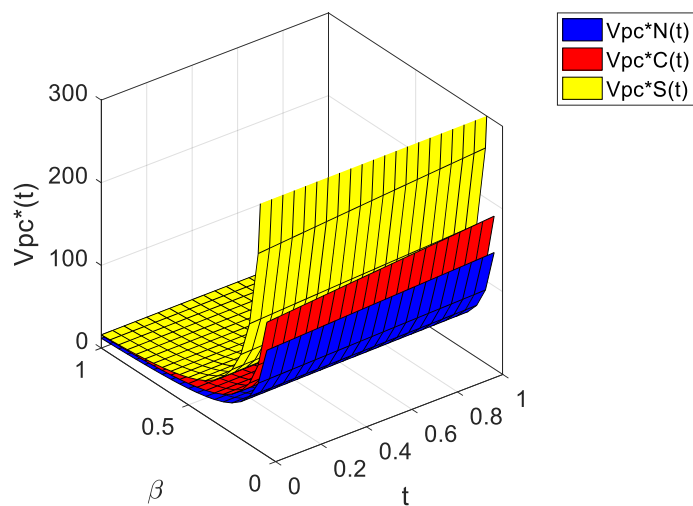


图 4-2 平台与主播系统收益的比较

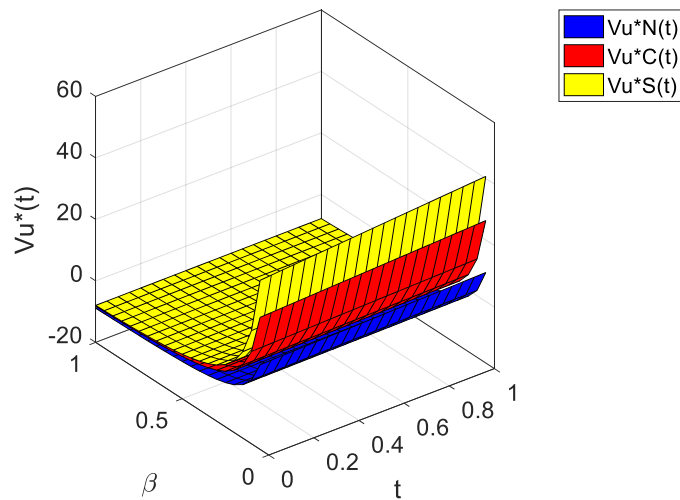


图 4-3 用户收益的比较

由图 4-4 可知，随时间 t 的推移，平台与主播系统和用户的整体收益水平呈递增趋势。随直播间流量衰减系数 β 增大，整体收益逐渐减少。比较图 4-1~4-4，整体所获收益与直播间流量的变化情况是一致的，因此无论在何种决策情形下，都应该关注直播间流量增加对收益带来的正向作用。成本补贴情形下，平台与主播系统、用户以及整体收益 $V_{pc}^{S*}(t)$ 、 $V_u^{S*}(t)$ 、 $V^{S*}(t)$ 达到最高。说明成本补贴可以促使平台、主播和用户以及整体收益的增加，实现帕累托改进。此时，平台、主播和用户加强合作，平台主动补贴用户共享隐私信息的成本，增强了用户共享隐私信息的意愿使得各方协调得更好，因而可有效提升直播间流量和整体收益。

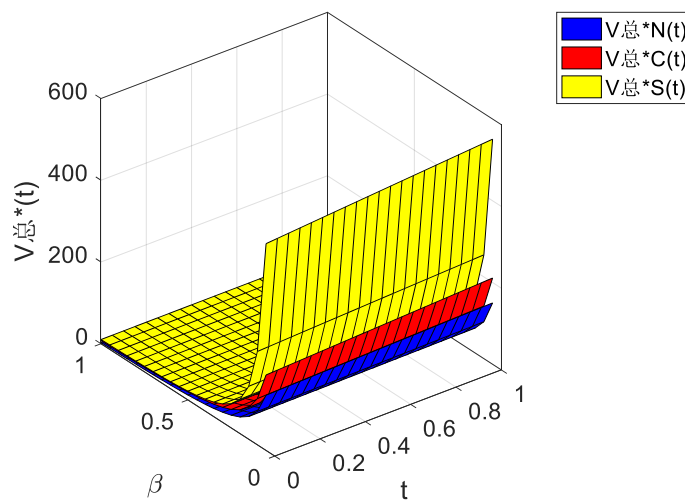


图 4-4 三方的整体收益的比较

由图 4-5 可知, 网络直播平台与主播的系统收益随时间 t 的推移最终收敛到均衡水平, 并且系统收益在平台与主播二者之间分配, 不同的分配比例 θ 、 $1-\theta$ 对平台与主播系统收益有不同的影响。当 $\theta=1$ 时, 即平台获得全部收益, 主播没有收益, 此时系统收益最低。当 $\theta=0.5$ 时, 即平台和主播获得相同比例的系统收益, 此时系统收益最高。比较不同 θ 取值可知, 系统收益在两者间的分配越极端, 则系统收益越低。并且当平台的分配比例低于主播的分配比例时, 系统收益更多。当 $\theta \in [0, \theta^*]$ 时, 平台与主播系统收益 V_{pc} 随着的 θ 增大而增大, 且平台对用户隐私保护努力程度 E_p^* 也随 θ 增大而增加而主播直播努力程度 E_c^* 随着 θ 增大而减少, 此时出现主播“搭便车”现象, 主播没有付出更多的努力便得到了更多的收益。因此为了最大化平台与主播的系统收益并避免主播“搭便车”现象, 应该协调平台和主播的收益, 选择适当的收益分配比例。

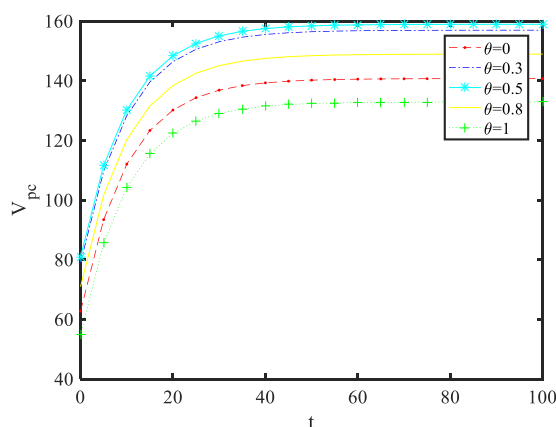
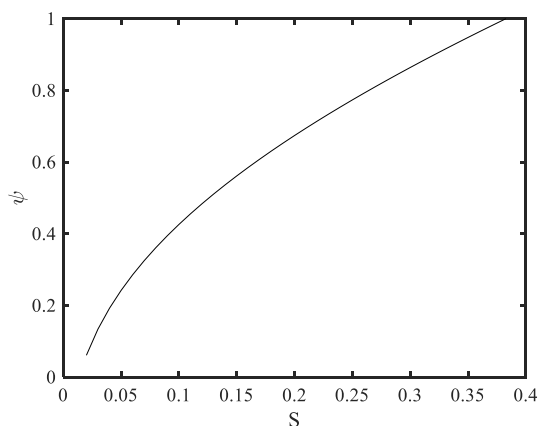


图 4-5 θ 对平台与主播系统收益的影响

由图 4-6 可知, 在成本补贴决策情形下, 随着网络直播平台的隐私保护投资额 s 的增加平台补贴用户共享隐私信息成本的比例也将增加。这与实际情况相符, 平台通过增加对用户隐私保护行为的投资额以激励用户共享隐私信息提高直播间流量从而平台愿意更多补贴用户共享隐私信息的成本。因此需要平台确定合适的投资额以确定成本补贴比例, 使平台获得最大收益。

图 4-6 投资额 S 对成本补贴比例的影响

4.5 本章小结

本章利用微分博弈模型,研究了平台在追求直播流量的同时对用户的隐私保护行为以及用户共享隐私信息行为的理论问题,分析了 Nash 非合作博弈、集中决策博弈及成本补贴决策博弈三种情形中网络直播平台对用户的隐私保护最优努力程度、主播直播最优努力程度和用户共享隐私信息最优努力程度、平台与主播系统的收益分配、平台对用户共享隐私保护的补贴、考虑用户情绪效用的最优收益、平台与主播系统最优收益及整体的最优收益情况。通过对模型均衡结果的比较分析,得出如下研究结论:

首先,网络直播平台、主播和用户的努力行为不仅受他们各自自身努力意愿的影响,而且外界环境条件的变化(如直播间流量增长系数、直播间流量边际贡献率、直播间流量自然衰退率、各自的努力成本系数)也对三方各自的努力程度有较大的影响,并且与直觉不符的是,用户共享隐私信息的努力程度不总是随着平台对用户隐私保护投入额的增加而提高,当平台的投入额超过临界值时,用户共享隐私信息的努力程度将减少。其次,平台的成本补贴不仅显著提升了用户共享隐私信息的意愿,还促进了直播间流量的增加,对所有参与方的收益产生了整体性的提升,实现了显著的帕累托改进。最后,平台与主播的收益分配比例对平台和主播各自努力程度以及双方的收益有相反的影响,当收益分配比例超过一定范围时主播没有付出更多的努力便得到更多的收益,从而导致主播“搭便车”现象。

第 5 章 考虑用户隐私敏感性的网络直播主体行为策略微分博弈研究

本章在第 4 章的基础上更深入的研究网络直播活动中用户隐私信息的保护和管理。随着用户隐私意识的提高,引入用户隐私敏感性,考虑不同隐私敏感型用户在网络直播活动中行为选择策略的差异,并根据主播是否与直播平台签约以及在签约情形主播是否告知用户其使用了用户的隐私信息构建三阶段微分博弈模型,得到三种决策情形下三方最优努力程度、最优直播间流量以及最优收益情况,并通过数值分析对结论加以验证。

5.1 问题描述及模型构建

与肖勇波等^[71]类似,本文考虑一个网络直播平台通过平台主播在直播间中向用户销售产品或服务系统。用户通过在主播直播间选择商品并下单,网络直播平台收到订单信息后为用户提供产品或服务。这里,主播根据是否与平台签约被分为两类,分别为签约主播和非签约主播。对于非签约主播,平台对主播售出的单位产品或服务给予佣金。对于签约主播,平台除了给主播提供销售佣金之外,同时提供保底收入。此时,各方可能会面临如下决策问题:(1)网络直播平台是否与主播签约?(2)主播是否向用户告知其利用其隐私信息?虽然问题(1)并未直接反应出用户隐私信息的影响,但可预见,问题(2)的决策结果会间接地对问题(1)的结果产生影响。

为得到个性化产品或服务,用户会选择向平台共享自己的隐私信息。但是,当主播拥有足够强的定向能力后,其在销售产品或服务过程中难免存在用户隐私泄露的风险。此时,网络直播平台有义务针对用户隐私给予保护。作为手段之一,平台将会鼓励主播告知用户其利用了用户隐私信息的行为,并对执行该行为的主播给予成本补贴。图 5-1 描述了这一决策过程。

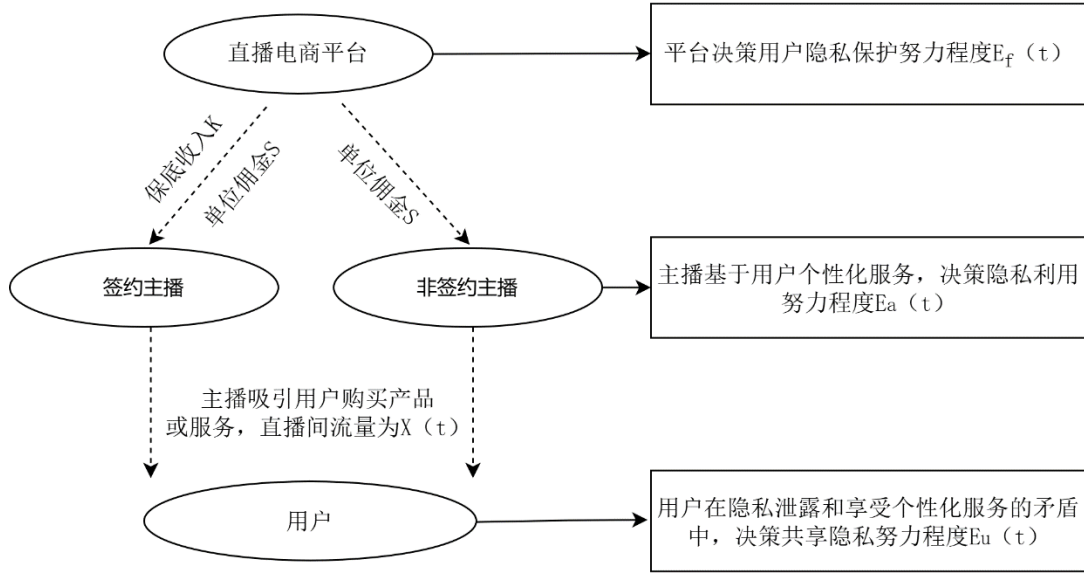


图 5-1 博弈三方关系及决策示意图

假定博弈区间为 $(0, \infty)$ ，设 $N' = \{u', f', a'\}$ ，其中 u' 代表用户， f' 代表网络直播平台， a' 代表平台主播，三方均具有相同的贴现率 r' ，用于折现未来的收益，表示博弈三方衡量当前时刻对未来收益的重视程度。且 $r' > 0$ 。

与 Gordon 和 Loeb^[72]类似，假设市场中的用户分为两类，即隐私敏感型和隐私不敏感型，其中隐私不敏感型用户的比例为 m ($0 \leq m \leq 1$)。若主播决定向用户告知其利用了用户的隐私信息，则隐私敏感型用户将不会购买产品。直播带货的效果很大程度上依赖于直播间流量。直播主播通过理解和满足用户的需求、挖掘潜在用户到直播间中以获取流量，同时网络直播平台通过对用户隐私进行保护的与用户建立信任。因此直播间流量由网络直播平台对用户隐私信息保护的的努力程度、主播隐私利用努力程度以及用户共享隐私信息努力程度共同决定且直播间流量是一个随着时间 t 变化动态变量，其变化规律满足如下微分方程：

$$\frac{dX'}{dt} = \alpha' E_{u'}(t) + \gamma' E_{f'}(t) + \eta' E_{a'}(t) - \beta X'(t), \quad (5-1)$$

其中， $E_{u'}(t)$ ， $E_{f'}(t)$ ， $E_{a'}(t)$ 分别代表用户共享隐私信息的努力程度、网络直播平台对用户隐私信息保护的的努力程度、主播隐私利用努力程度。 α' ， γ' ， η' 示各自的努力行为对直播间流量增长的系数。 β' 为直播间流量自然衰减系数， $\beta' X'(t)$ 表示随着时间的流逝发生的直播间流量自然流失量。 $X'(t)$ 表示 t 时刻直播间的流

量，且 $x'(0) = x_0'$ 表示初始时间直播间的流量。

由于努力程度对应成本具有凸性特征，因此博弈三方在 t 时刻对应的努力程度成本函数分别为：

$$C_{u'}(t) = \frac{1}{2} \mu_{u'} E_{u'}^2(t), \quad C_{f'}(t) = \frac{1}{2} \mu_{f'} E_{f'}^2(t), \quad C_{a'}(t) = \frac{1}{2} \mu_{a'} E_{a'}^2(t) \quad (5-2)$$

其中， $C_{u'}(t)$ ， $C_{f'}(t)$ ， $C_{a'}(t)$ 分别代表用户、网络直播平台、主播的努力成本， $\mu_{u'}$ ， $\mu_{f'}$ ， $\mu_{a'}$ 分别代表各自努力程度投入的成本系数。网络直播平台的隐私保护投入额为 S' 。用户共享隐私信息获得个性化推荐时，用户可能面临着隐私泄露的风险，隐私泄露的概率与视频浏览量有关，用户浏览量越多，隐私泄露风险越大，假定隐私泄露的概率为 ρ' ；当平台隐私保护努力程度加大时，用户隐私信息也可能没有被泄露，用户隐私信息没有被泄露的概率为 $1 - \rho'$ 。随着用户共享隐私信息增加，用户隐私泄露状况变得越来越频繁，隐私不敏感型用户产生后悔情绪效用为 z_1 ，隐私敏感型用户产生后悔情绪效用为 z_2 。并且敏感型用户对隐私关注度更高，感知风险也越强^[73]，因此 $z_2 > z_1$ ；随着平台对用户隐私信息的保护，用户的效用则会随之提高。参考王艳和谭德庆^[74]关于效用函数的设定，用户感知的个性化效用水平低于其期望水平导致的不满意程度，要大于相同幅度的个性化效用水平高于其期望水平引起的满意程度，因此假定平台对用户隐私保护投入的增加对用户效用的影响具有对数函数变化的特征。用户由于平台隐私保护获得的效用为 $\ln(S')$ 。

隐私不敏感型用户的情绪效用函数为：

$$E_m = m[(1 - \rho')\omega' \ln(S') + \rho'\sigma'(-z_1)] \quad (5-3)$$

隐私敏感型用户的情绪效用函数为：

$$E_{1-m} = (1 - m)[(1 - \rho')\omega' \ln(S') + \rho'\sigma'(-z_2)] \quad (5-4)$$

其中， ω' 为正向情绪对用户效用的影响系数， σ' 为负向情绪对用户效用的影响系数，根据展望理论，借鉴 Wang 等^[69]的设定， $\omega' = 1$ ， $\sigma' > 1$ ， $\rho' = X'(t)\zeta'$ 。 ζ' 表示浏览量对用户隐私泄露概率的影响系数。

主播对在直播间售出的单位产品或服务向网络直播平台收取佣金 w' ，并且与平台签约的主播会有保底收入 K' ；同时，更多的直播间流量能够有效地推广

产品或服务。根据经济学种经典的需求价格模型有 $D = A + \tau X'(t) - \varepsilon p$ ，其中 D 为市场需求， A 为基本需求， τ 为直播间流量 $X'(t)$ 对销量的影响系数， p 为销售价格并在不同决策情形下保持不变， ε 为销量对价格 p 的弹性。

博弈三方的目标都是在无限期内实现收益最大化，因此三方的收益函数：

$$\Pi_{f'} = (p - c - w)D - \frac{1}{2}\mu_{f'}E_{f'}^2(t), \quad (5-5)$$

$$\Pi_{a'} = wD - \frac{1}{2}\mu_{a'}E_{a'}^2(t), \quad (5-6)$$

$$\Pi_{u'} = \lambda' \left[m \left((1 - \rho') \omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_1) \right) + (1 - m) \left((1 - \rho') \omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_2) \right) \right] - \frac{1}{2}\mu_{u'}E_{u'}^2(t) \quad (5-7)$$

其中， λ' 表示用户期望效用对用户从直播间获得收益的作用系数 ($\lambda' > 0$)， c 为直播间单位产品或服务的成本。

本文所建模型包含控制变量 $E_{u'}(t)$ ， $E_{f'}(t)$ ， $E_{a'}(t)$ 和状态变量 $X'(t)$ 。按照决策时序分别考虑了网络直播平台与主播不签约博弈情形（为便于区分，后文用上标 N 标记）、平台与主播签约且主播不告知用户其使用了隐私信息（用上标 S 标记）和平台与主播签约且主播告知用户其使用了隐私信息（用上标 C 标记）。表 5-1 给出相关的符号说明。

表 5-1 符号说明

符号	含义
$E_{u'}(t)$	用户共享隐私信息努力程度
$E_{f'}(t)$	平台保护用户隐私信息努力程度
$E_{a'}(t)$	主播利用用户隐私信息努力程度
$X'(t)$	直播间流量
$\psi'(t)$	平台给予主播的成本补贴比例 ($0 \leq \psi'(t) \leq 1$)
$C_{u'}(t)$	用户共享隐私信息成本
$C_{f'}(t)$	平台保护用户隐私信息成本

$C_{a'}(t)$	主播利用用户隐私成本
K'	主播与平台签约后得到的保底收入
α'	用户行为对促进直播间流量增长的影响系数
η'	主播行为对促进直播间流量增长的影响系数
γ'	平台行为对促进直播间流量增长的影响系数
r'	贴现率
μ_u	用户共享隐私信息努力成本系数
μ_f	平台保护用户隐私信息努力成本系数
μ_a	主播利用用户隐私信息努力成本系数
λ'	用户期望效用对用户从直播间获得收益的影响系数
β'	直播间流量自然衰减系数
m	隐私不敏感型用户的比例 ($0 \leq m \leq 1$)
ϖ'	正向情绪对用户效用的影响系数 ($\varpi = 1$)
σ'	负向情绪对用户效用的影响系数 ($\sigma > 1$)
z_1	隐私不敏感型用户的后悔情绪效用
z_2	隐私敏感型用户的后悔情绪效用
S'	平台的隐私保护投入额
ζ'	浏览量对用户隐私信息泄露概率的影响系数
ρ'	用户隐私信息泄露的概率 ($0 < \rho < 1$)
D	直播间产品和服务的市场需求
A	直播间产品和服务的基本需求
τ	直播间流量对销量的影响系数
p	直播间单位产品和服务销售价格
w	平台对主播售出单位产品和服务给予的佣金
c	直播间单位产品和服务成本价格
ε	销量对直播间单位产品和服务销售价格的弹性系数
V_u	用户的收益
V_f	平台的收益

$V_{a'}$

主播的收益

5.2 模型分析

5.2.1 平台与主播不签约的决策

网络直播平台与主播不签约时, 主播通过直播推广产品或服务, 从而获得销售额的一定比例作为提成。基于上述分析, 利用微分博弈得到平台的决策模型为:

$$\max J_{f'}^N = \int_0^{\infty} e^{-\tau t} \left[(p - c - w)(A + \tau X'(t) - \varepsilon p) - \frac{1}{2} \mu_{f'} E_{f'}^2(t) \right] dt, \quad (5-8)$$

$$\text{s.t } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_{u'}(t) + \gamma' E_{f'}(t) + \eta' E_{a'}(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

主播的决策模型为:

$$\max J_{a'}^N = \int_0^{\infty} e^{-\tau t} \left[w(A + \tau X'(t) - \varepsilon p) - \frac{1}{2} \mu_{a'} E_{a'}^2(t) \right] dt, \quad (5-9)$$

$$\text{s.t } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_{u'}(t) + \gamma' E_{f'}(t) + \eta' E_{a'}(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

用户的决策模型为:

$$\max J_{u'}^S = \int_0^{\infty} e^{-\tau t} \left\{ \lambda' \left[\frac{m((1-\rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_1)) + (1-m)((1-\rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_2))}{2} - \frac{1}{2} \mu_{u'} E_{u'}^2(t) \right] \right\} dt, \quad (5-10)$$

$$\text{s.t } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_{u'}(t) + \gamma' E_{f'}(t) + \eta' E_{a'}(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

命题 4

(1) 三方的最优努力程度分别为:

$$E_{f'}^{N*} = \frac{C' \gamma' \tau}{P' \mu_{f'}}, \quad E_{a'}^{N*} = \frac{w \eta' \tau}{P' \mu_{a'}}, \quad E_{u'}^{N*} = \frac{\alpha' \zeta' \lambda' H'}{P' \mu_{u'}} \quad (5-11)$$

(2) 主播直播间流量的最优轨迹为:

$$X'^{N*} = \frac{\varphi'^{N*}}{\beta'} + \frac{\beta' X_0' - \varphi'^{N*}}{\beta'} e^{-\beta' t} = \frac{e^{-\beta' t} \left(U' w \eta'^2 \tau \mu_{f'} \mu_{u'} + \mu_{a'} \left(- (U' C' \gamma'^2 \tau \mu_{u'}) + \mu_{f'} (\beta' P' X_0' \mu_{u'} + U' H' \alpha'^2 \zeta' \lambda') \right) \right)}{\beta' P' \mu_{a'} \mu_{f'} \mu_{u'}}, \quad (5-12)$$

$$\varphi'^{N*} = \alpha' E_{u'}^{N*} + \gamma' E_{f'}^{N*} + \eta' E_{a'}^{N*}.$$

(3) 网络直播平台、主播和用户的最优收益表达式分别为:

$$V_{f'}^{N*} = \frac{C'\tau}{P'} X' + \frac{C' \left(2w\eta'^2 \tau'^2 \mu_f' \mu_u' + \mu_{a'}' (C' \gamma'^2 \tau'^2 \mu_u' + 2\mu_f' (P'^2 (A - p\epsilon) \mu_u' + \alpha'^2 \zeta' \lambda' \tau H')) \right)}{M'} \quad (5-13)$$

$$V_{a'}^{N*} = \frac{\tau w}{P'} X' + \frac{w \left(w\eta'^2 \tau'^2 \mu_f' \mu_u' + 2\mu_{a'}' (C' \gamma'^2 \tau'^2 \mu_u' + \mu_f' (P'^2 (A - p\epsilon) \mu_u' + \alpha'^2 \zeta' \lambda' \tau H')) \right)}{M'} \quad (5-14)$$

$$V_{u'}^{N*} = \frac{\zeta' \lambda' K'}{P'} X' + \frac{\lambda' \left(\mu_{a'}' \left(2w\zeta' \eta'^2 \tau \mu_f' \mu_u' H' - 2C' \gamma'^2 \zeta' \tau' \mu_u' H' + \mu_f' (2P'^2 \ln(S') \mu_u' + \alpha'^2 \zeta'^2 \lambda' (-H')^2) \right) \right)}{M'} \quad (5-15)$$

其中 $P' = r' + \beta'$, $M' = \frac{1}{2r' P'^2 \mu_{a'}' \mu_f' \mu_u'}$, $C' = p - c - w$, $U' = e^{t\beta'} - 1$,

$H' = -(\ln(S') + m\sigma' z_1 + (\sigma' - m\sigma') z_2)$ 。

详细证明请参阅附录 1-1-4。

命题 4 发现如下：（1）当 $0 < w < p - c$ 时，佣金 w 的增加将导致平台减少隐私保护努力投入。（2）当 $0 < w < p - c$ 时， w 的增加将导致主播增加隐私利用努力投入。（3） ζ' 和 m 的增加将导致用户增加共享隐私信息努力投入，当平台对用户隐私保护行为投入额不超过临界值 $e^{-\sigma[m(z_2 - z_1) - z_2]}$ 时，随着 s' 的增加将导致用户增加共享隐私信息努力投入。但 μ_u' 和 z_1 以及 z_2 的增加将导致用户减少共享隐私信息努力投入。

值得注意的是，平台对用户隐私保护行为投入额并不是越多越好。当平台对用户隐私保护行为投入额超过临界值 $e^{-\alpha\sigma'}$ 时，平台认为保护用户隐私信息行为的投入成本过高，将会导致平台不再愿意进行对用户的隐私保护，那么此时用户的隐私将无法得到保护因此会被广泛泄漏，用户也将不再有共享隐私信息行为。

5.2.2 平台与主播签约但不告知用户其利用隐私信息的决策

网络直播平台与主播签约后，主播除了通过直播获得销售额的一定比例作为提成外，平台还会支付主播保底收入 K 。

基于上述分析，利用微分博弈原理，得到平台的决策模型为：

$$\max J_{f'}^S = \int_0^\infty e^{-\pi} \left[(p - c - w)(A + \tau X'(t) - \epsilon p) - K - \frac{1}{2} \mu_f' E_{f'}^2(t) \right] dt, \quad (5-16)$$

$$\text{s.t. } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_u'(t) + \gamma' E_f'(t) + \eta' E_{a'}(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

主播的决策模型为:

$$\max J_a^S = \int_0^\infty e^{-\pi} \left[w(A + \tau X(t) - \varepsilon p) + K - \frac{1}{2} \mu_a E_a^2(t) \right] dt, \quad (5-17)$$

$$\text{s.t } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_u'(t) + \gamma' E_f'(t) + \eta' E_a'(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

用户的决策模型为:

$$\max J_u^S = \int_0^\infty e^{-\pi} \left\{ \lambda' \left[\frac{m((1-\rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_1)) + (1-m)((1-\rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_2))}{(1-m)((1-\rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_2))} \right] - \frac{1}{2} \mu_u E_u^2(t) \right\} dt, \quad (5-18)$$

$$\text{s.t } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_u'(t) + \gamma' E_f'(t) + \eta' E_a'(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

命题 5

(1) 三方的最优努力程度分别为:

$$E_{f'}^{S*} = \frac{C' \gamma' \tau}{P' \mu_{f'}}, \quad E_{a'}^{S*} = \frac{w \eta' \tau}{P' \mu_{a'}}, \quad E_{u'}^{S*} = \frac{\alpha' \zeta' \lambda' H'}{P' \mu_{u'}} \quad (5-19)$$

(2) 主播直播间流量的最优轨迹为:

$$X'^{S*} = \frac{\varphi'^{S*}}{\beta'} + \frac{\beta' X_0' - \varphi'^{S*}}{\beta'} e^{-\beta' t} = \frac{e^{-\beta' t} \left(U' w' \eta'^2 \tau \mu_{f'} \mu_{u'} + \mu_{a'} \left(U' C' \gamma'^2 \tau \mu_{u'} + \mu_{f'} \left(\beta' P' X_0' \mu_{u'} + U' H' \alpha'^2 \zeta' \lambda' \right) \right) \right)}{\beta' P' \mu_{a'} \mu_{f'} \mu_{u'}} \quad (5-20)$$

$$\varphi'^{S*} = \alpha' E_{u'}^{S*} + \gamma' E_{f'}^{S*} + \eta' E_{a'}^{S*}.$$

(3) 网络直播平台、主播和用户的最优收益表达式分别为:

$$V_{f'}^{S*} = \frac{C' \tau}{P'} X' + \frac{1}{M'} \left(2wC' \eta'^2 \tau^2 \mu_{f'} \mu_{u'} + \mu_{a'} \left(\begin{aligned} & (-C')^2 \gamma'^2 \tau^2 \mu_{u'} + \\ & 2\mu_{f'} \left(-P'^2 (K - C'(A' - p\epsilon)) \mu_{u'} + \right. \right. \end{aligned} \right) \right), \quad (5-21)$$

$$V_{a'}^{S*} = \frac{\tau w}{P'} X' + \frac{1}{M'} \left(wC' \gamma'^2 \tau^2 \mu_{u'} + \mu_{f'} \left(\begin{aligned} & P'^2 (K' + Aw - pw\epsilon) \mu_{u'} \\ & + w\alpha'^2 \zeta' \lambda' \tau H' \end{aligned} \right) \right), \quad (5-22)$$

$$V_{u'}^{S*} = \frac{\zeta' \lambda' K'}{P'} X' + \frac{1}{M'} \left(\lambda' \left(\begin{aligned} &2w\zeta' \eta'^2 \tau \mu_{f'} \mu_{u'} H' + \\ &2C' K' \tau'^2 \zeta' \tau \mu_{u'} + \\ &\mu_{a'} \left(\mu_{f'} (2P'^2 \ln(S') \mu_{u'} + \alpha'^2 \zeta'^2 \lambda' (-H')^2) \right) \end{aligned} \right) \right). \quad (5-23)$$

命题 5 发现平台隐私保护努力程度、主播隐私利用努力程度和用户共享隐私信息努力程度随 w , ζ' , m , $\mu_{u'}$, z_1 以及 z_2 的变化与命题 4 相同。

5.2.3 平台与主播签约且告知用户其利用隐私信息的决策

网络直播平台与主播签约后，平台会提供主播关于用户的数据分析等信息帮助，因此主播定向能力较强。若主播选择告知用户其利用了用户的隐私信息，则将失去隐私敏感型用户，市场规模将缩小为 $m \times D$ 。但此时平台为了行使隐私保护的责任，鼓励主播告知用户其利用了隐私信息的行为，主播将会得到平台的成本补贴 $\psi'(t)$ ($1 \geq \psi'(t) \geq 0$)。

博弈过程如下：首先，平台决定隐私保护的力度以及对主播成本补贴比例；然后，主播决定隐私利用努力程度；最后，用户决定其共享隐私信息的努力程度。因此，三方之间的博弈为 Stackelberg 博弈。

基于上述分析，利用微分博弈原理，得到平台的决策模型为：

$$\max J_f^C = \int_0^\infty e^{-\pi} \left[m(p - c - w)(A + \tau X'(t) - \varepsilon p) - K - \frac{1}{2} \mu_{f'} E_f^2(t) - \frac{1}{2} \psi'(t) \mu_{a'} E_a^2(t) \right] dt, \quad (5-24)$$

$$\text{s.t. } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_u(t) + \gamma' E_{f'}(t) + \eta' E_{a'}(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

主播的决策模型为：

$$\max J_{a'}^C = \int_0^\infty e^{-\pi} \left[mw(A + \tau X'(t) - \varepsilon p) + K - \frac{1}{2} \mu_{a'} E_a^2(t) + \frac{1}{2} \psi'(t) \mu_{a'} E_a^2(t) \right] dt, \quad (5-25)$$

$$\text{s.t. } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_u(t) + \gamma' E_{f'}(t) + \eta' E_{a'}(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

用户的决策模型为：

$$\max J_{u'}^C = \int_0^\infty e^{-\pi} \left\{ \lambda' \left[m((1 - \rho') \omega' \ln(S') + \rho' \sigma' (-z_1)) \right] - \frac{1}{2} \mu_{u'} E_{u'}^2(t) \right\} dt, \quad (5-26)$$

$$\text{s.t. } \frac{dX'}{dt} = \alpha' E_u(t) + \gamma' E_{f'}(t) + \eta' E_{a'}(t) - \beta' X'(t), \quad X'(0) = X_0'.$$

命题 6

(1) 三方的最优努力程度分别为:

$$E_{f'}^{C*} = \frac{C'm\gamma'\tau}{P'\mu_{f'}}, \quad E_{a'}^{C*} = \frac{N'm\eta'\tau}{2P'\mu_{a'}}, \quad E_{u'}^{C*} = \frac{D'm\alpha'\zeta'\lambda'}{P'\mu_{u'}}。 \quad (5-27)$$

(2) 主播直播间流量的最优轨迹为:

$$\begin{aligned} X'^{C*} &= \frac{\varphi'^{C*}}{\beta'} + \frac{\beta'X_0' - \varphi'^{C*}}{\beta'} e^{-\pi} \\ &= \frac{1}{2\beta'P'\mu_{a'}\mu_{f'}\mu_{u'}} \left(e^{-\pi} \left(\begin{aligned} &U'N'm\eta'^2\tau\mu_{f'}\mu_{u'} + \\ &2\mu_{a'} \left(U'C'm\gamma'^2\tau\mu_{u'} + \right. \right. \\ &\left. \left. \mu_{f'} (U'D'm\alpha'^2\zeta'\lambda' + \beta'P'X_0'\mu_{u'}) \right) \right) \right), \end{aligned} \quad (5-28) \end{aligned}$$

$$\varphi'^{C*} = \alpha'E_{u'}^{C*} + \gamma'E_{f'}^{C*} + \eta'E_{a'}^{C*}。$$

(3) 平台对主播成本补贴的最优补贴比例为:

$$\psi^* = \begin{cases} \frac{2c-2p+3w}{2c-2p+w} & \frac{2(p-c)}{3} > w > 0。 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5-29)$$

(4) 网络直播平台、主播和用户的最优收益表达式分别为:

$$V_{f'}^{C*} = \frac{C'm\tau}{P'} X' + \frac{1}{8rP'^2\mu_{a'}\mu_{f'}\mu_{u'}} \left(\begin{aligned} &(-N')^2 m^2 \eta'^2 \tau^2 \mu_{f'}\mu_{u'} + \\ &4\mu_{a'} \left((-C')^2 m^2 \gamma'^2 \tau^2 \mu_{u'} + \right. \\ &\left. 2\mu_{f'} \left(C'D'm^2 \alpha'^2 \zeta' \lambda' \tau - \right. \right. \\ &\left. \left. P'^2 (K' - C'm(A - p\epsilon)) \mu_{u'} \right) \right) \end{aligned} \right), \quad (5-30)$$

$$V_{a'}^{C*} = \frac{m\tau w}{P'} X' + \frac{1}{4rP'^2\mu_{a'}\mu_{f'}\mu_{u'}} \left(\begin{aligned} &m^2 w N' \eta'^2 \tau^2 \mu_{f'}\mu_{u'} + \\ &4\mu_{a'} \left(m^2 w C' \gamma'^2 \tau^2 \mu_{u'} - \right. \\ &\left. \mu_{f'} \left(m^2 w \alpha' \zeta' \lambda' \tau D' + \right. \right. \\ &\left. \left. P'^2 (K' + w m^2 (A - p\epsilon)) \mu_{u'} \right) \right) \end{aligned} \right), \quad (5-31)$$

$$\begin{aligned} V_{u'}^{C*} &= \frac{m\zeta'\lambda'D'}{P'} X' + \\ &\frac{1}{2r'P'^2\mu_{a'}\mu_{f'}\mu_{u'}} \left(m\lambda' \left(\begin{aligned} &D'N'm\mu_{f'}\mu_{u'}\zeta'\eta'^2\tau + \\ &\mu_{a'} \left(m\alpha'^2\zeta'^2\lambda'(-D')^2\mu_{f'} + \right. \right. \\ &\left. \left. 2(C'D'm\gamma'^2\zeta'\tau + P'^2\ln(S')\mu_{f'})\mu_{u'} \right) \right) \right)。 \end{aligned} \quad (5-32) \end{aligned}$$

其中 $N' = -(2c - 2p + w)$, $D' = -(\ln(S') + \sigma'z_1)$ 。

命题 6 发现如下: (1) 当 $0 < w < \frac{2(p-c)}{3}$ 时, m 的增加将导致主播增加隐私利

用努力投入, 佣金 w 的增加将导致主播减少隐私利用努力投入。(2) 平台隐私保

护努力程度和用户共享隐私努力程度随 w , ζ' , m, μ_u, z_1 的变化与命题 4 相同。

(3) 当 $0 < w < \frac{2(p-c)}{3}$ 时, 平台才会对主播进行一定的补贴。并且平台对主播成本补贴的最优补贴比例 ψ^* 随着 w 的增加而减少。当 w 取其它值时, 平台不会给予主播补贴。

通常, 随着佣金 w 的增加, 主播会付出更多的努力。但从上述分析发现, 结果并非如此, 在成本补贴情形下, 佣金 w 的增加导致主播减少努力。因为当主播由于平台的成本补贴获取了较高收入后再随着佣金的增加, 主播的财务动机发生变化, 高额的补贴和佣金为主播提供了更直接的收入来源, 主播会倾向于减少对隐私利用的依赖。因此平台需要合理规划佣金 w , 以致主播在付出尽可能多的努力的情况下售出更多的产品或服务, 且平台得到更多的收益。

5.3 比较分析

为探求平台与主播签约以及主播告知用户利用了其隐私信息行为对三方努力行为影响规律, 本节对三方的决策均衡解进行比较分析。

推论 5 当 $0 < w < \frac{2(p-c)}{3}$ 且 $0 < S < e^{-\sigma z_1}$ 时, 有 $E_u^{N*} = E_u^{S*} > E_u^{C*}$, $E_f^{N*} = E_f^{S*} > E_f^{C*}$;

当 $0 < w < \frac{2(p-c)}{3}$, $0 < S < e^{-\sigma z_1}$ 且 $\frac{2w}{2p-2c-w} < m < 1$ 时, 有 $E_{a'}^{N*} = E_{a'}^{S*} < E_{a'}^{C*}$;

当 $0 < w < \frac{2(p-c)}{3}$, $0 < S < e^{-\sigma z_1}$ 且 $\frac{2w}{2p-2c-w} > m < 1$ 时, 有 $E_{a'}^{N*} = E_{a'}^{S*} > E_{a'}^{C*}$ 。

推论 5 表明, N 决策情形与 S 决策情形下的平台对用户隐私保护努力程度保持不变, 而 C 决策情形下平台对用户隐私保护努力程度相较于上述两种情形降低; N 决策情形与 S 决策情形下的用户共享隐私信息努力程度保持不变, 而 C 决策情形下用户共享隐私信息努力程度相较于上述两种情形降低; N 决策情形与 S 决策情形下的主播隐私利用努力程度保持不变, 而 C 决策情形下主播利用隐私努力程度相较于上述两种情形的变化情况跟 m 有关, 只有当 m 超过临界值 $\frac{2w}{2p-2c-w}$ 时, 主播努力程度增加。若 m 小于临界值 $\frac{2w}{2p-2c-w}$ 时, 主播努力程度降低。说明平台对主播的成本补贴并不总是激励主播付出更多的努力, 当隐私不敏感型用户的数量较少时, 该策略反而会使主播付出的努力更少。

推论 6 三种决策情形下，用户共享隐私信息的最优努力程度 E_u^* 均随着隐私不敏感型用户的比例 m 的增加而增加。

推论 6 表明，在三种决策情形下，隐私不敏感型用户的比例越多则用户共享隐私信息的意愿更强烈。平台可以利用用户信息数据进行更深入的行为分析、用户画像构建和市场趋势预测，以此提高个性化推荐和定向广告的准确性，驱动销售和提高用户参与程度。因此平台可以建立透明的数据政策，提供教育资源来帮助用户了解他们的信息是如何被使用的来取得用户的信任以增加隐私不敏感型用户的比例。

推论 7 三种决策情形下， $\frac{\partial E_{f'}^*}{\partial \tau} > 0$ ， $\frac{\partial E_{f'}^*}{\partial \gamma'} > 0$ ， $\frac{\partial E_{f'}^*}{\partial \mu_{f'}} < 0$ ， $\frac{\partial E_{f'}^*}{\partial \beta'} < 0$ ， $\frac{\partial E_{f'}^*}{\partial r} < 0$ 。

推论 7 表明，三种决策情形下网络直播平台对用户隐私保护最优努力程度与直播间流量对销量的影响系数、努力行为对直播间流量增长的系数成正比，与成本系数、直播间流量自然衰退率、贴现率成反比。同理可得主播也满足上述关系，而用户期望效用对用户从直播间获得收益的影响系数成正比，不与直播间流量对销量的影响系数成正比，其他系数则满足上述关系。因此三方主体可从以上几个要素实施调整以改善各自努力水平。

5.4 数值分析

为更直观地探求均衡策略的动态特征，本节通过数值分析揭示网络直播平台、主播和用户三方努力行为和平台对主播成本补贴对直播间流量、三方各自收益的影响。参考前任的研究结果和现实的管理实践^[75]，并且根据展望理论假设 $\sigma > 1$ ，即取 $\sigma = 1.2$ 。因此设置参数如表 5-2。

表 5-2 参数值 (1)

α	γ	η	r	β	p	c	z_1	z_2	λ	τ
0.5	0.4	0.3	0.1	0.1	1	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8
ξ	μ_f	μ_u	μ_a	X_0	σ	m	ε	A	K	w
0.6	0.6	0.4	0.3	0	1.2	0.8	1.3	4	0.3	0.1

由上述分析可知，N 决策情形与 S 决策情形下平台对用户隐私保护投资额

S' 应满足条件 $0 < S' < e^{(-\sigma[m(z_2-z_1)-z_2])}$ ，即 S' 的取值范围为 $(0, 2.16)$ 。主播收取的佣金 w 应满足条件 $0 < w < p - c$ ，即 w 的取值范围为 $(0, 0.5)$ 。在 C 决策情形下投资额 S' 应满足条件 $0 < S' < e^{(-\sigma z_1)}$ ，即 S' 的取值范围为 $(0, 0.47)$ 。 w 应满足条件 $0 < w < \frac{2(p-c)}{3}$ ，即 w 的取值范围为 $(0, 0.33)$ 。由此，取 $S' = 0.3$ ， $w = 0.1$ 可满足限制条件。因此可得到表 5-3。

表 5-3 参数值 (2)

$E_{f'}^{N*}$	$E_{a'}^{N*}$	$E_{u'}^{N*}$	$E_{f'}^{S*}$	$E_{a'}^{S*}$	$E_{u'}^{S*}$	$E_{f'}^{C*}$	$E_{a'}^{C*}$	$E_{u'}^{C*}$	ψ^{r*}
1.07	0.4	1.74	1.07	0.4	1.74	0.85	1.44	1.55	0.78

表 5-3 满足 $E_{f'}^{N*} = E_{f'}^{S*} > E_{f'}^{C*}$ ， $E_{u'}^{N*} = E_{u'}^{S*} > E_{u'}^{C*}$ 与推论 5 结论相符。

图 5-2 可知，随时间 t 的推移，主播直播间流量的最优轨迹呈递增趋势，逐渐趋向于稳定状态，表明随着三方努力程度的不断投入，直播间流量得到提升。随着直播间流量衰减系数 β' 的增大，直播间流量随之减少。在 C 策情形下，平台对主播的补贴促进了直播间流量的增长，因此 $X^{C*}(t)$ 明显高于其余两种决策情形。

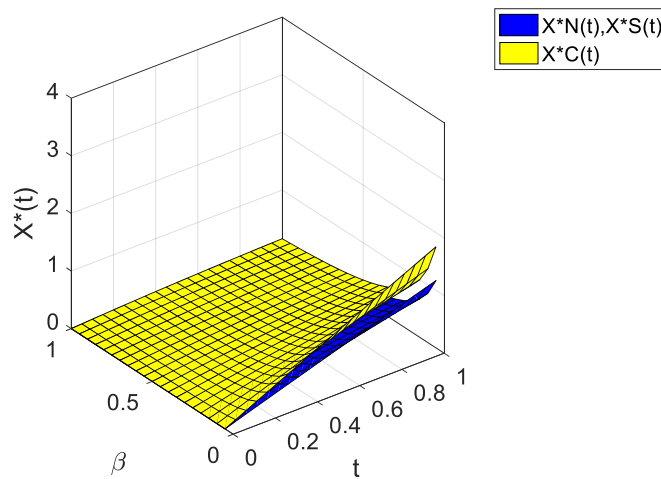


图 5-2 直播间流量的比较

图 5-3 可知，C 决策情形与 S 决策情形直播间流量大小的比较受 m 的影响。从图 5-3 中可以看出，当 $0 \leq m \leq 0.6$ 时，C 情形下直播间流量小于 S 情形下直播间流量。当 $1 \leq m \leq 0.7$ 时，C 情形下直播间流量大于 S 情形下直播间流量。因此存在

$m_1^* \in (0.6, 0.7)$ ，只有当隐私不敏感型用户的比例大于 m_1^* 时，主播的告知行为才会促进直播间流量的增长。上述结论表明，主播告知用户其利用隐私信息的决策并不总是会对流量增加起到促进作用。只有当隐私不敏感用户比例较大时，主播的告知行为可能被认为是一种透明和负责任的做法。因此，在做出告知决策前平台应进行用户隐私行为分析以及问卷调查和反馈，据此判断使用平台的用户隐私敏感度，区分隐私敏感型和隐私不敏感型比例。然后决定主播是否告知用户其利用隐私信息。

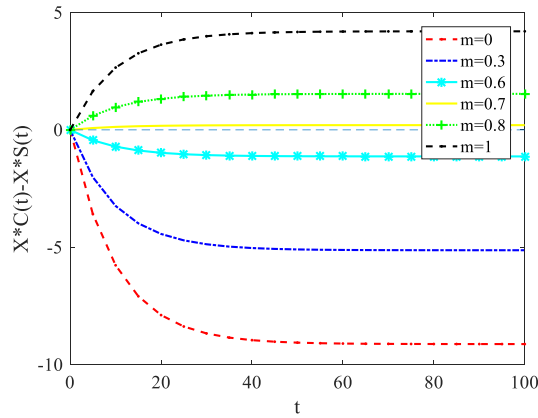


图 5-3 不同 m 对不同情形下直播间流量差值的影响

由图 5-4~5-6 可知，在三种博弈决策情形中，网络直播平台、主播和用户的最优收益均随时间 t 的推移递增，但可以发现 $V_{f'}^{N^*}(t) > V_{f'}^{S^*}(t) > V_{f'}^{C^*}(t)$ ， $V_{a'}^{C^*}(t) > V_{a'}^{S^*}(t) > V_{a'}^{N^*}(t)$ ， $V_{u'}^{C^*}(t) > V_{u'}^{S^*}(t) = V_{u'}^{N^*}(t)$ 。这说明，网络直播平台与主播的签约行为仅增加了主播收益，并没有达到激励主播付出更多努力，没有为平台和用户带来更多收益。当平台与主播签约后，尽管主播告知用户其利用了隐私信息的行为使得直播间流量增加，但随着隐私敏感型用户的退出，用户数量有所减少，补贴的增加没有带来成比例的直播间用户数量的提升或者新用户的加入，致使平台总体收益有所减少，但主播和用户的收益都有所增加。随着 β 增大，直播间流量自然下降的速度越快，三方的收益也会降低，可见为了获得更高的收益，提升平台直播间流量是平台、主播和用户的共同目标。

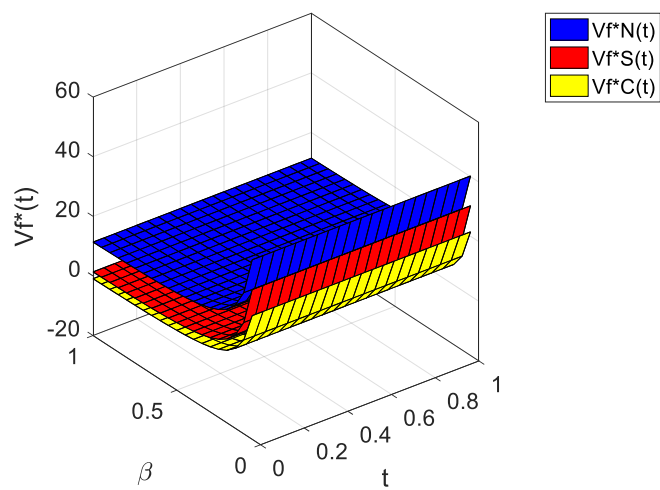


图 5-4 平台收益的比较

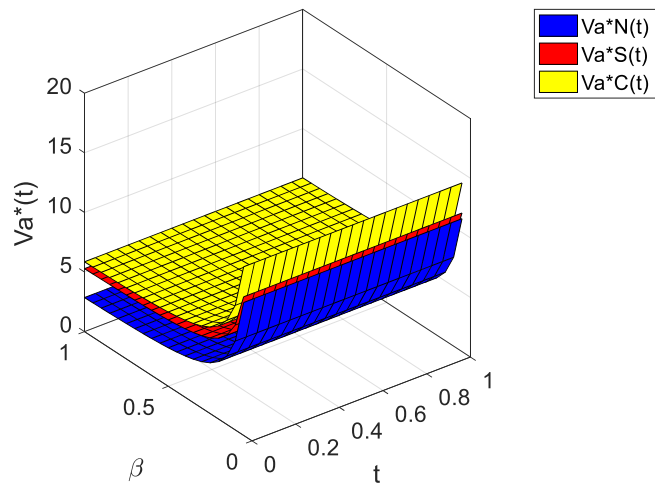


图 5-5 主播收益的比较

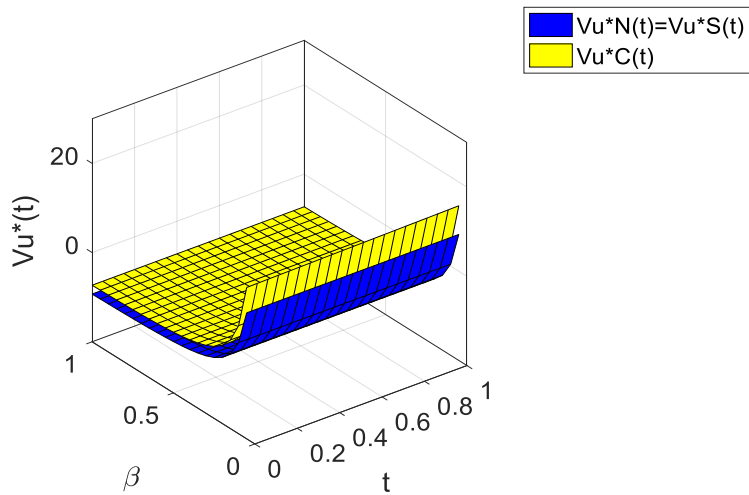


图 5-6 用户收益的比较

由图 5-7 可知，随时间 t 的推移，网络直播平台、主播和用户的整体收益水平呈递增趋势。随着 β 的增大，整体收益逐渐减少。通过比较图 5-2~图 5-7 发现，整体所获收益与直播间流量的变化情况是一致的，因此无论在何种博弈决策情形下，都应该关注直播间流量增加对收益带来的正向作用。N 决策情形与 S 决策情形下三方整体收益没有变化。说明仅平台与主播的签约行为并不会有效提升直播间流量和整体收益，只是平台支付主播签约保底收入从而增加了主播的收益而减少了平台的收益。在平台和主播签约且告知用户其利用了隐私信息的决策情形下，尽管直播平台收益($V_{f, C^*}(t)$)有所减少，但主播、用户及三方整体收益($V_{a, C^*}(t), V_{u, C^*}(t), V_{总, C^*}(t)$)达到最高。尽管短期看平台收益减少，由图 5-8 可知，从长期来看，提升了用户的满意度和忠诚度可能会带来更大的市场份额和稳定的收益。随着用户购物体验 and 满意度的提升，并且得知自己的数据如何被安全使用后，将会更有安全感和控制感，乐于在直播间购物并吸引更多隐私敏感型用户变为隐私不敏感型用户，当隐私不敏感型用户达到一定比例后，平台的收益也将增加。

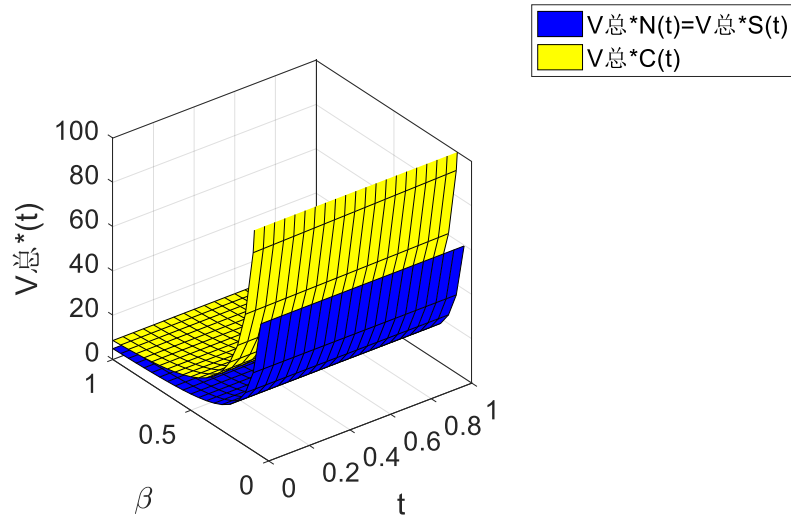


图 5-7 三方的整体收益的比较

由图 5-8 ~ 图 5-10 可知，C 决策情形与 S 决策情形之间平台、主播和用户收益大小的比较受 m 的影响。对平台而言，当 $0 \leq m \leq 0.8$ 时，C 情形下平台收益小于 S 情形下的收益($V_{f, C^*}(t) < V_{f, S^*}(t)$)。当 $0.9 \leq m \leq 1$ 时，C 情形下平台收益大于 S 情形下的收益($V_{f, C^*}(t) > V_{f, S^*}(t)$)。因此存在 $m_2^* \in (0.8, 0.9)$ ，只有当隐私不敏感型用户的

比例大于 m_2^* 时, 主播的告知行为对平台收益为正。对主播而言, 当 $0 \leq m \leq 0.6$ 时, C 情形下主播收益小于 S 情形下的收益 ($V_{a'}^{C^*}(t) < V_{a'}^{S^*}(t)$)。当 $0.7 \leq m \leq 1$ 时, C 情形下平台收益大于 S 情形下的收益 ($V_{a'}^{C^*}(t) > V_{a'}^{S^*}(t)$)。因此存在 $m_3^* \in (0.6, 0.7)$, 只有当隐私不敏感型用户的比例大于 m_3^* 时, 主播的告知行为对主播收益为正。对用户而言, 当 $0 \leq m \leq 0.7$ 时, C 情形下用户收益小于 S 情形下的收益 ($V_u^{C^*}(t) < V_u^{S^*}(t)$)。当 $0.8 \leq m \leq 1$ 时, C 情形下平台收益大于 S 情形下的收益 ($V_u^{C^*}(t) > V_u^{S^*}(t)$)。因此存在 $m_4^* \in (0.6, 0.7)$, 只有当隐私不敏感型用户的比例大于 m_4^* 时, 主播的告知行为对用户收益为正。这说明主播告知用户其利用隐私信息的决策是对三方整体的一个帕累托改善。因此主播向用户告知其利用了隐私信息的并不总是不利的, 这需要根据不敏感型用户的比例来确定。因为 $m_2^* > m_3^* > m_4^*$, 所以当不敏感型用户的比例 $m_2^* \leq m \leq 1$ 时, 主播告知用户其利用了隐私信息是占优策略, 因此平台和主播将选择告知用户其利用隐私信息。

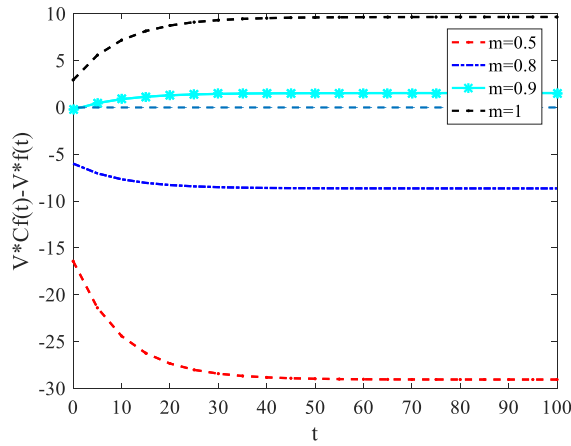


图 5-8 不同 m 对告知与不告知情形下平台收益差值的影响

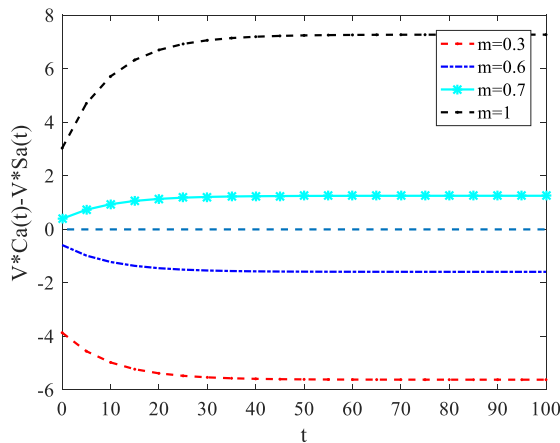
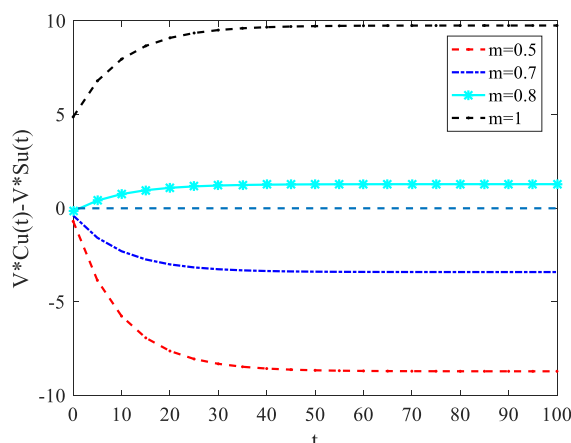


图 5-9 不同 m 对告知与不告知情形下主播收益差值的影响图 5-10 不同 m 对告知与不告知情形下用户收益差值的影响

5.5 本章小结

本章以网络直播平台、平台直播主播和用户系统为研究对象，采用微分博弈构建模型，分析三种决策情形下平台对用户隐私保护最优努力程度、主播最优隐私利用努力程度、用户最优共享隐私信息努力程度、各情形下主播直播间最优流量和三方最优收益。通过对比分析告知和不告知情形下三方及整体的收益，探讨了隐私不敏感型用户比例对平台和主播告知行为的影响，得出如下研究结论：

首先，网络直播平台、主播和用户的努力行为不仅受到其个体意愿的影响，外界环境条件也是影响其努力行为的关键因素。例如，直播间的流量增长系数、流量边际贡献率、流量自然衰退率，以及各方的努力成本系数等因素都会对他们的努力程度产生重要影响。其次，当主播选择向用户告知情形下，只有当主播收取的单位佣金在一定范围内时，网络直播平台才会对主播给予成本补贴。当佣金超过某个临界值时，平台将不再补贴。并且在告知情形下主播利用隐私信息努力程度随着得到佣金的增加反而减少。并且网络直播平台和主播之间仅签约行为并不会促进直播间流量的增长，也不会为用户带来更多收益，反而平台收益减少主播收益增加。平台减少的收益支付给主播当作签约费。最后发现，网络直播平台与主播签约且主播告知用户其利用了隐私信息的策略相较于不告知的策略并不总是不利的，用户共享隐私信息的意愿随着隐私不敏感型用户数量的比例增加而增加，并且当隐私不敏感型用户数量达到一定比例时，主播的告知行为将成为占优策略，

此时网络直播平台、主播和用户的收益明显优于不告知策略下各方收益，实现了三方及整体的帕累托改善。

第 6 章 总结与展望

6.1 全文总结

信息交互技术已经使得网络直播平台产出个性化的内容和产品的能力发生了革命性的改变,直播平台开始根据用户的隐私信息来提供个性化的内容和产品。然而,收集和使用用户的隐私信息导致了用户的隐私担忧,阻碍了个性化交易中用户隐私信息的披露,个性化直播平台需要进行隐私保护投入来降低用户隐私担忧,促进直播平台的发展。本文在网络直播平台经济背景下,考虑用户隐私关切行为,研究不同的平台补贴政策、用户隐私敏感性以及用户隐私信息使用和保护模式对网络直播平台、主播和用户三方行为策略和收益的影响。本研究采用演化博弈和微分博弈两类动态博弈模型,为网络直播平台发展提供了初步见解。本文主要结论如下:

在第三章中,研究发现网络直播平台对用户隐私信息采取保护策略时,可以显著提升用户对平台的信任。用户在隐私得到有效保护的前提下,得到符合自身需求的个性化服务,吸引到更多用户在平台上进行互动、消费,对网络直播商业活动起到了积极带动作用。所以,在逐渐稳定的直播活动中,主播会选择利用用户隐私信息以寻求更多的利益。其次,网络直播主体行为发展经历了四个发展阶段。首先是网络直播平台、主播、用户都采取消极行为策略的初级阶段,然后随着网络直播平台开始对用户隐私信息采取保护策略,用户对直播活动的参与度开始逐渐上升,最后使得主播开始利用用户隐私信息为用户提供个性化服务以实现流量收益增长,此时网络直播商业发展真正进入第四阶段。具体表现在以下两个方面:一是网络直播平台持续对用户隐私信息进行保护;二是主播和用户的行为决策已经趋于稳定。此时,网络直播平台直播活动发展达到最优状态,即网络直播平台、主播、用户均能保证自身利益得到满足。

在第四章中,研究发现网络直播平台、主播和用户的努力行为不仅受他们各自自身努力意愿的影响,而且外界环境条件的变化(如直播间流量增长系数、直播间流量边际贡献率、直播间流量自然衰退率、各自的努力成本系数)也对三方各自的努力程度有较大的影响,并且值得注意的是,用户共享隐私信息的努力程

度不总是随着平台对用户隐私保护投入额的增加而提高,当平台的投入额超过临界值时,用户共享隐私信息的努力程度将减少。其次,平台的成本补贴不仅显著提升了用户共享隐私信息的意愿,还促进了直播间流量的增加,对所有参与方的收益产生了整体性的提升,实现了显著的帕累托改进。最后,平台与主播的收益分配比例对平台和主播各自努力程度以及双方的收益有相反的影响,当收益分配比例超过一定范围时主播没有付出更多的努力便得到更多的收益,从而导致主播“搭便车”现象。

在第五章中,研究发现网络直播平台、主播和用户的努力行为不仅受到其个体意愿的影响,外界环境条件也是影响其努力行为的关键因素。其次,当主播选择向用户告知情形下,只有当主播收取的单位佣金在一定范围内时,网络直播平台才会对主播给予成本补贴。当佣金超过某个临界值时,平台将不再补贴。平台减少的收益支付给主播当作签约费。最后,网络直播平台与主播签约且主播告知用户其利用了隐私信息的策略相较于不告知的策略并不总是不利的,用户共享隐私信息的意愿随着隐私不敏感型用户数量的比例增加而增加,并且当隐私不敏感型用户数量达到一定比例时,主播的告知行为将成为占优策略,此时网络直播平台、主播和用户的收益明显优于不告知策略下各方收益,实现了三方及整体的帕累托改善。

基于此,本文提出如下管理建议:

首先,网络直播平台应丰富直播内容、培训主播直播技能,提升直播内容价值以增加直播间流量边际贡献率,减少直播间流量自然衰退率,优化、挖掘平台直播功能,增强平台隐私保护机制以增加努力行为对直播间流量增长系数,减小努力成本系数。

其次,企业在制定隐私保护相关政策时,应权衡平台隐私保护投入额与用户共享隐私信息意愿以及给予主播的单位佣金与平台的成本效益。根据研究结果,过度投入可能导致用户信息共享的减少。因此,企业应寻找最佳平衡点,确保在满足用户需求的同时保护用户隐私以及主播在接收补贴的同时仍有足够激励进行销售。

再者,平台作为直播间、主播和用户关系的主导建设者,应通过动态调整对用户共享隐私信息成本补贴以及对主播成本补贴的方式来达到理想效果,实现三

方最优收益。平台应选择合适的收益分配比例，使平台和主播均付出最优的努力程度获得最多的收益，避免主播“搭便车”现象。

最后，主播的告知行为虽然会减少用户的数量，但仍可能给网络直播平台、主播和用户带来更多收益。因此网络直播平台应收集、分析用户的隐私行为，研究了解用户的隐私不敏感型和隐私敏感型用户的比例。并根据隐私不敏感型用户的比例灵活调整市场策略。

6.2 研究展望

本文的相关研究结论能够为网络直播平台的发展及用户隐私利用与管理提供一定的决策依据。然而，本文尚存在一定的研究局限有待进一步延伸。

首先，本文构建的博弈模型包含网络直播平台、主播、用户三个主体，但是在现实情况下，平台对用户隐私的使用和保护存在矛盾。用户隐私保护是一个非常复杂的公共管理问题，后续研究可考虑加入政府监管部门对用户隐私保护的行为。

其次，在本文第五章中，用户隐私敏感性的被简单区别为隐私敏感型和不敏感型，现实中用户的隐私敏感性受到许多因素的影响，今后的研究中可以考虑将用户敏感程度用一个 0 到 1 的区间来更精确的表示，以期模拟更加真实的市场情况。

参考文献

- [1] 艾媒咨询.2022 年度中国直播行业发展现状及市场调研报告
[EB/OL].<https://report.iimedia.cn/repo13-0/43128.html>
- [2] Hamilton W A, Garretson O, Kerne A. Streaming on twitch: fostering participatory communities of play within live mixed media[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2014, 1315-1324.
- [3] 中国互联网络信息中心.中国互联网络发展状况统计报告
[EB/OL].<http://cnnic.cn/n4/2022/0916/c38-10594.html>
- [4] 郑森圭, 苏丹华, 汪寿阳, 等. 直播平台打赏收入分成模式研究[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(5): 1221-1228.
- [5] Krishnan N F. The personalization privacy paradox: an empirical evaluation of information transparency and the willingness to be profiled online for personalization[J]. Mis Quarterly, 2006, 30(1): 13-28.
- [6] 尹航.电视直播行业竞争战略分析与管理对策[J].采写编, 2024, (04): 40-42.
- [7] Luis G J. Experiments on personal information disclosure: past and future avenues[J]. Telematics & Informatics, 2018, 35(5):1473-1490.
- [8] 孟思延. 情绪视角下个性化推荐对消费者冲动性购买行为的影响[J]. 新媒体研究, 2024, 10(03): 54-63.
- [9] Wongkitrungrueng A, Dehouche N, Assarut N. Live streaming commerce from the sellers' perspective: implications for online relationship marketing[J].Journal of Marketing Management, 2020. 36: 488-518.
- [10] 丁美玲. “网红+直播+电商”模式下影响消费者购买行为研究[J].中国市场, 2018, (16): 148-149.
- [11] Wohn D Y, Freeman G, Mclaughlin C. Explaining Viewers' Emotional, Instrumental, and Financial Support Provision for Live Streamers[C]//the 2018 CHI Conference, 2018,1-13.
- [12] 陈艺诗, 张雪玉. 电商网络直播对消费者购买意愿的影响因素研究[J]. 现代商业, 2025, (01): 3-6.
- [13] 谭羽利. 传播学视阈下的“直播+电商”模式——以聚美优品直播业务为例

- [J].北京印刷学院学报, 2017, 25(01): 20-26.
- [14] Chen J, Wu Y. Would you be willing to purchase virtual gifts during esports live streams? Streamer characteristics and cultural traits[J]. Computer in human behavior, 2024, 152(05): 1-18.
- [15] Haimson O L , Tang J C .What Makes Live Events Engaging on Facebook Live, Periscope, and Snapchat[J]. ACM, 2017: 48-60.
- [16] 郑森圭, 苏丹华, 汪寿阳, 等. 直播平台打赏收入分成模式研究[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(5): 1221-1228.
- [17] 邢鹏, 尤浩宇, 樊玉臣. 考虑平台营销努力的直播电商服务供应链质量努力策略[J]. 控制与决策, 2022, 37(1): 205-212.
- [18] Wang X, Tao Z, Liang L, et al. An analysis of salary mechanisms in the sharing economy: The interaction between streamers and unions[J]. International Journal of Production Economics, 2019, 214(8): 106-124.
- [19] Lu B, Chen Z. Live Streaming Commerce and Consumers' Purchase Intention: An Uncertainty Reduction Perspective[J]. Information & Management, 2021, 58(07): 103509.
- [20] 孙晓兰, 郑跃. 基于消费者渠道偏好的双渠道供应链博弈分析[J]. 安徽工程大学学报, 2022, 37(01): 71-80.
- [21] 刘洋, 李琪, 殷猛. 网络购物节氛围对消费者冲动购物行为的刺激作用[J]. 商业研究, 2018,(07): 18-23.
- [22] Jin H. A Study on the Effect of Web Live Broadcast on Consumers' Willingness to Purchase[J]. Open Journal of Business and Management, 2017, 5(2): 280-289.
- [23] Hu M, Zhang M, Wang Y. Why do audiences choose to keep watching on live video streaming platforms? An explanation of dual identification framework[J]. Computers in Human Behavior, 2017, 75: 594-606.
- [24] Hilvert B Z, Neill J T, Sjöblom M, et al. Social motivations of live-streaming viewer engagement on Twitch[J]. Computers in Human Behavior, 2018, 84, 58-67.
- [25] Dezuli N, Huber J , Churchill E F, et al. CoStream: co-construction of shared experiences through mobile live video sharing[C]//Proceedings of the 27th International BCS Human Computer Interaction Conference. British Computer

Society, 2013.

- [26] Ang T, Wei S, Anaza N A. Livestreaming vs pre-recorded: How social viewing strategies impact consumers' viewing experiences and behavioral intentions. *European Journal of Marketing*, 2018, 52: 2075-2104.
- [27] Wang X, Wu D. Understanding User Engagement Mechanisms on a Live Streaming Platform[C]// *Lecture Notes in Computer Science*. 2019, 266-275.
- [28] 曹二保, 付太飞, 张耀丹. 主播选品、质量信息披露与直播电商渠道选择[J/OL]. *系统工程理论与实践*, 1-26.[2025-03-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20250225.1121.005.html>.
- [29] Ho R C, Rajadurai K G, Live Streaming Meets Online Shopping in the Connected World: Interactive Social Video in Online Marketplace[J]. *Strategies and Tools for Managing Connected Consumers*. 2020, 13: 130-142.
- [30] Hou F, Guan Z, Li B, et al. Factors influencing people's continuous watching intention and consumption intention in live streaming[J]. *Internet Research*. 2019, 30, 141–163.
- [31] Hilvert B Z, Neill J T, Hamari J, et al. Social motivations of live-streaming viewer engagement on twitch[J]. *Computes in Human Behavior*.2018, 84: 58-67.
- [32] 张伟, 杨婷, 张武康. 移动购物情境因素对冲动性购买意愿的影响机制研究[J]. *管理评论*, 2020, 32(2): 174-183.
- [33] Marita S, Bae B P. Facebook Live: A Mixed-Methods Approach to Explore Individual Live Streaming Practices and Motivations on Facebook[J]. *Interacting with Computers*, 2020, 31: 589-602.
- [34] Liang S, Li H, Liu X, et al. Motivators behind information disclosure: Evidence from Airbnb hosts[J]. *Annals of Tourism Research*, 2019, 76: 305-319.
- [35] Li Y, Yang Y, Gu X , et al. Research on the Impact of Perceived Interaction on User Stickiness in the Context of Tiktok E-commerce Live Broadcast -- The Mediating Role Based on Emotional Attachment[J]. *SHS Web of Conferences*, 2023, 165: 7.
- [36] Son J Y, Kim S . Internet users' information privacy-protective responses: a taxonomy and a nomological model[J]. *MIS Quarterly*, 2008, 32(3):503-529.
- [37] Feng Y, Xie W. Teens' concern for privacy when using social networking sites: An

- p analysis of socialization agents and relationships with privacy-protecting behaviors[J]. Computers in Human Behavior, 2014, 33(33):153-162.
- [38] Alashoor T, Keil M, Smith H J, et al. Too tired and in too good of a mood to worry about privacy: Explaining the privacy paradox through the lens of effort level in information processing[J]. Information Systems Research. 2022, 34(4):1415-1436.
- [39] Luis G J. Experiments on personal information disclosure: past and future avenues[J]. Telematics & Informatics, 2018, 35(5): 1473-1490.
- [40] Hu M, Momot R, Wang J. Privacy Management in Service Systems[J]. Manufacturing and service operations management, 2022, 24(5): 2761-2779.
- [41] Alkis A, Kose T. Privacy concerns in consumer E-commerce activities and response to social media advertising: Empirical evidence from Europe[J]. Computers in Human Behavior. 2022, 137: 107412.
- [42] 王长潇, 张剑峰, 张丹琨. 数字原住民在视频平台中的隐私管理行为研究——基于传播隐私管理理论与隐私计算理论综合视角[J]. 当代传播, 2024, (04): 15-21.
- [43] Boss S R, Galletta D F, Lowry P B, et al. What do systems users have to fear? using fear appeals to engender threats and fear that motivate protective security behaviors[J]. MIS Quarterly, 2015, 39(4): 837-864.
- [44] Mohamed N, Ahmad I H. Information privacy concerns, antecedents and privacy measure use in social networking sites: Evidence from Malaysia[J]. Computes in Human Behavior, 2012, 28(6): 2366-2375.
- [45] Wei L, Hao P. Research on Competition Strategy of Webcast Platform Based on Game Theory[J]. Transactions on Computer Science and Engineering, 2018, 13: 130-142.
- [46] Mosteller J, Poddar A. To Share and Protect: Using Regulatory Focus Theory to Examine the Privacy Paradox of Consumers' Social Media Engagement and Online Privacy Protection Behaviors[J]. Journal of Interactive Marketing, 2017, 39:27-38.
- [47] 聂小琴, 刘捷. 基于 ISM 的社交媒体用户隐私披露意愿影响因素研究[J]. 无

- 线互联科技, 2024, 21(08): 90-95+99.
- [48] 刘百灵, 杨世龙, 李延晖. 隐私偏好设置与隐私反馈对移动商务用户行为意愿影响及交互作用的实证研究[J]. 中国管理科学, 2018, 26(8): 164-178.
- [49] Liang S, Li H, Liu X, et al. Motivators behind information disclosure: Evidence from Airbnb hosts[J]. *Annals of Tourism Research*, 2019, 76: 305-319.
- [50] 曾伏娥, 邹周, 陶然. 个性化营销一定会引发隐私担忧吗: 基于拟人化沟通的视角[J]. 南开管理评论, 2018, 21(5): 83-92.
- [51] Kaushik K, Kumar Jain N, Kumar Singh A. Antecedents and Outcomes of Information Privacy Concerns: Role of Subjective Norm and Social Presence[J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2018, 32: 57-68.
- [52] Liang, S., Li, H., Liu, X., et al. Motivators behind information disclosure: Evidence from Airbnb hosts. *Annals of Tourism Research*, 2019, 76, 305-319.
- [53] 刘百灵, 孙文静. 沟通隐私管理理论整体视角下移动用户信息披露决策的过程研究[J]. 管理科学, 2021, 34(6): 76-87.
- [54] 杨斯博, 褚晓璇, 李青青. 社交网络平台隐私保护多阶段微分博弈决策模型研究[J/OL]. 管理工程学报, 1-15[2025-03-12]. <https://doi.org/10.13587/j.cnki.jieem.2025.03.015>.
- [55] 邵秀燕, 曹聪, 王萍. 平台隐私保护机制对消费者隐私信息披露的影响[J]. 信息资源管理学报, 2023, 13(3): 23-38.
- [56] Liu C, Marchewka J T, Lu J, et al. Beyond concern: a privacy-trust-behavioral intention model of electronic commerce[J]. *Information & Management*, 2004, 42(1): 127-142.
- [57] 朱国玮, 罗映宇, 陆金凤, 等. 事与“愿”违: 默认选择对用户隐私披露意愿的反默认效应[J/OL]. 管理工程学报, 1-15[2025-03-12]. <https://doi.org/10.13587/j.cnki.jieem.2025.03.008>.
- [58] Xu X, Zeng S, He Y. The impact of information disclosure on consumer purchase behavior on sharing economy platform Airbnb[J]. *International Journal of Production Economics*, 2021, 231: 107846.
- [59] Macha M, Foutz N Z, Li B, et al. Personalized Privacy Preservation in Consumer

- Mobile Trajectories[J]. *Information Systems Research*, 2024, 35(1): 249-271.
- [60] Khan M I, Loh J M, Hossain A, et al. Cynicism as strength: Privacy cynicism, satisfaction and trust among social media users[J]. *Computers in Human Behavior*, 2023, 142:107638.
- [61] Mosteller J, Poddar A. To Share and Protect: Using Regulatory Focus Theory to Examine the Privacy Paradox of Consumers' Social Media Engagement and Online Privacy Protection Behaviors[J]. *Journal of Interactive Marketing*, 2017, 39(8): 27-38.
- [62] Xie W, Karan K. Consumers' Privacy Concern and Privacy Protection on social Network Sites in the Era of Big Data: Empirical Evidence from College Students[J]. *Journal of Interactive Advertising*, 2019, 19: 187–201.
- [63] Ambe S, Coria J. Policy spillovers in the regulation of multiple pollutants[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 87(1): 114-134.
- [64] 孙庆文, 陆柳, 严广乐, 车宏安. 不完全信息条件下演化博弈均衡的稳定性分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2003(07):11-16.
- [65] 赵永芳. 网约车与传统出租车的演化博弈研究[D]. 大连海事大学, 2017.
- [66] Davidson J, Livingston B, Sampath D, et al. The YouTube video recommendation system[C]//ACM Conference on Recommender Systems. ACM, 2010.
- [67] Liu P. Pricing and coordination strategies of dual-channel green supply chain considering products green degree and channel environment sustainability[J]. *International journal of sustainable engineering*, 2019, 12(6): 404-414.
- [68] De Q. The Shape of the Function Linking Expectancy-disconfirmation to Customer Satisfaction: Predictions of Prospect Theory[J]. *Nankai Business Review*, 2008, 6(07):81-87.
- [69] Yan W, De Q. Study on the Effectiveness of Inferior Enterprise's Extended Warranty Service Strategy under the Influence of Emotional Utility[J]. *Chinese Journal of Management Science*. 2020, 28: 170-179.
- [70] De Q, Han Q, Jin S. Achieving triple sustainability in closed-loop supply chain: The optimal combination of online platform sales format and blockchain-enabled recycling[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2022, 174: 108763.

- [71] 肖勇波, 陈冰瑶, 荣立松. 基于移动商务平台的供应链优化与协调研究[J]. 中国管理科学, 2015, 23(11): 70-79.
- [72] Gordon L A, Loeb M P. The economics of information security investment[J]. ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC), 2002, 5(4): 438-457.
- [73] Okazaki S, Li H, Hirose M. Consumer Privacy Concerns and Preference for Degree of Regulatory Control[J]. Journal of Advertising, 2013, 38(4): 63-77.
- [74] 王艳, 谭德庆. 基于消费者情绪效用下劣势耐用品企业的延保服务策略有效性研究[J]. 中国管理科学, 2020, 28(1): 170-179.
- [75] 李延晖, 廖康, 徐璐. 电商平台与服务提供商的用户隐私信息管理策略研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(6): 157-166.

附录

1-1-1 证明命题 1

设网络直播平台、主播、用户的最优收益函数为 V_p^N, V_a^N, V_u^N ，根据最优控制解法，其满足的 HJB 方程分别如下：

$$\max_{E_p} [(\Pi_p X + w_p E_p + w_a E_a) \theta - A - \frac{\mu_p E_p^2}{2} + \dot{V}_p^N (\alpha E_u + \gamma E_p + \eta Q_a - \beta X)] = r V_p^N, \quad (\text{A.1})$$

$$\max_{E_a} [(\Pi_p X + w_p E_p + w_a E_a)(1 - \theta) + A - \frac{\mu_a E_a^2}{2} + \dot{V}_a^N (\alpha E_u + \gamma E_p + \eta E_a - \beta X)] = r V_a^N, \quad (\text{A.2})$$

$$\max_{E_u} \lambda [(1 - X \zeta) \ln(S) + X \zeta \sigma(-u)] - \frac{\mu_u E_u^2}{2} + \dot{V}_u^N (\alpha E_u + \gamma E_p + \eta E_a - \beta X) = r V_u^N. \quad (\text{A.3})$$

分别对式(A.1)中的控制变量 E_p 和式(A.2)中的控制变量 E_a 以及式(A.3)中的控制变量 E_u 求一阶偏导，并令其等于 0，从而得到最大化条件：

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{w_p \theta + \gamma \dot{V}_p^N}{\mu_p} \\ E_a &= \frac{w_a - w_a \theta + \eta \dot{V}_a^N}{\mu_a} \\ E_u &= \frac{\alpha \dot{V}_u^N}{\mu_u} \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

将式(A.4)代入 HJB 方程 (A.1)、(A.2) 和 (A.2) 中消除符号 $\max$ 得到如下表达式：

$$\begin{aligned} & \left(\Pi_p X + w_p \frac{w_p \theta + \gamma \dot{V}_p^N}{\mu_p} + w_a \frac{w_a - w_a \theta + \eta \dot{V}_a^N}{\mu_a} \right) \theta - \\ & \mu_p \left(\frac{w_p \theta + \gamma \dot{V}_p^N}{\mu_p} \right)^2 \\ & A - \frac{\mu_p \left(\frac{w_p \theta + \gamma \dot{V}_p^N}{\mu_p} \right)^2}{2} + \dot{V}_p^N \left(\alpha \frac{\alpha \dot{V}_u^N}{\mu_u} + \gamma \frac{w_p \theta + \gamma \dot{V}_p^N}{\mu_p} + \eta \frac{w_a - w_a \theta + \eta \dot{V}_a^N}{\mu_a} - \beta X \right) = r V_p^N \end{aligned} \quad (\text{A.5})$$

$$\left(\Pi_p X + w_p \frac{w_p \theta + \gamma \dot{V}_p^N}{\mu_p} + w_a \frac{w_a - w_a \theta + \eta \dot{V}_a^N}{\mu_a} \right) (1 - \theta) +$$

$$A - \frac{\mu_a \left(\frac{w_a - w_a \theta + \eta \dot{V}_a^N}{\mu_a} \right)^2}{2} + \dot{V}_a^N \left(\alpha \frac{\dot{V}_u^N}{\mu_u} + \gamma \frac{w_p \theta + \gamma \dot{V}_p^N}{\mu_p} + \eta \frac{w_a - w_a \theta + \eta \dot{V}_a^N}{\mu_a} - \beta X \right) = r \dot{V}_a^N$$

(A.6)

$$\lambda \left[(1 - X \zeta) \ln(S) + X \zeta \sigma(-u) \right] - \frac{\mu_u \left(\frac{\alpha \dot{V}_u^N}{\mu_u} \right)^2}{2} +$$

$$\dot{V}_u^N \left(\alpha \frac{\dot{V}_u^N}{\mu_u} + \gamma \frac{w_p \theta + \gamma \dot{V}_p^N}{\mu_p} + \eta \frac{w_a - w_a \theta + \eta \dot{V}_a^N}{\mu_a} - \beta X \right) = r \dot{V}_u^N$$

(A.7)

通过观察微分方程(A.5), (A.6)和(A.7)可以推测出, 关于 t 的线性最优收益函数是 HJB 方程的解, 故假设 $\dot{V}_p^N, \dot{V}_a^N, \dot{V}_u^N$ 的表达式满足式(A.8):

$$\dot{V}_p^N = a_1 X + b_1, \quad \dot{V}_a^N = a_2 X + b_2, \quad \dot{V}_u^N = a_3 X + b_3. \quad (A.8)$$

其中 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 均为常数, 分别对 $\dot{V}_p^N, \dot{V}_a^N, \dot{V}_u^N$ 的表达式求一阶导数得到 $a_1 = \dot{V}_p^N, a_2 = \dot{V}_a^N, a_3 = \dot{V}_u^N$, 将其分别带入(A.5), (A.6) and (A.7)中, 利用待定系数法求得最优收益函数的参数值如下:

$$a_1 = \frac{\theta \Pi_p}{r + \beta}, \quad a_2 = \frac{\Pi_p - \theta \Pi_p}{r + \beta}, \quad a_3 = \frac{\zeta \lambda (-\ln(S) + \sigma(-u))}{r + \beta}.$$

$$b_1 = MT_1, \quad b_2 = MT_2, \quad b_3 = MT_3.$$

将 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 参数值分别带入式(A.8)可得到非合作 Nash 均衡下的最优收益表达式为:

$$\dot{V}_p^{N*} = \frac{\theta \Pi_p}{P} X + MT_1, \quad (A.9)$$

$$\dot{V}_a^{N*} = \frac{-Z \Pi_p}{P} X + MF, \quad (A.10)$$

$$\dot{V}_u^{N*} = \frac{-N \zeta \lambda}{P} X + ML_1. \quad (A.11)$$

进而

$$V^{N*} = V_p^{N*} + V_a^{N*} + V_u^{N*} = \frac{\Pi_p - \zeta \lambda N}{P} X + MQ_1. \quad (A.12)$$

将 a_1, a_2, a_3 的值带入(A.4):

$$E_p^{N*} = \frac{\theta C}{P\mu_p}, \quad E_a^{N*} = \frac{-ZK}{P\mu_a}, \quad E_u^{N*} = \frac{-\alpha \zeta \lambda N}{P\mu_u}. \quad (A.13)$$

将上述均衡解式(A.13)代入直播间流量状态方程式，并令其等于 0，得到稳定状态下的直播间流量 X^{N*} 。结合初始条件 $X(0) = X_0$ ，求解该一阶线性型常微分方程得到直播间流量最优轨迹为

$$\begin{aligned} X^{N*} &= \frac{\varphi^{N*}}{\beta} + \frac{\beta X_0 - \varphi^{N*}}{\beta} e^{-\beta t} \\ &= \frac{(U+1) \left(U \left(PG\mu_u + (\gamma^2 \theta \mu_a - \eta^2 Z \mu_p) \mu_u \Pi_p \right) - U \alpha^2 \zeta \lambda \mu_a \mu_p N + \beta P \mu_a \mu_p \mu_u X_0 \right)}{\beta P \mu_a \mu_p \mu_u} \end{aligned} \quad (A.14)$$

$$\varphi^{N*} = \alpha E_u^{N*} + \gamma E_p^{N*} + \eta E_a^{N*}$$

其中

$$M = \frac{1}{2rP^2 \mu_a \mu_p \mu_u},$$

$$G = w_p \gamma \theta \mu_a - 2w_a \eta Z \mu_p,$$

$$H = w_p^2 \theta^2 \mu_a - 2\mu_p (w_a^2 Z \theta + A \mu_a),$$

$$N = u\sigma + \ln(S),$$

$$D = u\sigma - \ln(S),$$

$$C = w_p P + \gamma \Pi_p,$$

$$K = w_a P + \eta \Pi_p,$$

$$Z = (\theta - 1),$$

$$P = (r + \beta),$$

$$U = (e^{t\beta} - 1),$$

$$R = U \eta \mu_p \mu_u K + \mu_a \left(\mu_p \left(P \beta X_0 \mu_u - U \alpha^2 \zeta \lambda N \right) + U \gamma \mu_u C \right),$$

$$T_1 = r^2 H \mu_u + 2r \mu_u (\beta H + \theta G \Pi_p) + \mu_u (\beta^2 H + 2\beta \theta G \Pi_p + \theta (\gamma^2 \theta \mu_a - 2\eta^2 Z \mu_p) \Pi_p^2) - 2D \alpha^2 \zeta \theta \lambda \mu_a \mu_p \Pi_p,$$

$$T_2 = P^2 w_p^2 \mu_a \mu_u + P^2 w_a^2 \mu_p \mu_u + 2P\gamma w_p \mu_a \mu_u \Pi_p + 2\mu_p \Pi_p (P\eta w_a \mu_u - \alpha^2 \zeta \lambda N \mu_a) + \mu_u \Pi_p^2 (\gamma^2 \mu_a + \eta^2 \mu_p)$$

$$T_3 = P^2 \mu_a \left(4\mu_u C^2 \mu_p (\alpha \zeta \lambda N - 2\alpha \Pi_p)^2 \right) - 4\mu_p \mu_u \zeta \lambda N K \Pi_p,$$

$$L_1 = \frac{\lambda \ln(S)}{Mr} + \alpha^2 \mu_a \mu_p (\zeta \lambda N)^2 + 2N \mu_u \zeta \lambda (Z P w_a \eta \mu_p + \eta^2 Z \mu_p \Pi_p - w_p P \gamma \theta \mu_a - \gamma^2 \theta \mu_a \Pi_p),$$

$$L_2 = \lambda \left(\mu_a \left(\mu_p (\alpha^2 \zeta^2 \lambda N^2 + 2P^2 \ln(S) \mu_u) - 2\gamma \zeta N \mu_u C \right) - 2\zeta \eta N \mu_p \mu_u K \right),$$

$$L_3 = r \zeta \lambda N \left(4\eta \mu_p \mu_u K + \mu_a \left(4\gamma \mu_u C - \alpha^2 \mu_p (\zeta \lambda N - 2\Pi_p) \right) \right) - \frac{2\lambda \ln(S)}{Mr},$$

$$F = \eta^2 Z^2 \mu_p \mu_u \Pi_p^2 + P \mu_u \left(P(w_a^2 Z^2 + 2A \mu_a) \mu_p - 2C w_p Z \theta \mu_a \right) - 2Z \Pi_p (C \theta \gamma \mu_a \mu_u - w_a P \eta Z \mu_p \mu_u - \alpha^2 \zeta \lambda \mu_a \mu_p N)$$

$$Q_1 = \eta^2 Z^2 \mu_p \mu_u \Pi_p^2 + \theta^2 \mu_a \mu_u C^2 + \frac{\lambda r (\ln(S) - A)}{M} + 2\zeta \eta^2 Z \lambda \mu_p \mu_u \Pi_p N + \alpha^2 \mu_a \mu_p (\zeta \lambda N)^2 + Q_4 - 2Z \theta \mu_p \mu_u K^2 - 2\gamma \zeta \theta \lambda \mu_a \mu_u N C - w_a P \eta Z \mu_p \mu_u - 2\alpha^2 \zeta \theta \lambda \mu_a \mu_p \Pi_p N,$$

$$Q_2 = \mu_p \mu_u K (K - 2\zeta \eta \lambda \ln(S) - 2u \zeta \lambda \sigma \eta) + \mu_a (\lambda \mu_p Q_6 + \mu_u C (C - 2u \gamma \zeta \lambda \sigma - 2\zeta \lambda \ln(S))),$$

$$Q_3 = \frac{1}{8r} \left(8\lambda \ln(S) + \frac{\mu_p (\alpha \zeta \lambda N - 2\alpha \Pi_p)^2 + 4\mu_u C^2}{P^2 \mu_p \mu_u} - \frac{4\zeta \lambda N \Pi_p K^2}{P^4 \mu_a} - Q_5 \right),$$

$$Q_4 = P \mu_u (P(w_a^2 Z^2 + 2A \mu_a) \mu_p - 2w_p Z \theta \mu_a C) - 2Z \Pi_p (-w_a P \eta Z \mu_p \mu_u + \theta \gamma \mu_a \mu_u C - \alpha^2 \zeta \lambda \mu_a \mu_p N),$$

$$Q_5 = 2rM \left(2\zeta \lambda N (4\eta \mu_p \mu_u K + \mu_a (\alpha^2 \mu_p (2\Pi_p - \zeta \lambda N) + 4\gamma \mu_u C)) \right),$$

$$Q_6 = \alpha^2 \zeta^2 \lambda (u^2 \sigma^2 + (\ln(S))^2) + \ln(S) (2u \sigma \alpha^2 \zeta^2 \lambda + 2P^2 \mu_u) - 2\alpha^2 \zeta N \Pi_p.$$

1-1-2 证明推论1

$$\text{i. } E_p^{N^*} - E_p^{C^*} = \frac{\theta((r+\beta)w_p + \eta \Pi_p)}{(r+\beta)\mu_p} - \frac{(r+\beta)w_p + \eta \Pi_p}{(r+\beta)\mu_p} = (\theta-1)E_p^{C^*} < 0, E_p^{S^*} - E_p^{C^*} = 0 \text{ 得}$$

$$E_p^{N^*} < E_p^{C^*} = E_p^{S^*}.$$

$$\text{ii. } E_a^{N^*} - E_a^{C^*} = \frac{(1-\theta)((r+\beta)w_a + \eta \Pi_p)}{(r+\beta)\mu_a} - \frac{(r+\beta)w_a + \eta \Pi_p}{(r+\beta)\mu_a} = (-\theta)E_a^{C^*} < 0,$$

$$E_a^{S^*} - E_a^{C^*} = 0 \text{ 得 } E_a^{N^*} < E_a^{C^*} = E_a^{S^*}.$$

$$\text{iii. } E_u^{N^*} - E_u^{C^*} = 0,$$

$$\begin{aligned}
 E_u^{S^*} - E_u^{C^*} &= \frac{\alpha(2\Pi_p - \zeta\lambda(\ln(S) + \sigma u))}{2(r + \beta)\mu_u} - \left(\frac{-\alpha\zeta\lambda(\ln(S) + \sigma u)}{(r + \beta)\mu_u} \right), \\
 &= \frac{\alpha(2\Pi_p + \zeta\lambda(\ln(S) + \sigma u))}{2(r + \beta)\mu_u} = \psi^* E_u^{S^*} \\
 \text{得 } E_u^{N^*} = E_u^{C^*} < E_u^{S^*} \text{ 且 } \frac{E_u^{S^*} - E_u^{C^*}}{E_u^{S^*}} &= \frac{E_u^{S^*} - E_u^{N^*}}{E_u^{S^*}} = \psi^*.
 \end{aligned}$$

1-1-3 证明推论 2

$$\begin{aligned}
 X^{C^*} - X^{N^*} &= \frac{(1 - e^{-t\beta})\eta\theta((r + \beta)w_a + \eta\Pi_p)}{\beta(r + \beta)\mu_a} = \frac{-U\eta\theta K}{\beta P\mu_a} > 0, \text{ 得 } X^{C^*} > X^{N^*}. \\
 X^{S^*} - X^{C^*} &= \frac{(1 - e^{-t\beta})(2\Pi_p + \zeta\lambda(\ln(S) + \sigma u))}{2\beta(r + \beta)\mu_u} = \frac{-U(2\Pi_p + \zeta\lambda N)}{2\beta P\mu_u} > 0, \text{ 得 } X^{S^*} > X^{C^*}.
 \end{aligned}$$

因此可以得到 $X^{S^*} > X^{C^*} > X^{N^*}$ 。

1-1-4 证明命题 4

设网络直播平台、主播、用户的最优收益函数为 $V_{f'}^N$, V_a^N , V_u^N , 根据最优控制解法, 其满足的 HJB 方程分别如下:

$$\max_{E_{f'}} \left[(p - c - w)(A + \tau X'(t) - \varepsilon p) - \frac{1}{2} \mu_{f'} E_{f'}^2(t) + \dot{V}_{f'}^N (\alpha' E_{u'} + \gamma' E_{f'} + \eta' E_{a'} - \beta' X') \right] = rV_{f'}^N, \quad (\text{B.1})$$

$$\max_{E_{a'}} \left[\left(w(A + \tau X'(t) - \varepsilon p) - \frac{1}{2} \mu_{a'} E_{a'}^2(t) \right) + \dot{V}_{a'}^N (\alpha' E_{u'} + \gamma' E_{f'} + \eta' E_{a'} - \beta' X') \right] = rV_{a'}^N, \quad (\text{B.2})$$

$$\max_{E_{u'}} \left[\lambda' \left[m((1 - \rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_1)) + (1 - m)((1 - \rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_2)) \right] - \frac{1}{2} \mu_{u'} E_{u'}^2(t) + \dot{V}_{u'}^N (\alpha' E_{u'} + \gamma' E_{f'} + \eta' E_{a'} - \beta' X') \right] = rV_{u'}^N \quad (\text{B.3})$$

分别对式 (B.1) 中的控制变量 $E_{f'}$ 和式 (B.2) 中的控制变量 $E_{a'}$ 以及式 (B.3)

中的控制变量 $E_{u'}$ 求一阶偏导, 并令其等于 0, 从而得到最大化条件:

$$\begin{aligned}
 E_{f'}^{N*} &= \frac{\gamma' \dot{V}_{f'}^N}{\mu_{f'}}, \\
 E_{a'}^{N*} &= \frac{\eta' \dot{V}_{a'}^N}{\mu_{a'}}, \\
 E_{u'}^{N*} &= \frac{\alpha' \dot{V}_{u'}^N}{\mu_{u'}}.
 \end{aligned} \tag{B.4}$$

将式 (B.4) HJB 方程 (B.1) (B.2) (B.3) 中消除符号 $\max$ 得到如下表达式:

$$\left[\begin{aligned} & (p-c-w)(A+\tau X'(t)-\varepsilon p) - \frac{1}{2} \mu_{f'} \left(\frac{\gamma' \dot{V}_{f'}^N}{\mu_{f'}} \right)^2 \\ & + \dot{V}_{f'}^N \left(\alpha' \left(\frac{\alpha' \dot{V}_{u'}^N}{\mu_{u'}} \right) + \gamma' \frac{\gamma' \dot{V}_{f'}^N}{\mu_{f'}} + \eta' \frac{\eta' \dot{V}_{a'}^N}{\mu_{a'}} - \beta' X' \right) \end{aligned} \right] = r \dot{V}_{f'}^N, \tag{B.5}$$

$$\left[\begin{aligned} & w(A+\tau X'(t)-\varepsilon p) - \frac{1}{2} \mu_{a'} \left(\frac{\eta' \dot{V}_{a'}^N}{\mu_{a'}} \right)^2 \\ & + \dot{V}_{a'}^N \left(\alpha' \left(\frac{\alpha' \dot{V}_{u'}^N}{\mu_{u'}} \right) + \gamma' \frac{\gamma' \dot{V}_{f'}^N}{\mu_{f'}} + \eta' \frac{\eta' \dot{V}_{a'}^N}{\mu_{a'}} - \beta' X' \right) \end{aligned} \right] = r \dot{V}_{a'}^N \tag{B.6}$$

$$\left[\begin{aligned} & \lambda' \left[m((1-\rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_1)) + (1-m)((1-\rho')\omega' \ln(S') + \rho' \sigma'(-z_2)) \right] \\ & - \frac{1}{2} \mu_{u'} \left(\frac{\alpha' \dot{V}_{u'}^N}{\mu_{u'}} \right)^2 + \dot{V}_{u'}^N \left(\alpha' \left(\frac{\alpha' \dot{V}_{u'}^N}{\mu_{u'}} \right) + \gamma' \frac{\gamma' \dot{V}_{f'}^N}{\mu_{f'}} + \eta' \frac{\eta' \dot{V}_{a'}^N}{\mu_{a'}} - \beta' X' \right) \end{aligned} \right] = r \dot{V}_{u'}^N. \tag{B.7}$$

通过观察微分方程(B.5)、(B.6)和 (B.7) 可以推测出, 关于 t 的线性最优收益函数是 HJB 方程的解, 故假设 $V_{f'}^N$, $V_{a'}^N$, $V_{u'}^N$ 的表达式满足式(B.8):

$$V_{f'}^N = a_1 X' + b_1, \quad V_{a'}^N = a_2 X' + b_2, \quad V_{u'}^N = a_3 X' + b_3. \tag{B.8}$$

其中 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 均为常数, 分别对 $V_{f'}^N$, $V_{a'}^N$, $V_{u'}^N$ 的表达式求一阶导数得到 $a_1 = \dot{V}_{f'}^N$, $a_2 = \dot{V}_{a'}^N$, $a_3 = \dot{V}_{u'}^N$, 将其分别带入 (B.5)、(B.6) 和 (B.7) 中, 利用待定系数法求得最优收益函数的参数值如下:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{C' \lambda'}{P'}, \quad a_2 = \frac{w \lambda'}{P'}, \quad a_3 = \frac{\zeta' \lambda' H'}{P'}, \\
 b_1 &= \frac{C' \left(2w \eta'^2 \lambda'^2 \mu_f' \mu_u' + \mu_a' \left(2\mu_f' \left(P'^2 (A - p\epsilon) \mu_u' \alpha'^2 \zeta' \lambda'^2 H' \right) \right) - C' \gamma'^2 \lambda'^2 \mu_u' \right)}{M'}, \\
 b_2 &= \frac{w \left(w \eta'^2 \lambda'^2 \mu_f' \mu_u' + 2\mu_a' \left(C' \gamma'^2 \lambda'^2 \mu_u' + \mu_f' \left(P'^2 (A - p\epsilon) \mu_u' + \alpha'^2 \zeta' \lambda'^2 H' \right) \right) \right)}{M'}, \\
 b_3 &= \frac{\lambda' \left(2w \zeta' \eta'^2 \lambda' \mu_f' \mu_u' H' + \mu_a' \left(2C' H' \gamma'^2 \zeta' \lambda' \mu_u' + \mu_f' \left(2P'^2 \ln(S') \mu_u' + \alpha'^2 \zeta'^2 \lambda' (-H')^2 \right) \right) \right)}{M'}
 \end{aligned}$$

将 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 参数值分别带入式 (B.8) 可得到电商直播平台 and 主播不签约决策均衡下的最优收益表达式为:

$$V_{f'}^{N*} = \frac{C' \tau}{P'} X' + \frac{C' \left(2w \eta'^2 \tau'^2 \mu_f' \mu_u' + \mu_a' \left(C' \gamma'^2 \tau'^2 \mu_u' + 2\mu_f' \left(P'^2 (A - p\epsilon) \mu_u' + \alpha'^2 \zeta' \lambda' \tau H' \right) \right) \right)}{M'}, \quad (B.9)$$

$$V_{a'}^{N*} = \frac{\tau w}{P'} X' + \frac{w \left(w \eta'^2 \tau'^2 \mu_f' \mu_u' + 2\mu_a' \left(C' \gamma'^2 \tau'^2 \mu_u' + \mu_f' \left(P'^2 (A - p\epsilon) \mu_u' + \alpha'^2 \zeta' \lambda' \tau H' \right) \right) \right)}{M'}, \quad (B.10)$$

$$V_{u'}^{S*} = \frac{\zeta' \lambda' K'}{P'} X' + \frac{\lambda' \left(\mu_a' \left(2w \zeta' \eta'^2 \tau \mu_f' \mu_u' H' - 2C' \gamma'^2 \zeta' \tau \mu_u' H' + \mu_f' \left(2P'^2 \ln(S') \mu_u' + \alpha'^2 \zeta'^2 \lambda' (-H')^2 \right) \right) \right)}{M'}. \quad (B.11)$$

将 a_1, a_2, a_3 的值带入 (4):

$$\begin{aligned}
 E_{f'}^{N*} &= \frac{C' \gamma' \tau}{P' \mu_f'}, \\
 E_{a'}^{N*} &= \frac{w \eta' \tau}{P' \mu_a'}, \\
 E_{u'}^{N*} &= \frac{\alpha' \zeta' \lambda' H'}{P' \mu_u'}.
 \end{aligned} \quad (B.12)$$

将上述均衡解式(B.12)代入直播间流量状态方程式, 并令其等于 0, 得到稳定状态下的直播间流量 φ^{N*} 。结合初始条件 $X'(0) = X_0'$, 求解该一阶线性型常微分方程得到直播间流量最优轨迹为

$$\begin{aligned}
 X^{N*} &= \frac{\varphi^{N*}}{\beta'} + \frac{\beta' X_0 - \varphi^{N*}}{\beta'} e^{-\beta t} \\
 &= \frac{e^{-t\beta} \left(U' w \eta'^2 \tau \mu_f' \mu_u' + \mu_a' \left(- \left(U' C' \gamma'^2 \tau \mu_u' \right) + \mu_f' \left(\beta' P' X_0' \mu_u' + U' H' \alpha'^2 \zeta' \lambda' \right) \right) \right)}{\beta' P' \mu_a' \mu_f' \mu_u'}, \\
 \varphi^{N*} &= \alpha' E_u^{N*} + \gamma' E_p^{N*} + \eta' E_a^{N*}.
 \end{aligned}
 \tag{B.13}$$

1-1-5 证明推论 5

$$\begin{aligned}
 E_a^{N*} - E_a^{S*} &= 0, \quad E_a^{C*} - E_a^{N*} = \left(\frac{N' m \eta' \tau}{2P' \mu_a'} \right) - \frac{w \eta' \tau}{P' \mu_a'} = \frac{\eta' \tau (m(2p - 2c) - w(2 + m))}{2P' \mu_a'}, \quad E_f^{N*} - E_f^{S*} = 0, \\
 E_f^{S*} - E_f^{C*} &= E_f^{N*} - E_f^{C*} = (1 - m) \left(\frac{C' \gamma' \tau}{P' \mu_f'} \right) > 0, \quad E_u^{N*} - E_u^{S*} = 0, \\
 E_u^{N*} - E_u^{C*} &= \frac{\alpha' \zeta' \lambda' H'}{P' \mu_u'} - \left(\frac{m \alpha' \zeta' \lambda' D'}{P' \mu_u'} \right) = \frac{(m - 1) \alpha' \zeta' \lambda' \sigma' (\ln(S') + z_2)}{P' \mu_u'} > 0.
 \end{aligned}$$

1-1-6 证明推论 6

$$\frac{\partial E_u^{N*}}{\partial m} = \frac{\partial E_u^{C*}}{\partial m} = \frac{\alpha' \zeta' \lambda' \sigma' (z_2 - z_1)}{P \mu_u'} > 0, \quad \frac{\partial E_u^{S*}}{\partial m} = \frac{\alpha' \zeta' \lambda' D'}{P' \mu_u'} > 0.$$

这里设定：

$$\begin{aligned}
 P' &= r' + \beta', \\
 M' &= \frac{1}{2rP'^2 \mu_a' \mu_f' \mu_u'}, \\
 H' &= -(\ln(S') + m\sigma' z_1 + (\sigma' - m\sigma') z_2), \\
 C' &= p - c - w, \\
 U' &= e^{t\beta'} - 1, \\
 N' &= -(2c - 2p + w), \\
 D' &= -(\ln(S') + \sigma' z_1).
 \end{aligned}$$

攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文

发表论文

“考虑用户信息使用知会的直播电商主体微分博弈模型”——安徽工程大学学报——已录用

致谢

时光飞逝，随着论文的落笔，我的研究生学习生涯也将步入尾声，心中充满感激之情。首先，感谢我的导师——程晋石老师，无论在生活中还是学习上，他都给予我十分的关心。在论文写作期间，程老师给予了我莫大的帮助和精神支持，从选题、开题、修改直至最后的送审答辩，都替我严格把关，一丝不苟的学术态度深深地影响着我。其次，要感谢经济与管理学院的各位老师，他们治学严谨，在开题、预答辩过程中为我的论文提出了很多宝贵意见，正是这每一次的指点，使我对学术研究得出了许多感悟，让我的论文变得更加完善。最后，我要感谢我的同学、研究生室友崔少伟、魏翩和汪祁松，他们为人真诚仗义，三年给了我非常多的帮助。在学习上他们更是我的榜样，愿我们的友绵延长存！

在这个鸟语花香，万物盎然的季节，即将告别校园。虽然满是不舍，但心中却更充满希望。紫金山下水长流，各位同学珍重，愿我们在人生新征程中迈开更雄健的步伐。