

分类号: F273

密 级: 公开

学校代码: 10363

学 号: 2220720122



安徽工程大学

Anhui Polytechnic University

硕士学位论文

题目 不同权力结构下考虑利他偏好和碳谎
报的低碳供应链决策研究

论 文 作 者 崔少伟

指 导 教 师 张云丰

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 05 月 14 日

分类号: F273
密 级: 公开

单位代码: 10363
学 号: 2220720122

题 目 不同权力结构下考虑利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策研究

英文并列

题 目 **A STUDY ON LOW-CARBON SUPPLY CHAIN DECISION-MAKING
INCORPORATING ALTRUISTIC PREFERENCES AND CARBON
MISREPORTING IN DIVERSE POWER STRUCTURES**

学生姓名: 崔少伟
指导教师: 张云丰
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 05 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后果由本人承担。

学位论文作者签名：

崔少伟

日期：2025 年 05 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：

张少伟

指导教师签名：

张云丰

日期：2025 年 05 月 14 日

日期：2025 年 05 月 14 日

不同权力结构下考虑利他偏好和碳谎报的低碳 供应链决策研究

摘 要

为应对全球变暖带来的严峻挑战，各国积极承担碳减排责任，我国在 2020 年制定了双碳目标。为了实现以上双碳目标，各国政府相继推出了诸如碳限额、碳税、碳补贴、碳配额与交易等温室气体减排政策。其中，碳限额与交易机制被视为控制碳排放的有效手段之一。在低碳供应链系统中，由于制造商和零售商的权力不对等现象较为普遍，占据主导地位的企业为了保证业务的长期可持续性，将社会责任纳入到决策过程中，产生对合作伙伴的“利他偏好”行为。此外，随着信息技术的进步和市场对信息的日益依赖，具有信息优势一方往往会选择选择性披露企业私有信息。此时，为了获取较高的市场份额，制造商对自身的碳减排信息进行谎报，从而对产品的定价、碳减排和供应链成员利润产生影响。因此，在碳限额与交易机制下，不同权力结构利他偏好行为和制造商初始碳排放量谎报行为如何改变供应链成员碳减排决策以及供应链成员最优决策成为亟待解决的问题。

本文基于单个制造商和零售商构成的二级低碳供应链，构建不同权力结构下考虑利他偏好行为和制造商谎报初始碳排放量博弈模型，分析利他偏好和制造商谎报行为对供应链最优决策的交叉影响，并通过引入政府监管惩罚措施，进一步探究在政府监管惩罚措施对制造商谎报行为的抑制情况以及对环境绩效的改善情况。研究表明：(1) 供应链成员的利他偏好行为会增加产品的市场需求量，促进制造商进行碳减排投资，提高产品的绿色度，进一步提升供应链整体效率和稳定性。在制造商或零售商主导情形下，主导者的利他偏好更有利于追随者收益进一步增加，对于主导者本身，利他偏好行为会有损企业自身收益；而权力对等情形下，供应链成员利他行为对企业收益的影响还受到制

造商碳减排投资成本系数的影响。(2) 无论何种权力结构，在无政府干预的情形，制造商谎报行为都会受到市场碳配额交易价格的影响。制造商会根据市场碳配额交易价格确定谎报策略，市场碳配额交易价格与消费者低碳偏好和政府免费分配碳配额比例有关：当碳配额的交易价格超过某一定值时，倾向于选择高报；反之，则倾向于低报。然而，制造商基于利润最大化的谎报决策，会导致供应链整体碳排放量增加，对环境的负面影响进一步加剧。(3) 不同权力结构下，在引入政府监管措施后，制造商会根据政府的惩罚措施进行谎报决策。政府的惩罚措施会降低制造商碳减排投资水平以及市场需求，导致供应链成员利润的降低，从而抑制制造商的谎报行为，最终会使供应链总的碳排放量减少。

本文给出了在碳限额与交易机制背景下，考虑不同权力结构利他偏好和制造商碳信息谎报对低碳供应链决策的影响，为供应链企业的碳减排和行为决策提供了选择，并进一步探讨了政府的监管机制对谎报行为的影响及环境效益的改善情况，研究结论为政府部门制定相应的低碳政策提供理论依据与决策借鉴。

关键词：低碳供应链，碳限额与交易机制，利他偏好，碳信息谎报，碳减排

A STUDY ON LOW-CARBON SUPPLY CHAIN DECISION- MAKING INCORPORATING ALTRUISTIC PREFERENCES AND CARBON MISREPORTING IN DIVERSE POWER STRUCTURES

ABSTRACT

To address the severe challenges posed by global warming, nations worldwide have actively assumed carbon emission reduction responsibilities. China established its dual carbon goals in 2020. To achieve these objectives, governments have implemented various greenhouse gas reduction policies, including carbon caps, carbon taxes, carbon subsidies, and carbon quota trading systems. Among these, the carbon cap and-trading mechanism is recognized as an effective mechanism for controlling carbon emissions. In low-carbon supply chain systems, the prevalent power asymmetry between manufacturers and retailers often drives dominant enterprises to incorporate social responsibility into their decision-making processes, fostering "altruistic preference" behaviors toward partners to ensure long-term business sustainability. Furthermore, with advancements in information technology and increasing market reliance on data transparency, information-advantaged parties may selectively disclose private information. To gain competitive market share, manufacturers might intentionally misreport carbon reduction information, thereby influencing product pricing, carbon reduction strategies, and supply chain members' profits. Consequently, under carbon cap and trading mechanism, understanding how power structures, altruistic preferences, and manufacturers' misreporting of initial carbon emissions alter supply chain members' carbon reduction decisions and optimal strategies remains a critical research gap.

This study constructs a game-theoretic model involving a two-tier low-carbon supply chain (manufacturer-retailer) under different power structures, incorporating both altruistic preferences and manufacturer misreporting of initial

carbon emissions. It analyzes the cross-influences of altruistic behaviors and information manipulation on supply chain decisions, while investigating the suppressive effects of government regulatory penalties on misreporting behaviors and associated environmental improvements. Key findings include: (1) Altruistic preferences among supply chain members enhance product market demand, incentivize manufacturers' carbon reduction investments, improve product greenness, and elevate overall supply chain efficiency and stability. In manufacturer- or retailer-dominated scenarios, the dominant party's altruism preferentially benefits subordinate members while marginally reducing its own profits. Under equal power structures, the impact of altruism on profits depends on the manufacturer's carbon reduction investment cost coefficient. (2) Regardless of power structures, manufacturers' misreporting strategies under market mechanisms correlate with carbon quota trading prices, which are jointly determined by consumer low-carbon preferences and government-allocated free quota ratios. When trading prices exceed a certain threshold, manufacturers tend to overreport emissions; otherwise, underreporting prevails. However, profit-driven misreporting exacerbates total supply chain emissions, intensifying environmental degradation. (3) Government regulatory interventions alter manufacturers' misreporting decisions across power structures. Penalty mechanisms suppress misreporting behaviors by reducing carbon reduction investments and market demand, thereby decreasing supply chain profits. This regulatory suppression ultimately reduces total carbon emissions while optimizing environmental performance.

This research elucidates the interplay between power structures, altruistic preferences, and carbon information misreporting in low-carbon supply chain decision-making under carbon cap and-trading mechanism. It provides actionable insights for supply chain enterprises in formulating carbon reduction strategies and behavioral decisions. Furthermore, by evaluating governmental regulatory mechanisms' effectiveness in curbing information manipulation and enhancing environmental outcomes, the findings offer theoretical foundations and policy recommendations for policymakers to design optimized low-carbon governance frameworks.

Author: Shaowei Cui (Management Science and Engineering)

Supervised by Yunfeng Zhang

KEY WORDS: low-carbon supply chain, carbon cap and trading mechanism, altruistic preference, carbon emission information misreporting, carbon emission

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT	III
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 研究内容与方法.....	3
1.2.1 研究内容.....	3
1.2.2 研究方法.....	5
1.3 技术路线图与研究创新点.....	5
1.3.1 技术路线图.....	5
1.3.2 研究创新点.....	5
第 2 章 文献综述.....	7
2.1 低碳供应链文献研究.....	7
2.2 碳限额与交易机制研究.....	9
2.3 碳信息不对称研究.....	11
2.4 利他偏好行为研究.....	14
2.5 文献述评.....	15
第 3 章 制造商主导下考虑利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策.....	17
3.1 模型描述与基本假设.....	17
3.1.1 模型描述.....	17
3.1.2 基本假设.....	17
3.2 模型构建与求解.....	19
3.2.1 无谎报情形(AN 模型).....	19
3.2.2 谎报无惩罚情形(AM 模型).....	20
3.2.3 谎报有惩罚情形(AR 模型).....	23
3.3 敏感性分析.....	24

3.4 数值分析	28
3.4.1 制造商利他偏好对供应链均衡状态的敏感性分析	28
3.4.2 制造商谎报水平对供应链均衡状态的敏感性分析	30
3.4.3 政府监管措施对总的碳排放量的敏感性分析	32
3.5 本章小结	33
第 4 章 零售商主导下考虑利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策	34
4.1 模型描述和基本假设	34
4.1.1 模型描述	34
4.1.2 基本假设	34
4.2 模型构建与求解	35
4.2.1 无谎报情形 (AN 模型)	35
4.2.2 谎报无惩罚情形 (AM 模型)	36
4.3.3 谎报有惩罚情形 (AR 模型)	39
4.3 敏感性分析	40
4.4 数值分析	44
4.4.1 零售商利他偏好对供应链均衡状态的敏感性分析	44
4.4.2 制造商谎报水平对供应链均衡的敏感性分析	45
4.4.3 政府监管措施对总的碳排放量的敏感性分析	47
4.5 本章小结	48
第 5 章 权力对等下考虑利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策	50
5.1 模型描述和基本假设	50
5.1.1 模型描述	50
5.1.2 基本假设	50
5.2 模型构建与求解	51
5.2.1 无谎报情形 (AN 模型)	51
5.2.2 谎报无惩罚情形 (AM 模型)	52
5.2.3 谎报有惩罚情形 (AR 模型)	55
5.3 敏感性分析	56
5.4 数值分析	58
5.4.1 制造商利他偏好对供应链均衡状态的敏感性分析	58

5.4.2 制造商谎报水平对供应链均衡状态的敏感性分析.....	59
5.4.3 政府监管措施对总的碳排放量的敏感性分析.....	61
5.5 本章小结.....	62
结论与展望.....	63
参考文献.....	65
附 录.....	72
攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文.....	79
致 谢.....	80

插图清单

图 1-1 技术路线图.....	6
图 3-1 谎报水平对总的碳排放量的影响.....	22
图 3-2 利他偏好系数对市场需求和单位产品碳减排量的影响.....	29
图 3-3 利他偏好系数变动对供应链成员利润的影响.....	29
图 3-4 制造商谎报系数变动对市场需求的影响.....	30
图 3-5 制造商谎报系数变动对单位产品碳减排量的影响.....	31
图 3-6 制造商谎报系数变动对制造商利润的影响.....	31
图 3-7 制造商谎报系数变动对零售商利润的影响.....	32
图 3-8 惩罚倍数变动对总的碳排放量的影响.....	32
图 4-1 谎报水平对总的碳排放量的影响.....	38
图 4-2 利他偏好系数变动对市场需求和单位产品碳减排量的影响.....	44
图 4-3 利他偏好系数变动对供应链成员利润的影响.....	45
图 4-4 制造商谎报系数变动对市场需求的影响.....	45
图 4-5 制造商谎报系数变动对单位产品碳减排量的影响.....	46
图 4-6 制造商谎报系数变动对制造商利润的影响.....	46
图 4-7 制造商谎报系数变动对零售商利润的影响.....	47
图 4-8 惩罚倍数变动对总的碳排放量的影响.....	48
图 5-1 谎报水平对总的碳排放量的影响.....	54
图 5-2 利他偏好系数对市场需求和单位产品碳减排量的影响.....	58
图 5-3 利他偏好系数变动对供应链成员利润的影响.....	59
图 5-4 制造商谎报系数变动对市场需求的影响.....	59
图 5-5 制造商谎报系数变动对单位产品碳减排量的影响.....	60
图 5-6 制造商谎报系数变动对制造商利润的影响.....	60
图 5-7 制造商谎报系数变动对零售商利润的影响.....	60
图 5-8 惩罚倍数变动对总的碳排放量的影响.....	61

表格清单

表 3-1 制造商主导下模型符号及含义.....	18
表 4-1 零售商主导下模型符号及含义.....	34
表 5-1 权利对等下模型符号及含义.....	51

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 研究背景

21 世纪以来，全球经济蓬勃发展导致碳排放量持续攀升，环境问题愈发严峻。数据显示，2000-2022 年全球二氧化碳排放量年均增速高达 1.8%，环境承载压力持续加大。如何有效降低碳排放以缓解温室效应和大气污染，已成为全球关注的焦点^[1]。各国在减少碳排放问题方面达成了共识，比如欧洲会议投票通过了碳排放交易体系改革法案（ETS），要求企业在产生污染时购买二氧化碳许可证，并对各行业设定温室气体排放上限，以实现整体减排目标。加拿大致力于发展低碳、清洁经济，并设定了到 2030 年将碳排放量在 2005 年的基础上削减 30% 的目标^[2]。美国承诺到 2025 年将国内的碳排放水平控制在 2005 年排放基数的 72%-74%，并力争达到 72% 的全经济范围减排目标。2020 年，习近平主席在第 75 届联合国大会上宣布“双碳”目标，力争在 2030 年前达到碳排放峰值，并在 2060 年前实现碳中和目标。

为了实现以上碳减排目标，各国政府相继推出了诸如碳限额、碳税、碳补贴、碳配额与交易等温室气体减排政策，力求通过宏观政策与市场机制的有机结合推动减排进程。其中，碳配额与交易机制被视为控制碳排放的有效手段之一。在这一政策下，政府预先向企业分配一定的碳配额，企业依据碳配额进行生产和碳减排决策，并通过碳交易市场买卖多余或不足的碳配额，碳配额的交易价格由市场供需关系决定。全球碳交易市场规模 2022 年已达 8510 亿美元，全球碳排放交易系统覆盖的碳排放总量已达到 89 亿吨二氧化碳当量。作为世界上最大的发展中国家，中国于 2021 年 7 月正式启动了全国碳交易市场，涵盖了 2257 家重点排放单位，首年即覆盖 45 亿吨排放量，成为全球覆盖温室气体排放量最大的市场。同时，随着环保知识的日益普及，消费者的绿色低碳意识也逐渐增强。《2023 年中国消费者洞察与市场展望白皮书》指出，超过 60% 的消费者愿意为绿色产品支付溢价。在此背景下，企业如何制定适应低碳经济的运营决策，以应对日益激烈的市场竞争，显得尤为重要。

众多企业纷纷将环境保护和可持续发展纳入其战略决策。在原材料选择、生产过程及产品包装等关键环节，企业投入了大量的资金和人力资源，致力于构建完整的环境管理体系，以实现节能减排的目标。然而，碳减排技术的实施，往往需要制造商承担巨额的资金投入，这可能会给企业带来沉重的成本压力，进而削弱其在供应链中的经济竞争力。与此同时，信息技术的进步和市场信息的日益完善，使得部分制造商（零售商）在供应链中的地位不断上

升,逐渐占据主导地位。例如比亚迪、荣盛集团、京东集团、亚马逊和沃尔玛等制造业、零售巨头已在供应链渠道中掌握了更多话语权。对于中小型企业而言,面对强势的供应链伙伴,在进行碳减排技术投资时往往处于谈判的劣势地位。为了保证业务的长期可持续性,许多企业坚持与合作伙伴互利共赢的理念。具体来说,供应链中的领导者不仅可以根据自己的预期利润做出决策,还会基于对供应链中其他成员利益的考量进行决策。这种将社会责任纳入决策过程的行为被称为“利他偏好”^[3]。许多商业案例表明,企业的利他偏好能够提升供应链的整体效率,从而实现供应链绩效的帕累托改进。

此外,随着市场的不断发展与完善,在低碳供应链系统运作过程中,供应链成员拥有各自的私有信息,具有不同的信息优势。因而制造商和零售商的权力和信息不对等现象在现实中较为普遍。具有信息优势的一方往往会选择性地披露或部分披露企业的私有信息,而信息在供应链中的作用至关重要^[4]。大多数企业为了实现自身利益最大化,可能会利用自身的信息优势进行谎报。为了获取较高的市场份额,制造商对自身的碳减排信息进行谎报,从而对产品的定价、碳减排和供应链成员利润产生影响。

基于上述背景,本文考虑了三种不同权力结构情形下,制造商谎报单位产品初始碳排放量,分别构建了制造商具有利他偏好、零售商具有利他偏好、制造商和零售商双重利他偏好下制造商谎报初始碳排放量的低碳供应链决策模型。其中,碳限额与交易机制被视为控制碳排放的有效手段之一。因此,在碳限额与交易机制下,研究不同主体具有利他偏好下制造商谎报行为对供应链决策的影响,并引入政府监督惩罚措施,探讨政府的政策干预性行为对供应链绩效的影响。本文的研究为考虑不同主体利他偏好下制造商碳信息谎报行为的低碳供应链管理 and 政府监管政策的制定提供了理论依据和决策参考。

1.1.2 研究意义

(1) 理论意义

传统低碳供应链最优决策研究通常假设决策者是完全理性的,决策时仅考虑自身利益大小。而在低碳经济下,为了保证业务的长期可持续性,许多企业坚持与合作伙伴互利共赢的理念,决策者不仅可以根据自己的预期利润做出决策,还会基于对供应链中其他成员利益的考量进行决策。现有文献多数关注的是信息完全对称条件下,行为偏好对供应链决策产生的影响,忽视了企业私有信息对供应链决策的影响。因此,本文在不同权力结构下考虑利他偏好和制造商谎报行为将进一步充实低碳供应链研究,推动低碳供应链研究的发展,使低碳供应链领域的研究更加趋近实际供应链运营,为实现健康可持续发展供应链、增强供应链稳定性与韧性提供了理论支撑。

(2) 现实意义

当前,我国各省市使用碳排放权交易政策来推动“双碳”目标的实现,具有较大的现实需求。通过研究不同主体利他偏好行为,为现实中的供应链内部激励提供重要的参考。在供应链企业实际运营过程中,常存在信息不对称衍生出的谎报行为。现有研究多考虑成本与需求信息的谎报问题,鲜有在碳限额与交易机制下考虑碳信息不对称的问题。因此,本研究通过构建不同主体利他行为下,制造商谎报初始碳排放量低碳供应链决策模型,在不同的市场环境背景下,明确制造商的谎报决策,并引入政府监管惩罚措施,探讨政府监管惩罚措施对制造商谎报决策的影响,更加贴合实际地客户在行为偏好和信息不对称下的企业决策,得出的结论为低碳供应链管理和政府监管政策的制定提供了理论依据和决策参考。

1.2 研究内容与方法

1.2.1 研究内容

本论文研究内容包括以下三个方面:

研究一:碳限额与交易机制下考虑制造商利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策研究

基于碳限额与交易机制,具体为考虑制造商对产品初始碳排放量进行谎报,探讨在制造商主导的两级低碳供应链中,制造商具有利他偏好行为对低碳供应链最优决策的影响,并从政府角度引入惩罚机制,研究政府针对企业谎报行为的监管制度对环境绩效的改善问题。

(1) 基于碳限额与交易机制构建具有利他偏好的制造商主导的两级低碳供应链,考虑制造商不谎报单位产品初始碳排放量,探讨制造商利他偏好行为对供应链最优决策的影响。

(2) 进一步构建在碳限额与交易机制下具有利他偏好的制造商主导的两级低碳供应链,考虑制造商谎报单位产品的初始碳排放量的决策模型。从利润角度讨论制造商的谎报决策,分析市场碳排放权交易价格对制造商碳信息披露决策和供应链成员收益的影响,并通过数值分析制造商谎报行为对环境效益的影响。

(3) 最后,引入政府的惩罚机制。构建政府惩罚机制下具有利他偏好的制造商谎报决策模型。分析市场碳排放权交易价格对供应链最优决策和制造商碳信息披露决策的影响。探讨惩罚倍数满足什么条件时对环境效益更有利,并比较分析有无政府惩罚机制对制造商谎报决策和供应链成员收益的影响。

研究二:碳限额与交易机制下考虑零售商利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策研究

基于碳限额与交易机制,在零售商主导具有利他偏好下考虑制造商对产品初始碳排放量进行谎报,探讨零售商的利他行为和制造商谎报决策对供应链最优决策的影响,从政府角度引入惩罚机制,研究政府针对企业谎报行为的监管制度对环境绩效的改善问题。并比较分

析制造商和零售商分别作为主导者时，在考虑制造商谎报以及政府惩罚措施时，供应链成员收益和环境效益的变化。

(1) 基于碳限额与交易机制构建具有利他偏好的零售商主导的两级低碳供应链，考虑制造商不谎报单位产品初始碳排放量，探讨零售商利他偏好行为对供应链最优决策的影响。

(2) 进一步构建在碳限额与交易机制下具有利他偏好的零售商主导的两级低碳供应链，考虑制造商谎报单位产品的初始碳排放量的决策模型。通过制造商的谎报决策，分析市场碳排放权交易价格对制造商碳信息披露决策和供应链成员收益的影响，通过数值分析制造商谎报行为对环境效益的影响。并通过引入政府的惩罚机制，构建惩罚机制下零售商具有利他偏好的制造商谎报决策模型。从环境效益角度，探讨惩罚倍数满足什么条件时对碳排放改善更有利，并比较分析在零售商主导下，有无政府惩罚机制对制造商谎报决策和供应链成员收益的影响。

(3) 最后，对比分析制造商和零售商分别作为供应链主导者，考虑制造商谎报和政府惩罚机制时，供应链成员收益的变化情况以及环境效益的改善情况。

研究三：碳限额与交易机制下考虑双边利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策研究

基于碳限额与交易机制，在制造商和零售商权利对等均具有利他偏好下，考虑制造商对产品初始碳排放量进行谎报，探讨双边利他行为和制造商谎报决策对供应链最优决策的影响。从政府角度引入惩罚机制，研究政府针对企业谎报行为的监管制度对环境绩效的改善问题。并比较分析不同权力结构具有利他偏好，在考虑制造商谎报以及政府惩罚措施时，供应链成员收益和环境效益的变化。

(1) 基于碳限额与交易政策构建具有双边利他偏好权力对等的两级低碳供应链，考虑制造商不谎报单位产品初始碳排放量，探讨双边利他偏好行为对供应链最优决策的影响。

(2) 进一步构建在碳限额与交易机制下具有双边利他偏好权利对等的两级低碳供应链，考虑制造商谎报单位产品的初始碳排放量的决策模型。讨论制造商的谎报决策，分析市场碳排放权交易价格对制造商碳信息披露和供应链成员收益的影响，通过数值分析制造商谎报行为对环境效益的影响。通过引入政府的惩罚机制，构建惩罚机制下双边利他偏好的制造商谎报决策模型。从环境效益角度，探讨惩罚倍数满足什么条件时对碳排放改善更有利。引入政府的惩罚机制，构建惩罚机制下双边利他偏好的制造商谎报决策模型。分析市场碳排放权交易价格对供应链最优决策和制造商碳信息披露决策的影响，从政府角度探讨如何设置合理的惩罚倍数以满足对环境效益的改善，并比较分析有无政府惩罚机制对制造商谎报决策和供应链成员收益的影响。

(3) 最后, 对比分析不同权力结构下, 考虑制造商谎报和政府惩罚机制时, 供应链成员收益的变化情况以及环境效益的改善情况。

1.2.2 研究方法

(1) 文献研究法

通过对国内外学者关于低碳供应链、利他偏好行为、碳信息不对称等研究方面取得的科研成果进行整理、分析、归纳和总结以发现目前研究的重点和不完善之处。

(2) 博弈论方法

构建不同权力结构下考虑利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策模型, 运用 Stackelberg 博弈和库恩塔克条件进行求解, 比较均衡结果的大小关系。

(3) 数值仿真法

通过 Matlab2019b 软件对模型中的均衡结果进行有效数值模拟, 以此来探讨具有利他偏的供应链主导者和制造商谎报对供应链均衡结果的影响是如何具体变化的, 从而验证本课题研究结果的合理性和有效性, 为本课题研究的可信性提供依据。

1.3 技术路线图与研究创新点

1.3.1 技术路线图

本文的技术路线图如图 1-1 所示。

1.3.2 研究创新点

本研究的创新点主要有以下三个方面:

(1) 与现有文献相比, 本课题从需求与市场信息的不对称, 转向研究供应链成员碳信息不对称问题。并以低碳供应链运行过程中出现的实际问题作为切入点, 选取低碳供应链主导者的利他行为和制造商初始碳排放量的谎报作为研究对象, 将不同权力结构的利他偏好社会属性与低碳政策、政府惩罚监督措施相结合探讨制造商具体谎报决策。

(2) 针对不同权力结构的利他偏好行为, 讨论利他偏好对供应链成员最优收益和碳减排决策的影响。随着行为运作管理中的利他偏好与供应链决策相结合的研究越来越丰富, 研究表明利他偏好在低碳供应链中普遍而真实存在。然而, 多数文献研究利他偏好, 多考虑单一主导企业利他偏好对供应链决策的影响, 鲜有考虑不同权力结构下利他偏好行为对供应链决策的影响。因此, 本文在前人研究的基础上, 在不同权力结构利他偏好行为下, 探讨制造商谎报行为对供应链的影响。

(3) 在碳限额与交易机制下, 考虑制造商初始碳排放量谎报行为对供应链成员收益、碳减排策略和环境效益的影响, 探讨市场碳交易价格对谎报行为的影响。既有低碳供应链企业

决策研究，鲜有同时考虑碳限额与交易机制和制造商初始碳排放量信息谎报行为，这与现实碳交易市场中信息不完全对称有一定的差距。本研究以碳限额与交易机制为背景，在不同主体利他偏好下考虑制造商谎报对供应链最优决策的影响。同时本课题考虑了政府对制造商谎报行为的监督惩罚策略，探讨何种惩罚水平下对经济、环境效益更具优势。

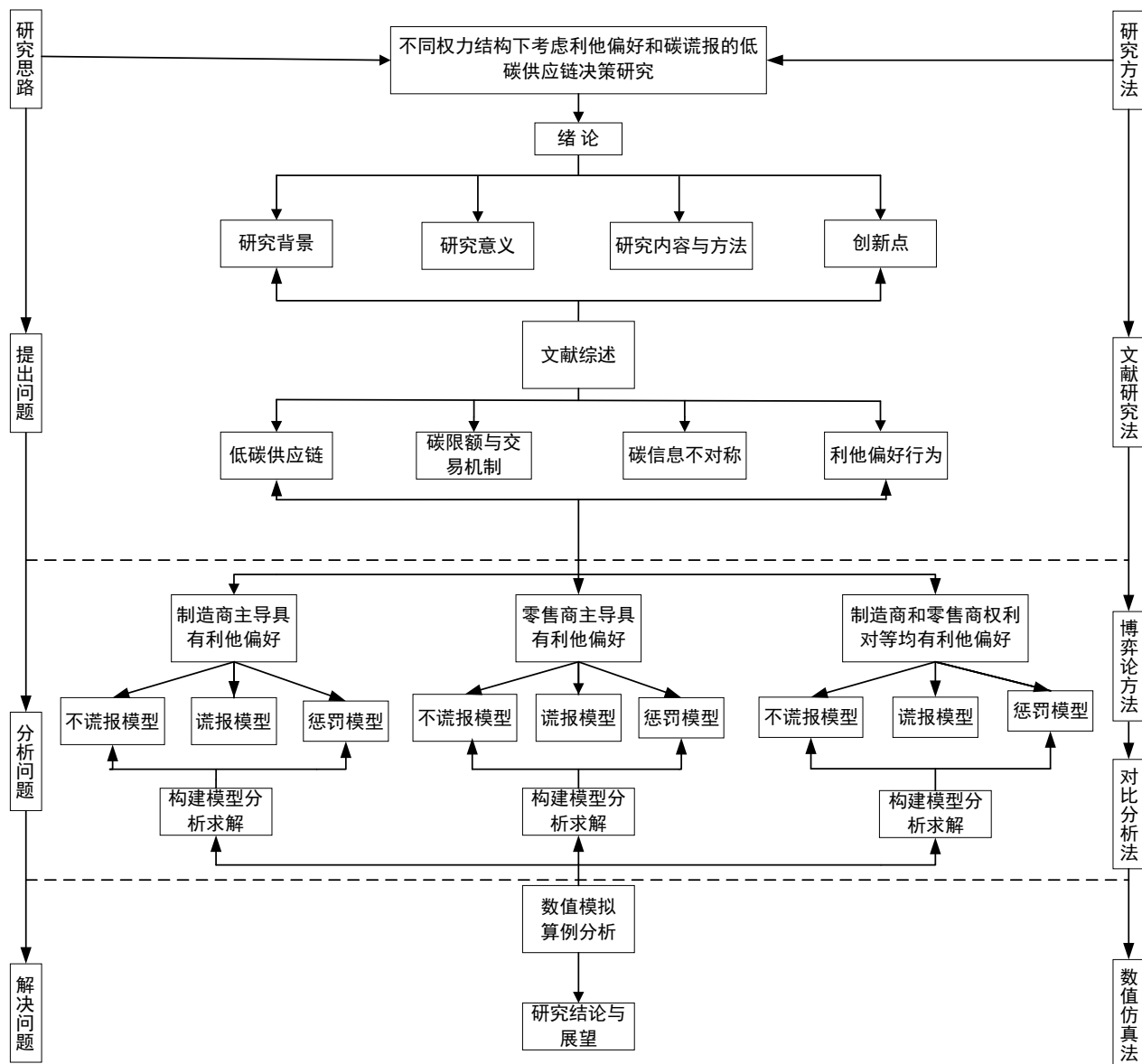


图 1-1 技术路线图

第2章 文献综述

与本文相关的研究涉及到四个方面：低碳供应链、碳限额与交易机制、碳信息不对称、利他偏好行为。因此，本章内容也从这四个方面展开。本章首先通过对现有的文献进行分类和梳理，并进行深入分析，然后对这些文献进行评述，分析现有文献的不足，以此可以了解本研究内容与现有研究的区别。

2.1 低碳供应链文献研究

目前学术界针对低碳供应链的研究主要是关于供应链碳减排决策研究，国内外学者对供应链减排中企业间竞合决策进行了深入研究。研究主体主要分为以下三种：

制造商与零售商：唐娟等^[5]探讨了制造商与零售商之间收益共享和两部定价协议的协调效果，研究表明，收益共享协议能够部分协调供应链，而两部定价协议则能够完全协调供应链；Zhou 等^[6]考虑了由制造商和零售商组成的二级供应链系统，分析了单双渠道以及广告合作下联合减排策略；Xia 等^[7]通过微分博弈模型分析了低碳产品供应链中减排和推广策略的变化。研究发现，集中决策能够实现最高的碳减排效果和最低的产品价格，同时促进市场需求和推广努力。制造商承担推广成本虽然能够推动市场需求和减排努力，但可能会导致产品价格上升。相比之下，零售商承担推广成本时，减排和推广效果相对较弱；张福安等^[8]通过构建两阶段差异定价模型，分析了不同补贴政策和消费者低碳偏好对闭环供应链中制造商减排决策、供应链绩效和环境效益的影响。研究表明，政府补贴能够有效促进制造商的减排行为，而不同补贴政策的选择应根据供应链的碳减排水平进行调整；张令荣等^[9]考虑了闭环供应链与减排技术投入两种减排方式下的供应链效果，通过构建 Stackelberg 博弈模型，分析了碳配额交易政策下闭环供应链中制造商的减排和再制造决策。研究表明，碳配额交易价格、再制造减排系数和低碳价值系数等因素对制造商的决策行为有重要影响。制造商通过综合采用减排技术投入和回收再制造模式可以获得最大利润，但这种模式并不能保证碳排放总量最小。在制造商和零售商之间，学者主要聚焦于制造商减排和零售商广告、宣传、促销等策略，以及制造商与零售商之间的协调研究。

供应商与制造商：张云丰等^[10]分析了制造商在不同融资模式下的融资与减排决策，通过改进的 Nash 讨价还价博弈模型，提出了供应链协调的最优利润分配比例系数；付秋芳等^[11]通过演化博弈模型分析了供应商与制造商在碳减排投入中的策略选择，揭示了双方行为的动态演化规律。研究表明，合理的契约设计和惩罚机制能够有效解决“搭便车”

问题，促进供应链的低碳转型；Zu 等^[12]构建了制造商和供应商的微分博弈模型，分析了在市场、政府和供应链协调三种情境下供应链成员的碳减排行为。研究表明，供应链协调能够有效促进制造商和供应商的减排努力，而政府监管需要结合供应链内部的激励机制才能发挥最大作用；Ma 等^[13]研究由一个制造商和多个供应商组成的二级供应链，在库存与碳税的约束下协调定价的博弈问题，研究发现，碳税政策能够有效激励制造商和供应商的减排努力，但需要通过渠道协调机制来进一步优化供应链的减排效果；张令荣等^[14]对碳交易市场进行划分，研究供应商和制造商在不同的交易路径下减排策略；姜跃等^[15]考虑了碳减排的连续性，利用微分博弈研究供应商、制造商与零售商间的动态决策问题，揭示了协同与非协同状态下供应链成员的减排决策差异及其对供应链利润的影响；武丹等^[16]通过微分博弈模型分析了在消费者低碳偏好和碳限额与交易机制背景下，两级供应链的动态优化问题，研究表明，集中决策模式能够显著提升供应链的减排效果和经济效益，消费者的低碳偏好和碳交易价格是影响供应链决策的关键因素，政府应及时调整碳限额与交易机制，以激励企业增加减排投入，推动供应链的低碳转型。在供应商与制造商之间，学者主要聚焦于考虑不同因素影响下，二者之间的协调问题。

政府或第三方：Xue 等^[17]研究政府根据企业碳减排率进行补贴情境下的供应链减排决策，研究表明，政府补贴在推动节能产品供应链的低碳转型中发挥了重要作用。通过集中决策和收益共享契约等协调机制，供应链成员能够实现更高的节能水平和经济效益，同时提升社会福利；徐春秋和王芹鹏^[18]在有无政府补贴以及政府干预下的成本共担情景下，使用微分博弈方法解决了供应链中长期合作问题，研究结果表明，合理的政策设计和契约机制能够有效提升供应链的低碳商誉和经济效益；贺勇等^[19]在研究政府下发低碳补贴时除考虑企业减排率，增加了对减排研发的考量，对比分析不同补贴方式下的制造商减排决策，揭示了政府补贴政策对供应链低碳转型的重要影响。研究发现，政府补贴方式的选择应根据制造商的减排方式灵活调整，以实现更高的减排效果和经济效益；江佳秀等^[22]研究政府指定碳补贴政策 and 零售商承担企业社会责任对供应链减排决策的影响，对比分析不同补贴方式下的制造商减排决策，揭示了政府补贴政策对供应链低碳转型的重要影响。研究发现，政府补贴方式的选择应根据制造商的减排方式灵活调整，以实现更高的减排效果和经济效益构建 Stackelberg 博弈模型得出碳补贴和 CSR 实施下的最优决策；王勇等^[20]考虑 3PL 运输企业碳排放，研究分散决策、协调决策和合作决策下的三级供应链系统合作减排问题，揭示了供应链企业合作对减排和经济效益的积极影响，研究强调了合作的广泛性和紧密性对供应链整体减排效果的重要性；张宗明等^[21]通过 Stackelberg 博弈模型分析

了绿色成本共担合同和碳减排成本共担合同对 3PL 绿色供应链的影响。研究发现, 两种合同机制均能有效提升供应链的绿色度或碳减排水平, 并增加供应链成员的利润。

上述研究对低碳背景下企业的经营相关的决策问题进行了较多的研究, 供应链运作问题已成为当下研究的热点之一, 然而, 无论是在单一低碳政策下还是在多低碳政策比较的文献中, 大部分研究更关注生产、运输、减排等供应链问题, 较少文献对供应链成员之间信息不对称进行研究。本课题考虑不同权力结构利他偏好和制造商碳信息谎报, 在碳限额与交易机制下探讨制造商谎报行为对低碳供应链最优决策的影响, 并引入政府惩罚措施, 进一步研究政府的监督惩罚措施对环境改善的程度。

2.2 碳限额与交易机制研究

当前, 为控制二氧化碳等温室气体的排放, 各国政府纷纷试点或实施碳排放政策以促进节能减排, 采取的政策主要有碳限额与交易机制、碳税政策和碳限额政策等。其中, 碳限额与交易机制被视为控制碳排放的有效手段之一。在这一政策下, 政府预先向企业分配一定的碳配额, 企业依据碳配额进行生产和碳减排决策, 并通过碳交易市场买卖多余或不足的碳配额, 碳配额的交易价格由市场供需关系决定。

在碳限额与交易机制对供应链最优决策的影响方面, 王一雷等^[22]通过微分博弈模型分析了不同碳限额与交易机制对供应链企业运营的长期影响。研究表明, 碳限额与交易机制能够显著提升供应链的碳减排水平和商誉, 同时增加零售商的利润。特别是基于产品碳排放数据的碳限额与交易机制, 在特定条件下对制造商更为有利, 且对整体供应链的可持续发展具有积极作用。蓝海燕等^[23]通过建立和分析碳限额与交易机制下的三级供应链模型, 揭示了整体排放限额在减排和成本控制方面的优势, 以及集中决策在碳约束环境下的重要性。研究表明, 碳价格变动对供应链决策具有显著影响, 表明市场机制在碳减排中具有重要作用。Sun 等^[24]发现碳限额交易政策可以促使制造商进入再制造市场。李广明等^[25]研究了中国碳限额与交易机制下的工业碳排放与减排机制, 研究表明碳限额与交易机制显著降低了工业部门的碳排放, 通过影响企业的生产成本和技术创新, 促进了工业部门的低碳转型。Xu 等^[26]在碳限额与交易下研究了一个供应商和一个制造商的供应链定价和减排决策, 分析了碳交易价格对集中和分散决策下最优决策的影响, 比较了收益共享契约和两部定价契约的协调效果。Wang 等^[27]研究了不确定碳价下, 碳限额交易正常对制造商减排投资、供应链绩效和社会福利的影响, 并设置了协调动态随机供应链的收入和成本共享合同。结果表明, 供应链的减排水平随着碳价的增加而降低其不确定性, 且碳排放越高的供应链收到碳价波动的影响更小。Peng 等^[28]考虑了碳限额与交易机制下一个供应商和一个制造商的供应链, 其中制造

商面临产量不确定性,研究了分散和集中决策下供应链的生产、价格和碳减排决策以及协调。结果表明,数量折扣合同可以协调供应链,但收益共享合同不能。王文宾和王梦垚^[29]研究了在碳限额交易正常下,煤企主导的煤电供应链中减排及相关决策问题。通过构建动态博弈模型,分别在分散决策和集中决策两种情境下探讨了环保意识和减排难度对企业定价及碳减排量的影响,并通过利润共享契约为供应链协调提供了理论支持。Dong 等^[30]针对一个零售商和一个制造商的供应链,获得了分散决策和集中决策下最优订货量和制造商的可持续性投资,研究表明可持续性投资效率对最优决策有显著影响,还证明了回购契约和两部定价契约不能协调供应链。

在碳限额与交易机制对企业行为的影响方面,Tao^[31]推导了制造商和零售商组成的供应链在分散和集中决策下的最优决策、相应的排放量和利润,通过设计收益共享契约进行供应链协调,研究表明,在收益共享下消费者的低碳偏好和碳配额交易价格有利于制造商提高决策的灵活性。Taleizadeh 等^[32]考虑了一个制造商和一个零售商组成的两级供应链,通过建立合作、非合作纳什博弈和斯坦伯格博弈模型,得到了供应链及其成员的最优决策和利润,采用批发价格、成本分摊、回购契约提高供应链绩效,研究指出,合作供应链的利润高于非合作供应链,垂直纳什和零售商斯坦伯格博弈下批发价格契约都有最高的利润,并且能够协调整体供应链。唐文之等^[33]通过分析企业在碳限额与交易机制下的多期决策,揭示了减排技术参数、碳配额分配比例和碳价格动态性对减排决策和产品定价的影响。研究结果表明,企业通过产品减排不仅能够增加自身利润,还能在多期生产中实现更低的碳排放,为社会带来环境效益。Abdallah 等^[34]通过研究认为,对于生产制造型企业来说,把环境资源和碳交易结合起来可优化供应链运作,并利用整数规划的方法,探究了实现供应链总成本最小的绿色采购策略。谢鑫鹏和赵道致^[35]研究了在碳排放规制下,大型制造型企业及其所在供应链中的各方企业如何在不同的合作模式下进行减排以及减排效果如何等问题。何华等^[36]从微观低碳经济的角度出发,以碳限额交易机制为背景建立有无绿色技术投入价格策略模型,结果表明碳限额与交易机制对企业定价和利润有显著的影响,而绿色技术投入可以在一定程度上缓解碳政策对企业收益的负面影响,同时促进企业的可持续发展。陈晓红等^[37]在一个制造商和一个零售商组成的供应链中,利用斯坦伯格博弈研究了碳限额与交易机制下碳交易价格对供应链碳排放的影响。Mao 等^[38]更详细的分析了碳限额交易政策对产品质量、销量和价格的影响,发现限额交易机制不仅提高了再制造质量、扩大了生产,还能利于减少碳排放量。张川等^[39]研究了碳限额交易政策下碳减排决策,研究表明制造商最优碳减排水平随碳交易价格的增加先上升后下降。

在碳限额与交易机制与其他政策和机制的协同作用方面,王道平等^[40]在碳限额与交易机制下将普通制造商和绿色制造商竞争的情形加入供应链模型,研究了供应链的碳减排和定价等决策。陈静等^[41]建立了单个供应商、制造商、零售商组成的三级供应链,研究碳限额与交易机制下双渠道供应链合作减排的策略选择问题,对比了纵向向上以制造商为合作伙伴和纵向向下以零售商为合作伙伴两种策略,研究表明碳减排量、制造商减排努力水平和供应链利润与碳交易价格具有正相关关系。Chai 等^[42]研究了政府补贴与碳限额与交易机制对闭环供应链中再制造活动的影响,揭示了政府补贴政策和碳限额与交易机制在促进再制造活动中的有效性,研究表明,增加再制造的成本节约时推动再制造的关键策略,碳限额与交易机制作为一种市场机制,可能比传统补贴政策更具优势。杨焱等^[43]以具有多种生产配方和铁水产品的高炉炼铁厂为研究对象,基于模块化建模方法,揭示了碳限额与交易机制对高炉生产计划的显著影响,研究发现,累计碳约束比周期性碳约束更具灵活性和成本效益,且在应对碳政策变化时表现更为稳定。杨磊等^[44]通过对比分析不同渠道结构下的供应链决策,揭示了新渠道引入对供应链成员利润的影响,并为制造商在碳交易机制下的渠道模式选择和减排策略提供了管理启示。Cong 等^[45]分析绿色金融和碳限额与交易机制对低碳供应链的影响,揭示了不同初始排放水平下补贴政策的效率差异,以及产出不确定性对碳减排策略的影响,研究结果表明,绿色金融和低碳补贴对碳减排有积极作用,但产出不确定性会削弱这些政策的效果。此外,绿色金融与碳限额与交易机制的协同作用对中低排放企业更为有效,而对高排放企业的影响较为复杂。Yi 等^[46]通过构建闭环动力电池供应链的 Stackelberg 博弈模型,分析了碳限额与交易机制对新能源汽车动力电池回收和减排决策的影响,研究发现,碳限额与交易机制能够有效提高动力电池的回收价格和回收量,而动力电池成本系数对回收价格和回收量有显著影响。

上述研究探讨了,碳限额与交易机制对供应链最优决策、企业行为的影响,以及在碳限额与交易机制下,分析了其他政策和机制对供应链最优决策的交互影响。然而,在碳限额与交易机制背景下,对供应链间碳信息对称的问题研究较少。在现有研究的基础上,本文将基于碳限额与交易机制,从成本与需求的信息不对称转向研究初始碳排放量信息不对称问题,同时考虑供应链成员利他偏好行为,探讨市场碳交易价格对制造商谎报行为的影响。

2.3 碳信息不对称研究

信息不对称现象在供应链中普遍存在,当企业拥有信息优势时,企业可以选择披露全部或者部分信息,也可以选择隐瞒信息或者谎报信息,从而获取更多的利润。

当企业拥有信息优势时,企业首先决策的是对信息是否进行披露,而对于供应链中信息披露的研究已经十分充足。Zhou 等^[47]分析了市场信息不对称背景下由主导制造商和零售商组成的供应链筛选模型,研究发现,制造商可根据零售商披露的需求信息来设定渠道价格。Feng 等^[48]在考虑产品退货的基础上对供应链中的制造商/零售商的质量披露策略进行研究,通过分析质量披露对退货率的影响,探讨了制造商/零售商在何种条件下会选择披露产品质量。研究发现,质量披露的激励取决于披露质量的水平,退货率的高低以及供应链中的退款和残值情况。Li 等^[49]通过分析制造商和零售商在市场信息不对称条件下,制造商如何通过设置合理的契约合同,从而获得零售商私有的市场信息。研究结果表明,当产品可替代性较强且需求不确定性较高时,共享信息的双部制关税合同能够更好地协调供应链,提升供应链的整体绩效。赵瑞娟等^[50]在考虑消费者产品体验到基础上,对信息披露以及信息不披露两种模式进行研究,通过分析双渠道供应链中制造商和零售商在信息披露与不披露两种模式下的定价策略,揭示了消费者体验和信息披露对供应链成员议价能力和收益的影响。研究结果表明,信息披露能够提升制造商的收益,并在一定程度上增强零售商的议价能力,但零售商的收益提升需要考虑披露成本,对信息披露以及信息不披露两种模式进行研究。邓力等^[51]分析了在双渠道供应链中,正版制造商在盗版产品存在时的定价和质量信息披露策略。研究结果表明,盗版产品的存在对制造商的定价和信息披露决策有显著影响,制造商在产品质量和披露成本满足一定条件下才会选择披露信息,而信息披露能够增强制造商的议价能力和收益。李嫣然等^[52]在企业进入新市场的基础上,考虑双寡头竞争市场,通过分析双寡头竞争市场中企业的产品定价与质量信息披露问题,揭示了信息不对称和信息共享对企业竞争策略的影响。研究发现,信息不对称可能削弱在位企业的先动优势,而新进入企业通过伪装或信息共享策略可能获得更高的市场收益。

在信息披露对供应链绩效影响方面,经有国等^[53]通过分析制造商和零售商在信息不对称条件下的动态博弈行为,揭示了信息披露和战略库存决策对供应链绩效的影响,研究发现,零售商的信息披露决策能够显著提高供应链的总体利润,而制造商始终倾向于选择动态定价契约以适应市场需求的变化关于碳信息披露方面的研究。仇小微等^[54]通过对能源企业碳绩效和碳信息披露的分析,揭示了碳信息披露对企业绩效的重要影响,研究结果表明,碳信息披露不仅能够提升企业的市场信任和品牌形象,还能通过透明的信息传递增强投资者和消费者的信心,进而提升企业的财务绩效。Lu 等^[55]在低碳约束的前提下,对碳信息披露对财务业绩的影响进行了研究,研究发现,碳信息披露能够促进碳排放低的企业财务业绩。高明华^[56]对企业碳信息披露存在的问题进行了研究,认为应该加大碳信息

公开力度。曹开颖等^[57]在碳交易机制的基础上,对产品碳排放与制造商授权选择之间的关系以及信息披露进行了研究。高婷^[58]选取 28 家上市造纸企业为样本,基于 2019—2020 年的财务报表数据,采用多元线性回归方法,从碳信息披露的视角探究影响造纸企业价值的因素对企业碳信息披露的影响,研究发现,企业披露负面消息会显著影响市场信心。

除了决策是否对信息进行披露,企业进一步的决策时还会考虑是否对信息进行谎报。贾鑫等^[59]分析了生鲜供应链商的谎报行为对农产品生鲜供应链最优决策的影响,并通过引入收益共享契约进行协调。研究发现,收益共享契约能够有效抑制生产商的谎报行为,优化供应链决策。周建亨等^[60]在销售量信息谎报的基础上对供应链的价格补贴契约策略进行了研究,揭示了在需求不确定的易逝性产品销售中,适度的信息不对称可能对供应链绩效产生积极影响。研究发现,阈值审计策略不仅能够缓解双重边际化效应,还能提高供应链的整体收益。赵士南等^[61]在双边成本信息谎报的基础上对供应链的定价决策进行了研究,通过建立双渠道供应链定价模型,分析了成本信息谎报行为对供应链定价决策和渠道成员收益的影响。研究表明,制造商和零售商的单方面或双边成本信息谎报行为会导致供应链定价和利润的显著变化。Yan 等^[62]通过建立零售商主导模式下制造商谎报的双渠道供应链模型,对供应链的定价决策以及制造商的谎报行为与客户价格敏感度之间的关系进行了研究。Qin 等^[63]通过建立以制造商为主导模式下的二级供应链模型,对制造商谎报成本信息以及零售商谎报公平关切信息下对供应链的影响进行讨论,研究强调了公平关注在缓解信息不对称问题中的重要作用。

除了对以上供应链中谎报行为的研究,还包括对于谎报碳信息的研究。金雁南等^[64]采用“信号”博弈的方法讨论需求信息不对称的结构下制造商和零售商的最优决策顺序,并推测市场需求信息,研究结果表明,决策顺序的选择取决于信息精确度的高低以及信号成本、先行者优势和后行者反应之间的权衡。杨磊等^[65]探究了碳信息不对称下供应链成员的谎报行为对供应链绩效的影响,并提出了通过收益共享契约优化供应链绩效的协调策略。徐伟等^[66]对制造商谎报碳信息对供应链的影响进行了研究,分析了碳信息不对称下供应链成员的谎报行为及其对供应链绩效的影响。研究结果表明,零售商的谎报行为虽然能提高其自身利润,但无法使供应链绩效达到最优。张令荣等^[67]对不同权力结构下制造商谎报产品碳排放量对供应链的影响进行研究,分析碳配额交易政策下闭环供应链中制造商的谎报行为,揭示了不同权力结构对制造商决策的影响及其对供应链绩效的负面影响。Yang 等^[68]通过 Stackelberg 博弈模型分析了不同碳政策下供应链成员的谎报行为及其对供应链绩效的影响。研究发现,零售商在拥有碳信息优势时倾向于低估其碳排放量,而制造商的谎报行为对供应

链绩效无显著影响。通过收益共享契约,供应链能够有效协调成员行为,激励零售商真实报告碳信息,从而优化供应链绩效。方穗^[69]将碳转移与谎报行为相结合,通过 Stackelberg 博弈模型,准确提炼了碳排放转移和谎报行为对供应链运营决策的影响机理。

从以上文献可以发现,当企业拥有信息优势时,有的企业会根据条件选择披露全部或者部分信息,而有的企业会根据条件进行隐瞒信息或者谎报信息。为了获取较高的市场份额,制造商对自身的碳减排信息进行谎报,从而对企业的定价、碳减排决策和供应链成员利润产生影响。因此,本课题在以上研究的基础上,研究主导者利他偏好下,制造商碳信息谎报对供应链整体以及环境效益的影响。

2.4 利他偏好行为研究

人们不是完全自私,而是带有利他主义。Levine^[70]通过实验经济学的方法,研究了利他主义在人群中的分布及其对经济行为的影响,研究结果表明,主体的收益不仅取决于自身的收入,还受到对手收入的影响,这种影响因人而异。通过分析实验数据,研究揭示了利他主义和恶意在人群中的分布,并用这一分布解释了多个经济实验的结果。此外,研究还指出,在某些市场博弈中,利他主义理论与利己主体理论可以做出相同的预测。

在利他偏好对供应链整体绩效与协调方面,王冬冬等^[71]分析了利他偏好对供应链成员决策和绩效的影响。研究发现,供应商的利他偏好对供应链的碳减排努力和经济效益有显著的积极影响,而零售商的利他偏好在一定条件下可能产生消极影响。何佳宁等^[72]在考虑多级供应链动态优化中加入了无私零售商,研究结果表明该模型在信息共享的深度上进一步放宽,同时在供应链总利润再分配方式上的要求有了一定的降低。翟佳等^[73]通过鲁棒优化研究了利他偏好下供应链的协调问题,并提出了基于回购契约的鲁棒协调策略,研究结果表明,鲁棒协调策略能够进一步优化供应链绩效并增强其稳健性。Wan 等^[74]分析了决策者的利他偏好和消费者的低碳偏好对环保酒店供应链的影响。研究发现,碳减排努力和利他偏好对供应链的经济效益有显著影响,且在不同的供应链模式下,这些因素的作用机制有所不同。

马德青等^[75]考虑供应链成员利他偏好为对制造商减排和定价决策的影响,研究表明制造商和零售商双方利他行为可实现供应链的帕累托改进。浦徐进等^[76]研究利他偏好对企业合作努力和生产努力的影响,进而考察整个供应链绩效的变化。该研究表明企业利他偏好的存在具有双赢的作用,并且上游供应商的利他偏好对供应链绩效的改进作用更大。李娜等^[77]分析了成员利他偏好对供应链绩效的影响,研究结果表明,供应商的利他偏好在供应链中具有主导作用,且其利他程度对供应链绩效有显著影响。通过合理控制供应商和制造商的利他偏好,可以优化供应链合作策略。葛齐齐等^[78]过构建三种定价决策模型,分析了利他偏好对

多渠道绿色供应链定价决策和利润的影响。孙玉玲等^[79]在鲜活农产品供应链中考察供应链成员具有利他偏好,结果表明双方同时具有利他偏好且保持在一定的范围内,该利他偏好可以提高供应链的效率。Huang 等^[80]研究了单一零售商与双重制造商之间的利他偏好,结果表明,三者利他偏好系数在某一阈值内,可以显著影响供应链成员的决策和利润,并且可以提高制造商减排积极性;郭志芳等^[81]通过分析绿色供应链中核心企业的利他偏好行为,揭示了利他行为对供应链融资决策和运营决策的积极影响,制造商的利他偏好能够优化利润分配,提升供应链的整体绩效,并促进绿色供应链的稳定发展。

在利他偏好对供应链成员行为影响方面,Xia 等^[82]在限额与交易机制下研究渠道成员利他偏好(由关系偏好和地位偏好构成)对碳减排和促销政策决策的影响,得出领导者不同会改变关系偏好和地位偏好对决策变量的影响。程茜等^[83]分析了利他偏好属性对供应链成员定价和减排决策的影响,研究发现,零售商的利他偏好在一定程度上能够促进制造商的减排努力,但合作意愿取决于零售商的利他偏好程度。制造商的利他偏好属性能够进一步提高其碳减排率。姚锋敏等^[84]同时考虑了政府补贴政策 and 电商平台的利他偏好行为对可追溯农产品供应链的影响,结果显示:电商平台的利他偏好有利于提高农产品供应链的可追溯能力、改善系统整体绩效。Shi 等^[85]通过建立 Stackelberg 博弈模型研究了利他主义行为对零售商和制造商在两种经典双渠道供应链中定价策略的影响,研究结果表明,产品的网络适应性对参与者的最优定价策略有显著影响:产品越适合在线市场,零售价格就越低,制造商的利润越高,而零售商的利润则越少。Ma 等^[86]发现零售商的公平关切行为能提高其在供应链中的讨价还价能力,且有利于降低供应链系统的回收成本。Li 等^[87]指出决策者的公平关切行为能提高其在供应链中获得的利润,且有利于促进供应链的健康发展。Chen^[88]以批发价格契约,分析利他行为对供应链政策和绩效的影响,研究表明,在批发价格契约下,零售商的完全利他偏好可以有效协调供应链。

通过对以上文献的分析,目前关于利他偏好的研究主要集中于信息完全对称的供应链中,然而,现实供应链运营决策中,信息不对称现象普遍存在。因此,本课题以低碳供应链为背景,考虑利他偏好行为对制造商碳减排决策、零售商销售努力水平、供应链成员利润以及社会福利的影响。

2.5 文献述评

上述研究探讨了,碳限额与交易机制对供应链最优决策、企业行为的影响,以及在碳限额与交易机制下,分析了其他政策和机制对供应链最优决策的交互影响。目前关于利他偏好的研究主要集中于信息完全对称的供应链中,然而,现实供应链运营决策中,信息不对称现

象普遍存在，供应链成员的利他行为与供应链间碳信息对称的问题的交互影响研究较少。因此，在现有研究的基础上，本文将基于碳限额与交易机制，从成本与需求的信息不对称转向研究初始碳排放量信息不对称问题，聚焦于考虑供应链成员利他偏好行为，探讨市场碳交易价格对制造商谎报行为的影响，进一步充实低碳供应链研究，推动低碳供应链研究的发展，使低碳供应链领域的研究更加趋近实际供应链运营，为实现健康可持续发展供应链、增强供应链稳定性与韧性提供理论支撑。

第3章 制造商主导下考虑利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策

3.1 模型描述与基本假设

3.1.1 模型描述

本章研究对象为一条由单一大型制造商（下文简称制造商）和单一零售商构成的两级低碳供应链。其中，制造商和零售商之间开展 Stackelberg 博弈，制造商是博弈的领导者，而零售商是博弈的追随者。在碳配额和交易机制下，制造商会从政府处获得免费的碳排放配额，政府根据制造商公布的初始碳排放量，按照比例 x 分配免费碳配额。制造商在既定的碳配额下进行生产与销售活动，同时进行碳减排投资，以减少生产过程中产生的碳排放，控制碳配额的使用，并通过碳交易市场交易剩余或不足的碳配额，单位碳配额的交易价格为 p_e 。供应链的决策顺序为：首先，领导者制造商决策单位产品的批发价 ω 和单位产品的减排水平 e ；接下来，追随者零售商根据制造商的决策，设定单位产品的零售价 p 。两者均以利润最大化为目标，分别以下标 m 和 r 表示制造商和零售商。供应链成员在决策过程中并非是完全理性的，鉴于供应链健康可持续发展的需要，作为供应链主导者的制造商通过利他偏好行为从供应链内部对零售商进行激励，假设制造商的利他偏好系数为 θ_m 。此外，本文假设市场上的消费者均具有低碳偏好，相对于传统商品来说，消费者愿意以更高的价格购买低碳产品。

在实际运营过程中，企业会存在私有信息，从而导致供应链成员间信息不对称的问题。在碳配额和交易机制下，制造商为了获得更多的碳配额或缓解企业减排成本压力，进一步提升自身利润水平，制造商对单位产品的初始碳排放量会存在虚假披露的情况。因此，本文考虑制造商谎报单位产品的初始碳排放量，假设谎报水平为 λ 。考虑到制造商谎报初始碳排放信息属于欺诈行为，不利于市场健康可持续发展，所以政府会对制造商的谎报行为进行干预，一旦发现制造商存在谎报行为，会给予制造商严厉的惩处。假设政府发现制造商谎报的概率为 s ，对制造商因谎报而获得的非法收入进行惩罚的倍数为 τ 。

3.1.2 基本假设

本文博弈模型的构建基于以下的基本假设：

假设 1 在低碳供应链中，单个生产销售周期内制造商 m 向零售商 r 提供单一产品，零售商负责产品的销售，供应链成员拥有私人信息并根据自身利益最大化的原则进行决策。

假设 2 单位产品的初始碳排放量为 e_0 ，制造商进行碳减排技术投资，单位产品的减排量为 e^j ，单位产品的最终碳排放量为 $e_0 - e^j$ 。消费者对单位产品碳排放量的敏感度为 β ，相

对于传统商品，消费者愿意以更高的价格购买低碳产品。市场需求受到减排水平和销售价格的综合影响，并与销售价格、单位产品的碳排放量负相关，遵照文献[85,86]的设置，将市场需求函数表示为 $D^j = \alpha - p^j - \beta(e_0 - e^j)$ 。

假设 3 碳排放仅存在产品生产过程中，不考虑运输、销售过程产生的碳排放量。制造商减排努力需要付出一定的成本，本文假设减排努力成本为 $C(e^j) = ke^2 / 2$ 。其中， $k > (p_e + \beta)^2 / 2$ 为减排努力成本系数， k 越大，表示减排的困难程度越大。随着单位产品减排量的增加，减排努力成本递增，且减排的边际努力成本也递增^[91-93]。制造商的可制造能力足够大，可满足市场的全部需求，并且制造商的生产量与市场需求量相等。

假设 4 碳限额与交易机制下，政府根据制造商公布的单位产品初始碳排放量 e_0 ，按照比例 x 分配单位产品碳配额 xe_0 。当制造商实际的单位产品碳排放量超过分配的碳配额时，需从外部碳交易市场购买额外的碳配额。否则，制造商可以出售剩余的碳配额以获得额外的收入。企业获得免费配额仅在单周期内使用，未使用的额度不能累计到下一周期。目前碳交易市场交易量较多，本文仅考虑单制造商的碳交易，故认为碳交易市场上单位配额价格恒定为 p_e ^[94]。

本章涉及的模型符号及含义具体见表 3-1：

表 3-1 制造商主导下模型符号及含义

参数	符号说明	τ	单位非法收入的惩罚倍数，
x	政府分配的免费碳配额比例	决策变量	符号说明
α	低碳产品的潜在市场需求	e_{1g}^j	制造商主导下模型 j 中 g 情形单位产品的碳减排量
β	消费者的碳排放敏感系数， $0 \leq \beta \leq 1$	α_{1g}^j	制造商主导下模型 j 中 g 情形单位产品的批发价格
e_0	单位产品初始碳排放量	p_{1g}^j	制造商主导下模型 j 中 g 情形单位产品销售价格
k	碳减排成本系数	函数	符号说明
θ_m	制造商利他偏好系数， $0 \leq \theta_m \leq 1$	π_{1mg}^j	制造商主导下模型 j 中 g 情形制造商的利润函数
λ	制造商初始碳排放量谎报系数， $\lambda \geq 0$	π_{1rg}^j	制造商主导下模型 j 中 g 情形零售商的利润函数
s	政府发现制造商谎报的概率， $0 \leq s \leq 1$	U_{1ig}^j	制造商主导下模型 j 中 g 情形 i 的效用函数
p_e	单位碳配额的市场交易价格	TCE_{1g}^j	制造商主导下模型 j 中 g 情形总碳排放量

其中： $j = AN, AM, AR$ 分别表示利他偏好下制造商无谎报、谎报无惩罚、谎报有惩罚， $i = m, r$ 分别表示“制造商和零售商”， $g = o, v$ 分别表示“无政府惩罚、有政府惩罚”， $v = H, L$ 分别表示“制造商高报、制造商低报”。

3.2 模型构建与求解

3.2.1 无谎报情形(AN 模型)

本节考虑由具有利他偏好的制造商主导的低碳供应链，制造商先决定单位产品的批发价 ω_{1o}^{AN} 和碳减排水平 e_{1o}^{AN} ，零售商再决定单位产品的零售价 p_{1o}^{AN} 。制造商和零售商考虑自身利润最大化进行决策。该情形下，供应链中所有信息均是对称的，制造商会如实公布生产单位低碳产品初始碳排放量和减排水平。在 Stackelberg 博弈下，市场需求、制造商和零售商的收益函数分别为：

$$D_{1o}^{AN} = \alpha - p_{1o}^{AN} - \beta(e_o - e_{1o}^{AN}) \quad (3-1)$$

$$\pi_{1mo}^{AN} = \omega_{1o}^{AN} D_{1o}^{AN} - ((e_o - e_{1o}^{AN}) D_{1o}^{AN} - x e_o D_{1o}^{AN}) p_e - k(e_{1o}^{AN})^2 / 2 \quad (3-2)$$

$$\pi_{1ro}^{AN} = (p_{1o}^{AN} - \omega_{1o}^{AN}) D_{1o}^{AN} \quad (3-3)$$

当制造商主导时，制造商获得比零售商更高的利润，在考虑制造商利他偏好属性时，存在供应链成员优势不对等的情况。因此本文根据 Charness 等^[95]，引入制造商的效用函数。假设制造商此时的效用函数为制造商和零售商利润的加权和，权重为 1。制造商在考虑利他偏好时，需保证自身利润始终大于零售商利润。故此时制造商的效用函数可表示为：

$$\begin{cases} U_{1mo}^{AN} = \theta_m \pi_{1ro}^{AN} + (1 - \theta_m) \pi_{1mo}^{AN} \\ s.t. \pi_{1mo}^{AN} \geq \pi_{1ro}^{AN} \end{cases} \quad (3-4)$$

其中， θ_m 为利他偏好系数。根据 Cui 等^[96]的分析研究，利他偏好系数 θ_m 设为(0,1)，利他偏好系数表示为制造商对零售商的关心程度，所以 θ_m 值越大，利他偏好越强。

运用逆向归纳法求解上述 AN 模型，得到如下结论：

定理 3-1 当 $0 < \theta_m < (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2)$ 时，AN 模型的均衡解及供应链成员利润为：

$$\begin{aligned} e_{1o}^{AN*} &= \frac{(p_e + \beta)(\theta_m - 1)\chi_1^{AN}}{\rho_1}, \quad D_{1o}^{AN*} = \frac{k(\theta_m - 1)\chi_{1o}^{AN}}{\rho_1}, \\ \pi_{1mo}^{AN*} &= \frac{k(\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))(\chi_1^{AN})^2}{2\rho_1^2}, \quad \pi_{1ro}^{AN*} = \frac{k^2(\theta_m - 1)^2(\chi_1^{AN})^2}{\rho_1^2}. \text{ 其中} \\ \chi_1^{AN} &= \alpha - e_o(p_e(1 - x) + \beta), \quad \rho_1 = 2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1). \end{aligned}$$

由定理 3-1 可得，在碳限额与交易政策下，政府分配的碳配额对市场需求，供应链成员利润都存在影响。对于制造商而言，为了从政府方面获得较多的免费碳配额，通常会选择高报单位低碳产品的初始碳排放量。然而，若为了提高市场需求，制造商则需要低报单位低碳产品的初始碳排放量，来吸引市场上具有低碳偏好的消费者。因此，本文将进一步研究制造商的谎报决策，分析其在何种情况下选择高报或低报，以及谎报行为可能产生的负面影响。

3.2.2 谎报无惩罚情形(AM 模型)

由 3.2.1 节的分析可得，制造商为了获取更高的收益，存在低报和高报单位低碳产品初始碳排放量的动机。因此，本节在考虑制造商利他偏好的同时进一步探究其谎报行为对低碳供应链最优决策的影响。与 3.2.1 建模方法一致，在碳限额与交易机制下，制造商作为低碳供应链的主导者，对供应链其他成员具有利他偏好，零售商作为低碳供应链的追随者，进行碳减排努力投资。制造商决定 ω_{10}^{AM} 和 e_{10}^{AM} ，零售商决定 p_{10}^{AM} 。为了获得较高的收益，制造商谎报单位产品的初始碳排放量 e_0 ，假设谎报水平为 $\lambda(\lambda > 0)$ 。因此，市场需求、供应链成员收益函数表达式为：

$$D_{10}^{AM} = \alpha - p_{10}^{AM} - \beta(\lambda e_0 - e_{10}^{AM}) \quad (3-5)$$

$$\pi_{1mo}^{AM} = \omega_{10}^{AM} D_{10}^{AM} - ((e_0 - e_{10}^{AM}) D_{10}^{AM} - x \lambda e_0 D_{10}^{AM}) p_e - k(e_{10}^{AM})^2 / 2 \quad (3-6)$$

$$\pi_{1ro}^{AM} = (p_{10}^{AM} - \omega_{10}^{AM}) D_{10}^{AM} \quad (3-7)$$

此时制造商效用函数的表达式应为：

$$\begin{cases} U_{1mo}^{AM} = \theta_m \pi_{1ro}^{AM} + (1 - \theta_m) \pi_{1mo}^{AM} \\ s.t. \pi_{1mo}^{AM} \geq \pi_{1ro}^{AM} \end{cases} \quad (3-8)$$

运用逆向归纳法求解上述 AM 模型，得到如下结论：

定理 3-2 当 $0 < \theta_m < (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2)$ 时，AM 模型的均衡解及供应链成员利润为：

$$\begin{aligned} e_{10}^{AM*} &= \frac{(p_e + \beta)(\theta_m - 1)\chi_{10}^{AM}}{\rho_1}, \quad D_{10}^{AM*} = \frac{k(\theta_m - 1)\chi_{10}^{AM}}{\rho_1}, \\ \pi_{1mo}^{AM*} &= \frac{k(\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))(\chi_{10}^{AM})^2}{2\rho_1^2}, \quad \pi_{1ro}^{AM*} = \frac{k^2(\theta_m - 1)^2(\chi_{10}^{AM})^2}{\rho_1^2}。其中 \\ \chi_{10}^{AM} &= \alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda)。 \end{aligned}$$

由于 AN 模型下的最优决策与 AM 模型下的最优决策方向性一致，因此，本文仅针对 AN 模型下的最优解进行敏感性分析。通过计算可得以下命题：

命题 3-1 通过求解 AM 模型的最优解关于制造商谎报系数的一阶导数可得：(1) 若 $p_e > \beta/x$ ，则有 $\partial \pi_{1mo}^{AM*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial \pi_{1ro}^{AM*} / \partial \lambda > 0$ ， $\partial D_{1o}^{AM*} / \partial \lambda > 0$ ， $\partial e_{1o}^{AM*} / \partial \lambda > 0$ ；(2) 若 $p_e \leq \beta/x$ ，则有 $\partial \pi_{1mo}^{AM*} / \partial \lambda \geq 0$ ， $\partial \pi_{1ro}^{AM*} / \partial \lambda \leq 0$ ， $\partial D_{1o}^{AM*} / \partial \lambda \leq 0$ ， $\partial e_{1o}^{AM*} / \partial \lambda < 0$ 。

根据命题 3-1 可得，谎报系数对市场需求及供应链成员的最优决策具有显著影响，与碳交易市场单位碳配额交易价格紧密相关。具体来说，当单位碳配额交易价格大于某一阈值时，制造商利润与谎报系数呈负相关，与零售商利润、市场需求和制造商单位产品的碳减排水平呈正相关；当单位碳配额交易价格小于某一阈值时，制造商利润与谎报系数呈正相关，与零售商利润、市场需求和制造商单位产品的碳减排水平呈负相关。该阈值受到政府分配碳配额比例和消费者碳排放敏感系数影响。

制造商对产品的初始碳排放量进行谎报，以期吸引市场上具有低碳偏好的消费者，获得更多的市场份额，从而增加自身的利润。在碳配额交易价格较高时，制造商需要额外购买的碳排放权成本增加，低报产品的初始碳排放量，可以使谎报后产品的碳排放量减少，增加市场需求，零售商利润也会随之增加。在此情况下，制造商一方面，可以减少碳排放权的额外支出，另一方面，可以使产品表现得“更低碳”的状态。因此，制造商更倾向低报产品的初始碳排放量。在碳排放权交易价格较低时，单位碳排放成本降低，制造商选择高报产品的初始碳排放，可以从政府获得较高的碳排放权，通过碳交易增加自身收入。

命题 3-2 (1) 当 $p_e > \beta/x$ 时：若 $0 \leq \lambda < 1$ ，则有 $D_{1o}^{AM*} < D_{1o}^{AN*}$ ， $e_{1o}^{AM*} < e_{1o}^{AN*}$ ， $\pi_{1mo}^{AM*} < \pi_{1mo}^{AN*}$ ， $\pi_{1ro}^{AM*} < \pi_{1ro}^{AN*}$ ；若 $\lambda \geq 1$ ，则有 $D_{1o}^{AM*} \geq D_{1o}^{AN*}$ ， $e_{1o}^{AM*} \geq e_{1o}^{AN*}$ ， $\pi_{1mo}^{AM*} \geq \pi_{1mo}^{AN*}$ ， $\pi_{1ro}^{AM*} \geq \pi_{1ro}^{AN*}$ 。(2) 当 $p_e < \beta/x$ 时：若 $0 \leq \lambda < 1$ ，则有 $D_{1o}^{AM*} > D_{1o}^{AN*}$ ， $e_{1o}^{AM*} > e_{1o}^{AN*}$ ， $\pi_{1mo}^{AM*} > \pi_{1mo}^{AN*}$ ， $\pi_{1ro}^{AM*} > \pi_{1ro}^{AN*}$ ；若 $\lambda \geq 1$ ，则有 $D_{1o}^{AM*} \leq D_{1o}^{AN*}$ ， $e_{1o}^{AM*} \leq e_{1o}^{AN*}$ ， $\pi_{1mo}^{AM*} \leq \pi_{1mo}^{AN*}$ ， $\pi_{1ro}^{AM*} \leq \pi_{1ro}^{AN*}$ 。

根据命题 3-2 可得，制造商谎报行为对市场需求、供应链最优决策的影响不仅与制造商本身谎报决策有关，还受到市场碳配额交易价格、消费者低碳偏好系数及政府碳配额比例的影响。具体而言，当市场碳配额的交易价格 $p_e > \beta/x$ 时，制造商低报单位产品初始碳排放量将会对供应链成员收益产生负面影响；相反，如果制造商高报单位产品初始碳排放将会更有利益单位产品的碳减排投资水平及供应链成员收益最大化。当市场碳配额的交易价格 $p_e < \beta/x$ 时，制造商仅仅在低报单位产品初始碳排放时，才会对供应链成员收益产生正面影响，否则将会使供应链成员收益减少。

当市场上碳配额的交易价格较高时，如果制造商选择低报，那么为了满足减排要求，制造商需要在市场上购买额外的高价碳配额，这将导致制造商的利润降低，制造

商在承担碳减排责任下，高额的减排成本将会抑制制造商进行碳减排的积极性，从而弱化市场上具有低碳偏好消费者的购买力，市场需求的减少，会进一步降低下游零售商的收益。因此，在此情形制造商以收益最大化将会选择高报单位产品初始碳排放量。

反之，在碳配额的交易价格较低时，制造商选择低报，尽管获得的免费碳配额减少，但可以通过较低成本的市场交易来满足碳减排需求，不仅减排成本较低，购买碳配额的成本也会相应下降。所以该情形下，低报对供应链成员收益更有利。

综上所述，制造商的谎报决策将直接影响供应链成员的收益情况。制造商在制定相关策略时，会综合考虑市场碳配额的交易价格、消费者碳排放敏感系数等因素，以期获得收益最大化。而对于下游零售商来说，其收益会因制造商谎报行为影响市场需求而产生显著影响。

由命题 3-2，我们可以得到，虽然制造商的谎报决策，可以在一定范围内给供应链成员的带来较乐观的收益，但其本质上是属于欺诈行为，将会给社会带来较多的负面影响。因此，本文以制造商谎报后总的碳排放量为评价指标，分析制造商的谎报行为可能造成的不良后果。制造商总的碳排放量可表示为 $TCE = (e_0 - e^{j*})D^{j*}$ 。由于总的碳排放量均衡解表达式较为复杂，此处将通过数值模拟的方式来进行对比。参考文献[10]的参数设置，在满足前文要求的约束条件下，为不失一般性，本文令 $\alpha = 15$, $k = 5$, $e_0 = 6$, $\beta = 0.4$, $\theta = 0.2$, $x = 0.25$ ，分别以 $p_e = 2$, $p_e = 1$ ，即满足 $p_e > \beta/x$ 和 $p_e < \beta/x$ 为例，得到总的碳排放量随着谎报系数变化的趋势如图 3-1 所示：

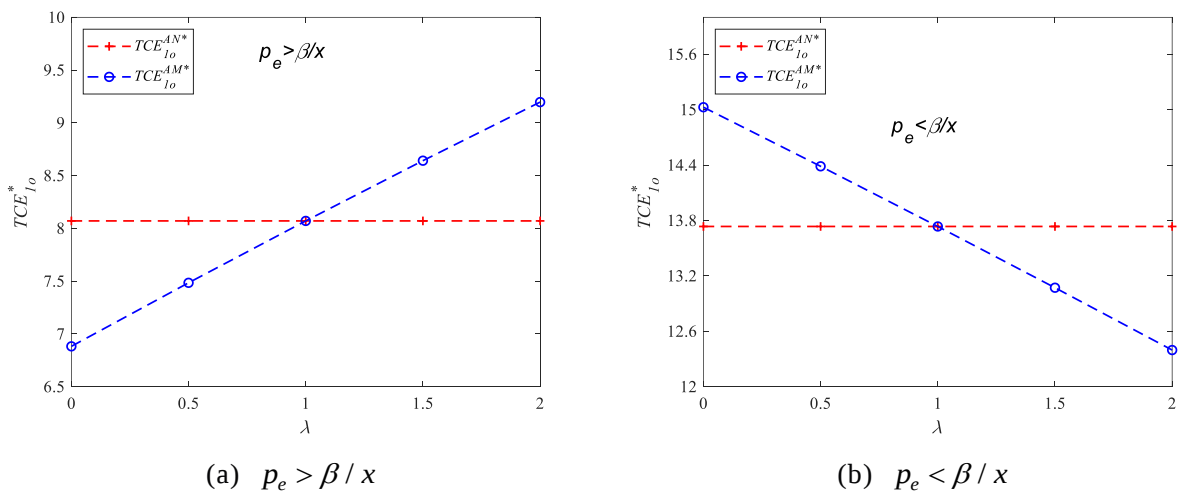


图 3-1 谎报水平对总的碳排放量的影响

根据图 3-1 可以看出，当 $p_e > \beta/x$ 时，此时制造商低报会使总的碳排放量变少，高报则会使总的碳排放量增多；当 $p_e < \beta/x$ 时，此时制造商高报会使总的碳排放量变多，低报会使

总的碳排放量减少。由命题 3-1 和命题 3-2 可知, 制造商的谎报行为受到市场单位碳配额交易价格等因素的影响。当 $p_e > \beta / x$ 时, 制造商的利润与谎报水平正相关, 此时制造商高报对利润更有利; 当 $p_e < \beta / x$ 时, 制造商的利润与谎报水平负相关, 此时制造商会尽可能进行低报, 以期获得更多的利润。因此, 根据市场碳配额交易价格的变化, 制造商的谎报决策都将使产品总的碳排放量增加, 不仅不会响应碳减排号召, 反而对环境负面影响进一步加剧。

综上所述, 在制造商利他偏好的基础上, 制造商谎报行为虽然可以使其获得更高的收益, 但同时也会对环境造成严重的负面影响。因此, 政府应当建立健全相关法律法规, 对制造商的谎报行为进行抑制, 避免该欺诈行为的产生, 从而实现低碳供应链健康可持续发展的目标。本文针对上述分析结果, 就制造商谎报产品初始碳排放量的行为开展进一步研究, 考虑政府制定相关惩罚措施, 抑制制造商谎报行为, 以减少产品总的碳排放量。

3.2.3 谎报有惩罚情形(AR 模型)

由 3.2.1 节和 3.2.2 节可知, 在制造商主导的低碳供应链中, 当制造商的利他偏好满足一定条件时, 制造商基于利润最大化目标进行碳减排决策会出现谎报行为。虽然碳信息谎报行为有利于企业增加利润, 但同时环境的负面影响会进一步加剧。结合上述情形, 本节将进一步探讨具有利他偏好制造商主导的低碳供应链的最优决策, 同时考虑制造商谎报行为和政府制定相关惩罚措施, 来抑制制造商的谎报行为。假设制造商谎报单位产品初始碳排放量被政府发现的概率为 s , 当政府发现制造商谎报时会对其谎报获得的非法收入进行惩罚, 单位非法收入的惩罚倍数为 τ 。此时市场需求函数表达式为:

$$D_{lv}^{AR} = \alpha - p_{lv}^{AR} - \beta(\lambda e_0 - e_{lv}^{AR}) \quad (3-9)$$

政府针对制造商谎报行为制定相应的惩罚措施, 以此抑制制造商的谎报行为。如果制造商的碳信息谎报行为发生, 但政府并没有察觉到, 则制造商的利润为 π_{1mo}^{AM} 。如果制造商选择谎报, 且被政府发现其谎报行为, 制造商的利润可被分为两种情形: (1) 制造商高报: $\pi_{1mo}^{AM} - \tau(\lambda - 1)x e_0 p_e D_{lo}^{AM}$; (2) 制造商低报: $\pi_{1mo}^{AM} - \tau(1 - \lambda)x e_0 p_e D_{lo}^{AM}$ 。

因而, 制造商的利润函数可分为高报和低报情形下:

$$\pi_{1mH}^{AR} = (1 - s)\pi_{1mo}^{AM} + s(\pi_{1mo}^{AM} - \tau(\lambda - 1)x e_0 p_e D_{lo}^{AM}) \quad (3-10)$$

$$\pi_{1mL}^{AR} = (1 - s)\pi_{1mo}^{AM} + s(\pi_{1mo}^{AM} - \tau(1 - \lambda)x e_0 p_e D_{lo}^{AM}) \quad (3-11)$$

零售商的收益函数为:

$$\pi_{lv}^{AR} = (p_{lv}^{AR} - \omega_{lv}^{AR})D_{lv}^{AR} \quad (3-12)$$

此时制造商的效用函数表达式为:

$$\begin{cases} U_{1mv}^{AR} = \theta_m \pi_{1rv}^{AR} + (1 - \theta_m) \pi_{1mv}^{AR} \\ \text{s.t. } \pi_{1mv}^{AR} \geq \pi_{1rv}^{AR} \end{cases} \quad (3-13)$$

运用逆向归纳法求解上述 AR 模型，得到如下结论：

定理 3-3 当 $0 < \theta_m < (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2)$ 时，AR 模型的均衡解及供应链成员利润表示为：

当制造商高报时：

$$\begin{aligned} e_{1H}^{AR*} &= \frac{(p_e + \beta)(\theta_m - 1)\chi_{1H}^{AR}}{\rho_1}, \quad D_{1H}^{AR*} = \frac{k(\theta_m - 1)\chi_{1H}^{AR}}{\rho_1}, \\ \pi_{1mH}^{AR*} &= \frac{k(\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))(\chi_{1H}^{AR})^2}{2\rho_1^2}, \quad \pi_{1rH}^{AR*} = \frac{k^2(\theta_m - 1)^2(\chi_{1H}^{AR})^2}{\rho_1^2}. \end{aligned}$$

其中 $\chi_{1H}^{AR} = \alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda + sxp_e(\lambda - 1)\tau)$ 。

当制造商低报时：

$$\begin{aligned} e_{1L}^{AR*} &= \frac{(p_e + \beta)(\theta_m - 1)\chi_{1L}^{AR}}{\rho_1}, \quad D_{1L}^{AR*} = \frac{k(\theta_m - 1)\chi_{1L}^{AR}}{\rho_1}, \\ \pi_{1mL}^{AR*} &= \frac{k(\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))(\chi_{1L}^{AR})^2}{2\rho_1^2}, \quad \pi_{1rH}^{AR*} = \frac{k^2(\theta_m - 1)^2(\chi_{1L}^{AR})^2}{\rho_1^2}. \end{aligned}$$

其中 $\chi_{1L}^{AR} = \alpha - e_0(\beta\lambda - p_e(x(s\tau(\lambda - 1) + \lambda - 1)))$ 。

3.3 敏感性分析

令 AM 模型均衡解中的谎报系数 $\lambda = 1$ ，即可得到 AN 模型的均衡解，因而下文只对 AM 模型和 AR 模型进行比较。考虑到总的碳排放量表达式较为复杂，难以直接比较，下文将进行数值模拟分析。

命题 3-3 制造商利他下：(1) 若 $0 < \theta_m < (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2)$ ，则有 $\pi_{1rv}^{j*} > \pi_{1mv}^{j*}$ ；若 $\theta_m = (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2)$ ，则有 $\pi_{1rv}^{j*} = \pi_{1mv}^{j*}$ 。(2) 若 $0 < \theta_m \leq (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2)$ ，则有 $\partial D_{1v}^{j*} / \partial \theta_m > 0$ ， $\partial e_{1v}^{j*} / \partial \theta_m > 0$ ， $\partial \pi_{1mv}^{j*} / \partial \theta_m < 0$ ， $\partial \pi_{1rv}^{j*} / \partial \theta_m > 0$ 。其中， $j = AN, AM, AR$ 。

由命题 3-3 可知，制造商的利他偏好会影响供应链成员的利润水平。具体来说，制造商的利润与利他偏好系数负相关，而零售商利润、市场需求和单位产品的碳减排量与利他偏好系数正相关。

为了推动供应链的稳定和可持续发展，作为供应链中的主导者，制造商在决策时展现出

利他主义的社会属性。对于制造商而言，利他主义意味着一种牺牲自身利益来帮助供应链其他成员的让利行为。因此，随着制造商利他偏好程度的增加，其自身的利润水平会降低，而零售商，所获得的利润则会增加。当利他偏好系数达到某一特定值时，供应链中所有成员的利润水平将趋于相等。制造商的利他行为使得自身利润下降，为了同时兼顾利他行为及自身收益最大化，此时制造商需要进一步提高产品的碳减排投资水平，提高产品市场竞争力，从而获得更多的市场份额。因此，利他偏好行为虽然一定程度上使得制造商利润受损，但一方面可以提高供应链系统整体的稳定性，实现可持续发展目标，另一方面，可以提高单位产品的碳减排水平，优化市场环境朝着绿色可持续发展目标迈进。

命题 3-4 对于 AR 模型，制造商高报初始碳排放量有：(1) 当 $p_e > \beta/x$ 时：若 $s > (xp_e - \beta)/xp_e \tau$ ，则有 $\partial D_{1H}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial e_{1H}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial \pi_{1mH}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial \pi_{1rH}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ；若 $0 < s \leq (xp_e - \beta)/xp_e \tau$ ，则有 $\partial D_{1H}^{AR*} / \partial \lambda \geq 0$ ， $\partial e_{1H}^{AR*} / \partial \lambda \geq 0$ ， $\partial \pi_{1mH}^{AR*} / \partial \lambda \geq 0$ ， $\partial \pi_{1rH}^{AR*} / \partial \lambda \geq 0$ 。(2) 当 $p_e \leq \beta/x$ 时， $\partial D_{1H}^{AR*} / \partial \lambda \leq 0$ ， $\partial e_{1H}^{AR*} / \partial \lambda \leq 0$ ， $\partial \pi_{1mH}^{AR*} / \partial \lambda \leq 0$ ， $\partial \pi_{1rH}^{AR*} / \partial \lambda \leq 0$ 。

根据命题 3-4，可以得到，在加入政府惩罚措施后，制造商的谎报系数对供应链成员收益、市场需求及单位产品碳减排量的影响不仅与市场碳配额交易价格有关，还受到政府监管水平的影响。具体而言，当市场碳配额交易价格高于某一阈值且政府此时实施较严格的监督惩罚措施时，或市场碳配额交易价格小于某一阈值时，制造商对初始碳排放的高报水平与市场需求、碳减排水平、供应链成员收益呈负相关，当市场碳配额交易价格高于某一阈值且政府此时实施的监督惩罚措施较为宽松，制造商对初始碳排放的高报水平与市场需求、碳减排水平、供应链成员收益呈正相关。

当市场碳配额价格较高，且政府严厉监管制造商谎报行为时，制造商进行谎报的风险会逐渐增加。随着谎报水平的上升，单位产品的初始碳排放量增加，尽管政府按一定比例分配的碳配额量也在增加，但是制造商依旧需要进行碳减排投资以迎合具有低碳偏好的消费者。此时制造商高报将会面临相对较高的碳减排和购买碳配额的成本压力，因此利润将会下降。由于高成本的惩罚和碳减排费用，制造商将会将转嫁部分成本至批发价，从而减少市场需求，零售商利润也会因此下降。如果政府对制造商的谎报行为监管不严时，随着制造商谎报系数的增加，制造商的非法收益将会逐渐大于碳减排成本支出。因此，制造商会获得较高的收益，在收益较乐观的情况下，制造商可以进一步进行碳减排投资，提高单位产品的碳减排量，以此来获得更高的市场需求，零售商作为制造商的下游分销商，更低碳的产品将会拥有更多的市场份额。因此，零售商的收益也会逐渐增加。

当市场碳配额价格较低时, 制造商进行碳配额交易的成本较低, 此时制造商高报产品初始碳排放量的动机减弱, 无论政府监管力度如何, 制造商的高报行为都会让其承担更多的惩罚和减排成本。因此, 该情形下制造商的高报行为都与供应链成员利润、市场需求、单位产品碳减排量负相关。

命题 3-5 对于 AR 模型, 制造商低报初始碳排放量有: (1) 当 $p_e > \beta/x$ 时, 若 $s > (\beta - xp_e)/xp_e\tau$, 则有 $\partial D_{1L}^{AR*}/\partial\lambda > 0$, $\partial e_{1L}^{AR*}/\partial\lambda > 0$, $\partial \pi_{1mL}^{AR*}/\partial\lambda > 0$, $\partial \pi_{1rL}^{AR*}/\partial\lambda > 0$; 若 $0 < s \leq (\beta - xp_e)/xp_e\tau$, 则有 $\partial D_{1L}^{AR*}/\partial\lambda \leq 0$, $\partial e_{1L}^{AR*}/\partial\lambda \leq 0$, $\partial \pi_{1mL}^{AR*}/\partial\lambda \leq 0$, $\partial \pi_{1rL}^{AR*}/\partial\lambda \leq 0$ 。(2) 当 $p_e \leq \beta/x$, 则有 $\partial D_{1L}^{AR*}/\partial\lambda \geq 0$, $\partial e_{1L}^{AR*}/\partial\lambda \geq 0$, $\partial \pi_{1mL}^{AR*}/\partial\lambda \geq 0$, $\partial \pi_{1rL}^{AR*}/\partial\lambda \geq 0$ 。

由命题 3-5 可得, 当碳配额交易价格较低或碳配额交易价格较高且政府的监管措施较严格时, 制造商的低报水平与市场需求、碳减排水平以及供应链成员收益呈正相关; 当碳配额交易价格较高且政府的监管措施较宽松时, 制造商的低报水平与市场需求、碳减排水平以及供应链成员收益呈负相关。

当碳交易价格较低时, 制造商低报水平越高, 说明制造商需要从碳交易市场购买的碳配额量越高, 此时制造商需要付出较高的成本购买碳配额以满足市场上具有低碳偏好的消费者, 在减排和购碳配额的双重成本压力下, 制造商以收益最大化为目标, 将减少碳减排投资水平, 市场需求也会随之下降, 供应链成员收益降低。当碳交易价格较高时, 此时政府的监管措施较严, 制造商进行谎报的风险增加, 因此, 该情形下进行低报并不利于市场以及供应链成员的健康发展。在政府监管措施较为宽松时, 制造商谎报风险降低, 一方面可以以更低的价格购买碳配额, 另一方面以较低的减排成本可以达到减排目标, 因此该情形下, 制造商低报对供应链更有利。

由定理 3-3 可得, 政府监管措施的加入, 将改变供应链成员的最优决策。政府监管措施通过影响制造商的谎报行为, 从而影响到整体供应链的决策结果。因此, 本文通过比较制造商低报和高报初始碳排放量两种情形, 得出以下命题。

命题 3-6 若制造商低报, 即 $\lambda < 1$, 则有 $D_{1L}^{AR*} < D_{1o}^{AM*}$, $e_{1L}^{AR*} < e_{1o}^{AM*}$; (2) 当 $0 < \tau < \bar{\tau}_1$ 时, $\pi_{1mL}^{AR*} > \pi_{1mo}^{AM*}$, $\pi_{1rL}^{AR*} > \pi_{1ro}^{AM*}$; 当 $\tau \geq \bar{\tau}_1$ 时, $\pi_{1mL}^{AR*} \leq \pi_{1mo}^{AM*}$, $\pi_{1rL}^{AR*} \leq \pi_{1ro}^{AM*}$ 。其中, $\bar{\tau}_1 = 2\chi_1^{AM}/(1-\lambda)sxe_0p_e$ 。

由命题 3-6 可得, 制造商低报单位产品初始碳排放量, 政府的惩罚措施会降低产品的市场需求量, 也会一定程度上降低制造商的碳减排积极性; 当政府对制造商因谎报而获得的非

法收入惩罚倍数较低时，监管措施会进一步提高供应链成员的收益，当惩罚倍数较高时，监管措施会降低供应链成员的收益。具体来说，政府的监管措施会抑制制造商进行谎报的动机，从而会失去一部分因谎报而获得的市场需求。制造商低报单位产品的初始碳排放量，获得的政府免费碳配额变少，为了维持较可管的市场份额，制造商需进一步进行减排投资，所以单位产品的碳减排水平上升。当政府的惩罚力度较小时，惩罚措施迫使制造商提高产品售价来保证自身收益最大化，零售商作为制造商的追随者也会提高产品的市场零售价，因此惩罚措施下供应链成员的收益大于谎报情形下供应链成员的收益。

从上述分析中我们可以得出，政府的监管措施并非总是对企业产生负面影响。在特定情况下，这些措施反而能够为企业带来积极的经济和环境效益。结合上文命题 3-2，我们可以进一步发现，当制造商选择低报时，其产生的总的碳排放量还受到市场碳配额交易价格的影响。因此，政府应当根据不同类型的企业，明确各行业的初始碳排放量标准，并结合当前市场碳配额的交易价格，制定和完善相应的法律法规。政府还应重点对所披露的初始碳排放量低于行业标准的企业进行严格审查，以确保市场环境的健康和可持续发展。通过这样的措施，可以有效地促进企业提高碳排放数据的透明度和准确性，同时激励企业采取更为环保的生产方式，为实现绿色经济做出贡献。

命题 3-7 若制造商高报，即 $\lambda > 1$ ，则有：(1) $D_{1H}^{AR*} < D_{1o}^{AM*}$ ， $e_{1H}^{AR*} < e_{1o}^{AM*}$ ；(2) 当 $0 < \tau < \bar{\tau}_2$ 时， $\pi_{1mH}^{AR*} < \pi_{1mo}^{AM*}$ ， $\pi_{1rH}^{AR*} < \pi_{1ro}^{AM*}$ ；当 $\tau \geq \bar{\tau}_2$ 时， $\pi_{1mH}^{AR*} \geq \pi_{1mo}^{AM*}$ ， $\pi_{1rH}^{AR*} \geq \pi_{1ro}^{AM*}$ 。其中， $\bar{\tau}_2 = 2\chi_1^{AM} / (\lambda - 1)sxe_0p_e$ 。

根据命题 3-7 可得，制造商选择高报单位产品初始碳排放量情形下，政府此时采取惩罚监督措施，会减少市场产品的需求量，同时也会抑制单位产品的减排水平；当政府对制造商非法收入的惩罚倍数小于某一阈值时，惩罚措施将会对供应链成员收益造成负面影响，当政府对制造商非法收入的惩罚倍数大于某一阈值时，政府的监管手段，反而会更加供应链成员的收益。与命题 3-5 相似，惩罚措施会抑制制造商的谎报积极性，从而会失去一部分因谎报而获得的市场需求。在制造商高报单位产品初始排放量情形下，政府的惩罚措施会使制造商的成本压力变大，因此单位产品的碳减排水平会下降。在政府的惩罚倍数较小时，由于制造商通过高报可获得更高的碳配额，可通过碳配额交易获得一部分收益，制造商不会选择大幅度提高产品售价，零售商也不会选择大幅提高产品的批发价，因此供应链成员收益在惩罚和减排的双重成本下会出现下降的情况。在政府惩罚倍数较大时，此时供应链成员通过提高产品售价的方式，维持自身较高的收益。虽然此时政府采取的惩罚措施较为严格，但是供应链

成员的收益依旧会上升。

通过以上分析，我们可以得到：政府采取的惩罚措施，对制造商的影响不同，在制造商选择低报和高报时会出现不同的结果。然而，政府作为市场秩序的法规制定和执行者，需要明确企业在何种情况下会高报？在何种情况下会低报？在完全经济人假设下，通过对制造商谎报与不谎报情形下的收益进行对比，可得到制造商的谎报决策。根据命题 3-2，可以得到：在碳配额价格较高时，制造商会选择高报；在碳配额价格较低时，制造商会选择低报。

进一步分析，在政府采取惩罚措施后，是否能有效抑制制造商的谎报行为？因此，本章对不同碳配额交易价格下制造商不同谎报行为的收益与惩罚措施下制造商的收益进行对比。可得以下命题：

命题 3-8 (1) 当 $p_e \geq \beta/x$ ， $\lambda > 1$ 时，若 $0 < s\tau < \sigma_1$ ，则 $\pi_{mH}^{AR*} > \pi_m^{AN*}$ ；若 $s\tau \geq \sigma_1$ ， $\pi_{mH}^{AR*} \leq \pi_m^{AN*}$ 。(2) 当 $p_e < \beta/x$ ， $\lambda < 1$ 时，若 $0 < s\tau < \sigma_2$ ，则 $\pi_{1mH}^{AR*} > \pi_{1mo}^{AN*}$ ；若 $s\tau \geq \sigma_2$ ， $\pi_{1mH}^{AR*} \leq \pi_{1mo}^{AN*}$ 。其中 $\sigma_1 = (xp_e - \beta)/xp_e$ ， $\sigma_2 = (\beta - xp_e)/xp_e$ 。

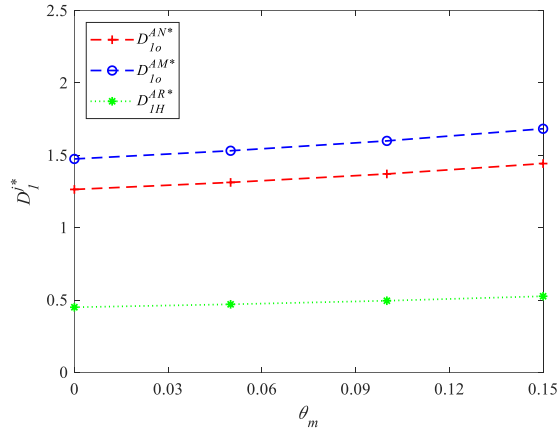
由命题 3-8 可得，在制造商选择高报/低报情形下，制造商的收益受到政府监管严厉程度的显著影响。当政府发现企业谎报的概率一定的情况下，惩罚倍数较低时，政府的监管措施并不能抑制制造商的谎报行为。同样的，当政府设定惩罚倍数一定的情况下，若发现概率较低，政府的监管措施也不能抑制制造商的谎报行为。结合命题 3-5 和命题 3-6，此时无论有无政府的惩罚，制造商都倾向于进行谎报。然而，当政府的监管程度较高，政府发现企业谎报的概率较高亦或企业谎报需承担的成本较高时，此时制造商更倾向于选择不谎报。因此，我们可以得到，当政府进行严密监管或采取严厉的惩处措施时，是可以有效降低制造商谎报的概率，维护公平诚信的市场环境秩序。

3.4 数值分析

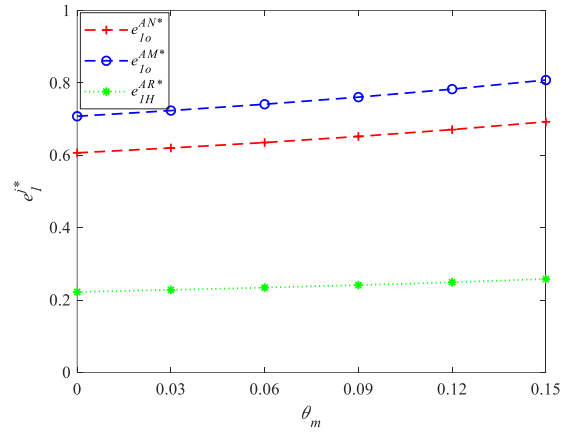
本部分将通过数值算例进一步验证前文结论的准确性，验证不同情形下制造商的利他偏好系数、制造商初始碳排放量谎报系数对供应链成员利润、市场需求、单位产品碳减排水平的影响。依旧沿用 3.2.2 节的参数设置，令 $\alpha = 15$ ， $k = 5$ ， $e_0 = 6$ ， $p_e = 2$ ， $x = 0.25$ ， $\beta = 0.4$ ， $s = 0.5$ ， $\tau = 2$ 。

3.4.1 制造商利他偏好对供应链均衡状态的敏感性分析

本节将分析制造商的利他偏好行为变动对市场需求、单位产品碳减排量及供应链成员利润的影响。在满足基本假设的前提下，令制造商的初始碳排放量谎报系数 $\lambda = 2$ 。



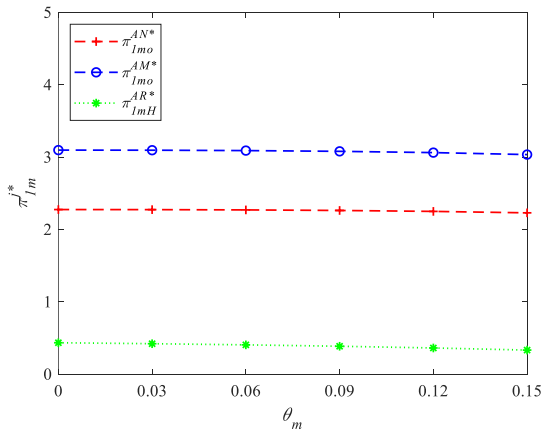
(a) 利他偏好系数变动对市场的需求的影响



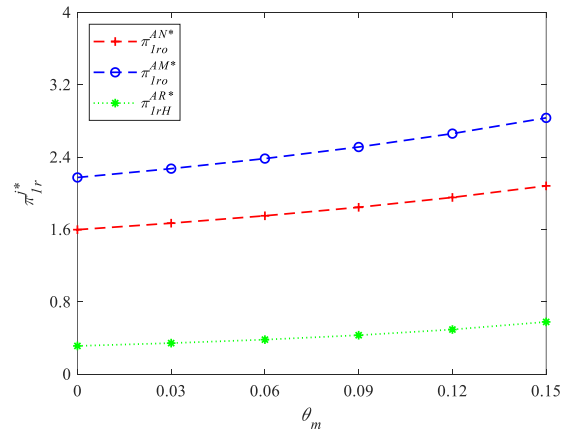
(b) 利他偏好系数变动对单位产品碳减排量的影响

图 3-2 利他偏好系数对市场需求和单位产品碳减排量的影响

由图 3-2 可知，制造商利他偏好增加对市场需求和单位产品碳减排量具有正向影响。当制造商表现出具有利他偏好时，制造商利润虽然会下降，但是此时零售商拥有更多的资金进行市场开发投资，制造商需要通过进一步提高产品的碳减排水平，以保证自身利润最大化。因此，市场需求也会逐渐提高。



(a) 利他偏好系数变动对制造商利润的影响



(b) 利他偏好系数变动对零售商利润的影响

图 3-3 利他偏好系数变动对供应链成员利润的影响

图 3-3 展示了制造商利他偏好系数变动对供应链成员收益的影响。由图 3-3(a) 可以得出，无论制造商是否存在谎报行为，制造商的利他行为对其自身收益的影响均是负面的，随着利他偏好系数的变大，制造商的收益逐渐减少。由图 3-3(b) 可知，零售商收益水平随着制造商利他偏好系数的增大而减少，表明制造商的利他偏好行为对零售商收益产生了正向的影响。因此，可以得出，制造商的利他行为，本质上是一种让利行为。制造商作为供应链的主导者，通过让利的方式，一方面增加合作方零售商的收益，另一方面，使得整体供应链朝着更加稳定健康的方向发展。

3.4.2 制造商谎报水平对供应链均衡状态的敏感性分析

本节将分析制造商的谎报行为对市场需求、单位产品的碳减排量及供应链成员利润的影响。在满足基本假设的前提下,分别取 $p_e = 2$ 和 $p_e = 1$ 表示 $p_e > \beta/x$ 和 $p_e < \beta/x$ 两种情形。

由图 3-4、图 3-5 可得,在无政府监管机制的市场环境下,制造商谎报水平对市场需求、单位产品的碳减排量的影响方向性一致,在相同碳配额交易价格环境下,无论制造商选择高报还是低报,谎报水平与市场需求以及单位产品的碳减排量相关性一致。然而,在政府采取监管机制后,制造商谎报决策对市场需求和单位产品的碳减排量影响不同。具体而言,当制造商选择低报时,谎报系数与市场需求和单位产品的碳减排量呈正相关,当制造商选择高报时,谎报系数与市场需求和单位产品的碳减排量呈负相关。

通过对比不同监管情形下的市场需求和单位产品减排量,可以发现,在没有政府干预的情况下,制造商若希望提升市场需求,必须根据当前市场上碳配额的交易价格来做出相应的决策。如果碳配额的交易价格较高,制造商应高报其产品的初始碳排放量;相反,如果碳配额的交易价格较低,则应低报其产品的初始碳排放量。然而,在存在政府干预的情况下,制造商的低报行为并不总是有利于市场需求的提升。相反,如果制造商选择高报其产品的初始碳排放量,无论市场碳配额的交易价格如何,都将使市场需求减少。

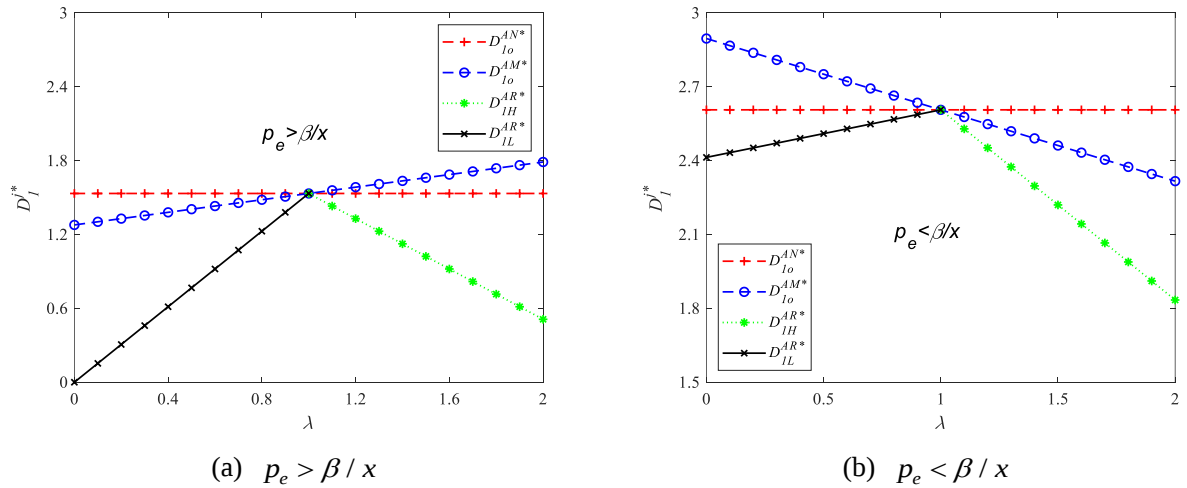


图 3-4 制造商谎报系数变动对市场需求的影响

根据命题 3-2,当市场碳配额交易价格较高时,制造商此时选择高报单位产品的初始碳排放量;当市场碳配额价格较低时,制造商此时选择低报单位产品的初始碳排放量。因此,可以得到,制造商的谎报行为可以提高市场需求,促进企业进行碳减排投资。然而,这种市场需求的增加,是由制造商非诚信经营所得到,此种方式并不利于市场环境的健康可持续发展。因此,在加入政府监管措施后,政府的监管惩罚手段可以在一段程度上限制市场需求的增加,从而达到抑制制造商谎报的动机。

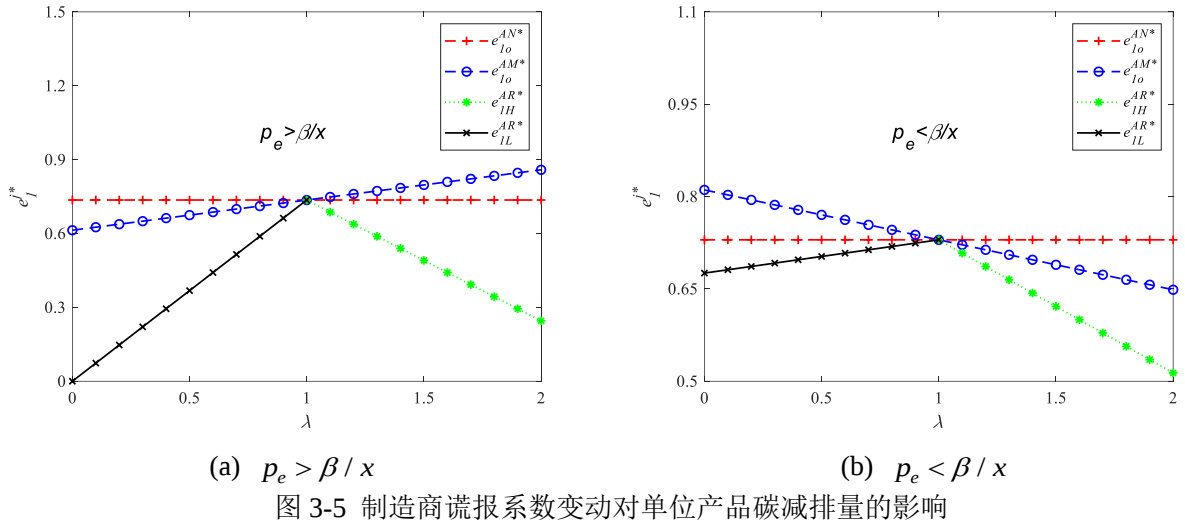


图 3-5 制造商谎报系数变动对单位产品碳减排量的影响

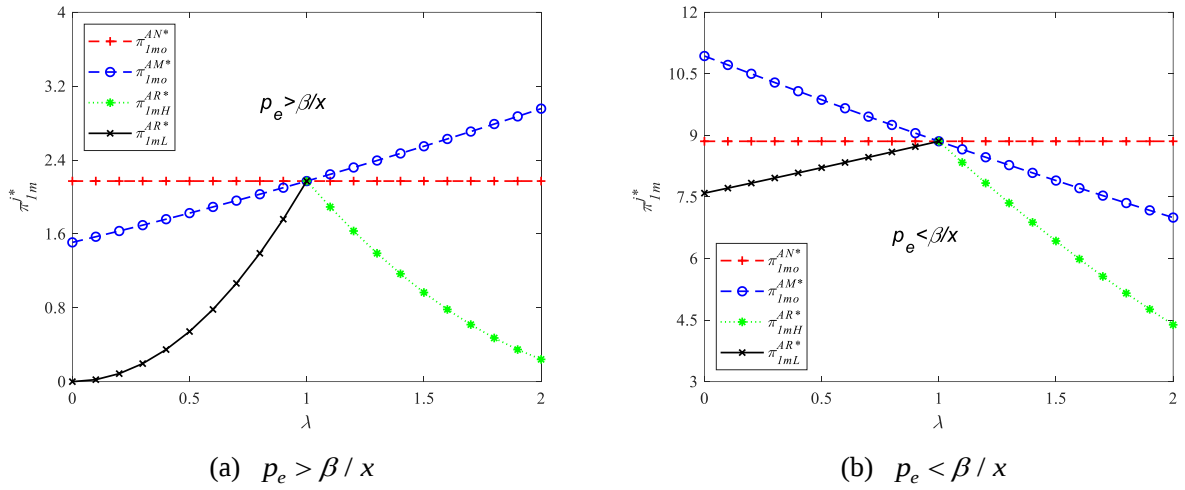


图 3-6 制造商谎报系数变动对制造商利润的影响

根据图 3-6 和图 3-7 的分析,在无政府监管措施的情况下,无论制造商选择低报还是高报,其谎报行为对供应链成员收益的影响具有一致性,制造商的谎报决策主要受市场碳配额价格的驱动。当市场碳配额价格较高时,制造商倾向于高报单位产品初始碳排放量;反之,当市场碳配额价格较低时,制造商则倾向于低报单位产品初始碳排放量。而在政府实施监管惩罚措施后,供应链成员的收益会显著下降。具体而言,当制造商选择高报时,实施监管惩罚措施会导致其收益明显低于不谎报情形;同样地,当制造商选择低报时,监管惩罚措施亦会使其收益显著低于不谎报情形。上述结果表明,政府的正常干预能够有效抑制制造商的谎报行为,不仅有利于环境的可持续健康发展,而且能够进一步激发制造商进行碳减排的内在动力。这种政策导向对于促进整个社会的低碳转型具有重要意义。

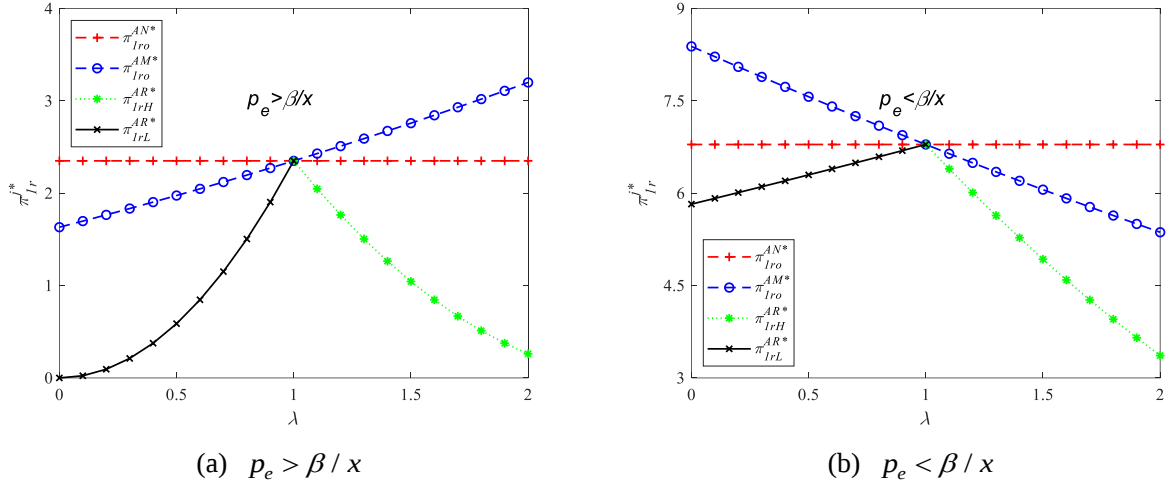


图 3-7 制造商谎报系数变动对零售商利润的影响

3.4.3 政府监管措施对总的碳排放量的敏感性分析

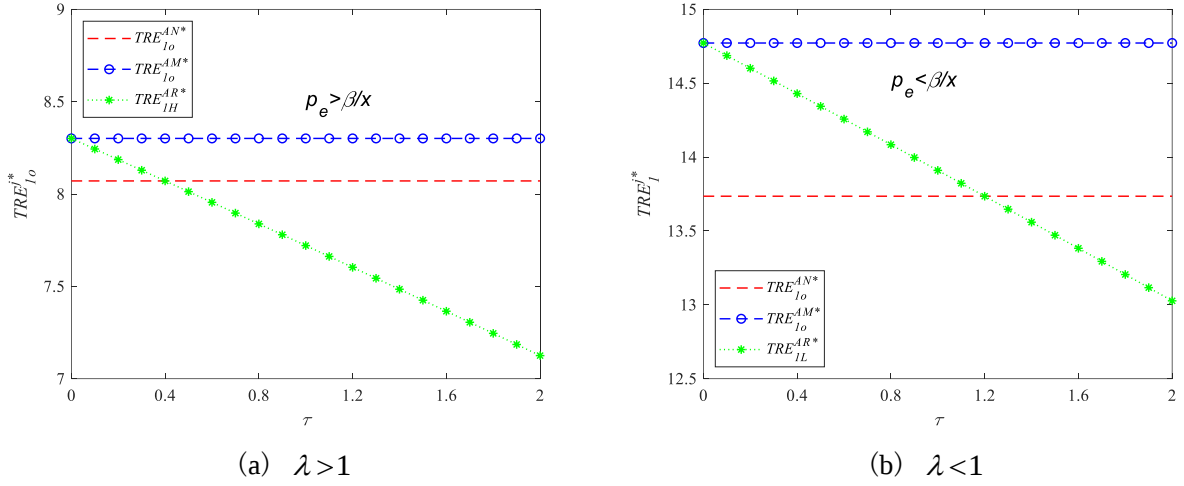


图 3-8 惩罚倍数变动对总的碳排放量的影响

由图 3-2 可得，无论是在何种市场环境下，制造商谎报行为不仅不利于营造诚信健康的市场环境，并且谎报行为将会一定程度的增加社会总的碳排放量，对环境的负面影响进一步加剧。由命题 3-8 可得，制造商在碳配额交易价格较高时选择高报，在碳配额交易价格较低时选择低报。加入监管措施后，由图 3-8 可以得到，只有在政府监管手段较严厉时，才会抑制制造商的谎报行为。根据图 3-8，碳配额交易价格较高时，此时制造商选择高报，在政府发现概率为定值时，当惩罚倍数大于 0.4 时，惩罚措施将会降低总的碳排放量；同样的，碳配额价格较低时，此时政府选择低报，当惩罚倍数大于 1.2 时，惩罚措施将会降低总碳排放量。因此，我们可以得到，在不同的市场环境下，政府的监管惩罚措施，不仅可以有效的降低企业的谎报行为，还可以进一步减少社会总的碳排放量，对于维护市场秩序和促进环境保护具有重要意义。

3.5 本章小结

本章研究制造商主导下具有利他偏好行为的产品初始碳排放量谎报供应链运作情形，建立了同时考虑制造商具有利他偏好行为和初始碳排放量谎报的决策模型，分析了在不同碳配额交易价格市场环境下，制造商的谎报决策，并引入政府监管惩罚措施，分析政府发现制造商谎报概率和惩罚倍数对谎报行为的影响，并通过数值模拟分析了政府监管惩罚措施对社会总碳排放量的影响。研究结果如下：

(1) 在某一阈值内，制造商的利他偏好系数增加时，会降低其自身的利润，但却能增加产品的市场需求量，提高零售商的利润。此外，这种行为还能促进制造商进行碳减排投资，从而降低单位产品的碳排放量，有助于在市场中形成低碳消费理念，促进整个行业向绿色可持续发展方向迈进。

(2) 在无政府监管的情况下，当市场碳配额交易价格较高时，制造商通过高报会获得更高的收益，当市场碳配额价格较低时，制造商通过低报会获得更高的收益。从企业的角度来看，在碳配额价格较高时，制造商会选择高报；在碳配额价格较低时，制造商会选择低报，此种谎报决策将会给企业带来更高的收益。然而，制造商的谎报行为将会增加社会总碳排放量水平，不利于环境的健康可持续发展。

(3) 在引入政府监管的情况下，在碳配额交易价格较低（较高）时，政府的监管惩罚措施较严厉时，将会降低制造商碳减排投资水平以及市场需求，供应链成员的收益水平也随之下降。政府的监管措施将会有效的抑制制造商谎报行为，同时降低社会总的碳排放量水平。

第 4 章 零售商主导下考虑利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策

4.1 模型描述和基本假设

4.1.1 模型描述

本章研究对象为一条由单一大型零售商（下文简称零售商）和单一制造商构成的两级低碳供应链。其中，制造商和零售商之间开展 Stackelberg 博弈，零售商是博弈的领导者，而制造商是博弈的追随者。在碳配额和交易机制下，制造商会从政府处获得免费的碳排放配额，政府根据制造商公布的初始碳排放量，按照比例 x 分配免费碳配额。制造商在既定的碳配额下进行生产与销售活动，同时进行碳减排投资，以减少生产过程中产生的碳排放，控制碳配额的使用，并通过碳交易市场交易剩余或不足的碳配额，单位碳配额的交易价格为 p_e 。供应链的决策顺序为：首先，领导者零售商决策单位产品的利润 δ ；接下来，追随者制造商根据零售商的决策，设定单位产品的批发价格 ω 和单位产品的减排水平 e 。两者均以利润最大化为目标，分别以下标 m 和 r 表示制造商和零售商。供应链成员在决策过程中并非是完全理性的，零售商相较于制造商可以更加容易的获得市场信息，对市场环境的变动会更快更直接的做出响应。鉴于供应链健康可持续发展的需要以及制造商面临的减排成本压力，作为供应链主导者的零售商通过利他偏好行为从供应链内部对制造商进行激励，假设零售商的利他偏好系数为 θ_r 。此外，本文假设市场上的消费者均具有低碳偏好，相对于传统商品来说，消费者愿意以更高的价格购买低碳产品。

在实际运营过程中，企业会存在私有信息，从而导致供应链成员间信息不对称的问题。在碳配额和交易机制下，制造商为了获得更多的碳配额或缓解企业减排成本压力，进一步提升自身利润水平，制造商对单位产品的初始碳排放量会存在虚假披露的情况。因此，本文考虑制造商谎报单位产品的初始碳排放量，假设谎报水平为 λ 。考虑到制造商谎报初始碳排放信息属于欺诈行为，不利于市场健康可持续发展，所以政府会对制造商的谎报行为进行干预，一旦发现制造商存在谎报行为，会给予制造商严厉的惩处。假设政府发现制造商谎报的概率为 s ，对制造商因谎报而获得的非法收入进行惩罚的倍数为 τ 。

4.1.2 基本假设

本章的模型基本假设同第 3 章内容，因此不再赘述。本章涉及到的符号说明见表 4-1：

表 4-1 零售商主导下模型符号及含义

参数	符号说明	p_e	单位碳配额的市場交易价格
x	政府分配的免费碳配额比例	τ	单位非法收入的惩罚倍数, $\tau > 0$

α	低碳产品的潜在市场需求	决策变量	符号说明
β	消费者的碳排放敏感系数, $0 \leq \beta \leq 1$	e_{2g}^j	零售商主导下模型 j 中 g 情形单位产品的碳减排量
e_0	单位产品初始碳排放量	ω_{2g}^j	零售商主导下模型 j 中 g 情形单位产品批发价格
k	碳减排成本系数	δ_{2g}^j	零售商主导下模型 j 中 g 情形零售商单位产品利润
θ_r	零售商利他偏好系数, $0 \leq \theta_r \leq 1$	函数	符号说明
λ	制造商初始碳排放量谎报系数, $\lambda \geq 0$	π_{2rg}^j	零售商主导下模型 j 中 g 情形零售商的利润函数
s	政府发现制造商谎报的概率, $0 \leq s \leq 1$	U_{2ig}^j	零售商主导下模型 j 中 g 情形 i 的效用函数
p_{2g}^j	零售商主导下模型 j 中 g 情形单位产品销售价格	TCE_{2g}^j	零售商主导下模型 j 中 g 情形总碳排放量

其中: $j = AN, AM, AR$ 分别表示利他偏好下制造商无谎报、谎报无惩罚、谎报有惩罚, $i = m, r$ 分别表示“制造商和零售商”, $g = o, v$ 分别表示“无政府惩罚、有政府惩罚”, $v = H, L$ 分别表示“制造商高报、制造商低报”。

4.2 模型构建与求解

4.2.1 无谎报情形(AN 模型)

在具有利他偏好的零售商所主导的低碳供应链中, 零售商先决策单位产品的利润 δ_{2o}^{AN} , 制造商再决策单位产品的减排水平 e_{2o}^{AN} 和批发价格 ω_{2o}^{AN} 。制造商和零售商以自身利润最大化进行决策, 该情形下, 供应链中所有信息均是对称的, 制造商会如实披露生产单位产品的初始碳排放量和减排水平。在 Stackelberg 博弈下, 市场需求、零售商和制造商的利润函数分别为:

$$D_{2o}^{AN} = \alpha - p_{2o}^{AN} - \beta(e_0 - e_{2o}^{AN}) \quad (4-1)$$

$$\pi_{2ro}^{AN} = \delta_{2o}^{AN} D_{2o}^{AN} \quad (4-2)$$

$$\pi_{2mo}^{AN} = \omega_{2o}^{AN} D_{2o}^{AN} - ((e_0 - e_{2o}^{AN})D_{2o}^{AN} - x e_0 D_{2o}^{AN}) p_e - k(e_{2o}^{AN})^2 / 2 \quad (4-3)$$

当零售商作为博弈的主导者时, 能够获得比制造商更高的利润, 在考虑零售商利他偏好社会属性时, 存在供应链成员优势不对等的情况, 根据前文的设定, 引入零售商效用函数。零售商在考虑利他偏好时, 需保证自身利润始终不低于制造商利润, 故此时零售商的效用函数可表示为:

$$\begin{cases} U_{2ro}^{AN} = \theta_r \pi_{2mo}^{AN} + (1 - \theta_r) \pi_{2ro}^{AN} \\ \text{s.t. } \pi_{2ro}^{AN} \geq \pi_{2mo}^{AN} \end{cases} \quad (4-4)$$

其中, θ_r 为零售商的利他偏好系数。利他偏好系数 θ_r 设为 $(0, 1)$, 利他偏好系数表示为零售商对制造商的关心程度, 所以 θ_r 值越大, 利他偏好越强。

运用逆向归纳法求解上述 AN 模型, 得到如下结论:

定理 4-1 当 $0 < \theta_r \leq 1/3$ 时, AN 模型的均衡解及供应链成员利润表示为:

$$D_{2o}^{AN*} = \frac{k\chi_2^{AN}(1-\theta_r)}{\rho_2(2-3\theta_r)}, \quad e_{2o}^{AN*} = \frac{(p_e + \beta)\chi_2^{AN}(1-\theta_r)}{\rho_2(2-3\theta_r)}, \quad \delta_{2o}^{AN*} = \frac{\chi_2^{AN*}(1-2\theta_r)}{2-3\theta_r},$$

$$\pi_{2mo}^{AN*} = \frac{k(\chi_2^{AN})^2(1-\theta_r)^2}{2\rho_2(2-3\theta_r)^2}, \quad \pi_{2ro}^{AN*} = \frac{k(\chi_2^{AN})^2(1-\theta_r)(1-2\theta_r)}{\rho_2(2-3\theta_r)^2}.$$

其中, $\chi_2^{AN} = \alpha - e_0(\beta + (1-x)p_e)$, $\rho_2 = 2k - (p_e + \beta)^2$ 。

由定理 4-1 可得, 在碳交易机制下, 政府分配的碳配额对市场需求、供应链成员利润都产生影响。对于制造商而言, 为了从政府部门获得较多的免费碳配额, 通常会选择高报单位产品的初始碳排放量(下称“高报”)。然而, 如果为了提高市场需求, 制造商则需要低报单位产品的初始碳排放量(下称“低报”), 以此来吸引市场上具有低碳偏好的消费者。因此, 本文将进一步研究制造商的谎报决策, 分析其在何种情况下选择高报或低报, 以及谎报行为可能会导致负面影响。

4.2.2 谎报无惩罚情形(AM 模型)

由 4.2.1 节的分析可知, 制造商为了获取更高水平的利润, 存在高报或低报的动机。因此, 本节在考虑零售商利他偏好的同时进一步探究制造商谎报行为对低碳供应链最优决策的影响。与 4.2.1 建模方法一致, 在碳交易机制下, 零售商作为低碳供应链的主导者, 对供应链其他成员具有利他偏好, 并决策单位利润 δ_{2o}^{AM} 。制造商作为低碳供应链的追随者, 进行碳减排努力投资, 决定单位产品的批发价 ω_{2o}^{AM} 和碳减排水平 e_{2o}^{AM} , 为了获得更多的利润, 制造商谎报单位产品的初始碳排放量 e_0 , 并假设制造商的谎报系数为 λ ($\lambda > 0$)。因此, 市场需求、供应链成员利润函数表达式为:

$$D_{2o}^{AM} = \alpha - p_{2o}^{AM} - \beta(\lambda e_0 - e_{2o}^{AM}) \quad (4-5)$$

$$\pi_{2ro}^{AM} = \delta_{2o}^{AM} D_{2o}^{AM} \quad (4-6)$$

$$\pi_{2mo}^{AM} = \omega_{2o}^{AM} D_{2o}^{AM} - ((e_0 - e_{2o}^{AM})D_{2o}^{AM} - \lambda x e_0 D_{2o}^{AM})p_e - k(e_{2o}^{AM})^2/2 \quad (4-7)$$

此时零售商效用函数的表达式为:

$$\begin{cases} U_{2ro}^{AM} = \theta_r \pi_{2mo}^{AM} + (1-\theta_r) \pi_{2ro}^{AM} \\ \text{s.t. } \pi_{2ro}^{AM} \geq \pi_{2mo}^{AM} \end{cases} \quad (4-8)$$

运用逆向归纳法求解上述 AM 模型, 得到如下结论:

定理 4-2 当 $0 < \theta_r \leq 1/3$ 时, AM 模型的均衡解及供应链成员利润表示为:

$$D_{2o}^{AM} = \frac{k\chi_2^{AM}(1-\theta_r)}{\rho_2(2-3\theta_r)}, \quad e_{2o}^{AM*} = \frac{(p_e + \beta)\chi_2^{AM}(1-\theta_r)}{\rho_2(2-3\theta_r)}, \quad \delta_{2o}^{AM*} = \frac{\chi_2^{AM}(1-2\theta_r)}{2-3\theta_r},$$

$$\pi_{2mo}^{AM*} = \frac{k(\chi_2^{AM})^2(1-\theta_r)^2}{2\rho_2(2-3\theta_r)^2}, \quad \pi_{2ro}^{AM*} = \frac{k(\chi_2^{AM})^2(1-\theta_r)(1-2\theta_r)}{\rho_2(2-3\theta_r)^2}.$$

其中, $\chi_2^{AM} = \alpha - e_0(\lambda\beta + (1-\lambda)x)p_e$ 。

考虑到 AN 模型与 AM 模型的均衡解与供应链成员利润表达式具有相似的结构, 因此, 本章以 AM 模型为例进行敏感性分析。通过计算得到下列命题:

命题 4-1 (1) 若 $p_e > \beta/x$, 则有 $\partial D_{2o}^{AM}/\partial\lambda > 0$, $\partial e_{2o}^{AM}/\partial\lambda > 0$, $\partial \pi_{2mo}^{AM*}/\partial\lambda > 0$, $\partial \pi_{2ro}^{AM*}/\partial\lambda > 0$; (2) 若 $p_e \leq \beta/x$, 则有 $\partial D_{2o}^{AM}/\partial\lambda \leq 0$, $\partial e_{2o}^{AM}/\partial\lambda \leq 0$, $\partial \pi_{2mo}^{AM*}/\partial\lambda \leq 0$, $\partial \pi_{2ro}^{AM*}/\partial\lambda \leq 0$ 。

由命题 4-1 可知, 制造商的谎报行为对供应链的均衡解和供应链成员利润具有显著影响, 且这种影响与碳配额的交易价格紧密相关。具体来说, 当碳配额的交易价格大于某一阈值时, 供应链成员的利润、市场需求、单位产品碳减排量与谎报系数呈正相关关系。相反, 当碳配额的交易价格小于这一阈值时, 供应链成员利润、市场需求、单位产品碳减排量与谎报系数则呈负相关关系。这一阈值与消费者对碳排放的敏感系数和政府分配的免费碳配额比例紧密相关。

制造商通过谎报单位产品的初始碳排放量, 以期获得更多的免费碳配额。当碳配额的交易价格较高时, 碳配额的交易对企业利润产生显著的正向影响。此时, 制造商谎报单位产品初始碳排放量, 以获取更多的免费碳配额, 并提高单位产品的减排水平。相对于减排投资来说, 制造商将会在碳配额交易中获得更多的收益, 因此, 此情形下制造商选择高报。

命题 4-2 (1) 当 $p_e > \beta/x$ 时: 若 $0 \leq \lambda < 1$, 则有 $D_{2o}^{AM*} < D_{2o}^{AN*}$, $e_{2o}^{AM*} < e_{2o}^{AN*}$, $\pi_{2mo}^{AM*} < \pi_{2mo}^{AN*}$, $\pi_{2ro}^{AM*} < \pi_{2ro}^{AN*}$; 若 $\lambda \geq 1$, 则有 $D_{2o}^{AM*} \geq D_{2o}^{AN*}$, $e_{2o}^{AM*} \geq e_{2o}^{AN*}$, $\pi_{2mo}^{AM*} \geq \pi_{2mo}^{AN*}$, $\pi_{2ro}^{AM*} \geq \pi_{2ro}^{AN*}$ 。(2) 当 $p_e < \beta/x$ 时: 若 $0 \leq \lambda < 1$, 则有 $D_{2o}^{AM*} > D_{2o}^{AN*}$, $e_{2o}^{AM*} > e_{2o}^{AN*}$, $\pi_{2mo}^{AM*} > \pi_{2mo}^{AN*}$, $\pi_{2ro}^{AM*} > \pi_{2ro}^{AN*}$; 若 $\lambda \geq 1$, 则有 $D_{2o}^{AM*} \leq D_{2o}^{AN*}$, $e_{2o}^{AM*} \leq e_{2o}^{AN*}$, $\pi_{2mo}^{AM*} \leq \pi_{2mo}^{AN*}$, $\pi_{2ro}^{AM*} \leq \pi_{2ro}^{AN*}$ 。

由命题 4-2 可知, 市场碳配额的交易价格对制造商谎报行为与供应链成员利润、单位产品碳减排量、市场需求之间的关系具有显著影响。具体而言, 当碳配额的交易价格 $p_e > \beta/x$ 时, 制造商选择低报将对供应链成员的利润、碳减排量和市场需求产生不利影

响；相反，如果选择高报，则对供应链成员的利润、减排量和市场需求具有积极作用。但是，当碳配额交易价格 $p_e < \beta/x$ 时，只有当制造商选择低报时，才能对供应链成员的利润产生正向影响；否则，谎报行为将对供应链成员的利润造成负面影响。

当碳配额的交易价格较高时，如果制造商选择低报，那么为了满足减排要求，制造商需要在市场上购买额外的碳配额，这将导致制造商和零售商的利润降低。反之，在碳配额的交易价格较低时，制造商选择低报，尽管获得的免费碳配额减少，但可以通过较低成本的市场交易来满足减排需求。

综上所述，制造商的谎报行为与碳配额的交易价格紧密相关，其决策将直接影响供应链成员的收益情况。因此，制造商在制定相关策略时，会综合考虑市场碳配额的交易价格、消费者碳排放敏感系数等因素，以期获得收益最大化。而对于零售商来说，其利润同样会受到制造商谎报行为的影响。因此，零售商在进行制定相关决策时，应综合考虑市场碳配额的交易价格、制造商的谎报行为以及市场中消费者碳排放敏感性等因素，以实现自身利润的最大化。

制造商的谎报行为，虽然在一定范围内可以给供应链成员带来较为乐观的收益，但其本质上将会给社会带来较多的负面影响。本文以制造商谎报后总的碳排放量为评价指标，分析制造商的谎报行为可能造成的不良后果。制造商总的碳排放量可表示为 $TCE = (e_0 - e^{j*})D^{j*}$ 。由于总的碳排放量均衡解表达式较为复杂，此处将通过数值模拟的方式来进行对比。在满足前文要求的约束条件下，为不失一般性，本文令 $\alpha = 15$ ， $k = 5$ ， $e_0 = 6$ ， $\beta = 0.4$ ， $\theta = 0.2$ ， $x = 0.25$ ，分别以 $p_e = 2$ ， $p_e = 1$ ，即满足 $p_e > \beta/x$ 和 $p_e < \beta/x$ 为例，得到总的碳排放量随着谎报系数变化的趋势如图 4-1 所示：

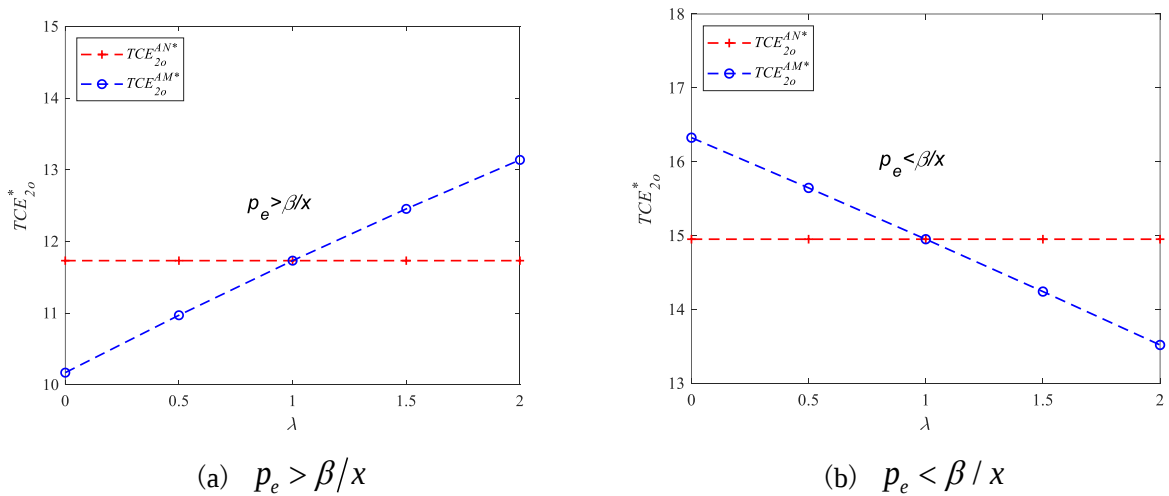


图 4-1 谎报水平对总的碳排放量的影响

根据图 4-1 可以看出, 当 $p_e > \beta/x$ 时, 此时制造商低报会使总的碳排放量变少, 高报则会使总的碳排放量增多; 当 $p_e < \beta/x$ 时, 此时制造商高报会使总的碳排放量变多, 低报会使总的碳排放量减少。由命题 4-1 和命题 4-2 可知, 制造商的谎报行为受到单位碳配额的交易价格的影响。当 $p_e > \beta/x$ 时, 制造商的利润与谎报水平正相关, 此时制造商高报对利润更有利; 当 $p_e < \beta/x$ 时, 制造商的利润与谎报水平负相关, 此时制造商会尽可能进行低报, 以期获得更多的利润。以利润最大化为导向的制造商, 此时的谎报决策都将会使产品总的碳排放量增加, 对环境负面影响加剧。

综上所述, 在零售商利他偏好的基础上, 制造商谎报行为虽然可以使其获得更高的收益, 但同时也会对环境造成严重的负面影响。因此, 政府应当建立健全相关法律法规, 对制造商的谎报行为进行抑制, 从而实现低碳供应链健康可持续发展的目标。本文针对上述分析结果, 就制造商谎报产品初始碳排放量的行为开展进一步研究, 考虑政府制定相关惩罚措施, 抑制制造商谎报行为, 以减少产品总的碳排放量。

4.3.3 谎报有惩罚情形(AR 模型)

由 4.3.1 节和 4.3.2 节可知, 在零售商主导的低碳供应链中, 当零售商的利他偏好满足一定条件时, 制造商基于利润最大化目标进行减排决策会出现谎报行为。虽然碳信息谎报行为有利于企业增加利润, 但同时环境的负面影响会进一步加剧。结合上述情形, 本节将进一步探讨具有利他偏好零售商主导的低碳供应链的最优决策, 同时考虑制造商谎报行为和政府制定相关惩罚措施, 来抑制制造商的谎报行为。假设制造商谎报单位产品初始碳排放量被政府发现的概率为 s , 当政府发现制造商谎报时会对其谎报获得的非法收入进行惩罚, 单位非法收入的惩罚倍数为 τ 。可得此时市场需求函数表达式为:

$$D_{2v}^{AR} = \alpha - p_{2v}^{AR} - \beta(\lambda e_0 - e_{2v}^{AR}) \quad (4-9)$$

政府针对制造商谎报行为制定相应的惩罚措施, 以此抑制制造商的谎报行为。如果制造商的碳信息谎报行为发生, 但政府并没有察觉到, 则制造商的利润为 π_{2mo}^{AM} 。如果制造商选择谎报, 且被政府发现其谎报行为, 制造商的利润可被分为两种情形: (1) 制造商高报: $\pi_{2mo}^{AM} - \tau(\lambda - 1)x e_0 p_e D_{2o}^{AM}$; (2) 制造商低报: $\pi_{2mo}^{AM} - \tau(1 - \lambda)x e_0 p_e D_{2o}^{AM}$ 。因此, 制造商的利润可分为高报和低报情形:

$$\pi_{2mH}^{AR} = (1-s)\pi_{2mo}^{AM} + s(\pi_{2mo}^{AM} - \tau(\lambda - 1)x e_0 p_e D_{2o}^{AM}) \quad (4-10)$$

$$\pi_{2mL}^{AR} = (1-s)\pi_{2mo}^{AM} + s(\pi_{2mo}^{AM} - \tau(1 - \lambda)x e_0 p_e D_{2o}^{AM}) \quad (4-11)$$

零售商的收益函数为：

$$\pi_{2rv}^{AR} = \delta_{2v}^{AR} D_{2v}^{AR} \quad (4-12)$$

此时零售商的效用函数表达式为：

$$\begin{cases} U_{2rv}^{AR} = \theta \pi_{2mv}^{AR} + (1-\theta) \pi_{2rv}^{AR} \\ \text{s.t. } \pi_{2rv}^{AR} \geq \pi_{2mv}^{AR} \end{cases} \quad (4-13)$$

运用逆向归纳法求解上述 AR 模型，得到如下结论：

定理 4-3 当 $0 < \theta \leq 1/3$ 时，AR 模型的均衡解及供应链成员利润表示为：

当制造商高报时：

$$D_{2H}^{AR*} = \frac{k \chi_{2H}^{AR} (1-\theta_r)}{\rho_2 (2-3\theta_r)}, \quad e_{2H}^{AR*} = \frac{(p_e + \beta) \chi_{2H}^{AR} (1-\theta_r)}{\rho_2 (2-3\theta_r)}, \quad \delta_{2H}^{AR*} = \frac{\chi_{2H}^{AR} (1-2\theta_r)}{2-3\theta_r},$$

$$\pi_{2mH}^{AR*} = \frac{k (\chi_{2H}^{AR})^2 (1-\theta_r)^2}{2\rho_2 (2-3\theta_r)^2}, \quad \pi_{2rH}^{AR*} = \frac{k (\chi_{2H}^{AR})^2 (1-\theta_r)(1-2\theta_r)}{\rho_2 (2-3\theta_r)^2}.$$

其中， $\chi_{2H}^{AR} = \alpha - e_0(\lambda\beta + (1-(\lambda-(1-\lambda)\tau s)x)p_e)$ 。

当制造商低报时：

$$D_{2L}^{AR*} = \frac{k \chi_{2L}^{AR} (1-\theta_r)}{\rho_2 (2-3\theta_r)}, \quad e_{2L}^{AR*} = \frac{(p_e + \beta) \chi_{2L}^{AR} (1-\theta_r)}{\rho_2 (2-3\theta_r)}, \quad \delta_{2L}^{AR*} = \frac{\chi_{2L}^{AR} (1-2\theta_r)}{2-3\theta_r},$$

$$\pi_{2mL}^{AR*} = \frac{k (\chi_{2L}^{AR})^2 (1-\theta_r)^2}{2\rho_2 (2-3\theta_r)^2}, \quad \pi_{2rL}^{AR*} = \frac{k (\chi_{2L}^{AR})^2 (1-\theta_r)(1-2\theta_r)}{\rho_2 (2-3\theta_r)^2}.$$

其中， $\chi_{2L}^{AR} = \alpha - e_0(\lambda\beta + ((\lambda-(1-\lambda)\tau s)x-1)p_e)$ 。

4.3 敏感性分析

令 AM 模型均衡解中的谎报系数 $\lambda=1$ ，即可得到 AN 模型的均衡解，因而下文只对 AM 模型和 AR 模型进行比较。考虑到总的碳排放量表达式较为复杂，难以直接比较，下文将进行数值模拟分析。

命题 4-3 (1) 若 $0 < \theta_r < 1/3$ ，则有 $\pi_{2rv}^{j*} > \pi_{2mv}^{j*}$ ；若 $\theta = 1/3$ ，则有 $\pi_{2rv}^{j*} = \pi_{2mv}^{j*}$ 。(2) 若 $0 < \theta_r \leq 1/3$ ，则有 $\partial D_{2v}^{j*} / \partial \theta_r > 0$ ， $\partial e_{2v}^{j*} / \partial \theta_r > 0$ ， $\partial \pi_{2mv}^{j*} / \partial \theta_r > 0$ ， $\partial \pi_{2rv}^{j*} / \partial \theta_r < 0$ 。其中， $j = AN, AM, AR$ 。

由命题 4-3 可知，零售商的利他偏好会影响供应链成员的利润水平。具体来说，零售商利润与利他偏好系数负相关，而制造商利润、市场需求和单位产品的碳减排量与利他偏好系数正相关。

为了维持供应链的健康可持续发展，作为供应链主导者的零售商在进行决策时会表现出利他偏好的社会属性。对于零售商来说，利他偏好是一种让利行为。因此，具有利他偏好的一方随着利他偏好程度的增强，其利润水平会降低，而受利的一方获得的利润则会增加。当利他偏好系数 $\theta_r = 1/3$ 时，制造商和零售商两者的利润大小相等。零售商的利他行为降低了制造商的减排成本压力，使得制造商有更多资源投入到碳减排工作中，进一步增加产品的市场竞争力和市场份额。

命题 4-4 对于 AR 模型，制造商高报初始碳排放量有：(1) 当 $p_e > \beta/x$ 时：若 $s > (xp_e - \beta)/xp_e \tau$ ，则有 $\partial D_{2H}^{AR*}/\partial \lambda < 0$ ， $\partial e_{2H}^{AR*}/\partial \lambda < 0$ ， $\partial \pi_{2mH}^{AR*}/\partial \lambda < 0$ ， $\partial \pi_{2rH}^{AR*}/\partial \lambda < 0$ ；若 $0 < s \leq (xp_e - \beta)/xp_e \tau$ ，则有 $\partial D_{2H}^{AR*}/\partial \lambda \geq 0$ ， $\partial e_{2H}^{AR*}/\partial \lambda \geq 0$ ， $\partial \pi_{2mH}^{AR*}/\partial \lambda \geq 0$ ， $\partial \pi_{2rH}^{AR*}/\partial \lambda \geq 0$ 。(2) 当 $p_e \leq \beta/x$ 时， $\partial D_{2H}^{AR*}/\partial \lambda \leq 0$ ， $\partial e_{2H}^{AR*}/\partial \lambda \leq 0$ ， $\partial \pi_{2mH}^{AR*}/\partial \lambda \leq 0$ ， $\partial \pi_{2rH}^{AR*}/\partial \lambda \leq 0$ 。

根据命题 4-4 可以看出，在制造商选择高报时，政府的惩罚措施可以改变制造商谎报行为对供应链最优决策的影响。具体而言，在市场碳配额的交易价格较高时，若政府有较大概率发现制造商的谎报行为，则供应链成员利润、市场需求和单位产品碳减排水平与制造商谎报水平呈负相关关系；当政府的发现概率较小时，供应链成员利润、市场需求和单位产品碳减排水平与制造商谎报水平呈正相关。在市场碳配额的交易价格较低时，无论政府发现概率是高还是低，制造商的谎报行为与供应链成员利润、市场需求、单位产品的碳减排水平都呈负相关关系。

若市场上的碳配额交易价格较高，且政府严厉监管制造商的谎报行为时，制造商谎报的风险变大。随着谎报水平的上升，一方面制造商需要提高碳减排投资水平或者提高碳配额的资金投入，另一方面制造商需要支付高昂的惩罚金额，因此，该情形下单位产品的碳排放量会上升，从而使得市场需求下降，供应链成员利润也随之下降。如果市场上的碳配额交易价格较高，且政府对制造商谎报行为监管不严时，此时制造商谎报的风险降低。随着谎报系数的增加，制造商分得的免费碳配额数量增加，制造商的非法收益将大于碳配额交易所付出的成本。因此，在该种情形下，单位产品的碳减排量会随谎报系数的增加而增加，从而提高市场需求，供应链成员利润也随之增加。

当市场上的碳配额交易价格较低，则制造商的谎报动机减弱，无论政府监管力度如何，制造商的谎报行为都与供应链成员利润、市场需求、单位产品碳减排量负相关。此时，制造商仅有较小程度高报的动机。市场的碳配额交易价格较低，表明制造商进行碳配额交易所需成本较低。当制造商小幅度谎报时，制造商可减少碳减排投资水平，但随着谎报系数的增加，

制造商需提高减排投资水平以满足市场低碳消费者的需求。在利润最大化目标的驱使下，制造商将降低减排水平，因此市场需求会随着谎报系数的增大而下降，供应链成员利润也会出现下降趋势。

命题 4-5 若制造商低报, 即 $\lambda < 1$, 则有: (1) 当 $p_e \geq \beta/x$ 时, $\partial D_{2L}^{AR*}/\partial \lambda \geq 0$, $\partial e_{2L}^{AR*}/\partial \lambda \geq 0$, $\partial \pi_{2mL}^{AR*}/\partial \lambda \geq 0$, $\partial \pi_{2rL}^{AR*}/\partial \lambda \geq 0$ 。(2) 当 $p_e < \beta/x$ 时, 若 $s > (\beta - xp_e)/xp_e \tau$, 则有 $\partial D_{2L}^{AR*}/\partial \lambda > 0$, $\partial e_{2L}^{AR*}/\partial \lambda > 0$, $\partial \pi_{2mL}^{AR*}/\partial \lambda > 0$, $\partial \pi_{2rL}^{AR*}/\partial \lambda > 0$; 若 $0 < s \leq (\beta - xp_e)/xp_e \tau$, 则有 $\partial D_{2L}^{AR*}/\partial \lambda \leq 0$, $\partial e_{2L}^{AR*}/\partial \lambda \leq 0$, $\partial \pi_{2mL}^{AR*}/\partial \lambda \leq 0$, $\partial \pi_{2rL}^{AR*}/\partial \lambda \leq 0$ 。

和命题 4-4 类似, 命题 4-5 表明: 在制造商选择低报时, 政府的惩罚对供应链最优决策的影响与碳交易价格和政府发现概率有关。具体而言, 当碳交易价格较高时, 供应链成员收益、市场需求以及单位产品碳减排水平与谎报水平呈正相关, 与政府发现概率无关; 当碳交易价格较低时, 若政府发现概率较高时, 供应链成员收益、市场需求以及单位产品碳减排水平与谎报水平呈正相关, 若政府发现概率较低时, 供应链成员收益、市场需求以及单位产品碳减排水平与谎报水平呈负相关。

制造商低报水平越高, 制造商需要购买额外的碳配额成本变低, 然而, 此时市场碳配额价格较高, 制造商额外出售碳配额的收益会相对较少, 无论政府此时发现概率如何, 制造商此时谎报对自身收益都是不利的。当市场碳配额价格较低时, 此时制造商谎报存在被发现的风险, 在发现概率较大时, 制造商会选择降低谎报水平, 在发现概率较小时, 制造商会选择提高谎报水平。综上所述, 政府的监管措施对制造商谎报行为存在显著影响, 这不仅受到市场碳交易价格的影响, 还受到政府发现概率的影响。

结合命题 4-4 和命题 4-5 可以得到, 政府应当根据不同类型的企业, 明确各行业的初始碳排放量标准, 并结合当前市场碳配额的交易价格, 制定和完善相应的法律法规。政府还应重点对所披露的初始碳排放量偏离行业标准的企业进行严格审查, 以确保市场环境的健康和可持续发展。通过这样的措施, 可以有效地促进企业提高碳排放数据的透明度和准确性, 同时激励企业采取更为环保的生产方式, 为实现绿色经济做出贡献。

由定理 4-3 可得, 政府监管措施的加入, 将改变供应链成员的最优决策。政府监管措施通过影响制造商的谎报行为, 从而影响到整体供应链的决策结果。因此, 本文通过比较制造商低报、高报初始碳排放量与谎报无惩罚情形, 得出以下命题 4-6 和命题 4-7。

命题 4-6 若制造商高报, 即 $\lambda > 1$, 则有: (1) $D_{2H}^{AR*} < D_{2o}^{AM*}$, $e_{2H}^{AR*} < e_{2o}^{AM*}$; (2) 当 $0 < \tau < \bar{\tau}_2$ 时, $\pi_{2mH}^{AR*} < \pi_{2mo}^{AM*}$, $\pi_{2rH}^{AR*} < \pi_{2ro}^{AM*}$; 当 $\tau \geq \bar{\tau}_2$ 时, $\pi_{2mH}^{AR*} \geq \pi_{2mo}^{AM*}$, $\pi_{2rH}^{AR*} \geq \pi_{2ro}^{AM*}$ 。

根据命题 4-6 可知, 当制造商选择高报时, 政府的监管措施会导致该产品的市场需求下降, 同时也会降低单位产品的碳减排水平。进一步分析发现, 当政府规定的惩罚倍数较小时, 制造商高报对供应链成员利润会产生不利影响, 说明此时政府的惩罚手段可以有效抑制制造商的谎报行为; 当政府规定的惩罚倍数较大时, 供应链成员的利润并不会受到影响, 反而会对供应链成员利润产生更为积极的作用。

在制造商选择高报时, 制造商将面临来自政府的惩罚以及为实现减排目标而产生的成本压力。这种双重压力导致制造商降低产品的减排水平, 以确保自身利润的最大化。减排水平的降低会减弱消费者在市场上的购买积极性, 进而导致市场需求的下降。在政府惩罚措施较为轻微的情况下, 制造商可能更倾向于坚持高报, 以期获得更多的免费碳配额, 减少自身的减排投资成本。因此, 在这种情况下, 供应链成员的收益可能会因制造商的谎报行为而增加。

然而, 当政府实施更为严厉的惩罚措施时, 这种严厉的惩罚将增加制造商谎报碳排放量的风险。虽然制造商选择高报会导致市场需求和碳减排水平的下降, 但是零售商和制造商在应对高风险的情形下, 可以通过提升单位产品的销售价格和批发价格来进行风险对冲, 此时反而会获得更高收益。因此, 在政府采取严厉惩罚措施时, 供应链成员将会获得更多的利润。

命题 4-7 若制造商低报, 即 $\lambda < 1$, 则有: (1) $D_{2L}^{AR*} < D_{2o}^{AM*}$, $e_{2L}^{AR*} < e_{2o}^{AM*}$; (2) 当 $0 < \tau < \bar{\tau}_1$ 时, $\pi_{2mL}^{AR*} > \pi_{2mo}^{AM*}$, $\pi_{2rL}^{AR*} > \pi_{2ro}^{AM*}$; 当 $\tau \geq \bar{\tau}_1$ 时, $\pi_{2mL}^{AR*} \leq \pi_{2mo}^{AM*}$, $\pi_{2rL}^{AR*} \leq \pi_{2ro}^{AM*}$ 。

由命题 4-7 可得, 制造商低报单位产品初始碳排放量, 政府的惩罚措施会降低产品的市场需求量和制造商减排积极性; 当政府对制造商因谎报而获得的非法收入惩罚倍数较低时, 监管措施会进一步提高供应链成员的收益, 当惩罚倍数较高时, 监管措施会降低供应链成员的收益。具体来说, 政府的监管措施会抑制制造商进行谎报的动机, 从而会失去一部分因谎报而获得的市场需求。市场需求降低, 于制造商而言收益降低, 以最大化为目标的制造商需要缩减减排成本, 以确保企业收益最高, 因此, 单位产品的减排水平会降低。当政府的惩罚力度较小时, 政府对制造商谎报行为的罚款较低, 制造商依旧可以通过谎报获得较高的收益, 即使此时制造商需要承担部分政府的罚款, 谎报所获得收益远远超过需要额外缴纳的罚款。因此, 政府此时惩罚措施并没有降低制造商的收益。

通过以上分析, 我们可以得到: 政府采取的惩罚措施, 对制造商的影响不同, 在制造商选择低报和高报时会出现不同的结果。结合命题 4-2, 我们可以得到, 制造商在市场碳交易价格较高时选择高报, 在市场碳交易价格较低时选择低报。在政府采取惩罚措施后, 在一定

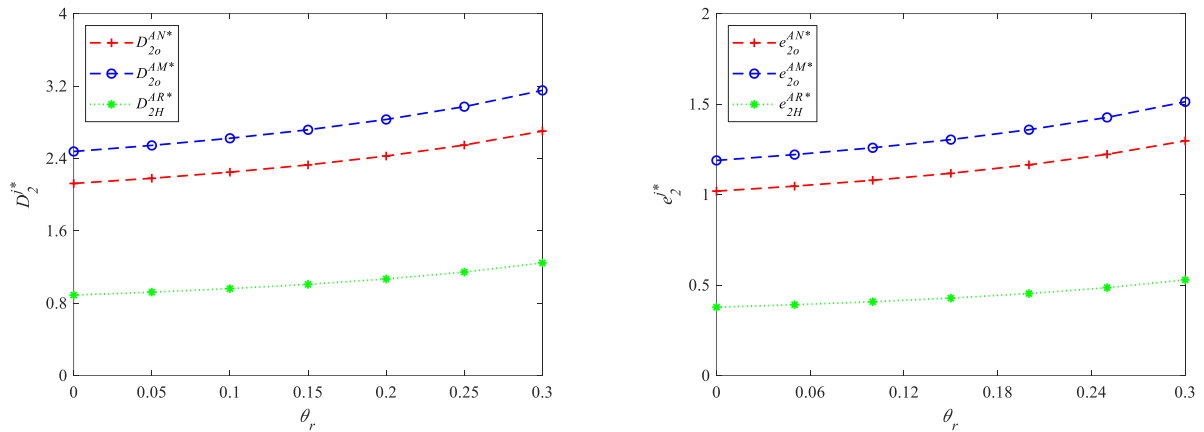
的惩罚倍率下，制造商谎报收益受到抑制，作为完全经济人的制造商此时会选择不谎报，以此来获取最高的收益。因此，我们可以得到，当政府进行严密监管或采取严厉的惩处措施时，是可以有效降低制造商谎报的概率，维护公平诚信的市场环境秩序。

4.4 数值分析

本部分将通过数值算例进一步验证前文结论的准确性，验证不同情形下零售商的利他偏好系数、制造商初始碳排放量谎报系数对供应链成员利润、市场需求、单位产品碳减排水平的影响。依旧沿用 3.2.2 节的参数设置，令 $\alpha=15$ ， $k=5$ ， $e_0=6$ ， $p_e=2$ ， $x=0.25$ ， $\beta=0.4$ ， $s=0.5$ ， $\tau=2$ 。

4.4.1 零售商利他偏好对供应链均衡状态的敏感性分析

本节将分析零售商的利他偏好行为变动对市场需求、单位产品碳减排量及供应链成员利润的影响。在满足基本假设的前提下，令制造商的初始碳排放量谎报系数 $\lambda=2$ 。



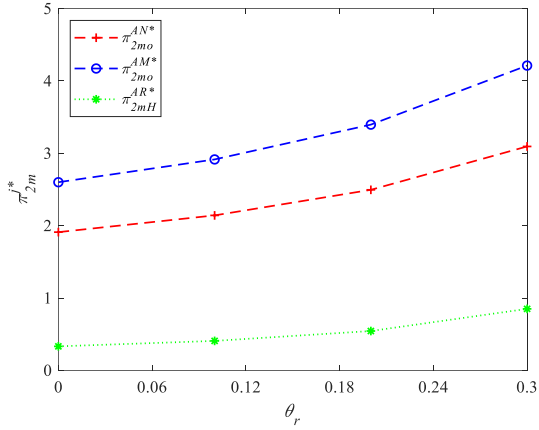
(a) 利他偏好系数变动对市场需求的影响

(b) 利他偏好系数变动对单位产品碳减排量的影响

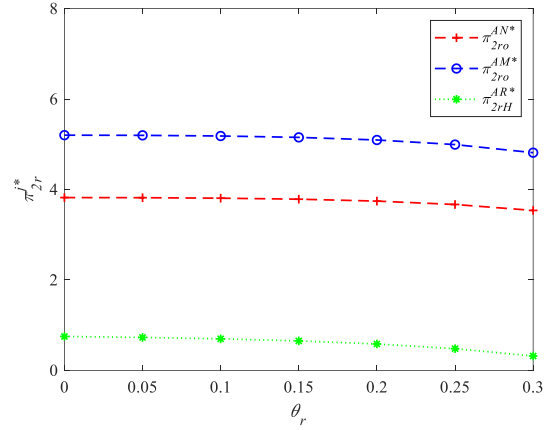
图 4-2 利他偏好系数变动对市场需求和单位产品碳减排量的影响

由图 4-2 可知，零售商利他偏好增加对市场需求和单位产品碳减排量具有正向影响。当零售商表现出具有利他偏好时，制造商的利润会增加，进而推动其不断提升碳减排投资水平，以吸引更多偏好低碳产品的消费者，扩大市场份额。因此，市场需求与单位产品的碳减排量均随着零售商利他偏好系数的上升而增加。

图 4-3 展示了零售商利他偏好系数变动对供应链成员收益的影响。由图 4-3(a) 可以得出，无论制造商是否存在谎报行为，零售商的利他偏好行为对制造商利润的影响均是正向的，且随着利他偏好系数的上升，制造商的利润逐渐增加。由图 4-3(b) 可知，零售商利润水平随着利他偏好系数的增加而下降。因此，可以得出结论：零售商的利他偏好本质上是一种让利行为，制造商作为受益方，其利润不断增加，而零售商自己的利润则会相应减少。



(a) 利他偏好系数变动对制造商利润的影响



(b) 利他偏好系数变动对零售商利润的影响

图 4-3 利他偏好系数变动对供应链成员利润的影响

4.4.2 制造商谎报水平对供应链均衡的敏感性分析

本节将分析制造商的谎报行为对市场需求、单位产品的碳减排量及供应链成员利润的影响。在满足基本假设的前提下，分别取 $p_e = 2$ 和 $p_e = 1$ 表示 $p_e > \beta/x$ 和 $p_e < \beta/x$ 两种情形。

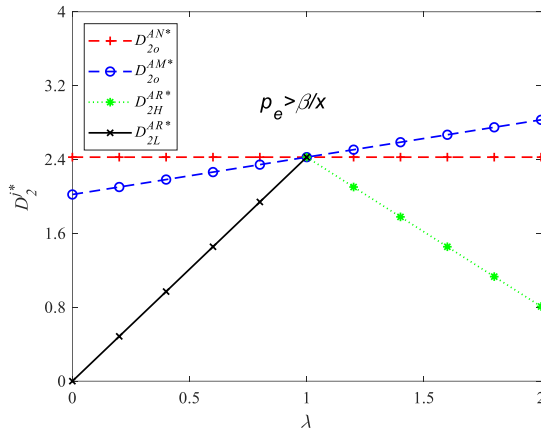
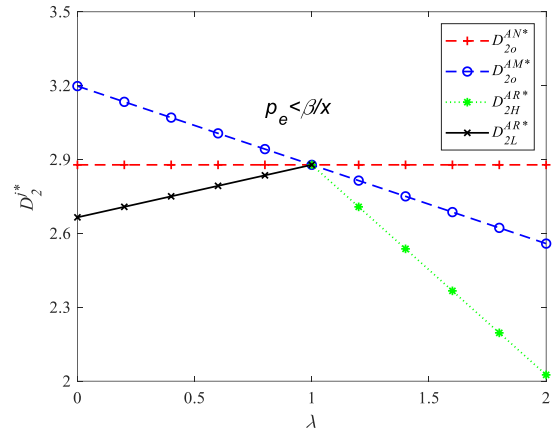

 (a) $p_e > \beta/x$

 (b) $p_e < \beta/x$

图 4-4 制造商谎报系数变动对市场需求的影响

由图 4-4、图 4-5 可知，在无政府监管和惩罚措施的情况下，市场需求和单位产品碳减排水平的变化趋势不仅受到制造商谎报行为的影响，还与市场上碳配额的交易价格密切相关。具体而言，当市场上碳配额的交易价格较高时，市场需求和单位产品碳减排量与制造商的谎报水平正相关；相反，当市场上碳配额的交易价格较低时，市场需求和单位产品碳减排量与制造商的谎报水平则呈现负相关性。然而，当政府实施了监管和惩罚措施，无论碳配额交易价格高或低时，市场需求、单位产品碳减排量与制造商的低报水平都呈正相关，与高爆水平呈负相关。

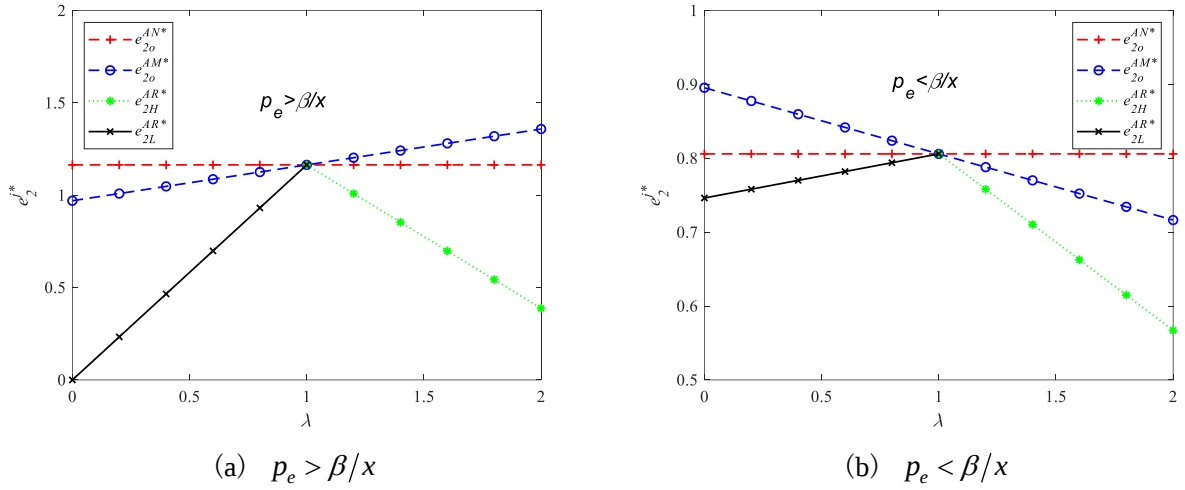


图 4-5 制造商谎报系数变动对单位产品碳减排量的影响

通过对比不同监管情形下的市场需求和单位产品减排量，可以发现，在没有政府干预的情况下，制造商若希望提升市场需求，必须根据当前市场上碳配额的交易价格来做出相应的决策。如果碳配额的交易价格较高，制造商应高报其产品的初始碳排放量；相反，如果碳配额的交易价格较低，则应低报其产品的初始碳排放量。然而，在存在政府干预的情况下，制造商的谎报行为总是不利于市场需求和单位碳减排水平的提高。

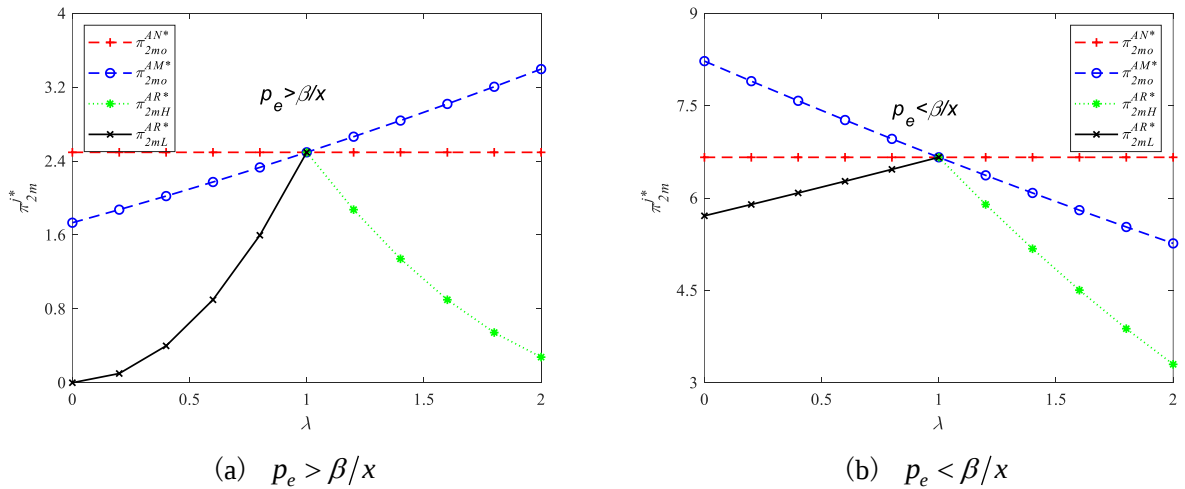


图 4-6 制造商谎报系数变动对制造商利润的影响

由图 4-6(a)、图 4-7(a)可知，若 $p_e > \beta/x$ ，意味着市场上单位产品的碳配额交易价格较高，此时制造商的谎报行为对供应链成员利润产生的影响与政府监管措施干预程度有关。具体而言，在没有政府监管措施干预的情况下，随着谎报系数的增大，供应链成员的收益水平逐渐升高。由图 4 可得，此情形下，制造商低报初始碳排放量会降低市场需求，高报初始碳排放量可以获得更多的免费碳配额。因此，对制造商而言，此时高报所带来的正向收益是逐渐变大的。因此，该市场环境下，制造商选择高报对自身收益更有利。然而，政府实施监管

惩罚措施后, 制造商的利润随着谎报程度的增加而减少, 二者呈负相关关系。根据前文的设定, 该情形下政府发现制造商谎报行为存在一定的概率, 制造商需承担惩罚和减排双重成本压力, 当制造商高报初始碳排放量时, 势必需要付出更多的减排和碳配额交易成本, 当制造商低报时, 减排成本降低, 但碳配额和市场需求双重负效应使得其收益减少。因此, 我们可以得到, 该市场环境下政府的监管措施可以有效抑制制造商的谎报行为。

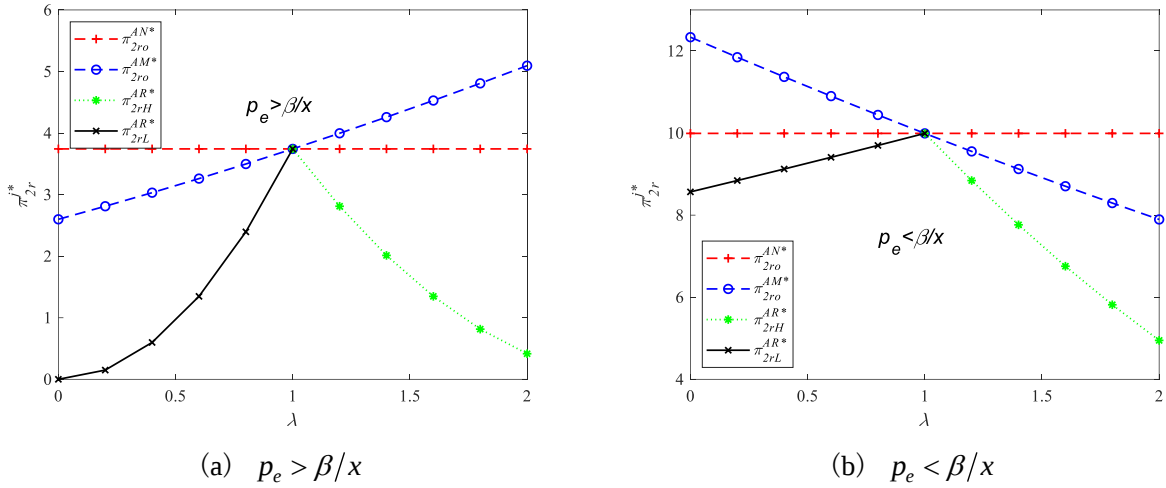


图 4-7 制造商谎报系数变动对零售商利润的影响

若 $p_e < \beta/x$, 意味着市场上单位产品的碳配额交易价格较低, 此时制造商选择低报这一行为对供应链成员利润的影响是负面的。在不考虑政府监督惩罚措施的情况下, 制造商低报行为能增加利润, 且随着谎报程度的增加, 利润逐渐增加。这是因为, 低报行为使得制造商需要投入的减排成本大量降低, 同时市场碳配额交易价格较低, 制造商付出较低的成本便可达到减排目标。然而, 在考虑政府监管措施之后, 随着制造商谎报程度的增加, 利润都是逐渐下降。政府的监管惩罚措施, 使得制造商谎报成本上升, 利润逐渐下降。因此, 在该市场环境下, 政府的监管措施, 依旧可以有效的抑制制造商的谎报行为, 激励企业采取公平的竞争方式, 进一步推动供应链健康可持续发展。

综上所述, 在碳市场价格较高时, 制造商为了获取更多的碳配额以达到收益最大化, 此时制造商会选择高报单位产品的初始碳排放量, 在碳市场交易价格较低时, 制造商低报单位产品的初始碳排放量以降低减排成本获取更高的收益。政府的监管措施无论在何种市场环境下, 都可以有效抑制制造商的谎报行为。

4.4.3 政府监管措施对总的碳排放量的敏感性分析

为了进一步探究政府干预手段下, 总的碳排放量变化规律, 采用政府的惩罚倍数 τ 为自变量, 分别探讨在低报和高报产品初始碳排放量情形下, 政府的惩罚倍数对总的碳排放量的

影响。在满足基本假设的前提下，分别取 $\lambda=1.5$ 和 $\lambda=0.4$ 两种情况展开分析。

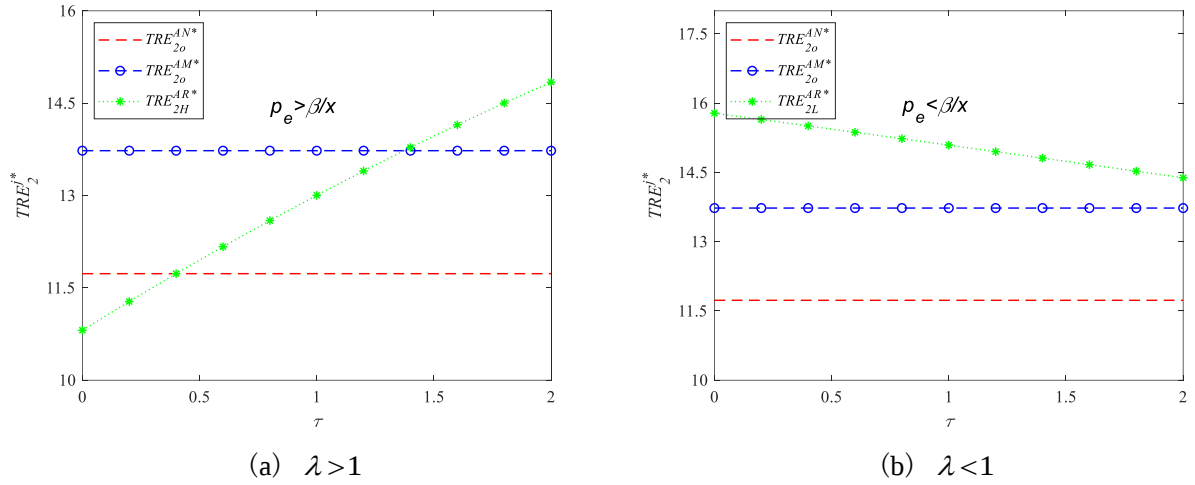


图 4-8 惩罚倍数变动对总的碳排放量的影响

由命题 4-2 可得，在碳配额价格较低时，制造商选择低报，在碳配额价格较高时，制造商选择高报，以期获得更高的经济收益。然而，这种行为的弊端是会导致总的碳排放量的增加，加剧对环境的危害，并不符合可持续发展理念。根据图 4-8(a)可以看出，在碳配额价格较低时，无论政府惩罚倍数如何，总的碳排放量都要高于无惩罚情形。结合 4.4.2 节内容，政府监管措施可以有效抑制制造商进行谎报，在不谎报情形下此时总碳排放量是最低的。在碳配额价格较高时，制造商选择高报，当政府的惩罚倍数大于某一阈值时，政府的惩罚措施不仅可以抑制制造商谎报，还可以有效的降低市场总碳排放量。

因此，我们可以得出结论：政府的干预措施不仅有利于环境的可持续健康发展，而且能够进一步激发制造商进行碳减排的内在动力。这种政策导向对于促进整个社会的低碳转型具有重要意义。

4.5 本章小结

本文基于碳限额与交易机制的政策背景，构建了一条由单一制造商单一零售商和组成的两级低碳供应链，考虑供应链成员之间开展以零售商为主导者的 Stackelberg 博弈，结合零售商的利他偏好社会属性，分析了制造商的初始碳排放量无谎报、谎报无惩罚、谎报有惩罚三种情形下的供应链定价与减排决策，并探讨了碳配额交易价格、利他偏好、谎报系数及惩罚倍数等参数对供应链均衡状态的影响。主要结论如下：

(1) 当零售商的利他偏好系数在某一阈值范围内增加时，虽然会对其自身的利润产生负面影响，但这种变化却能够通过扩大市场需求，进而提升制造商的收益水平。此外，利他偏好系数的增加会激励制造商增加对减排技术的投资，从而有助于降低产品的碳排放量。零售商的利他偏好行为不仅影响着供应链内部的利润分配，更在宏观层面上促进了行业的环

境友好型发展，对于推动整个行业向绿色可持续发展的转型具有积极意义。因此，零售商应加强与制造商之间的合作，以减少制造商的减排成本压力，推动低碳消费理念的传播。

(2) 在无政府干预的情形下，制造商谎报行为受到市场碳配额交易价格的影响。此外，供应链的定价决策不仅受到碳配额交易价格的制约，还与制造商碳减排成本系数密切相关。在利润最大化目标下，制造商会根据市场碳配额交易价格确定谎报策略：当碳配额的交易价格超过某一阈值时，倾向于选择高报；反之，则倾向于低报。这种策略调整旨在通过影响市场需求，进而提升制造商自身的利润水平。然而，制造商基于利润最大化的谎报决策，会导致供应链整体碳排放量增加，对环境的负面影响进一步加剧。

(3) 在政府干预的情形下，制造商会根据政府的惩罚措施进行谎报决策。政府的惩罚措施会抑制制造商的谎报行为，最终会使供应链总的碳排放量减少。政府的干预不仅有利于环境的可持续健康发展，而且能够进一步激发制造商进行碳减排的内在动力。政府的监管措施对于促进整个社会的低碳转型具有重要意义。在制定相关监管政策时，政府需要综合考虑不同企业的类型和特点，考虑不同行业、不同规模企业的实际情况，制定差异化的监管标准和惩罚措施。这种因地制宜的监管策略，不仅能够更有效地促进企业的碳减排行为，还能够一定程度上保障供应链成员的经济效益，实现环境保护与经济的双赢。

第 5 章 权力对等下考虑利他偏好和碳谎报的低碳供应链决策

5.1 模型描述和基本假设

5.1.1 模型描述

本章研究对象为一条由单一零售商和单一制造商构成的两级低碳供应链。制造商和零售商的渠道权力相同。例如格力、美的与苏宁线下零售店的交易就是典型的双方权力对等的权力结构，该类型下的供应链成员均不具有主导权。在碳配额和交易机制下，制造商会从政府处获得免费的碳排放配额，政府根据制造商公布的初始碳排放量，按照比例 x 分配免费碳配额。制造商在既定的碳配额下进行生产与销售活动，同时进行碳减排投资，以减少生产过程中产生的碳排放，控制碳配额的使用，并通过碳交易市场交易剩余或不足的碳配额，单位碳配额的交易价格为 p_e 。该情形下，双方各自独立并同时进行决策：制造商决定最优的批发价和碳减排投资水平，零售商同时决定零售价。供应链成员在决策过程中并非是完全理性的，鉴于供应链健康可持续发展的需要，制造商和零售商均具有利他偏好，假设制造商的利他偏好系数为 θ_m ，零售商的利他偏好系数为 θ_r 。此外，本章假设市场上的消费者均具有低碳偏好，相对于传统商品来说，消费者愿意以更高的价格购买低碳产品。在实际运营过程中，企业会存在私有信息，从而导致供应链成员间信息不对称的问题。在碳配额和交易机制下，制造商为了获得更多的碳配额或缓解企业减排成本压力，进一步提升自身利润水平，制造商对单位产品的初始碳排放量会存在虚假披露的情况。因此，本章考虑制造商谎报单位产品的初始碳排放量，假设谎报水平为 λ 。考虑到制造商谎报初始碳排放信息属于欺诈行为，不利于市场健康可持续发展，所以政府会对制造商的谎报行为进行干预，一旦发现制造商存在谎报行为，会给予制造商严厉的惩处。假设政府发现制造商谎报的概率为 s ，对制造商因谎报而获得的非法收入进行惩罚的倍数为 τ 。

因此，本章在双方权力对等的情况下，建立供应链成员双重利他偏好模型，并考虑制造商谎报初始碳排放量，求解不同制造商不同谎报决策下供应链的最优决策，分析制造商谎报对供应链决策的影响，引入政府监管惩罚措施，探讨政府监管机制对制造商谎报决策的影响，并通过数值算例分析政府的监管机制对环境绩效的改善情况。

5.1.2 基本假设

本章的符号含义与第 3 章相同，因此不再进行赘述。为使得模型具有最优解，在第 3 章假设的基础上，本章假设 $\theta_r + \theta_m < 1$ ， $2(\alpha - e_0\beta\lambda) + e_0p_e(x(2 + (\lambda - 1)\tau) - 2) > 0$ 。本章涉及的模

型符号及含义具体见表 5-1:

表 5-1 权利对等下模型符号及含义

参数	符号说明		
x	政府分配的免费碳配额比例	p_e	单位碳配额的市场交易价格
α	低碳产品的潜在市场需求	τ	单位非法收入的惩罚倍数,
β	消费者的碳排放敏感系数, $0 \leq \beta \leq 1$	决策变量	符号说明
e_0	单位产品初始碳排放量	e_{3g}^j	权力对等下模型 j 中 g 情形单位产品的碳减排量
k	碳减排成本系数	ω_{3g}^j	权力对等下模型 j 中 g 情形单位产品批发价格
θ_r	零售商利他偏好系数, $0 \leq \theta_r \leq 1$	p_{3g}^j	权力对等下模型 j 中 g 情形单位产品销售价格
θ_m	制造商利他偏好系数, $0 \leq \theta_m \leq 1$	函数	符号说明
λ	制造商初始碳排放量谎报系数, $\lambda \geq 0$	π_{3rg}^j	权力对等下模型 j 中 g 情形零售商的利润函数
s	政府发现制造商谎报的概率, $0 \leq s \leq 1$	π_{3mg}^j	权力对等下模型 j 中 g 情形制造商的利润函数
p_e	单位碳配额的市场交易价格	U_{3ig}^j	权力对等下模型 j 中 g 情形 i 的效用函数
		TCE_{3g}^j	权力对等下模型 j 中 g 情形总碳排放量

其中: $j = AN, AM, AR$ 分别表示利他偏好下制造商无谎报、谎报无惩罚、谎报有惩罚, $i = m, r$ 分别表示“制造商和零售商”, $g = o, v$ 分别表示“无政府惩罚、有政府惩罚”, $v = H, L$ 分别表示“制造商高报、制造商低报”。

5.2 模型构建与求解

5.2.1 无谎报情形(AN 模型)

本节考虑由具有利他偏好的制造商和零售组成的二级低碳供应链, 制造商单位产品的批发价 ω_{3o}^{AN} 和碳减排水平 e_{3o}^{AN} , 同时零售商决定单位产品的零售价 p_{3o}^{AN} 。制造商和零售商考虑自身利润最大化进行决策。该情形下, 供应链中所有信息均是对称的, 制造商会如实公布生产单位低碳产品初始碳排放量和碳减排水平。在 Stackelberg 博弈下, 市场需求、制造商和零售商的收益函数分别为:

$$D_{3o}^{AN} = \alpha - p_{3o}^{AN} - \beta(e_0 - e_{3o}^{AN}) \quad (5-1)$$

$$\pi_{3mo}^{AN} = \omega_{3o}^{AN} D_{3o}^{AN} - ((e_0 - e_{3o}^{AN}) D_{3o}^{AN} - x e_0 D_{3o}^{AN}) p_e - \frac{1}{2} k (e_{3o}^{AN})^2 \quad (5-2)$$

$$\pi_{3ro}^{AN} = (p_{3o}^{AN} - \omega_{3o}^{AN})D_{3o}^{AN} \quad (5-3)$$

当供应链成员权力对等时，考虑双方均具有利他偏好。本文引入效用函数，此时制造商和零售商的效用函数可分别表示为：

$$U_{3mo}^{AN} = \theta_m \pi_{3ro}^{AN} + (1 - \theta_m) \pi_{3mo}^{AN} \quad (5-4)$$

$$U_{3ro}^{AN} = \theta_r \pi_{3mo}^{AN} + (1 - \theta_r) \pi_{3ro}^{AN} \quad (5-5)$$

求解 AN 模型，得到如下结论：

定理 5-1 AN 模型的均衡解及供应链成员利润为：

$$e_{3o}^{AN*} = \frac{(p_e + \beta)\psi_3 \chi_3^{AN}}{\rho_3}, \quad D_{3o}^{AN*} = \frac{k\psi_3 \chi_3^{AN}}{\rho_3}, \quad \pi_{3ro}^{AN*} = \frac{k^2(2\theta_r - 1)(\chi_3^{AN})^2(\theta_m - 1)\psi_3}{(\rho_3)^2}$$

$$\pi_{3mo}^{AN*} = \frac{k(\chi_3^{AN})^2\psi_3((p_e + \beta)^2\psi_3 + 2k(\theta_r - 1)(2\theta_m - 1))}{2(\rho_3)^2}。$$

其中 $\psi_3 = 1 - (\theta_r + \theta_m)$ ， $\rho_3 = k(4(\theta_r(\theta_m - 1) - \theta_m) + 3) - (p_e + \beta)^2\psi_3$ ， $\chi_3^{AN} = \alpha - e_0(p_e(1 - x) + \beta)$ 。

5.2.2 谎报无惩罚情形(AM 模型)

制造商为了获取更高水平的利润，存在高报或低报的动机。因此，本节在考虑零售商利他偏好的同时进一步探究制造商谎报行为对低碳供应链最优决策的影响。与 5.2.1 建模方法一致，在碳交易机制下，供应链成员具有双重利他偏好。制造商进行碳减排努力投资，决定单位产品的批发价 ω_{3o}^{AM} 和碳减排水平 e_{3o}^{AM} ，同时零售商决定单位产品的零售价 p_{3o}^{AM} 。为了获得更多的利润，制造商谎报单位产品的初始碳排放量 e_0 ，并假设制造商的谎报系数为 λ ($\lambda > 0$)。制造商和零售商考虑自身利润最大化进行决策。在 Stackelberg 博弈下，市场需求、制造商和零售商的收益函数分别为：

$$D_{3o}^{AM} = \alpha - p_{3o}^{AM} - \beta(\lambda e_0 - e_{3o}^{AM}) \quad (5-6)$$

$$\pi_{3mo}^{AM} = \omega_{3o}^{AM} D_{3o}^{AM} - ((e_0 - e_{3o}^{AM})D_{3o}^{AM} - x\lambda e_0 D_{3o}^{AM})p_e - \frac{1}{2}k(e_{3o}^{AM})^2 \quad (5-7)$$

$$\pi_{3ro}^{AM} = (p_{3o}^{AM} - \omega_{3o}^{AM})D_{3o}^{AM} \quad (5-8)$$

当供应链成员权力对等时，考虑双方均具有利他偏好。本文引入效用函数，此时制造商和零售商的效用函数可分别表示为：

$$U_{3mo}^{AM} = \theta_m \pi_{3ro}^{AM} + (1 - \theta_m) \pi_{3mo}^{AM} \quad (5-9)$$

$$U_{3ro}^{AM} = \theta_r \pi_{3mo}^{AM} + (1 - \theta_r) \pi_{3ro}^{AM} \quad (5-10)$$

求解 AM 模型，得到如下结论：

定理 5-2 AM 模型的均衡解及供应链成员利润为：

$$e_{30}^{AM*} = \frac{(p_e + \beta)\psi_3}{\rho_3}, D_{30}^{AM*} = \frac{k\chi_3^{AM}\psi_3}{\rho_3}, \pi_{3mo}^{AM*} = \frac{k(\chi_3^{AM})^2\psi_3((p_e + \beta)^2\psi_3 + 2k(\theta_r - 1)(2\theta_m - 1))}{2(\rho_3)^2}$$

$$\pi_{3ro}^{AM*} = \frac{k^2(2\theta_r - 1)(\chi_3^{AM})^2(\theta_m - 1)\psi_3}{(\rho_3)^2}。其中 \chi_3^{AM} = \alpha - e_0((1 - x\lambda)p_e + \beta\lambda)。$$

命题 5-1 通过求解 AM 模型的最优解关于制造商谎报系数的一阶导数可得：

- (1) 当 $p_e > \beta/x$ 时, $\partial\pi_{3mo}^{AM*}/\partial\lambda > 0$, $\partial\pi_{3ro}^{AM*}/\partial\lambda > 0$, $\partial D_{30}^{AM*}/\partial\lambda > 0$, $\partial e_{30}^{AM*}/\partial\lambda > 0$;
- (2) 当 $p_e < \beta/x$ 时, $\partial\pi_{3mo}^{AM*}/\partial\lambda < 0$, $\partial\pi_{3ro}^{AM*}/\partial\lambda < 0$, $\partial D_{30}^{AM*}/\partial\lambda < 0$, $\partial e_{30}^{AM*}/\partial\lambda < 0$ 。

由命题 5-1 可得，当供应链成员权力对等时，制造商的谎报行为对供应链成员最优决策的影响与碳交易价格相关。具体而言，当碳交易价格高于某一阈值时，供应链成员收益、市场需求以及碳减排水平与谎报水平呈正相关，当碳交易价格低于某一阈值时，供应链成员收益、市场需求以及碳减排水平与谎报水平呈负相关。

制造商对单位产品的初始碳排放量进行谎报，吸引市场上具有低碳偏好的消费者，获取更多的收益。在碳配额价格较高时，制造商额外购买碳排放权成本增加，选择低报产品初始碳排放量可使谎报后产品的碳排放量减少，降低减排成本的同时还可以增加市场需求，零售商利润也会随之上升。在碳排放权交易价格较低时，单位碳排放成本降低，制造商选择高报产品的初始碳排放，可以从政府获得较高的碳排放权，通过碳交易增加自身收入。

命题 5-2 (1) 当 $p_e > \beta/x$ 时: 若 $0 \leq \lambda < 1$, 则有 $D_{30}^{AM*} < D_{30}^{AN*}$, $e_{30}^{AM*} < e_{30}^{AN*}$, $\pi_{3mo}^{AM*} < \pi_{3mo}^{AN*}$, $\pi_{3ro}^{AM*} < \pi_{3ro}^{AN*}$; 若 $\lambda \geq 1$, 则有 $D_{30}^{AM*} \geq D_{30}^{AN*}$, $e_{30}^{AM*} \geq e_{30}^{AN*}$, $\pi_{3mo}^{AM*} \geq \pi_{3mo}^{AN*}$, $\pi_{3ro}^{AM*} \geq \pi_{3ro}^{AN*}$ 。(2) 当 $p_e < \beta/x$ 时: 若 $0 \leq \lambda < 1$, 则有 $D_{30}^{AM*} > D_{30}^{AN*}$, $e_{30}^{AM*} > e_{30}^{AN*}$, $\pi_{3mo}^{AM*} > \pi_{3mo}^{AN*}$, $\pi_{3ro}^{AM*} > \pi_{3ro}^{AN*}$; 若 $\lambda \geq 1$, 则有 $D_{30}^{AM*} \leq D_{30}^{AN*}$, $e_{30}^{AM*} \leq e_{30}^{AN*}$, $\pi_{3mo}^{AM*} \leq \pi_{3mo}^{AN*}$, $\pi_{3ro}^{AM*} \leq \pi_{3ro}^{AN*}$ 。

根据命题 5-2 可得，该情形下制造商的谎报行为并不总有利于企业发展，谎报决策受到市场碳配额交易价格和谎报系数的影响。具体而言，当市场碳配额交易价格较高时，制造商低报会使供应链成员收益、市场需求、单位产品的碳减排量降低，制造商高报会提高供应链成员收益、市场需求以及单位产品的碳减排量；当市场碳配额价格较低时，制造商低报会提高供应链成员收益、市场需求以及单位产品的碳减排量，制造商高报会降低供应链成员收益、市场需求以及单位产品的碳减排量。

当市场碳配额的交易价格较高时，若制造商选择低报，则需增加碳配额的购买量，导致

成本上升收益下降，从而抑制减排的积极性。相反，当碳配额的交易价格较低时，若制造商选择低报，尽管获得的免费碳配额减少，但可以通过较低成本的市场交易来满足碳减排需求，不仅减排成本较低，购买碳配额的成本也会相应下降。因此，制造商在碳配额交易价格较高时会选择高报，在碳配额交易价格较低时选择低报。

由命题 5-2，我们可以得到，虽然制造商的谎报决策，可以在一定范围内给供应链成员的带来较乐观的收益，但其本质上是属于欺诈行为，将会给社会带来较多的负面影响。因此，本文以制造商谎报后总的碳排放量为评价指标，分析制造商的谎报行为可能造成的不良后果。制造商总的碳排放量可表示为 $TCE_3 = (e_0 - e_3^{j*})D_3^{j*}$ 。由于总的碳排放量均衡解表达式较为复杂，此处将通过数值模拟的方式来进行对比。在满足前文要求的约束条件下，为不失一般性，参考 3.2.2 内容，令 $\alpha = 15$ ， $k = 5$ ， $e_0 = 6$ ， $\beta = 0.4$ ， $\theta_m = \theta_r = 0.2$ ， $x = 0.25$ ，分别以 $p_e = 2$ ， $p_e = 1$ ，即满足 $p_e > \beta/x$ 和 $p_e < \beta/x$ 为例，得到总的碳排放量随着谎报系数变化的趋势如图 5-1 所示：

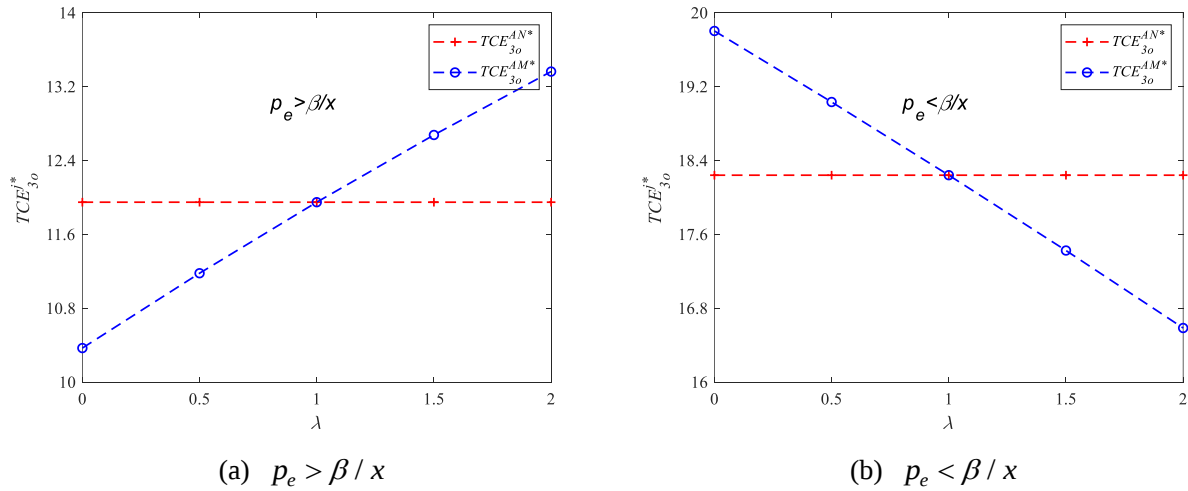


图 5-1 谎报水平对总的碳排放量的影响

根据图 5-1 可以看出，当 $p_e > \beta/x$ 时，此时制造商低报会使总的碳排放量变少，高报则会使总的碳排放量增多；当 $p_e < \beta/x$ 时，此时制造商高报会使总的碳排放量变多，低报则会使总的碳排放量减少。结合命题 5-2，制造商为了尽可能多的获取收益，在碳配额价格较高时会选择高报，在碳配额价格较低时选择低报。因此，根据市场碳配额交易价格的变化，制造商的谎报决策都将使产品总的碳排放量增加，不仅不会响应碳减排号召，反而对环境负面影响进一步加剧。

综上所述，在制造商利他偏好的基础上，制造商谎报行为虽然可以使其获得更高的收益，

但同时也会对环境造成严重的负面影响。因此，政府应当建立健全相关法律法规，对制造商的谎报行为进行抑制，避免该欺诈行为的产生，从而实现低碳供应链健康可持续发展的目标。本文针对上述分析结果，就制造商谎报产品初始碳排放量的行为开展进一步研究，考虑政府制定相关惩罚措施，抑制制造商谎报行为，以减少产品总的碳排放量。

5.2.3 谎报有惩罚情形(AR 模型)

由 5.2.1 节和 5.2.2 节可知，虽然碳信息谎报行为有利于企业增加利润，但同时对环境负面影响会进一步加剧。结合上述情形，本节将进一步探讨制造商谎报行为和政府制定相关惩罚措施，来抑制制造商的谎报行为。假设制造商谎报单位产品初始碳排放量被政府发现的概率为 s ，当政府发现制造商谎报时会对其谎报获得的非法收入进行惩罚，单位非法收入的惩罚倍数为 τ 。可得此时市场需求函数表达式为：

$$D_{3v}^{AR} = \alpha - p_{3v}^{AR} - \beta(\lambda e_0 - e_{3v}^{AR}) \quad (5-11)$$

政府针对制造商谎报行为制定相应的惩罚措施，以此抑制制造商的谎报行为。如果制造商的碳信息谎报行为发生，但政府并没有察觉到，则制造商的利润为 π_{3mo}^{AM} 。如果制造商选择谎报，且被政府发现其谎报行为，制造商的利润可被分为两种情形：(1) 制造商高报： $\pi_{3mo}^{AM} - \tau(\lambda - 1)x e_0 p_e D_{3o}^{AM}$ ；(2) 制造商低报： $\pi_{3mo}^{AM} - \tau(1 - \lambda)x e_0 p_e D_{3o}^{AM}$ 。

因而，制造商的利润函数可分为高报和低报情形下：

$$\pi_{3mH}^{AR} = (1-s)\pi_{3mo}^{AM} + s(\pi_{3mo}^{AM} - \tau(\lambda - 1)x e_0 p_e D_{3o}^{AM}) \quad (5-12)$$

$$\pi_{3mH}^{AR} = (1-s)\pi_{3mo}^{AM} + s(\pi_{3mo}^{AM} - \tau(1 - \lambda)x e_0 p_e D_{3o}^{AM}) \quad (5-13)$$

零售商的收益函数为：

$$\pi_{3rv}^{AR} = \delta_{3v}^{AR} D_{3v}^{AR} \quad (5-14)$$

此时制造商和零售商的效用函数表达式为：

$$U_{3mv}^{AR} = \theta_m \pi_{3rv}^{AR} + (1 - \theta_m) \pi_{3mv}^{AR} \quad (5-15)$$

$$U_{3rv}^{AR} = \theta_r \pi_{3mv}^{AR} + (1 - \theta_r) \pi_{3rv}^{AR} \quad (5-16)$$

运用逆向归纳法求解上述 AR 模型，得到如下结论：

定理 5-3 AR 模型的均衡解及供应链成员利润为：

制造商高报单位产品初始碳排放量时：

$$e_{3H}^{AR*} = \frac{(p_e + \beta)\chi_{3H}^{AR}\psi_3}{\rho_3}, D_{3H}^{AR*} = \frac{k\chi_{3H}^{AR}\psi_3}{\rho_3}, \pi_{3mH}^{AR*} = \frac{k(\chi_{3H}^{AR})^2\psi_3(2k(\theta_r - 1)(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2\psi_3)}{2(\rho_3)^2},$$

$$\pi_{3rH}^{AR*} = \frac{k^2(2\theta_r - 1)(\chi_{3H}^{AR})^2(\theta_m - 1)\psi_3}{(\rho_3)^2}。$$

制造商低报单位产品初始碳排放量时：

$$\begin{aligned} e_{3L}^{AR*} &= \frac{(p_e + \beta)\chi_{3L}^{AR}\psi_3(1-s)}{\rho_4}, & D_{3L}^{AR*} &= \frac{\chi_{3L}^{AR}\psi_3(1-s)}{\rho_4}, \\ \pi_{3rL}^{AR*} &= \frac{(\chi_{3L}^{AR})^2\psi_3(1+(2s-3)\theta_r)(1-s)^2(1-\theta_m)k^2}{\rho_4}, \\ \pi_{3mL}^{AR*} &= \frac{(k(1-\theta_r)(2+2s(\theta_m-1)-3\theta_m)+(1-s)(p_e+\beta)^2\psi_3)(\chi_{3L}^{AR})^2\psi_3(1-s)^2k}{\rho_4}。 \end{aligned}$$

其中 $\chi_{3H}^{AR} = \alpha - e_0((1+x(s\tau(\lambda-1)-1))p_e + \beta\lambda)$, $\chi_{3L}^{AR} = 2\alpha - e_0((2-x(\tau(\lambda-1)+2))p_e + 2\beta\lambda)$,
 $\rho_4 = \theta_m(6s-7+\theta_r(3-2s)^2) - 2(s-1)((p_e+\beta)^2(\theta_m+\theta_r-1)+k(\theta_r(2s-5)+3))。$

5.3 敏感性分析

令 AM 模型均衡解中的谎报系数 $\lambda=1$, 即可得到 AN 模型的均衡解, 因而下文只对 AM 模型和 AR 模型进行比较。考虑到总的碳排放量表达式较为复杂, 难以直接比较, 下文将进行数值模拟分析。

命题 5-3 (1) $\partial D_{3v}^{j*} / \partial \theta_i > 0$, $\partial e_{3v}^{j*} / \partial \theta_i > 0$ 。(2) 当 $k \geq |\bar{k}_1|$ 时, 则 $\partial \pi_{3mv}^{j*} / \partial \theta_i < 0$, 当 $k < |\bar{k}_1|$ 时, 则 $\partial \pi_{3mv}^{j*} / \partial \theta_i > 0$; 当 $k \geq |\bar{k}_2|$, 则 $\partial \pi_{3rv}^{j*} / \partial \theta_i < 0$, 当 $k < |\bar{k}_2|$ 时, 则 $\partial \pi_{3rv}^{j*} / \partial \theta_i > 0$ 。其中

$$\bar{k}_1 = \frac{\theta_r(p_e + \beta)^2\psi_3}{(\theta_r - 1)(4\theta_r\theta_m - 1)}, \quad \bar{k}_2 = \frac{\theta_r(p_e + \beta)^2\psi_3}{2(\theta_r - 1) + 4\theta_r^2(1 - \theta_m) + \theta_r(4\theta_m - 5)}。$$

由命题 5-3 可得, 供应链成员的利他偏好会影响供应链的最优决策, 随着利他偏好系数的增加, 市场需求和单位产品的碳减排量随之上升, 而供应链成员收益还受到单位产品碳减排成本系数的影响。具体而言, 当单位产品碳减排成本系数较大时, 供应链成员收益随利他偏好系数的增加而下降; 当单位产品碳减排成本系数较小时, 供应链成员收益随利他偏好系数的增加而提高。

为了推动供应链的稳定和可持续发展, 供应链成员在决策时展现出利他主义的社会属性。零售商的利他行为一定程度上为制造商分担碳减排成本, 制造商有更多的资金进行减排投资, 单位产品的减排水平会相应提高, 从而增加市场需求量。当碳减排成本系数较高时, 制造商此时进行碳减排成本较大, 在减排和利他偏好双重成本压力下, 随着利他偏好系数的增加, 制造商的收益下降, 为了追求利润最大化, 制造商提高单位产品的批发价, 零售商收

益也会随之下降。反之亦然。综上，供应链成员的利他行为在一定程度上可以提高产品的市场需求和碳减排量，但对供应链成员的收益还受到单位产品碳减排系数的影响。因此，一方面供应链成员应共同朝着可持续发展目标努力，提高供应链系统整体的稳定性，另一方面，制造商应进一步改进生产工艺，降低产品碳减排成本，优化市场环境朝着低碳可持续发展目标迈进。

命题 5-4 对于 AR 模型，制造商高报初始碳排放量即 $\lambda > 1$ 有： $\partial D_{3H}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial e_{3H}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial \pi_{3mH}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial \pi_{3rH}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ；制造商低报初始碳排放量即 $0 < \lambda < 1$ 有：当 $p_e > 2\beta / x\tau$ 时， $\partial D_{3L}^{AR*} / \partial \lambda > 0$ ， $\partial e_{3L}^{AR*} / \partial \lambda > 0$ ， $\partial \pi_{3rL}^{AR*} / \partial \lambda > 0$ ，当 $p_e < 2\beta / x\tau$ 时， $\partial D_{3L}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial e_{3L}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ ， $\partial \pi_{3rL}^{AR*} / \partial \lambda < 0$ 。

根据命题 5-4，在引入政府监管惩罚措施后，制造商高报单位产品初始碳排放量不利于提高市场需求和供应链成员收益，同时单位产品的单位碳减排水平也受到负面影响；当碳配额交易价格高于某一阈值时，零售商收益、市场需求、单位产品碳减排水平与谎报水平呈正相关关系；当碳配额交易价格低于某一阈值时，零售商收益、市场需求、单位产品碳减排水平与谎报水平呈负相关关系。

结合命题 5-2，制造商在碳配额交易价格较高时选择高报，在碳配额交易价格较低时选择低报，命题 5-4 表明，在引入政府监管惩罚措施后，制造商高报单位产品的初始碳排放量不利于供应链健康发展。同样的，在碳配额价格处于 $(2\beta / x\tau, 2\beta / x)$ 区间时，制造商低报单位产品的初始碳排放量不利于供应链健康发展。然而，当碳配额价格进一步降低到 $(0, 2\beta / x\tau)$ 区间时，制造商低报对供应链发展更有利。因此，引入政府监管措施可以有效降低制造商的谎报行为，政府应当根据不同类型的企业，明确各行业的初始碳排放量标准，并结合当前市场碳配额的交易价格，制定和完善相应的法律法规。政府还应重点对所披露的初始碳排放量低于行业标准的企业进行严格审查，以确保市场环境的健康和可持续发展。通过这样的措施，可以有效地促进企业提高碳排放数据的透明度和准确性，同时激励企业采取更为环保的生产方式，为实现绿色经济做出贡献。

命题 5-5 若制造商高报，即 $\lambda > 1$ ，则有 $D_{3H}^{AR*} < D_{3o}^{AM*}$ ， $e_{3H}^{AR*} < e_{3o}^{AM*}$ ， $\pi_{3mH}^{AR*} < \pi_{3mo}^{AM*}$ ， $\pi_{3rH}^{AR*} < \pi_{3ro}^{AM*}$ ； $D_{3o}^{AN*} > D_{3H}^{AR*}$ ， $e_{3o}^{AN*} > e_{3H}^{AR*}$ ， $\pi_{3mo}^{AN*} > \pi_{3mH}^{AR*}$ ， $\pi_{3ro}^{AN*} > \pi_{3rH}^{AR*}$ 。

根据命题 5-5 可得，制造商高报时，政府此时采取监管惩罚措施，会减少产品市场需求量、碳减排水平以供应链成员收益；在政府采取监管惩罚措施后，制造商高报情形下，供应链成员收益、市场需求以及单位产品的碳减排量相较于无谎报情形出现下降趋势。与命题 5-

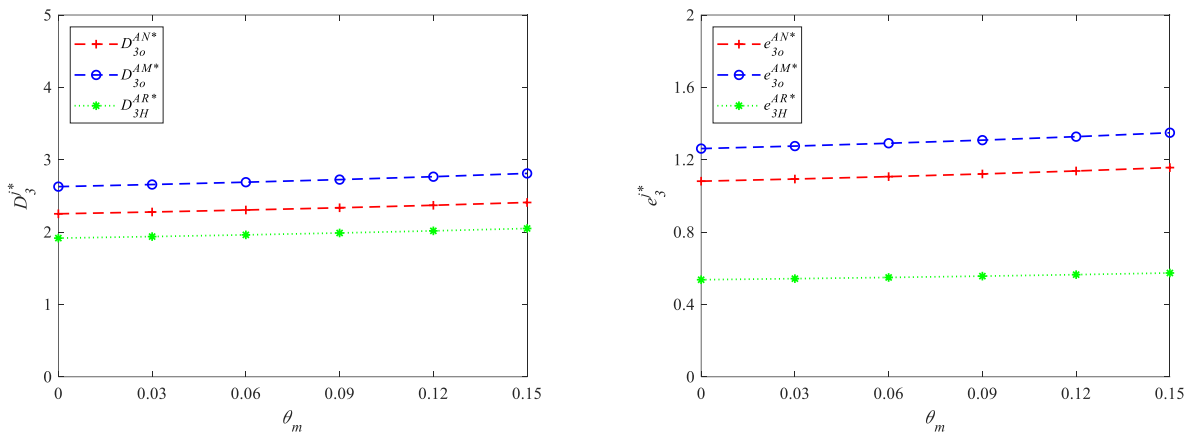
4 类似, 表明此时政府的监管措施可以有效抑制制造商的谎报行为。因此, 我们可以得到, 当政府进行严密监管或采取严厉的惩处措施时, 是可以有效降低制造商谎报的概率, 维护公平诚信的市场环境秩序。由于制造商低报情形下最优决策较为复杂, 因此, 本文在此不进行对比分析, 将在下一章节数值模拟进行分析。

5.4 数值分析

本部分将通过数值算例进一步验证前文结论的准确性, 验证不同情形下制造商的利他偏好系数、制造商初始碳排放量谎报系数对供应链成员利润、市场需求、单位产品碳减排水平的影响。依旧沿用前文的参数设置, 令 $\alpha=15$, $k=5$, $e_0=6$, $p_e=2$, $x=0.25$, $\beta=0.4$, $s=0.5$, $\tau=2$ 。

5.4.1 制造商利他偏好对供应链均衡状态的敏感性分析

本节将分析制造商的利他偏好行为变动对市场需求、单位产品碳减排量及供应链成员利润的影响。由于制造商与零售商利他偏好对供应链最优决策的方向性一致, 因此, 本节仅体现制造商利他偏好对供应链最优决策的影响。在满足基本假设的前提下, 令制造商的初始碳排放量谎报系数 $\lambda=2$, 零售商的利他偏好系数 $\theta_r=0.2$ 。



(a) 利他偏好系数变动对市场需求的影响

(b) 利他偏好系数变动对单位产品碳减排量的影响

图 5-2 利他偏好系数对市场需求和单位产品碳减排量的影响

由图 5-2 可得供应链成员利他行为, 对市场需求和单位产品的碳减排水平有正向影响。无论是制造商还是零售商具有利他行为时, 均属于对供应链上其他成员的让利行为, 可以有效降低合作企业的成本压力。于制造商而言, 有更充沛的资金进行减排投资, 所以市场份额也会随之上升。

图 5-3 展示了供应链成员制造商利他偏好对供应链成员收益的影响。前文指出, 利他偏好行为本质上是企业的让利行为, 以此来提高供应链系统的韧性, 达到持续健康发展的目的。

因此,在制造商具有利他偏好时制造商的收益会出现下降的趋势,而零售商的收益则会逐渐提高。

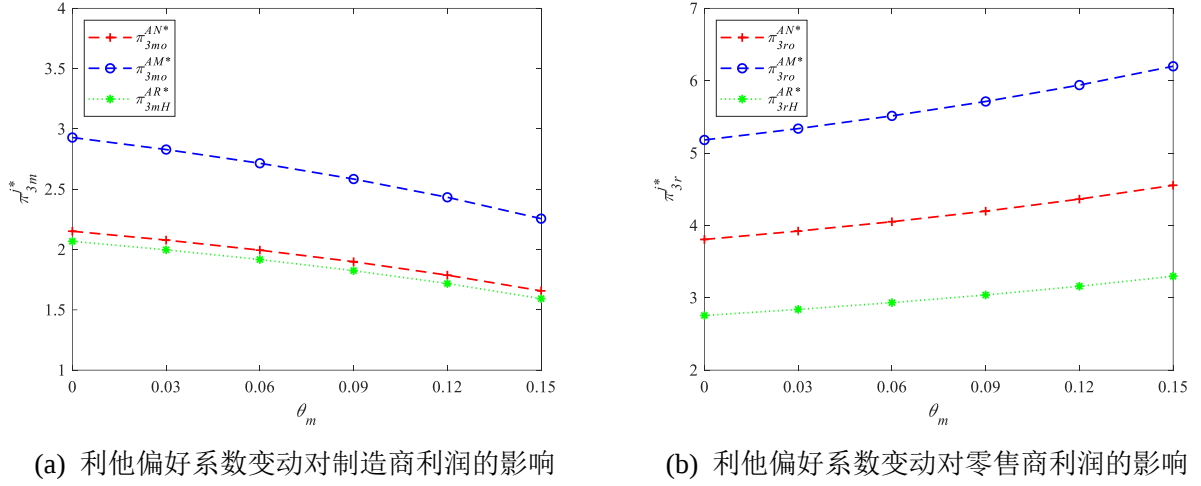


图 5-3 利他偏好系数变动对供应链成员利润的影响

5.4.2 制造商谎报水平对供应链均衡状态的敏感性分析

本节将分析制造商的谎报行为对市场需求、单位产品的碳减排量及供应链成员利润的影响。在满足基本假设的前提下,分别取 $p_e = 2$ 和 $p_e = 1$ 表示 $p_e > \beta/x$ ($p_e > 2\beta/x\tau$) 和 $p_e < \beta/x$ ($p_e < 2\beta/x\tau$) 两种情形。

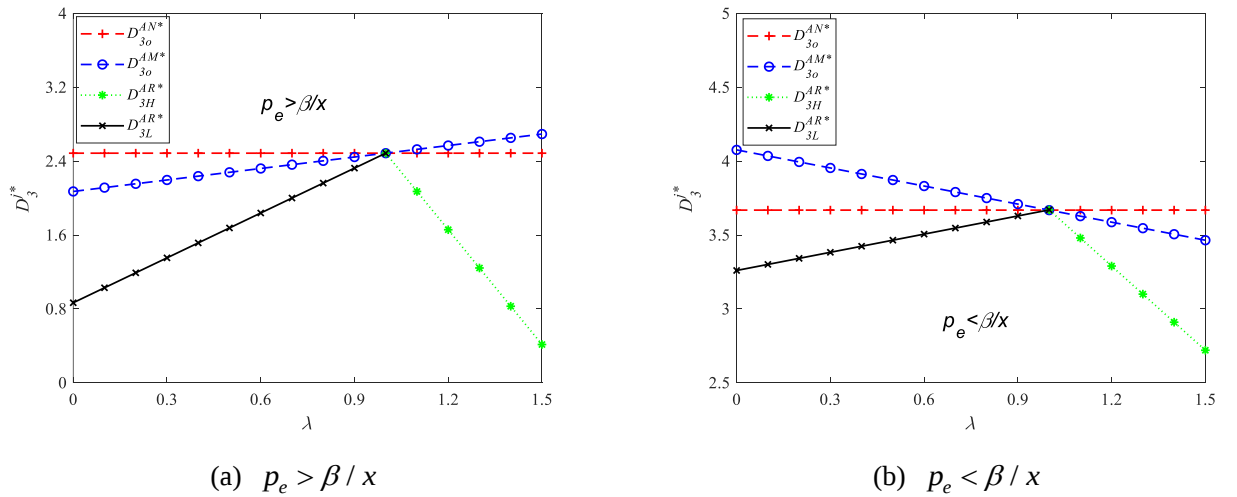


图 5-4 制造商谎报系数变动对市场需求的影响

图 5-4、图 5-5 展示了制造商谎报系数的变动对市场需求和单位产品碳减排量的影响。在碳配额交易价格高于一定阈值时,制造商高报可以提高市场需求和单位产品的碳减排量。然而,在引入政府惩罚监管措施后,制造商谎报后的市场需求和单位产品的碳减排量显著下降。通过对比不同市场环境,在有无政府监管政策下,制造商的谎报行为对供应链最优决策

呈现出不同的影响。碳配额市场价格较高时，随着制造商谎报程度的增大，政府的监管惩罚政策的实施将会减少供应链市场需求量，抑制制造商减排动机。

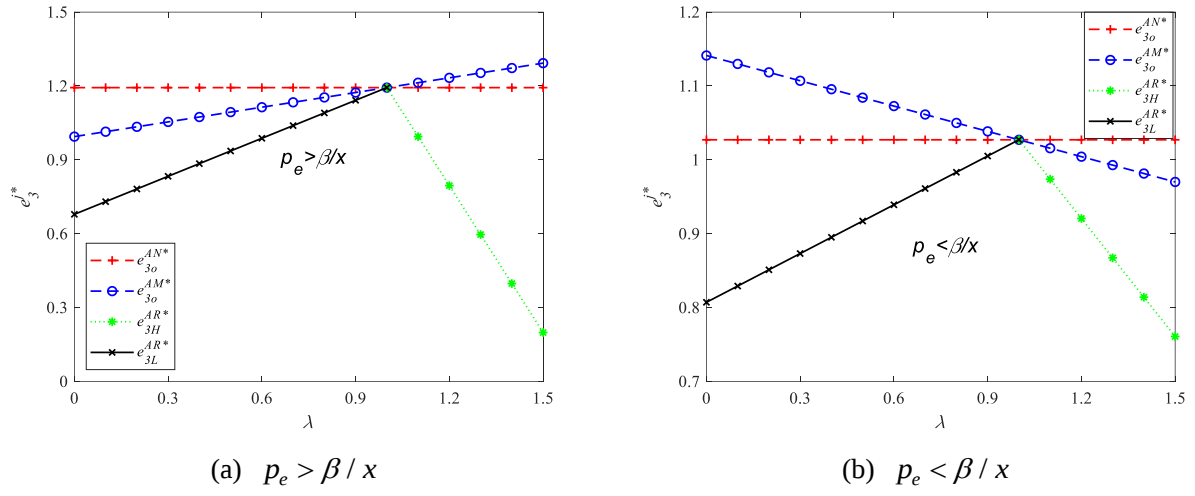


图 5-5 制造商谎报系数变动对单位产品碳减排量的影响

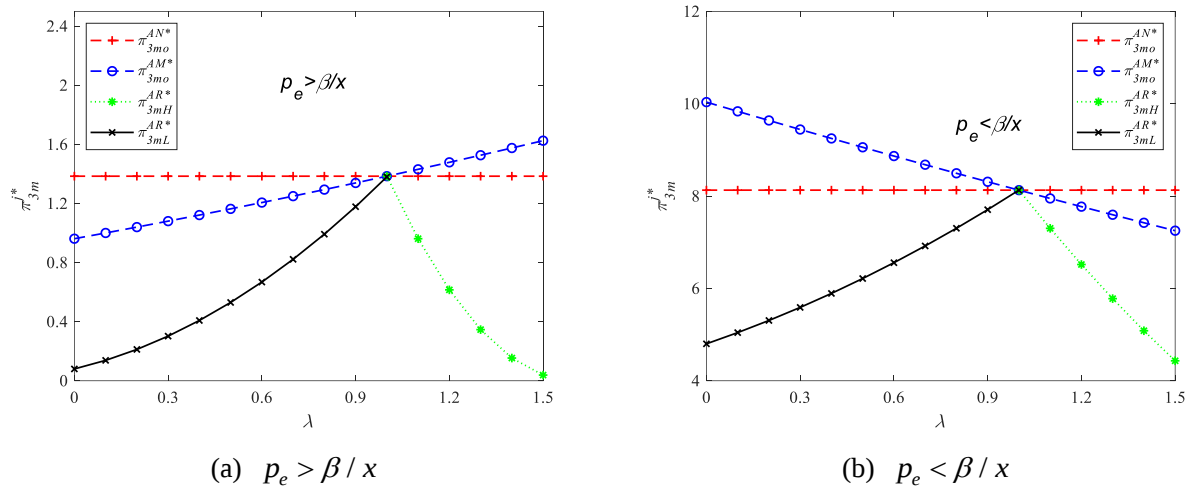


图 5-6 制造商谎报系数变动对制造商利润的影响

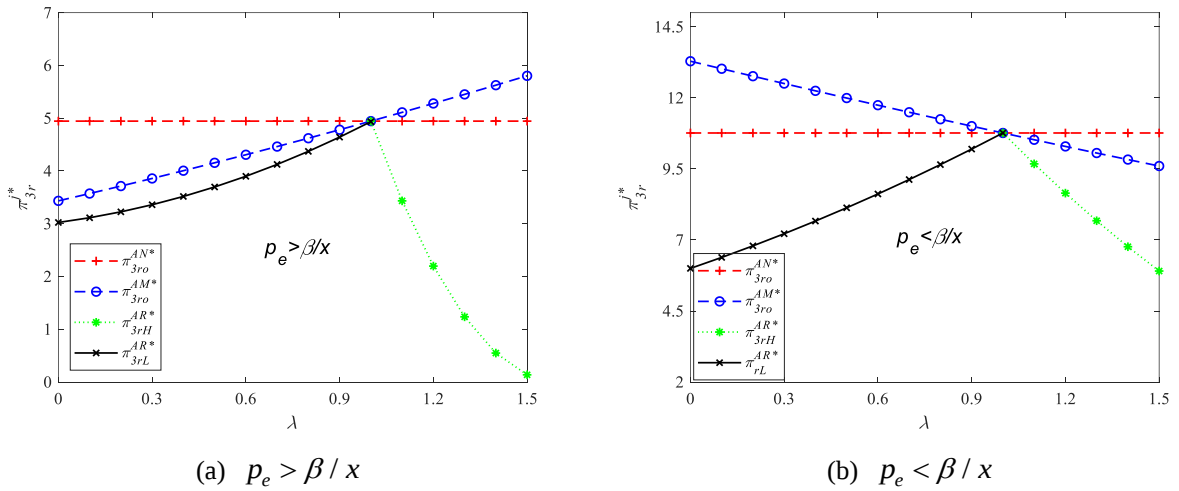


图 5-7 制造商谎报系数变动对零售商利润的影响

图 5-6、图 5-7 展示了制造商谎报系数对供应链成员收益的影响。制造商谎报行为可以为供应链成员带来较高的收益，制造商根据市场碳配额交易价格来决定是否进行谎报。具体而言，当市场碳配额交易价格较高时，制造商高报初始碳排放量将会获得更高的收益，当市场碳配额交易价格较低时，则制造商选择低报会获得更高的收益。政府监管惩罚措施的实施，对供应链成员收益的存在负面差异。随着制造商谎报程度的增大，政府监管惩罚措施将在一定程度上降低供应链成员的收入。由此说明，政府的监管措施可以有效的抑制制造商谎报积极性。

上述研究结果表明，在特定市场环境下，政府的政策性干预能够有效抑制制造商的谎报行为。因此，政府应合理制定相关政策，引导企业诚信经营。具体而言，政府需精准把握行业碳排放标准，并重点关注那些偏离行业排放标准的企业。这一举措不仅有利于推动环境的可持续健康发展，还能有效营造公平、诚信的市场竞争环境。从更广泛的社会层面来看，这种正向引导对促进整个社会的低碳转型具有重要意义。

5.4.3 政府监管措施对总的碳排放量的敏感性分析

由 5.4.1 和 5.4.1 分析可得，制造商谎报会给自己本身带来较高的收益，但同时也会导致对环境的危害进一步加剧。政府引入监管惩罚措施，制造商收益受损，因而可以有效抑制制造商谎报的积极性。本节以政府惩罚倍数作为变量，探究政府监管惩罚措施是否可以进一步降低市场总碳排放量，提高环境效益。继续沿用前文设置的参数，可得：

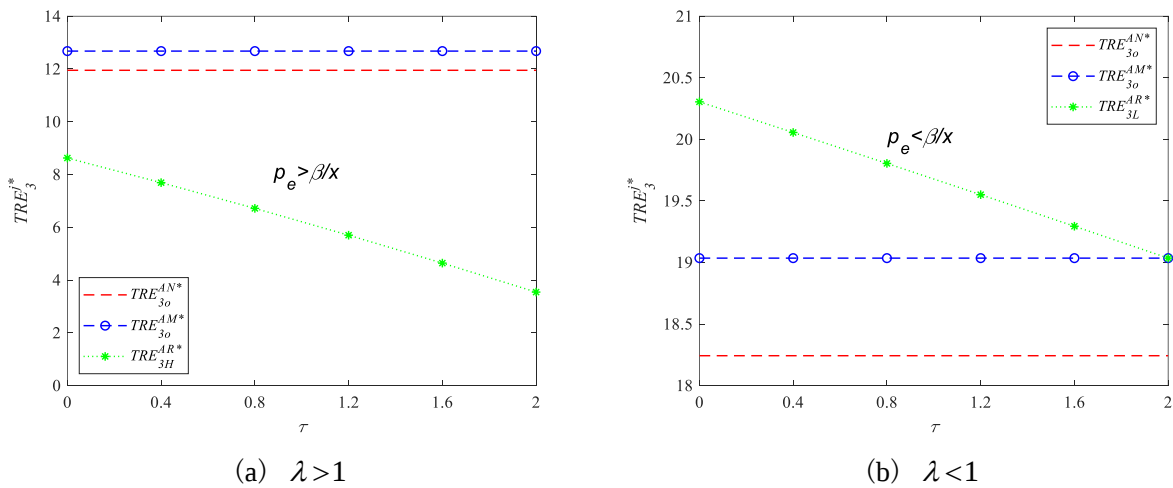


图 5-8 惩罚倍数变动对总的碳排放量的影响

由图 5-8 可得，在不同的市场环境下，制造商的碳排放总量不同，不仅受到碳配额交易价格的影响，还受到制造商谎报水平的影响，并且制造商的谎报行为会对环境的负面影响进一步加剧。由命题 5-2 可得，制造商在碳交易价格较高时选择高报，在碳交易价格较低时选

择低报。在政府实施监管措施后，在不同的市场环境下，都可以有效的抑制制造商的谎报行为，并且可以有效降低市场总的碳排放量。当政府采取较为严格的惩处措施后，市场总的碳排放量将会逐渐下降。因此，我们可以得到，在不同的市场环境下，政府的监管惩罚措施，一方面可以抑制企业的谎报行为，另一方面可以进一步减少社会总的碳排放量，对于维护市场秩序和促进环境保护具有重要意义

5.5 本章小结

本章研究制造商与零售商权力对等时，双方均具有利他偏好的产品初始碳排放量谎报供应链运作情形，建立了同时考虑双方均具有利他偏好行为和初始碳排放量谎报的决策模型，分析了在不同碳配额交易价格市场环境下，制造商的谎报决策，并引入了政府监管惩罚措施，分析政府采取惩罚措施对谎报行为的影响，并通过数值模拟分析了政府惩罚倍数对社会总碳排放量的影响。研究结果如下：

(1) 供应链成员的利他行为会增加产品的市场需求量，促进制造商进行碳减排投资，提高产品的绿色度。利他偏好系数对供应链成员收益的影响，受到制造商碳减排投资成本系数的影响。因此，供应链成员应共同朝着可持续发展目标努力，提高供应链系统整体的稳定性；制造商应进一步改进生产工艺，降低产品碳减排成本，优化市场环境朝着低碳可持续发展目标迈进。

(2) 在无政府监管情形下，制造商会选择在碳配额交易价格较高时选择高报，在碳配额交易价格较低时选择低报，以此来获得更高的收益。然而，制造商的谎报行为将会增加社会总碳排放量水平，不利于环境的健康可持续发展。

(3) 在引入政府监管的情况下，政府的监管措施将会有有效的抑制制造商谎报行为，同时降低社会总的碳排放量水平。

结论与展望

本文探讨了在全球经济快速发展导致碳排放量持续攀升和环境问题日益严峻的背景下，各国政府为实现碳减排目标所采取的政策措施，以及企业在低碳经济下的运营决策问题。为了实现减排目标，各国政府推出了碳限额、碳税、碳补贴、碳配额与交易等减排政策。其中，碳配额与交易机制被视为控制碳排放的有效手段之一。企业不是独立的个体，企业在决策过程中会产生利他偏好，以此来提高供应链整体的稳定性和韧性，通过考虑利他偏好对供应链最优决策的影响，可提高供应链整体绩效。然而，在企业实际运营中，企业拥有自身的私有信息，具有信息优势的一方，往往会为了追求收益最大化进行谎报，从而对整体供应链最优决策产生影响。

因此，本研究在碳限额与交易机制背景下，聚焦利他偏好和制造商初始碳排放量谎报的交互影响，通过构建不同权力结构下的博弈模型分析利他偏好行为和制造商谎报行为是如何影响供应链最优决策，并引入了政府监管惩罚措施，探究政府监管惩罚措施对制造商谎报行为的抑制情况和对环境绩效的改善程度。主要结论如下所示：

(1) 供应链成员的利他偏好行为会增加产品的市场需求量，促进制造商进行碳减排投资，提高产品的绿色度，进一步提升供应链整体效率和稳定性。在制造商或零售商主导情形下，主导者的利他偏好更有利于追随者收益进一步增加，对于主导者本身，利他偏好行为会有损企业自身收益；而权力对等情形下，供应链成员利他行为对企业收益的影响还受到制造商碳减排投资成本系数的影响。从供应链系统来看，供应链成员的利他偏好行为不仅影响着供应链内部的利润分配，更在宏观层面上促进了行业的环境友好型发展，对于推动整个行业向绿色可持续发展的转型具有积极意义。因此，供应链成员之间应加强合作，推动低碳消费理念的传播；制造商应进一步改进生产工艺，降低产品碳减排成本，优化市场环境朝着低碳可持续发展目标迈进。

(2) 无论何种权力结构，无政府干预的情形，制造商谎报行为都会受到市场碳配额交易价格的影响。此外，供应链的定价决策不仅受到碳配额交易价格的制约，还与制造商碳减排成本系数密切相关。在利润最大化目标下，制造商会根据市场碳配额交易价格确定谎报策略，市场碳配额交易价格与消费者低碳偏好和政府免费分配碳配额比例有关：当碳配额的交易价格超过某一定值时，倾向于选择高报；反之，则倾向于低报。这种策略调整旨在通过影响市场需求，进而提升制造商自身的利润水平。然而，制造商基于利润最大化的谎报决策，会导致供应链整体碳排放量增加，对环境的负面影响进一步加剧。

(3) 在引入政府监管措施后，制造商会根据政府的惩罚措施进行谎报决策。政府的惩罚措施会降低制造商碳减排投资水平以及市场需求，导致供应链成员利润的降低，从而抑制制造商的谎报行为，最终会使供应链总的碳排放量减少。政府的干预不仅有利于环境的可持续发展，而且能够进一步激发制造商进行碳减排的内在动力。在制定相关监管政策时，政府需要综合考虑不同企业的类型和特点，考虑不同行业、不同规模企业的实际情况，制定差异化的监管标准和惩罚措施。这种监管机制，不仅能够更有效地促进企业的碳减排行为，还能够一定程度上保障供应链成员的经济效益，实现环境保护与经济的双赢，政府的监管措施对于促进整个社会的低碳转型具有重要意义。

此外由于研究水平有限，相应结论存在若干局限，未来可以从以下几个方面进行深入探讨：

(1) 本研究考虑了制造商在供应链系统中的碳信息谎报行为，仅探讨了政府政策性手段对谎报行为的影响，并未考虑技术投资干预下企业最优决策的变化。因此，后续研究应针对企业或政府进行技术投资时企业最优决策的变化，例如：考虑区块链技术在碳信息追溯中的应用等。

(2) 对于碳限额政策下的供应链决策，本文仅考虑了供应链成员，后续研究可将其它权力结构或消费者的环境意识等因素考虑进去，研究供应链的决策和协调问题。在企业决策时所具有的行为偏好中，本文仅关注利他偏好对供应链决策的影响，但实际情况中，供应链成员不仅具有利他一种行为偏好。因此，在未来的研究中，应将其他行为偏好综合考虑进去，并采用实际数据和案例进行实证支持，会更加贴合实际情形，更具有实际指导意义。

(3) 本研究只探讨了制造商谎报初始碳排放量行为，而随着信息技术的进步，直面市场的零售商具有更快捷、丰富的市场信息，零售商也会存在私有信息的谎报行为。因此，未来可进一步考虑零售商谎报私有信息对供应链最优决策的影响。

参考文献

- [1] Naber S K, De Ree D A, Spliet R. Allocating CO2 emission to customers on a distribution route[J]. Omega, 2015, 54: 191-199.
- [2] 张云丰, 尚钱龙, 龚本刚, 等. 碳标签制度下三级供应链定价与碳减排决策[J]. 系统工程学报, 2022, 37(2): 242-262.
- [3] 林志炳. 基于利他属性的双渠道供应链研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(12): 126-134.
- [4] Babich V, Hilary G. OM Forum—Distributed ledgers and operations: What operations management researchers should know about blockchain technology[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2020, 22(2): 223-240.
- [5] 唐娟, 李帮义, 龚本刚, 等. 考虑企业社会责任的零售商回收型闭环供应链决策与协调研究[J]. 中国管理科学, 2023, 31(11): 228-237.
- [6] Zhou J H, Zhao R J, Wang W S. Pricing decisions and social welfare in a supply chain with multiple competing retailers and carbon tax policy[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 190: 752-777.
- [7] Xia X Q, Juan Z R, Shi Y, et al. Upstream-downstream joint carbon reduction strategies based on low-carbon promotion[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(7): 1351.
- [8] 张福安, 李娜, 达庆利, 等. 基于两种补贴政策的多元需求闭环供应链低碳减排研究[J]. 中国管理科学, 2023, 31(10): 116-127.
- [9] 张令荣, 杨子凡, 程春琪. 碳配额交易政策下闭环供应链的减排策略选择[J]. 管理工程学报, 2022, 36(1): 172-180.
- [10] 张云丰, 孙利君, 刘伟华, 等. 低碳补贴下产出不确定性制造商的融资与减排决策及协调研究[J]. 系统工程理论与实践, 2025, 1-15.
- [11] 付秋芳, 忻莉燕, 马士华. 惩罚机制下供应链企业碳减排投入的演化博弈[J]. 管理科学学报, 2016, 19(4): 56-70.
- [12] Zu Y F, Chen L H, Fan Y. Research on low-carbon strategies in supply chain with environmental regulations based on differential game[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 177: 527-546.
- [13] Ma X, William H, Ji P, et al. Coordinated pricing analysis with the carbon tax scheme in a supply chain[J]. Decision Sciences, 2018, 49(5): 863-900.
- [14] 张令荣, 王健, 彭博. 内外部碳配额交易路径下供应链减排决策研究[J]. 中国管理科学,

- 2020, 28(11): 145-154.
- [15] 姜跃, 韩水华, 赵洋. 低碳经济下三级供应链动态减排的微分博弈分析[J]. 运筹与管理, 2020, 29(12): 89-97.
- [16] 武丹, 杨玉香. 考虑消费者低碳偏好的供应链减排微分博弈模型研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(4): 126-137.
- [17] Xue J, Gong R F, Zhao L J, et al. A green supply-chain decision model for energy-saving products that accounts for government subsidies[J]. Sustainability, 2019, 11(8): 2209.
- [18] 徐春秋, 王芹鹏. 考虑政府参与方式的供应链低碳商誉微分博弈模型[J]. 运筹与管理, 2020, 29(8): 35-44.
- [19] 贺勇, 陈志豪, 廖诺. 政府补贴方式对绿色供应链制造商减排决策的影响机制[J]. 中国管理科学, 2022, 30(6): 87-98.
- [20] 王勇, 龙超. 碳限额与交易机制下三级供应链双领域减排合作[J]. 系统管理学报, 2019, 28(4): 763-770.
- [21] 张宗明, 李珊, 许晓晴. 考虑产品运输过程碳排放的供应链契约协调[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(13): 265-271.
- [22] 王一雷, 夏西强, 张言. 碳限额与交易机制下供应链碳减排与低碳宣传的微分对策研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(4): 155-166.
- [23] 蓝海燕, 姜力文. 考虑碳排放约束的多级库存系统协调运营策略[J]. 物流技术, 2016, 35(6): 146-153.
- [24] Sun H X, Liu Y X. Production decisions in remanufacturing under the cap-and-trade considering consumer education and government subsidies[J]. Computers & Industrial Engineering, 2023, 182: 109358.
- [25] 李广明, 张维洁. 中国碳交易下的工业碳排放与减排机制研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(10): 141-148.
- [26] Xu X P, He P, Xu X Y. Production and pricing problems in make-to-order supply chain with cap-and-trade regulation[J]. Omega, 2017, 66: 248-257.
- [27] Wang X Y, Sethi S P, Chang Shuhua. Pollution abatement using cap-and-trade in a dynamic supply chain and its coordination[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2022, 158: 102592.
- [28] Peng H J, Pang T, Cong J. Coordination contracts for a supply chain with yield uncertainty and low-carbon preference[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 205: 291-302.
- [29] 王文宾, 王梦垚. 碳限额交易机制下考虑企业环保意识的碳减排决策研究[J]. 系统科学

- 与数学, 2025: 1-19.
- [30] Dong C W, Shen B, Chow P S, et al. Sustainability investment under cap-and-trade regulation[J]. *Annals of Operations Research*, 2016, 240: 509-531.
- [31] Tao Z M. Two-stage supply-chain optimization considering consumer low-carbon awareness under cap-and-trade regulation[J]. *Sustainability*, 2019, 11(20): 5727.
- [32] Taleizadeh A A, Alizadeh B N, Sarker B R. Coordinated contracts in a two-echelon green supply chain considering pricing strategy[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2018, 124: 249-275.
- [33] 唐文之, 朱扬光, 董尹. 多期碳限额与交易下企业产品减排决策[J]. *系统科学与数学*, 2019, 39(8): 1253-1263.
- [34] Tarek A, Ali F, Ali D, et al. Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2012, 36(9): 4271-4285.
- [35] 谢鑫鹏, 赵道致. 低碳供应链生产及交易决策机制[J]. *控制与决策*, 2014, 29(4): 651-658.
- [36] 何华, 马常松, 吴忠和. 碳限额与交易政策下考虑绿色技术投入的定价策略研究[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(5): 74-84.
- [37] 陈晓红, 曾祥宇, 王傅强. 碳限额交易机制下碳交易价格对供应链碳排放的影响[J]. *系统工程理论与实践*, 2016, 36(10): 2562-2571.
- [38] Mao H Y, Wang W B, Liu C H, et al. Effects of the carbon emission quota policy on the quality and sales of manufactured and remanufactured products[J]. *International Journal of Production Economics*, 2023, 266: 109058.
- [39] 张川, 田雨鑫, 崔梦雨. 电动汽车动力电池制造商混合渠道回收模式选择与碳减排决策[J]. *中国管理科学*, 2024, 32(6): 184-195.
- [40] 王道平, 李小燕, 赵亮. 碳交易机制下考虑制造商竞争的供应链协调研究[J]. *运筹与管理*, 2018, 27(4): 62.
- [41] 陈静, 赵灿红, 赵志港. 碳限额及交易背景下双渠道供应链纵向合作动态减排研究[J]. *中国管理科学*, 2022: 1-15.
- [42] Chai Q F, Sun M Y, Lai K H, et al. The effects of government subsidies and environmental regulation on remanufacturing[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2023, 178: 109126.
- [43] 杨烨, 陈伟达, 魏莉. 碳限额与交易下多配方—多铁种高炉生产计划优化[J]. *计算机集成制造系统*, 2018, 24(12): 2953-2963.
- [44] 杨磊, 张琴, 张智勇. 碳交易机制下供应链渠道选择与减排策略[J]. *管理科学学报*, 2017,

- 20(11).
- [45] Cong J, Pang T, Peng H J. Optimal strategies for capital constrained low-carbon supply chains under yield uncertainty[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 256: 120339.
- [46] Yi H Y, Liu J. Dynamic pricing in power battery closed-loop supply chain with carbon trading policy[J]. *Computer Integrated Manufacturing System*, 2024, 30(6): 2228.
- [47] Zhou J H, Zhao R J, Wang W S. Pricing decision of a manufacturer in a dual-channel supply chain with asymmetric information[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 278(3): 809-820.
- [48] Feng Z W, Xiao T J, Yu Y L, et al. Quality disclosure strategy in a decentralized supply chain with consumer returns[J]. *International Transactions in Operational Research*, 2020, 27(4): 2139-2156.
- [49] Li X J, Chen J, Ai X Z. Contract design in a cross-sales supply chain with demand information asymmetry[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 275(3): 939-956.
- [50] 赵瑞娟, 周建亨. 考虑信息披露的双渠道供应链两周期定价策略[J]. *工业工程与管理*, 2020, 25(2): 82-91, 81.
- [51] 邓力, 郑建国, 赵瑞娟. 考虑盗版的双渠道供应链制造商定价及质量信息披露策略[J]. *工业工程与管理*, 2018, 23(3): 132-139.
- [52] 李嫣然, 李波, 彭树霞. 竞争市场下新进入企业产品质量信息披露与定价策略研究[J]. *管理工程学报*, 2023, 37(1): 125-135.
- [53] 经有国, 宋健, 刘震. 需求信息不对称下基于战略库存的信息披露与契约选择[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(7): 47-58.
- [54] 仇小微, 马丙周. 企业碳绩效、碳信息披露对企业绩效的影响探讨[J]. *商展经济*, 2022(22): 144-146.
- [55] Lu W T, Zhu N P, Zhang J. The impact of carbon disclosure on financial performance under low carbon constraints[J]. *Energies*, 2021, 14(14): 4126.
- [56] 高明华. 碳中和背景下企业碳排放信息披露问题及对策[J]. *财经界*, 2022(18): 35-37.
- [57] 曹开颖, 张壮壮, 徐兵, 等. 在碳交易机制下再制造授权选择以及信息披露研究[J]. *管理工程学报*, 2022, 36(6): 168-181.
- [58] 高婷. 碳信息披露视角下造纸企业价值影响因素探究[J]. *中国林业经济*, 2022(3): 81-84.
- [59] 贾鑫, 陈化飞. 谎报行为下生鲜农产品供应链协调研究[J]. *包装工程*, 2020, 41(3): 70-76.
- [60] 周建亨, 罗瑶. 基于销售量谎报的供应链审计及价格补贴策略[J]. *中国管理科学*, 2023, 31(5): 230-239.

- [61] 赵士南, 杨莹莹, 张光明. 考虑双边成本信息谎报行为的双渠道供应链定价决策研究[J]. 物流科技, 2022, 45(6): 112-117, 124.
- [62] Yan B, Wang T, Liu Y P. Decision analysis of retailer-dominated dual-channel supply chain considering cost misreporting[J]. International Journal of Production Economics, 2016, 178: 34-41.
- [63] Qin Y H, Shao Y F. Supply chain decisions under asymmetric information with cost and fairness concern[J]. Enterprise Information Systems, 2019, 13(10): 1347-1366.
- [64] 金雁南, 田林. 信息不对称下供应链成员的决策顺序研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(11): 158-165.
- [65] 杨磊, 郑晨诗, 纪静娜. 碳信息不对称下的供应链谎报决策与协调研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(4): 111-120.
- [66] 徐伟, 张丹. 碳信息不对称下供应链的谎报行为研究[J]. 沈阳师范大学学报(社会科学版), 2023, 47(1): 61-72.
- [67] 张令荣, 刘笑言, 王锋, 等. 碳配额交易政策下闭环供应链谎报决策与协调研究[J]. 管理工程学报, 2023, 37(4): 196-205.
- [68] Yang L, Ji J N, Zheng C S. Impact of Asymmetric Carbon Information on Supply Chain Decisions under Low-Carbon Policies[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2016, 2016(1): 1369589.
- [69] 方穗. 碳转移与谎报行为双重影响下供应链运营决策与协调[J]. 物流科技, 2022, 45(5): 139-142, 167.
- [70] Levine D K. Modeling Altruism and Spitefulness in Experiments[J]. Review of Economic Dynamics, 1998, 1(3): 593-622.
- [71] 王冬冬, 刘勇. 考虑利他偏好和碳减排努力绩效的供应链决策[J]. 工业工程与管理, 2020, 25(6): 116-125.
- [72] 何佳宁, 靳文舟. 不同协作模式下的多级供应链动态优化[J]. 工业工程, 2010, 13(6): 50-54.
- [73] 翟佳, 于辉, 王宇, 等. 互惠利他偏好下的供应链鲁棒协调策略[J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(8): 2070-2079.
- [74] Wan X L, Jiang B C, Li Q Q, et al. Dual-channel environmental hotel supply chain network equilibrium decision under altruism preference and demand uncertainty[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 271: 122595.
- [75] 马德青, 胡劲松. 考虑利他行为偏好的动态闭环供应链微分博弈[J]. 系统管理学报, 2020,

- 29(5): 974-986.
- [76] 浦徐进, 张兴, 韩广华. 考虑利他偏好的企业努力行为和供应链运作[J]. 系统管理学报, 2016, 25(6): 1136-1145.
- [77] 李娜, 马德青, 胡劲松. 基于利他偏好的绿色供应链动态均衡分析[J]. 系统工程学报, 2021, 36(6): 798-816.
- [78] 葛齐齐, 阿布都热合曼·卡的尔. 利他偏好下多渠道绿色供应链定价决策研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2024, 42(3): 61-73.
- [79] 孙玉玲, 袁晓杰, 石岷然. 基于利他偏好的鲜活农产品供应链决策研究[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(5): 1243-1253.
- [80] Huang H, Zhang J, Ren X, et al. Greenness and Pricing Decisions of Cooperative Supply Chains Considering Altruistic Preferences[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(1): 51.
- [81] 郭志芳, 柴海霞, 王文利, 等. 考虑利他偏好的绿色供应链运营与融资决策[J]. 物流科技, 2024, 47(20): 134-138.
- [82] Xia L J, Hao W Q, Qin J J, et al. Carbon emission reduction and promotion policies considering social preferences and consumers' low-carbon awareness in the cap-and-trade system[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 195: 1105-1124.
- [83] 程茜, 汪传旭, 徐朗. 考虑利他偏好的供应链定价和减排决策[J]. 工业工程与管理, 2018, 23(2): 159-166.
- [84] 姚锋敏, 鞠佳洋, 李玥, 等. 政府补贴下考虑利他偏好的可追溯农产品供应链定价策略[J]. 管理学报, 2023, 20(5): 759-768.
- [85] Shi K R, Jiang F, Ouyang Q. Altruism and Pricing Strategy in Dual-Channel Supply Chains[J]. American Journal of Operations Research, 2013, 3(4): 402-412.
- [86] Ma P, Li K W, Wang Z J. Pricing decisions in closed-loop supply chains with marketing effort and fairness concerns[J]. International Journal of Production Research, 2017, 55(22): 6710-6731.
- [87] Li Q Q, Xiao T J, Qiu Y Z. Price and carbon emission reduction decisions and revenue-sharing contract considering fairness concerns[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 190: 303-314.
- [88] Chen Z J. Robust optimization of supply chain coordination considering retailer altruistic behavior[C]. 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC).IEEE, 2017: 780-785.
- [89] Lu C L, Zhao M, Imran K, et al. Financing Strategy of Low-Carbon Supply Chain with Capital

- Constraint under Cap-and-Trade Regulation[J]. *Computers, Materials & Continua*, 2021, 66(1): 437-455.
- [90] Zhang Y F, Qin Y. Carbon emission reductions, pricing and social welfare of three-echelon supply chain considering consumer environmental awareness under carbon tax policy[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, 10, 969613.
- [91] Du S F, Ma F, Fu Z J, et al. Game-theoretic analysis for an emission-dependent supply chain in a ‘cap-and-trade’ system[J]. *Annals of Operations Research*, 2015, 228(1): 135-149.
- [92] 伊辉勇, 刘佳. 碳限额与交易机制下动力电池闭环供应链定价决策[J]. *计算机集成制造系统*, 2024, 30(6): 2228-2240.
- [93] 代应, 戴佳宏, 宋寒, 等. 碳交易下驱动企业碳减排的碳配额机制[J]. *计算机集成制造系统*, 2024, 30(4): 1518-1526.
- [94] 李小燕, 王道平. 碳交易机制下考虑竞争和信息非对称的供应链协调研究[J]. *运筹与管理*, 2021, 30(11): 47-52.
- [95] Gary C, Rabin M. Understanding social preferences with simple tests[J]. *The quarterly journal of economics*, 2002, 117(3): 817-869.
- [96] Tony H T C, Jagmohan S R, Zhang Z J. Fairness and Channel Coordination[J]. *Management Science*, 2007, 53(8): 1303-1314.

附录

由于制造商主导不谎报情形下得出的最优解，令其谎报系数为 1 时，即是不谎报情形下的最优解。因此，对 AN 情形不进行单独证明。

附录 1：定理 3-2 证明：

令 $g_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) = \pi_{1mo}^{AM} - \pi_{1ro}^{AM}$ 。 π_{1ro}^{AM} 关于 p_{1o}^{AM} 的二阶偏导数小于 0，故存在最优解。令 $\partial \pi_{1ro}^{AM} / \partial p_{1o}^{AM} = 0$ 可得： $p_{1o}^{AM} = (\alpha + e_{1o}^{AM} \beta - e_0 \beta \lambda + \omega_{1o}^{AM}) / 2$ ，将 p_{1o}^{AM} 代入式(3-6)、(3-7)中可得：

$$\begin{aligned} \pi_{1mo}^{AM} &= \frac{1}{2} ((e_{1o}^{AM})^2 (p_e \beta - k) - (e_0 \beta \lambda - \alpha + \omega_{1o}^{AM} (e_0 p_e (x \lambda - 1) + \omega_{1o}^{AM})) + \\ &e_{1o}^{AM} (p_e (\alpha + e_0 \beta ((x-1) \lambda - 1) - \omega_{1o}^{AM}) + \beta \omega_{1o}^{AM})) \\ \pi_{1ro}^{AM} &= (\alpha + e_{1o}^{AM} \beta - e_0 \beta \lambda - \omega_{1o}^{AM})^2 / 4。 \end{aligned}$$

所以式(3-8)可表示为：

$$\begin{cases} U_{1mo}^{AM} = (1 - \theta_m) \pi_{1mo}^{AM} + \theta_m \pi_{1ro}^{AM} \\ g_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) = \pi_{1mo}^{AM} - \pi_{1ro}^{AM} \geq 0 \end{cases} \quad (3-8-1)$$

因此，式(3-8-1)的拉格朗日函数为：

$$L_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) = (1 - \theta_m) \pi_{1mo}^{AM} + \theta_m \pi_{1ro}^{AM} + m_1 g_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) \quad (3-8-2)$$

根据式(3-8-1)，存在海瑟矩阵：

$$H_1 = \begin{pmatrix} (3\theta_m - 2) / 2 & (\beta + p_e (\theta_m - 1) - 2\beta \theta_m) / 2 \\ \frac{1}{2} (\beta + p_e (\theta_m - 1) - 2\beta \theta_m) & k(\theta_m - 1) + \beta(\beta \theta_m - 2p_e (\theta_m - 1)) / 2 \end{pmatrix},$$

为了保证式(1-8-1)有最

优解，需满足： $0 < \theta_m < 2/3$ ， $2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2 (\theta_m - 1) < 0$ 。式(1-8-2)的 KKT 条件为：

$$\begin{cases} \partial L_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) / \partial \omega_{1o}^{AM} = 0 \\ \partial L_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) / \partial e_{1o}^{AM} = 0 \\ m_1 g_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) = 0 \\ g_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) \geq 0 \\ m \geq 0 \\ \omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM} > 0 \end{cases}$$

当 $m=0$ ， $\omega_{1o}^{AM} > 0$ ， $e_{1o}^{AM} > 0$ 时，由 $\partial L_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) / \partial \omega_{1o}^{AM} = 0$ ， $\partial L_1(\omega_{1o}^{AM}, e_{1o}^{AM}) / \partial e_{1o}^{AM} = 0$ ， $m_1 = 0$ ，可以得到：

$$\omega_{10}^{AM} = \frac{2k(\alpha - e_0\beta\lambda)(2\theta_m - 1) + ((e_0p_e\beta(\lambda(x+1) - 1) - p_e\alpha)(p_e + \beta) - 2e_0kp_e(x\lambda - 1))(\theta_m - 1)}{2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1)},$$

$$e_{10}^{AM} = \frac{(p_e + \beta)(\theta_m - 1)(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))}{2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1)}, \text{ 此时 } g_1(\omega_{10}^{AM}, e_{10}^{AM}) > 0; \text{ 当 } \omega_{10}^{AM} > 0, e_{10}^{AM} > 0,$$

$m_1 > 0$ 时, 由 $\partial L_1(\omega_{10}^{AM}, e_{10}^{AM}) / \partial \omega_{10}^{AM} = 0$, $\partial L_1(\omega_{10}^{AM}, e_{10}^{AM}) / \partial e_{10}^{AM} = 0$, $g_1(\omega_{10}^{AM}, e_{10}^{AM}) = 0$ 可得:

$m_1 = \theta_m - 1 < 0$ 或 $m_1 = (2k(3\theta_m - 1) + (p_e + \beta)^2(1 - \theta_m)) / (6k - (p_e + \beta)^2) < 0$, 不满足条件, 故此解

舍去。令 $\pi_{1mo}^{AM*} = \pi_{1ro}^{AM*}$ 可得, $\theta_m = (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2) < 1/3$ 。

综上所述, 当 $0 < \theta_m < (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2)$, $2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1) < 0$ 时, 存在最优解如下:

$$\omega_{10}^{AM*} = \frac{2k(\alpha - e_0\beta\lambda)(2\theta_m - 1) + ((e_0p_e\beta(\lambda(x+1) - 1) - p_e\alpha)(p_e + \beta) - 2e_0kp_e(x\lambda - 1))(\theta_m - 1)}{2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1)},$$

$$e_{10}^{AM*} = \frac{(p_e + \beta)(\theta_m - 1)(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))}{2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1)}。 \text{ 将最优解代入零售价、制造商利润、市场需求}$$

表达式中可得:

$$p_{10}^{AM*} = \frac{(k\alpha - e_0k\beta\lambda)(3 - 5\theta_m) + (p_e\alpha - e_0p_e\beta(\lambda(1 + x) - 1))(\theta_m - 1)(p_e + \beta) + e_0kp_e(\theta_m - 1)(x\lambda - 1)}{2k(2 - 3\theta_m) + (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1)},$$

$$\pi_{1mo}^{AM*} = \frac{k(\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))^2}{2(2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))^2},$$

$$\pi_{1ro}^{AM*} = \frac{k^2(\theta_m - 1)^2(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))^2}{(2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))^2}, \quad D_{10}^{AM*} = \frac{k(\theta_m - 1)(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))}{2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1)}。$$

附录 2: 命题 3-1 证明:

由定理 3-2 可得, $\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda) > 0$ 。制造商最优利润表达式为:

$$\pi_{1mo}^{AM*} = k(\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))^2 \quad \text{求 } \pi_{1mo}^{AM*} \text{ 关于 } \lambda \text{ 的一阶}$$

偏导可得:

$$\partial \pi_{1mo}^{AM*} / \partial \lambda = e_0k(xp_e - \beta)(\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda)) / (2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))^2, \quad \text{因 为}$$

$0 < \theta_m < (2k - (p_e + \beta)^2) / (6k - (p_e + \beta)^2)$, $2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1) < 0$, 所以可以得到

$4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1) > 0$ 。所以，当 $p_e > \beta/x$ 时， $\partial\pi_m^{AM*}/\partial\lambda < 0$ 。同理可证命题 3-1 其他内容，证毕。

附录 3：命题 3-2 证明：

$\pi_{1mo}^{AM*} - \pi_{1mo}^{AN*} = k(\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))f(x)/(2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))^2$ ，其中 $f(x) = e_0(xp_e - \beta)(\lambda - 1)$ ，因为 $4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1) < 0$ ， $\theta_m - 1 < 0$ ，所以当 $p_e \geq \beta/x$ ，若 $\lambda \geq 1$ ，则 $f(x) \geq 0$ ，可得 $\pi_{1mo}^{AM*} - \pi_{1mo}^{AN*} \geq 0$ ，即 $\pi_{1mo}^{AM*} \geq \pi_{1mo}^{AN*}$ ，若 $\lambda < 1$ ，则 $f(x) < 0$ ，可得 $\pi_{1mo}^{AM*} - \pi_{1mo}^{AN*} < 0$ ，即 $\pi_{1mo}^{AM*} < \pi_{1mo}^{AN*}$ ；当 $p_e < \beta/x$ ，若 $\lambda \geq 1$ ，则 $f(x) \leq 0$ ，可得 $\pi_{1mo}^{AM*} \leq \pi_{1mo}^{AN*}$ ，若 $\lambda < 1$ ，则 $f(x) > 0$ ，可得 $\pi_{1mo}^{AM*} > \pi_{1mo}^{AN*}$ 。同理命题 3-2 其它内容，证毕。

定理 3-3 证明过程，与定理 3-2 证明过程类似，因此不再赘述。

附录 4：命题 3-3 证明：

$\partial D_{1o}^{AM*}/\partial\theta_m = 2k^2(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))/(2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))^2$ ，
 $\partial e_{1o}^{AM*}/\partial\theta_m = 2k(p_e + \beta)(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))/(2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))^2$ ，
 $\partial\pi_{1mo}^{AM*}/\partial\theta_m = 4k^3\theta_m(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))^2/(2k(3\theta_m - 2) - (y + \beta)^2(\theta_m - 1))^3$ ，
 $\partial\pi_{1ro}^{AM*}/\partial\theta_m = 4k^3(\theta_m - 1)(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))^2/(2k(3\theta_m - 2) - (y + \beta)^2(\theta_m - 1))^3$ ，因为
 $\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda) > 0$ ， $\theta_m - 1 < 0$ ， $2k(3\theta_m - 2) - (y + \beta)^2(\theta_m - 1) < 0$ ，所以
 $\partial D_{1o}^{AM*}/\partial\theta_m > 0$ ， $\partial e_{1o}^{AM*}/\partial\theta_m > 0$ ， $\partial\pi_{1mo}^{AM*}/\partial\theta_m < 0$ ， $\partial\pi_{1ro}^{AM*}/\partial\theta_m > 0$ ，同理可证 AN、AR 情形，证毕。

附录 5：命题 3-4 证明：

$\partial\pi_{1mH}^{AR*}/\partial\lambda = e_0k(1 - \theta_m)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))(\beta + xp_e(s\tau - 1))$
 $(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda + sxp_e(\lambda - 1)\tau))/(2k(3\theta_m - 2) + (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))^2$
 $(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda + sxp_e(\lambda - 1)\tau)) > 0$ ， $4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1) < 0$ ， $1 - \theta_m > 0$ 。令
 $f(s) = \beta + xp_e(s\tau - 1)$ ，当 $p_e < \beta/x$ 时， $f(s) > 0$ 恒成立。所以， $\partial\pi_{1mH}^{AR*}/\partial\lambda < 0$ ；当
 $p_e > \beta/x$ 时，求解 $f(s) = 0$ 可得， $s_1 = (xp_e - \beta)/xp_e\tau$ ，所以，若 $s > s_1$ ， $f(s) > 0$ ，
 $\partial\pi_{1mH}^{AR*}/\partial\lambda < 0$ ，若 $0 < s < s_1$ ， $f(s) < 0$ ， $\partial\pi_{1mH}^{AR*}/\partial\lambda > 0$ 。同理可证命题 3-4 其它内容，证毕。

附录 6：命题 3-5 证明：

$\partial D_{1L}^{AR*} / \partial \lambda = e_0 k(1 - \theta_m)(\beta + x(p_e(s\tau - 1))) / (2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))$ ，由命题 3-4 证明可得，当 $p_e < \beta / x$ 时， $f(s) > 0$ 恒成立，所以 $\partial D_{1L}^{AR*} / \partial \lambda > 0$ ；当 $p_e > \beta / x$ 时，若 $s > s_1$ ， $f(s) > 0$ ， $\partial D_{1L}^{AR*} / \partial \lambda > 0$ ，若 $0 < s \leq s_1$ ， $f(s) \leq 0$ ， $\partial D_{1L}^{AR*} / \partial \lambda \leq 0$ ，证毕。命题 3-5 其他内容证明过程类似，此处不再赘述。

附录 7：命题 3-6 证明：

$$D_{1L}^{AR*} - D_{1o}^{AM*} = e_0 k s x p_e (\theta_m - 1)(\lambda - 1)\tau / (2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1)),$$

$$e_{1L}^{AR*} - e_{1o}^{AM*} = e_0 s x p_e (p_e + \beta)(\theta_m - 1)(\lambda - 1)\tau / (2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))。因为$$

$$2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1) < 0, \quad \theta_m - 1 < 0, \quad \lambda - 1 < 0, \quad \text{所以, } D_{1L}^{AR*} < D_{1o}^{AM*}, \quad e_{1L}^{AR*} < e_{1o}^{AM*}。$$

$$\pi_{1mL}^{AR*} - \pi_{1mo}^{AM*} = e_0 k s x p_e (\theta_m - 1)(4k(2\theta_m - 1) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))f(\tau) / 2(2k(3\theta_m - 2) - (p_e + \beta)^2(\theta_m - 1))^2, \quad \text{其中}$$

$f(\tau) = e_0 s x p_e (\lambda - 1)\tau + 2(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))$ 。因为 $\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda) > 0$ ， $\lambda - 1 < 0$ ，所以 $f(\tau)$ 是关于 τ 斜率小于 0 的一次函数，且解为 $\bar{\tau}_1 = \frac{2(\alpha - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \beta\lambda))}{e_0 s x p_e (1 - \lambda)}$ 。所以，当

$$0 < \tau < \bar{\tau}_1 \text{ 时, } \pi_{1mL}^{AR*} - \pi_{1mo}^{AM*} > 0, \text{ 故 } \pi_{1mL}^{AR*} > \pi_{1mo}^{AM*}; \text{ 当 } \tau \geq \bar{\tau}_1 \text{ 时, } \pi_{1mL}^{AR*} - \pi_{1mo}^{AM*} \leq 0, \text{ 故 } \pi_{1mL}^{AR*} \leq \pi_{1mo}^{AM*},$$

证毕。命题 3-7、3-8 证明方法与命题 3-6 证明方法类似，因此不再赘述。

附录 8：定理 4-2 证明：

由式(4-7)可得， π_{2mo}^{AM} 关于 ω_{2o}^{AM} 和 e_{2o}^{AM} 的海瑟矩阵为： $\begin{pmatrix} -2 & \beta - p_e \\ \beta - p_e & 2\beta p_e - k \end{pmatrix}$ ，所以当

$2k - (p_e + \beta)^2 > 0$ 时， π_{2mo}^{AM} 存在最优解。联立 $\partial \pi_{2mo}^{AM} / \partial \omega_{2o}^{AM} = 0$ 和 $\partial \pi_{2mo}^{AM} / \partial e_{2o}^{AM} = 0$ 可得初始解

$$\omega_{2o}^{AM} = (k - p_e(p_e + \beta))(\alpha - \delta_{2o}^{AM}) + e_0(p_e\beta(e_0 + \beta)(\lambda(x + 1) - 1) + k(p_e - (xp_e + \beta)\lambda)) / (2k - (p_e + \beta)^2)$$

$$, \quad e_{2o}^{AM} = (p_e + \beta)(\alpha - \delta_{2o}^{AM} - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \lambda\beta)) / (2k - (p_e + \beta)^2)。将初始解带入式(4-6)、(4-7)$$

$$\text{中 可 得 : } \pi_{2mo}^{AM} = k(\delta_{2o}^{AM} + e_0(p_e(1 - x\lambda) + \lambda\beta) - \alpha)^2 / 2(k - 2(p_e + \beta)^2),$$

$$\pi_{2ro}^{AM} = k\delta_{2o}^{AM}(\alpha - \delta_{2o}^{AM} - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \lambda\beta)) / (2k - (p_e + \beta)^2)。零售商的效用函数为$$

$$U_{2ro}^{AM} = \theta_r \pi_{2mo}^{AM} + (1 - \theta_r) \pi_{2ro}^{AM}, \quad U_{2ro}^{AM} \text{ 关于 } \delta_{2o}^{AM} \text{ 的二阶偏导为}$$

$$\partial^2 U_{2ro}^{AM} / \partial (\delta_{2o}^{AM})^2 = k(3\theta_r - 2) / (2k - (p_e + \beta)^2)。因为， $2k - (p_e + \beta)^2 > 0$ ，所以可以得到，当$$

$$0 < \theta_r < 2/3 \text{ 时，零售商的效用函数存在最优解。因此可以得到，}$$

$$\pi_{2ro}^{AM} - \pi_{2mo}^{AM} = -k(\alpha - 3\delta_{2o}^{AM} - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \lambda\beta))(\alpha - \delta_{2o}^{AM} - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \lambda\beta)) / (4k - 2(p_e + \beta)^2)$$

由零售商利润函数的均衡解可得 $\alpha - \delta_{2o}^{AM} - e_0(p_e(1 - x\lambda) + \lambda\beta) > 0$ 。令

$g_1(\delta_{20}^{AM}) = 3\delta_{20}^{AM} + e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda) - \alpha$ 。式 (4-8) 的拉格朗日函数为：

$L_2(\delta_{20}^{AM}) = \theta_r \pi_{2mo}^{AM} + (1-\theta_r)\pi_{2ro}^{AM} + m_1 g_1(\delta_{20}^{AM})$ 。此时 KKT 条件可表示为：

$$\begin{cases} \partial L_2(\delta_{20}^{AM}) / \partial \delta_{20}^{AM} = 0 \\ m_1 g_1(\delta_{20}^{AM}) = 0 \\ g_1(\delta_{20}^{AM}) \geq 0 \\ m_1 \geq 0 \\ \delta_{20}^{AM} > 0 \end{cases}$$

(1) 当 $m_1 = 0$ 时，由 $\partial L_1(\delta_{20}^{AM}) / \partial \delta_{20}^{AM} = 0$ ， $m_1 = 0$ ，可得 $\delta_{20}^{AM1} = (2\theta_r - 1)(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda)) / (3\theta_r - 2)$ ，当 $0 < \theta_r < 1/2$ 时， $\delta_{20}^{AM1} > 0$ ，此时 $g_1(\delta_{20}^{AM1}) = (3\theta_r - 1)(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda)) / (3\theta_r - 2)$ 。所以，当 $0 < \theta_r < 1/3$ 时， $g_1(\delta_{20}^{AM1}) > 0$ ，当且仅当 $\theta_r = 1/3$ 时， $g_1(\delta_{20}^{AM1}) = 0$ 。

(2) 当 $m_1 > 0$ 时，由 $\partial L_1(\delta_{20}^{AM}) / \partial \delta_{20}^{AM} = 0$ 和 $g_1(\delta_{20}^{AM}) = 0$ ，可得 $\delta_{20}^{AM2} = (\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda)) / 3$ ， $m_1 = k(3\theta_r - 1)(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda)) / 9(2k - (p_e + \beta)^2)$ 。所以，当 $1/3 < \theta_r < 2/3$ 时，满足 $m_1 > 0$ 。

将 δ_{20}^{AM1} 和 δ_{20}^{AM2} 的解代入零售商效用函数并作差可得：
 $U_{2ro1}^{AM} - U_{2ro2}^{AM} = -k(1-3\theta_r)^2(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda))^2 / 18(2k - (p_e + \beta)^2)(3\theta_r - 2)$ 。因为 $2k - (p_e + \beta)^2 > 0$ ， $3\theta_r - 2 < 0$ 。所以， $U_{2ro1}^{AM} - U_{2ro2}^{AM} > 0$ 恒成立。故舍去解 δ_{20}^{AM2} ，即 δ_{20}^{AM1} 为最优解。

$\delta_{20}^{AM1} = \delta_{20}^{AM*} = (2\theta_r - 1)(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda)) / (3\theta_r - 2)$ ，将 δ_{20}^{AM*} 分别代入到 ω_{20}^{AM*} 和 e_{20}^{AM*} 的初始解中，可得 $\omega_{20}^{AM*} = A / (2k - (p_e + \beta)^2)(3\theta_r - 2)$ ，
 $e_{20}^{AM*} = (p_e + \beta)(1-\theta_r)(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda)) / (2k - (p_e + \beta)^2)(2-3\theta_r)$ ，其中
 $A = \alpha(k - p_e(p_e + \beta))(\theta_r - 1) + e_0(k(\beta(1-\theta_r)\lambda - p_e(5\theta_r - 3)(x\lambda - 1)) + p_e(p_e + \beta)(p_e(2\theta_r - 1)(x\lambda - 1) + \beta(2(1-x\lambda) - \lambda + \theta_r(\lambda + 3(x\lambda - 1))))$ 。将 δ_{20}^{AM*} ， ω_{20}^{AM*} ， e_{20}^{AM*} 分别

代入到式 (4-6) 和式 (4-7) 中可得最优制造商利润和零售商利润为：

$$\pi_{2mo}^{AM*} = k(\theta_r - 1)^2(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda))^2 / 2(2k - (p_e + \beta)^2)(2-3\theta_r)^2，$$

$$\pi_{2ro}^{AM*} = k(1-\theta_r)(1-2\theta_r)(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda))^2 / (2k - (p_e + \beta)^2)(2-3\theta_r)^2。最优市场需求为：$$

$$D_{20}^{AM*} = k(1-\theta_r)(\alpha - e_0(p_e(1-x\lambda) + \beta\lambda)) / (2k - (p_e + \beta)^2)(2-3\theta_r)。$$

附录 9：定理 4-3 证明：

由式(4-10)可得， π_{2mH}^{AR} 关于 ω_{2H}^{AR} 和 e_{2H}^{AR} 的海瑟矩阵为： $\begin{pmatrix} -2 & \beta - p_e \\ \beta - p_e & 2\beta p_e - k \end{pmatrix}$ ，所以当

$2k - (p_e + \beta)^2 > 0$ 时， π_{2mH}^{AR} 存在最优解。联立 $\partial \pi_{2mH}^{AR} / \partial \omega_{2H}^{AR} = 0$ 和 $\partial \pi_{2mH}^{AR} / \partial e_{2H}^{AR} = 0$ 可得初始

解： $\omega_{2H}^{AR*} = (k - p_e(p_e + \beta))(\alpha - \delta_{2H}^{AR}) + e_0(p_e \beta(e_0 + \beta)(\lambda(x+1) - 1 - sx(\lambda-1)\tau) +$
 $k(p_e - (xp_e + \beta)\lambda + sxp_e(\lambda-1)\tau)) / (2k - (p_e + \beta)^2)$

$e_{2H}^{AR} = (p_e + \beta)(\alpha - \delta_{2H}^{AR} - e_0(p_e(1-x\lambda) + \lambda\beta + sxp_e(\lambda-1)\tau)) / (2k - (p_e + \beta)^2)$ 。将初始解带入式

(4-10)、(4-12)中可得： $\pi_{2rH}^{AR} = k\delta_{2H}^{AR}(\alpha - \delta_{2H}^{AR} - B) / (2k - (p_e + \beta)^2)$,

$\pi_{2mH}^{AR} = k(\delta_{2H}^{AR} - \alpha + B)^2 / (4k - 2(p_e + \beta)^2)$ 。其中， $B = e_0(\beta\lambda + p_e(sx\tau(\lambda-1) - x\lambda + 1))$ 。所以零售商的效用函数为：

$U_{2rH}^{AR} = \theta_r k(\delta_{2H}^{AR} - \alpha + B)^2 / (4k - 2(p_e + \beta)^2) + (1 - \theta_r) k\delta_{2H}^{AR}(\alpha - \delta_{2H}^{AR} - B) / (2k - (p_e + \beta)^2)$ ， U_{2rH}^{AR}

关于 δ_{2H}^{AR} 的二阶偏导为 $\partial^2 U_{2rH}^{AR} / \partial (\delta_{2H}^{AR})^2 = k(3\theta_r - 2) / (2k - (p_e + \beta)^2)$ 。因为，

$2k - (p_e + \beta)^2 > 0$ ，所以可以得到，当 $0 < \theta_r < 2/3$ 时，零售商的效用函数存在最优解。因

此可以得到， $\pi_{2rH}^{AR} - \pi_{2mH}^{AR} = -k(B - \alpha + 3\delta_{2H}^{AR})(B - \alpha + \delta_{2H}^{AR}) / (4k - 2(p_e + \beta)^2)$ 。由零售商利润

函数的均衡解可得 $\alpha - \delta_{2H}^{AR} - B > 0$ 。令 $g_2(\delta_{2H}^{AR}) = 3\delta_{2H}^{AR} - \alpha + B$ 。此时式(4-13)的拉格朗日函

数为： $L_3(\delta_{2H}^{AR}) = \theta_r \pi_{2mH}^{AR} + (1 - \theta_r) \pi_{2rH}^{AR} + m_2 g_2(\delta_{2H}^{AR})$ 。此时 KKT 条件可表示为：

$$\begin{cases} \partial L_3(\delta_{2H}^{AR}) / \partial \delta_{2H}^{AR} = 0 \\ m_2 g_2(\delta_{2H}^{AR}) = 0 \\ g_2(\delta_{2H}^{AR}) \geq 0 \\ m_2 \geq 0 \\ \delta_{2H}^{AR} > 0 \end{cases}$$

(1) 当 $m_2 = 0$ 时，由 $\partial L_3(\delta_{2H}^{AR}) / \partial \delta_{2H}^{AR} = 0$ ， $m_2 = 0$ ，可得 $\delta_{2H}^{AR1} = (2\theta_r - 1)(\alpha - B) / (3\theta_r - 2)$ 。

由 $\alpha - \delta_{2H}^{AR} - B > 0$ ，可得 $\alpha - B > 0$ 。所以，当 $0 < \theta_r < 1/2$ 时， $\delta_{2H}^{AR} > 0$ ，此时

$g_2(\delta_{2H}^{AR1}) = (3\theta_r - 1)(\alpha - B) / (3\theta_r - 2)$ 。所以，当 $0 < \theta < 1/3$ 时， $g_2(\delta_{2H}^{AR1}) > 0$ ，当且仅当 $\theta_r = 1/3$

时， $g_2(\delta_{2H}^{AR1}) = 0$ 。

(2) 当 $m_2 > 0$ 时，由 $\partial L_3(\delta_{2H}^{AR}) / \partial \delta_{2H}^{AR} = 0$ 和 $g_2(\delta_{2H}^{AR}) = 0$ ，可得 $\delta_{2H}^{AR} = (\alpha - B) / 3$ ，

$m_2 = k(3\theta_r - 1)(\alpha - B) / (9(2k - (p_e + \beta)^2))$ 。所以，当 $1/3 < \theta_r < 2/3$ 时，满足 $m_2 > 0$ 。将 δ^{AR1} 和

δ^{AR2} 的解代入零售商效用函数并作差可得：
 $U_{2rH1}^{AR} - U_{2rH2}^{AR} = -k(1-3\theta_r)^2(\alpha-B)^2 / (18(2k-(p_e+\beta)^2)(3\theta_r-2))$ 。因为， $2k-(p_e+\beta)^2 > 0$ ， $3\theta_r-2 < 0$ 。所以， $U_{2rH1}^{AR} - U_{2rH2}^{AR} > 0$ 恒成立。故舍去 δ_{2H}^{AR} 解。

$\delta_{2H}^{AR1} = \delta_{2H}^{AR*} = (2\theta_r-1)(\alpha-B)/(3\theta_r-2)$ ，将 δ_{2H}^{AR*} 分别代入到 ω_{2H}^{AR*} 和 e_{2H}^{AR*} 的初始解中，可得
 $\omega_{2H}^{AR*} = C / (2k-(p_e+\beta)^2)(3\theta_r-2)$ ， $e_{2H}^{AR*} = (p_e+\beta)(1-\theta_r)(\alpha-B) / (2k-(p_e+\beta)^2)(2-3\theta_r)$ 。其中
 $C = \alpha(k-p_e(p_e+\beta))(\theta_r-1) + e_0(k(\beta\lambda(\theta_r-1) + p_e(5\theta_r-3)(sx\tau(\lambda-1)+1-x\lambda)) - p_e(p_e+\beta)(p_e(2\theta_r-1)(sx\tau(\lambda-1)+1-x\lambda) + \beta((2-3\theta_r)(x\lambda-1+(\lambda-1)sx\tau) + \lambda(\theta_r-1))))$ 。将
 δ_{2H}^{AR*} ， ω_{2H}^{AR*} ， e_{2H}^{AR*} 分别代入到式(4-10)和式(4-12)中可得最优制造商利润和零售商利润为：
 $\pi_{2mH}^{AR*} = k(\theta_r-1)^2(\alpha-B)^2 / 2(2k-(p_e+\beta)^2)(2-3\theta_r)^2$ ，
 $\pi_{2rH}^{AR*} = k(1-\theta_r)(1-2\theta_r)(B-\alpha)^2 / (2k-(p_e+\beta)^2)(2-3\theta_r)^2$ 。最有市场需求为
 $D_{2H}^{AR*} = k(1-\theta_r)(\alpha-B) / (2k-(p_e+\beta)^2)(2-3\theta_r)$ 。制造商低报情形下的求解过程和高报情形下的求解过程一致，因此不进行重复证明。

命题 4-4 及之后的定理、命题证明过程与第 3 章命题证明过程类似，具体证明过程可参考前文，因此不再赘述。

攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文

已发表或录用的学术论文

崔少伟,张云丰.利他偏好下考虑制造商碳减排谎报的低碳供应链决策研究[J].铜仁学院学报,2025,27(01):111-128.

致 谢

漫漫求学路，至此迎来收尾的篇章。总以为路途遥远，还未到终点，但此刻终觉来日并不方长。坐在深夜的电脑前，细数这三年，回忆像电影画面般倒带，一幕幕变得愈加清晰。那些哭过、笑过、憧憬过、迷茫过的日子，那些破碎又重建，致郁又治愈，救赎与自我救赎的时刻，都像是浩瀚夜空中的点点星光，照亮我人生还未曾抵达的旷野。当一切结束的时候，我们习惯将之冠为过去。但于我而言，正是这段不可遗忘的过去，使得我一点点蜕变和成长。山水一程，有幸相逢。谨以此篇，写给重要的人。

首先，非常感谢我的导师张云丰教授，学生不才，承蒙关照。还记得刚来课题组的我，懵懂冲动，在组会上您悉心指导，为我排忧解难。我深知自己与其他同学的差距，内心十分不自信。而您一次次的耐心指导和纠正，让我从一开始的战战兢兢，渐渐地变得自信起来，这对我处理问题能力的培养提供了很大的帮助。在写作过程中，您也是手把手教学，细致入微地寻找建模求解失败的原因，耐心修正建模的各种细节。那些被您标红的论文稿，那些深夜回复的“模型我们回头再讨论看看”的消息，让我明白好老师真的会陪学生慢慢成长。在您的教导下，我不仅养成了严谨的做事态度，也让我认识到在面对问题时，不要停滞不前，要抽丝剥茧，及时行动去解决问题。同时您也是个细心又平易近人的老师，在生活上给予我们关怀和照顾。您善于观察每一位学生的情绪，主动询问组内每一位同学的情况，无论是学术上还是生活上，您无微不至。这里非常感谢三年来您的陪伴，为我指明方向，解决困惑，带我走出低谷期。您严谨的科研思维，渊博的专业知识，负责任的工作态度，深深地影响着我，将是我日后学习和工作的榜样。能遇见您这样的老师，是我学生时代最大的幸运。您教会我的不仅是写论文的方法，更是直面困难的勇气。这些细碎的温暖，和您教给我的学术规范一样，都成了我生命里抹不掉的印记。往后无论走多远，我都会记得那个在组会结束后，边走边关心我们近况的大家长——那是一个学者最动人的模样。

回顾漫长的求学之路，最要感谢的就是我的家人。我扮演过很多角色，现在发现在只有子女最好当。我可能不是最好的孩子，但你们一定是最棒的爸爸妈妈。感谢爸妈给我无私的爱与呵护，是你们给了我充足的物质基础和温馨的家庭氛围，尊重并支持我的每一个决定，让我可以在前行的路上没有后顾之忧。你们用行动诠释了责任与善良的意义，那些平凡又伟大的点滴已经深深地刻在了我的生命。那些清晨煮好的粥、深夜留着灯的客厅，都成为我闯荡世界的勇气。其次，感谢我的叔叔崔杨兵先生三年来的陪伴，在我无助迷茫焦虑的时候，总能第一时间解开我心中的困惑，您的做事态度深深影响着我。感谢用脊背为我托起星辰大

海的奶奶，我的求学之路从来不是一帆风顺的，是您让我站在了更高处，看到了更广阔的世界。真正感谢的话，如今写在这里都是不作数的，我想文字会失真，但付出的情意足够真诚且坦荡。今以万言论文为舟，载不动八十余载春晖，唯愿此学位证书化作续命金丹，换您白发转青，康健如昔。

最后感谢 310 宿舍各位同仁，魏翩、杨海港、汪祁松。一切尽在不言中，希望早日顶峰相见，一同期待祖国繁荣昌盛。

感谢一路上的跌跌撞撞。

感谢每一缕清晨的阳光。

感谢那些闪闪发光的理想。

感谢那些为我敲响的门铃。

感谢一路上所有为我亮起的绿灯。

最后感谢自己，一直努力笨拙而又热烈的爱与生活。