

分类号	<u>F274</u>	密级	<u>公开</u>
UDC	<u>005</u>	学位论文编号	<u>D-10617-343-(2019)- 07047</u>

重庆邮电大学硕士学位论文

中文题目	双向公平关切行为对闭环供应链决策 与协调的影响研究
英文题目	Research on the Impact of Bidirectional Fairness concern on Decision and Coordination of closed-loop supply chain
学 号	S160732008
姓 名	王青
学位类别	工程硕士
学科专业	物流工程
指导教师	刘小平 教授
完成日期	2019 年 3 月 25 日

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得重庆邮电大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的人员对本文研究做出的贡献均已在论文中作了明确的说明并致以谢意。

作者签名：王青

日期：2019年6月5日

学位论文版权使用授权书

本人完全了解重庆邮电大学有权保留、使用学位论文纸质版和电子版的规定，即学校有权向国家有关部门或机构送交论文，允许论文被查阅和借阅等。本人授权重庆邮电大学可以公布本学位论文的全部或部分内容，可编入有关数据库或信息系统进行检索、分析或评价，可以采用影印、缩印、扫描或拷贝等复制手段保存、汇编本学位论文。

（注：保密的学位论文在解密后适用本授权书。）

作者签名：王青

日期：2019年6月5日

导师签名：刘士华

日期：2019年6月5日

摘要

自我国把推进再制造产业发展作为促进生态文明企业建设、实现绿色循环低碳发展、推进产业升级的一个重要组成部分以来,社会各界对再制造闭环供应链管理逐步形成了共识,并有了高度的重视。企业进行再制造活动通常分为两种方式:一是由企业自行回收再制造;二是由第三方再制造商回收再制造。制造商通过专利授权给再制造商进行回收再制造,一方面能有效维护新产品的市场份额,另一方面还能提升消费者对新产品的感知价值。这表明,制造商通过专利授权的方式进行再制造活动,不仅能履行其回收再制造的义务,增加企业的社会效益;还能维护新产品的市场份额,增加企业的经济效益。因此有必要在闭环供应链中考虑专利保护因素,并在此基础上做进一步的研究。

传统闭环供应链研究中,多将决策者的绝对理性作为研究基础。行为经济学中大量博弈实验证明:决策者往往是有限理性的,其心理和行为因素将对其决策产生直接影响。尤其是在涉及利益分配的活动中,当感知到自身受到不公平待遇后,不惜牺牲自身的利益来损害他人的利益,行为经济学将其称之为公平关切。显然,当系统中存在公平关切行为而不被重视时,公平关切行为极有可能损害整个系统的利益。

因此,本文构建一个由制造商为博弈领导者、再制造商和零售商为博弈跟随者的闭环供应链。以制造商专利授权给再制造商进行回收再制造活动为背景,构建制造商、再制造商以及零售商分别具有双向公平关切行为的三个不同场景。研究不同决策主体的双向公平关切行为对闭环供应链的生产策略、系统利润以及协调的影响,并重点探讨制造商、再制造商以及零售商双向公平关切行为下的各单向公平关切行为对闭环供应链的生产策略、系统利润的影响,旨在发现各场景下对闭环供应链影响更为明显的单向公平关切行为,从而有针对性的对其控制。研究表明:制造商具有双向公平关切行为时,制造商的双向公平关切行为整体上降低了产品的需求量与系统的利润,其中,制造商的横向公平关切行为对再制造品需求量的影响程度高于其纵向公平关切行为,制造商的纵向公平关切行为对新产品需求量与系统利润的影响程度高于其横向公平关切行为;再制造商具有双向公平关切行为时,若制造商考虑再制造商的双向公平关切行为,再制造商的双向公平关切行为整体上

增加了新产品的需求量,降低了再制造品的需求量和系统的利润,其中,纵向公平关切行为对产品需求量和系统利润的影响程度高于横向公平关切行为。若制造商不考虑再制造商的双向公平关切行为,再制造商的双向公平关切行为整体上增加了新产品的需求量,降低了再制造品的需求量和系统的利润,其中,横向公平关切行为对产品需求量和系统利润的影响程度高于纵向公平关切行为;零售商具有双向公平关切行为时,若制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为,零售商的双向公平关切行为不会影响产品需求量与系统的利润,若制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为,零售商的双向公平关切行为将降低产品需求量与系统的利润,其中,零售商对制造商的公平关切行为对产品需求量与系统利润的影响程度高于其对再制造商的公平关切行为;制造商、再制造商以及零售商双向公平关切行为下,采用收益分享-费用分担契约能实现闭环供应链的协调。

关键词: 闭环供应链, 专利保护, 双向公平关切, Stackelberg 博弈

Abstract

Since our country has taken the development of remanufacturing industry as an important part to promote the construction of ecologically-friendly enterprises, realize green recycling and low-carbon development and promote industrial upgrading. All sectors of society have attached great importance to the management of closed-loop supply chains in remanufacturing. There are two ways in which companies conduct remanufacturing activities: one is the company recycles and remanufactures itself, the other is recycled by a third party remanufacturer. When manufacturers license remanufacturing activities to remanufacturers, on the one hand, they can effectively maintain the market share of new products, on the other hand, they can also increase consumers' perceived value of new products. This shows that the manufacturer's remanufacturing activities through patent licensing not only can fulfill its obligation of recycling and remanufacturing, increase its social benefits, it can also maintain its market share of new products and increase its economic efficiency. Therefore, it is very important to introduce patent protection factors into the closed-loop supply chain. Therefore, it is necessary to further study the patent protection as a basic variable of the closed-loop supply chain.

The traditional closed-loop supply chain research is mostly based on the absolute rationality of decision makers. A large number of game experiments in behavioral economics proved that decision makers are often not completely rational, and their psychological and behavioral factors will have a direct impact on their decision-making. Especially in activities involving the distribution of benefits, when they perceive being unfairly treated, they would sacrifice their own interests to harm the interests of others. Behavioral economics calls it as fairness concerns. Obviously, when there are fairness concerns in the system and not being taken seriously, the fairness concerns will directly harm the interests of the whole system.

Therefore, a closed-loop supply chain model which consists of the manufacturer which as the leader, remanufacturer and retailer which as the follower is built in this article. In the context of the manufacturer's patent license to the remanufacturer for recycling and remanufacturing activities, build three different scenarios in which the manufacturer, the remanufacturer, and the retailer have directional fairness concerns.

Study the impact of bidirectional fairness concerns by the manufacturer, the remanufacturer and the retailer on production strategies, system profit and system coordination in a closed-loop supply chain. Emphasis is placed on the impact of one-way fairness concerns of the manufacturer, the remanufacturer and the retailer on production strategies, system profit and system coordination in closed-loop supply chains. It aims to find a one-way fairness concerns behavior that has a more obvious impact on the closed-loop supply chain strategy under various scenarios, so as to achieve targeted control. The results show that: When the manufacturer has bidirectional fairness concerns, the manufacturer's bidirectional fairness concerns behavior reduces product demand and system profit. Where, the manufacturer's horizontal fairness concerns has a greater impact on the demand for remanufactured products than its vertical fairness concerns, and the manufacturer's vertical fairness concerns has a greater impact on new product demand and system profit than its horizontal fairness concerns. When the remanufacturer has bidirectional fairness concerns, since the manufacturer considers the fairness concerns behavior of the remanufacturer, the remanufacturer's vertical fairness concerns has a greater impact on the demand of products and system profit than its horizontal fairness concerns; Since the manufacturer does not take into account the fairness concerns of the remanufacturer, the manufacturer's horizontal fairness concerns has a greater impact on the demand of products and system profit than its vertical fairness concerns. When the retailer has bidirectional fairness concerns, the retailer's bidirectional fairness concerns does not affect the demands of products and the system's profit since the manufacturer and the remanufacturer consider the retailer's fairness concerns. The retailer's bidirectional fairness concerns will reduce the demands of products and the system's profit since the manufacturer and the remanufacturer do not consider the retailer's fairness concerns. Where, the retailer's fairness concerns about the manufacturer impact on the demands of products and system profit is higher than its fairness concern to the remanufacturer. Under the bidirectional fairness concern behavior of manufacturers and remanufacturers and retailers, the revenue sharing-cost sharing contract can realize the coordination of closed-loop supply chain.

Keywords: closed-loop supply chain, patent protection, bidirectional fairness concerns, Strackelberg game

目录

图录.....	VIII
1 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 本文的研究内容.....	3
1.3 研究方法及技术路线.....	5
1.3.1 研究方法.....	5
1.3.2 技术路线.....	5
1.4 本文的创新之处.....	6
2 国内外研究综述.....	8
2.1 闭环供应链相关理论综述.....	8
2.1.1 闭环供应链理论研究.....	8
2.1.2 闭环供应链专利保护研究.....	9
2.1.3 闭环供应链协调研究.....	11
2.2 公平关切相关理论综述.....	13
2.2.1 公平关切理论研究.....	13
2.2.2 公平关切在供应链领域研究.....	13
2.2.3 公平关切在闭环供应链领域研究.....	13
2.3 国内外研究述评.....	14
3 制造商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响.....	16
3.1 问题描述与假设.....	16
3.2 公平中性下闭环供应链决策.....	17
3.2.1 集中决策模型.....	17
3.2.2 分散决策模型.....	17
3.3 制造商双向公平关切下闭环供应链决策.....	18

3.4 闭环供应链协调	22
3.5 数值仿真分析	24
3.6 结论	26
4 再制造商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响研究	28
4.1 问题描述与假设	28
4.2 无公平关切下闭环供应链决策	29
4.2.1 集中决策模型	29
4.2.2 分散决策模型	30
4.3 再制造商双向公平关切下闭环供应链决策	30
4.3.1 制造商考虑再制造商的公平关切行为	31
4.3.2 制造商不考虑再制造商的公平关切行为	34
4.3.3 比较分析	38
4.4 闭环供应链协调	38
4.5 数值仿真分析	39
4.6 结论	42
5 零售商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响	44
5.1 问题描述与假设	44
5.2 无公平关切行为下闭环供应链决策	45
5.2.1 集中决策模型	45
5.2.2 分散决策模型	46
5.3 零售商双向公平关切下闭环供应链决策	46
5.3.1 制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为	47
5.3.2 制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为	49
5.3.3 比较分析	52
5.4 闭环供应链协调机制	53
5.5 数值仿真分析	54
5.6 结论	57
6 结论及展望	59
6.1 研究的主要结论	59

6.2 研究贡献.....	60
6.2.1 理论贡献.....	60
6.2.2 管理启示.....	60
6.3 研究展望.....	61
参考文献	62
致谢.....	67
攻读硕士学位期间从事的科研工作及取得的成果.....	68

图录

图 1.1 技术路线图	6
图 3.1 闭环供应链决策结构（制造商公平关切）	16
图 3.2 制造商公平关切行为对新产品需求量的影响	24
图 3.3 制造商公平关切行为对再制造品需求量的影响	24
图 3.4 制造商公平关切行为对制造商利润的影响	25
图 3.5 制造商公平关切行为对再制造商利润的影响	25
图 3.6 制造商公平关切行为对零售商利润的影响	25
图 3.7 制造商公平关切行为对系统利润的影响	26
图 4.1 闭环供应链决策结构（再制造商公平关切）	28
图 4.2 再制造商公平关切行为对新产品需求量的影响	40
图 4.3 再制造商公平关切行为对再制造品需求量的影响	40
图 4.4 再制造商公平关切行为对制造商利润的影响	41
图 4.5 再制造商公平关切行为对再制造商利润的影响	41
图 4.6 再制造商公平关切行为对零售商利润的影响	41
图 4.7 再制造商公平关切行为对系统利润的影响	42
图 5.1 闭环供应链决策结构（零售商公平关切）	44
图 5.2 零售商公平关切行为对新产品需求量的影响（不考虑公平关切行为）	55
图 5.3 零售商公平关切行为对再制造品销量的影响（不考虑公平关切行为）	55
图 5.4 零售商公平关切行为对制造商利润的影响	56
图 5.5 零售商公平关切行为对再制造商利润的影响	56
图 5.6 零售商公平关切行为对零售利润的影响	56
图 5.7 公平关切行为对系统利润的影响（不考虑公平关切行为）	57

1 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

随着国民经济与生活水平的稳步提高,在满足基本的生活需求之后,消费者对产品的需求越来越趋于多元化和个性化,这就促使了各类产品迭代的速度加快,生命周期逐步缩短,从而加速了废旧品的产生。以电子产品为例,据《废弃电器电子产品处理目录(2014版)》的数据显示:在2016年14种产品的理论报废量将达到3.78亿台,其中最为突出的为:手机1.8亿台,电视3千万台,空调2.4千万台,冰箱2.1千万台,计算机2.2千万台。据国家统计局测算,在2016年,手机居民保有量为10.8亿台,电视为5.4亿台,空调3.6亿台,冰箱4.2亿台,计算机2.5亿台。由此可以得出在2016年,我国部分废弃电子产品的报废比率达到了5%-17%左右,“巨大”的报废比率背后所蕴藏的环境效益以及经济效益引起了全世界各界人士的高度关注。

各国相继开始制定环保方面的法律法规以应对废旧品所引起的日益严峻的环境污染和生态破坏问题。自瑞典环境经济学家托马斯提出生产者延伸责任制(EPR)概念以来,EPR制度在欧美、日本、韩国等多个国家相继实施,有效促进了资源的循环利用。随后,各国还相继推行了《废车辆管理指令2000/53/EC》、《电子垃圾处理法》等政策,显然,生态环境问题在国外已经赢得了广泛的关注。于此同时,我国也加强了环境保护方面的立法:从2005年的《关于加快发展循环经济的若干意见》开始,就相继出台了各种针对循环经济、再制造产业发展的相关文件说明。能显著改善生态环境问题的再制造产业随着时代的进步又迎来了广泛的关注与进一步的发展。

再制造活动之所以能引起各国的高度重视,与其之中所蕴藏的巨大环境效益和经济效益密不可分。据不完全统计,废旧品回收再制造活动可实现节省成本50%、节能60%、节材70%、减排80%。同时,已有研究指出,企业进行废旧品回收再制造活动能有效提升其社会竞争力。然而,再制造活动涉及到废旧品的回收、再处

理、再生产以及再销售等诸多环节，需要多方协作才能有效推进，传统的正向供应链或逆向供应链已不能单独承担这一系列的活动。因此，同时拥有正、逆向供应链特性的闭环供应链应运而生。

闭环供应链是传统正向供应链与逆向供应链的整合，是由产品的生产、销售、回收、再处理、再生产以及再销售组合成的一个闭式系统。原始设备制造商可通过直接参与再制造活动或间接参与再制造活动来履行其回收再制造的义务。与此同时，随着社会法律意识的增强，越来越多的制造型企业开始使用法律武器来维护自己的权益。因此，当制造商采用间接的方式来参与再制造活动时，专业壁垒成为了其有效的维权手段。

国内外学者将专利保护作为闭环供应链的影响因素进行了大量的研究，并取得了丰厚的研究成果。但绝大部分研究均以决策者的绝对理性为前提，忽视了人的行为因素对决策的影响，由此得出的结论与现实存在一定的偏差。行为经济学表明，人往往是有限理性的，尤其在涉及到利润分配的情境中，往往会极其关注利润分配的公平性，即为公平关切。因此，对于复杂的闭环供应链系统，将人的非理性行为因素（本文主要探讨公平关切行为）考虑到闭环供应链的决策模型中，得出的结论能更好的指导实践。

基于此，本文以制造商将再制造活动以专利授权的方式委托给再制造商为前提，构建一个由制造商为博弈领导者、再制造商以及零售商为博弈跟随者的闭环供应链模型，并引入公平关切因素作为闭环供应链决策与协调的主要影响因素，重点探讨以下几个问题：(1)当制造商、再制造商以及零售商分别具有双向公平关切行为时，双向公平关切行为对闭环供应链产品需求量和利润的影响效果；(2)双向公平关切行为下的各单向公平关切行为对闭环供应链产品需求量和利润的影响效果与程度；(3)在具有双向公平关切行为的闭环供应链中，当收益分享费用分担比例满足什么条件时，可通过收益分享-费用分担契约实现闭环供应链的协调。

1.1.2 研究意义

1. 理论意义

首先，与前人研究大多探讨“专利保护对闭环供应链的影响”不同，本文以制造商专利授权给再制造商进行再制造活动为前提，进一步将公平关切行为引入到

具有专利保护行为的闭环供应链中，并重点探讨公平关切行为对专利保护行为、生产决策、系统利润以及供应链协调的影响。这一将专利保护因素与其它影响因素相结合研究的操作，为接下来闭环供应链的研究开创了一个新的视角。

其次，与前人研究大多探讨“某一决策主体的单向公平关切行为对闭环供应链的影响”不同，本文探讨了构成闭环供应链的三个决策主体分别具有双向公平关切行为时的闭环供应链的决策。一方面全面了公平关切行为的主体、另一方面拓展了公平关切行为对象，为接下来的研究奠定了一定的理论基础。

最后，前人在闭环供应链契约协调方面的研究已取得了丰厚的研究成果，但鲜有学者探讨具有公平关切行为的闭环供应链的协调。本文在前人研究的基础上，采用收益分享-费用分担契约来实现具有公平关切行为的闭环供应链的协调，进一步丰富了该领域的研究。

2. 实际意义

随着人民对生态环境问题意识的逐步觉醒，以及废旧品回收再制造所蕴藏的巨大经济效益与社会效益的凸显，使得社会各界人士对闭环供应链管理引起了高度的重视：政府界相继颁布大量相关政策性文件鼓励企业进行废旧品的回收再制造活动；学术界大量文献研究表明废旧品回收再制造在缓解资源浪费、环境污染等问题的同时，能为企业带来新的收益。但大量关于闭环供应链的研究要么忽视了专利壁垒因素的存在，要么以决策者的绝对理性为前提，由此得出的研究结果与实际情况存在一定的偏差。因此，本文在前人研究的基础上，充分考虑社会的实际情况，将专利壁垒与决策者的行为因素（本文重点考虑公平关切行为）综合考虑到闭环供应链决策模型中，不仅顺应了当下的研究热点，得出的结论更贴近实际，具有较强的实际意义。

1.2 本文的研究内容

本文构建一个由制造商、再制造商以及零售商组成的闭环供应链，当制造商将再制造活动专利授权给再制造商时，分别构建闭环供应链的三个决策主体分别具有双向公平关切行为的场景，运用博弈论研究不同决策主体的双向公平关切行为对闭环供应链决策与协调的不同影响。

本文共分为六个章节，各章的主要内容如下：

第一章：绪论。首先说明论文的选题背景以及意义；其次介绍论文的主要研究内容；接着介绍论文的主要研究方法以及技术路线；最后阐述论文可能存在的创新点。

第二章：国内外研究综述。主要分为三个部分：第一部分对闭环供应链研究领域的综述，包括闭环供应链定义与发展、专利保护在闭环供应链中的研究以及闭环供应链的协调研究；第二部分对公平关切领域的综述，包括公平关切的定义、公平关切的提出及验证、公平关切在供应链领域的研究以及公平关切在闭环供应链领域的研究；第三部分对前两部分回顾的文献做一个合理的述评。

第三章：制造商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响研究。构建一个由制造商、再制造商以及零售商组成的闭环供应链，当制造商将再制造活动专利授权给再制造商时，引入制造商双向公平关切因素，运用博弈论首先研究制造商双向公平关切行为对专利保护行为以及闭环供应链产品需求量和利润的影响效果；其次探讨制造商双向公平关切行为下的各单向公平关切行为对专利保护行为以及闭环供应链产品需求量和利润的影响效果与程度，由此识别出对闭环供应链决策影响程度更高的单向公平关切行为，为企业提出管理借鉴；最后验证当收益分享费用分担比例满足什么条件时，采用收益分享-费用分担契约能实现闭环供应链协调。

第四章：再制造商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响研究。构建一个由制造商、再制造商以及零售商组成的闭环供应链，当制造商将再制造活动专利授权给再制造商时，引入再制造商双向公平关切因素，运用博弈论首先研究再制造商双向公平关切行为对专利保护行为与闭环供应链产品需求量和利润的影响效果；其次探讨再制造商双向公平关切行为下的各单向公平关切行为对专利保护行为与闭环供应链产品需求量和利润的影响效果与程度，由此识别出对闭环供应链决策影响程度更高的单向公平关切行为，为企业提出管理借鉴；最后验证当收益分享费用分担比例满足什么条件时，采用收益分享-费用分担契约能实现闭环供应链协调。

第五章：零售商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响研究。构建一个由制造商、再制造商以及零售商组成的闭环供应链，当制造商将再制造活动专利授权给再制造商时，引入零售商双向公平关切因素，运用博弈论首先研究零售商双向公平关切行为对专利保护行为与闭环供应链产品需求量和利润的影响效果；其次探讨零售商双向公平关切行为下的各单向公平关切行为对专利保护行为与闭环供

应链产品需求量和利润的影响效果和程度，由此识别出对闭环供应链决策影响程度更高的单向公平关切行为，为企业提出管理借鉴；最后验证当收益分享费用分担比例满足什么条件时，采用收益分享-费用分担契约能实现闭环供应链协调。

第六章：结论及展望。本章内容包含三个部分：第一部分整理第三章、第四章以及第五章的结论；第二部分说明本次研究的理论贡献与管理启示；第三部分说明本次研究的局限以及未来的研究方向。

1.3 研究方法及技术路线

1.3.1 研究方法

(1) 文献研究法

在已有理论研究的基础上，通过文献研究，提炼出相关的研究概念，建立研究模型，进而提出研究假设。

(2) 博弈论研究方法

本文运用 stackelberg 主从博弈模型，分别得出制造商、再制造商、零售商双向公平关切行为下各模型的产品需求量以及利润的均衡解。首先分析双向公平关切行为对产品需求量和利润的整体影响情况，接着分析双向公平关切行为下各单向公平关切行为产品需求量和利润的影响程度。由此为企业提出针对性的管理建议

(3) 仿真分析法

本研究运用科学计算语言——MAPLE 软件，对文中的博弈模型进行模拟，进行大量的仿真计算，通过仿真图形验证模型部分所得出的结论。

1.3.2 技术路线

本文的技术路线图如图 1.1 所示：

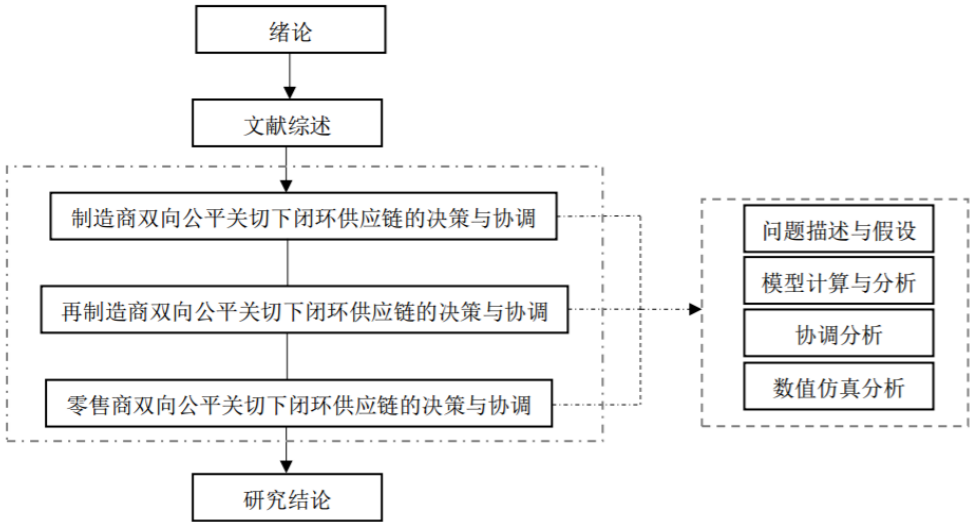


图 1.1 技术路线图

1.4 本文的创新之处

本文的主要创新点可以归纳为以下三个方面：

首先，将专利保护因素作为闭环供应链决策模型的基础变量。已有大量研究指出专利保护行为对闭环供应链决策具有较大的影响，其中以熊中楷为代表的学者将专利保护作为闭环供应链的影响因素进行了研究。而随着人们法律意识的逐步增强，专利壁垒已逐渐成为原始设备制造商们维权的必备技能。考虑到专利壁垒的普适性，本文不再单独探讨其对闭环供应链的影响，而是将其作为供应链决策模型的基础变量，结合其它影响因素探讨供应链的决策问题。在原有研究的基础上，开辟了一个新的研究视角。

其次，专利保护背景下，将单向公平关切行为拓展至双向公平关切行为做进一步研究。自张克勇等学者将公平关切行为首次引入到闭环供应链中进行研究后，大量学者从不同角度研究了决策者的公平关切行为对闭环供应链的影响。但绝大部分学者均以单向公平关切为研究重点，忽视了在多成员闭环供应链中，具有公平关切行为的主体可能同时对多个主体具有公平关切行为，并且，极少有学者在做公平关切相关的闭环供应链研究中，将专利保护因素考虑其中。因此，本文以专利保护为背景，将公平关切行为对闭环供应链的影响由单向拓展至双向，进一步丰富了该领域的研究。

最后，采用收益分享-费用分担契约实现具有公平关切行为的闭环供应链的协调。国内外针对闭环供应链契约协调的研究已取得了丰厚的成果，但对于具有公平关切行为的闭环供应链契约协调研究还有一定的进步空间。本文采用最为通用的契约方式实现了具有公平关切行为的闭环供应链的协调，为未来在该领域的研究奠定了一定的基础。

2 国内外研究综述

本文主要探讨专利保护背景下，闭环供应链各决策主体的双向公平关切行为对系统决策与协调的影响。因此，本章综述内容主要包括以下几个方面：(1)闭环供应链领域相关研究综述；(2)公平关切领域相关研究综述；(3)对已有研究进行合理的述评，从而引出本文的研究内容。

2.1 闭环供应链相关理论综述

2.1.1 闭环供应链理论研究

闭环供应链概念的提出，得益于废旧品回收相关研究的发展。Fleischmann 等^[1]学者对产品回收的各个环节基于物流网络特征进行了深度的剖析后提出，产品回收环节包含旧产品的收集、分类、再制造（报废）、再分销等过程，Fleischmann 等学者虽没有直接提出闭环供应链概念，却为之后概念的提出奠定了坚实的基础；随后，Krikke^[2]、Guide^[3]、Nunen^[4]、Flapper^[5]学者明确了闭环供应链就是将传统的正向供应链连接一条逆向链条，即以末端消费者产品为起点，经过渠道回收分类，再进行维修翻新或再制造或原材料再生等操作后，再销售到目标市场，所形成的商流、物流、资金流和信息流的闭环系统；Guide 等^[6]学者随后转变思路，从商业角度重新对闭环供应链定义：产品的完整生命周期内，通过对不同类型和数量的回收产品进行价值的再生，从而实现价值最大化的系统的设计、控制与运作。国内赵晓敏等^[7]学者认为闭环供应链是一个全生命周期的管理，强调通过链上各成员的协作来实现整个系统收益的最大化；尤建新等^[8]学者从价值实现层面对闭环供应链重新定义为：为了实现和发掘价值而对原材料在制品、产成品以及相关信息进行高效率、低成本地计划、实施和控制的过程；张克勇^[9]学者从循环和再造的角度重新给出闭环供应链的含义，认为闭环供应链是由传统的正向供应链与逆向供应链组成的封闭式系统，包括从原材料生产、制造、消费到废旧品回收、再制造等一系列循环过程中商流、物流、信息流和资金流双向移动的闭环系统。

与绝大部分学者一样，本文主要参考 Guide 等学者对闭环供应链的定义，认为

闭环供应链既包含了由原材料到产成品到消费者的正向供应链，又包含了产品回收再生产和再销售的逆向供应链，且正向与逆向供应链的物流相互联系，使得一个产品的生命周期由“资源-生产-消费-废弃”的单次过程变成了“资源-生产-消费-再生产-再消费”的循环过程。

2.1.2 闭环供应链专利保护研究

国内外学者从法律角度出发针对专利保护的研究已取得丰厚的成果，本文主要基于管理视角来论述现有对专利保护的研究。早在 1985 年，Gallini 等^[10]学者就指出，传统对专利保护的理解是通过禁止利用信息溢出来创造垄断，相反，专利壁垒能通过保护技术信息在交易过程中的财产权力来开放市场；而后，Fosfuri^[11]学者的研究表明，专利权所有者通过对其核心技术的专利保护，使得技术在扩散中只能通过模仿实现，因此，专利保护程度的变化引起的政权转移实际上能为专利权所有者带来实质性的福利结果；Rockett^[12]学者的研究指出，专利权所有者可通过专利授权的方式来选择其竞争对手，通过阻止强有力的竞争对手进入市场，从而维持其在该行业中的领导地位；与 Rockett 的研究相反，Conner^[13]学者研究认为，当采用专利授权的方式引入竞争对手进入行业中时，若竞争对手的产品质量劣于专利所有者的产品质量，引入的竞争对手越强大，对专利所有者越有利；Langinier 等^[14]学者在 Conner 的基础上进一步研究得出，即使不收取专利许可费，原始设备制造商将其技术专利许可给竞争对手，仍是有利可图的，且收取专利许可费可进一步增加原始设备制造商将技术许可给竞争对手的动机。从以上研究可以发现，专利保护对于专利权所有者来说是一种有益的行为，这也能很好的解释为什么越来越多的制造型企业都愿意使用专利壁垒来维护自己的权益。

专利授权费用支付方式一般分为以下三种类型：固定费用、可变费用以及两部制费用。Kamien 等^[15]学者研究了当专利权所有者是非市场上的制造者时，采用固定费用的收费方式优于可变费用。与 Kamien 的研究相反，Wang^[16]在构建模型时假设专利权所有者是市场上的制造成员之一，得出：当采用可变费用的收费方式时，专利权所有者相较于被许可者有更大的成本优势，而当采用固定费用时，二者之间属于平等竞争，专利权所有者不再具备成本优势，因此相较于固定费用收费方式，专利权所有者采用可变费用的收费方式可获得更高的收益；钟德强等^[17]学者研究

了当一个参与产品竞争的寡头技术创新者向具有劣质生产技术的现有企业发放降低成本的创新专利技术时的技术许可策略问题, 针对技术许可下固定与可变两种不同的收费方式, 分析技术创新程度与产品市场竞争程度对其制定技术许可策略的影响, 得出: 在固定费用许可策略下, 当技术创新程度或产品市场竞争程度不强时, 专利权所有者将许可非激变创新技术, 在可变费用许可策略下, 专利权所有者将许可激变创新技术。在钟德强研究的基础上, 纪光兵等^[18]学者研究了当一家企业同时拥有可以节约成本的专利技术和高质产品的 Cournot 双寡头竞争市场时, 采用哪种专利许可收费方式可实现最高收益。得出: 在激变或非激变创新下, 专利权所有者采用可变费用许可策略优于固定费用许可策略。基于此, 在接下来的研究中, 本文采用可变费用许可策略。

国内外对专利保护行为在管理领域的作用研究以及专利许可策略选取研究已取得丰厚的成果, 熊中楷等学者在前人研究的基础上, 将专利保护行为作为主要影响因素进一步引入到了闭环供应链模型当中。熊中楷等^[19]学者首度将专利保护行为引入闭环供应链决策模型中研究了当制造商通过专利委托再制造商进行回收再制造时, 专利保护行为对废旧品回收再制造的影响, 并研究了专利保护下的闭环供应链的协调问题; 同年, 申成然等^[20]学者研究了当制造商将再制造活动专利授权给经销商对闭环供应链的影响, 得到: 随着再制造节约成本的增加, 经销商将加大对废旧品的回收再制造活动, 增加自身收益, 同时, 制造商通过收取专利费用也将获得一部分额外收益; 黄宗盛等^[21]学者对专利保护下闭环供应链的再制造模式进行研究发现: 对于制造商而言, 由第三方再制造商进行废旧品回收再制造活动对其更有利; 但对于零售商而言, 由其本身对废旧品进行回收再制造活动更有利; 熊中楷等^[22]学者比较了制造商不允许废旧品回收再制造活动、制造商进行回收再制造活动以及第三方再制造商进行回收再制造活动三种再制造策略后得出: 只有当第三方再制造商进行废旧品回收再制造活动的成本足够低时, 受专利保护的制造商才会将再制造活动外包给第三方再制造商。而后, 大量学者从产品差别定价、市场细分、产品需求混合、双渠道等角度出发, 对专利保护行为下的闭环供应链的产品价格决策、供应链协调以及竞争策略进行了深入的研究^[23-25]。考虑到专利保护在闭环供应链中的影响研究已得到了众多学者的验证, 以及专利保护行为在当今社会的普适性, 本文不再将专利保护作为闭环供应链决策的主要影响因素, 而将其作为

模型的基础变量,进而探讨在一个具有专利保护行为的闭环供应链中,其它因素对闭环供应链决策的影响。

2.1.3 闭环供应链协调研究

已有大量研究指出,当网络中有多个具有不同私人信息和动机的决策者时,供应链绩效总是表现不佳。供应链表现不佳可能是由于决策者不情愿将其成本或需求等私有信息告知他人^[26];当决策者完全基于其自身利润函数最大化时,将产生双重边际效应的产生,从而导致无法完成全局最优,这一经济理论最早由 Spender 等^[27]学者提出。显然,协调是衡量供应链绩效的一个重要评估标准,且在供应链协调中最常用的协调方式为契约协调。国内外对闭环供应链协调的定义还没有形成一个统一的观点,因此,本文主要将 Cachon 等^[28]学者对供应链协调的定义延伸至闭环供应链协调:通过某种合同使得闭环供应链系统的最优决策行为构成交易成员的一个纳什均衡,并满足没有任何成员偏离这个均衡

常见的契约协调方式有:批发价格契约、二部定价契约、回购契约、收入费用分享契约、数量折扣契约等^[29]。批发价契约是所有契约中最为简单的一种,指供应商与经销商或零售商就产品的批发价格而签订的契约合同,该契约合同主要用于约束产品的批发价格,而不规定产品的初始订货数量,通常情况下,批发价格为固定常数。国内外学者从确定性需求和非确定性需求两方面对批发价契约协调进行了研究^[30-31]。二部定价契约是指在满足激励相容约束和个人理性约束的前提下,主从博弈中的领导者首先进行低成本定价决策,作为回报,追随者需要向领导者支付一定份额的特许费用^[32]。丁雪峰等^[33]学者研究表明当零售商对制造商具有公平关切行为时,采用二部定价契约能实现闭环供应链的协调。回购契约是指为实现系统利润最大化,供应商对供应链下游没有卖完的产品以一定的价格回购,从而刺激经销商或零售商加大产品的订购量。鲁力等^[34]学者从碳排放量的角度着手,采用回购契约实现了无碳排放约束、差异碳排放政策下的供应链的协调。收入费用分享契约是基于收入分享契约发展而来,主要应用于存在第三方再制造商的闭环供应链中,主要指根据约定,制造商、再制造商以及零售商按照一定的规则对闭环供应链产生的利润进行分配,同时分担一定的成本。张克勇^[9]学者运用收入费用分享契约实现了闭环供应链的协调。数量折扣契约是指按照约定,制造商根据经销商或零售

商的订购数量来制定相应的产品批发价格，王勇等^[35]学者采用数量折扣契约实现了改良品供应链系统的协调。

国内外学者在供应链契约协调研究的基础延伸至闭环供应链，并取得了丰厚的研究成果。Giovanni^[36]学者基于前人的研究，采用反向收益合同实现了对闭环供应链的协调。Kim^[37]学者引入批发价格合同、回购合同以及数量折扣合同到闭环供应链中，分别研究各种合同对闭环供应链零售商的定价决策与回收政策的影响，并研究了零售商道德风险下闭环供应链契约协调问题。Giovanni 等^[38]学者构建了一个收益费用分享场景：在一个由制造商和零售商组成的闭环供应链中，零售商销售产生的收益一部分分享给制造商，同时零售商还需分担制造商进行再制造活动产生的成本，旨在通过该合同来提高废旧品的回收率，实现闭环供应链协调。研究表明，只有在特定场景下，收益费用分享契约才能实现其功能。易余胤等^[39]学者构建了一个销售渠道和回收渠道存在冲突的闭环供应链模型，并运用改良的二部定价契约来实现了集中决策下闭环供应链的协调。曹晓刚等^[40]学者采用价格-利润联合机制实现了具有顾客偏好的双渠道闭环供应链的协调。许茂增等^[41]学者采用算例分析证实了，在一个由第三方进行回收再制造的双渠道闭环供应链中，采用收益分享-费用分担契约能实现闭环供应链协调。李新然等^[42]学者将收益费用分享契约放到需求稳定的闭环供应链与需求扰动的闭环供应链中进行对比研究发现，需求稳定下的收益费用分享契约不能用于需求扰动下的闭环供应链协调；但进行参数改良过后的收益费用分享契约不仅能实现需求扰动下的供应链协调，同时能实现需求稳定下的闭环供应链协调。陈宇科等^[43]学者将风险因素引入到闭环供应链中研究发现，当满足均值-CVaR 时，采用收益共享-费用分担契约可实现闭环供应链协调。

通过以上研究可以发现，收入分享-费用分担契约的出现主要是基于闭环供应链的发展，并被学者们广泛的运用于闭环供应链协调当中，因此，本文主要研究能否通过收入分享-费用分担契约来实现闭环供应链的协调。

2.2 公平关切相关理论综述

2.2.1 公平关切理论研究

公平关切理论的产生得益于行为经济学的发展。本文主要参考行为经济学家 Kahneman^[44]对公平关切的定义,认为公平关切是指“企业在追求利益最大化的同时,还会关注利益分配的公平性,若受到不公平待遇则极有可能牺牲自己的利益来损坏他人利益”的一种行为。公平关切理论与经济学传统的理性人相悖,认为人是有限理性的,大量博弈实验验证了这一有限理性的存在。Camerer 等^[45]学者采用最后通牒博弈实验证实了人是具有公平偏好的,会直接拒绝显著不公平的收益分配方案。Falk 等^[46]学者采用礼物交换博弈实验验证了人具有公平偏好。同一时代,众多学者还分别设计了信任博弈实验、独裁博弈实验和公共品博弈实验验证了人具有公平偏好^[47-49]。

2.2.2 公平关切在供应链领域研究

Ho 等^[50]学者采用实验研究证明了供应链系统中存在公平关切行为。Cui 等^[51]学者进一步研究了公平关切行为对供应链协调的影响,研究得出,当供应链成员都具有公平关切行为时,批发价格契约能实现供应链协调。Ozgun 等^[52]将 Cui 的研究结论拓展到非线性需求函数中并做了进一步的研究。Pavolov 等^[53]学者研究了当具有公平关切行为的主体将其公平关切行为作为隐私信息不告知他人时,供应链可能无法实现协调。国内学者杜少甫等^[54]人进一步研究了公平关切行为下的供应链契约与协调问题,并给出了公平关切的效用函数。王磊等^[55]学者分别构建了零售商具有公平关切、制造商具有公平关切以及双方具有公平关切的决策模型,研究了各种公平关切行为下供应链的最优定价决策问题。

2.2.3 公平关切在闭环供应链领域研究

国内学者张克勇等^[56-58]率先将公平关切行为在供应链中的研究拓展至闭环供应链,分别研究了制造商考虑或不考虑零售商的公平关切行为对闭环供应链产品定价、产品需求量、旧产品回收量以及系统利润的影响。而后,学者们分别从制造

商公平关切、再制造商公平关切、零售商公平关切出发,研究公平关切行为对闭环供应链决策与协调的影响。丁雪锋等^[59]学者研究了零售商公平关切行为对闭环供应链定价决策与协调的影响,研究得出,当零售商具有公平关切行为时,制造商考虑其公平关切行为能有效的防止再制造品销量的减少以及系统利润的降低。马德青等^[60]学者研究了零售商公平关切程度对成员均衡策略以及绩效的影响。李欣然等^[61]基于政府“以旧还再”补贴政策,讨探零售商服务水平和公平关切行为对闭环供应链决策的影响。孙浩等^[62]学者构建一个制造商考虑零售商公平关切行为的闭环供应链,比较分析由制造商回收、零售商回收以及第三方回收三种回收方式的最优解,并采用二部定价契约实现了闭环供应链的协调。唐飞等^[63]学者研究了在双渠道闭环供应链中,零售商公平关切行为对闭环供应链定价策略的影响,并采用利润共享补充协议或两部定价协议实现了双渠道闭环供应链的协调。姚锋敏等^[64]学者研究了在一个由零售商为主导者的闭环供应链中,零售商具有或不具有公平关切行为对闭环供应链系统的影响。同年,姚敏锋等^[65]学者构建了由一个制造商、两个零售商和一个三方回收商组成的闭环供应链,研究当两个具有竞争关系的零售商均具有公平关切行为时,公平关切行为对闭环供应链的影响。研究得出,两个具有竞争关系的零售商的公平关切程度越高,对零售商越不利,但对制造商、第三方回收商以及系统有利。高鹏等^[66]学者研究了制造商专利授权给经销商进行废旧品回收再制造时,制造商的公平关切行为对闭环供应链的影响。宋帝等^[67]学者针对制造商具有公平关切行为,构建由零售商主导和第三方主导的闭环供应链,研究了不同回收模式下的最优价格、回收率以及利润。陈玉玲等^[68]学者研究了在低碳闭环供应链中,制造商的公平关切行为对闭环供应链定价策略的影响。陈章跃等^[69]学者研究了制造商的双向公平关切行为对闭环供应链各成员讨价还价能力的影响。刘志等^[70]学者研究了制造商考虑或不考虑再制造商的公平关切行为时,再制造商的公平关切行为对闭环供应链生产设计与协调的影响。

2.3 国内外研究述评

闭环供应链管理使得环境污染及资源浪费等问题得到了缓解,也因此引起了企业界与学术界的高度关注。从以上研究可以发现,闭环供应链管理相关研究已取得了丰厚的成果,前人的研究结论为后人的进一步研究奠定了坚实的基础,但同时

也存在一些不足。

首先，将专利保护作为闭环供应链决策的影响因素研究在熊中楷等学者的带领下，已取得了丰厚的成果。现有研究大多将专利保护作为闭环供应链决策的主要影响因素，来探讨专利保护对闭环供应链决策或协调的影响。然而，随着社会各界法律意识的逐步增强，专利保护被越来越多的运用到制造产业当中，专利保护的普及警示我们在接下来的闭环供应链研究中，有必要将专利保护因素从传统决策模型的主要影响变量转变成基础变量，并结合其它影响变量做进一步的研究。

其次，考虑闭环供应链中存在公平关切行为的研究已取得了丰厚的成果，但绝大多数研究均只考虑了某一成员具有单向公平关切行为时，公平关切行为对闭环供应链的影响。现实生活中，闭环供应链成员都有可能具有公平关切行为，且同时对另外的几个成员均具有公平关切行为。因此，有必要对各成员分别具有公平关切行为时的决策做一个详尽的研究，同时将单向公平关切行为拓展至双向公平关切行为做进一步研究。

最后，将专利保护与公平关切分别作为闭环供应链影响因素的相关研究已取得丰厚的成果，但鲜有学者将两个因素同时考虑其中。现实生活中，专利保护越来越普及，而人的有限理性行为在具有专利保护的闭环供应链中同样存在，因此，有必要将专利保护作为基础变量，公平关切作为影响变量，在前人研究的基础上做进一步拓展。

基于此，本文结合闭环供应链领域研究成果，以及行为经济学理论，构建一个由制造商为领导者，再制造商和零售商为追随者的闭环供应链模型，研究当制造商将再制造活动专利授权给再制造商时，制造商、再制造商以及零售商的双向公平关切行为分别对闭环供应链决策与协调的影响，详尽所有可能具有公平关切行为的场景，从而为企业管理提供相关管理借鉴。

3 制造商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响

3.1 问题描述与假设

研究在一个由制造商、再制造商以及零售商组成的闭环供应链中，制造商专利授权给再制造商时，制造商的双向公平关切行为对闭环供应链产品需求量与利润的影响。闭环供应链系统中存在以制造商为领导者的 *stackelberg* 博弈。博弈顺序为：首先由制造商确定新产品的批发价格和对再制造商征收的单位专利费用；其次由再制造商确定再制造品的批发价格；最后由零售商确定新产品和再制造品的销售价格。图 3.1 为闭环供应链决策结构模型。

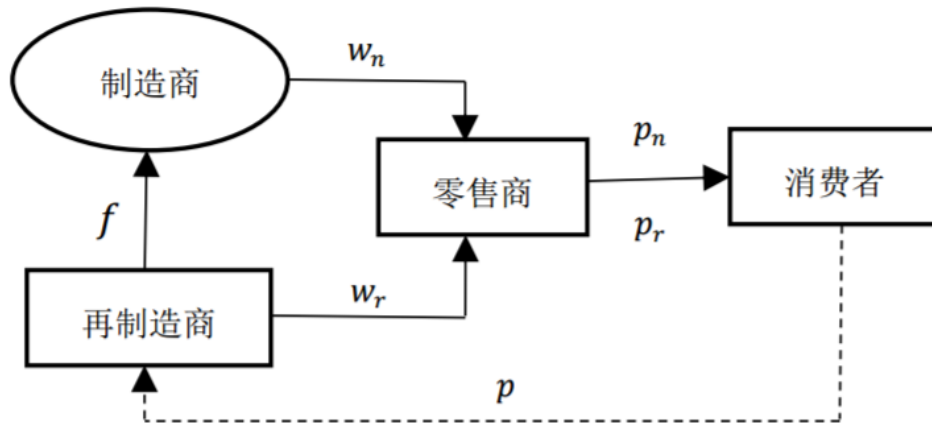


图 3.1 闭环供应链决策结构（制造商公平关切）

根据上述的基本描述，以下对本文的符号与基本假设做说明。

(1) 回收的旧产品均能用于再制造,且新产品和再制造品的产量恰能满足市场的需求。

(2) 产品的单位成本、批发价格以及销售价格分别为: c_i 、 w_i 、 p_i ，其中 $i = (n, r)$ 分别表示新产品和再制造品。为保证闭环供应链系统中各成员有利可图，则需满足： $p_n > w_n > c_n$ ， $p_r > w_r > c_r$ 。

(3) 单位专利费用为 f ；回收旧产品的单位成本为 p 。

(4) 假设消费者对新产品和再制造品存在异质需求：消费者对新产品的支付意

愿为 $V \sim N[0,1]$ ，相较于新产品，消费者对再制造品的支付意愿为 $\theta \in [0,1]$ 。假设市场的总需求 $Q = 1$ ，为使消费者有购买再制造品的意愿，本文只分析 $\theta p_n > p_r$ 的情形，根据效用函数推导可得： $q_n = 1 - \frac{p_n - p_r}{1 - \theta}$ ， $q_r = \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)}$ ，其中 q_n 表示对新产品的需求量， q_r 表示对再制造品的需求量。

(5) Π_j^k 表示在模型 k 中，系统成员 j 的利润。其中 $j = (N, R, r)$ 分别代表制造商、再制造商以及零售商， $k = (I, D, F, FC)$ 分别代表公平中性下集中决策模型、分散决策模型，公平关切下分散决策模型以及闭环供应链协调模型。本文中所有利润均为产品销量恰好满足产品需求量时的理论利润。

(6) λ_1 表示制造商对再制造商的横向公平关切系数， λ_2 表示制造商对零售商的纵向公平关切系数。

(7) 为使研究有意义，本文假设 $(1 - c_n)(1 - \theta) > \theta c_n - c_r - p$ 。

3.2 公平中性下闭环供应链决策

3.2.1 集中决策模型

在集中决策模型下，制造商、再制造商以及零售商共同构建一个决策体系，以此来确定新产品和再制造品的定价策略，从而最大化系统总利润。系统的总利润为：

$$\Pi_c^I = (p_n - c_n)q_n + (p_r - c_r - p)q_r \quad (3.1)$$

联立求解 $\frac{\partial \Pi_c^I}{\partial p_n} = 0$ ， $\frac{\partial \Pi_c^I}{\partial p_r} = 0$ 得： $p_n^I = \frac{1 + c_n}{2}$ ， $p_r^I = \frac{\theta + c_r + p}{2}$ ；

故新产品和再制造品的需求量以及系统总利润为：

$$q_n^I = \frac{1 - \theta - c_n + c_r + p}{2(1 - \theta)}, \quad q_r^I = \frac{\theta c_n - c_r - p}{2\theta(1 - \theta)};$$

$$\Pi_c^I = \frac{(1 - c_n)^2}{4} + \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2}{4\theta(1 - \theta)}.$$

3.2.2 分散决策模型

在分散决策模型下，系统各成员的相关决策均基于自身利润最大化。

制造商、再制造商以及零售商的利润函数为：

$$\Pi_M = (w_n - c_n)q_n + f q_r \quad (3.2)$$

$$\Pi_R = (w_r - c_r - p - f)q_r \quad (3.3)$$

$$\Pi_r = (p_n - w_n)q_n + (p_r - w_r)q_r \quad (3.4)$$

在以制造商为领导者的 stackelberg 博弈中, 根据博弈顺序对以上利润函数逆向求解可得:

$$\begin{aligned} p_n^D &= \frac{3+c_n}{4}, \quad p_r^D = \frac{6\theta+\theta c_n+c_r+p}{8}; \\ w_r^D &= \frac{\theta c_n+c_r+p+2\theta}{4}, \quad w_n^D = \frac{1+c_n}{2}; \\ f^D &= \frac{\theta-c_r-p}{2}; \end{aligned}$$

由此可得新产品与再制造品的需求量为:

$$q_n^D = \frac{2(1-\theta-c_n)+\theta c_n+c_r+p}{8(1-\theta)}, \quad q_r^D = \frac{\theta c_n-c_r-p}{8\theta(1-\theta)};$$

制造商、再制造商和零售商的利润为:

$$\begin{aligned} \Pi_M^D &= \frac{2\theta-2\theta^2-4\theta c_n+4\theta^2 c_n+2\theta c_n^2-\theta^2 c_n^2-2\theta c_n(c_r+p)+(c_r+p)^2}{16\theta(1-\theta)}; \\ \Pi_R^D &= \frac{(\theta c_n-c_r-p)^2}{32\theta(1-\theta)}; \\ \Pi_r^D &= \frac{4\theta-4\theta^2-8\theta c_n+8\theta^2 c_n+4\theta c_n^2-3\theta^2 c_n^2-2\theta c_n(c_r+p)+(c_r+p)^2}{64\theta(1-\theta)}; \end{aligned}$$

3.3 制造商双向公平关切下闭环供应链决策

本文假设在闭环供应链系统中, 再制造商和零售商公平中性, 制造商具有双向公平关切行为, 即其既关注横向上再制造商的利润, 又关注纵向上零售商的利润。本文参考杜少甫^[54]与陈章跃^[67]的研究, 假设制造商的公平关切效用函数为:

$$U_M = \Pi_M - \lambda_1(\Pi_R - \Pi_M) - \lambda_2(\Pi_r - \Pi_M) \quad (3.5)$$

制造商的公平关切效用函数分为三部分: 第一部分为制造商的利润函数, 第二部分为制造商对再制造商的公平关切效用, 第三部分为制造商对零售商的公平关切效用。其中, $\lambda_l \in [0,1]$ ($l = 1,2$) 表示制造商的公平关切程度, λ_l 越趋向于 0 表明制造商的公平关切程度越低, 越趋向于 1 表明制造商的公平关切程度越高^[68]。

制造商双向公平关切下, 其决策的制定基于公平关切效用函数最大化, 再制造商和零售商决策的制定基于利润函数最大化。故与分散决策下的博弈顺序相同, 采用逆向求解法可得:

$$w_n^F = \frac{(1+\lambda_1+\lambda_2)(1+c_n)+\lambda_2}{2+2\lambda_1+3\lambda_2} = A;$$

$$f^F = \theta w_n^F - \frac{2\theta c_n(1+\lambda_1+\lambda_2)+(c_r+p)(2+4\lambda_1+3\lambda_2)}{4+6\lambda_1+5\lambda_2} = \theta A - B;$$

$$w_r^F = \frac{2\theta A - B + c_r + p}{2};$$

$$p_r^F = \frac{2\theta + 2\theta A - B + c_r + p}{4}, \quad p_n^F = \frac{1+A}{2};$$

故新产品、再制造品的需求量为:

$$q_n^F = \frac{2(1-\theta) - 2A(1-\theta) + c_r + p - B}{4(1-\theta)};$$

$$q_r^F = \frac{B - c_r - p}{4\theta(1-\theta)};$$

进一步可得制造商、再制造商、零售商以及系统的利润为:

$$\Pi_M^F = \frac{2\theta A(\theta A - A - \theta + 2) - B(B - c_r - p) + \theta c_n[(2A - 2)(1 - \theta) + B - c_r - p]}{4\theta(1 - \theta)};$$

$$\Pi_R^F = \frac{(B - c_r - p)^2}{8\theta(1 - \theta)};$$

$$\Pi_r^F = \frac{\theta A(4A - 4\theta A + 8\theta - 8) + (B - c_r - p)^2 + 4\theta - 4\theta^2}{16\theta(1 - \theta)};$$

$$\Pi_c^F = \frac{4\theta A^2(\theta - 1) + \theta c_n[8(A - 1)(1 - \theta) + 4(B - c_r - p)] - B^2 - 2B(c_r + p) + 3(c_r + p)^2 + 4\theta - 4\theta^2}{16\theta(1 - \theta)};$$

命题 3.1 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_1} > 0$ 、 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 1} \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_1} < 0$, $\frac{\partial f^F}{\partial \lambda_2} > 0$, $\left| \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_2} \right|$ 。

证明: 将专利费 f^F 分别关于横向公平关切系数 λ_1 和纵向公平关切系数 λ_2 求偏导数得:

$$\frac{\partial f^F}{\partial \lambda_1} = \theta \frac{\partial A}{\partial \lambda_1} - \frac{\partial B}{\partial \lambda_1}, \quad \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_2} = \theta \frac{\partial A}{\partial \lambda_2} - \frac{\partial B}{\partial \lambda_2};$$

因为:

$$\frac{\partial A}{\partial \lambda_1} = \frac{\lambda_2(c_n - 1)}{(2 + 2\lambda_1 + 3\lambda_2)^2}; \quad \frac{\partial A}{\partial \lambda_2} = \frac{(1 + \lambda_1)(1 - c_n)}{(2 + 2\lambda_1 + 3\lambda_2)^2};$$

$$\frac{\partial B}{\partial \lambda_1} = \frac{2(c_r + p - \theta c_n)(2 + \lambda_2)}{(4 + 6\lambda_1 + 5\lambda_2)^2}; \quad \frac{\partial B}{\partial \lambda_2} = \frac{2(c_r + p - \theta c_n)(1 - \lambda_1)}{(4 + 6\lambda_1 + 5\lambda_2)^2};$$

由假设 4 可知, 只有当 $\theta p_n > p_r$ 时, 消费者才会有购买再制造品的意向。因此, 为保证销售再制造品有利可图, 则有 $\theta p_n^F > p_r^F$, 故有: $\theta c_n - c_r - p > 0$, 因此有:

$$\frac{\partial A}{\partial \lambda_1} < 0, \quad \frac{\partial A}{\partial \lambda_2} > 0, \quad \frac{\partial B}{\partial \lambda_1} < 0, \quad \frac{\partial B}{\partial \lambda_2} < 0, \quad \left| \frac{\partial A}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial A}{\partial \lambda_2} \right|, \quad \left| \frac{\partial B}{\partial \lambda_1} \right| > \left| \frac{\partial B}{\partial \lambda_2} \right|。$$

当满足 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_1} > 0$ 时: $\left| \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_1} \right| - \left| \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_2} \right| = \frac{\theta(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(c_n - 1)}{(2 + 2\lambda_1 + 3\lambda_2)^2} + \frac{2(\theta c_n - c_r - p)(1 + \lambda_1 + \lambda_2)}{(4 + 6\lambda_1 + 5\lambda_2)^2} <$

0

当满足 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 1} \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_1} < 0$ 时: $\left| \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_1} \right| - \left| \frac{\partial f^F}{\partial \lambda_2} \right| = \frac{\theta(1 - c_n)(\lambda_2 - \lambda_1 - 1)}{(2 + 2\lambda_1 + 3\lambda_2)^2} - \frac{2(\theta c_n - c_r - p)(3 + \lambda_2 - \lambda_1)}{(4 + 6\lambda_1 + 5\lambda_2)^2} <$

0

综上可知命题 3.1 成立。

命题 3.1 表明：当制造商具有双向公平关切行为时，制造商的横向公平关切行为对专利费用的影响效果受其纵向公平关切行为的影响：当纵向公平关切程度趋向于 0 时，专利费用随着横向公平关切程度的增加而增加；反之，当纵向公平关切程度趋向于 1 时，专利费用随着横向公平关切程度的增加而降低。制造商纵向公平关切行为对专利费用的影响不受其横向公平关切行为的影响：专利费用随着纵向公平关切程度的增加而增加，且纵向公平关切行为对专利费用的影响程度高于横向公平关切行为，故制造商双向公平关切行为整体上增加了专利费用。

命题 3.2 (1) $\frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_1} > 0$, $\frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_2} < 0$, $\left| \frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_2} \right|$;

(2) $\frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_1} < 0$, $\frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_2} < 0$, $\left| \frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_1} \right| > \left| \frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_2} \right|$ 。

证明：对新产品的需求量 q_n^F 和再制造品的需求量 q_r^F 分别关于横向公平关切系数 λ_1 和纵向公平关切系数 λ_2 求偏导数得：

$$\frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_1} = -\frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial \lambda_1} - \frac{1}{4(1-\theta)} \frac{\partial B}{\partial \lambda_1};$$

$$\frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_2} = -\frac{1}{2(1-\theta)} \left[\frac{(1+\lambda_1)(1-c_n)(1-\theta)}{(2+2\lambda_1+3\lambda_2)^2} + \frac{(c_r+p-\theta c_n)(1-\lambda_1)}{(4+6\lambda_1+5\lambda_2)^2} \right];$$

因为 $\frac{\partial A}{\partial \lambda_1} < 0$, $\frac{\partial B}{\partial \lambda_1} < 0$, $(1-c_n)(1-\theta) > \theta c_n - c_r - p$ ，结合命题 3.1，故

$$\frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_1} > 0, \frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_2} < 0。$$

$$\left| \frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_1} \right| - \left| \frac{\partial q_n^F}{\partial \lambda_2} \right| = \frac{(1-\theta)(1-c_n)(\lambda_2-\lambda_1-1)}{2(1-\theta)(2+2\lambda_1+3\lambda_2)^2} + \frac{(\theta c_n - c_r - p)(3+\lambda_2-\lambda_1)}{2(1-\theta)(4+6\lambda_1+5\lambda_2)^2} < 0;$$

$$\frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_1} = \frac{1}{4\theta(1-\theta)} \frac{\partial B}{\partial \lambda_1}; \quad \frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_2} = \frac{1}{4\theta(1-\theta)} \frac{\partial B}{\partial \lambda_2};$$

因为 $\frac{\partial B}{\partial \lambda_1} < 0$, $\frac{\partial B}{\partial \lambda_2} < 0$, $\left| \frac{\partial B}{\partial \lambda_1} \right| > \left| \frac{\partial B}{\partial \lambda_2} \right|$ ，所以 $\frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_1} < 0$, $\frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_2} < 0$, $\left| \frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_1} \right| > \left| \frac{\partial q_r^F}{\partial \lambda_2} \right|$

成立。

命题 3.2 得证。

命题 3.2 表明：当制造商具有双向公平关切行为时，新产品需求量随着制造商横向公平关切程度的增加而增加，随着纵向公平关切程度的增加而降低，且纵向公平关切行为对新产品需求量的影响程度高于横向公平关切行为，故制造商双向公平关切行为整体上降低了新产品的需求量；再制造品需求量随着制造商横向与

纵向公平关切程度的增加而降低，且横向公平关切行为对再制造品需求量的影响程度高于纵向公平关切行为，故制造商双向公平关切行为整体上降低了再制造品的需求量。

命题 3.3 (1) $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_1} < 0$ 、 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_1} > 0$ ， $\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_2} < 0$ ， $\left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_2} \right|$ ；

(2) $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_1} < 0$ ， $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_2} < 0$ ， $\left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_2} \right|$ ；

(3) $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \lambda_1} < 0$ 、 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \lambda_1} > 0$ ， $\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \lambda_2} < 0$ ， $\left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \lambda_2} \right|$ ；

(4) $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \lambda_1} < 0$ 、 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \lambda_1} > 0$ ， $\frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \lambda_2} < 0$ ， $\left| \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \lambda_2} \right|$ 。

证明：对各成员及系统的利润分别关于横向公平关切系数 λ_1 和纵向公平关切系数 λ_2 求偏导数。

(1) 将制造商的利润关于横向公平关切系数 λ_1 和纵向公平关切系数 λ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_1} = \frac{1}{2\theta(1-\theta)} \left[\frac{\theta(1-\theta)(c_n-1)^2 \lambda_2^2}{(2+2\lambda_1+3\lambda_2)^3} - \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2 (2\lambda_1 + \lambda_2)(2+\lambda_2)}{(4+6\lambda_1+5\lambda_2)^3} \right];$$

$$\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_2} = -\frac{1}{2\theta(1-\theta)} \left[\frac{\theta(1-\theta)(c_n-1)^2 \lambda_2(1+\lambda_1)}{(2+2\lambda_1+3\lambda_2)^3} + \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2 (2\lambda_1 + \lambda_2)(1-\lambda_1)}{(4+6\lambda_1+5\lambda_2)^3} \right];$$

显然 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_1} < 0$ 、 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_1} > 0$ ， $\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_2} < 0$ ，同命题 3.1 证明过程，则 $\left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \lambda_2} \right|$ 成立。

(2) 将再制造商的利润关于横向公平关切系数 λ_1 和纵向公平关切系数 λ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_1} = \frac{(B-c_r-p)}{4\theta(1-\theta)} \frac{\partial B}{\partial \lambda_1};$$

$$\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_2} = \frac{(B-c_r-p)}{4\theta(1-\theta)} \frac{\partial B}{\partial \lambda_2};$$

因为 $B - c_r - p > 0$ ，且 $\frac{\partial B}{\partial \lambda_1} < 0$ ， $\frac{\partial B}{\partial \lambda_2} < 0$ ， $\left| \frac{\partial B}{\partial \lambda_1} \right| > \left| \frac{\partial B}{\partial \lambda_2} \right|$ ；故 $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_1} < 0$ ， $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_2} < 0$ ， $\left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \lambda_2} \right|$ 成立。

(3) 将零售商的利润关于横向公平关切系数 λ_1 和纵向公平关切系数 λ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \lambda_1} = \frac{(1+\lambda_1+\lambda_2)}{2\theta(1-\theta)} \left[\frac{\theta(1-\theta)\lambda_2(c_n-1)^2}{(2+2\lambda_1+3\lambda_2)^3} - \frac{(c_r+p-\theta c_n)^2(2+\lambda_2)}{(4+6\lambda_1+5\lambda_2)^3} \right];$$

$$\frac{\partial \pi_r^F}{\partial \lambda_2} = \frac{1}{16\theta(1-\theta)} [8\theta(1-\theta) \frac{\partial A}{\partial \lambda_2} (A-1) + 2 \frac{\partial B}{\partial \lambda_2} (B - c_r - p)];$$

因此 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \frac{\partial \pi_r^F}{\partial \lambda_1} < 0$, $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 1} \frac{\partial \pi_r^F}{\partial \lambda_1} > 0$; 因为 $\frac{\partial A}{\partial \lambda_2} > 0$, $A-1 < 0$, $\frac{\partial B}{\partial \lambda_2} < 0$, $B - c_r - p > 0$, 故有 $\frac{\partial \pi_r^F}{\partial \lambda_2} < 0$ 。因为 $\left| \frac{\partial A}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial A}{\partial \lambda_2} \right|$, $\left| \frac{\partial B}{\partial \lambda_1} \right| > \left| \frac{\partial B}{\partial \lambda_2} \right|$, 所以 $\left| \frac{\partial \pi_r^F}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial \pi_r^F}{\partial \lambda_2} \right|$ 成立。

(4) 将系统的利润关于横向公平关切系数 λ_1 和纵向公平关切系数 λ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \pi_c^F}{\partial \lambda_1} = \frac{1}{2\theta(1-\theta)} \left[\frac{\theta(1-\theta)(c_n-1)^2 \lambda_2 (1+\lambda_1+2\lambda_2)}{(2+2\lambda_1+3\lambda_2)^3} - \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2 (2+\lambda_2)(3+5\lambda_1+4\lambda_2)}{(4+6\lambda_1+5\lambda_2)^3} \right];$$

$$\frac{\partial \pi_c^F}{\partial \lambda_2} = \frac{\partial \pi_M^F}{\partial \lambda_2} + \frac{\partial \pi_R^F}{\partial \lambda_2} + \frac{\partial \pi_r^F}{\partial \lambda_2};$$

因此有 $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \frac{\partial \pi_c^F}{\partial \lambda_1} < 0$, $\lim_{\lambda_2 \rightarrow 1} \frac{\partial \pi_c^F}{\partial \lambda_1} > 0$; 因为 $\frac{\partial \pi_M^F}{\partial \lambda_2} < 0$, $\frac{\partial \pi_R^F}{\partial \lambda_2} < 0$, $\frac{\partial \pi_r^F}{\partial \lambda_2} < 0$, 故 $\frac{\partial \pi_c^F}{\partial \lambda_2} < 0$; $\left| \frac{\partial \pi_c^F}{\partial \lambda_1} \right| < \left| \frac{\partial \pi_c^F}{\partial \lambda_2} \right|$ 成立。

命题 3.3 表明：当制造商具有双向公平关切行为时，制造商横向公平关切行为对制造商、零售商及系统利润的影响受其纵向公平关切行为的影响：当纵向公平关切程度趋向于 0 时，制造商、零售商及系统利润随着横向公平关切程度的增加而降低，反之，当纵向公平关切程度趋向于 1 时，制造商、零售商及系统利润随着横向公平关切程度的增加而增加；制造商纵向公平关切行为对制造商、零售商及系统利润的影响不受其横向公平关切行为的影响：制造商、零售商及系统的利润随着纵向公平关切程度的增加而降低，且纵向公平关切行为对制造商、零售商及系统利润的影响程度高于横向公平关切行为；再制造商利润随着制造商横向与纵向公平关切程度的增加而降低，且横向公平关切行为对再制造商利润的影响程度高于纵向公平关切行为。故制造商双向公平关切行为整体上降低了各成员及系统的利润。

3.4 闭环供应链协调

本文采用收益分享-费用分担机制来协调闭环供应链，使得协调过后的闭环供应链系统的利润与集中决策水平下的利润相同。具体方案为：制造商取消对再制造商所征收的专利费用，并分担 $(1-\phi)(c_r + p)q_r$ 的再制造成本，同时分享 $(1-\phi)(p_n q_n + p_r q_r)$ 的销售利润。因此再制造商分担 $\phi(c_r + p)q_r$ 的再制造成本，零售商分享 $\phi(p_n q_n + p_r q_r)$ 的销售利润。其中 ϕ 是制造商与零售商的收益分享比例， ϕ

是制造商与再制造商的再制造成本分担比例。根据该协调机制可以得到系统各成员的利润函数如下：

$$\Pi_M^{FC} = (w_n - c_n)q_n + (1 - \phi)(p_n q_n + p_r q_r) - (1 - \phi)(c_r + p)q_r \quad (3.6)$$

$$\Pi_R^{FC} = [w_r - \phi(c_r + p)]q_r \quad (3.7)$$

$$\Pi_r^{FC} = \phi(p_n q_n + p_r q_r) - w_n q_n - w_r q_r \quad (3.8)$$

则供应链的总利润为：

$$\Pi_c = (p_n - c_n)q_n + (p_r - c_r - p)q_r \quad (3.9)$$

$$\text{联立求解 } \frac{\partial \Pi_r^{FC}}{\partial p_n} = 0, \frac{\partial \Pi_r^{FC}}{\partial p_r} = 0 \text{ 可得: } p_n^{FC} = \frac{\phi + w_n}{2\phi}, p_r^{FC} = \frac{\phi\theta + w_r}{2\phi}。$$

为使契约下闭环供应链系统的利润与集中决策下的利润相等，则需满足：

$p_n^{FC} = p_n^I, p_r^{FC} = p_r^I$ 。由此可得： $w_n^{FC} = \phi c_n, w_r^{FC} = \phi(c_r + p)$ 。此时，制造商、再制造商以及零售商的利润为：

$$\Pi_M^{FC} = (1 - \phi)\Pi_c^I - (\phi - \phi)C_R;$$

$$\Pi_R^{FC} = (\phi - \phi)C_R;$$

$$\Pi_r^{FC} = \phi\Pi_c^I;$$

其中 $C_R = (c_r + p)\frac{\theta c_n - c_r - p}{2\theta(1-\theta)}$ 为生产再制造品的总成本。显然有 $\Pi_M^{FC} + \Pi_R^{FC} + \Pi_r^{FC} = \Pi_c^I$ 。

若要实现该契约，则需满足两个约束条件：

(1) 制造商的公平效用函数值不小于公平关切下的公平效用函数值： $U_M^{FC} \geq U_M^F$ ；

(2) 再制造商和零售商的利润不小于公平关切下的利润： $\Pi_R^{FC} \geq \Pi_R^F, \Pi_r^{FC} \geq \Pi_r^F$

故有：

$$\frac{\Pi_r^F}{\Pi_c^I} \leq \phi \leq \frac{(1+\lambda_1+\lambda_2)(\Pi_c^I - \Pi_M^F - \Pi_R^F) + \lambda_2 \Pi_r^F}{(1+\lambda_1+2\lambda_2)\Pi_c^I};$$

$$\phi \leq \frac{(1+\lambda_1+\lambda_2)(\Pi_c^I - \Pi_M^F - \Pi_R^F) + \lambda_2 \Pi_r^F}{(1+\lambda_1+2\lambda_2)\Pi_c^I} - \frac{\Pi_R^F}{C_R};$$

这表明当收益分享比例和费用分担比例满足上式时，可实现闭环供应链的协调。

3.5 数值仿真分析

下面通过数值仿真分析来验证以上结论。本文参数取值参考文献[68]，结合模型的基本假设，取新产品成本 $c_n = 0.6$ ，再制造品成本 $c_r = 0.3$ ，回收费用 $p = 0.05$ ，消费者对再制造品的接受度 $\theta = 0.7$ 。根据给出的参数值，具体分析包括两个部分：(1) 公平关切行为对产品需求量的影响；(2) 公平关切行为对利润的影响。仿真结果如图 3.2 至图 3.7 所示（图形均出自 Maple）。

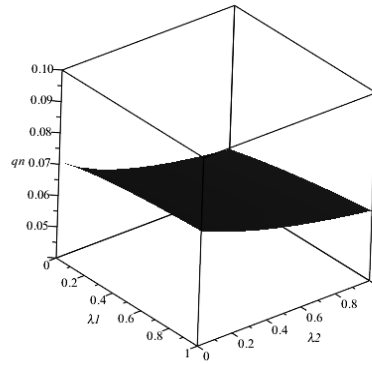


图 3.2 制造商公平关切行为对新产品需求量的影响

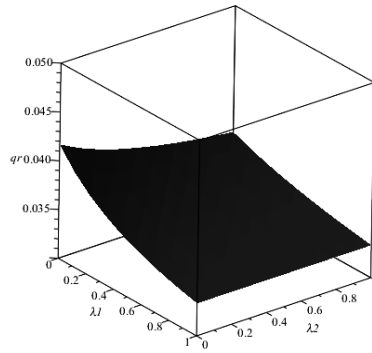


图 3.3 制造商公平关切行为对再制造品需求量的影响

由图 3.2 和图 3.3 可知：制造商双向公平关切行为下，制造商的横向与纵向公平关切行为对新产品需求量的影响效果完全相反，对再制造品需求量的影响效果完全相同，且纵向公平关切行为对新产品需求量的影响程度高于横向公平关切行为，横向公平关切行为对再制造品需求量的影响程度高于纵向公平关切行为，故制造商双向公平关切行为整体上降低了新产品与再制造品的需求量。命题 3.2 得到验证。

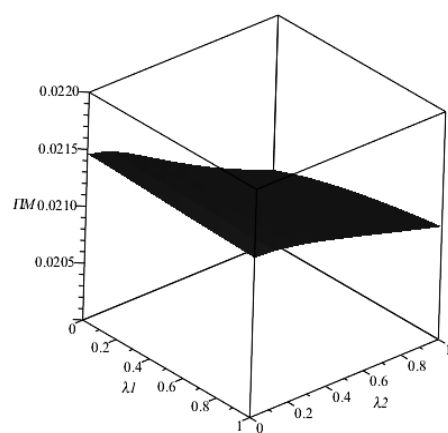


图 3.4 制造商公平关切行为对制造商利润的影响

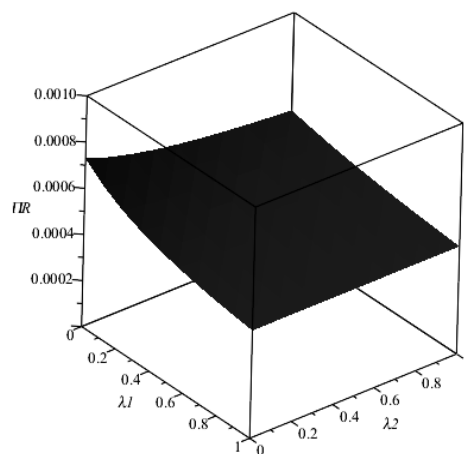


图 3.5 制造商公平关切行为对再制造商利润的影响

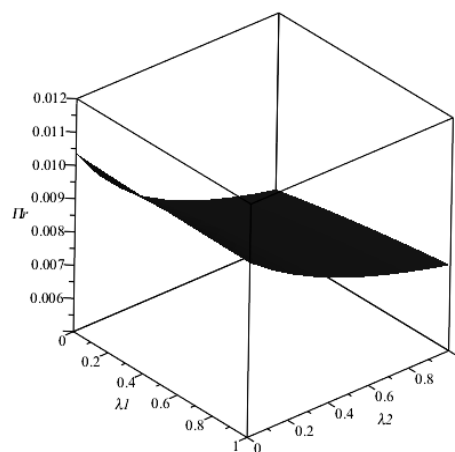


图 3.6 制造商公平关切行为对零售商利润的影响

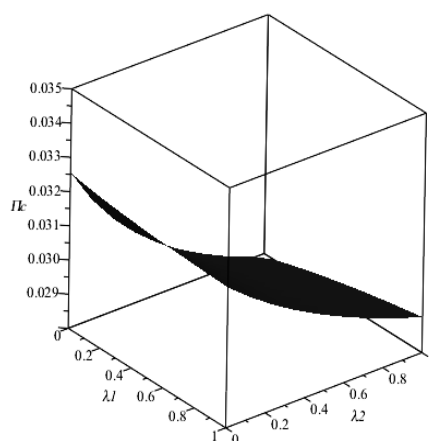


图 3.7 制造商公平关切行为对系统利润的影响

由图 3.4 至图 3.7 可知：制造商双向公平关切行为下，制造商的横向与纵向公平关切行为对制造商、零售商及系统利润的影响效果不完全相同，对再制造商利润的影响效果完全相同。且纵向公平关切行为对制造商、零售商及系统利润的影响程度高于横向公平关切行为，横向公平关切行为对再制造商利润的影响程度高于纵向公平关切行为，故制造商双向公平关切行为整体上降低了各成员及系统的利润。命题 3.3 得到验证。

3.6 结论

本文研究了在一个具有专利保护行为的闭环供应链中，当制造商具有双向公平关切行为、再制造商和零售商公平中性时，制造商的双向公平关切行为对闭环供应链生产决策与利润以及系统协调的影响。论文首先探讨了闭环供应链公平中性时，集中决策与分散决策下的产品销量与利润的均衡解；接着探讨了闭环供应链中制造商公平关切时，产品销量与利润的均衡解，并分析了公平关切行为对各均衡解的影响；随后探讨了采用收益分享-费用分担契约能否实现闭环供应链的协调；最后通过 Maple 软件对模型进行算例分析，并验证了相关结论。研究结果表明，制造商双向公平关切行为整体上降低了新产品与再制造品的需求量：其中，制造商纵向公平关切行为对新产品需求量的影响程度高于其横向公平关切行为；制造商横向公平关切行为对再制造品需求量的影响程度高于其纵向公平关切行为。制造商双向公平关切行为整体上降低了闭环供应链各成员及系统的利润：其中，制造商纵向

公平关切行为对制造商、零售商及系统利润的影响程度高于其横向公平关切行为；制造商横向公平关切行为对再制造商利润的影响程度高于其纵向公平关切行为。当收益分享比例与费用分担比例满足一定取值范围时，能实现闭环供应链的协调。

4 再制造商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响研究

4.1 问题描述与假设

构建一个由制造商、再制造商和零售商组成的闭环供应链。闭环供应链系统中存在以制造商为领导者的 *stackelberg* 博弈。制造商公平中性，负责生产新产品并通过专利授权委托再制造商回收并生产再制造品；再制造商具有双向公平关切行为（包括横向上对制造商的公平关切行为，纵向上对零售商的公平关切行为），负责回收并生产再制造品；零售商公平中性，负责销售新产品和再制造品。图 4.1 为闭环供应链决策结构模型。

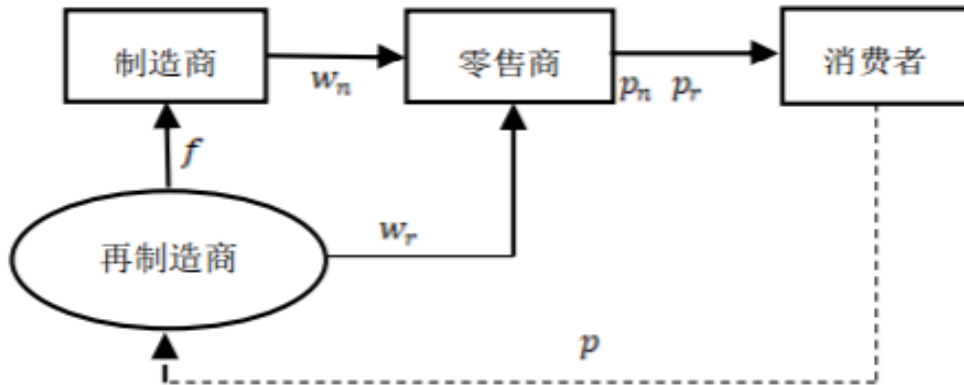


图 4.1 闭环供应链决策结构（再制造商公平关切）

根据上述的基本描述，以下对本文的符号与基本假设做一个说明。

(1) 假设回收的废旧品均能用于再制造，并假设市场对再制造品的需求总能被满足。

(2) 产品的单位成本、批发价格以及销售价格分别为： c_i 、 w_i 、 p_i ，其中 $i = (n, r)$ 分别表示新产品和再制造品。为保证闭环供应链系统中各成员有利可图，则需满足： $p_n > w_n > c_n$ ， $p_r > w_r > c_r$ 。

(3) 单位专利费用为 f ；回收旧产品的单位成本为 p 。

(4) 假设消费者对新产品和再制造品存在异质需求, 消费者对新产品的支付意愿为 $V \sim N[0,1]$, 相较于新产品, 消费者对再制造品的支付意愿为 $\theta \in [0,1]$ 。假设市场的总需求 $Q = 1$, 根据效用函数推导可得: $q_n = 1 - \frac{p_n - p_r}{1 - \theta}$, $q_r = \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)}$, 其中 q_n 表示新产品的需求量, q_r 表示再制造品的需求量。

(5) Π_j^k 表示在模型 k 中, 系统成员 j 的利润。其中 $j = (N, R, r)$ 分别代表制造商、再制造商以及零售商, $k = (I, D, F, N, FC)$ 分别代表公平中性下集中决策模型、分散决策模型, 公平关切下制造商考虑再制造商公平关切行为时的分散决策模型、制造商不考虑再制造商公平关切行为时的分散决策模型以及闭环供应链协调模型。本文中所有利润均为产品销量恰好满足产品需求量时的理论利润

(6) ψ_1 表示再制造商对制造商的横向公平关切系数, ψ_2 表示再制造商对零售商的纵向公平关切系数。

4.2 无公平关切下闭环供应链决策

4.2.1 集中决策模型

在集中决策模型下, 制造商、再制造商以及零售商构建一个决策体系, 共同确定新产品和再制造品的销售价格, 从而最大化系统总利润。产品批发价格与专利费用决定了系统各成员间的利润分配比例, 但不会影响系统的总利润。系统的总利润为:

$$\Pi_c^I = (p_n - c_n)q_n + (p_r - c_r - p)q_r \quad (4.1)$$

联立求解 $\frac{\partial \Pi_c^I}{\partial p_n} = 0$, $\frac{\partial \Pi_c^I}{\partial p_r} = 0$ 得:

$$p_n^I = \frac{1 + c_n}{2}, p_r^I = \frac{\theta + c_r + p}{2};$$

故新产品和再制造品的需求量以及系统总利润为:

$$q_n^I = \frac{1 - \theta - c_n + c_r + p}{2(1 - \theta)}, q_r^I = \frac{\theta c_n - c_r - p}{2\theta(1 - \theta)};$$

$$\Pi_c^I = \frac{(1 - c_n)^2}{4} + \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2}{4\theta(1 - \theta)};$$

4.2.2 分散决策模型

在分散决策模型下，系统中各成员的定价决策均基于自身利润最大化。假设在以制造商为领导者的 stackelberg 博弈中，博弈顺序为：首先由制造商确定新产品的批发价格 w_n 以及对再制造品征收的单位专利费用 f ，其次由再制造商确定再制造品的批发价格 w_r ，最后由零售商确定新产品和再制造品的销售价格 p_n 、 p_r 。由此可得制造商、再制造商以及零售商的利润函数。

$$\Pi_M = (w_n - c_n)q_n + f q_r \quad (4.2)$$

$$\Pi_R = (w_r - c_r - p - f)q_r \quad (4.3)$$

$$\Pi_r = (p_n - w_n)q_n + (p_r - w_r)q_r \quad (4.4)$$

根据博弈顺序，逆向求解可得：

$$\begin{aligned} p_n^D &= \frac{3+c_n}{4}, \quad p_r^D = \frac{6\theta+\theta c_n+c_r+p}{8}; \\ w_r^D &= \frac{\theta c_n+c_r+p+2\theta}{4}, \quad w_n^D = \frac{1+c_n}{2}; \\ f^D &= \frac{\theta-c_r-p}{2}. \end{aligned}$$

由此可得新产品与再制造品的需求量为：

$$q_n^D = \frac{2(1-\theta-c_n)+\theta c_n+c_r+p}{8(1-\theta)}, \quad q_r^D = \frac{\theta c_n-c_r-p}{8\theta(1-\theta)};$$

将产品定价与需求量带入利润函数可得制造商、再制造商和零售商的利润为：

$$\begin{aligned} \Pi_M^D &= \frac{2\theta-2\theta^2-4\theta c_n+4\theta^2 c_n+2\theta c_n^2-\theta^2 c_n^2-2\theta c_n(c_r+p)+(c_r+p)^2}{16\theta(1-\theta)}; \\ \Pi_R^D &= \frac{(\theta c_n-c_r-p)^2}{32\theta(1-\theta)}; \\ \Pi_r^D &= \frac{4\theta-4\theta^2-8\theta c_n+8\theta^2 c_n+4\theta c_n^2-3\theta^2 c_n^2-2\theta c_n(c_r+p)+(c_r+p)^2}{64\theta(1-\theta)}; \end{aligned}$$

4.3 再制造商双向公平关切下闭环供应链决策

本文假设在闭环供应链系统中，制造商和零售商公平中性，再制造商具有双向公平关切行为，即：既关注横向上制造商的利润，又关注纵向上零售商的利润。本文参考杜少甫^[54]与陈章跃^[67]的研究，假设再制造商的公平关切效用函数为：

$$U_R = \Pi_R - \psi_1(\Pi_M - \Pi_R) - \psi_2(\Pi_r - \Pi_R) \quad (4.5)$$

再制造商的公平关切效用函数分为三部分：第一部分为再制造商的利润函

数，第二部分为再制造商对制造商的公平关切效用，第三部分为再制造商对零售商的公平关切效用。其中， $\psi_i \in [0,1]$ ($i = 1, 2$) 表示再制造商的公平关切程度， ψ_i 越接近于 0 表明再制造商的公平关切程度越低，越接近于 1 表明再制造商的公平关切程度越高[68]。

4.3.1 制造商考虑再制造商的公平关切行为

当制造商考虑再制造商的公平关切行为时，再制造商的公平关切行为对于制造商来说是已知信息，故制造商在做决策时会考虑再制造商的公平关切行为。此时再制造商的定价决策基于公平效用函数最大化，制造商和零售商的定价决策基于利润函数最大化。故与分散决策下的博弈顺序相同，采用逆向求解法得：

$$\begin{aligned} p_n^F &= \frac{3+c_n}{4}, \quad p_r^F = \frac{3\theta+\theta c_n-2N}{4}; \\ w_n^F &= \frac{1+c_n}{2}, \quad w_r^F = \theta \frac{1+c_n}{2} - N; \\ f^F &= \theta \frac{1+c_n}{2} - M. \end{aligned}$$

$$\text{其中: } M = \frac{\theta c_n(1+3\psi_1+\psi_2)+(c_r+p)(1+\psi_1+\psi_2)}{2+4\psi_1+2\psi_2}; \quad N = \frac{(\theta c_n-c_r-p)(1+\psi_1+\psi_2)}{2(2+2\psi_1+3\psi_2)}$$

$$\text{由此可得产品的需求量为: } q_n^F = \frac{(1-c_n)(1-\theta)-2N}{4(1-\theta)}; \quad q_r^F = \frac{N}{2\theta(1-\theta)}.$$

将产品定价与需求量分别带入各成员及系统的利润函数，可得各成员以及系统的利润为：

$$\begin{aligned} \Pi_M^F &= \frac{\theta-\theta^2-4MN+\theta c_n(4N+c_n-\theta c_n+2\theta-2)}{8\theta(1-\theta)}; \\ \Pi_R^F &= [M-N-(c_r+p)] \frac{N}{2\theta(1-\theta)}; \\ \Pi_r^F &= \frac{\theta-\theta^2+4N^2+\theta c_n(c_n-\theta c_n+2\theta-2)}{16\theta(1-\theta)}; \\ \Pi_c^F &= \frac{3\theta-3\theta^2-4N^2-8N(c_r+p)+\theta c_n(3c_n-3\theta c_n+6\theta-6+8N)}{16\theta(1-\theta)}; \end{aligned}$$

命题 4.1 当制造商考虑再制造商的公平关切行为时： $\frac{\partial f^F}{\partial \psi_1} < 0, \frac{\partial f^F}{\partial \psi_2} > 0, \left| \frac{\partial f^F}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial f^F}{\partial \psi_2} \right|$ 。

证明：将单位专利费用 f 分别关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数得：

$$\frac{\partial f^F}{\partial \psi_1} = -\frac{\partial M}{\partial \psi_1} = \frac{(c_r + p - \theta c_n)(2 + 2\psi_2)}{(2 + 4\psi_1 + 2\psi_2)^2};$$

$$\frac{\partial f^F}{\partial \psi_2} = -\frac{\partial M}{\partial \psi_2} = \frac{2\psi_1(\theta c_n - c_r - p)}{(2 + 4\psi_1 + 2\psi_2)^2};$$

由假设 4 可知, 只有当 $\theta p_n > p_r$ 时, 消费者才会考虑购买再制造产品。因此, 为保证销售再制造品有利可图, 则有 $\theta p_n^F > p_r^F$, 故有 $\theta c_n - c_r - p > 0$, 显然 $\frac{\partial f^F}{\partial \psi_1} < 0$, $\frac{\partial f^F}{\partial \psi_2} > 0$, $\left| \frac{\partial f^F}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial f^F}{\partial \psi_2} \right|$ 。得证。

命题 4.1 表明: 当制造商考虑再制造商的公平关切行为时, 专利费用随着再制造商横向公平关切程度的增加而降低, 随着纵向公平关切程度的增加而增加, 且再制造商的横向公平关切行为对专利费用的影响程度高于纵向公平关切行为。故专利费用整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而降低。

命题 4.2 当制造商考虑再制造商的公平关切行为时:

$$(1) \frac{\partial q_n^F}{\partial \psi_1} < 0, \frac{\partial q_n^F}{\partial \psi_2} > 0, \left| \frac{\partial q_n^F}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial q_n^F}{\partial \psi_2} \right|;$$

$$(2) \frac{\partial q_r^F}{\partial \psi_1} > 0, \frac{\partial q_r^F}{\partial \psi_2} < 0, \left| \frac{\partial q_r^F}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial q_r^F}{\partial \psi_2} \right|。$$

证明: 将产品需求量分别关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数得:

$$\frac{\partial q_n^F}{\partial \psi_1} = -\frac{1}{2(1-\theta)} \frac{\partial N}{\partial \psi_1}, \quad \frac{\partial q_n^F}{\partial \psi_2} = -\frac{1}{2(1-\theta)} \frac{\partial N}{\partial \psi_2};$$

$$\frac{\partial q_r^F}{\partial \psi_1} = \frac{1}{2\theta(1-\theta)} \frac{\partial N}{\partial \psi_1}, \quad \frac{\partial q_r^F}{\partial \psi_2} = \frac{1}{2\theta(1-\theta)} \frac{\partial N}{\partial \psi_2};$$

因为: $\frac{\partial N}{\partial \psi_1} = -\frac{2\psi_2(c_r + p - \theta c_n)}{(4 + 4\psi_1 + 6\psi_2)^2}$; $\frac{\partial N}{\partial \psi_2} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(2 + 2\psi_1)}{(4 + 4\psi_1 + 6\psi_2)^2}$ 。显然 $\frac{\partial N}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial N}{\partial \psi_2} < 0$, $\left| \frac{\partial N}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial N}{\partial \psi_2} \right|$ 。故命题 4.2 成立。

命题 4.2 表明: 当制造商考虑再制造商的公平关切行为时, 新产品需求量随着再制造商横向公平关切程度的增加而降低, 随着纵向公平关切程度的增加而增加, 且再制造商的纵向公平关切行为对新产品需求量的影响程度高于横向公平关切行为, 故新产品需求量整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而增加; 再制造品需求量随着再制造商横向公平关切程度的增加而增加, 随着纵向公平关切行为的增加而降低, 且再制造商的纵向公平关切行为对再制造品需求量的影响程度高于横向公平关切行为, 故再制造品需求量整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而降低。

命题 4.3 当制造商考虑再制造商公平关切行为时：

- (1) $\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_1} < 0$, $\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_2} < 0$, $\left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_2} \right|$;
- (2) $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_2} < 0$, $\left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_2} \right|$;
- (3) $\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_2} < 0$, $\left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_2} \right|$;
- (4) $\frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_2} < 0$, $\left| \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_2} \right|$ 。

证明：将各成员以及系统的利润分别关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数。

(1) 将制造商的利润关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_1} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)^2(1 + \psi_1 + \psi_2)(4 + 4\psi_1 + 8\psi_2 + 4\psi_2^2)}{\theta(1 - \theta)(2 + 4\psi_1 + 2\psi_2)^2(4 + 4\psi_1 + 6\psi_2)^2};$$

$$\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_2} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)^2(1 + \psi_1 + \psi_2)(2 + 2\psi_1 + 2\psi_2 - 4\psi_1\psi_2)}{\theta(1 - \theta)(2 + 4\psi_1 + 2\psi_2)^2(4 + 4\psi_1 + 6\psi_2)^2};$$

显然 $\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_1} < 0$, $\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_2} < 0$, $\left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \psi_2} \right|$ 。

(2) 将再制造商的利润关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_1} = N \frac{\partial M}{\partial \psi_1} + \frac{(\theta c_n - c_r - p)(2\psi_1 + \psi_2 + 5\psi_1\psi_2 + 2\psi_1^2 + \psi_2^2)}{(2 + 4\psi_1 + 2\psi_2)(2 + 2\psi_1 + 23)} \frac{\partial N}{\partial \psi_1};$$

$$\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_2} = N \frac{\partial M}{\partial \psi_2} + \frac{(\theta c_n - c_r - p)(2\psi_1 + \psi_2 + 5\psi_1\psi_2 + 2\psi_1^2 + \psi_2^2)}{(2 + 4\psi_1 + 2\psi_2)(2 + 2\psi_1 + 23)} \frac{\partial N}{\partial \psi_2};$$

因为 $\frac{\partial M}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial M}{\partial \psi_2} < 0$; $\frac{\partial N}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial N}{\partial \psi_2} < 0$; $\left| \frac{\partial N}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial N}{\partial \psi_2} \right|$; $\left| \frac{\partial M}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial M}{\partial \psi_2} \right|$ 。显然 $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_2} < 0$, $\left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \psi_2} \right|$ 。

(3) 商的利润关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_1} = \frac{N}{2\theta(1 - \theta)} \frac{\partial N}{\partial \psi_1};$$

$$\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_2} = \frac{N}{2\theta(1 - \theta)} \frac{\partial N}{\partial \psi_2};$$

因为 $\frac{\partial N}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial N}{\partial \psi_2} < 0$; $\left| \frac{\partial N}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial N}{\partial \psi_2} \right|$ 。故 $\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_1} > 0$, $\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_2} < 0$, $\left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \psi_2} \right|$ 。

(4) 将系统的利润关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_1} = \frac{(\theta c_n - c_r - p)(3 + 3\psi_1 + 5\psi_2)}{2\theta(1 - \theta)(4 + 4\psi_1 + 6\psi_2)} \frac{\partial N}{\partial \psi_1};$$

$$\frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_2} = \frac{(\theta c_n - c_r - p)(3 + 3\psi_1 + 5\psi_2)}{2\theta(1 - \theta)(4 + 4\psi_1 + 6\psi_2)} \frac{\partial N}{\partial \psi_2};$$

$$\text{因为 } \frac{\partial N}{\partial \psi_1} > 0, \frac{\partial N}{\partial \psi_2} < 0; \left| \frac{\partial N}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial N}{\partial \psi_2} \right|. \text{ 故 } \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_1} > 0, \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_2} < 0, \left| \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \psi_2} \right|。$$

命题 4.3 表明：当制造商考虑再制造商的公平关切行为时，制造商的利润随着再制造商的横向公平关切程度的增加而降低，随着纵向公平关切程度的增加而降低，且再制造商的横向公平关切行为对制造商利润的影响程度高于纵向公平关切行为，故制造商的利润整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而降低；再制造商的利润随着再制造商的横向公平关切程度的增加而增加，随着纵向公平关切程度的增加而降低，且再制造商的横向公平关切行为对再制造商利润的影响程度高于纵向公平关切行为，故再制造商的利润整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而增加；零售商的利润随着再制造商的横向公平关切程度的增加而增加，随着纵向公平关切程度的增加而降低，且再制造商纵向公平关切行为对零售商利润的影响程度高于横向公平关切行为，故零售商的利润整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而降低；系统的利润随着再制造商的横向公平关切程度的增加而增加，随着纵向公平关切程度的增加而降低，且再制造商的纵向公平关切行为对系统利润的影响程度高于横向公平关切行为，故系统的利润整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而降低。

4.3.2 制造商不考虑再制造商的公平关切行为

由于供应链中存在信息不流通的情况，如再制造商将其公平关切行为作为私有信息不告知供应链中的其它成员，或制造商主观选择不重视再制造商的公平关切行为等，都会导致制造商不考虑再制造商的公平关切行为^[68]。所以有必要对此种情况下闭环供应链的决策做一个具体的分析。

当制造商不考虑再制造商的公平关切行为时，制造商做定价决策时默认系统中不具有公平关切行为，其定价决策与公平中性分散决策下的定价决策相同，即：

$w_n^N = w_n^D = \frac{1+c_n}{2}$, $f^N = f^D = \frac{\theta-c_r}{2}$ 。但此时, 再制造商的决策还是基于其公平效用最大化, 故将 $w_n^N = \frac{1+c_n}{2}$, $f^N = \frac{\theta-c_r-p}{2}$ 代入其公平效用函数中求解可得:

$$w_r^N = \frac{\theta(2+2\psi_1+3\psi_2)+\theta c_n(1+2\psi_1+2\psi_2)+(c_r+p)(1+\psi_2)}{4+4\psi_1+6\psi_2};$$

令 $w_r^N = K$, 可得: $p_n^N = \frac{3+c_n}{4}$, $p_r^N = \frac{\theta+K}{2}$ 。

故产品的需求量为: $q_n^N = \frac{1-2\theta-c_n+2K}{4(1-\theta)}$; $q_r^N = \frac{\theta+\theta c_n-2K}{4\theta(1-\theta)}$ 。

将产品定价与需求量带入利润函数可得各成员及系统的利润为:

$$\Pi_M^N = \frac{\theta-\theta^2+(c_r+p)(2K-\theta)+\theta c_n(c_n+3\theta-2K-c_r-p-2)}{8\theta(1-\theta)};$$

$$\Pi_R^N = \frac{(2K-\theta-c_r-p)(\theta c_n+\theta-2K)}{8\theta(1-\theta)};$$

$$\Pi_r^N = \frac{\theta+4K^2-4\theta K+\theta c_n(c_n+4\theta-4K-2)}{8\theta(1-\theta)};$$

$$\Pi_c^N = \frac{3\theta+4\theta K+4(c_r+p)(2K-\theta)-4\theta^2-4K^2+\theta c_n[3c_n+8\theta-4(K+c_r+p)-6]}{16\theta(1-\theta)};$$

命题 4.4 当制造商不考虑再制造商的公平关切行为时:

(1) $\frac{\partial q_n^N}{\partial \psi_1} > 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial q_n^N}{\partial \psi_2} \geq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial q_n^N}{\partial \psi_2} < 0$; $\left| \frac{\partial q_n^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial q_n^N}{\partial \psi_2} \right|$;

(2) $\frac{\partial q_r^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial q_r^N}{\partial \psi_2} \leq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial q_r^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial q_r^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial q_r^N}{\partial \psi_2} \right|$ 。

证明: 将产品需求量分别关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数得:

$$\frac{\partial q_n^N}{\partial \psi_1} = \frac{1}{2(1-\theta)} \frac{\partial K}{\partial \psi_1}, \quad \frac{\partial q_n^N}{\partial \psi_2} = \frac{1}{2(1-\theta)} \frac{\partial K}{\partial \psi_2};$$

$$\frac{\partial q_r^N}{\partial \psi_1} = -\frac{1}{2\theta(1-\theta)} \frac{\partial K}{\partial \psi_1}, \quad \frac{\partial q_r^N}{\partial \psi_2} = -\frac{1}{2\theta(1-\theta)} \frac{\partial K}{\partial \psi_2};$$

$$\text{因为: } \frac{\partial K}{\partial \psi_1} = \frac{4(1+\psi_2)(\theta c_n-c_r-p)}{(4+4\psi_1+6\psi_2)^2}; \quad \frac{\partial K}{\partial \psi_2} = \frac{2(1-2\psi_1)(\theta c_n-c_r-p)}{(4+4\psi_1+6\psi_2)^2}。$$

显然 $\frac{\partial K}{\partial \psi_1} > 0$, 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial K}{\partial \psi_2} \geq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial K}{\partial \psi_2} < 0$; $\left| \frac{\partial K}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial K}{\partial \psi_2} \right|$ 。

故命题 4.4 成立。

命题 4.4 表明: 当制造商不考虑再制造商的公平关切行为时: 新产品需求量随着再制造商的横向公平关切程度的增加而增加; 再制造商纵向公平关切行为对新产品需求量的影响受其横向公平关切行为的影响: 当横向公平关切程度小于临界

值 $\frac{1}{2}$ 时, 新产品需求量随着纵向公平关切程度的增加而增加, 当横向公平关切程度大于临界值 $\frac{1}{2}$ 时, 新产品需求量随着纵向公平关切程度的增加而降低。且横向公平关切行为对新产品需求量的影响程度高于纵向公平关切行为, 故新产品需求量整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而增加。再制造品需求量随着再制造商横向公平关切程度的增加而降低; 再制造商纵向公平关切行为对再制造品需求量的影响受其横向公平关切行为的影响: 当横向公平关切程度小于临界值 $\frac{1}{2}$ 时, 再制造品需求量随着纵向公平关切程度的增加而降低, 当横向公平关切程度大于临界值 $\frac{1}{2}$ 时, 再制造品需求量随着纵向公平关切程度的增加而增加。且横向公平关切行为对再制造品需求量的影响程度高于纵向公平关切行为, 故再制造品需求量整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而降低。

命题 4.5 当制造商不考虑再制造商的公平关切行为时:

- (1) $\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_2} \leq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_2} \right|$;
- (2) $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_2} \leq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_2} \right|$;
- (3) $\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_2} \leq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial K}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial K}{\partial \psi_2} \right|$;
- (4) $\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_2} \leq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_2} \right|$ 。

证明: 将各成员及系统的利润分别关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数。

(1) 将制造商的利润关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数可得。

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_1} &= -\frac{(\theta c_n - c_r - p)}{4\theta(1-\theta)} \frac{\partial K}{\partial \psi_1}; \\ \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_2} &= -\frac{(\theta c_n - c_r - p)}{4\theta(1-\theta)} \frac{\partial K}{\partial \psi_2};\end{aligned}$$

因为 $\frac{\partial K}{\partial \psi_1} > 0$, 故 $\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial K}{\partial \psi_2} \geq 0$, 故有 $\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_2} \leq 0$, 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial K}{\partial \psi_2} < 0$, $\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial K}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial K}{\partial \psi_2} \right|$, 故 $\left| \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \psi_2} \right|$ 。

(2) 将再制造商的利润关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_1} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(2\psi_1 + \psi_2)}{2\theta(1-\theta)(4+4\psi_1+6\psi_2)} \frac{\partial K}{\partial \psi_1};$$

$$\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_2} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(2\psi_1 + \psi_2)}{2\theta(1-\theta)(4+4\psi_1+6\psi_2)} \frac{\partial K}{\partial \psi_2};$$

因为偏导函数是关于 K 的函数, 故同制造商分析可得: $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_2} \leq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \psi_2} \right|$ 。

(3) 将零售商的利润关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_1} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(1+\psi_2)}{2\theta(1-\theta)(4+4\psi_1+6\psi_2)} \frac{\partial K}{\partial \psi_1};$$

$$\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_2} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(1+\psi_2)}{2\theta(1-\theta)(4+4\psi_1+6\psi_2)} \frac{\partial K}{\partial \psi_2};$$

因为偏导函数是关于 K 的函数, 故同制造商分析可得: $\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_2} \leq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \psi_2} \right|$;

(4) 将系统的利润关于横向公平关切系数 ψ_1 和纵向公平关切系数 ψ_2 求偏导数可得。

$$\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_1} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(3+4\psi_1+5\psi_2)}{2\theta(1-\theta)(4+4\psi_1+6\psi_2)} \frac{\partial K}{\partial \psi_1};$$

$$\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_2} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(3+4\psi_1+5\psi_2)}{2\theta(1-\theta)(4+4\psi_1+6\psi_2)} \frac{\partial K}{\partial \psi_2};$$

因为偏导函数是关于 K 的函数, 故同制造商分析可得: $\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_1} < 0$; 当 $\psi_1 \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_2} \leq 0$; 当 $\psi_1 > \frac{1}{2}$ 时, $\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \psi_2} \right|$ 。

命题 4.5 表明: 当制造商不考虑再制造商的公平关切行为时, 各成员及系统的利润均随着横向公平关切程度的增加而降低; 再制造商纵向公平关切行为对各成员及系统利润的影响受其横向公平关切行为的影响: 当横向公平关切程度小于临界值 $\frac{1}{2}$ 时, 各成员及系统的利润随着纵向公平关切程度的增加而降低, 当横向公平关切程度大于临界值 $\frac{1}{2}$ 时, 各成员及系统的利润随着纵向公平关切程度的增加而增加。且横向公平关切行为对各成员及系统利润的影响程度高于纵向公平关切行为, 故制造商、再制造商、零售商及系统利润整体上随着再制造商双向公平关切行为的增加而降低。

4.3.3 比较分析

命题 4.6 比较公平中性、制造商考虑与不考虑再制造商公平关切行为三种情形下各成员及系统的利润有：

$$(1) \Pi_M^D > \Pi_M^F > \Pi_M^N;$$

$$(2) \Pi_R^F > \Pi_R^D > \Pi_R^N;$$

$$(3) \Pi_r^D > \Pi_r^F > \Pi_r^N;$$

$$(4) \Pi_c^D > \Pi_c^F > \Pi_c^N.$$

证明：以制造商为例。

$$\Pi_M^D - \Pi_M^F = \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2 (2\psi_1^2 + \psi_2^2 + 4\psi_1\psi_2 + 2\psi_1 + \psi_2)}{16\theta(1-\theta)(2+2\psi_1+3\psi_2)(1+2\psi_1+\psi_2)} > 0;$$

$$\Pi_M^F - \Pi_M^N = \frac{\psi_1^2 (\theta c_n - c_r - p)^2}{8\theta(1-\theta)(2+2\psi_1+3\psi_2)(1+2\psi_1+\psi_2)} > 0;$$

故有 $\Pi_M^D > \Pi_M^F > \Pi_M^N$ 。其它证明同上。

命题 4.6 表明：当制造商考虑再制造商公平关切行为时，各成员及系统的利润均大于不考虑再制造商公平关切行为时的利润。同公平中性下的利润相比，再制造商公平关切行为会降低除自身以外的其它成员及系统的利润。

4.4 闭环供应链协调

本文采用收益分享-费用分担机制来协调闭环供应链，使得协调过后的闭环供应链系统的利润与集中决策水平下的利润相同。具体方案为：制造商取消对再制造商所征收的专利费用，并分担 $(1-\phi)(c_r + p)q_r$ 的再制造成本，同时分享 $(1-\phi)(p_n q_n + p_r q_r)$ 的销售利润。因此再制造商分担 $\phi(c_r + p)q_r$ 的再制造成本，零售商分享 $\phi(p_n q_n + p_r q_r)$ 的销售利润。其中 ϕ 是制造商与零售商的收益分享比例， ϕ 是制造商与再制造商的再制造成本分担比例。根据该协调机制可以得到系统各成员的利润函数如下：

$$\Pi_M^{FC} = (w_n - c_n)q_n + (1-\phi)(p_n q_n + p_r q_r) - (1-\phi)(c_r + p)q_r \quad (4.6)$$

$$\Pi_R^{FC} = [w_r - \phi(c_r + p)]q_r \quad (4.7)$$

$$\Pi_r^{FC} = \phi(p_n q_n + p_r q_r) - w_n q_n - w_r q_r \quad (4.8)$$

则供应链的总利润为：

$$\Pi_c^{FC} = (p_n - c_n)q_n + (p_r - c_r - p)q_r \quad (4.9)$$

联立求解 $\frac{\partial \Pi_r^{FC}}{\partial p_n} = 0$, $\frac{\partial \Pi_r^{FC}}{\partial p_r} = 0$ 可得:

$$p_n^{FC} = \frac{\phi + w_n}{2\phi}, \quad p_r^{FC} = \frac{\phi\theta + w_r}{2\phi};$$

为使契约下闭环供应链系统的利润与集中决策下的利润相等, 则需满足:

$p_n^{FC} = p_n^I$, $p_r^{FC} = p_r^I$ 。由此可得: $w_n^{FC} = \phi c_n$, $w_r^{FC} = \phi(c_r + p)$ 。此时, 制造商、再制造商以及零售商的利润为:

$$\Pi_M^{FC} = (1 - \phi)\Pi_c^I - (\phi - \varphi)C_R$$

$$\Pi_R^{FC} = (\phi - \varphi)C_R$$

$$\Pi_r^{FC} = \phi\Pi_c^I$$

其中 $C_R = (c_r + p)\frac{\theta c_n - c_r - p}{2\theta(1-\theta)}$ 为生产再制造品的总成本。显然有 $\Pi_M^{FC} + \Pi_R^{FC} + \Pi_r^{FC} = \Pi_c^I$ 。

由于当制造商不考虑再制造商公平关切行为时, 供应链系统中信息流通性差, 很难实现供应链协调。故此处只分析制造商考虑再制造商公平关切行为的情形。故若要实现该契约, 则需满足两个约束条件:

(1) 制造商的公平效用值不小于公平关切分散决策下的公平效用值: $U_R^{FC} \geq U_R^F$ 。

(2) 制造商和零售商的利润不小于公平关切分散决策下的利润: $\Pi_M^{FC} \geq \Pi_M^F, \Pi_r^{FC} \geq \Pi_r^F$ 。

由此可得:

$$\frac{\Pi_r^F}{\Pi_c^I} \leq \phi \leq \frac{(1+\psi_1+\psi_2)(\Pi_c^I - \Pi_M^F - \Pi_R^F) + \psi_2\Pi_r^F}{(1+\psi_1+2\psi_2)\Pi_c^I};$$

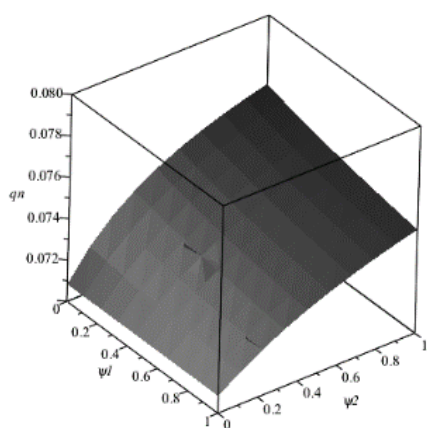
$$\frac{\Pi_r^F}{\Pi_c^I} - \frac{\Pi_c^I - \Pi_r^F - \Pi_M^F}{C_R} \leq \varphi \leq \frac{(1+\psi_1+\psi_2)(\Pi_c^I - \Pi_M^F - \Pi_R^F) + \psi_2\Pi_r^F}{(1+\psi_1+2\psi_2)\Pi_c^I} - \frac{\Pi_M^F}{C_R};$$

这表明当收益分享比例和费用分担比例满足上式时, 可实现闭环供应链的协调。

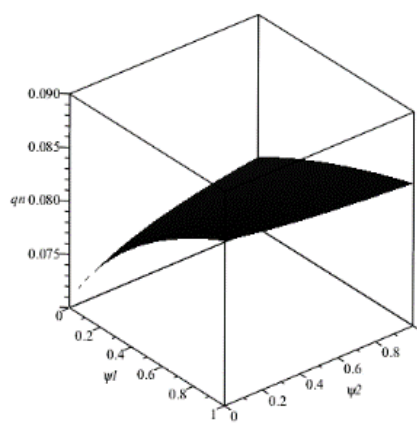
4.5 数值仿真分析

下面通过数值仿真分析来验证以上结论。本文参数取值参考文献[67], 并根据模型的基本假设, 取新产品成本 $c_n = 0.6$, 再制造品成本 $c_r = 0.3$, 废旧品回收费用

$p = 0.05$ ，相对于新产品消费者对再制造品的接受度 $\theta = 0.7$ 。根据给出的参数值，具体分析包括两个部分：(1) 公平关切行为对产品需求量的影响；(2) 公平关切行为对利润的影响，结果如图 4.2 图 4.7 所示（出自 Maple）。

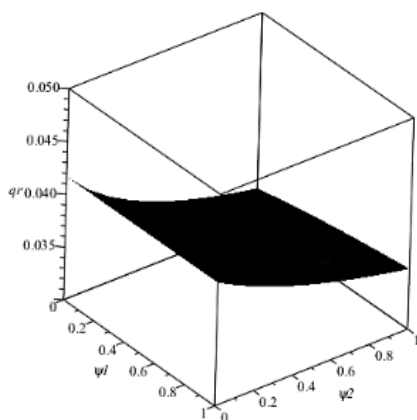


(a)考虑再制造商公平关切行为

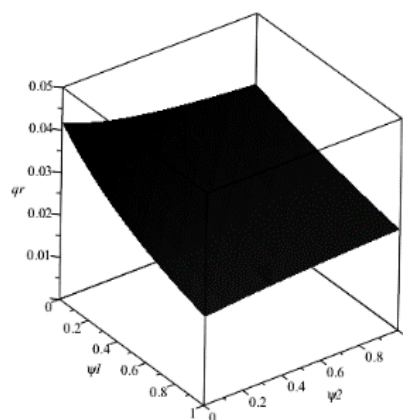


(b)不考虑再制造商公平关切行为

图 4.2 再制造商公平关切行为对新产品需求量的影响



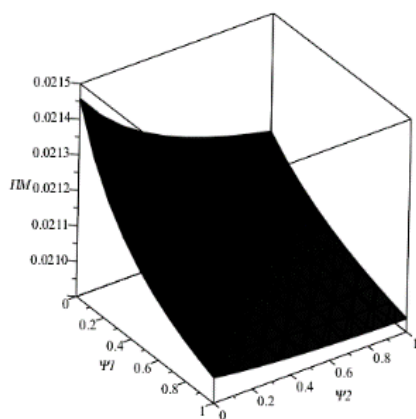
(a)考虑再制造商公平关切行为



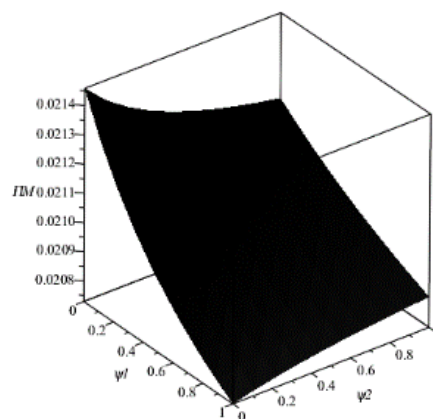
(b)不考虑再制造商公平关切行为

图 4.3 再制造商公平关切行为对再制造品需求量的影响

由图 4.2 至图 4.3 可知，当制造商考虑再制造商的公平关切行为时，纵向公平关切行为对新产品与再制造品需求量的影响程度高于横向公平关切行为；当制造商不考虑再制造商的公平关切行为时，横向公平关切行为对新产品与再制造品需求量的影响程度高于纵向公平关切行为。制造商考虑再制造商公平关切行为时，再制造商双向公平关切行为对新产品与再制造品需求量的影响程度低于其不考虑再制造商公平关切行为的情形。命题 4.2 与命题 4.4 得证。

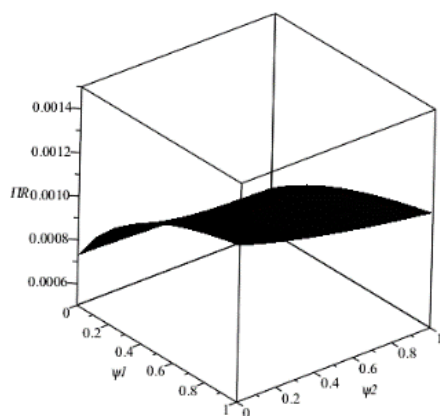


(a)考虑再制造商公平关切行为

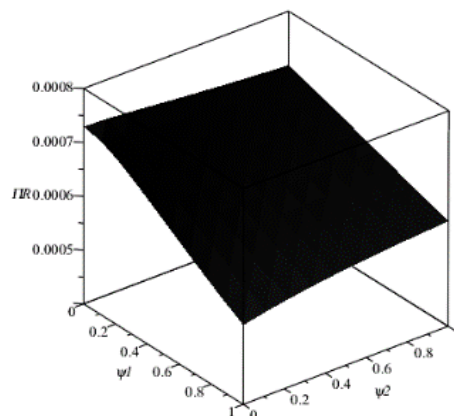


(b)不考虑再制造商公平关切行为

图 4.4 再制造商公平关切行为对制造商利润的影响

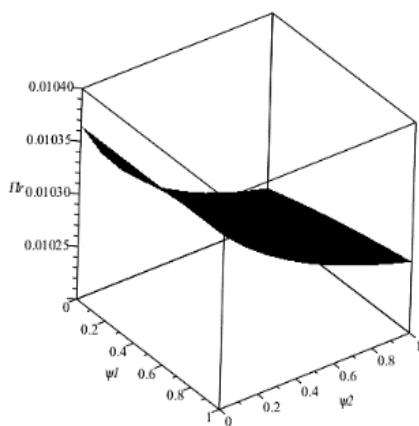


(a)考虑再制造商公平关切行为

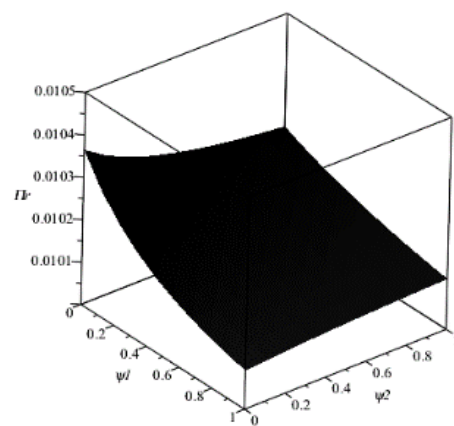


(b)不考虑再制造商公平关切行为

图 4.5 再制造商公平关切行为对再制造商利润的影响

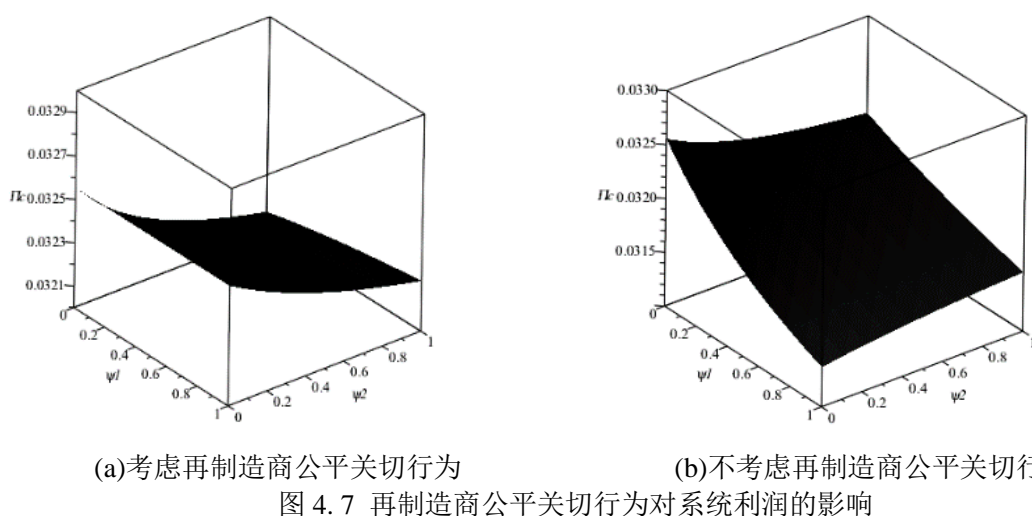


(a)考虑再制造商公平关切行为



(b)不考虑再制造商公平关切行为

图 4.6 再制造商公平关切行为对零售商利润的影响



由图 4.4 至图 4.7 可知：当制造商考虑再制造商的公平关切行为时，横向公平关切行为对制造商与再制造商利润的影响程度高于纵向公平关切行为，纵向公平关切行为对零售商及系统利润的影响程度高于横向公平关切行为；当制造商不考虑再制造商的公平关切行为时，横向公平关切行为对产品需求量及利润的影响程度高于纵向公平关切行为。制造商考虑再制造商公平关切行为时，再制造商双向公平关切行为对各成员及系统利润的影响程度低于其不考虑再制造商公平关切行为的情形。命题 4.3 和命题 4.5 得证

4.6 结论

本文研究了在一个具有专利保护行为的闭环供应链中，当再制造商具有双向公平关切行为、制造商和零售商公平中性时，再制造商的双向公平关切行为对闭环供应链生产决策与利润以及系统协调的影响。论文首先探讨了闭环供应链公平中性时，集中决策与分散决策下的产品销量与利润的均衡解；然后探讨了闭环供应链中制造商考虑再制造商公平关切时，产品销量与利润的均衡解，并分析了公平关切行为对各均衡解的影响；接着探讨了闭环供应链中制造商不考虑再制造商公平关切时，产品销量与利润的均衡解，并分析了公平关切行为对各均衡解的影响；随后探讨了采用收益分享-费用分担契约能否实现闭环供应链的协调；最后通过 Maple 软件对模型进行算例分析，并验证了相关结论。研究结果表明,制造商考虑再制造商双向公平关切行为时，再制造商双向公平关切行为整体上增加了新产品的需求

量，降低了再制造品的需求量。其中，再制造商纵向公平关切行为对产品需求量的影响高于其横向公平关切行为；制造商不考虑再制造商双向公平关切行为时，再制造商双向公平关切行为整体上增加了新产品的需求量，降低了再制造品的需求量。其中，再制造商横向公平关切行为对产品需求量的影响高于其纵向公平关切行为。与不考虑再制造商双向公平关切行为相比，制造商考虑再制造商公平关切行为将减少新产品的需求量，增加再制造品的需求量。制造商考虑再制造商公平关切行为时，再制造商双向公平关切行为整体上增加了自身的利润，降低了其它成员及系统的利润。其中，再制造商横向公平关切行为对制造商及再制造商利润的影响高于其纵向公平关切行为，纵向公平关切行为对零售商及系统利润的影响高于其横向公平关切行为；制造商不考虑再制造商公平关切行为时，再制造商双向公平关切行为整体上降低了各成员及系统的利润。其中，再制造商横向公平关切行为对各成员及系统利润的影响高于其纵向公平关切行为。与不考虑再制造商公平关切行为相比，制造商考虑再制造商的公平关切行为将增加各成员及系统的利润。

5 零售商双向公平关切对闭环供应链决策与协调的影响

5.1 问题描述与假设

研究在一个由制造商、再制造商和零售商组成的闭环供应链中，制造商专利授权给再制造商时，零售商的双向公平关切行为对闭环供应链的影响。闭环供应链系统中存在以制造商为领导者的 *stackelberg* 博弈。制造商、再制造商公平中性，其中制造商负责生产新产品，再制造商负责回收并生产再制造品。零售商具有双向公平关切行为，负责销售新产品和再制造品。图 5.1 为闭环供应链决策结构模型。

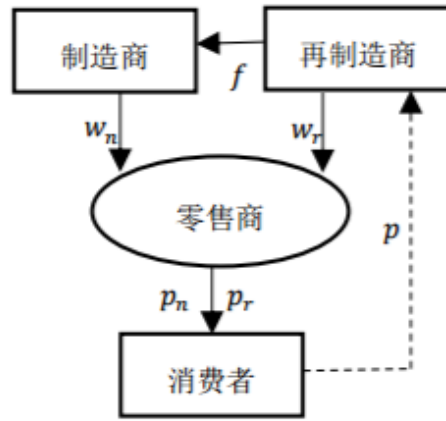


图 5.1 闭环供应链决策结构（零售商公平关切）

根据上述的基本描述，以下对本文的符号与基本假设做一个说明。

(1) 回收的废旧品均能用于再制造，且生产的再制造品恰能满足市场对再制造品的需求。

(2) 产品的单位成本、批发价格以及销售价格分别为： c_i 、 w_i 、 p_i ，其中 $i = (n, r)$ 分别表示新产品和再制造品。为保证闭环供应链系统中各成员有利可图，则需满足： $p_n > w_n > c_n$ ， $p_r > w_r > c_r$ 。

(3) 单位专利费用为 f ；回收旧产品的单位成本为 p 。

(4) 假设消费者对新产品和再制造品存在异质需求：消费者对新产品的支付意愿为 $V \sim N[0,1]$ ，相较于新产品，消费者对再制造品的支付意愿为 $\theta \in [0,1]$ 。假设市

场的总需求 $Q = 1$ ，为使消费者有购买再制造品的意愿，本文只分析 $\theta p_n > p_r$ 的情形，根据效用函数推导可得： $q_n = 1 - \frac{p_n - p_r}{1 - \theta}$ ， $q_r = \frac{\theta p_n - p_r}{\theta(1 - \theta)}$ ，其中 q_n 表示对新产品的需求量， q_r 表示对再制造品的需求量。

(5) Π_j^k 表示在模型 k 中，系统成员 j 的利润。其中 $j = (N, R, r)$ 分别代表制造商、再制造商以及零售商， $k = (I, D, F, N, FC)$ 分别代表公平中性下集中决策模型、分散决策模型，公平关切下制造商与再制造商考虑零售商公平关切行为的分散决策模型、制造商与再制造商不考虑零售商公平关切行为的分散决策模型以及闭环供应链协调模型。本文中所有的利润均为产品销量恰好满足产品需求量时的理论利润。

(6) ζ_1 表示零售商对制造商的公平关切系数， ζ_2 表示零售商对再制造商的公平关切系数。

(7) 为使研究有意义，本文假设 $(1 - c_n)(1 - \theta) > \theta c_n - c_r - p$ 。

5.2 无公平关切行为下闭环供应链决策

5.2.1 集中决策模型

在集中决策模型下，制造商、再制造商以及零售商共同构建一个决策体系，以此来确定新产品和再制造品的销售价格，从而最大化系统总利润。产品批发价格与专利费用决定了系统各成员间的利润分配比例，但不会影响系统的总利润。系统的总利润为：

$$\Pi_c^I = (p_n - c_n)q_n + (p_r - c_r - p)q_r \quad (5.1)$$

联立求解 $\frac{\partial \Pi_c^I}{\partial p_n} = 0$ ， $\frac{\partial \Pi_c^I}{\partial p_r} = 0$ 得：

$$p_n^I = \frac{1 + c_n}{2}, \quad p_r^I = \frac{\theta + c_r + p}{2};$$

根据假设 4 可得新产品与再制造品的需求量为：

$$q_n^I = \frac{1 - \theta - c_n + c_r + p}{2(1 - \theta)}, \quad q_r^I = \frac{\theta c_n - c_r - p}{2\theta(1 - \theta)};$$

系统总利润为：

$$\Pi_c^I = \frac{(1 - c_n)^2}{4} + \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2}{4\theta(1 - \theta)};$$

5.2.2 分散决策模型

在分散决策模型下，系统中各成员的定价决策均基于自身利润最大化。假设在以制造商为领导者的 stackeberg 博弈中，博弈顺序为：首先由制造商确定新产品的批发价格 w_n 以及对再制造品征收的单位专利费用 f ，其次由再制造商确定再制造品的批发价格 w_r ，最后由零售商确定新产品和再制造品的销售价格 p_n 、 p_r 。由此可得制造商、再制造商以及零售商的利润函数。

$$\Pi_M = (w_n - c_n)q_n + f q_r \quad (5.2)$$

$$\Pi_R = (w_r - c_r - p - f)q_r \quad (5.3)$$

$$\Pi_r = (p_n - w_n)q_n + (p_r - w_r)q_r \quad (5.4)$$

根据博弈顺序，逆向求解可得：

$$p_n^D = \frac{3+c_n}{4}, \quad p_r^D = \frac{6\theta+\theta c_n+c_r+p}{8};$$

$$w_r^D = \frac{\theta c_n+c_r+p+2\theta}{4}, \quad w_n^D = \frac{1+c_n}{2};$$

$$f^D = \frac{\theta-c_r-p}{2};$$

由此可得新产品与再制造品的需求量为：

$$q_n^D = \frac{2(1-\theta-c_n)+\theta c_n+c_r+p}{8(1-\theta)}, \quad q_r^D = \frac{\theta c_n-c_r-p}{8\theta(1-\theta)};$$

制造商、再制造商和零售商的利润为：

$$\Pi_M^D = \frac{2\theta-2\theta^2-4\theta c_n+4\theta^2 c_n+2\theta c_n^2-\theta^2 c_n^2-2\theta c_n(c_r+p)+(c_r+p)^2}{16\theta(1-\theta)};$$

$$\Pi_R^D = \frac{(\theta c_n-c_r-p)^2}{32\theta(1-\theta)};$$

$$\Pi_r^D = \frac{4\theta-4\theta^2-8\theta c_n+8\theta^2 c_n+4\theta c_n^2-3\theta^2 c_n^2-2\theta c_n(c_r+p)+(c_r+p)^2}{64\theta(1-\theta)};$$

5.3 零售商双向公平关切下闭环供应链决策

本文假设在闭环供应链系统中，制造商和再制造公平中性，零售商具有双向公平关切行为，即其既对制造商具有公共关切行为（以下简称“纵一”），又对再制造商具有公平关切行为（以下简称“纵二”）。本文参考杜少甫^[54]与陈章跃^[67]的研究，假设零售商的公平关切效用函数为：

$$U_r = \Pi_r - \zeta_1(\Pi_M - \Pi_r) - \zeta_2(\Pi_R - \Pi_r) \quad (5.5)$$

零售商的公平关切效用函数分为三部分：第一部分为零售商的利润函数，第二部分为零售商对制造商的公平关切效用，第三部分为零售商对再制造商的公平关切效用。其中， $\zeta_i \in [0,1]$ ($i = 1, 2$) 表示零售商的公平关切程度， ζ_i 越接近于 0 表明零售商的公平关切程度越低，越接近于 1 表明公平关切程度越高^[68]。

5.3.1 制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为

当制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时，零售商的公平关切行为作为已知信息将直接影响制造商和再制造商的定价决策。此时零售商的定价决策基于公平效用函数最大化，制造商和再制造商的定价决策基于利润函数最大化。故与分散决策下的博弈顺序相同，采用逆向求解法得：

$$p_n^F = \frac{3+c_n}{4}; \quad p_r^F = \frac{\theta c_n + cr + p}{8} + \frac{3\theta}{4};$$

$$w_n^F = \frac{1+\zeta_1+\zeta_2+c_n(1+3\zeta_1+\zeta_2)}{2+4\zeta_1+2\zeta_2} = E;$$

$$f^F = \frac{(\theta - c_r - p)(1+\zeta_1+\zeta_2)}{2+4\zeta_1+2\zeta_2} = F;$$

$$w_r^F = \frac{\theta(1+2\zeta_1+\zeta_2)}{2+2\zeta_1+4\zeta_2} E + \frac{1+3\zeta_2}{2+2\zeta_1+4\zeta_2} F + G;$$

其中 $G = \frac{(c_r + p)(1+\zeta_1+3\zeta_2) - \theta c_n \zeta_1}{2+2\zeta_1+4\zeta_2}$ ，由此可得产品需求量为：

$$q_n^F = \frac{\theta c_n - 2c_n + c_r + p - 2\theta + 2}{8(1-\theta)};$$

$$q_r^F = \frac{\theta c_n - cr - p}{8\theta(1-\theta)};$$

进一步将产品定价与需求量带入利润函数可得各成员及系统的利润，此处略。

命题 5.1 当制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时：

$$(1) \quad p_n^F = p_n^D, \quad p_r^F = p_r^D;$$

$$(2) \quad q_n^F = q_n^D, \quad q_r^F = q_r^D;$$

证明：略。

命题 5.1 表明：当制造商和再制造考虑零售商的公平关切行为时，产品定价与需求量不受零售商公平关切行为的影响。故零售商的公平关切行为只会影响各成员间的利润分配，不会影响系统的总利润。

命题 5.2 当制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时： $\frac{\partial f^F}{\partial \zeta_1} < 0$, $\frac{\partial f^F}{\partial \zeta_2} >$

$$0; \left| \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_2} \right|。$$

证明：将专利费用分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数得：

$$\frac{\partial f^F}{\partial \zeta_1} = \frac{-2(1+\zeta_2)(\theta-c_r-p)}{(2+4\zeta_1+2\zeta_2)^2}; \quad \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_2} = \frac{2\zeta_1(\theta-c_r-p)}{(2+4\zeta_1+2\zeta_2)^2}$$

由 $f^F > 0$ 可知， $\theta - c_r - p > 0$ 。故命题 5.2 成立。

命题 5.2 表明：当制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时，专利费用随着零售商纵一公平关切程度的增加而降低，随着纵二公平关切程度的增加而增加，且纵一公平关切行为对专利费用的影响程度高于纵二公平关切行为。故零售商的双向公平关切行为整体上降低了专利费用。

命题 5.3 当制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时：

- (1) $\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_1} < 0, \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_2} > 0; \left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_2} \right|;$
- (2) $\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_1} > 0, \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_2} < 0; \left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_2} \right|;$
- (3) $\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_1} > 0, \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_2} < 0; \left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_2} \right|;$
- (4) $\frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \zeta_1} = 0, \frac{\partial \Pi_c^F}{\partial \zeta_2} = 0$

证明：将各成员的利润函数分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数。

(1) 将制造商的利润函数分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_1} &= \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_1} q_n^F + \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_1} q_r^F; \\ \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_2} &= \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_2} q_n^F + \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_2} q_r^F; \end{aligned}$$

因为 $\frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_1} < 0, \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_2} > 0$, 且 $\left| \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_2} \right|; \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_1} < 0, \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_2} > 0$, 且 $\left| \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial f^F}{\partial \zeta_2} \right|。$

故 $\frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_1} < 0, \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_2} > 0; \left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_M^F}{\partial \zeta_2} \right|。$

(2) 将再制造商的利润函数分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数。

$$\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_1} = \frac{\zeta_2(\theta c_n - c_r - p)}{(2+2\zeta_1+4\zeta_2)^2} q_r^F;$$

$$\frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_2} = -\frac{(1+\zeta_1)(\theta c_n - c_r - p)}{(2+2\zeta_1+4\zeta_2)^2} q_r^F;$$

$$\text{显然有: } \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_1} > 0, \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_2} < 0; \left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_1} \right| < \left| \frac{\partial \Pi_R^F}{\partial \zeta_2} \right|。$$

(3) 将零售商的利润函数分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数。

$$\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_1} = -\frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_1} q_n^F - \frac{\partial w_r^F}{\partial \zeta_1} q_r^F;$$

$$\frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_2} = -\frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_2} q_n^F - \frac{\partial w_r^F}{\partial \zeta_2} q_r^F;$$

$$\text{因为 } \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_1} < 0, \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_2} > 0, \text{ 且 } \left| \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial w_n^F}{\partial \zeta_2} \right|; \frac{\partial w_r^F}{\partial \zeta_1} < 0, \frac{\partial w_r^F}{\partial \zeta_2} > 0, \text{ 且 } \left| \frac{\partial w_r^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial w_r^F}{\partial \zeta_2} \right|。 \text{ 故 } \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_1} > 0, \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_2} < 0; \left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_r^F}{\partial \zeta_2} \right|。$$

命题 5.3 得证。

命题 5.3 表明：当制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时：制造商的利润随着零售商纵一公平关切程度的增加而降低，随着纵二公平关切程度的增加而增加，且纵一公平关切行为对制造商利润的影响程度高于纵二公平关切行为，故零售商双向公平关切行为整体上降低了制造商的利润；再制造商的利润随着零售商纵一公平关切程度的增加而增加，随着纵二公平关切程度的增加而降低，且纵二公平关切行为对再制造商利润的影响程度高于纵一公平关切行为，故零售商双向公平关切行为整体上降低了再制造商的利润；零售商的利润随着零售商纵一公平关切程度的增加而增加，随着纵二公平关切行为的增加而降低，且纵一公平关切行为对零售商利润的影响程度高于纵二公平关切行为，故零售商双向公平关切行为整体上增加了零售商的利润。

5.3.2 制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为

由于供应链中存在信息不流通的情况，如零售商将其公平关切行为作为私有信息不告知供应链中的其它成员，或制造商和再制造商主观选择不重视零售商的公平关切行为等，都会导致制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为^[68]。所以有必要对此种情况下闭环供应链的决策做一个具体的分析。

当制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时，制造商和再制造商做

定价决策时默认系统中不具有公平关切行为，其定价决策与公平中性分散决策下的定价决策相同，即： $w_n^N = w_n^D = \frac{1+c_n}{2}$ ， $w_r^N = w_r^D = \frac{\theta c_n + c_r + p + 2\theta}{4}$ ， $f^N = f^D = \frac{\theta - c_r - p}{2}$ 。但此时，零售商的决策还是基于其公平效用函数最大化，故将 $w_n^N = \frac{1+c_n}{2}$ ， $w_r^F = \frac{\theta c_n + c_r + p + 2\theta}{4}$ ， $f^N = \frac{\theta - c_r - p}{2}$ 代入其公平效用函数中求解可得：

$$p_n^N = \frac{c_n(1+\zeta_2)+3+4\zeta_1+3\zeta_2}{4(1+\zeta_1+\zeta_2)};$$

$$p_r^N = \frac{\theta c_n(1+\zeta_1+2\zeta_2)+(c_r+p)(1-\zeta_1)+\theta(6+8\zeta_1+6\zeta_2)}{8(1+\zeta_1+\zeta_2)};$$

故产品需求量为：

$$q_n^N = \frac{\theta c_n(1+\zeta_1+2\zeta_2)+(c_r+p)(1-\zeta_1)-2(1+\zeta_2)(c_n+\theta-1)}{8(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)};$$

$$q_r^N = \frac{(\theta c_n - c_r - p)(1-\zeta_1)}{8\theta(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)};$$

将产品定价与产品需求量带入利润函数即可得各成员及系统的利润，此处略。

命题 5.4 当制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时：

- (1) $\frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_2} > 0$; $\left| \frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_2} \right|$;
- (2) $\frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_2} < 0$; $\left| \frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_2} \right|$;

证明：将产品需求量分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 、纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数得：

$$\frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_1} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)\zeta_2 + (1 + c_r + p - \theta - c_n)(2 + 2\zeta_2)}{8(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)^2};$$

$$\frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_2} = \frac{[(\theta c_n - c_r - p) + 2(1 + c_r + p - \theta - c_n)]\zeta_1 + \theta c_n - c_r - p}{8(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)^2};$$

因为： $(1 - c_n)(1 - \theta) > \theta c_n - c_r - p$ ，显然有： $\frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_2} > 0$; $\left| \frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_2} \right|$ 。

$$\frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_1} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(2 + \zeta_2)}{8\theta(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)^2};$$

$$\frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_2} = -\frac{(\theta c_n - c_r - p)(1 - \zeta_1)}{8\theta(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)^2};$$

显然有： $\frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_2} < 0$; $\left| \frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_2} \right|$ 。

命题 5.4 得证。

命题 5.4 表明：当制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时：新产品

需求量随着零售商纵一公平关切程度的增加而降低, 随着纵二公平关切程度的增加而增加, 且纵一公平关切行为对新产品需求量的影响程度高于纵二公平关切行为, 故零售商双向公平关切行为整体上降低了新产品的需求量; 再制造品需求量随着零售商纵一公平关切程度的增加而降低, 随着纵二公平关切程度的增加而降低, 且纵一公平关切行为对再制造品需求量的影响程度高于纵二公平关切行为, 故零售商双向公平关切行为整体上降低了再制造品的需求量。

命题 5.5 当制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时:

- (1) $\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_2} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_2} \right|$;
- (2) $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_2} < 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_2} \right|$;
- (3) $\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_2} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_2} \right|$;
- (4) $\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_2} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_2} \right|$;

证明: 将各成员及系统的利润分别关于零售商纵一公平关切系数 ξ_1 与纵二公平关切系数 ξ_2 求偏导数。

(1) 将制造商的利润函数分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_1} &= (w_n - c_n) \frac{\partial q_n^N}{\partial \zeta_1} + f \frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_1}; \\ \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_2} &= \frac{\theta(1-c_n)M - (\theta - c_r - p)N}{16\theta(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)^2}; \end{aligned}$$

其中: $M = (\theta c_n - c_r - p)(1 + \zeta_1) + 2\zeta_1(1 + c_r + p - \theta - c_n)$, $N = (\theta c_n - c_r - p)(1 - \zeta_1)$ 。结合命题 5.4, 显然有 $\frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_2} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_2} \right|$ 。

(2) 将再制造商的利润函数分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \xi_1} &= (w_r - c_r - p - f) \frac{\partial q_r^N}{\partial \xi_1}; \\ \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \xi_2} &= (w_r - c_r - p - f) \frac{\partial q_r^N}{\partial \xi_2}; \end{aligned}$$

由命题 5.4 可知, $\frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_2} < 0$; $\left| \frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial q_r^N}{\partial \zeta_2} \right|$ 。故 $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_2} < 0$;
 $\left| \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_2} \right|$ 。

(3) 将零售商的利润函数分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数。

$$\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_1} = -\frac{4\zeta_1(1+\zeta_2)\theta(1-\theta)(1-c_n)^2 + (\theta c_n - c_r - p)^2(2\zeta_1\zeta_2 + \zeta_2^2 + 4\zeta_1 + 2\zeta_2)}{32\theta(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)^3};$$

$$\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_2} = \frac{4\zeta_1^2\theta(1-\theta)(1-c_n)^2 + (\theta c_n - c_r - p)^2(2\zeta_1^2 + \zeta_1\zeta_2 - 2\zeta_1 - \zeta_2)}{32\theta(1-\theta)(1+\zeta_1+\zeta_2)^3};$$

显然, $\frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_2} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_2} \right|$ 。

(4) 将系统的利润函数分别关于零售商的纵一公平关切系数 ζ_1 和纵二公平关切系数 ζ_2 求偏导数。

$$\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_1} = \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_1} + \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_1} + \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_1};$$

$$\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_2} = \frac{\partial \Pi_M^N}{\partial \zeta_2} + \frac{\partial \Pi_R^N}{\partial \zeta_2} + \frac{\partial \Pi_r^N}{\partial \zeta_2};$$

显然, $\frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_1} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 0} \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_2} < 0$, $\lim_{\zeta_1 \rightarrow 1} \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_2} > 0$; $\left| \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_1} \right| > \left| \frac{\partial \Pi_c^N}{\partial \zeta_2} \right|$ 。

命题 5.5 表明: 当制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时, 零售商的纵一、纵二公平关切行为均会降低再制造商的利润。制造商、零售商及系统的利润均随着零售商纵一公平关切程度的增加而降低; 零售商纵二公平关切行为对制造商、零售商及系统利润的影响受其纵一公平关切行为的影响: 当零售商纵一公平关切程度趋向于 0 时, 制造商、零售商及系统的利润随着零售商纵二公平关切程度的增加而降低; 反之, 当零售商纵一公平关切程度趋向于 1 时, 制造商、零售商及系统的利润随着零售商纵二公平关切程度的增加而增加, 且纵一公平关切行为对各成员及系统利润的影响程度高于纵二公平关切行为。故零售商双向公平关切行为整体上降低了各成员及系统的利润。

5.3.3 比较分析

命题 5.6 比较公平中性、制造商和再制造考虑、不考虑零售商公平关切行为三种情形下各成员及系统的利润有:

(1) $\Pi_M^D > \Pi_M^F > \Pi_M^N$;

$$(2) \Pi_R^D > \Pi_R^F > \Pi_R^N;$$

$$(3) \Pi_r^F > \Pi_r^D > \Pi_r^N;$$

$$(4) \Pi_c^D = \Pi_c^F > \Pi_c^N;$$

证明：以制造商为例。

$$\Pi_M^D - \Pi_M^F = \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2 + 2\theta(1-\theta)(1-c_n)^2}{16\theta(1-\theta)(1+2\zeta_1+\zeta_2)};$$

$$\Pi_M^F - \Pi_M^N = \frac{(\theta c_n - c_r - p)^2(3\zeta_1^2 + 3\zeta_1\zeta_2 + \zeta_2^2 + \zeta_1 + \zeta_2) + 2\zeta_1^2\theta(1-\theta)(1-c_n)^2}{16\theta(1-\theta)(1+2\zeta_1+\zeta_2)(1+\zeta_1+\zeta_2)};$$

$$\text{显然有：} \Pi_M^D - \Pi_M^F > 0, \Pi_M^F - \Pi_M^N > 0$$

其它各成员及系统的证明同上。

命题 5.6 表明：当制造商和再制造商考虑零售商公平关切行为时，各成员及系统的利润均大于不考虑零售商公平关切行为时的利润。同公平中性下的利润相比，零售商公平关切行为降低了制造商和再制造商的利润，增加了自身的利润，但系统的总利润不变。

5.4 闭环供应链协调机制

本文采用收益分享-费用分担机制来协调闭环供应链，使得协调过后的闭环供应链系统的利润与集中决策水平下的利润相同。具体方案为：制造商取消对再制造商所征收的专利费用，并分担 $(1-\phi)(c_r + p)q_r$ 的再制造成本，同时分享 $(1-\phi)(p_n q_n + p_r q_r)$ 的销售利润。因此再制造商分担 $\phi(c_r + p)q_r$ 的再制造成本，零售商分享 $\phi(p_n q_n + p_r q_r)$ 的销售利润。其中 ϕ 是制造商与零售商的收益分享比例， ϕ 是制造商与再制造商的再制造成本分担比例。根据该协调机制可以得到系统各成员的利润函数如下：

$$\Pi_M^{FC} = (w_n - c_n)q_n + (1-\phi)(p_n q_n + p_r q_r) - (1-\phi)(c_r + p)q_r \quad (5.6)$$

$$\Pi_R^{FC} = [w_r - \phi(c_r + p)]q_r \quad (5.7)$$

$$\Pi_r^{FC} = \phi(p_n q_n + p_r q_r) - w_n q_n - w_r q_r \quad (5.8)$$

则供应链的总利润为：

$$\Pi_c^{FC} = (p_n - c_n)q_n + (p_r - c_r - p)q_r \quad (5.9)$$

联立求解 $\frac{\partial \Pi_r^{FC}}{\partial p_n} = 0$, $\frac{\partial \Pi_r^{FC}}{\partial p_r} = 0$ 可得：

$$p_n^{FC} = \frac{\phi + w_n}{2\phi}, \quad p_r^{FC} = \frac{\phi\theta + w_r}{2\phi};$$

为使契约下闭环供应链系统的利润与集中决策下的利润相等，则需满足：

$p_n^{FC} = p_n^I$, $p_r^{FC} = p_r^I$ 。由此可得： $w_n^{FC} = \phi c_n$, $w_r^{FC} = \phi(c_r + p)$ 。此时，制造商、再制造商以及零售商的利润为：

$$\Pi_M^{FC} = (1 - \phi)\Pi_c^I - (\phi - \varphi)C_R$$

$$\Pi_R^{FC} = (\phi - \varphi)C_R$$

$$\Pi_r^{FC} = \phi\Pi_c^I$$

其中 $C_R = (c_r + p)\frac{\theta c_n - c_r - p}{2\theta(1-\theta)}$ 为生产再制造品的总成本。

显然有 $\Pi_M^{FC} + \Pi_R^{FC} + \Pi_r^{FC} = \Pi_c^I$ 。

由于当制造商和再制造商不考虑零售商公平关切行为时，供应链系统中信息流通性差，很难实现供应链协调。故此处只分析制造商和再制造商考虑零售商公平关切行为的情形。故若要实现该契约，则需满足两个约束条件：

(1) 零售商的公平效用值不小于公平关切分散决策下的公平效用值：

$$U_r^{FC} \geq U_r^F$$

(2) 制造商和再制造商的利润不小于公平关切分散决策下的利润：

$$\Pi_M^{FC} \geq \Pi_M^F, \Pi_R^{FC} \geq \Pi_R^F$$

由此可得：

$$\frac{\xi_1(\Pi_c^I - \Pi_M^F - \Pi_R^F) + (1 + \xi_1 + \xi_2)\Pi_r^F}{(1 + 2\xi_1 + \xi_2)\Pi_c^I} \leq \phi \leq \frac{\Pi_c^I - \Pi_M^F - \Pi_R^F}{\Pi_c^I};$$

$$\varphi \leq \frac{\Pi_c^I - \Pi_M^F - \Pi_R^F}{\Pi_c^I} - \frac{\Pi_R^F}{C_R};$$

这表明当收益分享比例和费用分担比例满足上式时，可实现闭环供应链的协调。

5.5 数值仿真分析

下面通过数值仿真分析来验证以上结论。本文参数取值参考文献[67]，并根据模型的基本假设，取新产品成本 $c_n = 0.6$ ，再制造品成本 $c_r = 0.3$ ，废旧品回收费用 $p = 0.05$ ，相较于新产品消费者对再制造品的接受度 $\theta = 0.7$ 。根据给出的参数值，具体分析包括两个部分：（1）公平关切行为对产品需求量的影响；（2）公平关切行为对利润的影响，如图 5.2-5.7 所示（仿真结果来自 Maple）。

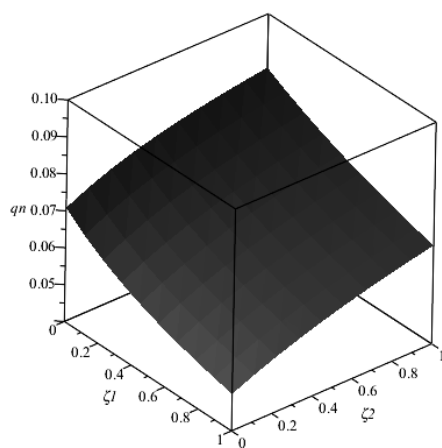


图 5.2 零售商公平关切行为对新产品需求量的影响（不考虑公平关切行为）

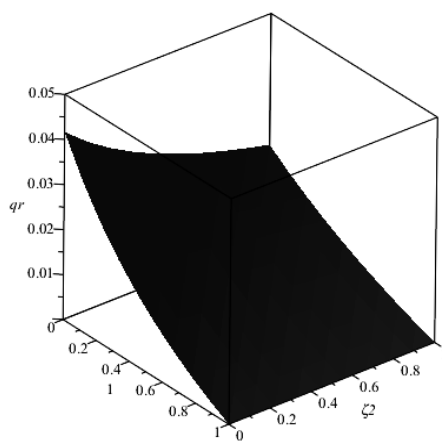
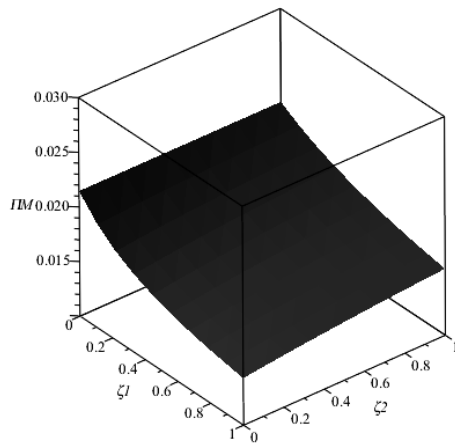
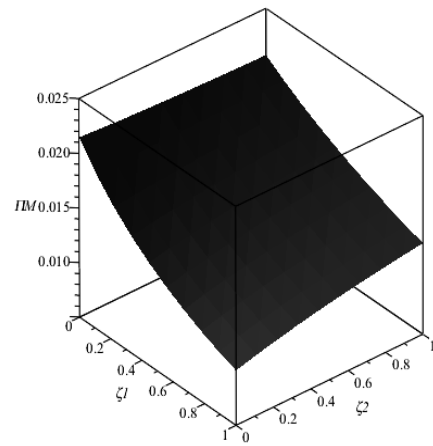


图 5.3 零售商公平关切行为对再制造品销量的影响（不考虑公平关切行为）

由图 5.2 与图 5.3 可知：当制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时，零售商的纵一公平关切行为对产品需求量的影响程度高于其纵二公平关切行为，零售商双向公平关切行为整体上降低了产品的需求量。零售商的双向公平关切行为对新产品需求量的影响程度远低于其对再制造品需求量的影响。命题 5.4 得到验证。

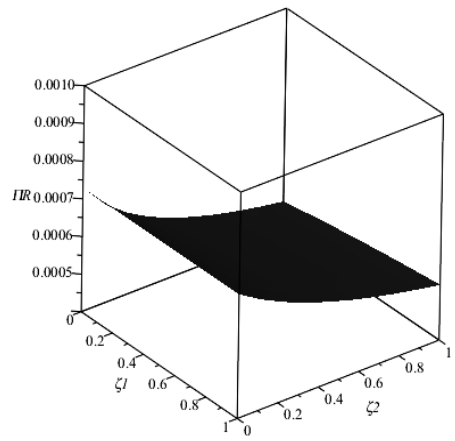


(a)考虑零售商公平关切行为

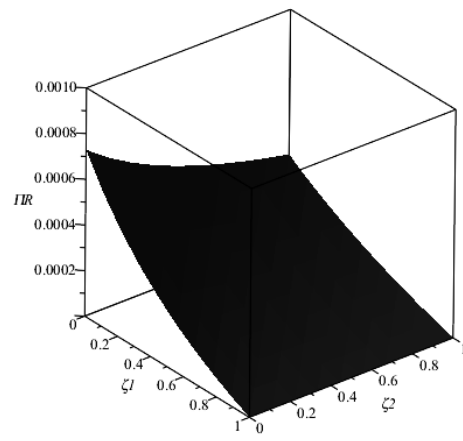


(b)考虑零售商公平关切行为

图 5.4 零售商公平关切行为对制造商利润的影响

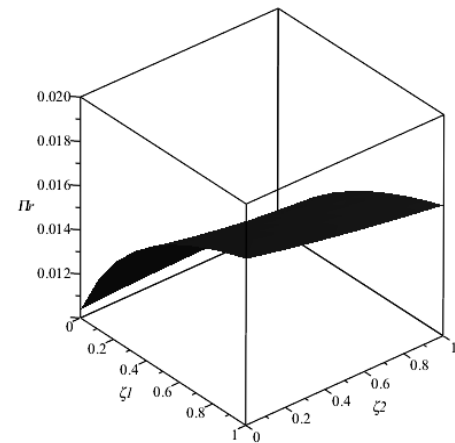


(a)考虑零售商公平关切行为

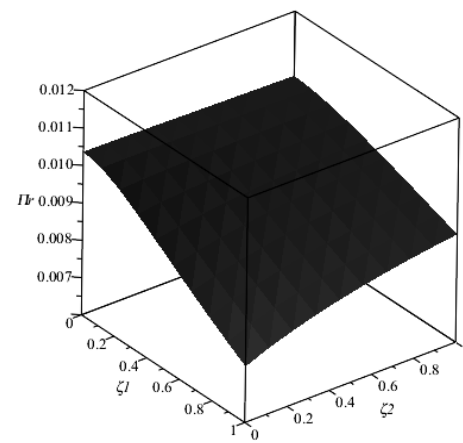


(b)考虑零售商公平关切行为

图 5.5 零售商公平关切行为对再制造商利润的影响



(a)考虑零售商公平关切行为



(b)考虑零售商公平关切行为

图 5.6 零售商公平关切行为对零售利润的影响

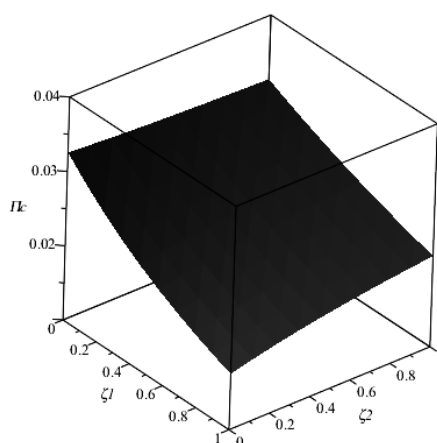


图 5.7 公平关切行为对系统利润的影响（不考虑公平关切行为）

由图 5.4 至 5.7 可知，当制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时，零售商的纵一公平关切行为对制造商和零售商利润的影响程度高于纵二公平关切行为，纵二公平关切行为对再制造商利润的影响程度高于纵一公平关切行为，零售商双向公平关切行为整体上降低了制造商和再制造商的利润，增加了自身的利润。当制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时，零售商的纵一公平关切行为对各成员及系统利润的影响程度高于其纵二公平关切行为，零售商双向公平关切行为整体上降低了各成员及系统的利润。命题 5.3 和命题 5.5 得证。

5.6 结论

本文研究了在一个具有专利保护行为的闭环供应链中，当零售商具有双向公平关切行为、制造商和再制造商公平中性时，零售商的双向公平关切行为对闭环供应链生产决策与利润以及系统协调的影响。论文首先探讨了闭环供应链公平中性时，集中决策与分散决策下的产品销量与利润的均衡解；然后探讨了闭环供应链中制造商和再制造商考虑零售商公平关切时，产品销量与利润的均衡解，并分析了公平关切行为对各均衡解的影响；接着探讨了闭环供应链中制造商和再制造商不考虑零售商公平关切时，产品销量与利润的均衡解，并分析了公平关切行为对各均衡解的影响；随后探讨了采用收益分享-费用分担契约能否实现闭环供应链的协调；最后通过 Maple 软件对模型进行算例分析，并验证了相关结论。研究结果表明，制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时，新产品与再制造品的需求量不受零售商公平关切行为的影响；制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时，

零售商纵一公平关切行为对新产品与再制造品需求量的影响程度高于其纵二公平关切行为，零售商双向公平关切行为整体上降低了新产品与再制造品的需求量。制造商和再制造商考虑零售商的公平关切行为时，零售商纵一公平关切行为对制造商、零售商利润的影响程度高于纵二公平关切行为，零售商纵二公平关切行为对再制造商利润的影响程度高于纵一公平关切行为，零售商双向公平关切行为整体上降低了制造商、再制造商的利润，增加了自身的利润，系统利润保持不受零售商双向公平关切行为的影响。制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时，零售商纵一公平关切行为对各成员及系统利润的影响程度高于其纵二公平关切行为，零售商双向公平关切行为整体上降低了各成员及系统的利润。

6 结论及展望

6.1 研究的主要结论

现有关于专利保护对闭环供应链的影响研究以及公平关切对闭环供应链的影响研究都从各自的角度出发并取得了丰富的研究成果，但鲜有学者将二者同时考虑到闭环供应链决策模型当中。因此，本文构建一个由制造商、再制造商以及零售商组成的闭环供应链，将专利保护作为闭环供应链决策模型的基础变量，重点探讨双向公平关切行为对闭环供应链的决策与协调的影响，得到以下结论。

(1) 在闭环供应链系统中，任何一个决策主体具有公平关切行为均会对再制造品的需求量与系统利润产生不利的影响，从而影响系统的社会效益与经济效益。

(2) 制造商双向公平关切行为下，其双向公平关切行为整体上降低了产品的需求量及系统的利润。其中，制造商对零售商的公平关切行为对新产品需求量的影响程度高于其对再制造商的公平关切行为；制造商对再制造商公平关切行为对再制造品需求量的影响程度高于其对零售商的公平关切行为；制造商对零售商的公平关切行为对系统利润的影响程度高于其对再制造商的公平关切行为。

(3) 再制造商双向公平关切行为下，当制造商考虑再制造商双向公平关切行为时，其双向公平关切行为整体上增加了新产品的需求量、降低了再制造品的需求量及系统的利润。其中，再制造商对零售商的公平关切行为对产品需求量与系统利润的影响程度高于其对制造商的公平关切行为。当制造商不考虑再制造商双向公平关切行为时，其双向公平关切行为整体上增加了新产品的需求量、降低了再制造品的需求量与系统的利润。其中，再制造商对制造商的公平关切行为对产品需求量与系统利润的影响程度高于其对零售商的公平关切行为。

(4) 零售商双向公平关切行为下，当制造商和再制造商考虑零售商双向公平关切行为时，其双向公平关切行为不影响产品的需求量与系统的利润。当制造商和再制造商不考虑零售商双向公平关切行为时，其双向公平关切行为整体上降低了产品需求量与系统利润，其中，零售商对制造商的公平关切行为对产品需求量与系统利润的影响程度高于其对再制造商的公平关切行为。

(5) 在一个具有专利保护的闭环供应链中，当制造商、再制造商以及零售器具

有双向公平关切行为时,采用收益分享-费用分担契约能有效实现闭环供应链协调。

6.2 研究贡献

6.2.1 理论贡献

首先,与前人研究大多探讨“专利保护对闭环供应链的影响”不同,本文考虑到专利壁垒在当今社会的普遍性,将专利保护因素作为了闭环供应链决策模型的基础变量,然后引入公平关切因素进入模型并研究双向公平关切对闭环供应链决策的影响。这一将专利保护对闭环供应链影响的常态化操作,为接下来闭环供应链的研究开创了一个新的视角。

其次,与前人研究大多探讨“某一决策主体的单向公平关切行为对闭环供应链的影响”不同,本文探讨了制造商、再制造商以及零售商分别具有双向公平关切行为时的闭环供应链的决策。一方面全面了公平关切行为的主体、另一方面拓展了公平关切行为对象,为接下来的研究奠定了一定的理论基础。

最后,前人在闭环供应链契约协调方面的研究已取得了丰厚的研究成果,但鲜有学者探讨具有公平关切行为的闭环供应链的协调。本文在前人研究的基础上,采用收益分享-费用分担契约来实现具有公平关切行为的闭环供应链的协调,进一步丰富了该领域的研究。

6.2.2 管理启示

(1) 在一个制造商具有双向公平关切行为的闭环供应链中,当需要维护再制造品的需求量,从而实现保护环境、增加社会效益的目标时,可通过管理控制制造商对再制造商的横向公平关切行为来降低其对再制造品需求量的不利影响;当需要维护系统利润,从而实现增加经济效益的目标时,可通过管理控制制造商对零售商的纵向公平关切行为来降低其对系统利润的不利影响。

(2) 在一个再制造商具有双向公平关切行为的闭环供应链中,管理控制再制造商的公平关切行为能同时优化再制造品的需求量与系统的利润。因此,若制造商考虑再制造商的公平关切行为,可通过管理控制再制造商对零售商的纵向公平关切行为来降低其对再制造品需求量与系统的不利影响;若制造商不考虑再制造商的

公平关切行为，可通过管理控制再制造商对制造商的横向公平关切行为来降低其对再制造品需求量与系统利润的不利影响。

(3) 在一个零售商具有双向公平关切行为的闭环供应链中，管理控制零售商的公平关切行为能同时优化再制造品的需求量与系统的利润。因此，若制造商和再制造商不考虑零售商的公平关切行为时，可通过管理控制零售商对制造商的纵向公平关切行为来降低其对再制造品需求量与系统利润的不利影响。

6.3 研究展望

本文将专利保护因素对闭环供应链的影响常态化，重点探讨制造商、再制造商以及零售商的公平关切行为分别对闭环供应链决策与协调的影响，取得了一定的研究成果，但同时存在一定的不足和局限性，后续研究可在此基础上进一步拓展。

(1) 本文研究是基于单周期闭环供应链模型，得出的结论比较受限，进一步的研究可将该模型的周期延伸至多周期，从而使研究的结论能更好的运用于实际。

(2) 本文在探讨制造商、再制造商以及零售商的双向公平关切行为对闭环供应链的影响时，均假设除公平关切主体外的其他成员为公平中性，未来的研究可将闭环供应链中的公平关切主体进一步拓展，探讨当闭环供应链中的决策主体均具有公平关切行为时闭环供应链的决策，具有十分重要的理论与实践意义。

(3) 本文通过探讨公平关切行为对产品需求量的影响间接得出其对闭环供应链生产决策的影响，未来的研究同样可以在此基础上探讨双向公平关切行为对回收决策的影响。

参考文献

- [1] M Fleischmann, HR Krikke, R Dekker, et al. A characterisation of logistics networks for product recovery[J]. Omega,2000,28(6):653-666.
- [2] H Krikke, CP Pappis, GT Tsoufas, et al. Extended Design Principles for Closed Loop Supply Chains: Optimising Economic, Logistic and Environmental Performance[R]. ERIM Report Series Research in Management, ERs-2001-62-Lis, the Netherlands,2001.
- [3] Guide, V.D.R., T.P.Harrison, L.N.V.Wassenhove. The challenge of closed- loop supply chain[J]. Interface, 2003, 33(6):3- 6.
- [4] Nunen, J.A.E.E., R. A. Euidwijk. E- enabled closed- loop supply chains[J]. California Management Review, 2004, 6(2):40- 54.
- [5] Flapper, S.D.P., J.A.E.E.Nunen, L.N.V.Wassenhove. Managing closed- loop supply chains. Berlin: Springer Verlag, 2004.
- [6] VDR Guide, LNV Wassenhove. The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research[J]. Operational Research, 2009, 57(1):10-18.
- [7] 赵晓敏, 冯之浚, 黄培清. 闭环供应链管理--我国电子制造业应对欧盟 WEEE 指令的管理变革[J]. 中国工业经济,2004(8):48-55.
- [8] 尤建新, 隋明刚. 闭环供应链的经济学解释[J]. 同济大学学报(社会科学版),2005,16(5):102-106.
- [9] 张克勇. 闭环供应链系统定价与契约协调研究[D]. 西南交通大学,2011.
- [10] NT Gallini, RA Winter. Licensing in the Theory of Innovation[J]. Rand Journal of Economics, 1985, 16(2):237-252.
- [11] A Fosfuri. Patent protection, imitation and the mode of technology transfer[J]. International Journal of Industrial Organization, 2000,18 (7):1129-1149.
- [12] KE Rockett. Choosing the Competition and Patent Licensing[J]. Rand Journal of Economics, 1990 , 21 (1) :161-171.
- [13] KR Conner. Obtaining Strategic Advantage from Being Imitated: When Can Encouraging “Clones” Pay?[J]. Management Science, 1995 , 41 (2) :209-225.
- [14] C Langinier, C Boivin. Technology Licensing to a Rival[J]. Staff General Research Papers Archive, 2005 , 12 (15) :1-8.

- [15] MI Kamien, Y Tauman. Fees Versus Royalties and the Private Value of a Patent[J]. Quarterly Journal of Economics, 1986 , 101 (3) :471-491.
- [16] XH Wang. Fee versus royalty licensing in a differentiated Cournot duopoly[J]. Journal of Economics & Business, 2002 , 54 (2) :253-266.
- [17] 钟德强, 罗定提, 仲伟俊. 异质产品 Cournot 寡头市场技术许可策略分析[J]. 系统工程学报, 2007 , 22 (3) :248-255.
- [18] 纪光兵, 刘培福. 基于成本不对称最优专利许可策略分析[J]. 科技进步与对策, 2009 , 26 (19) :19-22.
- [19] 熊中楷, 申成然, 彭志强. 专利保护下再制造闭环供应链协调机制研究[J]. 管理科学学报, 2011 , 14 (6) :76-85.
- [20] 申成然, 熊中楷, 彭志强. 专利许可经销商再制造的供应链决策及协调[J]. 工业工程与管理, 2011 , 16 (6) :10-15.
- [21] 黄宗盛, 聂佳佳, 胡培. 专利保护下的闭环供应链再制造模式选择策略[J]. 工业工程与管理, 2012 , 17 (6) :15-21。
- [22] 熊中楷, 申成然, 彭志强. 专利保护下闭环供应链的再制造策略研究[J]. 管理工程学报, 2012 , 26 (3) :159-165.
- [23] 王建明. 专利保护下再制造闭环供应链差别定价与协调研究[J]. 运筹与管理, 2013 (3) :89-96.
- [23] 熊中楷, 黎雪. 专利保护对考虑市场细分闭环供应链的影响[J]. 工业工程, 2013 , 16 (3) :1-7.
- [24] 曹晓刚, 闻卉, 郑本荣等. 混合需求下考虑专利保护因素的闭环供应链定价与协调[J]. 中国管理科学, 2014 , 22 (10) :106-112.
- [25] 郑本荣, 杨超, 杨珺. 专利保护下双渠道闭环供应链的定价与协调决策[J]. 系统工程学报, 2017 , 32 (1) :103-113.
- [26] CJ Corbett, D Zhou, CS Tang. Designing Supply Contracts: Contract Type and Information Asymmetry[J]. Management Science, 2004 , 50 (4) :550-559.
- [27] JJ Spengler. Vertical Integration and Antitrust Policy[J]. Journal of Political Economy, 1950 , 58 (4) :347-352.
- [28] GP Cachon. Supply Chain Coordination with Contracts[J]. Handbooks in Operations Research & Management, 2003, 11 (11):227-339.
- [29] 聂腾飞. 基于公平关切和互惠社会偏好的供应链契约和协调研究[D]. 中国科

- 学技术大学, 2014.
- [30] TF Bresnahan, PC Reiss. Dealer and Manufacturer Margins[J]. Rand Journal of Economics, 1985, 16(2):253-268.
- [31] 毕功兵, 瞿安民, 梁樑. 不公平厌恶下供应链的批发价格契约与协调[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(1):134-140.
- [32] 宋帝. 考虑公平关切与政府补贴的闭环供应链定价与协调策略研究[D]. 青岛大学, 2016.
- [33] 丁雪峰, 魏芳芳, 郭成恒. 零售商公平关切下闭环供应链定价与协调研究[J]. 物流技术, 2014, 20 (9) :124-127.
- [34] 鲁力, 陈旭. 不同碳排放政策下基于回购合同的供应链协调策略[J]. 控制与决策, 2014,(12):2212-2220.
- [35] 王勇, 孙海雷, 陈晓旭. 基于数量折扣的改良品供应链协调策略[J]. 中国管理科学, 2014, 22(4) :51-57.
- [36] PD Giovanni. Environmental collaboration in a closed-loop supply chain with a reverse revenue sharing contract[J]. Annals of Operations Research, 2014, 220(1) :135-157.
- [37] DS Kim. Pricing and return policy under various supply contracts in a closed-loop supply chain[J]. International Journal of Production Research, 2015, 53 (1):106-126.
- [38] PD Giovanni, G Zaccour. Cost–Revenue Sharing in a Closed-Loop Supply Chain[M]. Birkhäuser Boston, 2013, 12:395-421.
- [39] 易余胤, 袁江. 渠道冲突环境下的闭环供应链协调定价模型[J]. 管理科学学报, 2012, 15(1) :54-65.
- [40] 曹晓刚, 郑本荣, 闻卉. 考虑顾客偏好的双渠道闭环供应链定价与协调决策[J]. 中国管理科学, 2015, 23 (6):107-117.
- [41] 许茂增, 唐飞. 基于第三方回收的双渠道闭环供应链协调机制[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19 (8):2083-2089.
- [42] 李新然, 牟宗玉. 需求扰动下闭环供应链的收益费用共享契约研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(6) :88-96.
- [43] 陈宇科, 熊龙, 董景荣. 基于均值-CVaR 的闭环供应链协调机制[J]. 中国管理科学, 2017, 25(2):68-77.

- [44] Kahneman D, Knetsch J L, Thaler R. Fairness competition on profits seeking: Entitlements in the market [J]. American Economics Review, 1986, 76(4): 728-741.
- [45] RH Thaler, CF Camerer. Ultimatums, Dictators and Manners[J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(2):209-219.
- [46] A Falk, E Fehr, U Fischbacher. Testing theories of fairness—Intentions matter[J]. Games & Economic Behavior, 2008, 62(1):287-303.
- [47] Berg, Dickhaut, M McCabe. Trust, Reciprocity and Social History[J]. Games and Economic Behavior, 1995(X):122-142.
- [48] J Andreoni, JH Miller. Rational Cooperation in the Finitely Repeated Prisoner's Dilemma: Experimental Evidence[J]. Working Paper, 1993, 103(418):570-585.
- [49] Fehr, Falk. Psychological Foundations of Incentives[J], European Economic Review, 2002(46):687-724.
- [50] Ho T, Zhang J. Designing pricing contracts for boundedly rational customers: does the framing of the fixed fee matter? [J]. Management Science, 2008, 54(4): 686-700.
- [51] Cui T H, Raju J S, Zhang Z J. Fairness and channel coordination [J]. Management Science, 2007, 53(8): 1303-1314.
- [52] Ozgun C D, Chen Y F, Li J B. Channel coordination under fairness concerns and nonlinear demand [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207: 1321-1326.
- [53] Valery Pavolov, Elena Katok. Fairness and supply chain coordination failures [J]. Social Science Electronic Publishing, 2015.
- [54] 杜少甫,杜婵,梁樑,等.考虑公平关切的供应链契约与协调[J].管理科学学报,2010,13(11):41-48.
- [55] 王磊,成克河,王世伟.考虑公平关切的双渠道供应链定价策略研究[J].中国管理科学,2012(s2):563-568.
- [56] 张克勇,侯世旺,周国华.公平关切下闭环供应链定价策略[J].系统管理学报,2013,22(5):841-849.
- [57] 张克勇,吴燕,侯世旺.零售商公平关切下闭环供应链定价策略研究[J].山东大学学报(理学版),2013,48(5):83-91.
- [58] 张克勇,吴燕,侯世旺.具公平关切零售商的闭环供应链差别定价策略研究[J].中国管理科学,2014,22(3):51-58.
- [59] 丁雪峰,魏芳芳,但斌.零售商公平关切下闭环供应链定价与协调机制[J].计算

- 机集成制造系统,2014,20(6): 1471-1480.
- [60] 马德青, 胡劲松. 具公平行为的零售商回收闭环供应链动态均衡策略研究[J]. 管理评论, 2019, 27 (4):70-78.
- [61] 李欣然, 王琪. 考虑零售商服务水平和公平关切的闭环供应链决策研究[J]. 中国管理科学, 2019, 31 (4):228-239.
- [62] 孙浩, 戴更新, 达庆利, 胡绪千. 零售商公平关切下闭环供应链的回收模式比较与协调机制研究[J]. 生态经济(中文版), 2014, 30 (10):94-100.
- [63] 唐飞, 许茂增. 零售商公平关切下双渠道闭环供应链的协调[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(8):63-73.
- [64] 姚锋敏, 滕春贤. 公平关切下零售商主导的闭环供应链决策模型[J]. 控制与决策,2017, 32(1):117-123.
- [65] 姚锋敏, 滕春贤. 公平关切下的两零售商竞争闭环供应链决策模型[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(8):1731-1738.
- [66] 高鹏, 聂佳佳. 制造商公平关切下的闭环供应链专利授权经营策略[J]. 软科学, 2014(11):67-71.
- [67] 宋帝, 戴更新, 梁香青. 制造商公平关切对闭环供应链运作效率的影响分析[J]. 青岛大学学报(自然科学版, 2015, 28(3):87-93.
- [68] 陈玉玲, 戴道明. 制造商公平关切下低碳闭环供应链的定价策略[J]. 湘南学院学报, 2018(2).
- [69] 陈章跃,王勇,陈晓旭.制造商双向公平关切下闭环供应链的竞争分析[J].管理学报,2016,13(5):772-780.
- [70] 刘志,李帮义,龚本刚,等.再制造商公平关切下闭环供应链生产设计决策与协调[J].控制与决策,2016,31(9): 1615-1622.

致谢

三年南山求学时光，转瞬即逝。回顾这三年，在学术的道路上由无知到懵懂到渐入佳境，实在是离不开众多外在的帮助。

首先要感谢我的导师，刘小平教授。研究生三年，刘老师对于我学术的成长给予了最大的帮助，是老师的高教育严要求成就了现在的我，使我在学术的道路上不断的成长，在此衷心的感谢刘老师对我的帮助。

其次要感谢李忆老师、杜维老师、谢天帅老师等各位老师对我学术上孜孜不倦的指导，各位老师对学术、对工作和对生活的态度是我今后需要不断学习向之看齐的好榜样。

再次感谢学院的所有领导与老师，是您们的辛勤工作为我们的求学生涯营造了一个十分良好的氛围，您们辛苦了！

感谢慧慧、毛毛和晓颖师姐对我学术上的指导；感谢香香、屹屹和霜霜师妹做我坚强的后盾；感谢我的朋友翠翠、姣姣、梦梦、瑶瑶和苹苹，你们的幽默为我的研究生生涯再填了一份色彩；感谢我的偶像 JJ，你的阳光让我觉得没有什么事情是不能突破的，给了我坚强的力量。

最后感谢我的家人，对我学习上的支持和帮助；感谢评审老师们，您们是我们永远的学习榜样。

攻读硕士学位期间从事的科研工作及取得的成果

发表及完成论文

[1] Xiao-ping LIU, **Qing WANG**. Research on the Impact of Manufacturer's Bidirectional Fairness Concern on Closed-loop Supply Chain [C]. Aussino Academic Publishing House, 2018:725-733. (EI 会议, 已录用). 支持论文第三章.

[2] 刘小平, **王青**. 再制造商双向公平关切对闭环供应链的影响 [J]. 计算机应用研究. (CSCD 在投). 支持论文第四章.

[3] Xiao-ping LIU, **Qing WANG**. Impact of Retailer's Bidirectional Fairness Concern on Closed-loop Supply Chain [J]. Journal of Mathematics and Informatics. (英文普刊, 已录用). 支持论文第五章.

参与著作

[1] 刘小平, 李忆, 段俊. 统计学——理论、案例、实训[M]. 电子工业出版社, 2017.07.

获奖

[1] 2016 硕士研究生新生奖学金, 2016.10.

[2] 2017 硕士研究生学业奖学金, 2017.10.