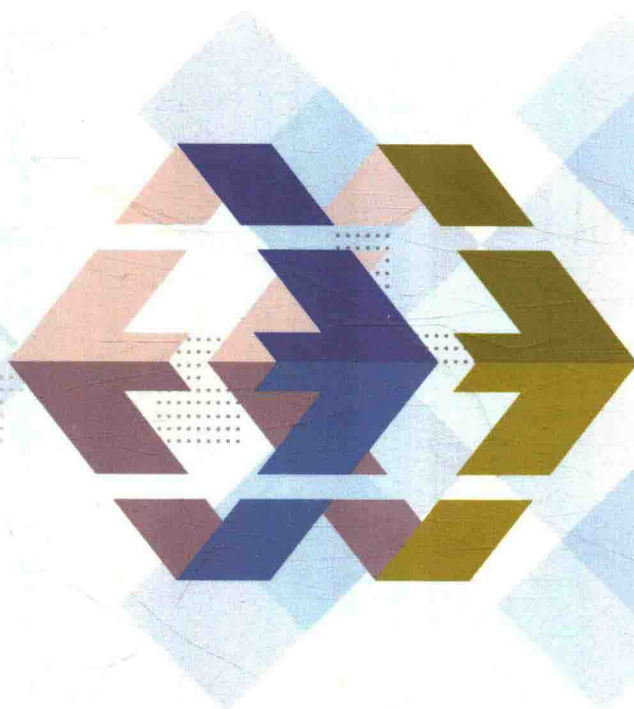


---

# 政府规制下电器电子产品 闭环供应链合作博弈研究

---

◆ 张 念 著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

重庆邮电大学出版基金

重庆市社会科学规划博士项目（项目编号：2018BS71）

重庆市教育委员会人文社会科学研究项目（项目编号：18SKGH045）

重庆市人文社会科学重点研究基地网络发展问题研究中心重点项目（项目编号：2018skjd06）

重庆邮电大学社会科学基金重点项目（项目编号：2017KZD10）

重庆市高校电子商务与现代物流重点实验室开放基金项目（项目编号：ECML201704）

# 政府规制下电器电子产品 闭环供应链合作博弈研究

张 念 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

由于公众环保意识加强和社会可持续发展需要，促使政府和企业愈来愈关注闭环供应链管理问题。本书旨在探讨政府规制下闭环供应链中节点企业间的合作竞争关系，一方面分析节点企业如何协调与合作，另一方面研究如何把整个供应链的合作收益合理公平地分配给各节点企业，采用博弈论、优化理论等方法，研究了政府规制下闭环供应链定价决策和协调机制，具有良好的创新性、前沿性和理论价值。

本书为从事供应链管理的人士提供了一个新视角，对高校和科研机构中管理科学与工程、工商管理等专业研究生进行相关研究具有良好的参考价值。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目（CIP）数据

政府规制下电器电子产品闭环供应链合作博弈研究 / 张念著. —北京：电子工业出版社，2018.11  
ISBN 978-7-121-35257-7

I. ①政… II. ①张… III. ①电子产品—供应链管理—政府管制—研究 IV. ①F407.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 240977 号

策划编辑：窦 昊

责任编辑：窦 昊

印 刷：北京虎彩文化传播有限公司

装 订：北京虎彩文化传播有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×980 1/16 印张：12.5 字数：320 千字

版 次：2018 年 11 月第 1 版

印 次：2018 年 11 月第 1 次印刷

定 价：69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 [zlts@phei.com.cn](mailto:zlts@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式：（010）88254466，[douhao@phei.com.cn](mailto:douhao@phei.com.cn)。

# 前 言

随着社会经济发展和科技不断进步,供应链管理理论正在发生深刻而复杂的变化,其研究范围也在不断扩展。同时,由于公众环保意识的不断加强和社会可持续发展的需要,政府部门针对性地出台了各种相关政策法规,加上逆向供应链带来的循环经济价值,人们愈来愈关注闭环供应链管理问题。

闭环供应链本身是一个比较复杂的合作结构,不仅包含正向供应链,而且包含逆向供应链。闭环供应链系统涉及多个主体和环节,具有高度的不确定性和复杂性,其管理难度较大。在闭环供应链管理过程中,既要分析闭环供应链系统的利润,也要考虑节点企业的利润,即在实现系统利润最大并保证正常运转的情况下,在节点企业之间合理分配利润。本书旨在探讨政府规制下闭环供应链中节点企业间的合作竞争关系,一方面分析闭环供应链节点企业如何协调与合作,另一方面研究如何把整个闭环供应链的合作收益公平、公正、合理地分配给各节点企业。本书在前人研究成果的基础上,采用博弈论、优化理论等方法,研究了政府规制下闭环供应链定价决策和协调机制。为深入探讨供应链内的合作关系,书中运用合作博弈的解概念及方法研究了闭环供应链均衡分配问题。具体而言,本书主要开展了以下几方面的研究工作:

(1) 政府规制下闭环供应链合作基础模型研究。首先,根据我国废弃电器电子产品回收处理政府规制政策特点,建立了由制造商、销售商和回收处理商组成的政府规制下三级闭环供应链系统;其次,利用博弈理论和优化理论,对各合作模型进行求解,得到不同合作方式对闭环供应链的影响;接着,利用合作博弈的解概念,讨论如何在节点企业间公平合理地分配合作收益;最后,进一步考虑政府规制对各合作模型的系统利润和回收率的影响,为供应链节点企业决策提供支持。

(2) 考虑成本信息非对称时政府规制下闭环供应链合作模型研究。在研究内容(1)的基础上,假设销售成本为销售商的私人信息、回收处理成本为回收处理商的私人信息,其他企业成员不知道销售商和回收处理商的真实成本,对成本信息非对称时各合作模型进行分析求解,讨论成本信息非对称对合作模型中的定价策略及系统利润的影响,然后进行数值分析并与研究内容(1)的结论进行比较,最后进一步考虑政府规制及处理率对成本信息非对称时各合作模型的系统利润和回收率的影响。

(3) 考虑存在竞争时政府规制下闭环供应链合作模型研究。在研究内容(1)的基础上,首先考虑销售商之间存在 Bertrand 竞争时,针对闭环供应链合作竞争的决策问题,构建了不同合作竞争模型,求解不同合作模型的最优定价策略,同时比较销售商竞争情形下合作竞争模型的最优决策值和系统利润值,然后通过计算分配合作利润,进一步考虑政府规制对各合作竞争模型的系统利润和回收率的影响。其次,考虑回收处理商之间存在 Bertrand 竞争条件下,分析回收处理商竞争对闭环供应链中各合作模型的影响,利用优化理论和博弈理论分析求解不同合作模型的最优决策,接着比较不同模型的定价策略值和系统利润,然后通过数值计算,同时利用合作博弈解方法对闭环供应链上的合作利润进行分配,最后考虑政府规制对回收商竞争的合作模型系统利润和回收率的影响。

(4) 考虑供需不确定时政府规制下闭环供应链合作模型研究。在研究内容(1)的基础上,考虑需求量和回收量的双重不确定性,分析其对政府规制下闭环供应链合作模型的影响,建立各种合作模型,借助数值方法分析各合作模型的定价策略和系统利润,运用合作博弈的解概念及分配方法实现闭环供应链系统的协调和效率优化,进一步考虑政府规制对供需不确定时合作模型的供应链系统利润和回收率的影响。

本书在作者博士学位论文基础上修改而成。本书得以顺利出版,要感谢重庆邮电大学出版社基金、重庆市社会科学规划博士项目(项目编号:2018BS71)、重庆市教育委员会人文社会科学研究项目(项目编号:18SKGH045)、重庆市人文社会科学重点研究基地网络发展问题研究中心重点项目(项目编号:2018skjd06)、重庆邮电大学社会科学基金重点项目(项目编号:2017KZD10)及重庆市高校电子商务与现代物流重点实验室开放基金项目(项目编号:ECML201704)的资助。由于时间仓促和水平有限,书中难免存在不足与疏漏之处,敬请读者批评指正!

# 目 录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                 | 1  |
| 1.1 研究背景及意义 .....              | 1  |
| 1.1.1 研究背景 .....               | 1  |
| 1.1.2 研究意义 .....               | 4  |
| 1.2 国内外研究现状分析 .....            | 4  |
| 1.2.1 闭环供应链决策与协调研究文献回顾 .....   | 5  |
| 1.2.2 不同情形下闭环供应链决策研究文献回顾 ..... | 8  |
| 1.2.3 供应链合作问题研究文献回顾 .....      | 14 |
| 1.2.4 国内外研究现状总结 .....          | 16 |
| 1.3 研究内容、研究方法及技术路线 .....       | 17 |
| 1.3.1 研究内容 .....               | 17 |
| 1.3.2 研究方法 .....               | 19 |
| 1.3.3 技术路线 .....               | 20 |
| 1.4 本章小结 .....                 | 20 |
| 第 2 章 基础理论 .....               | 21 |
| 2.1 电器电子产品闭环供应链概述 .....        | 21 |
| 2.1.1 电器电子产品 .....             | 21 |
| 2.1.2 闭环供应链 .....              | 21 |
| 2.1.3 废弃电器电子产品闭环供应链 .....      | 22 |
| 2.1.4 闭环供应链合作 .....            | 23 |
| 2.2 闭环供应链适用博弈分析 .....          | 24 |
| 2.3 博弈论概述 .....                | 24 |
| 2.3.1 非合作博弈 .....              | 25 |
| 2.3.2 合作博弈 .....               | 26 |
| 2.4 本章小结 .....                 | 28 |

|            |                               |     |
|------------|-------------------------------|-----|
| <b>第3章</b> | <b>政府规制下闭环供应链基础模型研究</b>       | 29  |
| 3.1        | 引言                            | 29  |
| 3.2        | 政府规制下闭环供应链基础模型                | 29  |
| 3.2.1      | 政府规制下闭环供应链基础模型假设              | 29  |
| 3.2.2      | 政府规制下闭环供应链合作模型构建与求解           | 32  |
| 3.2.3      | 政府规制下闭环供应链合作模型对比分析            | 38  |
| 3.2.4      | 数值分析                          | 43  |
| 3.3        | 本章小结                          | 56  |
| <b>第4章</b> | <b>成本信息非对称时政府规制下闭环供应链博弈研究</b> | 57  |
| 4.1        | 引言                            | 57  |
| 4.2        | 考虑成本信息非对称闭环供应链模型              | 58  |
| 4.2.1      | 成本信息非对称闭环供应链合作模型假设            | 58  |
| 4.2.2      | 成本信息非对称闭环供应链合作模型构建与求解         | 58  |
| 4.2.3      | 成本信息非对称闭环供应链合作模型对比分析          | 64  |
| 4.2.4      | 成本信息非对称闭环供应链数值分析              | 69  |
| 4.3        | 本章小结                          | 80  |
| <b>第5章</b> | <b>存在竞争时政府规制下闭环供应链博弈研究</b>    | 82  |
| 5.1        | 引言                            | 82  |
| 5.2        | 考虑销售商竞争时闭环供应链模型               | 82  |
| 5.2.1      | 销售商竞争时闭环供应链模型假设               | 83  |
| 5.2.2      | 销售商竞争时闭环供应链合作模型构建与求解          | 83  |
| 5.2.3      | 销售商竞争时闭环供应链合作模型对比分析           | 93  |
| 5.2.4      | 数值分析                          | 103 |
| 5.2.5      | 本节小结                          | 115 |
| 5.3        | 回收处理商竞争时闭环供应链模型               | 115 |
| 5.3.1      | 回收处理商竞争时闭环供应链模型假设             | 116 |
| 5.3.2      | 回收处理商竞争时闭环供应链合作模型构建与求解        | 116 |
| 5.3.3      | 回收处理商竞争时闭环供应链合作模型对比分析         | 126 |
| 5.3.4      | 数值分析                          | 136 |
| 5.3.5      | 本节小结                          | 148 |
| 5.4        | 本章小结                          | 148 |
| <b>第6章</b> | <b>供需不确定时政府规制下闭环供应链博弈研究</b>   | 150 |
| 6.1        | 引言                            | 150 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 6.2 供需不确定时闭环供应链模型.....          | 150 |
| 6.2.1 供需不确定时闭环供应链模型假设.....      | 150 |
| 6.2.2 供需不确定时闭环供应链合作模型构建与求解..... | 151 |
| 6.2.3 供需不确定时闭环供应链数值分析.....      | 157 |
| 6.3 本章小结.....                   | 171 |
| 结论及展望.....                      | 173 |
| 参考文献.....                       | 176 |

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 研究背景及意义

#### 1.1.1 研究背景

电器电子产品生产数量和消费数量的快速增加，导致废弃电器电子产品数量的急速上升。2005 年，我国进入废弃淘汰阶段的电视机有 1300 万台、电冰箱有 550 万台、计算机有 600 万台；2009 年电视机、电冰箱、洗衣机、空调器、计算机 5 类家电的废弃量近 9000 万台。根据国家发改委的数据估计，我国废旧家用电器的报废量将大于 5000 万台/年，每年将增长 20%左右；2015 年末后，每年废弃量预计有 1.6 亿多台<sup>[1]</sup>。为了避免废弃电器电子产品内部的有害成分对人类健康和自然环境产生不利的影 响，需要合理处理这些废弃产品。目前我国废弃电器电子产品的回收处理很不规范，多数废弃电器电子产品没有得到合理处置，给社会和环境带来了严重的影响。电器电子产品废弃量日益增加，实施有效的回收再制造已成为关系经济、社会和环境可持续发展的一个重要课题。

为了电器电子产品行业的可持续发展及缓解资源环境的巨大压力，欧盟等发达国家和地区相继开展了废弃电器电子产品回收处理的立法和实践工作，通过建立废弃电器电子回收处理体系实现了科学有效的回收再处理。我国政府也高度重视废弃电器电子产品的回收处理问题，并通过立法、回收处理试点等措施，学习发达国家废弃电器电子产品回收处理的成熟经验。2009 年 2 月 25 日，公布《废弃电器电子产品回收处理管理条例》（国务院令 第 551 号，以下简称条例），并于 2011 年 1 月 1 日起施行；2012 年 5 月 21 日，公布《废弃电器电子产品处理基金征收使用管理办法》（财综[2012]34 号，以下简称基金），于 2012 年 7 月 1 日起施行。条例和基金提出，现阶段将电视机、电冰箱、洗衣机、空调器、计算机纳入基金征收和补贴范围，按照数量定额征收处理费，对处理企业按照实际完成拆卸处理的产品数量给予定额补贴（如表 1-1 所示）。目前，政府规制下废弃电器电子产品闭环供应链决策与协调问题的研究，大多根据欧盟 WEEE（Waste Electrical and Electronic Equipment）指令或类似的 EPR（Extended Product Responsibility）政策，设定最低回收率和再生利用率，再根据企

业完成指标情况设计相应的奖惩机制。而我国《废弃电器电子产品综合利用行业准入条件》中没有规定回收率,只规定了不同类别废弃电器电子产品再生利用率的限定值和目标值,并对再生利用率高的企业给予激励。基金规定,按照制造商、进口企业生产、进口的电器电子产品数量定额征收处理费,对处理企业按照实际完成拆卸处理的废弃电器电子产品数量给予定额补贴,而不是根据企业完成回收率或再生利用率指标情况进行奖惩。从2012年7月1日基金正式实施之日起,已有64家回收处理企业纳入基金补贴范围(第一批43家,第二批21家),同时第三批41家回收处理企业已提出申请。2013年10月,共有760余万台废弃产品符合处理标准,6.3亿元的处理补贴直接被政府下拨到企业<sup>[2]</sup>。政府在电器电子产品回收再制造过程中扮演了非常重要的角色,政府规制政策工具对电器电子行业闭环供应链的运作管理将产生重要影响,因而有必要进行专门的分析。

表 1-1 中国废弃电器电子产品拆解处理补贴标准及处理基金征收标准<sup>①</sup>

| 废弃电器电子产品 | 拆解处理补贴标准(拾元/台) | 处理基金征收标准(拾元/台) |
|----------|----------------|----------------|
| 电视机      | 8.5            | 1.5            |
| 电冰箱      | 8.0            | 1.2            |
| 洗衣机      | 3.5            | 0.7            |
| 空调器      | 3.5            | 0.7            |
| 微型计算机    | 8.5            | 1.0            |

不论是从回收再制造的利益出发,还是从政府政策的要求来看,都需要生产企业参与到回收再制造的过程中。对生产企业而言,更需要的是如何在对废弃电器电子产品进行再利用的过程中实现增值,从而保证整个闭环供应链的良性循环;这些将涉及整个供应链内的上下游企业,需要同时结合分析正向供应链和逆向供应链,特别对于在电器电子产品中双向同时存在的问题,闭环供应链正好考虑的是一个完整的循环系统,而且许多学者已经从闭环供应链的角度进行了相关探讨;在闭环供应链中,建立不同企业间的合作能够共同分担风险,为客户提供更好的服务,形成更强的竞争力,实现自身效益增加,其核心是企业间的合作。

进入21世纪以来,在电器电子产品闭环供应链中,越来越多的企业开始具体实施闭环供应链管理的运作理念。例如,在日本,不同的制造商通过合作构建了两大独立的废弃电器电子产品回收处理联盟,负责回收再利用联盟企业的产品<sup>[3]</sup>;在美国和欧洲,一些大型企业,如IBM、Dell、HP、Kodak等,建立自己的逆向供应链和消费者回收计划,通过与销售商合作对废弃电器电子产品进行回收处理,或者构建自己的回收处理中心<sup>[4-7]</sup>;在荷兰,制造商通过合作构建PRO(Producer Responsibility Organizations,生产者责任组织),集体回收处理废电器电子产品<sup>[8]</sup>;在中国,海尔、长虹、格林美等企业也建立了回收处理中心,不仅处理自己的产品,也回收处理其他企业的产品<sup>[9]</sup>;在瑞士,废弃电器电子产品回收作业

① 中华人民共和国环境保护部, [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201412/t20141219\\_293233.htm?COLLCC=2617113296&](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201412/t20141219_293233.htm?COLLCC=2617113296&)

系统是典型的合作模式,其中 PRO 协调整个回收系统<sup>[10]</sup>。在管理整个闭环供应链时,不仅要考虑闭环供应链的资源配置,实现整体效益的最优化,还要考虑各参与企业的个体利益最优化,合理科学地分配利益,保证供应链的正常运转。因此,需要解决两个关键的问题:一个是供应链节点企业如何合作,另一个是如何把整个供应链的效益公平合理地分配给各节点企业。非合作博弈理论着重个体理性,合作博弈理论着重团体理性;非合作博弈更加注重参与者博弈的过程,合作博弈更加注重合作的结果。假设已经存在强有力的协议或威胁使其能够达成合作,为了深入研究电器电子产品闭环供应链(后面本书中简称闭环供应链)中企业成员的合作及利益分配问题,在本书的分析中,同样假设已经存在强有力的协议使其能够达成合作,仅限于讨论合作的结果分配。至于合作的详细过程,将在未来进行进一步分析。

特别是在 1986 年后,全球企业进入了合作的高峰期,企业间的竞争慢慢地从对抗变成合作,此时人们又再次对合作博弈理论进行了探讨,促进了合作博弈理论的扩展。为确保合作中分配方案的公平性,需要设计一些较好的分配方案,这个问题可以利用合作博弈里面的解概念来解决,如核心(Core)<sup>[11]</sup>、夏普利值(Shapley Value)<sup>[12]</sup>等,以及一些不同的分配方法,例如博弈二次规划方法(Game Quadratic Programming, GQP)<sup>[13]</sup>,最大最小费用法(Minimum Costs-Remaining Savings, MCRS)<sup>[14]</sup>,纳什议价模型(Nash Bargaining Model)<sup>[15]</sup>,它们能够基于对公平性的定量测度来分配合作利润,在许多利润分配问题的研究中广为应用。本书也将利用合作博弈理论的解及方法研究闭环供应链合作利润的分配,并利用 VIKOR 法对不同的方法进行选择。

从理论上来说,如果闭环供应链中的各节点成员都从整个供应链效率最大化的角度出发来决定生产和定价,就能够实现闭环供应链的整体最大效率。但是在现实环境中,闭环供应链上的节点企业,都是拥有独立主权的利益体,在进行决策时,会以个体利益最大化为目标,这些企业间不可避免地存在利益冲突,而且企业间可能会建立各种联盟,很容易形成局部最优;现有的闭环供应链方面的文献通常从集中决策和分散决策两种情形来分析构建闭环供应链模型,然后依据集中决策情形提出一种契约来协调整体利润,但未考虑多级闭环供应链内成员之间可能存在合作关系,忽略了子联盟对大联盟的影响。如何既考虑闭环供应链整体效率也考虑到企业成员间的合作,更考虑到个体利益最大化,建立合理公平的分配方案呢?在非合作博弈论中,各节点企业都以个体理性来进行最优决策,企业之间利益是相抵触的;在合作博弈中,各企业建立不同的联盟,以集体理性进行最优决策,通过一些合理公平的方式分配联盟利润。我们发现,闭环供应链中所要研究的问题与博弈论中的模型条件不谋而合,所以,运用合作博弈解概念来研究闭环供应链的利益分配问题也就顺理成章了。

已有许多学者对闭环供应链决策问题展开了深入研究,同时由于知识垄断、行业壁垒或利益冲突,节点企业成员之间的信息非对称在闭环供应链中普遍存在。随着博弈论与信息经济学的不断发展,对信息非对称的研究渐渐多起来;另外,目前全球市场处于竞争环境中,在利益的驱动下,同一层级会出现多个企业,它们将通过不同渠道加入到供应

链中,在这种激烈的竞争环境下,竞争也会对供应链产生影响。在现实生活中,消费者市场通常是不确定的,往往会受到扰动,大多数时候供应链上的企业往往不能够完全准确地判断需求量和回收量,企业面对的更多的是不确定市场。同时,信息非对称、竞争情形及供需不确定也是影响供应链效率的主要因素。所以,本研究是在政府规制的大背景下,从信息非对称、竞争情形及供需不确定的角度,对闭环供应链进行系统的分析研究。

对现有文献的分析发现,许多闭环供应链的研究都关注于渠道如何选择,不仅缺乏对闭环供应链企业成员内部合作关系的系统研究,而且缺少更加贴近现实的应用研究,特别是缺乏对政府规制下信息非对称、竞争情形、供需不确定的闭环供应链合作协调问题的研究,这就需要更多地对考虑合作的闭环供应链中的定价决策与系统协调的问题进行探讨。本书以闭环供应链中节点企业间的合作关系为研究点,利用非合作博弈理论对政府规制下闭环供应链合作问题进行系统讨论,结合实际情况,首先考虑政府规制的闭环供应链中存在的各种合作关系,然后分析不同合作关系对闭环供应链的影响,最后利用合作博弈的解及方法讨论合作协调问题,为有效实施政府规制下闭环供应链的管理提供建议。

### 1.1.2 研究意义

本书的理论意义在于:通过对政府规制下闭环供应链进行分析,着重研究闭环供应链上节点企业间的合作关系,并结合实际问题,建立各合作模型,运用非合作博弈理论获得各合作模型中的定价策略和系统利润,对比分析不同合作模型,讨论合作关系对闭环供应链系统的影响,接着利用合作博弈的解及方法对系统利润进行合理分配,最后讨论政府规制对系统利润及回收率的影响。研究过程同时将基础模型的研究拓展到信息非对称、竞争情形及供需不确定的闭环供应链合作模型中,对闭环供应链的理论进行更深入的研究,并对闭环供应链的研究领域进行扩展。

本书的实际意义在于:建立由制造商、销售商及回收处理商组成的闭环供应链系统,结合实际考虑各种合作关系。例如,制造商和回收处理商合作时,其情形类似制造商回收,销售商和回收处理商合作时,其情形类似销售商回收,回收处理商单独回收时,其情形类似第三方回收,同时也是从另一个角度研究回收渠道选择问题,而且在现实社会中,企业也越来越注重自己的核心竞争力,将更多的资源集中在自己的核心业务上,将非核心的业务进行外包,或者通过与其他企业建立战略合作关系。本书的研究可以为闭环供应链上的节点企业是否选择合作提供指导,同时为企业的定价决策提供依据;其次,企业建立合作联盟后,能够合理地分配合作利润,保持联盟稳定,也能对政府关于闭环供应链的政策法规的制定进行理论指导。

## 1.2 国内外研究现状分析

在我国,随着电器电子产品生产量和消费量的高速增长,废弃废旧电器电子产品数量

也呈逐年上升的趋势, 电器电子产品闭环供应链成为近年来企业和学术界关注的热点课题。查阅目前的相关研究, 发现国内外的学者已经进行了许多研究, 一些优秀而全面的综述性论文可参考 Souza<sup>[16]</sup>、Govindan 等<sup>[17]</sup>、邱若臻和黄小原<sup>[18]</sup>及徐家旺等<sup>[19]</sup>。通过对相关文献的查阅和整理, 本节依据本书研究的侧重点, 对与本研究相关的文献进行回顾。首先是针对闭环供应链的研究综述, 主要关于回收渠道、产品定价及利润协调等问题。然后是针对复杂环境的研究, 主要涉及信息非对称、竞争情形、供需不确定及政府规制等角度的分析。最后是关于合作博弈的研究文献, 简单综述合作博弈的解及方法在供应链中的应用情况。下面将从这些方面对国内外研究现状进行综述。

### 1.2.1 闭环供应链决策与协调研究文献回顾

供应链上的逆向和正向是相互影响的, 特别是在再制造闭环供应链中, 例如, 可以利用回收产品的零部件或者再生材料生产新产品, 达到节约成本的目的<sup>[20]</sup>。所以, 越来越多的研究从仅关注产品的逆向供应链转移到对整个闭环供应链的研究, 从而能够获得更大的经济或社会价值<sup>[21]</sup>。

由于闭环供应链的复杂性, 从单纯的考虑逆向物流网络、逆向供应链, 到整体考虑正向渠道和逆向渠道相结合, 从产品的回收处理, 到产品制造、销售及再制造的整个流程, 都是闭环供应链管理研究的范围。下面主要从网络优化、渠道选择、协调定价等方面对闭环供应链进行综述。

#### (1) 闭环供应链网络设计

越来越多的电子产品企业意识到, 单独考虑正向供应链网络的设计或者逆向供应链网络的设计, 对整个系统来说均不会达到最优, 因为它们两者实际上是相互影响的, 所以需要综合考虑正向和逆向, 即进行闭环供应链的网络设计, 这样才能够实现真正的最优<sup>[22]</sup>。

Fleischman 等<sup>[23]</sup>针对正向和逆向相结合的闭环网络系统, 设计了一种混合整数规划模型。在 Fleischman 等<sup>[23]</sup>研究的基础上, Salema 等<sup>[24]</sup>扩展到需求不确定情形, 同时利用随机混合整数规划求解多阶段闭环供应链网络模型。Yang 等<sup>[25]</sup>使用变分不等式理论讨论了闭环供应链网络的均衡设计问题。杨玉香等<sup>[26]</sup>提出了考虑参与者社会责任的闭环供应链设计的协调机制。Qiang 等<sup>[27]</sup>在由制造商负责产品回收的闭环供应链网络设计模型中同时考虑竞争和不确定分销渠道对网络模型的影响, 并设计算法进行了优化求解。孙嘉轶等<sup>[28]</sup>针对由多零售商回收的多期闭环供应链模型, 讨论了市场规划对系统利润和网络均衡的影响。Qiang 等<sup>[29]</sup>针对由制造商和消费者构成的两周期闭环供应链网络, 分析了再制品和新制品之间差异定价的问题。吴长莉等<sup>[30]</sup>更进一步地利用变分不等式理论分析了电子信息制造产业中的闭环供应链网络均衡问题, 确定了制造商成本支付的上限, 为相关政策的制定提供参考。Hasani 等<sup>[31]</sup>综合考虑距离、税收、关税等多影响因素, 分析了医疗设备的闭环供应链的网络设计问题。孙浩等<sup>[32]</sup>在制造商回收的多期闭环供应链均衡模型中, 考虑了政府补贴及环

保约束,利用变分不等式理论描述了闭环供应链中成员的最优行为和均衡条件。这些都为本书研究政府规制提供了理论支持。

## (2) 闭环供应链回收渠道决策

上面的研究所探讨的问题,多数是在集中式供应链架构下。但是,现实社会中,闭环供应链是一个由制造商、销售商、回收商、处理商及供应商等组成的复杂组织结构,各成员都是独立的经济体,存在不同的利益偏好,成员之间会产生影响,所以,需要详细地对分散式闭环供应链中各节点企业的最优定价决策及系统利润进行分析。同时,在以上分析的实际案例中,存在不同的回收渠道,不仅制造商进行产品的回收,接近消费者的销售商也会参与回收,同时还存在许多专门从事产品回收处理的第三方回收处理企业,产品的回收过程可以由不同的企业开展,同时不同的企业之间也可以合作进行回收<sup>[33]</sup>。此时,闭环供应链中的企业该如何决策?例如,如何确定生产量、产品如何定价、如何确定回收量、如何实现利润最大化、选择何种回收渠道等。

在2004年,Savaskan等<sup>[34]</sup>在*Management Science*上发表了关于闭环供应链中制造商回收渠道选择问题的文章,开启了闭环供应链定量研究的又一次高潮,详细地从回收渠道选择的角度对闭环供应链进行了定量研究,根据回收渠道的不同,讨论第三方、销售商及制造商分别回收的模式,细致分析了三种不同的回收模式;并设计了回收契约,将销售商回收下系统利润协调到集中决策水平,从而达到整个系统的最优。紧接着,Savaskan和Van<sup>[35]</sup>在Savaskan<sup>[34]</sup>文中的模型上面,考虑销售商的竞争程度对供应链中回收渠道选择的影响:当销售商之间的竞争不是很激烈时,制造商将选择销售商回收,当销售商之间的竞争很激烈时,制造商将选择直接回收。

Savaskan等<sup>[34]</sup>、Savaskan和Wassenhove<sup>[35]</sup>提供了一种全新的框架来研究闭环供应链的回收渠道问题,其主要利用非合作博弈理论,比较分析不同渠道的定价决策、回收效率和成员系统利润,讨论选择何种回收模型的问题,其研究架构给后来的相关研究提供了非常经典的结构,后来的许多学者在此基础上,对模型进行扩展或者放松假设的条件限制,进行更进一步的研究。

在许多国家,制造商通过合作构建PRO,集体负责回收处理废电器电子产品。Spicer和Johnson<sup>[36]</sup>结合实际问题,针对不同类型的产品,讨论了制造商、制造商联盟及第三方分别参与回收的方式进行了比较分析,指出外包第三方回收是体现生产者延伸制最有效的方法,鼓励制造商与第三方合作。Nagurney和Toyasaki<sup>[37]</sup>构建了由制造企业、回收企业、处理企业和需求市场构成的四层闭环供应链系统,基于变分不等式理论,对供应链网络中参与者的决策策略和实现均衡的前提进行了研究。黄祖庆和达庆利<sup>[38]</sup>、黄祖庆等<sup>[39]</sup>对比分析了销售商负责回收和第三方负责回收的闭环供应链的系统效率。Wu和Baron<sup>[40]</sup>简单讨论了需求不确定环境下的供应链间的博弈行为,针对需求的不确定,分析供应链上的企业如何生产与定价。针对再制品和新产品存在的差异,王文宾和达庆利<sup>[41]</sup>讨论了销售商回收和第三方

回收下闭环供应链的最优决策,发现第三方回收下的再制品和新产品的价格高于销售商回收下产品的价格。易余胤和袁江<sup>[42]</sup>将单个成员进行回收的闭环供应链系统扩展到制造商和销售商同时混合回收的闭环供应链系统。更进一步地,易余胤和袁江<sup>[43]</sup>在易余胤和袁江<sup>[42]</sup>的基础上,分析了闭环供应链中销售和回收同时存在竞争的博弈模型,具体分析了制造商和销售商不仅在回收市场上进行竞争,同时也在销售市场上进行竞争,从而形成正向和逆向渠道同时进行竞争的情形。Huang等<sup>[44]</sup>重点考虑当闭环供应链中有第三方加入产品回收,在逆向渠道上与销售商竞争的模型,研究发现,当逆向渠道竞争较大时,销售商回收有利,反之,第三方和零售商同时回收更加有利。林杰和曹凯<sup>[45]</sup>更进一步分析了市场力量结构对正向和逆向同时竞争的闭环供应链的影响。

Jiang等<sup>[46]</sup>研究了供应链双渠道竞争回收情况下制造商回收时的价格策略问题。Hong和Yeh<sup>[47]</sup>在Savaskan等<sup>[35]</sup>文献的基础上提出了一种零售商收集模式,即零售商收集报废的产品,由第三方公司来处理废旧废弃产品;以及非零售商收集模式,即第三方公司由制造商收集工作分包,通过比较分析得出了零售商回收是最优回收模式。Lozano等<sup>[48]</sup>分析了合作对供应链中成本的影响,并利用合作博弈解方法对合作成本进行了分配。本书更加深入地研究了合作对闭环供应链系统利润的影响。郑克俊<sup>[49]</sup>针对零售商回收的闭环供应链,讨论了新产品和再制品间存在价格差异时系统成员的系统利润和定价策略。Huang等<sup>[50]</sup>讨论突发事件干扰生产成本对双渠道供应链的影响,分析了集中和分散决策中双渠道供应链的生产及定价问题。Wei和Zhao<sup>[51]</sup>利用博弈理论和模糊理论,探讨了成本模糊对供应链中逆向渠道的影响。熊中楷和梁晓萍<sup>[52]</sup>在Savaskan等<sup>[34]</sup>的基础上,考虑消费者的环保意识对回收渠道效率的影响,环保意识的提高有利于闭环供应链,应鼓励提高消费环保意识。在制造商负责回收渠道的闭环供应链中,牟宗玉等<sup>[53]</sup>考虑突发情况对新产品和再制品生产成本发生扰动的影响,发现成本信息的变化对供应链产生较大影响。韩小花等<sup>[54]</sup>通过实验室实验对闭环供应链中不同回收渠道模型的定价决策进行了分析,发现完全理性定价模型的结果与实际决策结果存在较大差异,在分析问题,需要结合实际情形考虑。

### (3) 闭环供应链契约协调机制

在闭环供应链的研究中,由于节点企业都是独立的经济个体,各自利益偏好不一致将导致系统效率的低下。鉴于此,许多研究者设计不同的契约来使分散式供应链的效率尽量达到或者接近集中式的效率,如Moinzadeh和Ingene<sup>[55]</sup>、Padmanabhan<sup>[56]</sup>、Cachon<sup>[57]</sup>、Giannoccaro等<sup>[58]</sup>。由于闭环供应链由正向供应链与逆向供应链构成,所以闭环供应链视角下的协调将会更加复杂。

Savaskan等<sup>[34]</sup>运用了两部收费契约以集中决策为标准对零售商回收闭环供应链进行协调。王玉燕等<sup>[59]</sup>设计了利润分享机制对闭环供应链的集中利润进行了合理划分。Karakayali等<sup>[60]</sup>利用两部定价契约对第三方回收的闭环供应链进行了协调分析。郭亚军等<sup>[61]</sup>在传统的两方收入分享契约的基础上,针对第三方回收的闭环供应链提出了三方协调的收入—费用分

享契约,对三方闭环供应链系统进行协调。Wei等<sup>[62]</sup>应用模糊理论分析了第三方负责废弃产品回收的闭环供应链中节点企业最优决策,提出收益费用共享契约来协调闭环供应链系统。王文宾等<sup>[63]</sup>运用两部定价契约对不同渠道结构下闭环供应链进行了研究。Kaya和Kahraman<sup>[64]</sup>分析了制造商对回收商的激励和最优生产决策问题,分析了单独再制造、再制造产品和新产品完全替代或部分替代三种情况下的供应链系统,并利用转移支付理论,构建线性合同对不同供应链系统进行协调。易余胤和袁江<sup>[43]</sup>设计了两部定价机制来实现销售和回收渠道上同时存在竞争的闭环供应链的博弈问题。Zhang等<sup>[65]</sup>研究了在突发事件干扰需求的单制造商和两销售商构成的供应链系统中,应用收益共享契约进行协调的问题。王玉燕<sup>[66]</sup>分析了突发事件下的闭环供应链的生产调整策略,并应用数量折扣契约对此供应链进行协调。Yoo等<sup>[67]</sup>针对闭环供应链中销售商的三个常用的供应合同,即批发价格合同、回购合同和数量折扣合同,进行对比分析,探讨不同的协调合同对零售定价和退货的影响,为实践提供指导。胡强等<sup>[68]</sup>以我国废弃产品的回收处理活动为背景,设计了回收处理企业与政府之间的激励契约。曹晓刚等<sup>[69]</sup>使用收益—费用契约对第三方回收再制造的闭环供应链进行协调。Giovanni<sup>[70]</sup>利用收益共享契约考虑制造商和销售商组成的闭环供应链的绿色广告投资中的合作协同问题。牟宗玉等<sup>[53]</sup>针对由单制造商和销售商组成的制造商回收闭环供应链,利用改进的数量折扣契约对突发事件干扰生产成本的风险实现闭环供应链的协调。曹晓刚和闻卉<sup>[71]</sup>运用费用共享契约对随机需求情形下销售商竞争的闭环供应链进行协调。

以上对闭环供应链的网络设计、回收渠道选择及契约协调进行了简要综述,分析了不同闭环供应链结构中的定价决策和系统利润,采用不同的契约对供应链进行协调达到集中决策的目标。但现实社会中面对的是复杂的社会环境,例如政府规制、信息非对称、供应链中节点企业之间的竞争及市场需求或回收量的不确定等,这些因素均对供应链产生极大影响。因此,复杂环境下的闭环供应链的问题需要进一步研究讨论。

## 1.2.2 不同情形下闭环供应链决策研究文献回顾

由于社会环境和闭环供应链本身的复杂性,复杂的环境将对整个闭环供应链从产品制造、销售、回收处理到再制造整个流程产生影响,特别是对闭环供应链中成员的定价决策和利润收益产生影响。下面主要从信息非对称、竞争情形、供需不确定及政府规制对闭环供应链决策的影响进行综述。

### (1) 信息非对称对闭环供应链决策的影响研究

由于知识垄断、行业壁垒或利益冲突,企业成员之间的信息非对称在闭环供应链中普遍存在,而早期闭环供应链协调研究更倾向于信息对称,其实信息非对称的情形往往比对称信息下具有更强的现实意义,并且信息非对称也是引起闭环供应链效率降低的重要原因之一,所以越来越多的研究关注到信息非对称闭环供应链。

Yue 和 Liu<sup>[72]</sup>、Mukhopadhyay 等<sup>[73]</sup>针对闭环供应链中需求信息非对称的情形,建立需求预测信息分享模型,分析了促进供应链合作成员信息共享的条件和利润补偿机制,发现合作能够有效避免信息非对称给供应链带来的低效率,合作能够给企业带来双赢。Lau 等<sup>[74]</sup>研究了成本信息非对称条件下,两级闭环供应链博弈模型中的定价策略和利润决策,利用契约促进供应链中的信息共享,达到供应链的协调。熊中楷和张洪艳<sup>[75]</sup>针对单制造商和销售商构成的闭环供应链系统,讨论了销售商拥有私人的回收成本信息情形下,销售商一般会谎报其信息,分析了谎报行为对供应链的影响。聂佳佳和熊中楷<sup>[76]</sup>探讨了闭环供应链系统中,节点企业拥有私人成本信息时,为了追求自身利润的最大化往往会夸大自己的成本,分析了企业虚报行为对供应链上节点企业及系统效益的影响。高鹏等<sup>[77]</sup>利用非合作博弈理论研究了再制造成本信息非对称情形下销售商主导的闭环供应链系统,发现非对称信息情形下对制造商有利,利用协调机制对非对称信息下的供应链进行协调。王新辉等<sup>[78]</sup>对销售商和制造商均存在成本信息非对称的供应链引入 AGV (Aspremont 和 Gérard-Varet<sup>[79]</sup>) 机制进行研究,以集中决策为基准,从而对真实信息进行揭示并实现供应链系统的协调。吴忠和等<sup>[80]</sup>分析了销售成本信息非对称对制造商和销售商组成的闭环供应链的影响,并利用契约完美实现了信息的共享。Zhang 等<sup>[81]</sup>研究了销售商的回收努力成本信息为其私人信息时,制造商和销售商之间的合同设计问题。胡强等<sup>[68]</sup>对制造商和销售商组成的闭环供应链系统中销售价格信息非对称进行了研究,发现销售商的零售价格的信息不确定性程度越高,对销售商的最优订购量和成员系统利润的影响越大。Wei 等<sup>[82]</sup>考虑制造成本、再制造成本、市场规模、回收规模等信息存在不对称,分析了信息对称和信息非对称下制造商和销售商构成的闭环供应链系统。

分析以上文献发现,信息非对称将会降低供应链的系统效率,需要采取不同的契约对供应链进行协调,从而达到信息共享和集中最优的目标。本书着重强调通过企业间的合作,考虑多级闭环供应链中的成本信息非对称情形,利用利益进行诱导,不仅避免拥有私人成本信息的节点企业虚报成本,同时避免子联盟利用成本信息优势对抗大联盟,保证整个闭环供应链效益的最大化。

## (2) 竞争对闭环供应链决策的影响研究

闭环供应链管理是一种集成的管理模式,它通过对节点企业的协调来达到提升整体绩效的目的。面对竞争日益加剧的全球市场,为了追逐更多的利益,处于同一层级的企业可能会同时参与到闭环供应链系统,企业间面临的竞争形式也将越来越复杂多变。

Savaskan 和 Van<sup>[35]</sup>在由制造商和销售商构成的闭环供应链中,考虑了销售商之间的竞争,发现回收模式的选择在一定程度上受到销售商间竞争程度的影响,竞争激烈时,制造商选择直接回收,竞争不激烈时则必然选择销售商间接回收。Gurnani 等<sup>[83, 84]</sup>分析了供应链上的合作竞争对产品价格和投资决策的影响,讨论重点偏向于正向供应链上的合作竞争,而忽略了逆向供应链上的合作竞争情形,本书的研究更加全面详细,同时更加注重合作利润的分