



低碳供应链运营决策 优化与协调研究

Ditan Gongyinglian Yuning Juece
Youhua yu Xietiao Yanjiu



江文 著



西南财经大学出版社
Southwestern University of Finance & Economics Press

中国·成都



低碳供应链运营决策 优化与协调研究

Ditan Gongyinglian Yuning Juece
Youhua yu Xietiao Yanjiu

江文



西南财经大学出版社
Southwestern University of Finance & Economics Press

中国·成都

图书在版编目(CIP)数据

低碳供应链运营决策优化与协调研究/江文著. —成都:西南财经大学出版社, 2019. 2

ISBN 978-7-5504-2863-8

I. ①低… II. ①江… III. ①供应链管理—节能—研究 IV. ①F252.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 275505 号

低碳供应链运营决策优化与协调研究

江文 著

责任编辑:邓克虎

助理编辑:植苗

封面设计:张姗姗

责任印制:朱曼丽

出版发行	西南财经大学出版社(四川省成都市光华村街 55 号)
网 址	http://www.bookej.com
电子邮件	bookej@foxmail.com
邮政编码	610074
电 话	028-87353785 87352368
照 排	四川胜翔数码印务设计有限公司
印 刷	四川五洲彩印有限责任公司
成品尺寸	170mm×240mm
印 张	12.5
字 数	230 千字
版 次	2019 年 2 月第 1 版
印 次	2019 年 2 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5504-2863-8
定 价	88.00 元

1. 版权所有,翻印必究。
2. 如有印刷、装订等差错,可向本社营销部调换。

摘要

近年来,人类活动导致二氧化碳等温室气体排放急剧增加,并由此导致全球气候变暖,对全球生态系统和人类生存环境造成了严重威胁。企业作为人类活动的重要载体,在承担气候变化的责任方面,面临着来自多方面的挑战。一方面,为了促使企业节能减排,政府出台的限额与交易政策会影响到企业决策;另一方面,企业进行绿色技术投资,也会使得传统的生产和订货决策变得更加复杂。而企业是基于供应链参与市场竞争的,只有站在供应链的视角去研究企业决策行为,才能真正实现节能减碳和缓解气候变化。另外,由于动态定价在易逝品销售过程中被频繁使用,使得顾客普遍具有了战略顾客行为。因此,结合战略顾客行为的消费特征,去研究考虑绿色技术投资的低碳供应链企业决策与协调问题,具有重要的理论和实践价值。

本书在限额/限额与交易政策下,结合战略顾客行为的消费特征,首先立足单一制造商,分不考虑和考虑绿色技术投资两种情境,研究制造商决策;随后将单一制造商拓展至由一个制造商和一个零售商组成的两级供应链,分不考虑和考虑绿色技术投资两种情境,研究了其供应链决策与协调。

首先,本书研究了不考虑绿色技术投资时的单一制造商决策。研究表明:①限额政策和限额与交易政策下,理性预期均衡和数量承诺两种情形,制造商有唯一的最优生产和定价策略;②限额政策下,根据碳排放限额的高低,数量承诺策略使得制造商产量降低或不变、价格升高或不变和最大期望利润增加或相等;③限额与交易政策下,不管限额与交易政策参

数为多少，数量承诺策略都会使得制造商最优产量降低、最优价格升高和最大期望利润增加。

其次，本书研究了考虑绿色技术投资时单一制造商的决策。研究表明：①限额政策和限额与交易政策下，当模型参数满足一定条件时，理性预期均衡和数量承诺两种情形，制造商均有唯一最优生产、定价和绿色技术投资策略；②限额政策和限额与交易政策下，不管碳排放政策参数为多少，数量承诺都会使得制造商最优产量降低、最优价格升高、最优绿色技术投资减少和最大期望利润增加。

再次，本书研究了不考虑绿色技术投资时，一个制造商对一个零售商的供应链企业决策与协调。研究表明：①限额政策和限额与交易政策下，分散化供应链存在唯一的最优批发价格、零售价和订货量。②限额政策和限额与交易政策下，分散化供应链最优订货量低于等于、最优价格高于等于集中化（数量承诺）的情形；分散化供应链最大期望利润小于等于集中化（数量承诺情形）供应链最大期望利润。③限额政策和限额与交易政策下，以集中化（数量承诺）情形为基准，基于收益分享合同分别设计了供应链协调策略并且找到了帕累托改进时的收益分享比例的范围。

最后，本书研究了考虑绿色技术投资时分散化供应链企业决策与协调。研究表明：①限额政策和限额与交易政策下，当模型参数满足一定条件时，供应链存在唯一的最优批发价格、绿色技术投资策略、零售价和订货量。②限额政策和限额与交易政策下，不管碳排放政策参数为多少，制造商最优绿色技术投资和零售商的订货量低于集中化（数量承诺）的情形；零售商价格高于集中化（数量承诺）的情形；供应链最大期望利润小于集中化（数量承诺）的情形。③限额政策和限额与交易政策下，以集中化（数量承诺）情形为基准，收益分享合同无法实现供应链协调。考虑制造商进行数量承诺，基于收益分享—成本分担合同分别设计限额政策和限额与交易政策下的供应链协调策略。

本书通过比较分析和数值仿真，还得到以下重要管理启示：

（1）限额政策对制造商是硬约束，只要碳排放限额低于不考虑碳排放政策时的最优碳排放量，无论是否考虑绿色技术投资，制造商的产量均会

降低。而限额与交易政策给企业提供了更多柔性，限额与交易政策下的供应链运营决策都与碳排放限额无关，而只与碳排放权交易价格相关。但是限额与交易政策下供应链最大期望利润是否大于（等于、小于）限额政策，则取决于碳排放限额的大小。这表明，限额与交易政策能够同时发挥政府管制和市场调节功能，促使企业碳减排。

（2）绿色技术投资能够为供应链企业决策提供柔性，使得供应链最优产量增加、最优价格下降、最优单位产品碳排放量减少。研究还发现，考虑绿色技术投资总是能够增加分散化供应链的利润。

（3）收益分享合同是常见的供应链协调合同之一，但是基于战略顾客行为，考虑绿色技术投资的供应链却无法通过传统的收益分享合同实现协调。原因是制造商承担了所有的绿色技术投资成本却无法获得所有增加的收益。因此，在设计供应链企业合作机制时，除了收益分享还需成本共担，这样才能实现整个供应链系统最优。

关键词：绿色技术投资 低碳供应链 限额与交易 战略顾客行为
运营决策

Abstract

In recent years, carbon dioxide and other greenhouse gases emissions caused by human activities have increased dramatically, leading to the global climate warming which caused serious threat to the global ecological system and human beings. As an important subject of human activity, enterprises have faced many challenges in terms of undertaking the responsibility for climate change. On the one hand, in order to encourage enterprises to save energy and reduce emissions, the government has set the cap-and-trade policy which may affect the enterprises' decisions. On the other hand, green technology investment has also made the traditional production and order decision become more complicated. In addition, the enterprises participate in market competition based on the supply chain. So that only by researching enterprise decision-making in the perspective of supply chain can we truly achieve carbon reduction and mitigation of climate change. Furthermore, as dynamic pricing has frequently used in the perishable product sales, it has made customers have strategic behavior, and can also affect the enterprise decision-making. Therefore, researching the low carbon supply chain enterprises' decision-making and coordination problems with green technology investment considering the characteristics of the strategic customer behavior has important theoretical and practical value.

Under cap-and-trade policy, and considering the characteristics of the strategic customer behavior, this thesis firstly studies the decisions of single manufacturer with and without the green technology investment in two scenarios. Then, it expands the single manufacturer to the two echelon supply chain consisting of a manufacturer and a retailer, and studies the supply chain decisions and coordination.

First of all, studies the manufacturer's decisions without green technology investment. The results show that: ① in two situations of rational expectations equilibrium and quantity commitment, manufacturer has a unique optimal production and pricing strategy under cap and cap-and-trade policy; ② under cap policy, according to the quantity of carbon emissions quota, quantity commitment can make the manufacturer's production decreasing or unchanging, pricing increasing or unchanging and maximum expected profit increasing or equivalent; ③ under cap-and-trade policy, no matter how much the carbon emissions quota is, quantity commitment can make the manufacturer's optimal production decreasing, optimal pricing increasing and maximum expected profit increasing.

Secondly, studies the manufacturer's decisions with green technology investment. The results show that: ① in two situations of rational expectations equilibrium and quantity commitment, manufacturer has a unique optimal production, pricing and green technology investment strategy under cap and cap-and-trade policy when model parameters satisfy certain conditions; ② under cap and cap-and-trade policy, no matter how much the carbon emissions quota is, quantity commitment can make the manufacturer's optimal production decreasing, optimal pricing increasing, optimal green technology investment increasing and maximum expected profit increasing.

Thirdly, this thesis studies the decisions and coordination of supply chain consisting of a manufacturer and a retailer without green technology investment. The results show that: ① under cap and cap-and-trade policy, there exist the optimal wholesale price, retail price, and ordering quantity in decentralized supply chain; ② under cap and cap-and-trade policy, the optimal ordering quantity, retail price of decentralized supply chain is less than or equal to and is more than or equal to the centralized supply chain; ③ under cap and cap-and-trade policy, taking the situation of centralized (quantity commitment) as a benchmarking, we design the supply chain coordination strategy by revenue sharing contract and find the scope of the revenue sharing proportion when it achieves Pareto improvement.

Finally, this thesis studies the decisions and coordination of supply chain with green technology investment. The results show that: ① under cap and cap-and-trade

policy, there exist the optimal wholesale price, retail price, and ordering quantity of supply chain when model parameters satisfy certain conditions; ② under cap and cap-and-trade policy, no matter how much the carbon emissions quota is, the manufacturer's optimal green technology investment and retailer's optimal ordering quantity are less than, retailer's retail price is more than and the maximum expected profit of supply chain is less than the situation of centralized supply chain; ③ under cap and cap-and-trade policy, taking the situation of centralized (quantity commitment) as a benchmarking, revenue sharing contract cannot coordinate the supply chain. Considering the manufacturers taking the quantity commitment, we design the supply chain coordination strategy respectively under cap and cap-and-trade policy based on the revenue sharing-cost sharing contract.

Furthermore, we also get the following important management enlightenment by comparative analysis and numerical simulation:

(1) The cap policy is a hard constraint for manufacturers. As long as the carbon emissions quota is less than the emissions without carbon constraints, whether or not considering the green technology investment, the optimal production of the manufacturers is decreasing. However, the cap-and-trade policy offer more flexible to the enterprise, as the supply chain operation decision under cap-and-trade policy has nothing to do with the carbon emissions quota. Nevertheless, whether the maximum expected profit of supply chain under cap-and-trade policy is more than (equal to or less than) that under cap policy depends on the quota of carbon emissions. It suggests that cap-and-trade policy can play the roles of government regulation and market adjustment function at the same time to make the enterprise reduce carbon emissions.

(2) Green technology investment can also provide flexible for supply chain decisions. It makes the supply chain's optimal production increases, the optimal price decreases and the optimal carbon emissions of unit product decreases. We also found that considering green technology investment is always able to increase the profit of the decentralized supply chain.

(3) Revenue sharing contract is one of the common contracts of supply chain coordination, but based on strategic customer behavior, the traditional revenue sharing

contract cannot coordinate the supply chain when considering the green technology investment. Because the manufacturer has undertaken all the green technology investment costs but is unable to gain all of the increased revenue. Therefore, when designing supply chain cooperation mechanism, we should consider the cost sharing in addition to the revenue sharing, so as to achieve the optimal of whole supply chain.

Keywords: green technology investment low carbon supply chain cap-and-trade strategic customer behavior operation decisions

目录

1 绪论 / 1

1.1 研究背景与意义 / 1

1.2 文献综述 / 3

1.2.1 低碳供应链企业决策研究 / 3

1.2.2 考虑战略顾客行为的供应链企业决策研究 / 12

1.2.3 文献述评 / 17

1.3 问题的提出 / 18

1.4 研究内容与结构安排 / 19

1.5 本书的主要创新点 / 21

2 不考虑绿色技术投资的制造商决策模型 / 23

2.1 问题描述与假设 / 23

2.2 限额政策的基础模型 / 25

2.2.1 理性预期均衡的情形 / 25

2.2.2 数量承诺时的情形 / 31

2.2.3 数值分析 / 34

2.3 限额与交易政策的拓展模型 / 36

2.3.1 理性预期均衡的情形 / 36

2.3.2 数量承诺的情形 / 40

2.3.3 数值分析 / 44

2.4	本章小结 /	52
3	考虑绿色技术投资的制造商决策模型 /	55
3.1	问题描述与假设 /	55
3.2	限额政策的基础模型 /	56
3.2.1	理性预期均衡的情形 /	56
3.2.2	数量承诺的情形 /	61
3.2.3	数值分析 /	68
3.3	限额与交易政策的拓展模型 /	73
3.3.1	理性预期均衡的情形 /	73
3.3.2	数量承诺的情形 /	78
3.3.3	数值分析 /	85
3.4	本章小结 /	95
4	不考虑绿色技术投资的供应链决策与协调研究 /	98
4.1	问题描述与假设 /	98
4.2	限额政策下分散化供应链决策与协调模型 /	99
4.2.1	分散化供应链最优决策 /	100
4.2.2	分散化对供应链决策及绩效的影响 /	104
4.2.3	供应链协调策略 /	107
4.2.4	数值分析 /	111
4.3	限额与交易政策下分散化供应链决策与协调模型 /	113
4.3.1	分散化供应链最优决策 /	113
4.3.2	分散化对供应链决策及绩效的影响 /	119
4.3.3	供应链协调策略 /	120
4.3.4	数值分析 /	123
4.4	本章小结 /	128

5 考虑绿色技术投资的供应链决策与协调研究 / 130

5.1 问题描述与假设 / 130

5.2 限额政策下分散化供应链决策与协调模型 / 131

5.2.1 分散化供应链最优决策 / 131

5.2.2 分散化对供应链决策及绩效的影响 / 135

5.2.3 绿色技术投资的影响分析 / 136

5.2.4 供应链协调策略 / 138

5.2.5 数值分析 / 142

5.3 限额与交易政策下分散化供应链决策与协调模型 / 145

5.3.1 分散化供应链最优决策 / 146

5.3.2 分散化对供应链决策及绩效的影响 / 151

5.3.3 绿色技术投资的影响分析 / 152

5.3.4 供应链协调策略 / 154

5.3.5 数值分析 / 159

5.4 本章小结 / 162

6 研究结论与展望 / 165

6.1 本书主要结论 / 165

6.2 局限性及研究展望 / 169

参考文献 / 171

致谢 / 186

1 绪论

1.1 研究背景与意义

近年来,二氧化碳等温室气体过量排放所导致的全球气候变暖对人类的生存和发展带来了严峻的挑战,如海平面上升、热浪肆虐、强降雨不断、干旱四起等^[1]。研究表明:全球气候变暖很可能90%由人为原因造成^[2]。因此,转变人类生产和生活方式,实现可持续发展的低碳经济成为全球关注的热点^[3]。

据统计,2013年全球人类活动碳排放量达到360亿吨,其中,中国碳排放总量最大,占比高达29%^[4]。作为全球最大的二氧化碳排放国,中国在2014年《联合国气候变化框架公约》第20轮缔约方会议上表示:2016—2020年中国将把每年的二氧化碳排放量控制在100亿吨以下^[5];到2020年,单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%^[6]。2015年3月,我国政府工作报告提出要实施“中国制造2025”,实现由资源消耗大、污染物排放多的粗放制造向绿色制造转变。实现绿色制造的首要工作就是在企业的生产与经营活动中进行节能减排。因此,低碳制造,即合理高效地利用能源资源,投资先进的环保生产技术,以尽可能少的碳排放生产出尽可能多的高质量环保绿色产品^[7],将成为未来制造业减少企业碳排放和实现节能减排目标的重要方式与举措^[8]。而企业是以供应链的形式参与市场竞争的,要真正实现低碳制造,必须在供应链各环节开展有效的节能减排工作^[9]。因此,研究低碳供应链企业的决策与协调问题具有重要的现实背景。

为了促使供应链企业节能减排和供应链低碳化,实施碳排放政策成为各国政府的必然选择。主要的碳排放政策有三种:碳税(Carbon emissions tax)、限额(Mandatory carbon emissions capacity)和限额与交易(Cap-and-trade)^[10]。限额与交易是指买卖双方通过签订合同或协议,一方用资金或技术购买另一方

的碳减排指标,买方将购得的减排额用于履行减排义务和目标,卖方则获得资金或技术^[11]。相比其他的政府规制政策,限额与交易政策不仅能在不显著增加成本的情况下有效减少企业碳排放^[12],而且在政策可行性、公平性和企业参与度方面具有明显优势^[13]。限额与交易政策通过管制和市场的双重手段达到有效碳减排的目的,成为了各国政府的优先选择^[14]。限额政策可以视为限额与交易政策的特例,不同点在于当企业碳排放权不足或过剩时,无法通过外部碳排放权交易市场进行碳排放权交易^[15]。中国自2011年起,先后在北京、天津、上海、重庆、广东、湖北和深圳7地开展碳排放权交易试点。截至2015年7月24日,中国碳排放权交易市场累计成交量达4 030.4万吨,累计成交12.13亿元。2016年中国将启动全国碳排放权交易市场,首批试点行业将包括电力、冶金、有色、建材、化工和航空服务等六大行业,碳排放交易量可能涉及30亿~40亿吨,为欧盟碳排放权交易市场的一倍^[16]。因此,研究限额与交易政策下低碳供应链企业决策优化问题具有重要的理论和实践价值。

限额与交易政策的实施,使得碳排放权成为了企业生产的要素而变成了稀缺资源。对供应链企业而言,除了碳排放权交易外,通过生产工艺改进、生产过程中的碳捕获和碳储存等绿色技术投资是获得碳排放权的另一重要途径^[17-18]。进行绿色技术投资会增加企业的生产成本,但是也能够为企业节约碳排放权而获得额外收益。而且随着消费者环保意识的逐渐增强,购买低碳产品日益成为趋势。企业进行绿色技术投资还能迎合消费者的低碳需求,并获得相应的竞争优势。供应链企业需要权衡绿色技术投资的成本和收益,并决策是否进行绿色技术投资。在限额与交易政策约束下考虑绿色技术投资,使得供应链企业的运营决策变得更加复杂,表现为决策目标(提高利润和减少碳排放双重目标)、决策变量(定价、订货等传统决策变量和绿色技术投资、碳交易等低碳决策变量)和决策环境(产能、资金等传统约束和限额等低碳约束)的复杂。因此,研究低碳供应链企业决策优化问题,必须考虑制造企业同时进行传统决策和绿色技术投资决策的制定。

另外,随着竞争加剧、科技更新加快和市场环境快速多变,易逝品(短生命周期产品)正变得越来越普遍。除传统的服务(如航空、酒店)、农产品、时装等,越来越多的高科技产品也具有易逝品特征。在易逝品销售过程中,为了避免产品剩余产生损失,企业经常通过打折的方式来处理剩余产品。这就使得顾客会权衡立即购买和等待购买之间的效用大小,可能会选择等待产品降价再购买。这种顾客等待行为被学术界称为战略顾客行为并受到了广泛关注。研究表明,供应链企业在制定运营决策时,忽略战略顾客行为会对企业绩

效产生不利影响^[19-20]。战略顾客行为在易逝品销售过程中已经成为普遍现象,许多学者均做此假定^[21,22,23],假定顾客为战略顾客成为运营管理领域研究的基本假设^[24]。因此,研究低碳供应链的决策与协调问题时,假定顾客为战略顾客更加符合实际,具有重要的现实意义。

综上,本书在限额/限额与交易政策下,结合战略顾客行为的消费特征,分不考虑和考虑绿色技术投资两种情境,研究由一个制造商和一个零售商组成的两级供应链的企业决策与供应链协调策略。本书的研究结果对于丰富和完善低碳供应链管理理论具有重要的学术价值,对于低碳供应链企业的订货/生产、定价、碳交易、绿色技术投资和协调优化策略制定具有重要的实践价值,对于政府碳排放政策的制定具有重要的参考价值。

1.2 文献综述

为了系统深入地把握相关研究的动态和现状,本书将从以下两个方面进行梳理和总结:①低碳供应链企业决策研究;②考虑战略顾客行为的供应链企业决策研究。随后,通过文献述评找到现有研究的空白与不足,为本书研究问题的提出提供依据。

1.2.1 低碳供应链企业决策研究

低碳供应链是指在供应链运作的全过程中通过运用适当的材料和合理的技术手段降低碳排放量,包括采购、运输、生产、销售、回收等环节。低碳供应链概念提出之初,主要是研究低碳供应链的碳排放跟踪和供应链网络设计等问题^[25]。随着限额与交易政策在各国的实施,基于限额与交易政策视角的低碳供应链研究成为学术界的研究热点。

随后,部分学者将绿色技术投资纳入低碳供应链的研究框架。绿色技术投资是指企业在生产经营过程中的碳减排的技术投资。现有关于绿色技术投资的研究,部分学者从绿色技术本身切入,主要介绍和说明绿色技术如何实现减排,如 Syed (2006)^[26]、Wang (2008)^[27]、Sengupta (2012)^[28]、Chong (2014)^[29]、Lee (2015)^[30]和 Huisingh (2015)^[31]。还有部分学者从宏观的角度,通过实证研究、建模分析等手段研究绿色技术投资与企业减排效果的关系,或分析绿色技术在相关产业的应用,如 Zhao (2012)^[32]、Nalianda (2015)^[33]、Huisingh (2015)^[34]、Liu (2015)^[35]、Lee (2015)^[36]、Xia

(2015)^[37]。与本书研究密切相关的研究,即考虑绿色技术投资时低碳供应链企业运作决策优化的研究,这是本书综述的重点内容。

因此,本书从限额/限额与交易政策的研究、限额/限额与交易政策下单企业决策研究、限额/限额与交易政策下供应链企业决策与协调优化研究三个方面进行文献综述。

1.2.1.1 限额/限额与交易政策的研究

限额和限额与交易政策都是一种基于政府规制的碳排放政策,不同的是,限额与交易为企业提供了一种灵活的市场机制,使之成为一种直接管制和经济激励相结合的减排手段。

限额政策是一种行政命令或强制标准。政府对相关行业或企业制定碳排放上限,相关行业或企业的碳排放量不得超过政府制定的上限,否则将受到严重处罚,而且这种处罚对于相关行业和企业来说一般无法承受。它的优点在于可以在非常短的时间内达到碳减排目标,而它的缺点则在于社会协调成本较高。

限额与交易政策通过对不同区域和不同排放主体设定二氧化碳的排放限额,人为地将二氧化碳变为稀缺性资源,促使碳排放权在二级市场进行交易。当碳排放权不够时,通过减排投资降低碳排放量,或在碳排放权交易市场购买碳排放权;当碳排放权过剩时,又可以出售碳排放权获得额外收益。限额与交易政策通过管制和市场的双重手段以达到有效减排的目的,在世界范围内得到广泛应用。

国内外关于限额/限额与交易政策本身的研究主要停留在宏观层面,比如 Rose 等 (1993)^[38]、Cramton 和 Kerr (2002)^[39]、Bode (2006)^[40]、Stern (2008)^[41]、Lopomo 等 (2011)^[42]、Betz 等 (2010)^[43]、Goeree 等 (2010)^[44] 相关学者探讨了限额/限额与交易政策的初始碳排放权分配问题;Johnson 和 Heinan (2004)^[45]、Rehdanz 和 Tol (2005)^[46]、Smale 等 (2006)^[47]、Subramanian 等 (2007)^[48]、Stranlund (2007)^[49]、Demailly 和 Quirion (2007)^[50]、Diabat 和 Simchi-Levi (2009)^[51]、Paksoy (2010)^[52]、Ahn 等 (2010)^[53]、Hahn 和 Stavins (2010)^[54]、Lee 等 (2011)^[55] 相关学者分析了限额/碳限额与交易政策对行业的影响。

与本书密切相关的研究,主要是基于微观层面的,即限额/限额交易政策下的单企业决策和供应链企业决策及协调策略研究。

1.2.1.2 限额/限额与交易下的单企业决策研究

国内外文献中关于限额/限额与交易政策下单企业决策的研究较多,可以分为限额/限额与交易下的生产决策、定价决策、生产和定价联合决策、绿色