

不同碳排放限制政策下供应链的最优融资决策



邓浏睿, 曹琛*

湖南师范大学商学院, 湖南长沙 410081

摘要: 供应链金融具有信用增级、成本较低的特点, 是解决中小企业“融资难、融资贵”的有效途径之一。为了尽早实现碳达峰、碳中和目标, 深入贯彻可持续发展理念, 在供应链金融的研究中, 我们需要考虑碳排放对供应链融资方式的影响。现有的碳排放限制政策主要分为数量(碳限额与交易)和价格(碳税)政策。因此, 为了考虑两项政策同时实施时的政策效果, 本文将这两项政策同时纳入供应链视角。供应链由一个由资金短缺的制造商和资金充足的零售商构成。在银行融资、零息提前支付融资和内部保理融资方式下, 本文运用 Stackelberg 博弈方法同时考察了碳税税率和碳交易价格对供应链决策变量和利润的影响。数值模拟结果表明: 超排时供应链整体利润低于未超排时。在高碳税税率政策和高碳交易价格水平下, 供应链最优融资方式是银行融资; 在低碳税税率和低碳交易价格水平下, 供应链最优融资方式是提前支付融资和内部保理融资。当消费者的绿色敏感度提高时, 银行融资作为最优融资方式时, 政策可调控范围缩小; 而提前支付融资和内部保理融资作为最优融资方式时, 政策可调控范围扩大。

关键词: 碳税; 碳限额与交易; 供应链金融; 碳交易价格; 融资决策; 资金约束

DOI: [10.57237/j.wjeb.2022.01.002](https://doi.org/10.57237/j.wjeb.2022.01.002)

Optimal Financing Decision for Supply Chain under Different Carbon Emission Limitation Policies

Liurui Deng, Chen Cao*

School of Business, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

Abstract: With the characteristics of credit enhancement and low cost, supply chain finance is one of the effective ways to solve the "difficult and expensive financing" of small and medium-sized enterprises. In order to achieve the goal of carbon peaking and carbon neutrality as early as possible and to deeply implement the concept of sustainable development, we need to consider the impact of carbon emissions on supply chain financing methods in the study of supply chain finance. The existing carbon emission limitation policies include quantity (carbon cap-and-trade) and price (carbon tax) policies. Therefore, this paper incorporates both policies into the supply chain to consider the policy effects of the two policies being implemented simultaneously. The supply chain consists of a manufacturer with limited capital and a retailer with sufficient capital. Under bank financing, zero-interest early payment financing and in-house factoring financing, this paper simultaneously studies the effects of carbon tax rates and carbon emission trading prices on the supply chain's decision variables and profits by applying the Stackelberg game approach. The numerical simulation

基金项目: 湖南自然科学基金 (No. 2022JJ30400).

*通信作者: 曹琛, Caochen2021cc@163.com

收稿日期: 2022-10-22; 接受日期: 2022-11-11; 在线出版日期: 2023-01-12

<http://www.wjeconbus.com>

results show that the supply chain's profits are lower when emissions exceed standards than its profits when emissions do not exceed standards. Under the high carbon tax rates and high carbon emission trading prices, the optimal financing method is bank financing. Under the low carbon tax rates and low carbon emission trading prices, zero-interest early payment financing and in-house factoring financing are the optimal financing methods. As consumers' green sensitivity of rises, the policy's regulation scope of optimal bank financing is restricted, however, the policy's regulation scope of the other two financing methods is expanded.

Keywords: Carbon Tax; Carbon Emission Cap-and-Trade; Supply Chain Finance; Carbon Emission Trading Prices; Financing Decisions; Financial Constraints

1 引言

随着我国经济不断发展,人口不断增长,在资源有限的条件下,越来越多的能源被开采消耗,最终导致全球气候变暖的问题,人们赖以生活的环境不断恶化,因此解决气候问题日益成为当今各国实现可持续发展的关键。而造成的全球气候变暖的主要原因之一则是二氧化碳的过度排放,因此针对控制碳排放的措施也逐步被纳入一国的经济工作任务。从十八届五中全会以来,中国所倡导的“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念逐渐深入人心,与此同时中国也以实际行动充当着绿色发展的践行者,为推动全球气候治理发挥了重要作用。中国全国人大于 2016 年 9 月 3 日批准加入《巴黎气候变化协定》,承诺到 2030 年前达到二氧化碳排放峰值,并在 2060 年前实现碳中和目标。为实现 2030 年的碳中和目标,国家发展和改革委员会于 2017 年 12 月开始实施中国国家碳排放交易体系(ETS)。为了加快减碳进程,有关碳排放的研究也不断渗透到各个领域之中。发电、石化、化工、运输等行业先后纳入碳市场管理,在 2020 年 11 月,中国人民银行原行长周小川在“《财经》年会 2021: 预测与战略”上表示:碳市场本身也是金融市场。而供应链作为沟通生产、销售、消费环节的桥梁,同样也会受到碳排放限制的影响。

供应链金融作为解决中小企业融资问题的主要途径,近年来受到越来越多学者的关注。最早提出供应链金融概念的是 Timme 等(2000),他认为供应链金融是指外部金融机构协助供应链参与主体,以实现资金流通和有效分配的经济活动[1]。有关供应链金融的研究主要分为内部融资与外部融资两大类。Fullen(2006)认为采购订单融资(POF)是中小企业在旺季管理高额库存或满足大型企业需求的一种手段[2]。Fang lei 等(2020)比较了在同时拥有绿色信贷融资和混合融资的两种方案下,受资金约束的制造商的融资

选择问题[3]。在有关内部融资方式的研究中:S. Alex Yang(2017)等研究了在贸易信贷融资方式下,风险分担机制对供应链生产效率和生产决策的影响[4]。Deng Liurui 等(2021)则是考虑抵押贷款方式下的风险分担机制[5]。而 Christopher S. Tang(2017)等结合了内外两种融资方式,研究了在采购订单融资(POF)和买方直接融资(BDF)两种融资方式下,供应商的融资选择问题[6]。随着库存管理技术的发展,库存所占用资金大大减少,更多的资金占用体现在了应收账款中,由此保理融资在供应链发展中得以运用[7]。但伴随保理融资而来的,是其诸如信用风险管理、保理费比率等问题,因此不少学者提出了一些创新型的供应链保理融资模式,如反向保理融资和订单转保理融资[8-9]。因此,考虑到保理融资能够将违约风险从信用较低一方转换到信用较高一方,本文也分析了一种新型的保理融资——内部保理融资。

碳排放限制政策可分为数量政策和价格政策。其中数量政策表现为碳排放限额与交易制度,即政府对企业碳排放总量设定上限,各国可以在碳排放权交易市场中买入不足的碳排放权,或卖出剩余碳排放权[10]。在碳排放权分配方面,分配方式主要分为免费分配和拍卖的形式[11]。Edwards(2001)提出碳排放权拍卖的盈利应该以产值津贴或减税的方式进行再分配[12]。还有部分学者则是以碳限额与交易政策中的碳交易价格为研究对象[13]。价格政策则是指碳税和碳补贴政策。娄峰(2014)分析了不同碳税水平、不同碳税使用方式对二氧化碳减排强度、二氧化碳排放强度边际变化率和社会福利等变量的影响[14]。郭军华等(2020)将消费者低碳偏好纳入供应链研究,分析了在碳税政策下碳减排成本共担—收益共享契约的协调作用[15]。虽然目前确有不少有关不同碳排放政策的研究[16-17],

但是大部分只是对每种政策分别进行分析并加以比较, 鲜有文献将两种政策结合起来, 考虑两政策同时实施的效果。在这方面做出贡献的是石敏俊(2013), 他不仅设计了单一碳税、单一碳排放交易情景, 还考虑了碳税与碳交易相结合的复杂情形, 模拟了各个情景下的减排效果[18]。因此, 本文将结合碳税和碳限额与交易政策, 综合考虑碳排放限制对供应链融资的影响。

在供应链生产的过程中, 各生产环节相互依存, 任何一个节点出现问题都会影响到供应链整体的效率[19]。在全球减碳形势日益严峻的情形下, 有必要将碳排放因素纳入供应链研究之中[20]。在生产决策方面。Cao Kaiying 等(2017)分析了碳限额与交易政策(CTP)和低碳补贴政策(LCSP)对制造商生产决策的影响[21]。程文成等(2020)在跨国闭环供应链中, 研究了碳关税和配额的再制造决策[22]。曹裕等(2022)在碳税政策下, 研究了批发价格合约和双向收入共享合约下双渠道供应链的库存竞争问题[23]。Chayanika Rout 等(2020)考虑了碳税、碳上限和碳交易政策, 并相应制定了最优排放和最优生产方案[24]。在融资决策方面。Matthew Reindorp(2018)得出采购订单融资(POF)显著缓解了资本市场摩擦的影响[25]。Hyunjin Kang 等(2020)认为绿色信贷政策(GCP)对供应链减排的影响是通过消费者激励机制实现的[26]。Deng Liurui 等(2021)则研究了基于采购订单融资的绿色信贷政策与碳排放限制对供应链的影响。在投资决策方面[27]。楼高翔等(2016)分析了非对称信息和对称信息下供应链的减排难度和最优减排效果问题[28]。王珊珊等(2020)分析了在不同的碳税水平之下, 竞争供应链的均衡减排投资策略[29]。刘亮等(2021)将区块链技术纳入生鲜供应链中, 提出非对称纳什均衡谈判来分配剩余收益, 以达到供应链成员的双赢[30]。在供应链生产环节中, 中小企业的资金约束与融资成本问题是制约供应链发展的关键因素[31]。融资对供应链而言至关重要[32]。有基于此, 本文将从融资视角来分析碳排放限制政策对供应链的影响。

通过梳理已有文献, 发现虽然目前已有不少有关绿色供应链的研究, 但鲜有将碳税和碳限额与交易政策同时纳入供应链的考量范围。此外, 针对受资金约束的制造商, 本文除了提出传统的银行融资、零息提前支付融资方式外, 借鉴 Chen Xiangfeng 等(2020)的思路, 还提供了一种新型的保理融资形式——正利息的内部保理融资[33]。研究了在碳排放限制条件下, 碳交易价格和碳税税率对不同融资方式下供应链利润

的影响, 进而分析出不同碳交易价格和碳税税率下的最优融资策略。

2 模型构建

2.1 假设与变量

本文考虑由一个资金受约束的制造商和一个资金充裕的零售商组成的绿色供应链, 研究制造商在碳排放限额与交易制度下, 通过银行融资、提前支付融资和内部保理融资方式来决定最优融资决策。其中制造商是领导者, 决定每单位产品的减碳费用 y , 并承担相关的生产成本 c 和决定批发价格 w 。零售商是追随者, 根据制造商的决策决定相应的零售价格 p ($p > w > c$)。其余的参数符号如表 1 所示。基于之前的研究, 我们对模型设置的假设如下[34]:

假设 1: 市场需求量 D 是零售价格 p 和单位产品减排费用 y 的函数。具体的公式如下:

$$D(p, y) = a - bp + \tau y \quad (a, b, \tau > 0) \quad (1)$$

其中, a 表示市场的初始需求量, b 表示消费者对价格的敏感度, τ 表示消费者对每单位产品投入减排费用的敏感度。 y 表示制造商在生产每单位产品过程中所需花费的减排费用。考虑到信息不对称因素的存在, 相较于市场中的零售价格, 消费者难以准确获知制造商在每单位产品中投入的减排费用, 因此设置 $b \geq \tau$ 。

当单位产品减排成本固定时, 消费者对单位产品减排成本越敏感, 消费者对低碳产品的需求越大。该结论同样适用于单位产品减排成本对需求的影响。也就是说, 不存在需求不确定性: 制造商生产的产量 Q 刚好能满足市场需求 D 。

假设 2: 碳减排总费用 C 是单位产品减排成本 y 和产量 Q 的线性函数, 具体公式如下:

$$C(y) = yQ \quad (2)$$

其中, Q 表示制造商在生产过程中的产品总量。

为了使碳排放量达标, 制造商要进行减碳投资, 并承担相应的减碳成本。即制造商的总减碳成本随着单位产品减碳费用与产品产量的增加而增加。

假设 3: 初始碳排放总量 E_0 是产量 Q 的线性函数。减排总量 ΔE 是单位产品减排费用 y 和产量 Q 的线性

函数。具体的公式如下：

$$E_0(Q)=e_0Q \tag{3}$$

$$\Delta E(Q)=\mu yQ \tag{4}$$

其中， e_0 为单位产品初始碳排放量。 μ 是减排效率，即投入的减排费用所能带来的实际减排量，则 μy 为单位产品的减排量。

同样地，本文也假设碳排放只有在生产产品的过程中才会产生。制造商作为供应链的主要生产企业，理应采取必要措施减少碳排放，从而承担减排费用。而零售商不必承担减排成本，因为他们不参与生产过程。

假设 4：碳排放权交易市场中碳排放权的供给量 H_s 和需求量 H_d 是碳交易价格 p_c 的函数。具体的公式如下：

$$H_s = \mu y = -\frac{n_1}{m_1} + \frac{1}{m_1} p_c \tag{5}$$

$$H_d = \mu y = \frac{n_2}{m_2} - \frac{1}{m_2} p_c \tag{6}$$

其中， m_1 和 m_2 分别表示在碳排放未超标与超标情况下碳交易价格敏感度的倒数， n_1 和 n_2 分别表示在碳排放未超标与超标情况下的初始碳交易价格。

当制造商碳排放未超标时，由于制造商通过减排措施在每单位产品基础上实现了 μy 的减排量，即相对于每单位产品来说制造商节省了 μy 单位的碳排放权，因此可将这部分剩余的碳排放权在碳交易市场中出售，也就是说此时制造商作为碳排放权供给者，碳交易价格越高，制造商所愿意供给的碳排放权也就越多，相应生物碳排放权供给量满足（5）式的供给函数表达式。当制造商碳排放超标时，在每单位产品中所需要的减排量仍是 μy ，即制造商在每单位产品中需要额外 μy 单位的碳排放权，因此需要在碳交易市场中买入所缺失的碳排放权，同理，此时制造商作为碳排放权的需求者，碳排放权需求量与碳交易价格之间呈现负向关系，两者表达式如（6）式所示。

假设 5：不考虑商品残值，以及制造商违约风险的影响。

表 1 模型参数的含义

决策变量	含义
y	制造商对每单位产品的减碳费用
p	每单位产品的零售价格
参数	含义
c	制造商单位产品的生产成本
D	市场需求
b	消费者对价格的敏感度
τ	消费者对每单位产品减碳费用的敏感度
Q	制造商的生产产量
e_0	每单位产品的初始碳排放量
μ	减排效率（ $0 < \mu < 1$ ）
T	政府规定的碳排放上限
t	碳税税率
P_c	每单位碳排放权的交易价格
m_i	碳交易价格敏感度的倒数（ $i=1, 2$ 分别表示未超排和超排）
n_i	每单位碳排放权的初始价格（ $i=1, 2$ 分别表示未超排和超排）
r_i	融资选择 i 下的利率（ $i=b, l$ ）
w	制造商的批发价格
η	提前支付融资方式下零售商批发价格的折扣率
Π	制造商的利润
Ω	零售商的利润

在下文中,有关变量的上标 N 和 E 分别表示没有超过政府规定的碳排放上限和超过政府规定的碳排放上限,下标 B、E 和 I 分别表示银行融资、提前支付融资和内部保理融资方式。

制造商作为供应链的生产主体,在生产过程中会排放一定量的二氧化碳,其生产会受到政府所规定的碳排放限制。本节考虑的是碳限额与交易制度下碳排放总量限制的问题,即政府设置的管控措施是对碳排放企业设置排放总量上限 T 。本文假设制造商受到资金约束,因此分别考虑了制造商在寻求外部的银行融资、内部的提前支付融资和内部保理融资方式时,制造商和零售商为了实现利润最大化目标,各自所能达到的最优单位产品减碳费用 y 和最优零售价格 p 。

2.2 银行融资

当银行对制造商的资信水平进行评估后,认为其

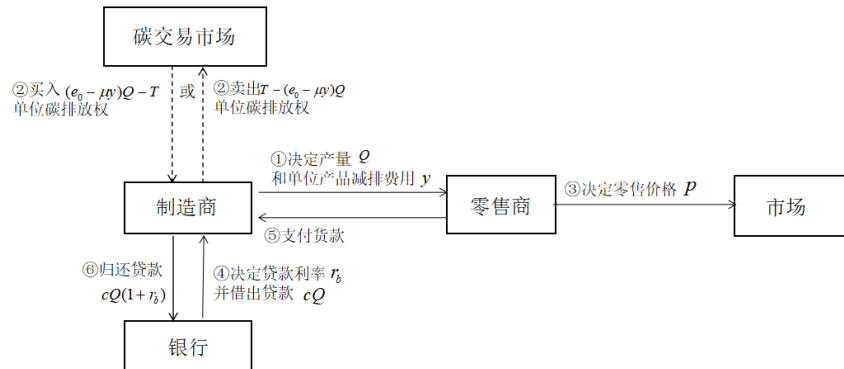


图 1 银行融资方式下的流程图

在银行融资方式中,银行的利润来源于贷款利息收益

cQr_b 。零售商的利润主要由产品的零售收入与批发成本构成,因此其利润函数为:

$$\Omega_B^{N(E)}(p) = pD - wQ = (p - w) \cdot (a - bp + \tau y) \quad (7)$$

考虑碳限额与交易制度:当碳排放量低于政府规定的碳排放上限时 ($E_0 - \Delta E \leq T$),制造商可以在碳交易市场卖出剩余的碳排放权获取收益。当碳排放量高于政府规定的碳排放上限时 ($E_0 - \Delta E > T$),制造商不得不

资产质量和生产状况良好并符合银行放贷标准,银行则决定向资金约束的制造商提供融资。本文假设制造商没有初始资金,因此制造商为了满足生产成本投入的需要,向银行申请贷款 cQ [34]。

在银行融资方式下,根据 Stackelberg 博弈理论,供应链主体的决策顺序为:1) 制造商作为领导者决定减碳费用 y ; 2) 制造商根据其生产产量和减碳费用决定在碳排放交易中心卖出(买入)剩余(不足)的碳排放权; 3) 零售商在观察到制造商制定的产量水平和减碳费用后决定相应的零售价格 p ; 4) 银行在观察到制造商和零售商各自的决策后,决定贷款利率 r_b ,并以该利率向制造商发放贷款 cQ ; 5) 零售商收到产品后支付货款; 6) 制造商将部分销售收入用于归还贷款本息 $cQ(1 + r_b)$ 。融资具体流程如图 1 所示。

在碳交易市场买入一部分碳排放权。考虑碳税制度:本文考虑的是从量税形式的碳税,政府对制造商单位产品碳排放量进行征税 [35], 制造商的税负为 $t(E_0 - \Delta E)$, 其中 $0 < t < 1$ 。同时考虑两项政策:当碳排放未超标时,碳税可增加制造商收益;当碳排放超标时,碳税减缓了制造商成本。即碳税政策和碳限额与交易政策的综合运用比单一限额与交易政策作用力度更柔和,实施后引起制造商不满情绪的反作用也不强烈。综上,制造商利润函数为:

$$\Pi_B^{N(E)}(y) = \begin{cases} wQ - c(1 + r_b)Q - C + p_c[T - t(E_0 - \Delta E)] & T \geq E_0 - \Delta E \\ wQ - c(1 + r_b)Q - C - p_c[t(E_0 - \Delta E) - T] & 0 < T < E_0 - \Delta E \end{cases} \quad (8)$$

根据 Stackelberg 博弈理论和逆向求解法，求解顺序应为：假设单位产品的碳减排成本是给定的，零售商根据利润最大化原则做出决策，得到最优零售价格 $p^*(y)$ 。此时，最优零售价格 $p^*(y)$ 是单位产品碳减排费用 y 的反应函数。将零售价格反应函数代入制造商的利润函数，根据制造商的利润最大化原则得到最优单位产品的最佳碳减排费用 y^* 。最后，将最优单位产品的碳减排费用 y^* 代入零售价格反应函数 $p^*(y)$ 中，我们可以得到最优零售价格 p^* 。

性质 1 在碳排放未超标和超标时，银行融资方式下制造商的最优单位产品减碳费用，零售商的最优零售价格，零售商最优利润水平和制造商最优利润水平分别为（具体证明过程见附录）：

$$\Pi_B^{N(E)*} = \begin{cases} \left[w - c(1+r_b) - \frac{2m_1T - MLt}{\tau Lt} \right] \frac{m_1T}{Lt} + p_c \left[T - \frac{m_1T}{L} (e_0 - \mu_1 \frac{2m_1T - MLt}{\tau Lt}) \right] & T \geq T_B \\ \left[w - c(1+r_b) - \frac{2m_2T - M\tilde{L}t}{\tau \tilde{L}t} \right] \frac{m_2T}{\tilde{L}t} + p_c \left[T - \frac{m_2T}{\tilde{L}} (e_0 - \mu_1 \frac{2m_2T - M\tilde{L}t}{\tau \tilde{L}t}) \right] & 0 < T < T_B \end{cases} \quad (12)$$

其中， $L = n_1 - p_c + m_1e_0$ ， $\tilde{L} = p_c - n_2 + m_2e_0$ ， $M = a - wb$ ， $T_B = [e_0 - \mu_1 \frac{2m_1T - (a - wb) \cdot (m_1e_0 - p_c + n_1)t}{\tau(m_1e_0 - p_c + n_1)t}] \cdot \frac{m_1T}{(m_1e_0 - p_c + n_1)}$ 。

当 $T \geq T_B$ 时，政府的碳排放上限相对宽松，我们称之为碳排放未超标（N）；当 $0 < T < T_B$ 时，政府的碳排放上限较为严苛，我们称之为碳排放超标（E）。

2.3 零息提前支付融资

当银行对制造商的资产质量和生产状况进行评估后，认为对其发放贷款存在一定的风险，决定不提供银行融资时，资金约束的制造商转而寻求内部融资，

$$y_B^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{2m_1T}{\tau(m_1e_0 - p_c + n_1)t} - \frac{a - wb}{\tau} & T \geq T_B \\ \frac{2m_2T}{\tau(m_2e_0 + p_c - n_2)t} + \frac{wb - a}{\tau} & 0 < T < T_B \end{cases} \quad (9)$$

$$p_B^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{m_1T}{t(m_1e_0 - p_c + n_1)b} + w & T \geq T_B \\ \frac{m_2T}{t(m_2e_0 + p_c - n_2)b} + w & 0 < T < T_B \end{cases} \quad (10)$$

$$\Omega_E^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{m_1^2T^2}{bt^2(n_1 - p_c + m_1e_0)^2} & T \geq T_B \\ \frac{m_2^2T^2}{bt^2(n_2 - p_c + m_2e_0)^2} & 0 < T < T_B \end{cases} \quad (11)$$

其中一种则是向资金充裕的零售商申请提前支付融资，即零售商将部分货款（ cQ ）提前支付给制造商以满足其生产投入需求。本文假设零售商提供的提前支付融资利率为零，零售商从批发价格的折价中获取收益，即批发价格为 $w(1-\eta)$ [34]。

在提前支付融资方式下，供应链主体的决策顺序的前三个步骤与银行融资相同，区别点在于：4）零售商向制造商提前支付部分货款 cQ ($cQ < wQ$)；5）在零售商完成产品销售后，将剩余款项 $wQ - cQ$ 支付给制造商。融资具体流程如图 2 所示。

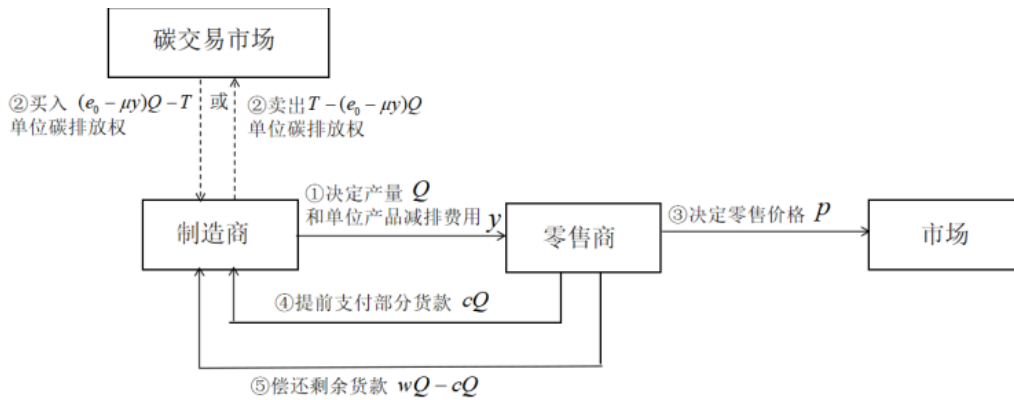


图 2 提前支付融资方式下的流程图

在提前支付融资方式下，零售商的利润主要由产品的零售收入与批发成本构成，因此其利润函数为：

$$\Omega_E^{N(E)}(p) = pD - w(1-\eta)Q = [p - w(1-\eta)](a - bp + \tau y) \quad (13)$$

与银行融资方式下制造商利润构成的分析相同，提前支付融资方式下制造商的利润函数为：

$$\Pi_E^{N(E)}(y) = \begin{cases} w(1-\eta)Q - cQ - C + p_c[T - t(E_0 - \Delta E)] & T \geq E_0 - \Delta E \\ w(1-\eta)Q - cQ - C - p_c[t(E_0 - \Delta E) - T] & 0 < T < E_0 - \Delta E \end{cases} \quad (14)$$

与银行融资方式下的求解顺序相同，对零售商和制造商决策进行相同的博弈分析，可得出在碳排放未超标和超标情形下的最优解：

性质 2 在碳排未超标和超标时，提前支付融资方式下制造商的最优单位产品减碳费用，零售商的最优零售价格，零售商最优利润水平和制造商最优利润水平分别为（证明过程与性质 1 相似）：

$$y_E^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{2m_1T}{\tau(m_1e_0 - p_c + n_1)t} - \frac{a - wb(1-\eta)}{\tau} & T \geq T_E \\ \frac{2m_2T}{\tau(m_2e_0 + p_c - n_2)t} + \frac{wb(1-\eta) - a}{\tau} & 0 < T < T_E \end{cases} \quad (15)$$

$$p_E^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{m_1T}{t(m_1e_0 - p_c + n_1)b} + w(1-\eta) & T \geq T_E \\ \frac{m_2T}{t(m_2e_0 + p_c - n_2)b} + w(1-\eta) & 0 < T < T_E \end{cases} \quad (16)$$

$$\Omega_E^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{m_1^2T^2}{bt^2(n_1 - p_c + m_1e_0)^2} & T \geq T_E \\ \frac{m_2^2T^2}{bt^2(n_2 - p_c + m_2e_0)^2} & 0 < T < T_E \end{cases} \quad (17)$$

$$\Pi_E^{N(E)*} = \begin{cases} [w(1-\eta) - c - \frac{2m_1T - \hat{M}Lt}{\tau Lt}] \frac{m_1T}{Lt} + p_c[T - \frac{m_1T}{L}(e_0 - \mu_1 \frac{2m_1T - \hat{M}Lt}{\tau Lt})] & T \geq T_E \\ [w(1-\eta) - c - \frac{2m_2T - \hat{M}Lt}{\tau \tilde{L}t}] \frac{m_2T}{\tilde{L}t} + p_c[T - \frac{m_2T}{\tilde{L}}(e_0 - \mu_1 \frac{2m_2T - \hat{M}Lt}{\tau \tilde{L}t})] & 0 < T < T_E \end{cases} \quad (18)$$

其中， $L = n_1 - p_c + m_1e_0$ ， $\tilde{L} = p_c - n_2 + m_2e_0$ ， $\hat{M} = a - wb(1-\eta)$ ， $T_E = \{e_0 - \mu_1 \frac{2m_1T - [a - wb(1-\eta)](m_1e_0 - p_c + n_1)t}{\tau(m_1e_0 - p_c + n_1)t}\} \cdot \frac{m_1T}{(m_1e_0 - p_c + n_1)}$ 。

当 $T \geq T_E$ 时，我们称之为碳排放未超标（N）；当 $0 < T < T_E$ 时，我们称之为碳排放超标（E）。

2.4 内部保理融资

当银行不向制造商提供银行融资时，制造商可选择的另一种内部融资方式则是零售商提供的内部保理融资。不同于传统的第三方保理融资，在内部保理融资方式下，零售商拥有一家融资子公司，制

造商以其应收款为抵押向零售商的融资子公司申请贷款 cQ ，零售商发放贷款并收取一定的正利率 r_l [34]。为了考察在不同融资方式下的最优决策，本文不考虑零售商融资子公司的设立成本和融资牌照成本[33]。实际上，提前支付融资不同于内部保理融资。提前支付是将零售商的一部分货款提前付给了制造商，不收取利息，因此不是严格意义上的贷款。而内部保理融资则是零售商的融资子公司向制造商发放的贷款，需要经过贷款相关流程。

内部保理融资方式的前三个决策顺序与银行融资相同，有所区别的是：4）零售商的融资子公司向制造商提供贷款 $cQ(cQ < wQ)$ ；5）在零售商完成产品销售

后，将剩余款项 $wQ - cQ(1 + r_l)$ 支付给制造商。融资具体流程如图 3 所示。

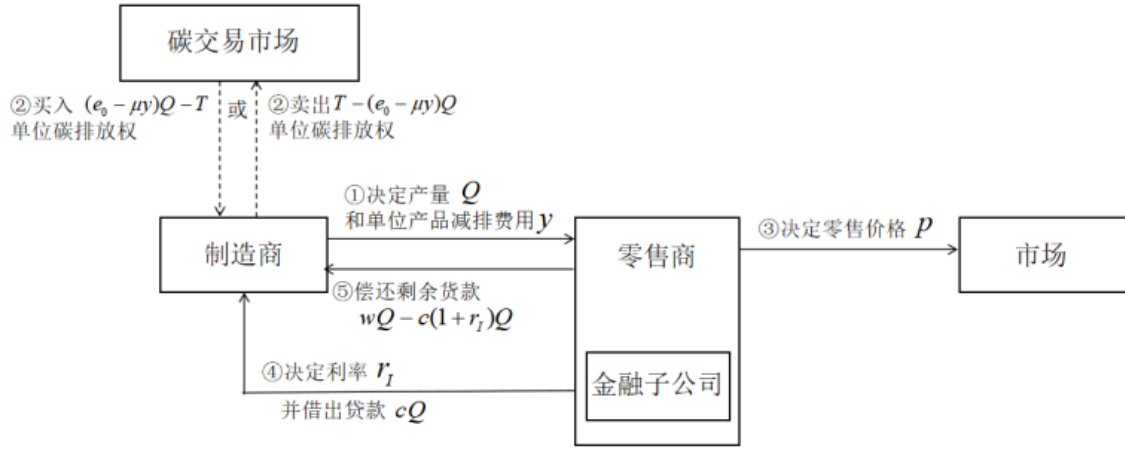


图 3 内部保理融资方式下的流程图

在内部保理融资方式下，零售商的收入来源除了批发收入还有贷款利息收益，成本主要是批发成本，其利润函数为：

$$\Omega_l^{N(E)}(p) = pD - wQ + cr_lQ = (p - w + cr_l)(a - bp + \tau y) \quad (19)$$

与银行融资方式下制造商利润构成的分析相同，内部保理融资方式下制造商的利润函数为：

$$\Pi_l^{N(E)}(y) = \begin{cases} wQ - c(1 + r_l)Q - C + p_c[T - (E_0 - \Delta E)] & T \geq E_0 - \Delta E \\ wQ - c(1 + r_l)Q - C - p_c[(E_0 - \Delta E) - T] & 0 < T < E_0 - \Delta E \end{cases} \quad (20)$$

与银行融资方式下的求解顺序相同，对零售商和制造商决策进行相同的博弈分析，可得出在碳排放未超标和超标情形下的最优解：

性质 3 在碳排未超标和超标时，在内部保理融资方式下制造商的最优单位产品减碳费用，零售商的最优零售价格，零售商最优利润水平和制造商最优利润水平分别为（证明过程与性质 1 相似）：

$$y_l^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{2m_1T}{\tau(m_1e_0 - p_c + n_1)t} - \frac{a - wb + cr_lb}{\tau} & T \geq T_l \\ \frac{2m_2T}{\tau(m_2e_0 + p_c - n_2)t} - \frac{a - wb + cr_lb}{\tau} & 0 < T < T_l \end{cases} \quad (21)$$

$$p_l^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{m_1T}{t(m_1e_0 - p_c + n_1)b} + w - cr_l & T \geq T_l \\ \frac{m_2T}{t(m_2e_0 + p_c - n_2)b} + w - cr_l & 0 < T < T_l \end{cases} \quad (22)$$

$$\Omega_l^{N(E)*} = \begin{cases} \frac{m_1^2T^2}{bt^2(n_1 - p_c + m_1e_0)^2} & T \geq T_l \\ \frac{m_2^2T^2}{bt^2(n_2 - p_c + m_2e_0)^2} & 0 < T < T_l \end{cases} \quad (23)$$

$$\Pi_i^{N(E)*} = \begin{cases} [w - c(1 + r_i) - \frac{2m_1T - \bar{M}Lt}{\tau Lt}] \frac{m_1T}{Lt} + p_c [T - \frac{m_1T}{L} (e_0 - \mu_1 \frac{2m_1T - \bar{M}Lt}{\tau Lt})] & T \geq T_i \\ [w - c(1 + r_i) - \frac{2m_2T - \bar{M}\tilde{L}t}{\tau \tilde{L}t}] \frac{m_2T}{\tilde{L}t} + p_c [T - \frac{m_2T}{\tilde{L}} (e_0 - \mu_1 \frac{2m_2T - \bar{M}\tilde{L}t}{\tau \tilde{L}t})] & 0 < T < T_i \end{cases} \quad (24)$$

其中, $L = n_1 - p_c + m_1e_0$, $\tilde{L} = p_c - n_2 + m_2e_0$, $\bar{M} = a - wb + cr_b$,
 $T_i = [e_0 - \mu_1 \frac{2m_1T - (a - wb + cr_b)(m_1e_0 - p_c + n_1)t}{\tau(m_1e_0 - p_c + n_1)t}] \cdot \frac{m_1T}{(m_1e_0 - p_c + n_1)t}$ 。

当 $T \geq T_i$ 时, 我们称之为碳排放未超标 (N); 当 $0 < T < T_i$ 时, 我们称之为碳排放超标 (E)。

3 数值模拟

基于上节求得的最优解, 本节主要分析在银行融资方式 (BF)、提前支付融资方式 (EF) 和内部保理融资方式 (IF) 下, 一些重要的变量对零售商利润和制造商利润的影响。参考 Simin An (2021), 其同样研究了碳排放限制对供应链的影响[36], 并结合实际情况, 本文设置了以下基本参数: $a = 200$, $\eta = 0.02$, $r = 0.06$, $r_b = 0.08$, $n_1 = 7.13$, $n_2 = 200$, $m_1 = 4.79$, $m_2 = 199$, $t = 0.4$, $T = 100 \text{ gco}_2 / \text{kWh}$, $w = 4.6 \text{ yuan} / \text{kWh}$, $e_0 = 91.979 \text{ gco}_2 / \text{kWh}$, $c = 0.9 \text{ yuan} / \text{kWh}$ 。

3.1 敏感性分析

图 4 表示的是在碳排放未超标情况下, 碳税税率和碳交易价格对供应链整体利润的影响, 我们有以下发现: 首先, 当碳交易价格不变时, 供应链利润随着

碳税税率的提高而减少。碳税对于制造商来说是一种显性成本, 碳税税率的提高也就意味着这种成本增加, 制造商利润下降, 最终导致供应链整体利润下降。其次, 当碳税税率不变时, 供应链利润随着碳交易价格的提高而下降。对于制造商来说, 未超排时, 碳交易价格的提高意味着碳排放卖权收益增加, 制造商利润相应增加。此时制造商有足够的收益来源, 从而在没有生产压力的情况下削减产量。但零售商面临则会货源短缺, 因而导致零售商利润减少。零售商利润减少的幅度超过了制造商利润增加幅度, 最终使得供应链整体利润下降。

图 5 表示的是在碳排放超标情况下, 碳税税率和碳交易价格对供应链整体利润的影响, 我们有以下发现: 首先, 与碳排放未超标情形相同的是, 当碳交易价格不变时, 供应链利润随着碳税税率的提高而减少。其次, 不同于碳排放未超标情形下的结论, 当碳税税率不变时, 供应链利润随着碳交易价格的提高而提高。因为在超排时, 碳交易价格的提高意味着制造商碳排放买权成本增加, 制造商利润相应减少。此时制造商收入不足以交付其碳排放买权成本, 因而扩大生产。零售商货源充足, 其利润也相应增加。零售商利润的增加幅度超过了制造商利润减少幅度, 最终使得供应链整体利润上升。

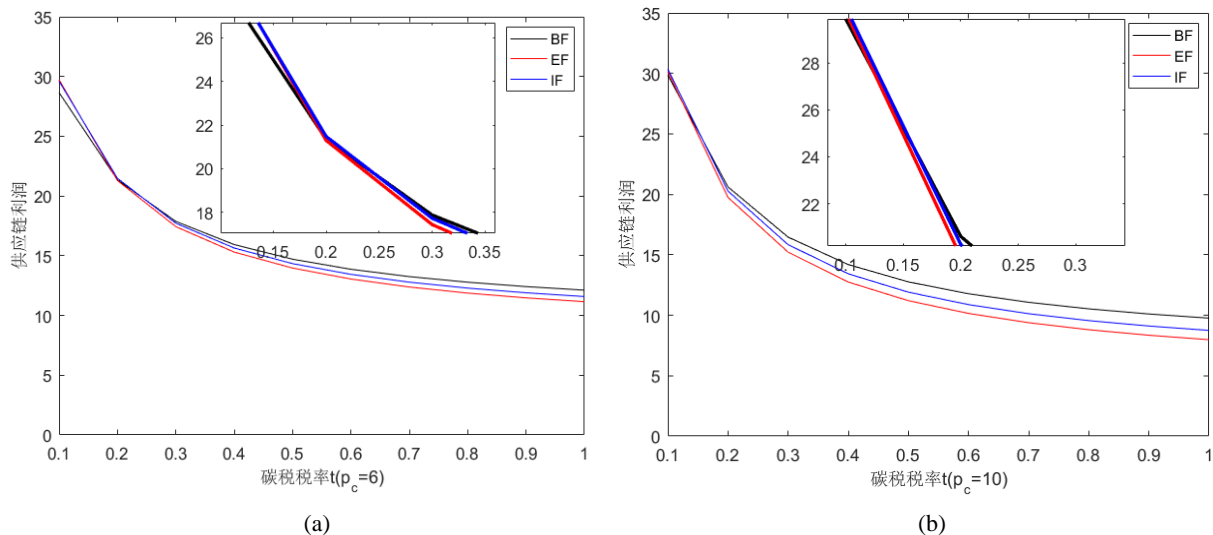


图 4 未超排时碳税税率和碳交易价格对供应链利润的影响

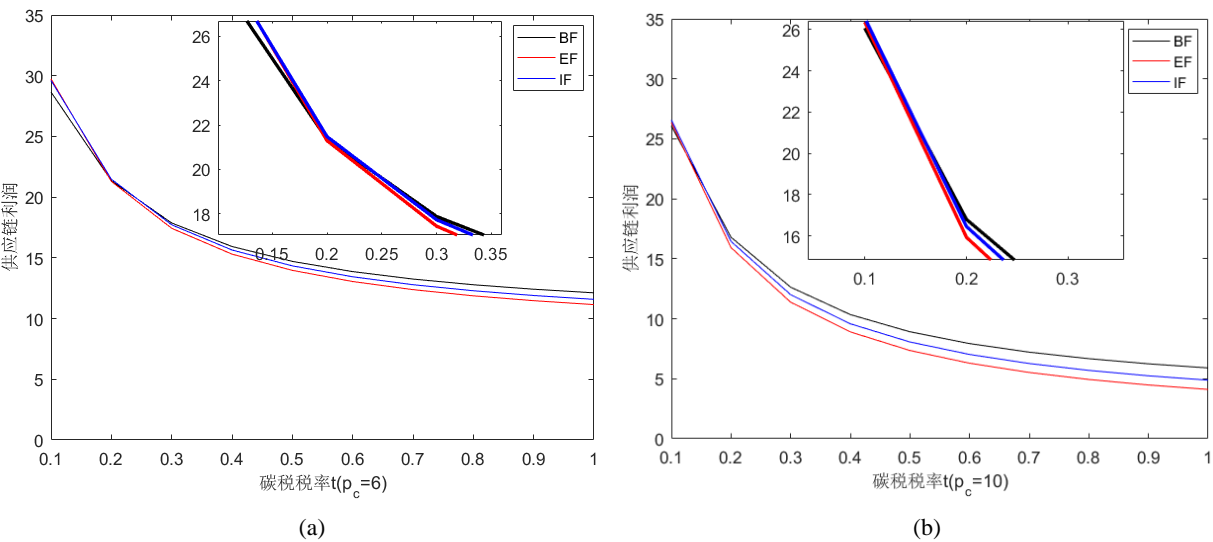


图 5 超排时碳税税率和碳交易价格对供应链利润的影响

通过对比图 4 和图 5 可知，超排供应链整体利润要低于未超排情形。此外，三种融资方式所代表的三条曲线两两相交，交点表示供应链利润在这两种融资方式下相同，此时供应链整体对着两种融资方式无偏好差异。

3.2 决策域分析

由于碳税税率对供应链利润的影响在未超排和超排时的方向相同，当碳交易价格连续变化时，无论是否超排，满足供应链利润在两种融资方式下相等条件时，碳税税率和碳交易价格之间的关系几乎一致。考虑碳排放交易价格在 $\tau = 20$ ， $\tau = 30$ 和 $\tau = 40$ 的情况下，结合图 4 和图 5 的分析我们可以得出图 6 所示的融资决策均衡域。

首先，从碳税政策的角度来看：

- (1) 在低碳税水平下，供应链更倾向于零息提前支付融资方式；
- (2) 在中等碳税水平下，供应链更倾向于内部保理融资方式；
- (3) 在高碳税水平下，供应链更倾向于银行融资方式。

图 6 中红实线、蓝实线和黑实线分别表示供应链利润在 BF 和 EF 下相等、在 BF 和 IF 下相等以及在 EF 和 IF 下相等。三条实线将图形分成了四个区域，结合图 4 和图 5 可知，黑实线下方区域表示制造商倾向于提前支付融资。此时的碳税税率较低，制造商利润较高，结合上节敏感性分析可知，此时供应链整体利润

也较高，说明此时零售商有多余资金可供借贷。而提前支付融资具有零利息的特点，这对制造商和供应链整体来说都将带来更高利润。蓝实线和黑实线之间区域表示制造商倾向于内部保理融资方式。此时的碳税税率上升，制造商利润下降，上节敏感性分析表明供应链整体利润也下降。此时零售商考虑到制造商的交货风险，从而不愿提前支付货款。与高借贷利率水平的银行融资相比较，供应链选择低利率水平的内部保理融资能够带来更高利润。蓝实线上方区域表示制造商将选择银行融资。此时碳税税率进一步提高，制造商利润和供应链整体利润下降，此时零售商利润也受到挤压，零售商没有多余资金。若想维持正常生产，制造商只能向银行申请贷款，以维系供应链正常运转并在此基础上进行改造升级。因而从长远来看，选择银行融资方式能带来更高利润。

其次，从碳限额与交易政策的角度来看：

- (1) 在碳交易价格较低时，供应链更倾向于以提前支付融资和内部保理融资为代表的内部融资方式。
- (2) 在碳交易价格较高时，供应链更倾向于外部融资方式。

当碳交易价格较低时，对于制造商来说，其碳排放卖权收益低，碳排放买权成本低，制造商利润较稳定，整个供应链利润变化不大。此时制造商无需借助外来渠道融资，通过向零售商借款或申请提前收款即可解决资金问题。当碳交易价格较高时，此时制造商的碳排放卖权收益高，碳排放买权成本也高。结合上节敏感性分析可知，随着碳交易价格的提高，供应链

整体利润在不同碳排放情形下表现出不同的上升和下降趋势，说明供应链整体利润波动较大。制造商只能通过寻求外部银行融资才能获得稳定的资金支持。

最后，综合碳税，碳限额与交易两项政策来看：

- (1) 在碳税税率较低且碳交易价格较低时，供应链更倾向于以提前支付融资和内部保理融资为代表的内部融资方式。
- (2) 在碳税税率较高且碳交易价格较高时，供应链

更倾向于外部融资方式。

比较图 6 (a)、(b) 和 (c) 发现：随着绿色敏感度的提高，银行融资方式的决策域面积缩小，其他方式的决策域面积扩大。这表明无论是否超排，当消费者越偏好于绿色产品时，银行融资方式作为最优融资选择时的政策空间被压缩，政策可供调整的范围缩小。而提前支付融资和内部保理融资作为最优融资选择时的政策空间扩大，政策可供调整的范围扩大。

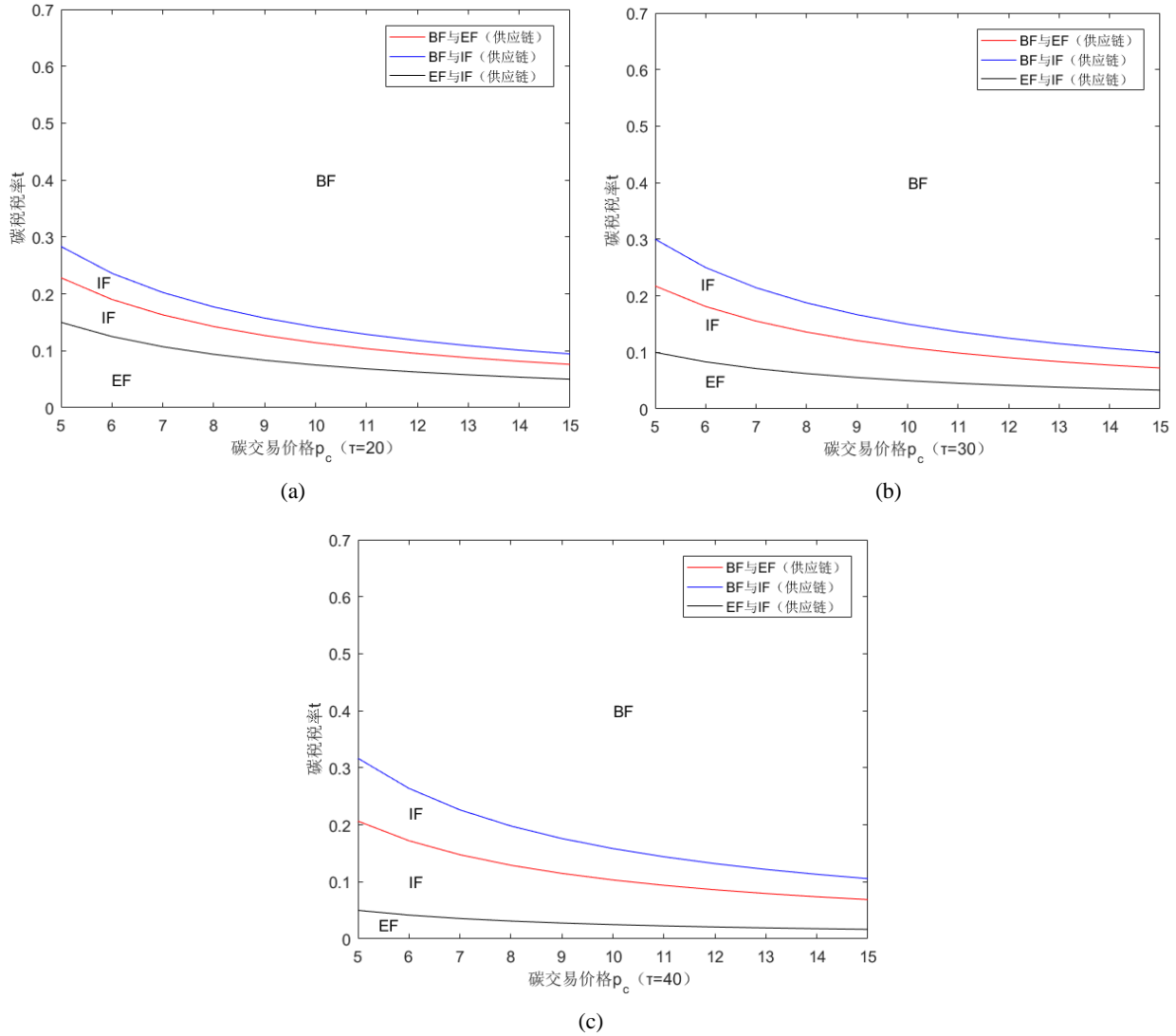


图 6 供应链在碳交易价格和碳税税率下的融资决策域

得到如下结论：

- (1) 超排时供应链整体利润低于未超排时的利润。在相同碳税税负的情况下，高碳交易价格对于超排制造商来说是一种成本，而对未超排制造商来说是额外收益。

4 结论和政策建议

4.1 结论

根据上文的敏感性分析和决策域分析，我们可以

- (2) 在低碳税税率和低碳交易价格组合下, 供应链的最优融资方式是零息提前支付融资和内部保理融资; 在高碳税税率和高碳交易价格组合下, 供应链的最优融资方式是银行融资。
- (3) 当消费者的绿色敏感度提升时: 银行融资作为最优融资方式时的政策可控范围缩小; 零息提前支付融资和内部保理融资作为最优融资方式时的政策可控范围扩大。

4.2 政策建议

根据归纳总结得出的结论, 本文针对供应链参与者和政府提出如下建议:

- (1) 制造商和零售商应加强合作与协调。一方面, 零售商应该将制造商减排绩效作为向其借贷的主要考察因素, 或将制造商的减排效果纳入融资利率的设置机制中。以此

起到对制造商减排工作的监督作用, 最终实现低碳水平下供应链参与者的双赢。另一方面, 制造商应主动与零售商联系, 从零售商处收集更多有关消费者产品偏好及绿色敏感度等市场信息。

- (2) 制造商应根据不同的政策组合及时调整融资策略。在碳税税率和碳交易价格都处于低水平时, 应积极寻求内部融资; 当两项政策指标都处于高水平时, 应主动申请银行融资。
- (3) 在消费者绿色敏感度提高时, 政府应降低碳税税率和碳交易价格。此时, 零息提前支付融资和内部保理融资作为最优融资方式, 其相应的政策可控空间扩大。因此, 为了提高政府在发生金融风险等事故时的政策灵活性, 政府应通过降低碳税税率和碳交易价格的方式来引导制造商寻求这两种融资方式。

附录：性质 1 的证明

当碳排放未超标时, 我们利用逆向求解的方法计算最优解。首先, 零售商作为追随者利用利润最大化原则来做决定: 对零售商利润函数(7)求零售价格 p 的导数, 并令导数等于零。即 $p^*(y) = \frac{a + \tau y + wb}{2b}$, 然后将其代入需求函数 $D(p, y)$ 中, 我们可以得到 $Q^*(y) = D^*(y) = \frac{a - wb + \tau y}{2}$ 。

其次, 利用制造商利润函数(8)我们可以构建如下的拉格朗日函数:

$$L_1 = wQ - c(1 + r_b)Q - C + p_c[T - t(E_0 - \Delta E)] + \lambda[T - (E_0 - \Delta E)] \\ = [w - c(1 + r_b) - y]Q + p_c[T - t(e_0 - \mu y)Q] + \lambda[T - Q(e_0 - \mu y)] \quad (A1)$$

当制造商观察到零售商的决策后, 制造商基于零售商的决策做出使自己利润最大化的决策:

$$L_1 = [w - c(1 + r_b) - y]Q^*(y) + p_c[T - t(e_0 - \mu y)Q^*(y)] + \lambda[T - Q^*(y)(e_0 - \mu y)] \quad (A2)$$

因为碳排放权供应量满足表达式: $H_s = \mu y = \frac{p_c - n_1}{m_1}$ 。将 μy 代入 L_1 。我们对 L_1 分别求 y 和 λ 的偏导, 并且令导数等于零:

$$\begin{cases} \frac{\partial L_1}{\partial y} = [w - c(1 + r_b) - y] \frac{\partial Q^*(y)}{\partial y} - Q^*(y) + (p_c \cdot t + \lambda) \left(\frac{p_c - n_1}{m_1} - e_0 \right) \frac{\partial Q^*(y)}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial L_1}{\partial \lambda} = T - t(e_0 - \frac{p_c - n_1}{m_1}) Q^*(y) = 0 \end{cases} \quad (A3)$$

其中, $\frac{\partial Q^*(y)}{\partial y} = \frac{\tau}{2}$ 。

所以最优决策 $(y_B^{N*}, \lambda_B^{N*})$ 可以表示为:

$$\begin{cases} y_B^{N*} = \frac{2m_1T}{\tau(m_1e_0 - p_c + n_1)t} - \frac{a - wb}{\tau} \\ \lambda_B^{N*} = \frac{(a - wb + 2\tau y_B^{N*})m_1}{\tau(p_c - n_1 - m_1e_0)} - \frac{[w - c(1 + r_b)]m_1}{p_c - n_1 - m_1e_0} - p_c \end{cases} \quad (A4)$$

最后，将 y_B^{N*} 代入 $p^*(y) = \frac{a + \tau y + wb}{2b}$ ，就可以得到最优零售价格 $p_B^{N*} = \frac{m_1T}{t(m_1e_0 - p_c + n_1)b} + w$ 。

将 y_B^{N*} 和 p_B^{N*} 代入制造商和零售商的利润函数中，就可以得到最优零售商利润 Ω_B^{N*} 和最优制造商利润 Π_B^{N*} 。

当碳排放未超标时，制造商的总碳排放量满足约束条件 $E_0 - \Delta E \leq T$ ，即 $T > (e_0 - \mu y_B^{N*}) \frac{a - wb + \tau y_B^{N*}}{2}$ 。将 y_B^{N*}

代入不等式，我们就可以得到此时碳排放上限满足的范围 $T > [e_0 - \mu \frac{2m_1T - (a - wb) \cdot (m_1e_0 - p_c + n_1)t}{\tau(m_1e_0 - p_c + n_1)t}] \cdot \frac{m_1T}{(m_1e_0 - p_c + n_1)}$ 。

碳排放超标时最优解的证明过程同上。

证毕。

参考文献

- [1] Timme, S. G., Williams-Timme, C. The financial-SCM connection [J]. SUPPLY CHAIN MANAGEMENT REVIEW, V. 4, NO. 2 (MAY/JUNE 2000), P. 33-40: ILL, 2000.
- [2] Fullen, S. L. How to Get the Financing for Your New Small Business: Innovative Solutions from the Experts Who Do It Every Day [M]. Atlantic Publishing Company, 2006.
- [3] Fang, L., Xu, S. Financing equilibrium in a green supply chain with capital constraint [J]. Computers & Industrial Engineering, 2020, 143: 106390.
- [4] Yang, S. A., Birge, J. R. Trade credit, risk sharing, and inventory financing portfolios [J]. Management Science, 2018, 64 (8): 3667-3689.
- [5] Deng, L., Wang, S., Wen, Y. et al. Incorporating 'Mortgage-Loan' Contracts into an Agricultural Supply Chain Model under Stochastic Output [J]. Mathematics, 2021, 10 (1): 85.
- [6] Tang, C. S., Yang, S. A., Wu, J. Sourcing from suppliers with financial constraints and performance risk [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2018, 20 (1): 70-84.
- [7] 刁叶光, 任建标. 供应链金融下的反向保理模式研究 [J]. 上海管理科学, 2010, 32 (01): 47-50.
- [8] 刘利民, 王敏杰, 詹晓旭. 反向保理在小微企业供应链融资中的应用 [J]. 物流科技, 2014, 37 (01): 65-68.
- [9] 陈中洁, 于辉. 资金约束背景下反向保理的供应链合作 [J]. 中国管理科学, 2018, 26 (12): 113-123.
- [10] Dales, J. H. Pollution, Property & Prices: A n Essay in Policy-making and Economics [M], Toronto: University of Toronto Press, 2002.
- [11] Cramton, P., Kerr, S. Tradeable Carbon Permit Auctions: How and Why to Auction not Grandfather [J]. Energy Policy, 2002, 30: 333-345.
- [12] Edwards, T. H., Hutton, J. P. Allocation of carbon permits within a country: a general equilibrium analysis of the United Kingdom [J]. Energy Economics, 2001, 23 (4): 371-386.
- [13] 赵立祥, 胡灿. 我国碳排放权交易价格影响因素研究——基于结构方程模型的实证分析 [J]. 价格理论与实践, 2016, (07): 101-104.
- [14] 娄峰. 碳税征收对我国宏观经济及碳减排影响的模拟研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2014, 31 (10): 84-96+109.
- [15] 郭军华, 孙林洋, 张诚, 倪明, 朱佳翔. 碳税政策下考虑消费者低碳偏好的供应链定价与协调 [J]. 系统工程, 2020, 38 (06): 61-69.
- [16] 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, 29 (12): 2212-2220.
- [17] 吴力波, 钱浩祺, 汤维祺. 基于动态边际减排成本模拟的碳排放权交易与碳税选择机制 [J]. 经济研究, 2014, 49 (09): 48-61+148.
- [18] 石敏俊, 袁永娜, 周晟吕, 李娜. 碳减排政策: 碳税、碳交易还是两者兼之? [J]. 管理科学学报, 2013, 16 (09): 9-19.
- [19] Miles, R. E., Snow, C.C. Organization theory and supply chain management: An evolving research perspective [J]. Journal of Operations Management, 2007, 25 (2): 459-463.
- [20] Darvish, M., Archetti, C., Coelho, L. C. Trade-offs between environmental and economic performance in production and inventory-routing problems [J]. International Journal of Production Economics, 2019, 217: 269-280.

- [21] Cao, K., Xu, X., Wu, Q. et al. Optimal production and carbon emission reduction level under cap-and-trade and low carbon subsidy policies [J]. *Journal of cleaner production*, 2017, 167: 505-513.
- [22] 程文成, 李巍. 基于碳关税和配额的再制造决策研究 [J]. *经济数学*, 2020, 37 (02): 66-72.
- [23] 曹裕, 易超群, 万光羽. 碳税政策下随机双渠道库存与协调研究 [J]. *中国管理科学*, 2022, 30 (01): 111-123+287-288.
- [24] Rout, C, Paul, A., Kumar, R. S. et al. Cooperative sustainable supply chain for deteriorating item and imperfect production under different carbon emission regulations [J]. *Journal of cleaner production*, 2020, 272: 122170.
- [25] Reindorp, M., Tanrisever, F., Lange, A. Purchase order financing: Credit, commitment, and supply chain consequences [J]. *Operations Research*, 2018, 66 (5): 1287-1303.
- [26] Kang, H., Jung, S. Y., Lee, H. The impact of Green Credit Policy on manufacturers' efforts to reduce suppliers' pollution [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 248: 119271.
- [27] Deng, L., Yang, L., Li, W. Impact of green credit financing and carbon emission limits on the supply chain based on POF [J]. *Sustainability*, 2021, 13 (11): 5814.
- [28] 楼高翔, 张洁琼, 范体军, 周炜星. 非对称信息下供应链减排投资策略及激励机制 [J]. *管理科学学报*, 2016, 19 (02): 42-52.
- [29] 王珊珊, 张李浩, 范体军. 基于碳减排技术的竞争供应链投资均衡策略研究 [J]. *中国管理科学*, 2020, 28 (06): 73-82.
- [30] 刘亮, 李斧头. 考虑零售商风险规避的生鲜供应链区块链技术投资决策及协调 [J]. *管理工程学报*, 2022, 36 (01): 159-171.
- [31] Gomm, M. L. Supply chain finance: applying finance theory to supply chain management to enhance finance in supply chains [J]. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2010, 13 (2): 133-142.
- [32] Alavi S. H, Jabbarzadeh A. Supply chain network design using trade credit and bank credit: A robust optimization model with real world application [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2018, 125: 69-86.
- [33] Chen, X., Lu, Q., Cai, G. Buyer financing in pull supply chains: Zero-interest early payment or in-house factoring? [J]. *Production and Operations Management*, 2020, 29 (10): 2307-2325.
- [34] Deng, L., Cao, C., Li, W. The Influence of Carbon Emission Trading Prices on Financing Decisions of Supply Chain Constrained by Capital Under The Carbon Emission Reduction Percentage Policy. <https://www.researchgate.net/profile/Liurui-Deng/research>.
- [35] 曹细玉, 张杰芳. 碳减排补贴与碳税下的供应链碳减排决策优化与协调 [J]. *运筹与管理*, 2018, 27 (04): 57-61.
- [36] An, S., Li, B., Song, D. et al. Green credit financing versus trade credit financing in a supply chain with carbon emission limits [J]. *European Journal of Operational Research*, 2021, 292 (1): 125-142.