

考虑双主体公平关切的网购供应链碳减排与定价决策

傅文婧¹, 王桦^{1,2*}, 许朝阳¹

¹南京邮电大学管理学院, 江苏 南京

²电子科技大学广东电子信息工程研究院, 广东 东莞

收稿日期: 2026年2月5日; 录用日期: 2026年2月24日; 发布日期: 2026年3月13日

摘要

本文建立了双主体(制造商与线上零售商)公平关切下的网购供应链碳减排与定价模型, 研究了双主体公平关切水平、碳减排成本系数及消费者低碳偏好系数对网购供应链最优决策(碳减排量、批发价格、零售价格、市场需求)及均衡结果(网购供应链及其成员效用、环境收益)的影响, 比较了考虑与不考虑公平关切下网购供应链最优决策与均衡结果。结果表明, 线上市场潜在需求、低碳偏好系数对碳减排量、网购供应链及其成员效用、环境收益均有正向影响, 而碳减排成本系数呈负向影响。制造商与线上零售商的公平关切水平提升均会削弱碳减排量、制造商与网购供应链效用与环境收益, 而线上零售商的公平关切水平的提升会增加线上零售商效用, 且制造商公平关切水平的提升会降低线上零售商效用。制造商与线上零售商考虑公平关切时的碳减排量、制造商及网购供应链效用、环境收益均低于未考虑公平关切的情形, 而考虑公平关切的线上零售商效用可能高于未考虑公平关切的情形。本文的研究为低碳制造商与线上零售商平衡经济绩效与环境收益、制定适配的减排策略与定价方案提供指导。

关键词

双主体公平关切, 网购供应链, 碳减排, 低碳偏好, 定价决策

Online Supply Chain Carbon Emission Reduction and Pricing Decisions Considering Fairness Concerns of Dual Subjects

Wenjing Fu¹, Hua Wang^{1,2*}, Zhaoyang Xu¹

¹School of Management, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu

²Institute of Electronic and Information Engineering of UESTC in Guangdong, Dongguan Guangdong

*通讯作者。

文章引用: 傅文婧, 王桦, 许朝阳. 考虑双主体公平关切的网购供应链碳减排与定价决策[J]. 电子商务评论, 2026, 15(3): 839-849. DOI: 10.12677/ecl.2026.153341

Abstract

This paper establishes a carbon reduction and pricing model for online shopping supply chains under dual-subject fairness concerns (manufacturers and online retailers). It examines how the level of fairness concerns held by both subjects, the carbon reduction cost coefficient, and the consumer low-carbon preference coefficient influence optimal decisions within the online shopping supply chain (carbon reduction volume, wholesale price, retail price, market demand) and equilibrium outcomes (utility of the online shopping supply chain and its members, environmental benefits). The model compares optimal decisions and equilibrium outcomes with and without incorporating fairness concerns. Findings indicate that potential online market demand and the low-carbon preference coefficient exert positive effects on carbon reduction volume, utility of the supply chain and its members, and environmental benefits, whereas the carbon reduction cost coefficient exerts a negative effect. Increased fairness concerns among both manufacturers and online retailers diminish carbon emissions reductions, manufacturer and e-commerce supply chain utility, and environmental benefits. However, heightened fairness concerns among online retailers boost their own utility, whereas increased concerns among manufacturers reduce online retailer utility. When manufacturers and online retailers consider fairness concerns, carbon reduction levels, manufacturer and e-commerce supply chain utility, and environmental benefits are lower than when fairness concerns are disregarded. Conversely, online retailers considering fairness concerns may experience higher utility than those disregarding such concerns. This research provides guidance for low-carbon manufacturers and online retailers to balance economic performance and environmental benefits, and to formulate appropriate emission reduction strategies and pricing schemes.

Keywords

Dual-Subject Equity Concerns, E-Commerce Supply Chain, Carbon Reduction, Low-Carbon Preferences, Pricing Decisions

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来，全球双碳目标与气候治理规则日益趋紧，欧盟 CBAM、美国《通胀削减法案》等推动供应链低碳转型成为刚性约束。我国虽单位 GDP 能耗持续下降，但工业碳排放总量仍居高不下，供应链碳减排已成为与利益分配、主体碳排放与定价决策行为深度绑定的系统工程。碳减排投入直接改变企业成本结构，制造商需承担相关支出并应对各类风险。与此同时，网购市场持续扩容，国家统计局《2021~2025 年全年国民经济运行情况发布》表明，2021~2025 年全国网上零售额由 13.09 万亿元稳步增至 15.97 万亿元，2024 年实物商品网上零售额占社会消费品零售总额比重 26.8%，快递业务量突破 1800 亿件。实体零售加速数字化转型，跨境电商与技术创新成为行业发展核心动力。但电商平台与入驻商家的利润分配矛盾突出，平台占据超额利润而商家承担高额成本，这种格局使供应链成员不再单纯追求绝对收益最大化，其收益对比行为直接影响协同效率与减排投入意愿。

如何在线上零售商与制造商均考虑公平关切(即双主体公平关切)的约束下，平衡碳减排投入与利益

分配,制定科学的定价与减排策略,成为低碳网购供应链管理的核心议题。因此本文聚焦以下三个问题:(1)双主体公平关切下的碳减排和定价决策是如何决定的?(2)制造商与线上零售商的公平关切、消费者低碳偏好系数、碳减排成本系数是如何影响网购供应链最优决策(碳减排量、线上销售价格、需求)以及均衡结果(网购供应链及成员效用、环境收益)的?(3)与不考虑公平关切比较,考虑双主体公平关切下的网购供应链最优决策与均衡结果将如何变化?

现有相关研究主要集中于供应链碳减排决策研究与公平关切对供应链决策的影响研究。供应链碳减排决策研究均围绕特定影响因素展开,揭示其作用机制。梁喜和余婷[1]以消费者低碳偏好为核心,构建双渠道供应链,发现其会推动加大碳减排投入。熊峰等[2]聚焦双渠道绿色供应链,指出需优化绿色投入分配与差异化定价。Zhen和Ren[3]针对农业供应链,提出碳减排资金需求使融资决策成为前提,融资成本波动会影响减排效率。毋博和周建亨[4]认为需求与碳交易价格的双重不确定性会冲击减排收益稳定性,削弱企业减排积极性。Cheng等[5]针对钢铁原材料供应链,指出碳减排目标约束会推动供应链动态优化。王珊珊等[6]研究竞争型供应链,发现碳减排技术的投资成本与溢出效应随竞争强度变化,形成适配不同场景的投资策略。赵达等[7]指出碳减排投入决定产品低碳属性,需适配消费者价格与低碳双敏感需求。陈克兵和王雨琦[8]发现,政府补贴形式差异直接决定减排决策方向,间接补贴激励效果较弱。

公平关切作为供应链成员核心行为特征,显著影响其决策选择。张玲红等[9]构建考虑零售商公平关切与广告努力的供应链模型,证实需结合广告投入设计协同机制以平衡利益与目标。韩同银等[10]在双渠道绿色供应链中发现,公平关切会降低产品绿色度与定价,优化补贴或契约可缓解该效应。Li等[11]结合混合碳政策与零售商公平关切,揭示其对供应链资源配置的重构作用。邹清明等[12]基于碳交易机制,证实公平关切会改变产出不确定场景下的供应链决策方向。

更多研究围绕复杂场景拓展公平关切的影响分析。Ji等[13]聚焦二手产品市场,揭示电商零售商公平关切对供应链利益分配的显著影响。Zhong-Ping等[14]基于纳什议价理论构建公平关切模型,设计多主体利益协调机制以化解冲突。Wu等[15]针对资金约束供应链,证实公平关切会加剧资金缺口对运营的制约。杨建华等[16]在信息不对称场景下,间接证实公平关切与供应链权力结构的交互影响。曹晓刚等[17]构建混合回收渠道闭环供应链模型,发现回收竞争会降低废旧产品总回收量。

本文与上述研究存在两点核心差异:一是场景与主体设定更贴合网购供应链现实,现有研究多聚焦传统双渠道或通用平台供应链,未针对性刻画制造商与线上零售商的双主体博弈特征,本文则以网购供应链为专属场景,聚焦二者公平关切的交互影响,更契合实际运营决策;二是研究维度与均衡结果分析更全面,现有研究多侧重利润维度,未量化双主体公平关切下的环境收益,本文兼顾经济绩效与环境效益,将环境收益纳入分析体系,并对比有无公平关切下的最优决策与均衡结果差异。

基于此,本文构建考虑双主体公平关切的网购供应链碳减排与定价决策模型,探究碳减排成本、消费者低碳偏好及双主体公平关切水平对决策与均衡结果的影响,结合数值实验,分析线上市场潜在需求等因素对碳减排量、供应链及成员效用、环境收益的联合作用,为低碳企业平衡经济与环境收益、制定减排策略提供理论与实践支撑。

2. 模型描述与假设

考虑一个投资碳减排技术的制造商与一个销售低碳产品的线上零售商构成的线上低碳供应链。制造商为主导者,线上零售商为跟随者。制造商与线上零售商均具有公平关切行为。制造商先决定产品的碳减排量与批发价格,线上零售商再确定产品的线上零售价格。为了建立模型,提出以下假设:

假设 1: 消费者具有低碳偏好行为,即需求函数是碳减排量的增函数,即需求函数为 $D = A - p + \eta e$, 其中 A ($A > 0$) 为线上市场潜在需求, p 为线上销售价格, e 为制造商的单位碳减排量。

假设 2: 制造商进行碳减排技术投资, 参照韩同等[14]研究, 碳减排技术创新投入成本为 $C_e = \frac{1}{2}ke^2$, 其中 k ($k > 0$) 为碳减排成本系数, 且为使渠道模型具有最优解, 假设

$$k > \max \left\{ \frac{1}{4}\eta^2, \frac{\eta^2(1+\lambda+\mu)^2}{2(1+2\lambda)(1+\mu)[2+3\mu+2\lambda(1+\mu)]} \right\}。$$

假设 3: 为了量化环境收益, 参照 Gao 等[18]研究, 环境收益的函数为 $EB = eD$ 。

假设 4: 不失一般性, 假设制造商的单位产品生产成本为 0 [15], 即 $c = 0$ 。

主要变量及参数如表 1 所示。

Table 1. Decision variables and key parameters and their meanings

表 1. 决策变量与主要参数及其含义

主要参数	含义	决策变量	含义
λ ($\lambda > 0$)	线上零售商的公平关切水平	e^j ($e > 0$)	j 下单位碳减排量
μ ($\mu > 0$)	制造商的公平关切水平	$w^j > 0$ ($w^j > 0$)	j 下单位批发价格
t ($t > 0$)	网购配送时间	p^j ($w^j \geq c^j$)	j 下线上销售价格
k ($0 < k < 1$)	减排成本系数	D^j	j 下供应链的需求函数
η ($0 < \eta < 1$)	消费者的低碳偏好系数		
γ ($0 < \gamma < 1$)	消费者对配送时间的敏感度系数		
c ($0 \leq c \leq w$)	产品的单位生产成本, 不失一般性, 假设 $c = 0$		
上下标	含义	均衡结果	含义
\cdot^j ($j = N, C$)	$j = N, C$ 分别表示不考虑公平关切和考虑双主体公平关切	π_i^j	j 下供应链或 i 成员的利润函数
\cdot^{j*} ($j = N, C$)	*表示最优解	U_i^j	j 下供应链或 i 的效用函数
\cdot_i^{j*} ($i = r, m$)	$i = r, m$ 分别表示线上零售商和制造商	EB^j	j 下供应链的环境收益

3. 不考虑与考虑公平关切的网购供应链碳减排与定价决策

3.1. 不考虑公平关切的网购供应链碳减排与定价决策

首先探究不考虑公平关切下网购供应链碳减排与定价决策问题。此时, 网购供应链的需求函数、线上零售商和制造商的利润、网购供应链的利润、环境收益可表示为:

$$D = A - p + \eta e - \gamma t \tag{1}$$

$$\pi_r = (p - w)D \tag{2}$$

$$\pi_m = wD - \frac{1}{2}ke^2 \tag{3}$$

$$\pi = pD - \frac{1}{2}ke^2 \tag{4}$$

$$EB = eD \tag{5}$$

命题 1: 均不考虑公平关切时, 最优决策变量与均衡结果分别为: $w^{N^*} = \frac{2k(A-\gamma t)}{L_1}$, $e^{N^*} = \frac{\eta(A-\gamma t)}{L_1}$,
 $p^{N^*} = \frac{3k(A-\gamma t)}{L_1}$, $D^{N^*} = \frac{k(A-\gamma t)}{L_1}$, $\pi_r^{N^*} = \frac{k^2(A-\gamma t)^2}{L_1^2}$, $\pi_m^{N^*} = \frac{k(A-\gamma t)^2}{2L_1}$, $\pi^{N^*} = \frac{k(6k-\eta^2)(A-\gamma t)^2}{2L_1^2}$,
 $EB^{N^*} = \frac{k\eta(A-\gamma t)^2}{L_1^2}$, 其中, $L_1 = 4k - \eta^2$ 。

限于篇幅, 所有证明过程省略, 如需要, 可与作者联系。

3.2. 考虑双主体公平关切的网购供应链碳减排与定价决策

本节考虑线上零售商与制造商均具有公平关切行为, 即线上零售商及制造商不仅关注自己的利润还关注对方的利润做出碳减排与定价决策。采用 Stackelberg 博弈框架, 制造商先决定批发价 w 和减排水平 e , 线上零售商后决定线上价格 p , 双方均以自身效用最大化为目标。效用函数分别为:

$$U_r(\pi) = (1 + \lambda)\pi_r - \lambda\pi_m \quad (6)$$

$$U_m(\pi) = (1 + \mu)\pi_m - \mu\pi_r \quad (7)$$

其中, λ ($\lambda > 0$) 是线上零售商公平关切系数, μ ($\mu > 0$) 是制造商公平关切系数。

命题 2: 制造商与线上零售商均考虑公平关切时, 最优批发价格、单位减排量、线上销售价格、线上零售商、制造商的最优利润、效用、最优环境收益分别为: $w^{C^*} = \frac{2k(A-\gamma t)(1+\lambda)^2(1+\mu)(1+2\mu)}{L_6-L_7}$,

$$e^{C^*} = \frac{\eta(A-\gamma t)(1+\lambda+\mu)^2}{L_6-L_7}, \quad p^{C^*} = \frac{k(A-\gamma t)(1+2\lambda)(1+\mu)L_2}{L_6-L_7}, \quad D^{C^*} = \frac{k(A-\gamma t)(1+2\lambda)(1+\mu)(1+\lambda+\mu)}{L_6-L_7},$$

$$\pi_r^{C^*} = \frac{k^2(A-\gamma t)^2(1+2\lambda)(1+\mu)^2(1+\lambda+\mu)L_3}{(L_6-L_7)^2}, \quad \pi_m^{C^*} = \frac{k(A-\gamma t)^2(1+\lambda+\mu)L_4}{2(L_6-L_7)^2}, \quad U_r^{C^*} = \frac{k(A-\gamma t)^2 L_5}{2(L_6-L_7)^2},$$

$$U_m^{C^*} = \frac{k(A-\gamma t)^2(1+\mu)(1+\lambda+\mu)^2}{2(L_6-L_7)}, \quad EB^{C^*} = \frac{k\eta(A-\gamma t)^2(1+2\lambda)(1+\mu)(1+\lambda+\mu)^3}{(L_6-L_7)^2}, \quad \text{其中}$$

$$L_2 = 3 + 5\mu + \lambda(3 + 4\mu), \quad L_3 = 1 + \mu + \lambda[5 + 6\mu + 4\lambda(1 + \mu)],$$

$$L_4 = -\eta^2(1 + \lambda + \mu)^3 + 4k(1 + \lambda)^2(1 + 2\lambda)(1 + \mu)^2(1 + 2\mu),$$

$$L_5 = 2k(1 + \lambda)(1 + 2\lambda)^2(1 + \mu)^2(1 + \lambda + \mu)^2 + \eta^2\lambda(1 + \lambda + \mu)^4, \quad L_6 = 2k(1 + 2\lambda)(1 + \mu)[2 + 3\mu + 2\lambda(1 + \mu)],$$

$$L_7 = \eta^2(1 + \lambda + \mu)^2。$$

4. 敏感性分析与比较分析

4.1. 敏感性分析

命题 3 分析了不考虑公平关切下碳减排成本系数(k)、消费者低碳偏好系数(η)、对最优批发价格、碳减排量、线上销售价格、需求、网购供应链及成员利润、环境收益的影响。

命题 3(1) $\frac{\partial w^{N^*}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial e^{N^*}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial p^{N^*}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial D^{N^*}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi_r^{N^*}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi_m^{N^*}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi^{N^*}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial EB^{N^*}}{\partial k} < 0$ 。

(2) $\frac{\partial w^{N^*}}{\partial \eta} > 0$, $\frac{\partial e^{N^*}}{\partial \eta} > 0$, $\frac{\partial p^{N^*}}{\partial \eta} > 0$, $\frac{\partial D^{N^*}}{\partial \eta} > 0$, $\frac{\partial \pi_r^{N^*}}{\partial \eta} > 0$, $\frac{\partial \pi_m^{N^*}}{\partial \eta} > 0$, $\frac{\partial \pi^{N^*}}{\partial \eta} > 0$, $\frac{\partial EB^{N^*}}{\partial \eta} > 0$ 。

命题 3(1)表明, 随着碳减排成本系数(k)的增加, 最优决策变量与均衡结果均下降。这表明减排成本

系数的增加会对网购供应链各环节产生全面抑制作用。命题 3 (2)表明, 随着低碳偏好系数(η)的增加, 最优决策变量与均衡结果均上升。表明消费者低碳偏好系数的增加能有效提升网购供应链及成员的绩效以及环境收益。因为市场对低碳产品的需求弹性增强, 促使制造商提高碳减排水平以刺激需求, 线上零售商则通过提价实现利润最大化。命题 4 分析了双主体公平关切下碳减排成本系数(k)、消费者低碳偏好系数(η)、对最优决策变量与均衡结果的影响。

$$\text{命题 4: (1) } \frac{\partial w^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial e^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial p^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial D^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial \pi_r^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial \pi_m^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial \pi^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial U_r^{C^*}}{\partial k} < 0, \\ \frac{\partial U_m^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial U^{C^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial EB^{C^*}}{\partial k} < 0;$$

$$(2) \frac{\partial w^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial e^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial p^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial D^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial \pi_r^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial \pi^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial \pi^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial U_r^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial U_m^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \\ \frac{\partial U^{C^*}}{\partial \eta} > 0, \frac{\partial EB^{C^*}}{\partial \eta} > 0。$$

命题 4 (1)表明, 随着 k 的增加, 最优碳减排量、批发价格、线上销售价格与销量、制造商与线上零售商与网购供应链的利润与效用、环境收益均下降。这与不考虑公平关切时情形一致。这是因为碳减排成本系数上升会直接削弱制造商的减排动力, 进而影响各环节的定价、销量、利润与效用。

命题 4 (2)表明, 随着 η 的增加, 最优碳减排量、批发价格、线上销售价格与销量、制造商与线上零售商与网购供应链利润与效用、环境收益均提高。这与不考虑公平关切时情形一致。这是因为市场对低碳产品的需求弹性的增强会促使制造商通过提高碳减排水平来刺激需求, 而线上零售商则通过提价实现效用最大化, 形成双赢局面。命题 5 分析了双主体公平关切下 λ 、 μ 对决策变量(最优碳减排量、批发价格、线上销售价格、需求量)的影响。

$$\text{命题 5: (1) } \frac{\partial w^{C^*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial e^{C^*}}{\partial \lambda} < 0; \text{ 当 } k < k_1 \text{ 时, } \frac{\partial p^{C^*}}{\partial \lambda} < 0; \frac{\partial D^{C^*}}{\partial \lambda} < 0。$$

$$(2) \text{ 当 } k < k_2 \text{ 时, } \frac{\partial w^{C^*}}{\partial \mu} < 0, \frac{\partial e^{C^*}}{\partial \mu} < 0, \frac{\partial p^{C^*}}{\partial \mu} < 0, \frac{\partial D^{C^*}}{\partial \mu} < 0。$$

命题 5 (1)表明, 线上零售商公平关切系数 λ 的增大会导致最优碳减排量、批发价格、需求量下降; 碳减排成本系数 k 较小时, 该系数增大还会使线上销售价格下降, 因此双方需根据该系数调整定价与减排决策。命题 5 (2)显示, k 较小时, 制造商公平关切系数 μ 对上述四项指标均呈负影响, 原因是双主体公平关切削弱彼此议价能力, 制造商降低减排投入与批发价, 而售价和需求变化受成本系数阈值约束, 体现二者联合影响。命题 6 分析了双主体公平关切下相关参数对均衡结果的影响。

$$\text{命题 6: (1) } \frac{\partial U_m^{C^*}}{\partial \lambda} < 0; \frac{\partial EB^{C^*}}{\partial \lambda} < 0。 (2) \frac{\partial U_r^{C^*}}{\partial \mu} < 0; \text{ 当 } k < k_3 \text{ 时, } \frac{\partial U_m^{C^*}}{\partial \mu} < 0; \frac{\partial EB^{C^*}}{\partial \mu} < 0。$$

命题 6 (1)表明, 在双主体公平关切下, 线上零售商公平关切系数 λ 对均衡结果产生负影响。命题 6 (2)表明, 在双主体公平关切下, 制造商公平关切系数 μ 对线上零售商效用以及环境收益产生负影响; 当碳减排成本系数 k 较低时, μ 对制造商效用负影响。企业可通过技术创新降低碳减排成本(降低 k), 或设计公平性契约, 来缓解公平关切带来的需求、效用与环境收益的下滑。

4.2. 比较分析

命题 7 对比分析了不考虑公平关切下和考虑双主体公平关切下的最优决策变量。

$$\text{命题 7: 当 } k < k_4 \text{ 时, } w^{C^*} < w^{N^*}, e^{C^*} < e^{N^*}, p^{C^*} < p^{N^*}, D^{C^*} < D^{N^*}。$$

命题 7 表明, 碳减排成本系数 k 较小时, 考虑双主体公平关切会降低网购供应链的批发价、碳减排

量、线上售价及市场需求，核心原因是双主体公平关切重构利益分配，制造商降低减排投入与批发价，零售商不盲目提价，导致整体收缩；此阶段企业不宜过度强调公平关切，需平衡公平与整体效益，规避供需及效益下滑。命题 8 对比了有无双主体公平关切下，线上零售商与制造商的最优效用及环境收益。

命题 8: 当 $k < k_5$ 时, $U_r^{C^*} < U_r^{N^*}$, $U_m^{C^*} < U_m^{N^*}$, $EB^{C^*} < EB^{N^*}$ 。

命题 8 表明，当碳减排成本系数 k 较小时，考虑双主体公平关切的均衡结果均低于不考虑公平关切的情况：制造商因公平关切被迫降低减排强度与批发价，利润空间受挤压导致效用下降；环境收益随减排量收缩而下滑。同时，二者存在交互作用，此阶段需将公平关切与双赢协调契约绑定，通过制造商让渡部分减排收益、零售商承担少量减排成本，规避博弈效率损失，实现效用与环境收益双提升。

结合命题 7、8 进一步分析，制造商公平关切对线上零售商的负面冲击显著大于后者对前者的影响：制造商作为先动者，掌控减排量与批发价决策权，其公平关切引发的组合决策调整会直接削弱产品竞争力、压缩零售商利润，而零售商仅能通过零售价被动应对且调整受限，二者决策权力差异导致制造商公平关切形成“双重挤压”，对零售商影响更大。

5. 数值实验

本节用数值实验探索线上市场潜在需求、公平关切系数、消费者低碳偏好系数对碳减排量、网购供应链及成员效用、环境收益的影响。参考文献 [13] 中参数的设置，令 $A \in \{0.1, 0.5, 0.9\}$ ， $k = 0.5$ ， $\eta \in \{0.1, 0.5, 0.9\}$ ， $\lambda、\mu \in [0, 1]$ ， $t = 0.1$ ， $\gamma = 0.2$ 。

5.1. $A、\eta、\lambda、\mu$ 对碳减排量的影响

图 1 表明，碳减排量随 A 增大而提升；随着 η 的增加，碳减排量提升，即 η 对碳减排量起着正影响，这完善了命题 3、4 中 η 对决策变量影响的结论；不论 A 和 η 为何值，随着 $\lambda、\mu$ 的增加，碳减排量均将减少，即 $\lambda、\mu$ 对碳减排量起着负影响，与命题 5、6 的结论一致。

图 1 还表明，考虑双主体公平关切下的最优碳减排量低于不考虑公平关切的情形，且随着 $\lambda、\mu$ 的增加，考虑双主体公平关切下的最优碳减排量越低于不考虑的情形。

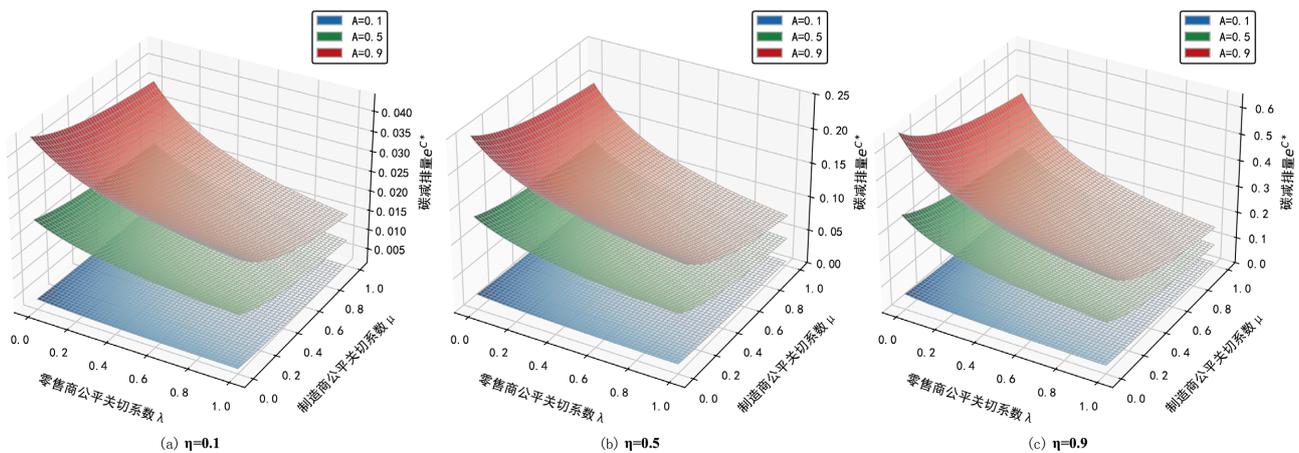


Figure 1. The impact of A, η, λ and μ on carbon emissions reduction

图 1. $A、\eta、\lambda、\mu$ 对碳减排量的影响

最后，图 1 表明，当 A 和 η 组合不同时，碳减排量的绝对水平差异明显。因此，从碳减排量角度来看，制造商应结合市场低碳偏好 η 、线上市场潜在需求 A 及网购供应链主体的公平关切程度，选择最优

定价和碳减排策略，以实现经济与环境的协同效益。

5.2. A 、 η 、 λ 、 μ 对网购供应链及成员效用的影响

图 2~4 表明，网购供应链及成员效用均随线上潜在需求 A 增大而提升，体现了 A 的正向驱动作用。随着消费者低碳偏好系数 η 的提升，各项效用将上升，即 η 对网购供应链及成员效用均起到积极影响。

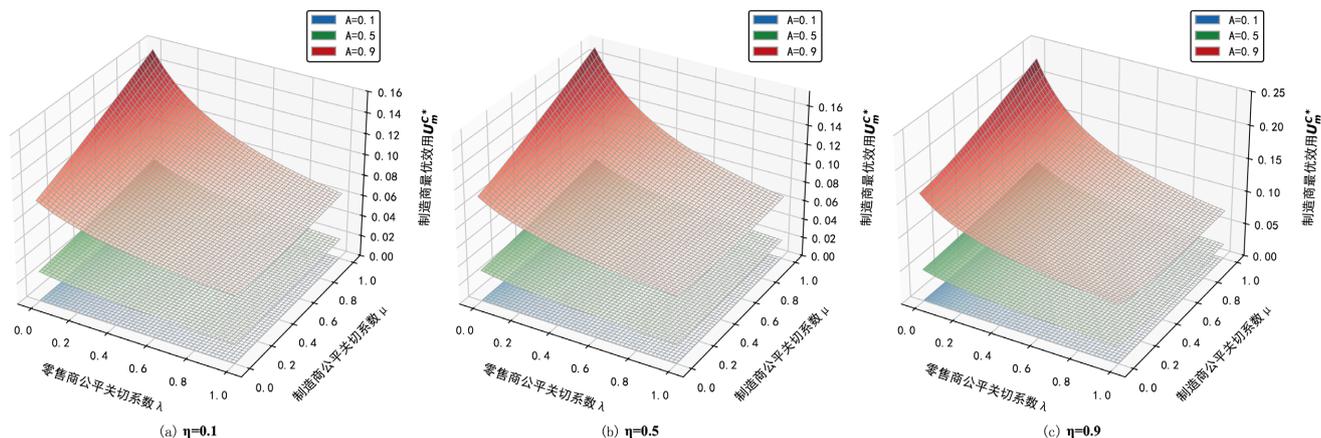


Figure 2. Comparison of manufacturer utility under different scenarios A , η , λ and μ

图 2. 不同 A 、 η 、 λ 、 μ 下制造商效用的比较

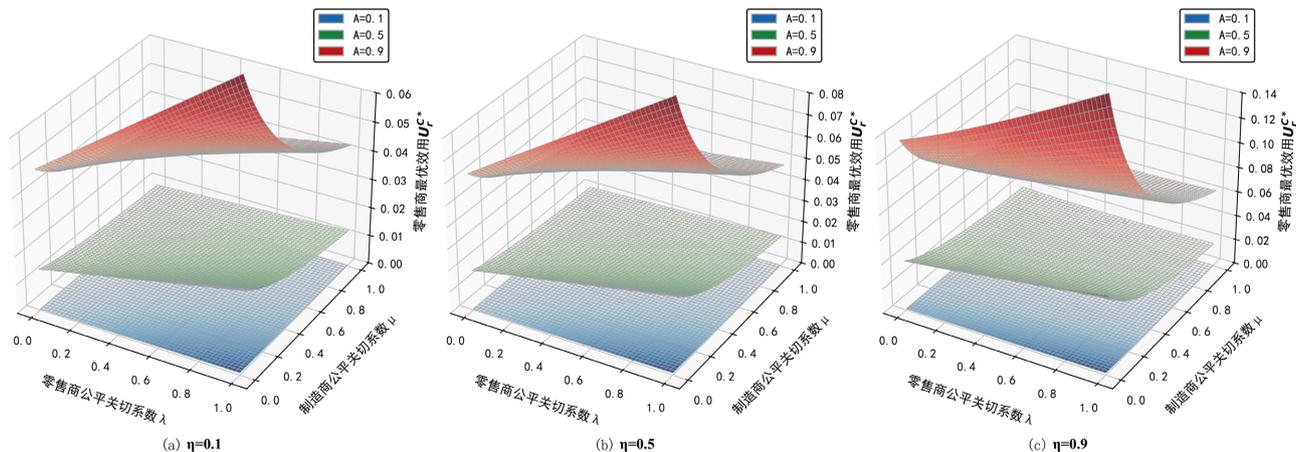


Figure 3. Comparison of retailer utility under different scenarios A , η , λ and μ

图 3. 不同 A 、 η 、 λ 、 μ 下线上零售商效用的比较

图 2~4 还表明，无论线上市场潜在需求 A 及低碳偏好系数 η 取何值，随着 λ 、 μ 的增加，制造商效用与网购供应链效用均明显下降；而线上零售商效用则随 λ 提升而升高、随 μ 提升而减少，反映出线上零售商在公平诉求强化后利益分配优势更加明显。进一步对比发现，考虑双主体公平关切时，制造商效用和网购供应链总效用均低于未考虑公平关切的情形。这一特征说明公平关切机制有利于弱势方(线上零售商)的效用实现，却削弱了主导方(制造商)与整个系统的效用。

最后，图 2~4 表明， A 、 η 组合不同，网购供应链及成员效用的绝对水平差异显著。从实际管理角度看，制造商及网购供应链主体应结合市场低碳偏好 η 、潜在需求 A ，以及公平关切系数的合理设定，匹配经营策略，以保障自身与整体效用的协同提升。

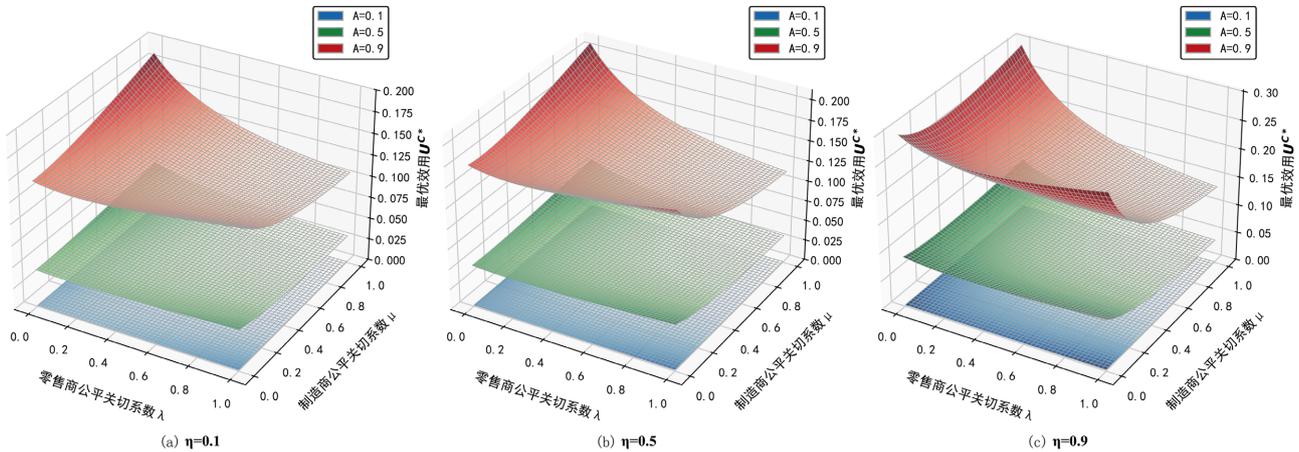


Figure 4. Comparison of e-commerce supply chain efficiency under different scenarios A , η , λ and μ

图 4. 不同 A 、 η 、 λ 、 μ 下网购供应链效用的比较

5.3. A 、 η 、 λ 、 μ 对环境收益的影响

图 5 表明, 最优环境收益随 A 增大而提升, 体现 A 对网购供应链环境收益的正影响; 随着 η 的增加, 最优环境收益呈上升趋势, 即 η 对环境收益起着正影响; 不论 A 和 η 为何值, 随着 λ 、 μ 的增加, 最优环境收益均将减少, 即 λ 、 μ 对环境收益起着负影响。

图 5 还表明, 考虑双主体公平关切下的最优环境收益低于不考虑公平关切的情形, 且随着 λ 、 μ 的增加, 考虑双主体公平关切下的最优环境收益越低于不考虑的情形。

最后, 图 5 表明, 当 A 和 η 组合不同时, 最优环境收益的绝对水平差异明显。因此, 从环境收益角度来看, 制造商应结合市场低碳偏好 η 、线上市场潜在需求 A 及网购供应链主体的公平关切程度, 选择最优定价和碳减排策略, 以提升网购供应链的环境收益。

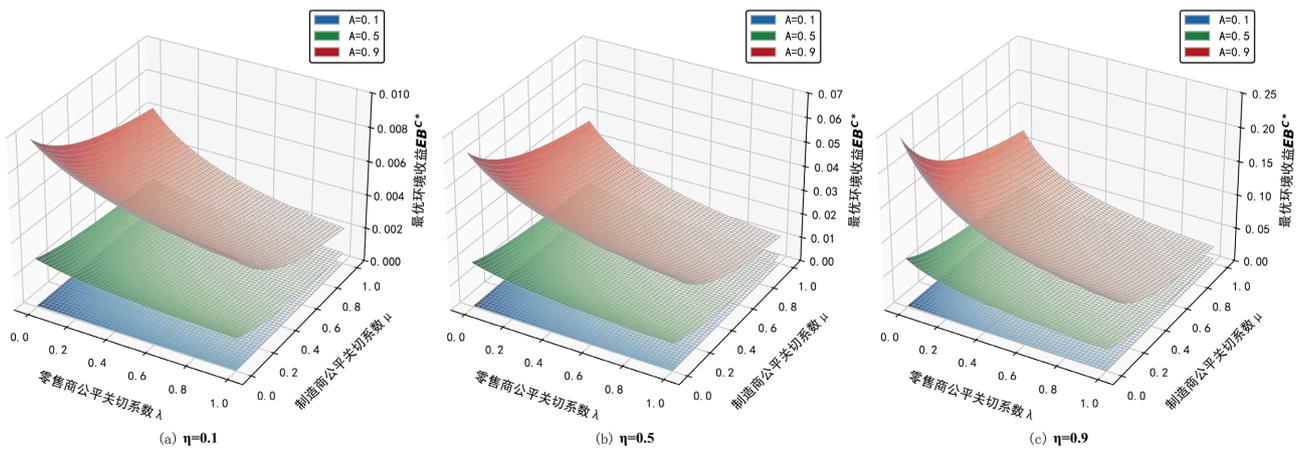


Figure 5. Comparison of environmental benefits under different scenarios A , η , λ and μ

图 5. 不同 A 、 η 、 λ 、 μ 下环境收益的比较

6. 结束语

本文建立了考虑双主体公平关切的网购供应链碳减排与定价决策模型, 研究了线上市场潜在需求、消费者低碳偏好、双主体公平关切系数等对碳减排量、环境收益、网购供应链及成员效用的影响, 比较

了有无公平关切情形下的网购供应链最优决策与均衡结果，并用数值实验探索了参数组合对碳减排量、网购供应链及其成员效用与环境收益的调节作用。主要结论和管理意义如下：

(1) 线上市场潜在需求对碳减排量呈正向驱动，需求规模越大，制造商越愿意通过提升碳减排水平抢占市场；消费者低碳偏好同样正向影响碳减排量，消费者对低碳产品的认可会强化制造商的减排动力；碳减排成本系数越高，单位减排投入的成本压力越大，碳减排量会相应降低；双主体公平关切程度对碳减排量呈负向作用，公平关切的强化会使企业削减减排投入、更关注收益分配。

(2) 线上市场潜在需求与消费者低碳偏好均对网购供应链及其成员效用呈正向影响，二者的提升能同步扩大市场收益、实现各主体效用增长；碳减排成本系数越高，双方利润空间被挤压，网购供应链及成员效用会随之下降；双主体公平关切程度对制造商效用、网购供应链效用呈负向影响，但存在临界条件使得线上零售商效用随线上零售商公平关切系数提升而增加、随制造商公平关切系数提升而减少。

(3) 线上潜在需求越大，碳减排水平越大，环境收益越大；消费者低碳偏好越强，制造商减排动力越足，单位产品碳排放量降低，环境收益增加；碳减排成本系数上升会导致减排力度不足，直接降低环境收益的实现程度；双主体公平关切程度越高，碳减排量受抑制，环境改善效果减弱，环境收益减少。

(4) 考虑公平关切时碳减排量、制造商效用、网购供应链效用、环境收益均低于不考虑的情形，且公平关切程度越大，差距越明显；存在临界制造商公平关切水平，当制造商公平关切水平较低时，考虑公平关切时的线上零售商效用高于未考虑公平关切时的线上零售商效用。

(5) 现实中，双主体公平关切体现为供应链主导权与利润分配的双重博弈：制造商凭借主导地位制定规则、调整决策组合，线上零售商则坚守利润底线抵制过度成本转嫁，二者诉求本质均为利益分配公平，但因话语权不对称呈现差异化影响。低碳网购供应链协同需兼顾公平与效率：制造商应弱化公平关切、让渡部分收益并共担减排成本，零售商需理性表达诉求；双方可通过签订契约明确核心条款、建立信息共享机制，实现碳减排、定价与利益分配的协同优化。

本文以网购供应链为研究场景，而现实中企业渠道策略更为多元复杂。未来研究可拓展至多渠道对比分析，探究单渠道与多渠道等模式下，碳减排、定价及利润的差异，明确各类渠道的适用条件与边界；也可引入供应链契约(如成本共担、收益共享)等外部变量，分析其对网购供应链决策的调节作用，进一步丰富网购供应链管理的研究体系，为企业提供更具针对性的渠道与决策优化方案。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(72001117)；中国博士后科学基金资助项目(2024T170106)；广东省基础与应用基础研究基金资助项目(2023A1515110645)；江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX25_1274)。

参考文献

- [1] 梁喜, 余婷. 基于消费者偏好的低碳双渠道供应链定价与减排策略[J]. 运筹与管理, 2020, 29(12): 107-117.
- [2] 熊峰, 魏瑶瑶, 王琼林, 等. 考虑成员风险规避的双渠道绿色供应链定价与绿色投入决策研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(8): 267-276.
- [3] Zhen, Z. and Ren, Y. (2025) Financing and Carbon Emission Decisions in an Agriculture Supply Chain with Demand Information Asymmetry. *Journal of Cleaner Production*, **531**, Article ID: 146794. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146794>
- [4] 毋博, 周建亨. 需求和碳交易价格不确定性下的供应链碳减排激励[J]. 中国管理科学, 2025, 33(9): 349-358.
- [5] Cheng, C., Chu, H., Zhang, L. and Tang, L. (2024) Green Supply Chain for Steel Raw Materials under Price and Demand Uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, **462**, Article ID: 142621. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142621>
- [6] 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(6): 73-82.
- [7] 赵达, 朱少棠, 胡祥培. 碳限额与交易政策下考虑双敏感消费者的双渠道供应链决策研究[J]. 管理工程学报,

- 2025, 39(6): 163-177.
- [8] 陈克兵, 王雨琦. 基于政府不同补贴形式下的绿色产品制造商渠道选择策略分析[J]. 中国管理科学, 2024, 32(3): 167-177.
- [9] 张玲红, 刘方媛, 朱立龙, 等. 考虑零售商公平关切与广告努力水平的碳减排策略研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(4): 138-148.
- [10] 韩同银, 刘丽, 金浩. 考虑政府补贴和公平关切的双渠道绿色供应链决策研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(4): 194-204.
- [11] Li, P., Ai, S. and Zeng, Y. (2025) Optimal Strategies in a Manufacturer-Led Supply Chain under Hybrid Carbon Policies and Retailer's Fairness Concerns. *Sustainability*, **17**, Article No. 6309. <https://doi.org/10.3390/su17146309>
- [12] 邹清明, 刘春, 曹裕. 碳交易机制下考虑公平关切产出不确定的低碳供应链减排与融资策略研究[J]. 中国管理科学, 2024, 32(9): 248-259.
- [13] Ji, Y., Qiu, R., Ji, S., Sun, M. and Fan, Z. (2026) e-Retailer's Secondhand Product Market Entry and Manufacturer's Rebate Decisions Considering Fairness Concerns. *European Journal of Operational Research*, **329**, 219-238. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2025.07.018>
- [14] Li, Z., Wang, J., Perera, S. and Shi, J. (2022) Coordination of a Supply Chain with Nash Bargaining Fairness Concerns. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **159**, Article ID: 102627. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102627>
- [15] Wu, H., Weng, J., Li, G. and Zheng, H. (2024) Green Subsidy Strategies and Fairness Concern in a Capital-Constrained Supply Chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **192**, Article ID: 103693. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103693>
- [16] 杨建华, 解雯倩, 孙艺源, 等. 信息不对称下考虑供应链主导结构的产品定价及绿色推广决策研究[J]. 运筹与管理, 2025, 34(3): 76-83.
- [17] 曹晓刚, 曹博威, 闻卉. 考虑公平关切的混合回收渠道闭环供应链决策研究[J/OL]. 中国管理科学, 2024: 1-21. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0619>, 2025-12-01.
- [18] Gao, J., Xiao, Z. and Wei, H. (2021) Competition and Coordination in a Dual-Channel Green Supply Chain with an Eco-Label Policy. *Computers & Industrial Engineering*, **153**, Article ID: 107057. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107057>