

控制与决策

Control and Decision

考虑低碳商誉的产能需求方绿色转型策略

赵道致, 杨爽, 韩红帅, 袁紫微

引用本文:

赵道致, 杨爽, 韩红帅, 等. 考虑低碳商誉的产能需求方绿色转型策略[J]. *控制与决策*, 2025, 40(11): 3363–3372.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2025.0444>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

考虑碳限额的制造/再制造混合系统生产优化决策

Production optimization decision of manufacturing/remanufacturing under carbon emission permits

控制与决策. 2021, 36(9): 2249–2256 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1457>

混合碳政策下制造商低碳转型的技术选择策略

Technology selection in low carbon transition of the manufacturer under mixed carbon policy

控制与决策. 2021, 36(7): 1763–1770 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1536>

考虑企业社会责任和公平偏好的绿色供应链决策

Green supply chain considering fairness preference and corporate social responsibility

控制与决策. 2021, 36(7): 1743–1753 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1102>

考虑绿色网络效应的再制造产品最优生产决策及产品之间的竞争

Optimal production for remanufacturing products and competition among consumers in the presence of green network effect

控制与决策. 2021, 36(4): 993–1002 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0366>

模糊环境下考虑零售商风险偏好的绿色供应链博弈模型

Modeling green supply chain games considering retailer's risk preference in fuzzy environment

控制与决策. 2021, 36(3): 711–723 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0646>

考虑低碳商誉的产能需求方绿色转型策略

赵道致^{1†}, 杨爽¹, 韩红帅^{2,3}, 袁紫微¹

(1. 天津大学 管理与经济学部, 天津 300072; 2. 上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200030;
3. 齐鲁工业大学 (山东省科学院) 经济与管理学部, 济南 250353)

摘要: 在“双碳”战略目标引领下, 随着国家节能减排政策的持续深化与绿色消费理念的广泛普及, 消费者的绿色低碳偏好愈发明显. 为响应市场对绿色产品的消费偏好, 制造业正加速推进绿色转型. 聚焦具有绿色转型意愿的制造企业 (绿色产能需求方), 考虑其两种实现绿色转型的方式——自主研发或通过产能分享平台实现绿色生产, 以低碳商誉水平为状态变量构建两种方式在不同情形下的微分博弈模型. 其中, 在绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时, 考虑分散决策和集中决策两种情形, 并进一步设计成本分担协调机制. 研究表明: 不同情形下, 产品的低碳商誉水平均会随着时间而达到稳定状态; 绿色产能需求方自行研发绿色生产并不总是优于通过产能分享平台实现绿色生产, 这与两种不同生产方式的成本相关, 相对生产成本更低的生产方式表现更佳; 成本分担协调机制可以有效改善绿色产品的低碳商誉水平及供应链整体利润, 从而实现帕累托改善.

关键词: 绿色产能; 低碳商誉; 成本分担协调机制; 微分博弈

中图分类号: F224 文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2025.0444

引用格式: 赵道致, 杨爽, 韩红帅, 等. 考虑低碳商誉的产能需求方绿色转型策略 [J]. 控制与决策, 2025, 40(11): 3363-3372.

Green transformation strategies for green manufacturing capacity demanders with low-carbon goodwill consideration

ZHAO Dao-zhi^{1†}, YANG Shuang¹, HAN Hong-shuai^{2,3}, YUAN Zi-wei¹

(1. College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Antai College of Economics & Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China; 3. Department of Economics and Management, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, China)

Abstract: Under the guidance of the dual-carbon strategic objectives, the continuous advancement of national energy conservation and emission reduction policies, coupled with the widespread adoption of green consumption concepts, the preference for low-carbon products of the consumers has become more popular. The manufacturing industry is accelerating its green transformation to deal with the above market changes. This study focuses on manufacturing enterprises with green transition intentions (green capacity demanders), examining two pathways to achieve green transition: independent development or acquiring green production capabilities through capacity-sharing platforms. This paper constructs differential game models for these two modes under distinct scenarios by establishing low-carbon goodwill levels as state variables. Specifically, when demand-side entities opt for platforms, decentralized and centralized decision-making frameworks are considered, and a cost-sharing coordination mechanism is designed. The findings reveal that low-carbon goodwill levels stabilize over time across all scenarios. Independent development does not always outperform platform-based approaches, as lower-cost methods exhibit superior performance. This mechanism effectively enhances low-carbon goodwill levels and overall supply chain profits, thereby achieving Pareto improvement.

Keywords: green manufacturing capacity; low-carbon reputation; cost-sharing coordination mechanism; differential game

收稿日期: 2025-04-25; 录用日期: 2025-06-30.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (72072125); 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (22YJC630029).

责任编辑: 李登峰.

[†]通信作者. E-mail: dzzhao@tju.edu.cn.

本文附带电子附录文件, 可登录本刊官网该文“资源附件”区自行下载阅览.

0 引言

随着“双碳”目标的推进,越来越多的消费者倾向选择绿色低碳产品,这促使制造企业向绿色生产转型.政策层面,《“十四五”工业绿色发展规划》^[1]强调提升能源资源利用效率与绿色技术创新,《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》^[2]进一步提出扩大绿色低碳产业规模.截至当前,我国绿色低碳产业产值达11万亿元,相关企业超200万家,表明绿色转型已成为制造业发展的重要趋势.本文据此将实施绿色转型的制造企业界定为“绿色产能需求方”,其“绿色产能”指通过先进节能环保技术实现资源高效利用及显著降碳的生产能力.

当前,绿色产能需求方在绿色转型过程中面临绿色技术自主研发能力不足、核心制造技术欠缺等问题.对此,企业需加快能源结构调整并加大绿色科技创新投入.目前,企业绿色转型主要采取两种方式:一是自行投资研发绿色生产(如天津钢铁集团投入35亿元进行技术改造,成功实现超低排放与资源循环利用)^[3-4],二是加入产能分享平台,通过平台来寻找具有绿色生产能力的供应方(绿色产能提供方)代为生产(如海螺新材通过卡奥斯工业互联网平台整合生产系统,降低综合能耗)^[5].从实例中可以看到,自主研发成本较高,而通过平台更具灵活性与成本优势.此外,企业完成绿色转型后常通过宣传来提升其产品低碳商誉,以吸引环保偏好消费者;平台方亦会强化推广以吸引双边用户.基于此,本文在考虑绿色产品低碳商誉的基础上,探讨绿色产能需求方的最优转型方式——自行研发绿色生产还是通过产能分享平台实现绿色生产.

现有研究已对制造业低碳转型进行了多角度探讨.部分学者关注供应链绿色转型对企业竞争力的影响,如Esmaceli等^[6]提出成本分担契约以协调供应链;Dhumras等^[7]证实低碳转型可显著提升企业绩效.在减排方式选择方面,贺勇等^[4]比较了自主研发与外包减排的差异,并分析了补贴政策的影响.梁喜等^[8]和张令荣等^[9]则分别结合区块链技术及碳交易政策,探讨了供应链减排决策.此外,王珊珊^[10]研究了数字贸易对制造业低碳转型的影响;Zhang等^[11]设计了绿色供应链协调机制.然而,现有文献多聚焦于企业自主研发减排技术,尚未涉及产能分享平台在绿色转型中的作用,以及在平台化绿色生产中的应用.

进一步地,还有部分学者在供应链的碳减排策略研究中考虑了低碳商誉.叶欣等^[12]和Liu等^[13]探讨

了动态商誉变化规律,并分析了消费者低碳参考水平对低碳商誉的影响.在此基础上,学者们为绿色供应链设计了多种协调机制.朱晨等^[14]在研究供应链中上下游成员碳减排及再制造策略时考虑了低碳商誉,并设计了成本分担和收益共享两种协调机制改善了低碳商誉水平.徐春秋等^[15]通过微分博弈做了分散决策、集中决策以及成本分担协调机制的对比分析.刘丽等^[16]设计了成本分担协调机制改善整个供应链,并刻画了产品品牌商誉最优轨迹.从上述文献中可以看到,已有研究主要关注自主研发减排模式下的商誉问题,缺乏对平台化绿色生产中商誉动态的研究.

综上所述,已有文献多是制造商通过自行研发减排策略实现绿色转型,少有通过产能分享平台实现绿色转型.因此,本文在考虑绿色产品低碳商誉的基础上,对绿色产能需求方的两种不同绿色转型方式(自行研发绿色生产或通过产能分享平台实现绿色生产)进行研究,通过博弈论和最优控制理论建立不同生产方式下的模型并求解.进一步地,在绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,分别考虑分散决策和集中决策两种不同情形,并设计了成本分担协调机制使供应链整体实现帕累托改善.此外,通过对比分析,得出绿色产能需求方在不同条件下的最优绿色转型方式决策.

1 问题描述

本文将研究绿色产能需求方(d)实现绿色转型的两种方式:1)自行投资研发绿色生产技术(M);2)通过产能分享平台(P)寻找绿色产能提供方(s)实现绿色转型,且考虑分散决策(PL)和集中决策(PC)两种情形,在此基础上,设计成本分担协调机制(PN),如图1所示.此外,无论绿色产能需求方采用何种绿色转型方式,都会对绿色产品进行低碳宣传以提高产品低碳商誉,且该绿色产品均以单位售价 $p(t)$ 销售给具有绿色偏好的消费者, $p(t)$ 为固定常数.

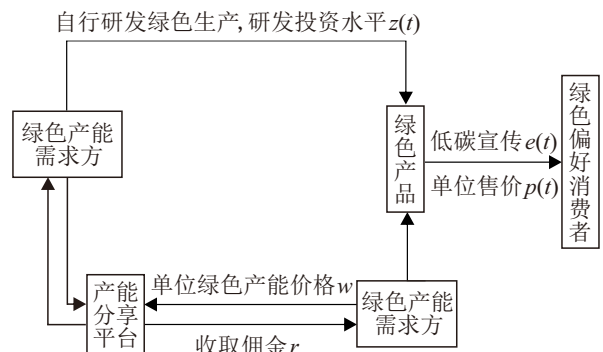


图1 产能需求方绿色转型的两种不同方式

当绿色产能需求方选择自行研发绿色生产时, 与已有低碳供应链研究中的投资成本函数类似, 假设其投资成本为研发投资水平的凸函数^[17], 即投资成本为 $kz^2(t)/2$. 其中: $k(0 < k < 1)$ 为绿色产能需求方自行研发绿色生产技术的成本系数, $z(t)$ 为绿色产能需求方在 t 时刻的研发投资水平.

当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色转型时, 绿色产能提供方会在平台上发布其绿色生产能力的具体信息, 且会在所发布的具体信息中表明碳减排量 $E(t)$. 平台为了吸引绿色产能需求方加入, 会宣传平台上可以找到具有绿色生产能力的产能提供方, 这可以称作是平台的低碳宣传, 而这些均会对绿色产品的低碳商誉造成影响. 此外, 平台会对绿色产能提供方收取一定比例的佣金 $r(0 < r < 1)$. 绿色产能需求方可以选择不与平台和绿色产能提供方合作, 即分散决策; 也可以选择与平台和绿色产能提供方合作, 也就是集中决策. 进一步地, 通过对分散决策和集中决策两种不同情形的对比, 发现供应链整体有改善的空间, 故在不损害供应链中各成员利益的前提下, 设计了成本分担协调机制. 同时提出如下假设.

假设 1 绿色产能需求方在两种不同方式下生产的绿色产品质量与性能均相同, 且产品均以相同的价格 $p(t)$ 销售给具有绿色偏好的消费者, $p(t)$ 为固定常数^[18].

假设 2 绿色产能需求方选择 M 方式的单位生产成本 $c(0 < c \leq p(t))$; 通过平台的单位生产成本为绿色产能提供方的单位绿色产能定价 $w(0 < w \leq p(t))$ ^[19-20].

假设 3 根据成本的凸性特征^[21], 绿色产能需求方的低碳宣传成本为 $he^2(t)/2$, 其中 $h(0 < h < 1)$ 为绿色产能需求方的低碳宣传努力系数, $e(t)$ 为绿色产能需求方在 t 时刻的低碳宣传努力程度.

假设 4 当绿色产能需求方选择 M 方式时, 其投资水平和低碳宣传行为均有利于提升其绿色产品的低碳商誉水平; 当绿色产能需求方选择通过平台实现绿色转型时, 除了绿色产能需求方的低碳宣传行为外, 平台的低碳宣传行为和绿色产能提供方的碳减排也有利于提升绿色产品的低碳商誉水平, 参考 Nerlove-Arrow 商誉模型^[22], 两种不同转型方式下低碳商誉水平的动态变化过程分别为 $\dot{g}^M(t) = \beta z(t) + \gamma e(t) - \delta g(t)$, $\dot{g}^i(t) = \alpha \tau(t) + \gamma e(t) + \eta E(t) - \delta g(t)$, $i = \text{PL}, \text{PC}, \text{PN}$. 其中: $g(t)$ 为低碳商誉水平; $\beta(\beta > 0)$ 为绿色产能需求方自行研发绿色生产对低

碳商誉水平的影响系数; $\gamma(\gamma > 0)$ 为绿色产能需求方的低碳宣传努力程度对低碳商誉水平的影响系数; $\alpha(\alpha > 0)$ 为平台低碳宣传努力程度对低碳商誉水平的影响系数; $\eta(\eta > 0)$ 为绿色产能提供方碳减排对低碳商誉水平的影响系数; $\delta(\delta > 0)$ 为低碳商誉水平的自然衰减系数, 假设初始时刻的低碳商誉水平为 $g(0) = a$.

假设 5 绿色产能需求方所生产的绿色产品的需求函数是关于产品价格和低碳商誉水平的线性函数^[23] $D(t) = Q - p + bg(t)$, p 为固定常数, 所以用 $\mu = Q - p > 0$ 来表示初始时刻的绿色产品需求量. 绿色产品的需求函数可改写为 $D(t) = \mu + bg(t)$. 其中: $b(b > 0)$ 表示具有绿色偏好的消费者对低碳商誉水平的敏感系数, 反映了消费者的低碳偏好程度.

2 模型构建与求解分析

2.1 绿色产能需求方自行研发绿色生产 (M)

M 方式下, 绿色产能需求方需决策研发投资水平 $z(t)$ 和低碳宣传努力程度 $e(t)$. 绿色产能需求方追求自身利润最大化, 其利润函数为

$$\max_{z, e} \pi_D^M = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ D(t)p - \frac{kz^2(t)}{2} - \frac{he^2(t)}{2} \right\} dt. \quad (1)$$

命题 1 当绿色产能需求方选择自行研发绿色生产时, 其均衡解如下:

1) 绿色产能需求方的最优投资水平和低碳宣传努力程度分别为

$$z^{M*} = \frac{\beta b(p - c)}{k(\rho + \delta)},$$

$$e^{M*} = \frac{b\gamma(p - c)}{h(\rho + \delta)}.$$

2) 低碳商誉水平的最优轨迹为

$$g^{M*}(t) = e^{-\delta t} \left(a - \frac{b(p - c)^2}{\delta(\rho + \delta)} \left(\frac{\beta^2}{k} + \frac{\gamma^2}{h} \right) \right) + g^M,$$

其中 $g^M = ((\beta^2/k + \gamma^2/h)b(p - c))/(\delta(\rho + \delta))$.

3) 绿色产能需求方的最优利润为

$$\pi_D^{M*} = e^{-\rho t} (b_1^* g + u_1^*).$$

其中: $u_1^* = \frac{\mu(p - c)}{\rho} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\beta^2}{2k} + \frac{\gamma^2}{2h} \right) \frac{b^2(p - c)^2}{(\rho + \delta)^2}$, $b_1^* = \frac{b(p - c)}{\rho + \delta}$.

2.2 绿色产能需求方通过产能分享平台实现绿色生产 (P)

2.2.1 分散决策情形 (PL)

在分散决策情形下, 绿色产能需求方、产能分享

平台和绿色产能提供方三者遵循 Stackelberg 博弈, 决策顺序为: 1) 绿色产能提供方决策在 t 时刻的碳减排量 $E(t)$; 2) 产能分享平台决策在 t 时刻的低碳宣传努力程度 $\tau(t)$; 3) 绿色产能需求方追求自身利润最大化, 决策绿色产品在 t 时刻的低碳宣传努力程度 $e(t)$. 各成员的利润函数分别为

$$\max_e \pi_D^{PL} = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ (p-w)D(t) - \frac{he^2(t)}{2} \right\} dt, \quad (2)$$

$$\max_\tau \pi_P^{PL} = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ r(w-c_s)D(t) - \frac{s\tau^2(t)}{2} \right\} dt, \quad (3)$$

$$\max_E \pi_S^{PL} = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ (1-r)(w-c_s)D(t) - \frac{mE^2(t)}{2} \right\} dt. \quad (4)$$

通过逆向推导, 计算得到此情形下供应链各成员的最优解.

命题 2 分散决策情形下, 当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时, 供应链各成员均衡解如下:

1) 供应链各成员的最优解分别为

$$e^{PL*} = \frac{b\gamma(p-w)}{h(\rho+\delta)},$$

$$\tau^{PL*} = \frac{b\alpha r(w-c_s)}{s(\rho+\delta)},$$

$$E^{PL*} = \frac{b\eta(1-r)(w-c_s)}{m(\rho+\delta)}.$$

2) 低碳商誉水平的最优轨迹为

$$g^{PL*}(t) = e^{-\delta t} \left(a - \frac{B}{\delta} \right) + g^{PL}.$$

其中

$$B = \frac{b\gamma^2(p-w)}{h(\rho+\delta)} + \frac{b\alpha^2 r(w-c_s)}{s(\rho+\delta)} + \frac{b\eta^2(1-r)(w-c_s)}{m(\rho+\delta)},$$

$$g^{PL} = \frac{b\gamma^2(p-w)}{h\delta(\rho+\delta)} + \frac{b\alpha^2 r(w-c_s)}{s\delta(\rho+\delta)} + \frac{b\eta^2(1-r)(w-c_s)}{m\delta(\rho+\delta)}.$$

3) 供应链各成员的最优利润分别为

$$\pi_D^{PL*} = e^{-\rho t} (b_2^* g + u_2^*),$$

$$\pi_P^{PL*} = e^{-\rho t} (b_3^* g + u_3^*),$$

$$\pi_S^{PL*} = e^{-\rho t} (b_4^* g + u_4^*).$$

其中

$$b_2^* = \frac{b(p-w)}{\rho+\delta},$$

$$b_3^* = \frac{br(w-c_s)}{\rho+\delta},$$

$$b_4^* = \frac{b(1-r)(w-c_s)}{\rho+\delta},$$

$$u_2^* = \frac{\mu(p-w)}{\rho} + \frac{b^2(p-w)}{\rho(\rho+\delta)^2} \left[\frac{\gamma^2(p-w)^2}{2h} + \frac{\alpha^2 r(w-c_s)^2}{s} + \frac{\eta^2(1-r)(w-c_s)}{m} \right],$$

$$u_3^* = \frac{\mu r(w-c_s)}{\rho} + \frac{b^2 r(w-c_s)}{\rho(\rho+\delta)^2} \left[\frac{\gamma^2(p-w)}{h} + \frac{\alpha^2 r(w-c_s)}{2s} + \frac{\eta^2(1-r)(w-c_s)}{m} \right],$$

$$u_4^* = \frac{\mu(1-r)(w-c_s)}{\rho} + \frac{b^2(1-r)(w-c_s)}{\rho(\rho+\delta)^2} + \left[\frac{\gamma^2(p-w)}{h} \frac{\alpha^2 r(w-c_s)}{s} + \frac{\eta^2(1-r)(w-c_s)}{2m} \right].$$

2.2.2 集中决策情形(PC)

在集中决策情形下, 绿色产能需求方、产能分享平台和绿色产能提供方各自的决策变量与分散决策情形时相同, 但决策没有先后顺序, 且均考虑使供应链整体利润最大化. 整个供应链系统的利润函数为

$$\max_{e,\tau,E} \pi^{PC} = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ (p-c_s)D(t) - \frac{he^2(t)}{2} - \frac{s\tau^2(t)}{2} - \frac{mE^2(t)}{2} \right\} dt. \quad (5)$$

通过逆向推导, 计算得到集中决策情形下供应链系统的最优解.

命题 3 集中决策情形下, 供应链系统的均衡解如下:

1) 供应链各成员的最优解分别为

$$e^{PC*} = \frac{b\gamma(p-c_s)}{h(\rho+\delta)},$$

$$\tau^{PC*} = \frac{\alpha b(p-c_s)}{s(\rho+\delta)},$$

$$E^{PC*} = \frac{b\eta(p-c_s)}{m(\rho+\delta)}.$$

2) 低碳商誉水平的最优轨迹为

$$g^{PC*}(t) = e^{-\delta t} \left(a - \frac{C}{\delta} \right) + g^{PC}.$$

其中

$$C = \frac{\alpha^2 b(p-c_s)}{s(\rho+\delta)} + \frac{\gamma^2 b(p-c_s)}{h(\rho+\delta)} + \frac{\eta^2 b(p-c_s)}{m(\rho+\delta)},$$

$$g^{PC} = \frac{\alpha^2 b(p-c_s)}{s\delta(\rho+\delta)} + \frac{\gamma^2 b(p-c_s)}{h\delta(\rho+\delta)} + \frac{\eta^2 b(p-c_s)}{m\delta(\rho+\delta)}.$$

3) 供应链系统整体的最优利润为

$$\pi^{\text{PC}^*} = e^{-\rho t}(b_5^*g + u_5^*).$$

$$\text{其中: } u_5^* = \frac{\mu(p - c_s)}{\rho} + \frac{b^2(p - c_s)^2}{\rho(\rho + \delta)^2} \left(\frac{\gamma^2}{2h} + \frac{\alpha^2}{2s} + \frac{\eta^2}{2m} \right),$$

$$b_5^* = \frac{b(p - c_s)}{\rho + \delta}.$$

2.3 结果分析

本文根据微分博弈的常用分析方法——稳定均衡分析方法^[12,14,16],假设不同情形下的系统均已经经过充分的时间演化(即 $t \rightarrow \infty$)达到了稳定状态,通过对各情形之间均衡解的比较分析,得到如下命题。

命题4 无限时长内,无论绿色产能需求方选择何种方式(M, PL, PC)实现绿色转型,产品的低碳商誉水平均是全局稳定的。

命题4表明,无论绿色产能需求方采取何种方式实现绿色转型,所生产的绿色产品均可以形成稳定的声誉。这既说明不同的绿色转型方式都行之有效,也说明不同方式所生产的绿色产品均会得到具有绿色偏好消费者的认可。因此,制造企业在绿色转型过程中,应动态评估不同绿色生产模式对产品低碳商誉的长期影响,以此选择与自身发展相契合的方式,并着重为提高其产品绿色声誉做出努力,从而吸引更多绿色偏好消费者购买产品,获得更多利润。

命题5 绿色产能需求方自行研发绿色生产(M)与分散决策情形下选择通过产能分享平台实现绿色生产(PL)的对比分析:

1) 绿色产能需求方的最优低碳宣传努力程度对比:当 $c > w$ 时,PL方式下的低碳宣传努力程度更高;当 $c < w$ 时,M方式下的低碳宣传努力程度更高。

2) 低碳商誉水平对比:无限时长内,当 $c > w$ 且 $0 < r < r^1$ 时,PL方式下的低碳商誉水平更高;当 $c > w$ 且 $r^1 < r < 1$ 或 $c < w$ 时,M方式下的低碳商誉水平更高。

3) 绿色产能需求方最优利润对比:当低碳商誉水平达到稳态时,当 $c > w$ 时,PL方式下的利润更高;当 $c < w$ 时,M方式下的利润更高。

命题5表明,在实践中,绿色产能需求方在做绿色转型决策时,首先应考虑的就是不同转型方式的成本,在其他因素不变的前提下,成本更低的方式更优。此外,在考虑成本的基础上,还要考虑产能分享平台对绿色产能提供方收取的佣金比例。当绿色产能需求方选择M方式时,应集中资源研发核心绿色生产技术,以降低其绿色生产成本;当绿色产能需求方选择PL方式时,则应充分比对两种不同生产模式下的成本,以确保此时通过平台生产的成本更低,并根据平台对绿色产能提供方收取佣金比例的动态变

化,实时评估绿色生产成本,从而及时调整生产模式以保证低碳商誉水平及利润最优。

命题6 绿色产能需求方自行研发绿色生产(M)与集中决策情形下选择通过产能分享平台实现绿色生产(PC)的对比分析:

1) 绿色产能需求方的最优低碳宣传努力程度对比:当 $c > c_s$ 时,PC方式下的低碳宣传努力程度更高;当 $c < c_s$ 时,M方式下的低碳宣传努力程度更高。

2) 低碳商誉水平对比:无限时长内,当 $p > p^2$ 时,PC方式下的低碳商誉水平更高;当 $p < p^2$ 时,M方式下的低碳商誉水平更高。

命题6中1)表明,两种情形下绿色产能需求方的最优低碳宣传努力程度差别与其获得绿色产能的成本密切相关,即当绿色产能的生产成本更高时,绿色产能需求方用于其他方面的可支配资金将会减少,故此时绿色产能需求方的低碳宣传努力程度会较低。

命题6中2)表明,两种情形下的低碳商誉水平差别与绿色产品销售价格密切相关。当绿色产品价格较高时,PC情形下由于各成员的行为均会对低碳声誉造成影响,形成联合声誉,在各成员共同努力下,通过高价格向具有绿色偏好的消费者传递着“其生产的产品绿色水平高”的信号,从而吸引具有绿色偏好的消费者购买该产品,此时PC情形下的低碳商誉水平更高。反之,当绿色产品价格较低时,绿色产能需求方选择M方式时,由于仅需考虑自身研发成本及自身利润最大化,无需考虑供应链整体的利润,且此时无法通过高价格向消费者传递“其生产的产品绿色水平高”的信号,故此时绿色产能需求方更愿意加大低碳宣传力度,从而实现了一个较高的低碳商誉水平。因此,绿色产能需求方在做绿色生产决策时,应深度分析目标市场消费者对绿色产品的价格敏感度,根据产品定位精准定价,并以此为依据选择决策模式。同时,根据市场变化导致的产品售价变动及时调整其低碳宣传策略。

命题7 绿色产能需求方通过产能分享平台实现绿色生产时,分散决策情形(PL)与集中决策情形(PC)的对比分析:

1) 供应链各成员最优解对比:

① 绿色产能需求方最优低碳宣传努力程度对比:PC情形下绿色产能需求方的最优低碳努力程度更高。

② 产能分享平台最优低碳宣传努力程度对比:PC情形下产能分享平台最优低碳宣传努力程度更高。

③ 绿色产能提供方最优碳减排量对比: PC情形下绿色产能提供方的碳减排量更高.

2) 低碳商誉对比: 无限时长内, PC情形下的低碳商誉优于PL情形下的低碳商誉.

3) 供应链整体最优利润对比: 当低碳商誉水平达到稳态时, PC情形下供应链整体利润高于PL情形下供应链总利润.

命题 7 表明, PC情形下供应链各成员的最优解、低碳商誉水平以及供应链整体最优利润总是优于PL情形. 这也表明当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时, 供应链成员间有协调合作的空间. 因此, 在供应链实践中, 绿色产能需求方可以通过信息共享来减少供应链各成员间的信息不对称, 从而提高供应链决策的准确性. 在此基础上, 可通过签订长期合作协议等方式加强供应链各成员间的合作, 实现供应链集中决策, 从而提升供应链整体利润及绿色产品的低碳商誉.

3 协调机制情形

3.1 成本分担协调机制(PN)

当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时, 由命题 7 可知, 通过协调机制可以协调此情形下的供应链. 成本分担机制是供应链常用的一种协调机制^[24], 本文基于此设计了低碳宣传成本分担的协调机制. 由于绿色产能需求方和产能分享平台都会进行低碳宣传以提高绿色产品的低碳商誉水平, 绿色产能提供方愿意为其分摊部分低碳宣传成本. 设绿色产能提供方分摊绿色产能需求方低碳宣传成本的比例为 σ_D ($0 < \sigma_D < 1$), 分摊产能分享平台低碳宣传成本的比例为 σ_P ($0 < \sigma_P < 1$). 协调后, 供应链各成员的利润函数分别为

$$\begin{aligned} \max_e \pi_D^{PN} = & \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ (p-w)D(t) - \frac{(1-\sigma_D)he^2(t)}{2} \right\} dt, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \max_\tau \pi_P^{PN} = & \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ r(w-c_s)D(t) - \frac{(1-\sigma_P)s\tau^2(t)}{2} \right\} dt, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \max_E \pi_S^{PN} = & \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ (1-r)(w-c_s)D(t) - \frac{mE^2(t)}{2} - \frac{\sigma_D he^2(t)}{2} - \frac{\sigma_P s\tau^2(t)}{2} \right\} dt. \end{aligned} \quad (8)$$

通过逆向推导, 计算得到此情形下供应链各成员的最优解.

命题 8 成本分担协调机制PN情形下, 供应链各成员均衡解如下:

1) 供应链各成员的最优解分别为

$$\begin{aligned} e^{PN*} &= b \frac{\gamma(p-w)}{h(\rho+\delta)(1-\sigma_D)}, \\ \tau^{PN*} &= \frac{b\alpha r(w-c_s)}{s(\rho+\delta)(1-\sigma_P)}, \\ E^{PN*} &= \frac{b\eta(1-r)(w-c_s)}{m(\rho+\delta)}. \end{aligned}$$

2) 低碳商誉水平的最优轨迹为

$$g^{PN*}(t) = e^{-\delta t} \left(a - \frac{F}{\delta} \right) + g^{PN}.$$

其中

$$\begin{aligned} F &= \frac{b\gamma^2(p-w)}{h(\rho+\delta)(1-\sigma_D)} + \frac{b\alpha^2 r(w-c_s)}{s(\rho+\delta)(1-\sigma_P)} + \frac{b\eta^2(1-r)(w-c_s)}{m(\rho+\delta)}, \\ g^{PN} &= \frac{b\gamma^2(p-w)}{h\delta(\rho+\delta)(1-\sigma_D)} + \frac{b\alpha^2 r(w-c_s)}{s\delta(\rho+\delta)(1-\sigma_P)} + \frac{b\eta^2(1-r)(w-c_s)}{m\delta(\rho+\delta)}. \end{aligned}$$

3) 供应链各成员的最优利润分别为

$$\begin{aligned} \pi_D^{PN*} &= e^{-\rho t} (b_2^* g + u_6^*), \\ \pi_P^{PN*} &= e^{-\rho t} (b_3^* g + u_7^*), \\ \pi_S^{PN*} &= e^{-\rho t} (b_4^* g + u_8^*). \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} u_6^* &= \frac{\mu(p-w)}{\rho} + \frac{b^2(p-w)}{\rho(\rho+\delta)^2} \left[\frac{\gamma^2(p-w)^2}{2h(1-\sigma_D)} + \frac{\alpha^2 r(w-c_s)^2}{s(1-\sigma_P)} + \frac{\eta^2(1-r)(w-c_s)}{m} \right], \\ u_7^* &= \frac{\mu r(w-c_s)}{\rho} + \frac{b^2 r(w-c_s)}{\rho(\rho+\delta)^2} \left[\frac{\gamma^2(p-w)}{h(1-\sigma_D)} + \frac{\alpha^2 r(w-c_s)}{2s(1-\sigma_P)} + \frac{\eta^2(1-r)(w-c_s)}{m} \right], \\ u_8^* &= \frac{\mu(1-r)(w-c_s)}{\rho} + \frac{b^2 \eta^2(1-r)^2(w-c_s)^2}{2m\rho(\rho+\delta)^2} + \frac{b^2 \gamma^2(p-w)(2(1-r)(1-\sigma_D)(w-c_s) - \sigma_D(p-w))}{2h\rho(\rho+\delta)^2(1-\sigma_D)^2} + \\ & \quad \frac{b^2 \alpha^2 r(w-c_s)^2(2(1-r)(1-\sigma_P) - r\sigma_P)}{2s\rho(\rho+\delta)^2(1-\sigma_P)^2}. \end{aligned}$$

3.2 结果分析

命题 9 无限时长内,成本分担协调机制PN下的低碳商誉水平是全局稳定的。

与命题 4 类似,命题 9 表明,当绿色产能需求方选择PN方式时,所生产的绿色产品同样可以形成稳定的声誉.这说明了成本分担协调机制的有效性。

命题 10 绿色产能需求方通过产能分享平台实现绿色生产时,分散决策情形(PL)与协调机制情形(PN)的对比分析:

1) 供应链各成员最优解对比:

① 绿色产能需求方最优低碳宣传努力程度对比: PN情形下绿色产能需求方的最优低碳努力程度更高。

② 产能分享平台最优低碳宣传努力程度对比: PN情形下产能分享平台最优低碳宣传努力程度更高。

③ 绿色产能提供方最优碳减排量对比: PN情形下与PL情形下绿色产能提供方的碳减排量相同。

2) 低碳商誉对比: 无限时长内, PN情形下的低碳商誉优于PL情形下的低碳商誉。

3) 供应链各成员最优利润对比:

① 当低碳商誉水平达到稳态时, PN情形下绿色产能需求方和产能分享平台的利润均优于PL情形下各自的利润。

② 当 $0 < r < r^4$ 时, PN情形下绿色产能提供方的利润更高; 当 $r^4 < r < 1$ 时, PL情形下绿色产能提供方的利润更高。

命题 10 表明,当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,成本分担协调机制在保持绿色产能提供方最优解不变的基础上使整个供应链的效率得到了提升,验证了成本分担协调机制的有效性.因此,当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,绿色产能需求方应积极设计成本分担协调机制,通过合理分摊成本使供应链各成员实现合作共赢,从而提高绿色产品的低碳商誉以及供应链整体效率.此外,绿色产能需求方还可根据市场环境及供应链各成员需求的变化,动态调整成本分担协调机制,从而保证该协调机制持续有效。

命题 11 绿色产能需求方通过产能分享平台实现绿色生产时,集中决策情形(PC)与协调机制情形(PN)的对比分析:

1) 供应链各成员最优解对比:

① 绿色产能需求方最优低碳宣传努力程度对比: 当 $0 < \sigma_D < \frac{w - c_s}{p - c_s}$ 时, PC情形下绿色产能需求方

的最优低碳宣传努力程度更高; 当 $\frac{w - c_s}{p - c_s} < \sigma_D < 1$ 时, PN情形下绿色产能需求方的最优低碳努力程度更高。

② 产能分享平台最优低碳宣传努力程度对比: 当 $0 < \sigma_P < \frac{p - rw - (1 - r)c_s}{p - c_s}$ 时, PC情形下产能分享平台的最优低碳宣传努力程度更高; 当 $\frac{p - rw - (1 - r)c_s}{p - c_s} < \sigma_P < 1$ 时, PN情形下产能分享平台的最优低碳努力程度更高。

③ 绿色产能提供方最优碳减排量对比: PC情形下绿色产能提供方的碳减排量更高。

2) 低碳商誉对比: 无限时长内, PN情形下的低碳商誉优于PC情形下的低碳商誉。

3) 供应链整体最优利润对比: 当低碳商誉水平达到稳态时, PC情形下供应链总利润优于PN情形下供应链总利润。

命题 11 说明,成本分担协调机制有效改善了绿色产品的低碳商誉水平.此外,只有当绿色产能提供方承担绿色产能需求方低碳宣传成本的比例足够高时,协调机制才能发挥作用.并且,无论绿色产能提供方承担另外两方的低碳宣传成本比例如何,总是PC情形下绿色产能提供方的 E 更高.这说明当绿色产能提供方承担另外两方的低碳宣传成本时,绿色产能提供方为了保证自己的利润不受损,会减少用于自身低碳减排的成本。

结合命题 10 中 3) 和命题 11 中 3) 可以看到,尽管成本分担协调机制可以改善绿色产能需求方和产能分享平台的利润,但供应链整体的总利润仍是PC情形下更高.因此,成本分担协调机制只能实现供应链部分成员利润的改善.在供应链实践中,当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,可以通过设计成本分担协调机制来实现利润改善,但也要认识到该协调机制的局限性.因此,可根据市场动态变化实时调整该协调机制,从而使供应链中所有成员利润得到提升,并不断向帕累托最优接近。

4 数值模拟

结合各参数取值范围以及各命题相应阈值条件,并参考文献 [13],对不同情形下的低碳商誉对比及利润对比进行数值模拟.首先取 $\mu = 10$, $\rho = 0.9$, $h = 0.5$, $k = 0.5$, $m = 0.5$, $s = 0.5$, $r = 0.5$, $p = 30$, $c_s = 3$, $w = 5$, $c = 8$, $\alpha = 3$, $\beta = 2$, $\gamma = 4$, $\eta = 2$, 即 $c > w$; 当 $c < w$ 时,另取 $w = 8$, $c = 5$.在此基础上,为了探讨绿色产能需求方低碳商誉水平的自然衰减系数 δ 以及消费者对绿色产能需求方低碳商誉

水平的敏感系数 b 对结论稳健性的影响,分别取 $b = 4, \delta = 0.3; b = 5, \delta = 0.5$ 和 $b = 6, \delta = 0.8$,对各命题进行数值模拟.由于当 b 分别取值4、5和6时,在 δ 分别取0.3、0.5和0.8时的图像走势完全一致,即绿色产能需求方低碳商誉水平的自然衰减系数 δ 以及消费者对绿色产能需求方低碳商誉水平的敏感系数 b 对结论稳健性无影响.此处限于篇幅,仅分别取 $b = 5, \delta = 0.5$ 作图,对于命题5中2)和3)中 $c > \omega$ 时的情形及命题7中3)进行数值模拟,得到图2~图4.

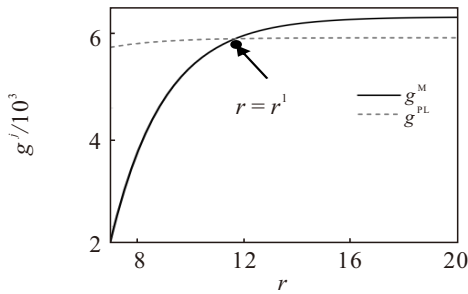


图2 情形M与情形PL低碳商誉比较

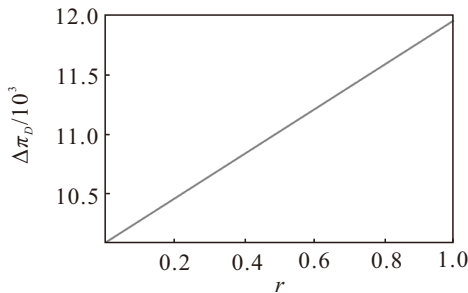


图3 情形M与情形PL绿色产能需求方最优利润比较

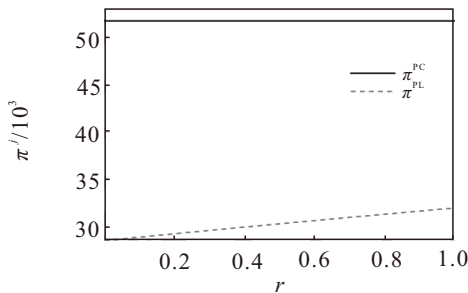


图4 情形PL与情形PC供应链整体利润比较

从图2可以看出,情形M与情形PL下的低碳商誉均随着时间 t 的发展达到稳定值,这印证了命题4.此外,还可以看出,产能分享平台对绿色产能提供方收取的佣金比例以及两种不同绿色生产方式的生产成本是决定绿色产品低碳商誉水平高低的主要因素.

从图3中可以看出,对于绿色产能需求方来说,选择何种方式实现绿色生产可以获得最优利润与两种生产方式的生产成本密切相关.当情形M生产成本较高时,情形PL的利润更高;反之,情形M的利润更高.

从图4可以看出,当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,PC情形下的供应链总利润总是优于PL情形.这说明,当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,整个供应链绩效可以通过协调契约实现帕累托改善.这符合直觉,说明当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,集中决策由于能够消除供应链成员之间信息不对称等问题,可以使供应链总利润最大化.因此,在实践中,制造企业在做绿色转型决策时,应考虑通过协调契约来与各方合作,从而达到供应链各成员利益改善,使供应链总利益得以提升.

在图2~图4参数取值的基础上,取 $\sigma_D = 0.5, \sigma_P = 0.5$,对命题9中3)的②进行数值模拟,得到图5.从图5可以看出,当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,成本分担协调机制可以改善分散决策下绿色产能提供方的利润,但并不总是能够改善,这与产能分享平台对绿色产能提供方收取的佣金比例相关.这说明,当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,成本分担协调机制的可行性与产能分享平台对绿色产能提供方收取的佣金比例密切相关.因此,在实践中,有绿色转型需要的制造企业在作决策时,要考虑到产能分享平台对绿色产能提供方收取的佣金比例这一因素,通过分析成本分担协调机制有效改善绿色产能提供方利润的阈值条件,判断在当前市场环境中是否可以应用成本分担协调机制使供应链整体利润实现帕累托改善.

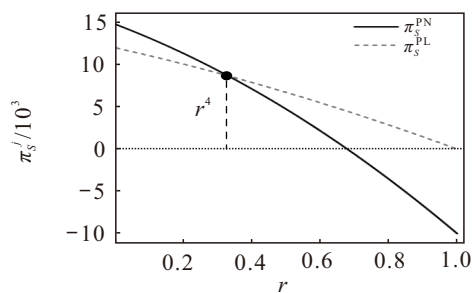


图5 情形PN与情形PL绿色产能提供方利润比较

5 结论

本文以博弈论和最优控制理论为理论基础,构建了考虑绿色产品低碳商誉的动态供应链决策模型,系统地研究了绿色产能需求方实现绿色转型的最优策略,并设计了成本分担协调机制来改善绿色产能需求方通过产能分享平台实现绿色转型时的表现.通过理论推导、对不同情形的对比分析,以及数值模拟,得出以下重要结论与管理学启示.重要结论为:

- 1) 绿色产能需求方无论选择自行研发绿色生产

还是分散决策、集中决策、成本分担协调机制下通过产能分享平台实现绿色生产,绿色产品的低碳商誉水平均能随时间收敛至稳态值.此结论从动态视角为绿色产能需求方的长期低碳战略制定提供了理论依据.

2) 绿色产能需求方自行研发绿色生产并不总是优于通过产能分享平台实现绿色生产,这与两种不同生产方式的成本相关,其临界条件取决于两种模式的相对成本结构,且总是生产成本更低的生产方式表现更佳.这一发现突破了传统“纵向一体化优于外包”的思维定式.

3) 当绿色产能需求方选择通过产能分享平台实现绿色生产时,可以通过成本分担协调机制调整整个供应链,且成本分担协调机制可以有效改善绿色产品的低碳商誉水平,以及绿色产能需求方和产能分享平台的利润.特别地,当平台佣金率低于临界值时,该机制能创造多赢局面.

管理学启示为:

1) 制造企业在运营过程中,应当建立低碳商誉动态监测系统,实时评估市场环境变化(如碳税政策调整、消费者环保意识提升等)对商誉稳态值的影响,及时调整绿色转型策略.此外,绿色产能需求方还应利用其稳定的低碳商誉优势来进一步开发绿色产品线拓展新市场、开展绿色技术授权经营、构建低碳品牌生态系统等.

2) 在实践中,在不考虑其他因素的前提下,制造企业在做生产方式选择决策时,应建立全生命周期成本分析框架,重点考察技术沉没成本、平台交易成本等关键参数.同时,制造企业可以采用实物期权方法评估柔性价值,当环保政策不确定性较高时,平台化模式更具战略灵活性优势.

3) 绿色产能需求方应努力与供应链中其他成员沟通,通过协调机制提高绿色产品的低碳商誉,并实现利润改善.产能分享平台在实践中,可以考虑建立动态佣金定价机制,将低碳绩效指标纳入收费体系,实现经济效益与环境责任的平衡.

本研究将低碳商誉动态性引入产能分享平台研究领域,发展的微分博弈分析方法和成本分担协调机制为绿色转型策略研究提供了新范式.实践意义在于,为数字经济背景下绿色供应链协同创新提供了可操作的治理工具.未来研究将进一步考虑碳市场波动、绿色技术溢出效应等现实约束条件.

参考文献 (References)

[1] 中华人民共和国工业和信息化部.“十四五”工业绿

色发展规划[R].北京:中华人民共和国工业和信息化部,2021.

- [2] 中华人民共和国国务院.关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见[R].北京:中华人民共和国国务院,2024.
- [3] Ben Arfi W, Hikkerova L, Sahut J M. External knowledge sources, green innovation and performance[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 129: 210-220.
- [4] 贺勇,陈志豪,廖诺.政府补贴方式对绿色供应链制造商减排决策的影响机制[J].*中国管理科学*, 2022, 30(6): 87-98.
(He Y, Chen Z H, Liao N. The impact mechanism of government subsidy approach on manufacturer's decision-making in green supply chain[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(6): 87-98.)
- [5] Liepold C J, Arslan O, Laporte G, et al. The impact of partial production capacity sharing via production as a service[J]. *Computers & Operations Research*, 2024, 165: 106587.
- [6] Esmaeeli Z, Mollaverdi N, Safarzadeh S. A game theoretic approach for green supply chain management in a big data environment considering cost-sharing models[J]. *Expert Systems with Applications*, 2024, 257: 124989.
- [7] Dhumras H, Bajaj R K. On potential strategic framework for green supply chain management in the energy sector using q-rung picture fuzzy AHP & WASPAS decision-making model[J]. *Expert Systems with Applications*, 2024, 237: 121550.
- [8] 梁喜,魏光何,阳成虎.考虑区块链和CSR投入的闭环供应链定价与减排决策[J].*管理工程学报*, DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2025.04.017.
(Liang X, Wei G H, Yang C H. Closed loop supply chain pricing and emission reduction decisions considering blockchain and CSR investment[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2025.04.017.)
- [9] 张令荣,王锋,刘笑言.碳交易与区块链技术下双产品低碳供应链减排决策研究[J].*管理工程学报*, DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2025.04.016.
(Zhang L R, Wang F, Liu X Y. Research on emission reduction decision of dual-product low-carbon supply chain under carbon trading and blockchain technology[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2025.04.016.)
- [10] 王珊珊.数字贸易对制造业绿色低碳转型的影响研究[J].*商业研究*, 2024 (4): 23-31.
(Wang S S. Research on the impact of digital trade on the green and low-carbon Transformation of Manufacturing Industry[J]. *Commercial Research*, 2024 (4): 23-31.)
- [11] Zhang C T, Liu L P. Research on coordination mechanism in three-level green supply chain under non-cooperative game[J]. *Applied Mathematical Modelling*,

- 2013, 37(5): 3369-3379.
- [12] 叶欣, 周艳菊. 考虑商誉的双渠道供应链动态定价与联合减排策略[J]. 中国管理科学, 2021, 29(2): 117-128. (Ye X, Zhou Y J. Dynamic pricing and joint emission reduction strategies in a dual-channel supply chain considering goodwill[J]. Chinese Journal of Management Science, 2021, 29(2): 117-128.)
- [13] Liu L, Li F T. Differential game modelling of joint carbon reduction strategy and contract coordination based on low-carbon reference of consumers[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 277: 123798.
- [14] 朱晨, 马静, 李攀. 双重补贴下考虑低碳商誉的供应链决策和协调[J]. 控制与决策, 2023, 38(11): 3261-3270. (Zhu C, Ma J, Li J. Decisions and coordination of supply chain considering low-carbon reputation and dual subsidy policies[J]. Control and Decision, 2023, 38(11): 3261-3270.)
- [15] 徐春秋, 王芹鹏. 考虑政府参与方式的供应链低碳商誉微分博弈模型[J]. 运筹与管理, 2020, 29(8): 35-44. (Xu C Q, Wang Q P. Differential game models of low carbon reputation considering government participation in supply chain[J]. Operations Research and Management Science, 2020, 29(8): 35-44.)
- [16] 刘丽, 韩同银, 金浩. 成本分担机制下考虑品牌商誉的三级绿色供应链微分博弈[J]. 控制与决策, 2024, 39(2): 659-668. (Liu L, Han T Y, Jin H. Differential game of three-level green supply chain considering brand goodwill under cost sharing mechanism[J]. Control and Decision, 2024, 39(2): 659-668.)
- [17] de Giovanni P. Quality improvement vs. advertising support: Which strategy works better for a manufacturer?[J]. *European Journal of Operational Research*, 2011, 208(2): 119-130.
- [18] Wang Y L, Xu X, Zhu Q H. Carbon emission reduction decisions of supply chain members under cap-and-trade regulations: A differential game analysis[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 162: 107711.
- [19] 赵道致, 周仁杰, 杨爽. 考虑服务水平的产能分享平台定价策略[J]. 控制与决策, 2023, 38(3): 805-814. (Zhao D Z, Zhou R J, Yang S. Pricing strategy of capacity sharing platform considering service level[J]. Control and Decision, 2023, 38(3): 805-814.)
- [20] 赵道致, 冯慧中. 考虑产能需求方交期和价格敏感的产能分享平台定价策略[J]. 控制与决策, 2024, 39(2): 625-632. (Zhao D Z, Feng H Z. Capacity sharing platform pricing strategy considering delivery time and price sensitivity of capacity demand side[J]. Control and Decision, 2024, 39(2): 625-632.)
- [21] Zhang J, Gou Q L, Liang L, et al. Ingredient branding strategies in an assembly supply chain: Models and analysis[J]. *International Journal of Production Research*, 2013, 51(23/24): 6923-6949.
- [22] Nerlove M, Arrow K J. Optimal advertising policy under dynamic conditions[J]. *Economica*, 1962, 29(114): 129.
- [23] André F J, Sokri A, Zaccour G. Public Disclosure Programs vs. traditional approaches for environmental regulation: Green goodwill and the policies of the firm[J]. *European Journal of Operational Research*, 2011, 212(1): 199-212.
- [24] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts[J]. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 2003, 11: 227-339.

作者简介

赵道致 (1956-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为分享经济、物流与供应链管理, E-mail: dzzhao@tju.edu.cn;

杨爽 (1992-), 女, 博士生, 主要研究方向为分享经济、物流与供应链管理, E-mail: serinayang@tju.edu.cn;

韩红帅 (1990-), 女, 讲师, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为绿色供应链、数智化供应链, E-mail: hanhongshuai@yeah.net;

袁紫薇 (1993-), 女, 博士, 主要研究方向为数字化平台、数智化供应链, E-mail: ziweiyuan48@tju.edu.cn.