

# 控制与决策

Control and Decision

## 大数据服务商参与下供应链联合减排的动态协调策略

王婷婷, 王道平, 赵超

引用本文:

王婷婷, 王道平, 赵超. 大数据服务商参与下供应链联合减排的动态协调策略[J]. *控制与决策*, 2021, 36(8): 2013–2022.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1560>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 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>

### 信息非对称下考虑制造商回收行为的闭环供应链协调

Coordination of closed supply chain under asymmetric information considering manufacturer's recycling behavior

*控制与决策*. 2021, 36(7): 1723–1731 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1657>

### 不同担保模式下考虑零售商公平关切的闭环供应链博弈模型

Game models of closed-loop supply chain under different warranty modes considering retailer's fairness concerns

*控制与决策*. 2021, 36(6): 1489–1498 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1328>

### 考虑成员企业风险态度的制造商资金约束闭环供应链定价与回收决策

Pricing and recycling decisions of a closed-loop supply chain considering participators' risk attitudes and manufacturer capital constraint

*控制与决策*. 2021, 36(5): 1239–1248 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1305>

### 低碳环境下双渠道供应链线上线下广告策略的微分博弈分析

Differential game analysis of online and offline advertising strategies in a dual channel supply chain under low-carbon background

*控制与决策*. 2020, 35(11): 2707–2714 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1721>

# 大数据服务商参与下供应链联合减排的动态协调策略

王婷婷<sup>†</sup>, 王道平, 赵超

(北京科技大学 经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:** 在大数据和低碳双重背景下, 研究由制造商、零售商以及大数据服务商组成的三级供应链联合减排与协调问题. 考虑到减排量对需求具有双重影响, 构建集中式、分散式以及基于改进的双边成本分担契约下的微分博弈模型, 求解并比较3种情形下供应链成员的最优均衡策略. 结合算例, 对部分参数进行灵敏度分析, 并讨论该契约对供应链的协调效果, 从而为大数据服务商参与下供应链联合减排的动态协调研究提供理论依据.

**关键词:** 大数据服务商; 低碳; 联合减排; 微分博弈; 改进的双边成本分担契约

中图分类号: F270

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2019.1560

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**引用格式:** 王婷婷, 王道平, 赵超. 大数据服务商参与下供应链联合减排的动态协调策略[J]. 控制与决策, 2021, 36(8): 2013-2022.

## Dynamic coordination strategy of joint emission reduction in supply chain involving big data service provider

WANG Ting-ting<sup>†</sup>, WANG Dao-ping, ZHAO Chao

(School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In the context of both big data and low-carbon, the joint emission reduction and coordination issues in a three-echelon supply chain comprised of a manufacturer, a retailer and a big data service provider is studied. Considering that emission reduction has a dual impact on demand, this paper constructs the differential game models of the centralized, decentralized and improved bilateral cost-sharing contract. Then the optimal equilibrium strategies of supply chain members in three cases are solved and compared. Combined with a numerical example, the sensitivity analysis of some parameters are conducted, and the coordination effect of the contract on the supply chain is discussed, which provide a theoretical basis for the joint emission reduction and dynamic coordination in the supply chain involving big data service providers.

**Keywords:** big data service provider; low-carbon; joint emission reduction; differential game; improved bilateral cost-sharing contract

## 0 引言

2018年10月,我国政府发布的《IPCC全球升温1.5°C特别报告》指出:极端天气、海平面上升等一系列变化让我们清晰了解到全球升温1°C的后果. 如何应对气候变化已成为全球关注的焦点. 节能减排,发展以低能耗和低污染为特征的“低碳经济”势在必行. 随着人们低碳意识的日益增强,消费者越来越在乎产品的低碳属性. 例如,从2011年至2015年,阿里平台上以更高价格购买绿色产品的消费者复合增长高于80%;2017年,京东平台上关注生态环境的绿色消费者同比增长了62%<sup>[1]</sup>. 在消费者具有低碳意识

下,企业采取低碳措施不仅能够夺取市场先机,还能够提高自身社会形象.《斯特恩报告》指出,预计全球低碳产品市场于2050年可达5千亿美元<sup>[2]</sup>. 因此,企业为提高自身的竞争优势,将积极参与到减排行动中. 其中,制造企业为提高自身竞争力积极地进行减排技术投入,研发低碳产品,如格力、美的等企业进行无氟变频空调的研发;特斯拉、长安等企业研发新能源汽车. 大型零售企业,如国美、苏宁等与制造企业联合,积极促销和推广低碳产品,引导消费者的低碳消费理念,进而提高低碳产品的需求<sup>[3]</sup>. 供应链上下游企业共同努力进行减排合作,以达到供应链经济和

收稿日期: 2019-11-10; 修回日期: 2020-03-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71871017); 北京市教委社科基金项目(SM201910037004).

责任编辑: 王光臣.

<sup>†</sup>通讯作者. E-mail: wang\_tt926@163.com.

环境效益的“双赢”。

随着经济全球化以及信息技术的迅猛发展,企业的内外部环境不断改变,面临着越来越严峻的挑战<sup>[4]</sup>。顾客需求的多样化加剧了环境的不确定性,而企业可以利用大数据技术挖掘潜在消费者以增加产品的销量。一些大数据服务商,如亚马逊、Twitter及中天亿信等应运而生。这些公司积极探索数据的应用,旨在利用大数据揭示潜在的商业行为,从不断增长的数据中获取有用的价值<sup>[5]</sup>,且可以协助零售企业开展精准且个性化的营销<sup>[6]</sup>,进而提高企业的收益。将大数据服务商纳入供应链中,则原始供应链的结构将会发生一些变化。因此,在大数据和低碳的双重背景下,研究大数据服务商参与下的供应链联合减排问题具有重要的现实意义。

考虑碳减排的低碳供应链管理是国内外学者研究的热点问题。Benjaafar等<sup>[7]</sup>首先将碳减排引入供应链库存管理中进行研究。随后有众多学者展开了对低碳供应链管理的研究,主要分为基于静态模型和基于动态模型两类。李友东等<sup>[8]</sup>基于静态模型,针对供应链减排合作下的协调策略问题,对存在碳税和消费者低碳偏好下,销售返利契约对低碳供应链绩效的影响进行了研究;Zhou等<sup>[9-10]</sup>分别基于静态模型和动态模型,对低碳供应链减排和促销合作的供应链协调问题进行了研究。实际上,企业的减排投资具有一定的滞后效应,因此,从动态角度进行研究更贴近实际,且大部分都借鉴微分博弈模型进行研究<sup>[11]</sup>。赵道致等<sup>[12]</sup>基于微分博弈,考虑了原材料供应商和制造商均进行减排研发,研究表明,合作减排策略不仅能提高减排量,而且还能提高供应链利润。游达明等<sup>[13]</sup>综合考虑产品低碳度、商誉和价格均影响需求,构建供应链生态研发、促销的微分博弈模型,分析了分散式和集中式决策下低碳度和商誉随时间变化的规律以及制造商促销参与率、批发价等参数对利润的影响;向小东等<sup>[14]</sup>通过构建微分博弈模型,研究了三级供应链联合减排与促销的动态协调问题,其中供应商提供低碳原材料,制造商进行减排研发,零售商对低碳产品进行促销。

大数据服务商在营销方面发挥着重要的作用,文献[15]指出,企业可通过大数据分析了解消费者行为,挖掘更多潜在客户,提高自身的竞争优势。一些学者在大数据背景下研究供应链的协调问题,如刘盼等<sup>[16]</sup>研究了大数据环境下考虑定向广告和消费者偏好信息的供应链协调与定价问题,指出通过大数据分析可协助企业实现精准营销,增加收益;Liu<sup>[17]</sup>在大

数据时代背景下,研究了由制造商、零售商以及大数据信息供应商组成的供应链定价问题;Liu等<sup>[18]</sup>进一步在大数据环境下,在同时考虑产品绿色度以及大数据分析的基础上研究了绿色供应链的定价问题;吴成霞等<sup>[19]</sup>采用微分博弈理论,考虑到大数据服务商可提高潜在消费者的转化率,从动态的角度研究了大数据背景下供应链的营销合作策略。

综上所述,国内外学者对低碳供应链运营管理和大数据环境下的企业管理进行了深入的研究,发现低碳供应链协调具有重要的理论和实践价值,且大数据技术在帮助企业实现精准营销,挖掘潜在消费者,进而提升企业竞争力方面具有重要的意义。本文对文献[19]进行了拓展,将大数据服务商引入低碳供应链中,借助微分博弈模型研究三级供应链联合减排问题。本文的主要贡献有3点:1)借助微分博弈理论,同时以产品减排量和消费者转化率为状态变量,建立动态架构下大数据服务商参与的三级低碳供应链联合减排模型,体现了大数据服务商通过市场营销对企业长期联合减排和绩效的影响;2)设计的利润共享契约可对利润进行合理分配,并将其作为双边成本分担契约的有效补充;3)设计改进的双边成本分担契约可以实现低碳供应链的优化与协调,不仅提高了企业的利润,而且还改善了环境,实现经济和环境效益的“双赢”。

## 1 模型建立与求解

### 1.1 模型假设与符号说明

在大数据和低碳环境下,考虑由大数据服务商、制造商和零售商组成的三级供应链为研究对象,其中制造商进行减排技术投入以生产低碳产品,大数据服务商以其显著的技术和成本优势吸引零售商购买其服务。鉴于大数据服务商通过大数据技术投入可以识别潜在消费者,帮其完成潜在消费者到消费者的转化,且产品减排量也是促使潜在消费者购买产品的因素之一,因此,零售商可通过购买大数据服务商的大数据营销业务且制造商进行减排技术投资,扩大市场需求,进而提高供应链的利润。文中提出以下假设。

**假设1** 由于减排努力成本和大数据营销努力成本均具有凸性特征<sup>[20]</sup>,制造商的减排努力成本和大数据服务商的营销努力成本可分别表示为

$$C_M(E_M(t)) = \frac{\mu_M}{2} E_M^2(t), \quad (1)$$

$$C_B(E_B(t)) = \frac{\mu_B}{2} E_B^2(t). \quad (2)$$

其中: $E_M(t)$ 和 $\mu_M$ 分别为制造商的减排努力水平和减排努力成本系数, $E_B(t)$ 和 $\mu_B$ 分别为大数据服务

商的营销努力水平和营销努力成本系数。

**假设2** 制造商通过减排努力减少产品的碳排放量,降低对环境的危害,且减排量存在自衰减<sup>[21]</sup>。因此产品减排量可刻画为

$$\dot{X}(t) = \omega E_M(t) - \sigma X(t). \quad (3)$$

其中:  $X(t)$  和  $X(0) = X_0 (X_0 \geq 0)$  分别为  $t$  时刻和初始时刻的产品减排量,  $\omega (\omega > 0)$  为制造商减排努力对减排量的影响,  $\sigma (\sigma > 0)$  为减排量的自然衰减系数。

**假设3** 大数据服务商的营销努力水平和产品减排量均对消费者转化率产生正向影响<sup>[19]</sup>,且随着营销效果的衰退,消费者转化率也存在一个自然衰减率,因此,消费者转化率可刻画为

$$\dot{S}(t) = \alpha X(t) + \beta E_B(t) - \gamma S(t). \quad (4)$$

其中:  $S(t)$  和  $S(0) = S_0 (S_0 \geq 0)$  分别为  $t$  时刻和初始时刻的消费者转化率,  $\alpha (\alpha > 0)$  为消费者转化率对减排量的敏感系数,  $\beta (\beta > 0)$  为消费者转化率对大数据营销努力的敏感系数,  $\gamma (\gamma > 0)$  为消费者转化率的自然衰减率。

**假设4** 产品减排量和消费者转化率均正向影响产品需求<sup>[19,22]</sup>,因此产品需求为

$$D(t) = D_0 + \lambda X(t) + \varepsilon S(t). \quad (5)$$

其中:  $D(0) = D_0 (D_0 \geq 0)$  为既不进行减排技术投入,也不进行大数据营销技术投入时,单位时间内原有的消费者需求量;  $\lambda (\lambda > 0)$  为需求对减排量的敏感系数;  $\varepsilon (\varepsilon > 0)$  为消费者转化率对需求的影响系数。每个消费者只能购买一单位产品,并且忽略退货情况。本文侧重研究大数据技术投入和减排技术投入对产品需求的影响,为简化模型,没有将价格对产品需求的影响考虑在内<sup>[22]</sup>。

**假设5** 假定供应链信息完全对称,在无限时间内的任意时刻,制造商、零售商以及大数据服务商的风险偏好中立,且贴现因子都相同<sup>[19,22]</sup>,即都为  $\rho (\rho > 0)$ 。

**假设6** 依据文献[22],假定制造商和零售商的边际利润均为常量,分别用  $\Pi_M$  和  $\Pi_R$  表示;且零售商关于大数据服务的支付水平为  $n$ 。

结合以上相关假设和描述,并参考文献[19]可知,制造商、零售商以及大数据服务商长期利润分别如下所示:

$$P_M = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ \Pi_M D(t) - \frac{\mu_M}{2} E_M^2(t) \right] dt, \quad (6)$$

$$P_R = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ \Pi_R D(t) - n E_B(t) \right] dt, \quad (7)$$

$$P_B = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ n E_B(t) - \frac{\mu_B}{2} E_B^2(t) \right] dt. \quad (8)$$

为便于书写,下文不再列出  $t$ 。

## 1.2 供应链联合减排的微分博弈模型

### 1.2.1 集中式决策

集中式决策(用上标  $c$  表示)下供应链参与成员进行决策时,是为实现总利润最大化,则目标函数为

$$P_T^c = \max_{E_M^c, E_B^c} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ (\Pi_M + \Pi_R)(D_0 + \lambda X^c + \varepsilon S^c) - \frac{\mu_M}{2} (E_M^c)^2 - \frac{\mu_B}{2} (E_B^c)^2 \right] dt. \quad (9)$$

**命题1** 集中式下供应链参与成员的均衡结果如下:

1) 制造商和大数据服务商的最优均衡策略为

$$\begin{cases} E_M^{c*} = \frac{\omega(\Pi_M + \Pi_R)(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)}{\mu_M(\rho + \sigma)(\rho + \gamma)}, \\ E_B^{c*} = \frac{\beta\varepsilon(\Pi_M + \Pi_R)}{\mu_B(\rho + \gamma)}. \end{cases} \quad (10)$$

2) 产品减排量和消费者转化率的最优轨迹为

$$\begin{cases} X^{c*} = X_\infty^c + (X_0 - X_\infty^c)e^{-\sigma t}, \\ S^{c*} = S_\infty^c + \frac{\alpha}{\gamma - \sigma}(X_0 - X_\infty^c)e^{-\sigma t} + \left[ S_0 - S_\infty^c - \frac{\alpha}{\gamma - \sigma}(X_0 - X_\infty^c) \right] e^{-\gamma t}. \end{cases} \quad (11)$$

其中

$$\begin{cases} X_\infty^c = \frac{\omega^2(\Pi_M + \Pi_R)(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)}{\sigma\mu_M(\rho + \sigma)(\rho + \gamma)}, \\ S_\infty^c = \frac{\alpha\omega^2(\Pi_M + \Pi_R)(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)}{\sigma\gamma\mu_M(\rho + \sigma)(\rho + \gamma)} + \frac{\beta^2\varepsilon(\Pi_M + \Pi_R)}{\gamma\mu_B(\rho + \gamma)}. \end{cases}$$

3) 此情形下供应链的利润最优值函数为

$$P_T^{c*} = e^{-\rho t} (t_1^{c*} X^{c*} + t_2^{c*} S^{c*} + t_3^{c*}). \quad (12)$$

其中

$$\begin{cases} t_1^{c*} = \frac{(\Pi_M + \Pi_R)(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)}{(\rho + \sigma)(\rho + \gamma)}, \\ t_2^{c*} = \frac{\varepsilon(\Pi_M + \Pi_R)}{\rho + \gamma}, \\ t_3^{c*} = \frac{(\Pi_M + \Pi_R)D_0}{\rho} + \frac{\beta^2\varepsilon^2(\Pi_M + \Pi_R)^2}{2\rho\mu_B(\rho + \gamma)^2} + \frac{\omega^2(\Pi_M + \Pi_R)^2(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)^2}{2\rho\mu_M(\rho + \sigma)^2(\rho + \gamma)^2}. \end{cases}$$

证明略。

### 1.2.2 分散式决策

分散式决策(用上标  $d$  表示)下制造商、零售商以及大数据服务商进行决策时,决策顺序是:首先,制造商决策其最优减排努力水平  $E_M^d$ ;然后,零售商在制造商决策的基础上决策大数据服务的支付水平  $n^d$ ;最后,大数据服务商在制造商和零售商决策的基础上决策其营销努力水平  $E_B^d$ 。决策目标是实现他们各自

利润的最大化,则他们的目标函数分别为

$$P_M^d = \max_{E_M^d} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ \Pi_M(D_0 + \lambda X^d + \varepsilon S^d) - \frac{\mu_M}{2} (E_M^d)^2 \right] dt, \quad (13)$$

$$P_R^d = \max_n \int_0^\infty e^{-\rho t} [\Pi_R(D_0 + \lambda X^d + \varepsilon S^d) - nE_B^d] dt, \quad (14)$$

$$P_B^d = \max_{E_B^d} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ nE_B^d - \frac{\mu_B}{2} (E_B^d)^2 \right] dt. \quad (15)$$

**命题2** 分散式决策下的均衡结果如下:

1) 制造商、零售商以及大数据服务商的最优均衡策略为

$$\begin{cases} E_M^{d*} = \frac{\omega \Pi_M (\lambda \rho + \lambda \gamma + \alpha \varepsilon)}{\mu_M (\rho + \sigma) (\rho + \gamma)}, \\ n^{d*} = \frac{\beta \varepsilon \Pi_R}{2(\rho + \gamma)}, \\ E_B^{d*} = \frac{\beta \varepsilon \Pi_R}{2\mu_B (\rho + \gamma)}. \end{cases} \quad (16)$$

2) 产品减排量和消费者转化率的最优轨迹为

$$\begin{cases} X^{d*} = X_\infty^d + (X_0 - X_\infty^d) e^{-\sigma t}, \\ S^{d*} = S_\infty^d + \frac{\alpha}{\gamma - \sigma} (X_0 - X_\infty^d) e^{-\sigma t} + \left[ S_0 - S_\infty^d - \frac{\alpha}{\gamma - \sigma} (X_0 - X_\infty^d) \right] e^{-\gamma t}. \end{cases} \quad (17)$$

其中

$$\begin{cases} X_\infty^d = \frac{\omega^2 \Pi_M (\lambda \rho + \lambda \gamma + \alpha \varepsilon)}{\sigma \mu_M (\rho + \sigma) (\rho + \gamma)}, \\ S_\infty^d = \frac{\alpha \omega^2 \Pi_M (\lambda \rho + \lambda \gamma + \alpha \varepsilon)}{\sigma \gamma \mu_M (\rho + \sigma) (\rho + \gamma)} + \frac{\beta^2 \varepsilon \Pi_R}{2\gamma \mu_B (\rho + \gamma)}. \end{cases}$$

3) 制造商、零售商以及大数据服务商的利润最优值函数分别为

$$P_M^{d*} = e^{-\rho t} (m_1^{d*} X^{d*} + m_2^{d*} S^{d*} + m_3^{d*}), \quad (18)$$

$$P_R^{d*} = e^{-\rho t} (r_1^{d*} X^{d*} + r_2^{d*} S^{d*} + r_3^{d*}), \quad (19)$$

$$P_B^{d*} = \frac{e^{-\rho t} \beta^2 (r_2^{d*})^2}{8\rho\mu_B}. \quad (20)$$

其中

$$\begin{aligned} m_1^{d*} &= \frac{\Pi_M (\lambda \rho + \lambda \gamma + \alpha \varepsilon)}{(\rho + \sigma) (\rho + \gamma)}, \\ m_2^{d*} &= \frac{\varepsilon \Pi_M}{\rho + \gamma}, \\ m_3^{d*} &= \frac{\Pi_M D_0}{\rho} + \frac{\beta^2 \varepsilon^2 \Pi_M \Pi_R}{2\rho\mu_B (\rho + \gamma)^2} + \frac{\omega^2 \Pi_M^2 (\lambda \rho + \lambda \gamma + \alpha \varepsilon)^2}{2\rho\mu_M (\rho + \sigma)^2 (\rho + \gamma)^2}; \\ r_1^{d*} &= \frac{\Pi_R (\lambda \rho + \lambda \gamma + \alpha \varepsilon)}{(\rho + \sigma) (\rho + \gamma)}, \end{aligned}$$

$$r_2^{d*} = \frac{\varepsilon \Pi_R}{\rho + \gamma},$$

$$r_3^{d*} = \frac{\Pi_R D_0}{\rho} + \frac{\beta^2 \varepsilon^2 \Pi_R^2}{4\rho\mu_B (\rho + \gamma)^2} +$$

$$\frac{\omega^2 \Pi_M \Pi_R (\lambda \rho + \lambda \gamma + \alpha \varepsilon)^2}{\rho\mu_M (\rho + \sigma)^2 (\rho + \gamma)^2}.$$

**证明** 分散式决策下,制造商、零售商以及大数据服务商的目标函数与基于改进的双边成本分担契约决策下  $\theta = 0$  且  $\varphi = 0$  时的目标函数分别对应相等. 所以分散式决策可以看作引入契约后的决策的一种特殊情况,它们的证明过程是相似的. 考虑到篇幅有限,此处详细证明过程省略.  $\square$

### 1.2.3 基于改进的双边成本分担契约的决策

本节设计一种改进的双边成本分担契约协调供应链,其协调机制具体而言:制造商关于零售商订购大数据服务成本的分摊比例为  $\theta$  ( $0 \leq \theta \leq 1$ );同时零售商也为制造商的减排成本投入进行支持,为其分摊的减排努力成本比例记为  $\varphi$  ( $0 \leq \varphi \leq 1$ ). 决策顺序是:第1阶段,制造商和零售商决策双边成本分摊比例  $\theta$  和  $\varphi$ ;第2阶段,制造商决策减排努力水平  $E_M$ ,零售商决策营销成本支付水平  $n$ ;第3阶段,大数据服务商在知晓零售商对营销成本支付水平  $n$  后,决策营销努力水平  $E_B$ . 引入契约后,制造商、零售商以及大数据服务商的目标函数可分别表示为

$$P_M = \max_{E_M, \theta} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ \Pi_M(D_0 + \lambda X + \varepsilon S) - (1 - \varphi) \frac{\mu_M}{2} E_M^2 - \theta n E_B \right] dt, \quad (21)$$

$$P_R = \max_{n, \varphi} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ \Pi_R(D_0 + \lambda X + \varepsilon S) - \varphi \frac{\mu_M}{2} E_M^2 - (1 - \theta) n E_B \right] dt, \quad (22)$$

$$P_B = \max_{E_B} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ n E_B - \frac{\mu_B}{2} E_B^2 \right] dt. \quad (23)$$

**命题3** 有契约决策下的均衡结果如下:

1) 制造商、零售商以及大数据服务商的最优均衡策略为

$$\begin{cases} E_M^* = \frac{\omega (\Pi_M + \Pi_R) (\lambda \rho + \lambda \gamma + \alpha \varepsilon)}{\mu_M (\rho + \sigma) (\rho + \gamma)}, \\ n^* = \frac{\beta \varepsilon (\Pi_M + \Pi_R)}{\rho + \gamma}, \\ E_B^* = \frac{\beta \varepsilon (\Pi_M + \Pi_R)}{\mu_B (\rho + \gamma)}, \\ \theta^* = \frac{2\Pi_M + \Pi_R}{2(\Pi_M + \Pi_R)}, \\ \varphi^* = \frac{\Pi_R}{\Pi_M + \Pi_R}. \end{cases} \quad (24)$$

2) 产品减排量和消费者转化率的最优轨迹为

$$\begin{cases} X^* = X_\infty + (X_0 - X_\infty)e^{-\sigma t}, \\ S^* = S_\infty + \frac{\alpha}{\gamma - \sigma}(X_0 - X_\infty)e^{-\sigma t} + \\ \quad \left[ S_0 - S_\infty - \frac{\alpha}{\gamma - \sigma}(X_0 - X_\infty) \right] e^{-\gamma t}. \end{cases} \quad (25)$$

其中

$$\begin{cases} X_\infty = \frac{\omega^2(\Pi_M + \Pi_R)(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)}{\sigma\mu_M(\rho + \sigma)(\rho + \gamma)}, \\ S_\infty = \frac{\alpha\omega^2(\Pi_M + \Pi_R)(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)}{\sigma\gamma\mu_M(\rho + \sigma)(\rho + \gamma)} + \\ \quad \frac{\beta^2\varepsilon(\Pi_M + \Pi_R)}{\gamma\mu_B(\rho + \gamma)}. \end{cases}$$

3) 制造商、零售商以及大数据服务商的利润最优值函数分别为

$$P_M^* = e^{-\rho t}(m_1^*X^* + m_2^*S^* + m_3^*), \quad (26)$$

$$P_R^* = e^{-\rho t}(r_1^*X^* + r_2^*S^* + r_3^*), \quad (27)$$

$$P_B^* = \frac{e^{-\rho t}\beta^2(t_2^*)^2}{2\rho\mu_B}. \quad (28)$$

其中

$$\begin{cases} m_1^* = \frac{\Pi_M(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)}{(\rho + \sigma)(\rho + \gamma)}, \\ m_2^* = \frac{\varepsilon\Pi_M}{\rho + \gamma}, \\ m_3^* = \frac{\Pi_M D_0}{\rho} - \frac{\beta^2\varepsilon^2(\Pi_M\Pi_R + \Pi_R^2)}{2\rho\mu_B(\rho + \gamma)^2} + \\ \quad \frac{\omega^2(\Pi_M^2 + \Pi_M\Pi_R)(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)^2}{2\rho\mu_M(\rho + \sigma)^2(\rho + \gamma)^2}, \\ r_1^* = \frac{\Pi_R(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)}{(\rho + \sigma)(\rho + \gamma)}, \\ r_2^* = \frac{\varepsilon\Pi_R}{\rho + \gamma}, \\ r_3^* = \frac{\Pi_R D_0}{\rho} + \frac{\beta^2\varepsilon^2(\Pi_M\Pi_R + \Pi_R^2)}{2\rho\mu_B(\rho + \gamma)^2} + \\ \quad \frac{\omega^2(\Pi_M\Pi_R + \Pi_R^2)(\lambda\rho + \lambda\gamma + \alpha\varepsilon)^2}{2\rho\mu_M(\rho + \sigma)^2(\rho + \gamma)^2}. \end{cases}$$

**证明** 为得到此情形下的均衡策略, 可利用逆向归纳法求解.  $t$ 时刻以后, 大数据服务商的最优利润值函数可记作  $P_B = e^{-\rho t}V_B(X, S)$ . 于是, 对于任意的  $X \geq 0$  以及  $S \geq 0$ ,  $V_B(X, S)$  均满足 HJB 方程, 则有

$$\rho V_B(X, S) = \max_{E_B} \left[ nE_B - \frac{\mu_B}{2}E_B^2 \right]. \quad (29)$$

显然, 式(29)是关于决策变量  $E_B$  的凹函数, 由一阶条件可知

$$E_B = \frac{n}{\mu_B}. \quad (30)$$

同理,  $t$ 时刻以后, 零售商的最优利润值函数可记作  $P_R = e^{-\rho t}V_R(X, S)$ , 于是, 对于任意的  $X \geq 0$  以及

$S \geq 0$ ,  $V_R(X, S)$  均满足 HJB 方程, 则有

$$\rho V_R(X, S) = \max_n \left[ \Pi_R(D_0 + \lambda X + \varepsilon S) - \varphi \frac{\mu_M}{2}E_M^2 - (1 - \theta)nE_B + V'_{RX}(\omega E_M - \sigma X) + V'_{RS}(\alpha X + \beta E_B - \gamma S) \right]. \quad (31)$$

将式(30)代入(31)中, 并由一阶条件可知

$$n = \frac{\beta V'_{RS}}{2(1 - \theta)}. \quad (32)$$

同理,  $t$ 时刻以后, 制造商的最优利润值函数可记作  $P_M = e^{-\rho t}V_M(X, S)$ , 于是, 对于任意的  $X \geq 0$  以及  $S \geq 0$ ,  $V_M(X, S)$  均满足 HJB 方程, 则有

$$\rho V_M(X, S) = \max_{E_M} \left[ \Pi_M(D_0 + \lambda X + \varepsilon S) - \theta nE_B - (1 - \varphi)\frac{\mu_M}{2}E_M^2 + V'_{MX}(\omega E_M - \sigma X) + V'_{MS}(\alpha X + \beta E_B - \gamma S) \right]. \quad (33)$$

同理可知, 为使得式(33)最大化, 对应的一阶条件为

$$E_M = \frac{\omega V'_{MX}}{\mu_M(1 - \varphi)}. \quad (34)$$

当供应链在引入双边成本分担契约后的情形下的最优决策等于集中式情形下的最优决策时, 可以实现供应链的协调. 体现在模型中, 即须使得  $E_M = E_M^{c*}$  和  $E_B = E_B^{c*}$  同时成立, 由此可得

$$\varphi = 1 - \frac{V'_{MX}}{t_1^*}, \quad (35)$$

$$\theta = 1 - \frac{V'_{RS}}{2t_2^*}. \quad (36)$$

将式(30)、(32)、(34)~(36)代入(29)、(31)以及(33)中, 整理可得

$$\rho V_M(X, S) = (\lambda\Pi_M - \sigma V'_{MX} + \alpha V'_{MS})X + \Pi_M D_0 + (\varepsilon\Pi_M - \gamma V'_{MS})S + \frac{\omega^2 V'_{MX} t_1^*}{2\mu_M} - \frac{\beta^2(2t_2^* - V'_{RS})t_2^*}{2\mu_B} + \frac{\beta^2 V'_{MS} t_2^*}{\mu_B}, \quad (37)$$

$$\rho V_R(X, S) = (\lambda\Pi_R - \sigma V'_{RX} + \alpha V'_{RS})X + \Pi_R D_0 + (\varepsilon\Pi_R - \gamma V'_{RS})S + \frac{\omega^2 V'_{RX} t_1^*}{\mu_M} - \frac{\omega^2(t_1^* - V'_{MX})t_1^*}{2\mu_M} + \frac{\beta^2 V'_{RS} t_2^*}{2\mu_B}, \quad (38)$$

$$\rho V_B(X, S) = \frac{\beta^2(t_2^*)^2}{2\mu_B}. \quad (39)$$

分析式(37)和(38), 可假设  $V_M(X, S) = m_1 X + m_2 S + m_3$  以及  $V_R(X, S) = r_1 X + r_2 S + r_3$ , 其中  $m_1, m_2, m_3, r_1, r_2$  以及  $r_3$  都是常数. 对  $V_M(X, S)$  和  $V_R(X, S)$  关于  $X$  和  $S$  求一阶偏导, 可得  $V'_{MX} = m_1, V'_{MS} = m_2, V'_{RX} = r_1$  以及  $V'_{RS} = r_2$ . 将  $V_M(X, S)$  和  $V_R(X, S)$

以及其偏导代入式(37)和(38)中,求解得到 $m_1^*$ 、 $m_2^*$ 、 $m_3^*$ 、 $r_1^*$ 、 $r_2^*$ 以及 $r_3^*$ .进而可得到此情形下的均衡解 $E_M^*$ 、 $n^*$ 、 $E_B^*$ 、 $\varphi^*$ 以及 $\theta^*$ .

将 $E_M^*$ 和 $E_B^*$ 代入式(3)和(4)中并进行求解,可以得到产品减排量和消费者转化率的最优轨迹分别为 $X^*$ 和 $S^*$ .然后将 $X^*$ 和 $S^*$ 代入式(5),求解得到产品需求为 $D^*$ .最后将 $m_1^*$ 、 $m_2^*$ 、 $r_1^*$ 、 $r_2^*$ 、 $X^*$ 以及 $S^*$ 代入 $V_M(X, S)$ 、 $V_R(X, S)$ 和 $V_B(X, S)$ 中,得到 $V_M^*(X, S)$ 、 $V_R^*(X, S)$ 和 $V_B^*(X, S)$ ,则有

$$V_T^*(X, S) = V_M^*(X, S) + V_R^*(X, S) + V_B^*(X, S).$$

进而可得制造商、零售商以及大数据服务商的利润最优值函数分别为 $P_M^*$ 、 $P_R^*$ 以及 $P_B^*$ ,供应链的利润最优值函数为 $P_T^*$ .□

虽然引入契约后大数据服务商的利润比分散式决策时的利润高(即 $V_B^* > V_B^{d*}$ ),但是,制造商和零售商的利润未必高于分散式决策时对应的值.所以为了顺利实施此双边成本分担契约,需要满足条件 $V_M^* - V_M^{d*} \geq 0$ 和 $V_R^* - V_R^{d*} \geq 0$ .如果在此双边成本分担契约下,得出的结果满足 $V_M^* - V_M^{d*} \geq 0$ 和 $V_R^* - V_R^{d*} \geq 0$ ,则作为理性的决策者会选择这一契约;否则,不会选择这一契约.

当不满足条件 $V_M^* - V_M^{d*} \geq 0$ 和 $V_R^* - V_R^{d*} \geq 0$ 时,本文设计一个利润共享契约作为此双边成本分担契约的补充.将双边成本分担契约和利润共享契约进行联合应用,在本文中定义为改进的双边成本分担契约.对于利润共享契约的设计,具体而言,制造商和零售商协商确定一个合作机制,对利润 $V_T^* - V_B^*$ 进行合理分割.假设制造商获得的利润分割比例为 $\delta(0 \leq \delta \leq 1)$ ,零售商获得的利润分割比例为 $1 - \delta$ .此时,将分散式决策时的制造商和零售商各自的利润作为保留利润,分别为 $V_M = V_M^{d*}$ 和 $V_R = V_R^{d*}$ .制造商和零售商利润分割比例需要满足的条件为

$$\begin{cases} \delta(V_T^* - V_B^*) \geq V_M, \\ (1 - \delta)(V_T^* - V_B^*) \geq V_R, \end{cases}$$

可得 $\delta \in [V_M/(V_T^* - V_B^*), (V_T^* - V_B^* - V_R)/(V_T^* - V_B^*)]$ .

令 $\underline{\delta} = V_M/(V_T^* - V_B^*)$ 和 $\bar{\delta} = (V_T^* - V_B^* - V_R)/(V_T^* - V_B^*)$ ,则制造商和零售商都期望从利润分配区间 $[\underline{\delta}, \bar{\delta}]$ 中分得更多的利润.制造商希望分割比例 $\delta$ 尽量靠近 $\bar{\delta}$ ,零售商希望分割比例尽量靠近 $\underline{\delta}$ .对于分割比例 $\delta$ 的确定可借鉴Rubinstein讨价还价模型中“贴现因子”的定义<sup>[20]</sup>.贴现因子表示供应链参与成员讨价还价的能力,它越趋向于1,参与成员讨价还价的能力越强,收益越多.一般而言,讨价还价能力与

参与成员的风险厌恶程度、核心竞争力等相关.假设制造商和零售商的贴现因子分别是 $\rho_M$ 和 $\rho_R$ ,且制造商作为领导者,制造商先出价,采用Rubinstein讨价还价模型定理,可得制造商和零售商分享的利润比例分别为

$$\begin{cases} \delta = 1 - \frac{\rho_M(1 - \rho_R)}{1 - \rho_M\rho_R}(\bar{\delta} - \underline{\delta}) - \underline{\delta}, \\ 1 - \delta = \frac{\rho_M(1 - \rho_R)}{1 - \rho_M\rho_R}(\bar{\delta} - \underline{\delta}) + \underline{\delta}. \end{cases}$$

因此,制造商和零售商的利润可表示为

$$\begin{cases} V_M = \left[1 - \frac{\rho_M(1 - \rho_R)}{1 - \rho_M\rho_R}(\bar{\delta} - \underline{\delta}) - \underline{\delta}\right](V_T^* - V_B^*), \\ V_R = \left[\frac{\rho_M(1 - \rho_R)}{1 - \rho_M\rho_R}(\bar{\delta} - \underline{\delta}) + \underline{\delta}\right](V_T^* - V_B^*). \end{cases}$$

博弈参与者的风险厌恶程度越低、谈判成本越低或者竞争力越强时,其分得的利润越多.

## 2 比较分析

为验证本文设计的改进的双边成本分担契约的有效性,对以上3种决策结果进行比较,进而分析契约设计的合理性;同时根据决策结果挖掘一些有意义的推论.

**推论1** 与分散决策时相比,引入改进的双边成本分担契约后,制造商的减排努力、大数据服务商的营销努力、产品减排量、消费者转化率、产品需求量均得到相应的提高,且均提高到了集中时的水平.

**推论2** 引入改进的双边成本分担契约后,制造商、大数据服务商以及零售商的利润均高于分散时的水平,且该契约能够实现供应链的有效协调.

推论1和推论2表明,相较于集中式决策,因“双重边际效应”的存在,分散式决策时制造商的减排和大数据服务商的营销动机被弱化,因此,设计契约协调供应链是必要的.从动态的角度验证了本文设计的改进的双边成本分担契约能够完全协调分散式下的供应链,即此契约是有意义的.引入此契约后,产品减排量、消费者转化率以及供应链利润均得到提高,实现了经济与环境效益的双赢局面,为供应链长期合作提供了理论支撑.此外,3种决策下的均衡策略都是常数,即不随时间的改变而发生任何变化,说明当市场比较成熟时,供应链成员企业的运营模式趋于稳定,这些策略在实践中具有一定的可行性.

有契约的决策下,供应链利润和相关参数的相关性与文献[19]相似,但又不尽相同.因本文同时考虑了大数据和减排的综合影响,故体现出了大数据服务商、制造商和零售商在减排和大数据营销方面的交互影响.随着潜在消费者转化率对减排投入或大数据营销投入的敏感性越强( $\alpha$ 或 $\beta$ 越大),供应链利润

越大,表明大数据营销和减排投入对消费者转化效果越佳,供应链长期合作减排和营销的效果越明显;随着制造商减排成本系数和大数据营销成本系数的增加,供应链利润减少,表明单位减排投入成本或单位大数据营销成本投入越高,实现联合减排和大数据营销的难度越大,则供应链长期减排和营销合作的效果越差。

**推论3** 3种决策下,产品减排量的最优轨迹均是单调的,其变化速率呈现出单一性;消费者转化率的最优轨迹也是单调的,但是其变化速率呈现出多样性。

以分散式决策为例进行说明。当  $X_0 < X_\infty^d$  时,产品减排量的最优轨迹随时间的推移单调递增,增速是递减的;而当  $X_0 > X_\infty^d$  时,产品减排量的最优轨迹随时间的推移单调递减,减速是递减的;当  $X_0 = X_\infty^d$  时,产品减排量是与时间无关的常数。由于消费者转化率受产品减排量和大数据营销努力的双重影响,消费者转化的最优轨迹的变化速率呈现出多样性。若产品减排量对消费者转化率毫无影响,即  $\alpha = 0$  时,则消费者转化率将呈现单一变化速率的单调性。同理可知,在另外两种决策下,产品减排量和消费者转化率也具有类似的性质。此研究结果与文献[10]和文献[13]的研究结果相似,然而文献[10]研究的是产品减排量和商誉的变化情况,文献[13]研究的是产品低碳度和商誉的变化情况。

**推论4** 3种决策下,制造商减排努力与  $\alpha$ 、 $\varepsilon$ 、 $\lambda$ 、 $\omega$  以及  $\Pi_M$  等参数呈正相关(集中式和有契约决策下还与  $\Pi_R$  呈正相关),与  $\mu_M$ 、 $\sigma$ 、 $\rho$  以及  $\gamma$  呈负相关;大数据服务商的营销努力与  $\beta$ 、 $\varepsilon$  以及  $\Pi_R$  等参数呈正相关(集中式和有契约决策下还与  $\Pi_M$  呈正相关),与  $\mu_B$ 、 $\rho$  以及  $\gamma$  呈负相关。

推论4表明:潜在消费者的低碳意识越强、需求对减排量越敏感、需求对消费者转化率越敏感或者减排量对减排努力越敏感时,制造商越有动力进行减排投资;制造商的边际利润越大,其进行减排技术投入的积极性越高。在集中式和改进的双边成本分担契约决策下,制造商进行减排投入的积极性除了与制造商的边际利润有关,还与零售商的边际利润有关。这是由于集中式决策下,以供应链整体利润最大化决策减排和营销努力水平且在有契约决策时,制造商与零售商之间存在利润分担。制造商单位减排投入的成本越高,其进行减排投入的积极性越低;企业投入的减排设备越容易自然老化(减排量的自衰减率越大)或市场竞争力越大(竞争越剧烈,潜在消费者可能选择购买其他产品),制造商进行减排投资的动

力越小;需求对消费者转化率越敏感或边际利润越大,大数据服务商进行营销投入的积极性越高;单位大数据营销成本投入越大或市场竞争力越强,大数据服务商进行营销投入的动力越小。

**推论5** 基于改进的双边成本分担契约的决策下,供应链成员间的成本分担比例仅与制造商和零售商的边际利润有关;制造商为零售商提供的成本分担比例与制造商的边际利润呈正相关,与零售商的边际利润呈负相关;而零售商为制造商提供的成本分担比例与制造商的边际利润呈负相关,与零售商的边际利润呈正相关。

推论5表明:在有契约的决策下,制造商为零售商提供的大数据服务营销成本比例以及零售商为制造商提供的减排努力成本比例,都仅与双方的边际利润有关,且取决于各自的边际利润在他们的边际利润总和中所占的比重;在改进的双边成本分担契约决策下,当不进行利润分割就能满足条件  $V_M^* - V_M^{d*} \geq 0$  和  $V_R^* - V_R^{d*} \geq 0$  时,制造商与零售商之间的最优分担比例满足关系  $\theta + \varphi/2 = 1$ ;对于供应链成员企业而言,边际利润越高,其为合作者分担的比例越大。

### 3 算例分析

本文借助 Matlab 软件进行算例分析。假设此供应链中各参数的取值分别为:  $\Pi_M = 15$ ,  $\Pi_R = 10$ ,  $\mu_M = 8$ ,  $\mu_B = 5$ ,  $\omega = 5$ ,  $\sigma = 0.2$ ,  $\alpha = 0.4$ ,  $\beta = 0.5$ ,  $\gamma = 0.1$ ,  $\rho = 0.8$ ,  $X_0 = 0$ ,  $S_0 = 0$ ,  $D_0 = 15$ ,  $\lambda = 4$ ,  $\varepsilon = 10$ ,  $t = 2$ 。根据文中所建立的模型以及各参数的取值,分别计算出以上各情形下的最优策略值,如表1所示。

表1 3种情形下的最优策略

均衡结果	集中式决策	分散式决策	基于改进契约的决策
$E_M$	131.9	79.2	131.9
$E_B$	27.8	5.6	27.8
$n$	-	27.8	138.9
$\theta$	-	-	0.8
$\varphi$	-	-	0.4
$X$	1087.5	652.5	1087.5
$S$	458.7	265.2	458.7
$D$	8952.2	5276.6	8952.2
$V_M$	-	159044.0	265750.0
$V_R$	-	126720.0	178770.0
$V_B$	-	96.5	2410.0
$V_T$	446930.0	285860.5	446930.0

对表1中3种决策下的均衡结果进行分析可知:1)相比于集中决策,分散决策时制造商的减排努力和大数据服务商的营销努力分别降低40.0%和

79.9%;减排量、消费者转化率、需求以及供应链总利润分别降低40.0%、42.2%、41.1%以及36.0%。这种现象源于分散式决策下的双重边际效应。2)引入改进的双边成本分担契约后,表1中各参数值均比分散式决策时有所提高,制造商、零售商以及大数据服务商的利润分别提高67.1%、41.1%以及2397.4%;制造商和大数据服务商的努力水平、减排量、消费者转化率、需求以及供应链总利润均达到了集中时的水平。表明本文设计的改进的双边成本分担契约是合理的,能够使得供应链有效地实现协调。

图1和图2分别为3种决策下的状态变量随时间变化的最优轨迹。由图1和图2可知,引入契约后产品减排量和消费者转化率较分散式决策时均得到了提高,且等于集中式时的水平,符合推论1的内容。此外,产品减排量和消费者转化率均随着时间的推移而递增,且逐渐趋于稳定状态,其中减排量递增速率为逐渐减小的,而消费者转化率的递增速率为先增大后减小。出现这种现象的原因是消费者转化率同时受到减排量和大数据营销努力的双重影响,而消费者转化率和减排量都具有自衰减状况。

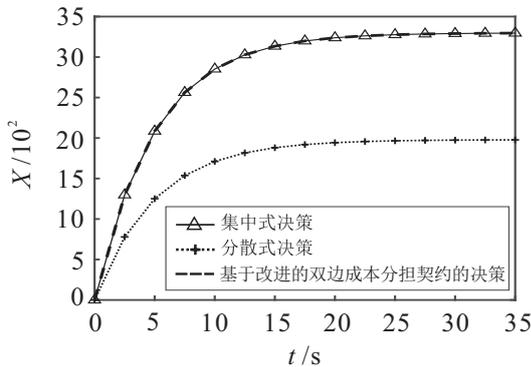


图1 产品减排量的最优轨迹

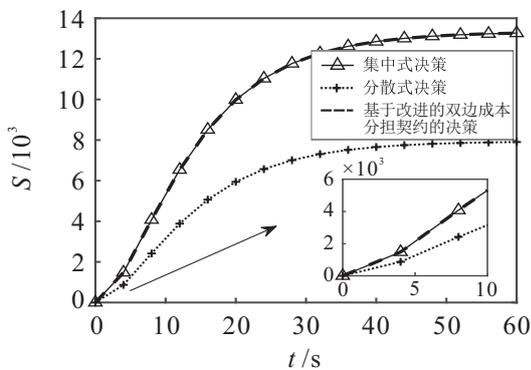


图2 消费者转化率的最优轨迹

图3为基于改进的双边成本分担契约的决策下,制造商和零售商的边际利润对他们之间成本分担比例的影响情况。从图3中可以看出,制造商为零售商提供的大数据服务营销成本分担比例随着制造商边

际利润的增大而增大,随着零售商边际利润的增大而减小;而零售商为制造商提供的减排成本分担比例出现了相反的趋势,与推论5相符合。

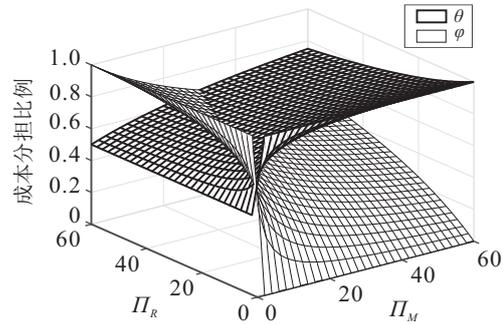


图3 参数Pi\_M和Pi\_R对成本分担比例的影响

图4考察了部分相关参数对供应链成员利润的影响情况。由图4可知,在引入改进的双边成本分担契约的决策下,制造商和零售商利润均随着需求对减排量敏感系数的增大而增大,这是因为随着消费者低碳意识的增强,产品需求量增大,进而两者的利润均得到了提高。制造商利润、零售商利润以及大数据服务商利润均随着消费者转化率对需求的影响系数的增大而增大,说明了随着需求对消费者转化率敏感性的增强,制造商的减排努力投入以及大数据服务商的营销努力投入积极性越高,产品需求量以及零售商对大数据服务的支付越多,进而大数据服务商、制造商以及零售商的利润也越大。值得注意的是,由于制造商和零售商的利润远大于大数据服务商的利润,在同一幅图中大数据服务商的变化趋势相对不明显。

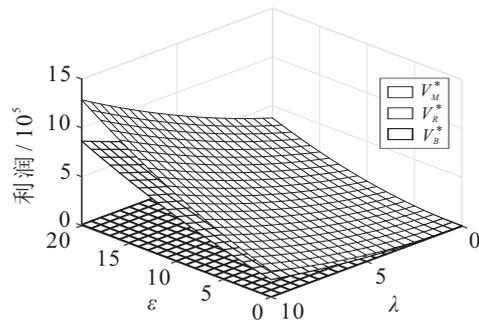


图4 有契约决策下参数epsilon和lambda对利润的影响

由图5可知,相较于分散式决策,引入双边成本分担契约后制造商的利润未必会得到提高。在给定的参数下,当制造商边际利润在区间[0, 130]时,制造商的利润在分散式决策下比引入双边成本分担契约下对应的值大,即不满足约束条件  $V_M^* - V_M^{d*} \ge 0$  和  $V_R^* - V_R^{d*} \ge 0$ 。此时需要对此双边成本分担契约进行改进,于是设计了利润共享契约,使制造商和零售商基于讨价还价模型分割利润,得到的结果如图6所示。从图6中可以看出,设计的利润共享契约对制造

商和零售商的利润进行了合理分配,此时在引入改进的契约后制造商的利润高于分散式决策时的利润,从而表明了利润共享契约的有效性. 此契约作为双边成本分担契约的有效补充是合理的,即改进的双边成本分担契约是有效的,具有良好的实践意义.

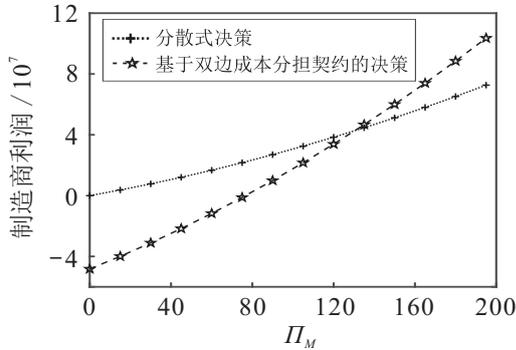


图5 引入双边成本分担契约前后制造商的利润

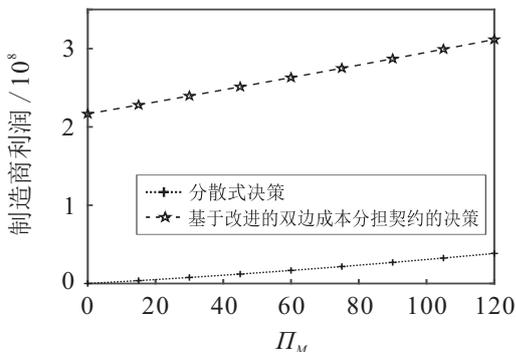


图6 引入改进的双边成本分担契约前后制造商的利润

#### 4 结论

本文在大数据和低碳双重背景下,综合考虑制造商减排努力和大数据服务商的营销努力,研究由制造商、零售商以及大数据服务商组成的三级供应链联合减排的动态协调问题. 将产品减排量和消费者转化率作为状态变量,构建集中式和分散式微分博弈模型,并设计了改进的双边成本分担契约以实现供应链的协调. 本文研究得出以下结论:

1) 在一定条件下,双边成本分担契约能够达成;当制造商和零售商中一方过多地让利给另一方,导致不满足给定条件时,设计了利润共享契约作为双边成本分担契约的有效补充. 利润共享契约中分割比例的确定采用的是基于贴现因子的 Rubinstein 讨价还价模型. 引入双边成本契约后,供应链成员间的成本分担比例仅与制造商和零售商的边际利润有关. 该改进的双边成本分担契约能够完美地协调供应链,贴近实践.

2) 产品减排量的最优轨迹均是单调的,其变化速率呈现出单一性;消费者转化率的最优轨迹也是单调的,但是其变化速率呈现出多样性. 产品减排量和

消费者转化率的最优轨迹随时间的推移最终趋于稳定的状态,说明此供应链联合减排与营销过程是可控的.

3) 制造商减排努力、大数据营销努力等参数对产品减排量、消费者转化率以及供应链企业利润均产生重要的影响.

本文重在分析减排努力、大数据营销努力对减排量、消费者转化率以及供应链利润的影响,但是,将边际利润视为常量且未考虑价格因素. 未来可考虑价格因素并将其作为决策变量进行研究.

#### 参考文献(References)

[1] 夏良杰, 柳慧, 张萌, 等. 强制减排规制下基于碳减排利润增量分享契约的供应链协调研究[J]. 运筹与管理, 2019, 28(5): 92-98.  
(Xia L J, Liu H, Zhang M, et al. Supply chain coordination based on incremental profit sharing contract of carbon emission reduction under mandatory carbon emissions capacity scheme[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(5): 92-98.)

[2] 刘名武, 万溢宇, 付红. 碳交易和低碳偏好下供应链低碳技术选择研究[J]. 中国管理科学, 2018, 26(1): 152-162.  
(Liu M W, Wan M Y, Fu H. Low-carbon technology selection for supply chain under cap and trade mechanism with low-carbon preference[J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(1): 152-162.)

[3] 李友东, 夏良杰, 王锋正. 基于产品替代的低碳供应链博弈与协调模型[J]. 中国管理科学, 2019, 27(10): 66-76.  
(Li Y D, Xia L J, Wang F Z. Game and coordination model for low-carbon supply chain with product substitution[J]. Chinese Journal of Management Science, 2019, 27(10): 66-76.)

[4] 孙新波, 钱雨, 张明超, 等. 大数据驱动企业供应链敏捷性的实现机理研究[J]. 管理世界, 2019, 35(9): 133-151.  
(Sun X B, Qian Y, Zhang M C, et al. A study on the implementation mechanism of enterprise supply chain agility driven by big data[J]. Management World, 2019, 35(9): 133-151.)

[5] Fan J Q, Han F, Liu H, et al. Challenges of big data analysis[J]. National Science Review, 2014, 1(2): 293-314.

[6] Zwick D, Denegri Knott J. Manufacturing customers: The database as new means of production[J]. Journal of Consumer Culture, 2009, 9(2): 221-247.

[7] Benjaafar S, Li Y Z, Daskin M. Carbon footprint and the management of supply chains: Insights from simple models[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2013, 10(1): 99-116.

[8] 李友东, 夏良杰, 王锋正. 基于销售返利契约的低

- 碳供应链协调策略研究[J]. 管理评论, 2018, 30(9): 218-228.  
(Li Y D, Xia L J, Wang F Z. Study on low-carbon supply chain coordination strategy with sales-rebate contract[J]. Management Review, 2018, 30(9): 218-228.)
- [9] Zhou Y J, Bao M J, Chen X H, et al. Co-op advertising and emission reduction cost sharing contracts and coordination in low-carbon supply chain based on fairness concerns[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 133: 402-413.
- [10] Zhou Y J, Ye X. Differential game model of joint emission reduction strategies and contract design in a dual-channel supply chain[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 190: 592-607.
- [11] Zu Y F, Chen L H, Fan Y. Research on low-carbon strategies in supply chain with environmental regulations based on differential game[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 177: 527-546.
- [12] 赵道致, 原白云, 徐春秋. 低碳环境下供应链纵向减排合作的动态协调策略[J]. 管理工程学报, 2016, 30(1): 147-154.  
(Zhao D Z, Yuan B Y, Xu C Q. Dynamic coordination strategy of vertical cooperative on carbon emission reduction in supply chain under low-carbon era[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2016, 30(1): 147-154.)
- [13] 游达明, 朱桂菊. 低碳供应链生态研发、合作促销与定价的微分博弈分析[J]. 控制与决策, 2016, 31(6): 1047-1056.  
(You D M, Zhu G J. Differential game analysis of ecological R&D, cooperative promotion and pricing in the low-carbon supply chain[J]. Control and Decision, 2016, 31(6): 1047-1056.)
- [14] 向小东, 李翀. 三级低碳供应链联合减排及宣传促销微分博弈研究[J]. 控制与决策, 2019, 34(8): 1776-1788.  
(Xiang X D, Li C. Differential game models for joint carbon emission reduction and promotion in three-echelon low carbon supply chain[J]. Control and Decision, 2019, 34(8): 1776-1788.)
- [15] Tan K H, Zhan Y Z, Ji G J, et al. Harvesting big data to enhance supply chain innovation capabilities: An analytic infrastructure based on deduction graph[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 165: 223-233.
- [16] 刘盼, 易树平. 定向广告与消费者信息投入对供应链定价的影响[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1): 162-171.  
(Liu P, Yi S P. Effects of consumer information and targeting advertising investment on supply chain pricing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(1): 162-171.)
- [17] Liu P. Pricing strategies of a three-stage supply chain: A new research in the big data era[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2017, 2017: 1-16.
- [18] Liu P, Yi S P. Pricing policies of green supply chain considering targeted advertising and product green degree in the big data environment[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 164: 1614-1622.
- [19] 吴成霞, 赵道致, 潘新宇. 大数据服务商参与的三级供应链动态合作策略及其比较[J]. 控制与决策, 2016, 31(7): 1169-1177.  
(Wu C X, Zhao D Z, Pan X Y. Comparison on dynamic cooperation strategies of a three-echelon supply chain involving big data service provider[J]. Control and Decision, 2016, 31(7): 1169-1177.)
- [20] 王芹鹏, 赵道致. 两级供应链减排与促销的合作策略[J]. 控制与决策, 2014, 29(2): 307-314.  
(Wang Q P, Zhao D Z. Cooperative strategy of carbon emissions reduction and promotion in a two-echelon supply chain[J]. Control and Decision, 2014, 29(2): 307-314.)
- [21] Xia X Q, Ruan J H, Juan Z R, et al. Upstream-downstream joint carbon reduction strategies based on low-carbon promotion[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(7): 1351-1367.
- [22] 张永明, 楼高翔. 竞争型低碳供应链下考虑参考效应的微分博弈[J]. 系统工程, 2018, 36(6): 101-108.  
(Zhang Y M, Lou G X. Differential game model in competitive low-carbon supply chain considering reference effect[J]. Systems Engineering, 2018, 36(6): 101-108.)

### 作者简介

王婷婷(1990—), 女, 博士生, 从事供应链管理的研究, E-mail: wang\_tt926@163.com;

王道平(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、知识管理等研究, E-mail: dpwang@ustb.edu.cn;

赵超(1988—), 女, 博士生, 从事供应链管理的研究, E-mail: zchao363@163.com.

(责任编辑: 李君玲)