

制造商竞争与合作下双渠道供应链 联合减排的微分博弈分析

周艳菊, 叶欣[†], 詹结祥, 徐选华

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘 要: 以两个制造商与一个零售商组成的双渠道供应链为研究对象, 分析制造商竞争与合作模型下供应链的最优均衡策略, 并探讨系统关键参数对供应链各成员利润的影响. 研究发现, 只有当减排效率差异水平满足一定条件时, 两制造商才会同时选择合作, 且合作模型下制造商的利润总和增大, 而减排努力、广告分担率、广告努力和零售商的利润减小. 随着传统渠道市场占有率、减排竞争和广告竞争的增大, 竞争模型下零售商的利润增大, 而合作模型下的利润与广告竞争无关; 制造商的利润变化取决于减排效率、网络渠道和传统渠道的边际利润.

关键词: 制造商竞争与合作; 联合减排; 双渠道供应链; 微分博弈

中图分类号: F272

文献标志码: A

Differential game model of joint emission reduction strategies in a dual-channel supply chain considering manufacturers' competition and cooperation

ZHOU Yan-ju, YE Xin[†], ZHAN Jie-xiang, XU Xuan-hua

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Considering a dual-channel supply chain based on a differential game involving two competing manufacturers and one retailer, we study the optimal equilibrium strategies in both competition and cooperation models, and analyze how the key coefficients affect supply chain members' profits. The results suggest that, the cooperation between the two manufacturers will occur only if the emission reduction efficiency difference is limited, and the two manufacturers' total profits are higher, but their emission reduction efforts and advertising participation rates, as well as retailer's advertising efforts and profit are lower in the cooperation model. Furthermore, as the degree of customer loyalty to the retail channel increases and competition intensifies, retailer's profit in the competition model will increase, while the profit in the cooperation model is independent of advertising competition; the two manufactures' profits are both depending on their emission reduction efficiencies, direct channel and retail channel's marginal profits.

Keywords: manufacturers' competition and cooperation; joint emission reduction; dual-channel supply chain; differential game

0 引 言

近年来,为了解决全球气候变暖、能源危机、雾霾频发等环境恶化引起的经济与生态效益下降的问题,各国政府和环保机构相继出台了一系列法律法规. 2006年,欧盟发布了针对产品回收和处理义务的《废弃电气电子设备指令》和针对能耗技术壁垒的《用能产品生态设计框架指令》. 2015年,国务院印发《关于加快推进生态文明建设的意见》,明确指出,要从根

本上缓解资源环境与经济发展间的矛盾,构建资源消耗低、科技含量高、环境污染少的产业结构.

在这样的经济环境下,为了生存和不断发展,制造企业开始实施低碳管理战略,提升节能减排技术. 例如,全球最大的家电零售商 Best Buy 通过销售具有优越能源效率的产品 Energy Star 节省能源、保护环境. 知名品牌制造商 Adidas 从制造材料和包装材料上优化,以减少对环境的污染. 同时,在实施低碳

收稿日期: 2017-06-26; 修回日期: 2017-09-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71221061, 71171201, 71171202, 71431006, 71471178, 71502178); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2011RWSK003).

作者简介: 周艳菊(1972—),女,教授,博士生导师,从事供应链管理、博弈论等研究;叶欣(1985—),女,博士生,从事供应链管理的研究.

[†]通讯作者. E-mail: 12095912@qq.com

化管理战略的过程中,消费者的低碳消费理念也起着重要作用.为增强消费者的低碳意识,零售商往往会进行广告宣传.例如,沃尔玛在商场设置专区,联合供应商提供低碳商品和低碳生活方式的教育推广活动;苏宁电器通过大量的日常海报和店面陈设突出展示节能环保产品,引导消费者低碳进行消费.这种由制造商负责节能减排,零售商负责低碳宣传的合作行为被称为联合减排,是供应链中常见的合作形式.

随着电子商务时代的到来,传统销售和消费模式发生了巨大改变,很多制造商开始开设网络渠道来销售低碳产品,扩大市场需求.同时,零售商地位的不断提高导致制造商之间的竞争愈发激烈,促使制造商之间达成合作,共享资源,减小竞争.因此,研究制造商竞争与合作下双渠道供应链的联合减排问题无疑具有重要的现实意义.

在低碳环境下,一些学者研究了消费者的环保意识对低碳供应链运营管理的影响.Chitra^[1]发现,消费者的低碳环保意识越强,越愿意为低碳产品支付更高的价格;Liu等^[2]分析了消费者环保意识对供应链成员的影响,他们发现,随着消费者环保意识的提高,零售商和环境友好型的制造商将会获得更大利润.同时,越来越多的学者开始关注低碳环境下企业的定价、库存及生产决策问题.在定价和生产决策方面,Du等^[3-4]研究了碳限额和碳交易机制下消费者低碳偏好对制造商生产决策的影响;Luo^[5]等分析比较了两制造商竞争与合作环境下的生产和减排策略问题;在库存方面,Hua等^[6]借助EOQ模型,探讨了碳交易机制下企业的最佳订货量问题;Benjaafar等^[7]研究了4种低碳政策对产量和库存的影响.另外,鲜有文献对低碳环境下双渠道供应链的运营管理问题进行探讨.Carrillo等^[8]首次将环境问题纳入到双渠道供应链的框架当中,建立了确定性和不确定性模型,讨论了零售商的定价及渠道选择策略;Ji等^[9]首次将碳限额引入双渠道,对制造商和零售商实行联合减排策略前后的结果进行了比较.

上述相关文献都是用静态模型研究供应链成员的最优决策,但由于减排、广告和市场需求都是动态现象,在动态的框架下进行分析更加贴近现实^[10],例如产品减排量与广告^[11]、质量与广告^[12]、质量与商誉^[13]等.文献[14]对文献[15]的经典模型进行了扩展,构建了广告合作下制造商主导的Stackelberg微分博弈模型;文献[16-17]考虑了由制造商减排努力形成的低碳商誉对市场的影响,分析了低碳供应链成员长期动态最优决策;文献[18]在制造商多周期连

续生产时具有动态变化特征的情况下,分析比较了制造商和零售商联合减排的3种微分博弈模型.

综上所述,国内外学者已经对企业运营中的碳排放问题进行了广泛而深入的研究,但这些研究主要集中在单一渠道,对于低碳环境下双渠道供应链管理的研究尚处于静态的框架下,并且没有考虑制造商竞争与合作对双渠道供应链的影响.因此,本文首次将产品减排量引入双渠道供应链,从长期、动态的角度研究制造商竞争与合作下供应链成员的最优决策,为低碳环境下双渠道供应链管理提供理论依据和科学参考.

1 问题描述与基本假设

如图1所示,本文假设低碳环境下的双渠道供应链由两个减排效率不同的制造商与一个零售商组成.作为Stackelberg领导者的制造商1和制造商2通过零售商销售两种具有部分替代性的低碳产品1和低碳产品2.同时,两制造商均拥有网络渠道,和传统渠道销售的均为同类同质的商品.为了激励零售商增大对广告的投资,销售更多产品,两制造商均为零售商分担一部分广告成本,其中,制造商决定产品的减排努力和广告分担率,零售商决定产品的广告努力.在此供应链系统中,两产品间不仅存在减排竞争,还存在广告竞争.

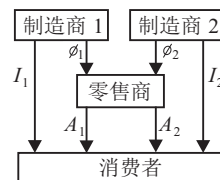


图1 制造商竞争下双渠道供应链联合减排系统

假设1 假设制造商 i ($i = 1, 2$) 在 t 时刻的减排努力为 $I_i(t)$,零售商在 t 时刻对产品 i 的广告努力为 $A_i(t)$,制造商 i 对产品的广告分担率为 $0 \leq \phi_i \leq 1$.假设制造商 i 的减排成本 $C_{mi}(t)$ 和零售商对产品 i 的广告成本 $C_{ri}(t)$ 分别为减排努力和广告努力的凸函数^[19],即 $C_{mi}(t) = \frac{K_{mi}}{2} I_i^2(t)$, $C_{ri}(t) = \frac{K_r}{2} A_i^2(t)$, $i = 1, 2$.其中: $K_{mi} > 0$ 和 $K_r > 0$ 分别为制造商 i 的减排努力和零售商广告努力的成本系数.

假设2 制造商的减排努力决定单位产品减排量.随着时间的推移,已有投资设备老化、技术落后,产品减排量存在自然衰减状态,则产品 i 减排量变化过程的微分方程为

$$\dot{E}_i(t) = I_i(t) - \delta E_i(t), \quad i \in \{1, 2\}. \quad (1)$$

其中: $E_i(t)$ 为 t 时刻产品 i 的减排量,且初始减排量 $E_i(0) = E_{0i}$; $\delta > 0$ 为产品减排量的自然衰退率.

假设3 在双渠道中,两制造商同时采用传统渠

道和网络渠道销售产品,则产品*i*在传统渠道和网络渠道的需求函数分别为

$$\begin{aligned} D_{di} &= (1-u)a_i + b_1 I_i(t) + k_1(I_i(t) - I_{3-i}(t)) + \\ &\quad \eta E_i(t) - \gamma E_{3-i}(t), \\ D_{ri} &= ua_i + b_1 I_i(t) + k_1(I_i(t) - I_{3-i}(t)) + \\ &\quad b_2 A_i(t) + k_2(A_i(t) - A_{3-i}(t)) + \\ &\quad \eta E_i(t) - \gamma E_{3-i}(t), \quad i \in \{1, 2\}. \end{aligned} \quad (2)$$

其中:下标*r*为传统渠道,*d*为网络渠道; $0 < u < 1$ 为传统渠道市场占有率; $a_i > 0$ 为产品*i*的潜在市场容量; $b_1, b_2 > 0$ 分别为减排敏感系数与广告敏感系数; $\eta > 0$ 为消费者低碳意识, $\gamma > 0$ 为竞争产品减排量对需求的影响, $\eta > \gamma$; k_1 为两产品的减排竞争系数, k_2 为两产品的广告竞争系数,且 $b_1 > k_1, b_2 > k_2$.

假设4 制造商*i*在传统渠道获取的边际利润为 $\pi_{mri} > 0$,在网络渠道的边际利润为 $\pi_{mdi} > 0$;零售商从两产品中获取的边际利润相等,均为 $\pi_r > 0$.

假设5 制造商1的减排效率高于制造商2^[2],即 $0 < K_{m1} < K_{m2}$. 令 $h = \frac{K_{m1}}{K_{m2}}$ ($0 < h < 1$)表示两制造商减排效率的差异水平. *h*越小表示制造商1的减排优势越大,两制造商的减排效率差异越大;*h*越大表示制造商1的减排优势越小,两制造商的减排效率越接近.

假设6 在无限时间范围内,制造商和零售商在任意时刻均具有相同的贴现因子 ρ ($\rho > 0$);制造商*i*在传统渠道和网络渠道的边际利润 π_{mri} 和 π_{mdi} 、零售商的边际利润 π_r 均为外生变量. 制造商*i*的减排努力 $I_i(t)$ 、广告分担率 $\phi_i(t)$ 及零售商的广告努力 $A_i(t)$ 为控制变量;单位产品的减排量 $E_i(t)$ 为状态变量. 因此,零售商和制造商*i*的长期利润分别为

$$J_r = \int_0^\infty e^{-\rho t} \sum_{i=1}^2 [\pi_r D_{ri}(t) - (1 - \phi_i(t))C_{ri}(t)]dt, \quad (3)$$

$$J_{mi} = \int_0^\infty e^{-\rho t} [\pi_{mri} D_{ri}(t) + \pi_{mdi} D_{di}(t) - C_{mi}(t) - \phi_i(t)C_{ri}(t)]dt. \quad (4)$$

其中: $\pi_r D_{ri}(t)$ 为零售商从产品*i*获取的收益, $(1 - \phi_i(t))C_{ri}(t)$ 为零售商的广告成本, $\pi_{mri} D_{ri}(t)$ 为制造商*i*在传统渠道的收益, $\pi_{mdi} D_{di}(t)$ 为制造商*i*在网络渠道的收益, $C_{mi}(t)$ 和 $\phi_i(t)C_{ri}(t)$ 分别为制造商*i*的减排成本以及为零售商分担的广告成本.

2 模型求解与分析

2.1 制造商的竞争模型

该情形下,制造商*i*和零售商独自决策以最大化各自利润,用上标*N*表示. 决策顺序为:制造商*i*先选择最优减排努力 $I_i(t)$ 和广告分担率 $\phi_i(t)$;零售商在

此基础上,选择最优广告努力 $A_i(t)$. 零售商和制造商*i*的决策问题分别为

$$\max_{A_i} J_r^N = \int_0^\infty e^{-\rho t} \sum_{i=1}^2 \left[\pi_r D_{ri} - \frac{1}{2}(1 - \phi_i)K_r A_i^2 \right] dt, \quad (5)$$

$$\max_{I_i, \phi_i} J_{mi}^N = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left(\pi_{mri} D_{ri} + \pi_{mdi} D_{di} - \frac{1}{2}K_{mi} I_i^2 - \frac{1}{2}\phi_i K_r A_i^2 \right) dt. \quad (6)$$

定理1 竞争模型下,供应链上下游微分博弈的均衡结果如下:

1) 制造商*i*单位产品减排量的最优轨迹为

$$E_i^N(t) = E_{\infty i}^N + (E_0 - E_{\infty i}^N)e^{-\delta t}. \quad (7)$$

其中: $E_{\infty i}^N$ 为竞争模型下产品*i*的减排量稳定值,且有

$$E_{\infty i}^N = \frac{[(b_1 + k_1)(\rho + \delta) + \eta](\pi_{mdi} + \pi_{mri})}{\delta(\rho + \delta)K_{mi}}. \quad (8)$$

2) 制造商*i*和零售商的最优均衡策略分别为

$$\begin{cases} \phi_i^{N*} = \frac{2(b_2 + k_2)\pi_{mri} - b_2\pi_r}{2(b_2 + k_2)\pi_{mri} + b_2\pi_r}, \\ I_i^{N*} = \frac{(\pi_{mdi} + \pi_{mri})[(b_1 + k_1)(\rho + \delta) + \eta]}{(\rho + \delta)K_{mi}}, \\ A_i^{N*} = \frac{2(b_2 + k_2)\pi_{mri} + b_2\pi_r}{2K_r}. \end{cases} \quad (9)$$

证明 采用逆向归纳法求解,根据最优控制法,记*t*时刻零售商的最优价值函数为 $J_r^{N*}(E_i, E_{3-i}) = e^{-\rho t} V_r^N(E_i, E_{3-i})$. $V_r^N(E_i, E_{3-i})$ 对于任意 $E_i \geq 0$ 和 $E_{3-i} \geq 0$ 都满足HJB方程,即

$$\begin{aligned} \rho V_r^N(E_i, E_{3-i}) &= \\ \max_{A_i} \sum_{i=1}^2 &\left[\pi_r D_{ri} - \frac{1}{2}(1 - \phi_i)K_r A_i^2 + V_{rE_i}^{N'}(I_i - \delta E_i) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

将式(10)右边对 A_i 求偏导并令其等于0,可得

$$A_i = \frac{b_2\pi_r}{(1 - \phi_i)K_r}. \quad (11)$$

同理,*t*时刻制造商*i*的最优价值函数为

$$\begin{aligned} \rho V_{mi}^N(E_i, E_{3-i}) &= \max_{I_i, \phi_i} \left[\pi_{mri} D_{ri} + \pi_{mdi} D_{di} - \right. \\ &\quad \left. \frac{1}{2}K_{mi} I_i^2 - \frac{1}{2}\phi_i K_r A_i^2 + V_{miE_i}^{N'}(I_i - \right. \\ &\quad \left. \delta E_i) + V_{miE_{(3-i)}}^{N'}(I_{3-i} - \delta E_{3-i}) \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

将式(11)代入(12),并对式(12)右边关于 I_i 和 ϕ_i 求一阶偏导,分别令其等于0,可得

$$\phi_i^{N*} = \frac{2(b_2 + k_2)\pi_{mri} - b_2\pi_r}{2(b_2 + k_2)\pi_{mri} + b_2\pi_r},$$

$$I_i^{N*} = \frac{(\pi_{mdi} + \pi_{mri})(b_1 + k_1) + V_{miE_i}^{N'}}{K_{mi}} \quad (13)$$

将式(11)和(13)代入(10)和(12),整理可得

$$\rho V_r^N(E_i, E_{3-i}) = \sum_{i=1}^2 \left\{ [(\eta - \gamma)\pi_r - \delta V_{rE_i}^{N'}]E_i + ua_i\pi_r + \frac{b_2\pi_r G_i}{4K_r} + \frac{[(b_1 + k_1)M_i + V_{miE_i}^{N'}](b_1\pi_r + V_{rE_i}^{N'})}{K_{mi}} \right\}, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \rho V_{mi}^N(E_i, E_{3-i}) = & (\eta M_i - \delta V_{miE_i}^{N'})E_i + \\ & (-\gamma M_{3-i} - \delta V_{miE_{(3-i)}}^{N'})E_{3-i} + (1-u)a_i\pi_{mdi} + \\ & ua_i\pi_{mri} + \frac{[(b_1 + k_1)M_i + V_{miE_i}^{N'}]^2}{2K_{mi}} - \\ & \frac{[(b_1 + k_1)M_{3-i} + V_{m(3-i)E_{(3-i)}}^{N'}](k_1 M_i - V_{miE_{(3-i)}}^{N'})}{K_{m(3-i)}} + \\ & \frac{G_i^2}{8K_r} - \frac{k_2\pi_{mri}G_{3-i}^2}{2K_r}. \end{aligned} \quad (15)$$

根据式(14)和(15)的结构,假设 $V_r^N(E_i, E_{3-i})$ 和 $V_{mi}^N(E_i, E_{3-i})$ 关于 E_i 和 E_{3-i} 的线性表达式为

$$\begin{cases} V_r^N(E_i, E_{3-i}) = r_i E_i + r_{3-i} E_{3-i} + r_3, \\ V_{mi}^N(E_i, E_{3-i}) = m_{ii} E_i + m_{i(3-i)} E_{3-i} + m_{i3}, \end{cases} \quad (16)$$

其中 $r_1, r_2, r_3, m_{ii}, m_{i(3-i)}, m_{i3}$ 均为未知常数. 将式(17)代入(15)和(16),可得

$$\begin{cases} r_i^* = r_{3-i}^* = \frac{(\eta - \gamma)\pi_r}{\rho + \delta}, \\ r_3^* = \sum_{i=1}^2 \left[\frac{ua_i\pi_r}{\rho} + \frac{b_2\pi_r G_i}{4\rho K_r} + \frac{L_1(L_1 - L_2)\pi_r M_i}{(\rho + \delta)^2 \rho K_{mi}} \right]. \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} m_{ii}^* = \frac{\eta M_i}{\rho + \delta}, \\ m_{i(3-i)}^* = -\frac{\gamma M_i}{\rho + \delta}, \\ m_{i3}^* = \frac{(1-u)a_i\pi_{mdi} + ua_i\pi_{mri} + \frac{L_1^2 M_i^2}{2(\rho + \delta)^2 \rho K_{mi}} - \frac{L_1 L_2 M_i M_{3-i}}{(\rho + \delta)^2 \rho K_{m(3-i)}} + \frac{G_i^2}{8\rho K_r} - \frac{k_2\pi_{mri}G_{3-i}}{2\rho K_r}}{\rho}. \end{cases} \quad (18)$$

其中

$$\begin{aligned} L_1 &= (\rho + \delta)(b_1 + k_1) + \eta, \quad L_2 = k_1(\rho + \delta) + \gamma, \\ M_i &= \pi_{mdi} + \pi_{mri}, \quad M_{3-i} = \pi_{md(3-i)} + \pi_{mr(3-i)}, \end{aligned}$$

$$G_i = 2(b_2 + k_2)\pi_{mri} + b_2\pi_r,$$

$$G_{3-i} = 2(b_2 + k_2)\pi_{mr(3-i)} + b_2\pi_r.$$

将式(17)和(18)代入(13),便可求得竞争模型下的最优均衡策略,见式(9). 将最优策略(9)代入状态方程(1),根据状态方程的边界条件 $E_i(0) = E_{0i} \geq 0$ 可求得产品减排量的轨迹如式(7). □

结合最优策略(9)和状态轨迹(7),可以得出竞争模型下零售商和制造商 i 的利润分别为

$$J_r^{N*} = \sum_{i=1}^2 \left[\frac{(\eta - \gamma)\pi_r}{\rho + \delta} E_{0i} + \frac{ua_i\pi_r}{\rho} + \frac{b_2\pi_r G_i}{4\rho K_r} + \frac{L_1(L_1 - L_2)\pi_r M_i}{(\rho + \delta)^2 \rho K_{mi}} \right], \quad (19)$$

$$\begin{aligned} J_{mi}^{N*} = & \frac{\eta M_i}{\rho + \delta} E_{0i} - \frac{\gamma M_i}{\rho + \delta} E_{0(3-i)} + \\ & \frac{(1-u)a_i\pi_{mdi} + ua_i\pi_{mri}}{\rho} + \frac{L_1^2 M_i^2}{2(\rho + \delta)^2 \rho K_{mi}} - \\ & \frac{L_1 L_2 (L_1 - L_2) M_i M_{3-i}}{(\rho + \delta)^2 \rho K_{m(3-i)}} + \\ & \frac{G_i^2}{8\rho K_r} - \frac{k_2\pi_{mri}G_{3-i}}{2\rho K_r}. \end{aligned} \quad (20)$$

由最优策略(9)可得命题1和命题2.

命题1 竞争模型下,各决策变量与参数的关系如下:1) I_i^{N*} 与 $k_1, b_1, \eta, \pi_{mri}, \pi_{mdi}$ 正相关,与 K_{mi} 负相关;2) ϕ_i^{N*} 与 k_2, π_{mri} 正相关,与 b_2, π_r 负相关;3) A_i^{N*} 与 $k_2, b_2, \pi_{mri}, \pi_r$ 正相关,与 K_r 负相关.

命题1说明:竞争模型下,制造商 i 的减排努力 I_i^{N*} 和广告分担率 ϕ_i^{N*} ,以及零售商对产品 i 的广告努力 A_i^{N*} 均随着竞争的加剧而增大. 另外,随着制造商 i 传统渠道边际利润 π_{mri} 的增大,制造商 i 将会增大对零售商的广告分担率 ϕ_i^{N*} ,从而零售商也会增加产品 i 的广告投入 A_i^{N*} .

命题2 1) 当 $\pi_{mri} > \pi_{mr(3-i)}$ 时,有 $\phi_i^{N*} > \phi_{3-i}^{N*}$, $A_i^{N*} > A_{3-i}^{N*}, i \in \{1, 2\}$. 2) 当 $f > 1$ 时,有 $I_1^{N*} > I_2^{N*}$. 当 $f < 1$ 时,如果 $0 < h < h^{N*}$,则有 $I_1^{N*} > I_2^{N*}$; 如果 $h^{N*} < h < 1$,则有 $I_1^{N*} < I_2^{N*}$. 其中: $f = \frac{\pi_{md1} + \pi_{mr1}}{\pi_{md2} + \pi_{mr2}}, h^{N*} = f$.

命题2说明:传统渠道边际利润大的制造商 i 广告分担率 ϕ_i^{N*} 较大,因此零售商对其产品的广告投入 A_i^{N*} 也较高;而传统渠道边际利润小的制造商 $(3-i)$ 广告分担率 ϕ_{3-i}^{N*} 较低,因此广告投入 A_{3-i}^{N*} 也较低. 另外,高减排效率制造商1的减排努力不总高于低减排效率的制造商2,当制造商1网络渠道与传统渠道边际利润之和较小(f 较小),且减排优势不明显(h 较大)时,制造商2的减排努力将高于制造商1.

2.2 制造商的合作模型

该情形下,两制造商以合作整体的利润最大化为目标,用上标 C 表示. 零售商和两制造商合作整体的决策问题分别为

$$\max_{A_i} J_r^C = \int_0^\infty e^{-\rho t} \sum_{i=1}^2 \left[\pi_r D_{ri} - \frac{1}{2}(1 - \phi_i) K_r A_i^2 \right] dt, \tag{21}$$

$$\max_{I_i, \phi_i} J_{m_1+m_2}^C = \int_0^\infty e^{-\rho t} \sum_{i=1}^2 \left(\pi_{mri} D_{ri} + \pi_{mdi} D_{di} - \frac{1}{2} K_{mi} I_i^2 - \frac{1}{2} \phi_i K_r A_i^2 \right) dt. \tag{22}$$

定理2 合作模型下供应链的最优均衡策略为

$$\begin{cases} \phi_i^{C*} = \frac{2(b_2 + k_2)\pi_{mri} - 2k_2\pi_{mr(3-i)} - b_2\pi_r}{2(b_2 + k_2)\pi_{mri} - 2k_2\pi_{mr(3-i)} + b_2\pi_r}, \\ I_i^{C*} = \frac{L_1(\pi_{mdi} + \pi_{mri}) - L_2(\pi_{md(3-i)} + \pi_{mr(3-i)})}{(\rho + \delta)K_{mi}}, \\ A_i^{C*} = \frac{2(b_2 + k_2)\pi_{mri} - 2k_2\pi_{mr(3-i)} + b_2\pi_r}{2K_r}. \end{cases} \tag{23}$$

证明过程同前.

零售商和制造商 i 的利润分别为

$$J_r^{C*} = \sum_{i=1}^2 \left[\frac{(\eta - \gamma)\pi_r}{\rho + \delta} E_{0i} + \frac{ua_i\pi_r}{\rho} + \frac{b_2\pi_r(G_i - 2k_2\pi_{mr(3-i)})}{4\rho K_r} + \frac{(L_1 - L_2)\pi_r(L_1M_i - L_2M_{3-i})}{(\rho + \delta)^2\rho K_{mi}} \right], \tag{24}$$

$$J_{m_i}^{C*} = \frac{\eta M_i}{\rho + \delta} E_{0i} - \frac{\gamma M_{3-i}}{\rho + \delta} E_{0(3-i)} + \frac{(1-u)a_i\pi_{mdi} + ua_i\pi_{mri}}{\rho} + \frac{G_i^2 - 4k_2^2\pi_{mr(3-i)}}{8\rho K_r} - \frac{k_2\pi_{mri}(G_{3-i} - 2k_2\pi_{mri})}{2\rho K_r} + \frac{L_1^2M_i^2 - L_2^2M_{3-i}^2}{2(\rho + \delta)^2\rho K_{mi}} - \frac{L_2M_i(L_1M_{3-i} - L_2M_i)}{\rho(\rho + \delta)^2K_{m(3-i)}}. \tag{25}$$

由最优策略(23)可得命题3.

命题3 1) 当 $\pi_{mri} > \pi_{mr(3-i)}$ 时, ϕ_i^{C*} 和 A_i^{C*} 与 k_2 正相关, ϕ_{3-i}^{C*} 和 A_{3-i}^{C*} 与 k_2 负相关, 而 $(A_i^{C*} + A_{3-i}^{C*})$ 与 k_2 无关; 2) 当 $\pi_{mri} + \pi_{mdi} > \pi_{mr(3-i)} + \pi_{md(3-i)}$ 时, I_i^{C*} 与 k_1 正相关, 而 I_{3-i}^{C*} 与 k_1 负相关, $i \in \{1, 2\}$.

命题3 说明: 制造商合作后, 随着广告竞争 k_2 的增大, 零售商广告总投入保持不变; 传统渠道边际利润大的制造商 i 广告分担率 ϕ_i^{C*} 增大, 零售商的广告投入 A_i^{C*} 提高; 而传统渠道边际利润小的制造商 $(3-i)$ 广告分担率 ϕ_{3-i}^{C*} 减小, 广告投入 A_{3-i}^{C*} 下降. 另外, 随着减排竞争 k_1 的增大, 传统渠道与网络渠道边际利润之和大的制造商 i 减排投入 I_i^{C*} 增加, 而边际利润之和小的制造商 $(3-i)$ 减排投入 I_{3-i}^{C*} 减小.

在实践中, 制造商在合作后, 当广告竞争和减排竞争加剧, 广告投入和减排投入应从边际利润低的产品向边际利润高的产品转移, 因此, 竞争的加剧在一定程度上可以提升广告效率和减排效率.

2.3 分析与比较

命题4 k_1, k_2 和 u 对制造商竞争与合作模型下供应链各成员利润的影响, 如表 1 所示.

表 1 供应链各成员的利润随 k_1, k_2 和 u 的变化情况

	制造商的竞争模型			制造商的合作模型			
	$J_{m_1}^{N*}$	$J_{m_2}^{N*}$	J_r^{N*}	$J_{m_1}^{C*}$	$J_{m_2}^{C*}$	J_r^{C*}	
k_1	$f > f_1^N$	+	$f > f_2^N$	-	+	$f > 1$	+
	$f < f_1^N$ 且 $h < h_1^N$	+	$f < f_2^N$ 且 $h < h_2^N$	-	-	$f < 1$ 且 $h < h_1^C$	-
	$f < f_1^N$ 且 $h > h_1^N$	-	$f < f_2^N$ 且 $h > h_2^N$	+	+	$f < 1$ 且 $h > h_1^C$	+
k_2	$g > g_1^N$	+	$g > g_2^N$	-	+	$g > 1$	-
	$g < g_1^N$	-	$g < g_2^N$	+	+	$g < 1$	+
u	$l > 1$	+	$l_2 > 1$	+	+	$l_1 > 1$	+
	$l_1 < 1$	-	$l_2 < 1$	-	-	$l_1 < 1$	-

在表 1 中: “+” 代表增大, “-” 代表减小, “0” 代表不变, 且有

$$f = \frac{\pi_{md1} + \pi_{mr1}}{\pi_{md2} + \pi_{mr2}}, f_1^N = \frac{L_1 + L_2}{L_1}, f_2^N = \frac{L_1}{L_1 + L_2}, h_1^N = \frac{f}{f_1^N}, h_2^N = \frac{f}{f_2^N}, h_1^C = \frac{f^2L_1 - L_2}{d(L_1 + L_2) - 2f^2L_2},$$

$$h_2^C = \frac{f(L_1 + L_2) - 2L_2}{L_1 - f^2L_2}, g = \frac{\pi_{mr1}}{\pi_{mr2}}, g_1^N = \frac{b_2 + 2k_2}{b_2 + k_2}, g_2^N = \frac{b_2 + k_2}{b_2 + 2k_2}, l_1 = \frac{\pi_{mr1}}{\pi_{md1}}, l_2 = \frac{\pi_{mr2}}{\pi_{md2}}, f_2^N < 1 < f_1^N, g_2^N < 1 < g_1^N.$$

根据表1中的数据,本文有如下观察结果:

1) 减排竞争 k_1 的影响.

随着 k_1 的增大,竞争模型下零售商的利润 J_r^{N*} 总是增大,而合作模型下的利润 J_r^{C*} 取决于 f ; 当高减排效率制造商1网络渠道与传统渠道边际利润之和较大 (f 较大),或减排优势较明显 (h 较小)时,制造商1的利润 J_{m1}^{N*} 和 J_{m1}^{C*} 将增大;而只有当低减排效率制造商2网络渠道与传统渠道边际利润之和较大 (f 较小),且减排效率与制造商1较接近 (h 较大)时,制造商2的利润 J_{m2}^{N*} 和 J_{m2}^{C*} 才会增大. 另外,由 $f_2^N < 1 < f_1^N$ 可知,相比竞争模型,合作模型下两制造商的利润 J_{m1}^{C*} 和 J_{m2}^{C*} 随 k_1 增大的可能性增加.

由此可知:在竞争模型下,减排竞争越激烈,零售商就越能从中获益;在合作模型下,零售商的市场地位降低而制造商的地位提高,因此随着减排竞争的加剧,零售商获益的可能性减小而制造商获益的可能性增加. 同时,低减排效率的制造商2应该努力提高自身减排效率和边际利润水平,缩小与制造商1的差距,这样才能在竞争中获取更大利润.

2) 广告竞争 k_2 的影响.

随着 k_2 的增大,竞争模型下零售商的利润 J_r^{N*} 增大,而合作模型下的利润 J_r^{C*} 保持不变;当制造商1传统渠道的边际利润较大 (g 较大)时, J_{m1}^{N*} 和 J_{m1}^{C*} 将增大;当制造商2传统渠道的边际利润较大 (g 较小)时, J_{m2}^{N*} 和 J_{m2}^{C*} 将增大. 由 $g_2^N < 1 < g_1^N$ 可知,相比竞争模型,合作模型下两制造商的利润 J_{m1}^{C*} 和 J_{m2}^{C*} 随 k_2 增大的可能性增加. 因此,在竞争模型下,广告竞争越激烈,零售商就越能从中获益;而在合作模型下,随着广告竞争的加剧,零售商获益的可能减小而制造商获益的可能性增加. 另外,制造商应该努力提高传统渠道的边际利润水平,增大广告分担率,刺激零售商加大对产品的广告投入,这样才能在激烈的广告竞争中获取更大利润.

3) 传统市场占有率 u 的影响.

不论在竞争还是合作模型中,随着 u 的增大,零售商的利润总是增大;当 $\pi_{mdi} < \pi_{mri}$ 时,制造商 i 的利润增大;而当 $\pi_{mdi} > \pi_{mri}$ 时,制造商 i 的利润减小.

很显然,随着 u 的增大,传统渠道竞争力提高,更多的消费者将选择传统渠道购买产品,从而零售商的利润增大;另外,随着 u 的增大,制造商应当减小网络渠道而提高传统渠道的边际利润,且当 u 高到一定程度时,制造商应当选择关闭网络渠道,以免利润受损.

命题5 两制造商竞争与合作模型下供应链各成员最优策略与利润的比较:

- 1) $I_i^{C*} < I_i^{N*}$, $\phi_i^{C*} < \phi_i^{N*}$, $A_i^{C*} < A_i^{N*}$.

2) $J_r^{C*} < J_r^{N*}$, $J_{m1}^{C*} + J_{m2}^{C*} > J_{m1}^{N*} + J_{m2}^{N*}$. 当 $0 < h < h_1$ 时, $J_{m1}^{C*} < J_{m1}^{N*}$, $J_{m2}^{C*} > J_{m2}^{N*}$; 当 $h_1 < h < h_2$ 时, $J_{m1}^{C*} > J_{m1}^{N*}$, $J_{m2}^{C*} > J_{m2}^{N*}$; 当 $h_2 < h < 1$ 时, $J_{m1}^{C*} > J_{m1}^{N*}$, $J_{m2}^{C*} < J_{m2}^{N*}$. $\frac{\partial(J_{m1}^{C*} - J_{m1}^{N*})}{\partial h} > 0$, $\frac{\partial(J_{m2}^{C*} - J_{m2}^{N*})}{\partial h} < 0$. 其中有

$$h_1 = \frac{K_r L_2^2 (\pi_{mr2} + \pi_{md2})^2}{2H_1 - H_2 + 2K_r L_2^2 (\pi_{mr1} + \pi_{md1})^2},$$

$$h_2 = \frac{2K_r L_2^2 (\pi_{mr2} + \pi_{md2})^2}{H_1 - 2H_2 + K_r L_2^2 (\pi_{mr1} + \pi_{md1})^2},$$

$$H_1 = k_2^2 K_{m2} (\rho + \delta)^2 \pi_{mr1}^2,$$

$$H_2 = k_2^2 K_{m2} (\rho + \delta)^2 \pi_{mr2}^2.$$

命题5说明:相比竞争模型,合作模型下的减排努力、广告分担率和广告努力均下降. 这是由于两制造商合作后,为了减小内部冲突,将会减少减排投入和广告分担率,从而零售商也会减少广告投入. 因此,制造商间的合作会形成一定程度的垄断,导致效率的下降. 同时,制造商合作后,零售商的地位下降而制造商的地位提高,因此,零售商的利润减小而两制造商的利润总和增大. 在实践中,大型零售商将会阻止制造商之间的横向合作,因而在零售商主导的市场中,制造商之间成功合作的案例非常少.

另外,当两制造商减排效率的差异水平处于一定范围 ($h_1 < h < h_2$) 时,合作模型下两制造商的利润均大于竞争模型,从而会同时选择与对方合作. 当制造商1的减排优势较大 ($h < h_1$) 时,合作模型下制造商1的利润下降而制造商2的利润增大;当制造商1的减排优势较小 ($h > h_2$) 时,合作模型下制造商1的利润增大而制造商2的利润下降. 因此,当 $h < h_1$ 或 $h > h_2$ 时,制造商1和制造商2都不会自发地与对方进行合作,但由于合作模型下两制造商的利润总和增大,若双方能够通过相关契约对利润进行合理分配,则能实现共赢.

3 算例分析

下面将对相关结论进行数值模拟,更为直观地分析和比较关键参数对供应链各成员利润的影响. 借鉴 Liu 等^[20]的研究成果,将基准参数设置为 $a_1 = a_2 = 10$, $\pi_r = 5$, $\pi_{mr1} = 7$, $\pi_{md1} = 8$, $\pi_{mr2} = 6$, $\pi_{md2} = 7$, $K_r = 1$, $K_{m1} = 0.8$, $K_{m2} = 1$, $\mu = 0.7$, $\rho = 0.3$, $\delta = 0.2$, $b_1 = 0.8$, $k_1 = 0.3$, $b_2 = 0.6$, $k_2 = 0.2$, $\eta = 0.8$, $\gamma = 0.4$, $E_{01} = 10$, $E_{02} = 8$, $K_{m1} = hK_{m2}$, $\Delta J_r = J_r^{C*} - J_r^{N*}$, $\Delta J_{m1} = J_{m1}^{C*} - J_{m1}^{N*}$, $\Delta J_{m2} = J_{m2}^{C*} - J_{m2}^{N*}$.

如图2~图4所示,零售商的利润 J_r^{N*} 总是随着

传统市场占有率 u 的增大而增大. 当制造商1网络渠道的边际利润 π_{md1} 较小时, 制造商1的利润 J_{m1}^{N*} 将随着的 u 增大而增大; 而当 π_{md1} 较大时, J_{m1}^{N*} 将随着 u 的增大而减小, 这与命题4一致. 另外, 制造商2的利润 J_{m2}^{N*} 总是随着 π_{md1} 的增大而减小, 且当 π_{md1} 较小时, J_{m2}^{N*} 随着 u 的增大而减小, 而当 π_{md1} 较大时, J_{m2}^{N*} 将随着 u 的增大而增大. 由于 u 和 π_{md1} 对合作模型下 J_r^C, J_{m1}^C 和 J_{m2}^C 的影响类似, 这里不再进行分析.

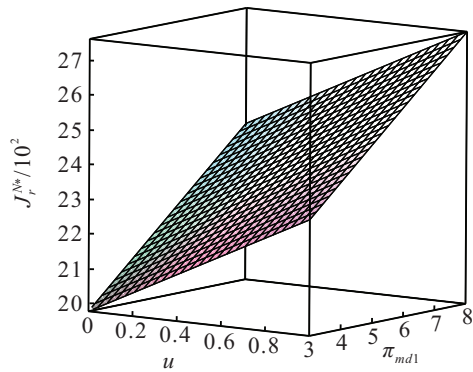


图2 u 和 π_{md1} 对 J_r^{N*} 的影响

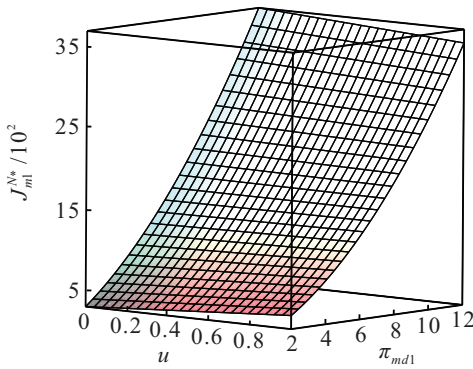


图3 u 和 π_{md1} 对 J_{m1}^{N*} 的影响

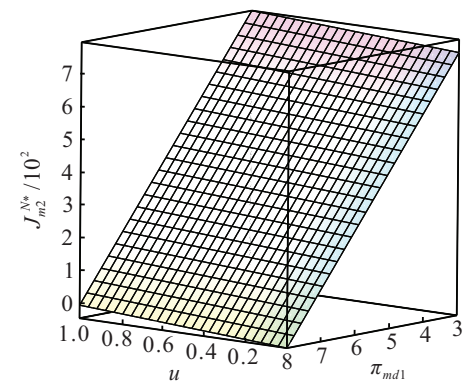


图4 u 和 π_{md1} 对 J_{m2}^{N*} 的影响

如图5所示, ΔJ_r 小于0, 且随着减排竞争 k_1 的增大而减小, 这就说明制造商合作后零售商的利润下降, 且减排竞争越激烈, 零售商损失的利润越大. 图6说明, 当高减排效率制造商1的减排优势较小 (h 较大) 时, 减排竞争 k_1 越大, ΔJ_{m1} 越大, 从而制造商1越有动力与制造商2合作; 而当制造商1的减排优势较大 (h 较小) 时, 减排竞争 k_1 越大, ΔJ_{m1} 越小, 从而越

不愿意合作. 在图7中, ΔJ_{m2} 总是随着 h 的增大而减小, 随着 k_1 的增大而增大. 这就说明, k_1 越大, h 越小, 则制造商2越有动力与制造商1合作; 而 k_1 越小, h 越大, 制造商2越不愿意合作.

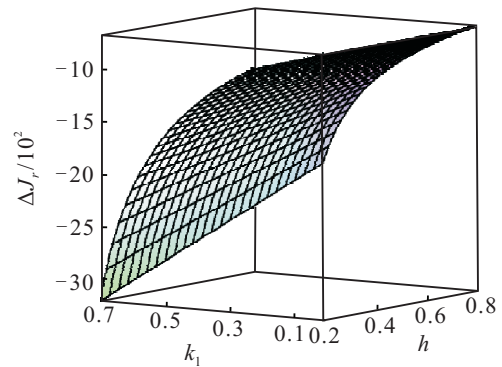


图5 h 和 k_1 对 ΔJ_r 的影响

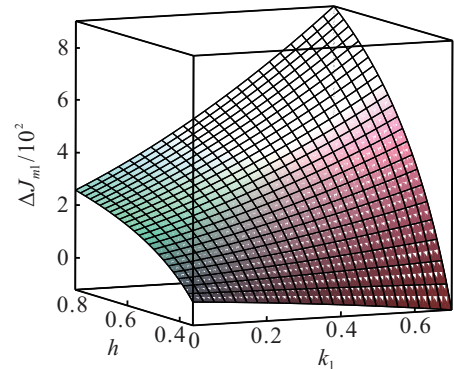


图6 h 和 k_1 对 ΔJ_{m1} 的影响

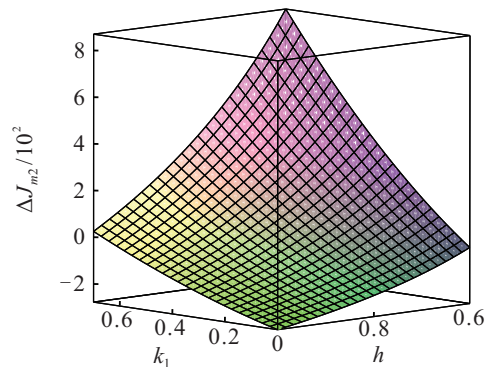


图7 h 和 k_1 对 ΔJ_{m2} 的影响

4 结论

本文针对两个制造商与一个零售商组成的双渠道供应链, 综合考虑各种因素对市场的影响, 将产品减排量作为状态变量构建微分博弈模型. 文章先后讨论了制造商在竞争模型和合作模型下双渠道供应链的最优均衡策略, 并分析了传统市场占有率、减排竞争和广告竞争对供应链各成员利润的影响. 通过对模型求解和分析可以得到以下结论:

- 1) 高减排效率制造商1的减排努力不总高于低减排效率的制造商2, 当制造商1网络渠道与传统渠道边际利润之和较小且减排优势不明显时, 制造商2

的减排努力将高于制造商1.

2) 随着传统市场占有率、减排竞争和广告竞争的增大,零售商竞争模型下的利润增大,而合作模型下的利润与广告竞争无关;制造商的利润变化则取决于减排效率、网络渠道和传统渠道的边际利润.

3) 只有当减排效率差异水平满足一定条件时,两制造商才会同时选择合作,且合作后制造商的利润总和增大,而减排努力、广告分担率、广告努力和零售商的利润下降.

本文重在分析与比较制造商竞争与合作模型下双渠道供应链的最优策略,建立模型时并没有考虑碳交易政策,政府补贴政策等对供应链的影响;另外,本文假设供应链中所有成员都是信息完全的,而在现实中,企业的碳信息披露意识薄弱,在碳信息不完全的环境下研究双渠道供应链的运营管理问题也是一个值得拓展的方向.

参考文献(References)

- [1] Chitra K. In search of the green consumers: A perceptual study[J]. *J of Services Research*, 2007, 7(1): 173-191.
- [2] Liu Z, Anderson T D, Cruz J M. Consumer environmental awareness and competition in two-stage supply chains[J]. *European J of Operational Research*, 2012, 218(3): 602-613.
- [3] Du S, Hu L, Song M. Production optimization considering environmental performance and preference in the cap-and-trade system[J]. *J of Cleaner Production*, 2016, 112 (20): 1600-1607.
- [4] Du S, Tang W, Song M. Low-carbon production with low-carbon premium in cap-and-trade regulation[J]. *J of Cleaner Production*, 2016, 134(10): 652-662.
- [5] Luo Z, Chen X, Wang X. The role of co-opetition in low carbon manufacturing[J]. *European J of Operational Research*, 2016, 253(2): 392-403.
- [6] Hua G, Cheng T C, Wang S. Managing carbon footprints in inventory management[J]. *Int J of Production Economics*, 2011, 132 (2): 178-185.
- [7] Benjaafar S, Li Y, Daskin M. Carbon footprint and the management of supply chains: Insights from simple models[J]. *IEEE Trans on Automation Science and Engineering*, 2013, 10(1): 99-116.
- [8] Carrillo J E, Vakharia A J, Wang R. Environmental implications for online retailing[J]. *European J of Operational Research*, 2014, 39(13): 744-755.
- [9] Ji J, Zhang Z, Yang L. Carbon emission reduction decisions in the retail/dual-channel supply chain with consumers' preference[J]. *J of Cleaner Production*, 2017, 141: 852-867.
- [10] 熊新生, 赵勇. 供应链中耐用品的广告投入和零售价策略分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(6): 1425-1430.
- (Xiong X S, Zhao Y. Optimal advertising and retail pricing in a durable goods supply chain[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2014, 34(6): 1425-1430.)
- [11] 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.)
- [12] Nair A, Narasimhan R. Dynamics of competing with quality-and advertising-based goodwill[J]. *European J of Operational Research*, 2006, 175(1): 462-474.
- [13] Ouadighi F E, Pasin F. Quality improvement and goodwill accumulation in a dynamic duopoly[J]. *European J of Operational Research*, 2006, 175(2): 1021-1032.
- [14] Jorgensen S, Taboubi S, Zaccour G. Cooperative advertising in a marketing channel[J]. *J of Optimization Theory and Application*, 2001, 110(1): 145-158.
- [15] Nerlove M, Arrow K. Optimal advertising policy under dynamic conditions[J]. *Economica*, 1962, 29(114): 129-142.
- [16] 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.)
- [17] 赵道致, 徐春秋, 王芹鹏. 考虑零售商竞争的联合减排与低碳宣传微分对策[J]. *控制与决策*, 2014, 29(10): 1809-1815.
(Zhao D Z, Xu C Q, Wang Q P. Differential strategies of joint emission reductions and low-carbon promotion considering competing retailers[J]. *Control and Decision*, 2014, 29(10): 1809-1815.)
- [18] 徐春秋, 赵道致, 原白云. 上下游联合减排与低碳宣传的微分博弈模型[J]. *管理科学学报*, 2016, 19(2): 53-65.
(Xu C Q, Zhao D Z, Yuan B Y. Differential game model on joint carbon emission reduction and low-carbon promotion in supply chains[J]. *J of Management Sciences in China*, 2016, 19(2): 53-65.)
- [19] 田厚平, 刘长贤. 双重信息不对称下销售渠道双目标混合激励模型[J]. *管理科学学报*, 2011, 14(3): 34-47.
(Tian H P, Liu C X. Bi-objective incentive model in distribution channel under the framework of dual information asymmetry[J]. *J of Management Science in China*, 2011, 14(3): 34-47.)
- [20] Liu G, Zhang J, Tang W. Strategic transfer pricing in a marketing-operations interface with quality level and advertising dependent goodwill[J]. *Omega*, 2015, 56(10): 1-15.