

两级供应链减排与促销的合作策略

王芹鹏, 赵道致

(天津大学 管理与经济学部, 天津 300072)

摘要: 首先假设在由零售商主导的供应链中, 制造商的低碳声誉和零售商的促销都能增加产品的需求, 减排对制造商的低碳声誉有正面影响; 然后运用微分博弈理论, 比较了不合作、成本分担契约以及合作3个契约对供应链成员的影响. 研究发现, 制造商和零售商的促销及减排水平在合作契约下最高, 但供应链的总价值在合作契约下最大是有条件的. 当存在合作价值时, 为了使制造商和零售商获得更多的价值设计了利润共享契约.

关键词: 减排; 促销; 供应商协调; 微分博弈; 反馈均衡

中图分类号: F274

文献标志码: A

Cooperative strategy of carbon emissions reduction and promotion in a two-echelon supply chain

WANG Qin-peng, ZHAO Dao-zhi

(College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China. Correspondent: WANG Qin-peng, E-mail: wangqinpeng@tju.edu.cn)

Abstract: Assuming a supply chain led by the retailer consisted with a manufacturer and a retailer, the manufacturer's low-carbon goodwill and the retailer's promotion can increase the market demand for the products. By supposing that reducing carbon emissions of the manufacturer has a positive effect on its low-carbon goodwill, and that the low carbon emissions is made as a means of product differentiation to deal with the product homogeneity, the profits of the members of the supply chain among the non-cooperation, the cost-sharing contract and the cooperation are compared. And it is found that the optimal carbon reduction level and the optimal promotion level are the highest in cooperation situation, but implementing the cooperative contract is conditional. In the cooperative situation, a profit-sharing contract is designed in order to smoothly implement the cooperative contract.

Key words: carbon emissions reduction; promotion; supply chain coordination; differential games; feedback equilibrium

0 引言

随着产品竞争日趋激烈, 促销与产品差异化已成为增加销售的重要手段. 通过促销可以增加消费者对产品的认知, 而差异化则可以通过满足部分消费者某种需求使产品摆脱同质化, 增强企业在市场中的竞争优势.

在企业决策其促销与差异化策略时应该看到: 全球变暖、冰川融化、海平面上升、极端天气频繁出现严重影响了生态系统的可持续发展, 甚至危及人类的生存. 有报道指出, 太平洋岛国基里巴斯恐遭海水淹没而在邻国斐济购买土地^[1]; 世界自然基金会(WWF)报告指出, 到2030年气候变化的恶性循环以及森林

退化将摧毁或严重破坏近60%的亚马逊森林^[2]; 全球化石能源终将枯竭, 《BP世界能源统计2006》的数据表明, 全球石油探明储量可供生产40年, 天然气和煤炭则分别可以供应65年和155年^[3].

在上述大背景下, 低碳产品成为了差异化的有效措施. 企业实际的营销案例也证实了企业的低碳商誉有助于获得市场份额. 例如有着低碳商誉的远大集团, 其开发的非电中央空调已进入了诸如北京钓鱼台国宾馆、美国奥斯汀商业区、巴塞罗那世界文化论坛等很多世界重要的场馆^[4]. 此外, 随着大型零售商的出现, 如沃尔玛、家乐福等, 零售商与制造商之间的关系发生了逆转, 出现了由制造商主导向零售商转变, 这

收稿日期: 2012-10-11; 修回日期: 2013-01-22.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71072155).

作者简介: 王芹鹏(1986-), 男, 博士生, 从事低碳经济及供应链协调与优化的研究; 赵道致(1956-), 男, 教授, 博士生导师, 从事运营管理、物流与供应链管理等研究.

种转变将对供应链的运营产生重要的影响。

本文将从促销和运营两个方面研究制造商与零售商在促销和减排策略上的协调,以使制造商和零售商获得最大的利润.已有的相关文献可以分为采用静态模型和动态模型两种.采用静态模型研究的有:Dant等^[5]研究发现制造商给予零售商广告补贴能够使零售商增加促销费用,提高供应链的利润,并得到相应的Stackelberg均衡;Yue等^[6]探讨了存在制造商向消费者提供价格折扣时的制造商-零售商供应链合作广告的协调问题,并且指出在制造商与零售商的合作关系时,协调地方和全国的广告是最优的解;Huang等^[7]以零售商作为主导研究了传统的主从关系和部分合作两种契约的广告协调问题;Liu等^[8]发现相比于高营销成本的产品,营销成本低的产品从改善供应链可靠性中受益更多,同时指出,能够通过促销努力获得更大有效市场需求的企业应优先采用新技术;Krishnan等^[9]探讨了供应链实施快速反应对零售商促销努力造成的负面影响,并研究了最低接受契约、预购契约或者排他性交易在快速反应同时实施能够有效弥补快速反应对零售商促销努力的负面影响.然而以上文献都是用静态模型分析上下游企业促销决策,没有从动态的角度分析.而且这类文献仅考虑了企业广告促销之间的问题,并没有从制造商企业运营与零售商的促销协调的角度给予分析.

采用动态模型研究的有:Jorgensen等^[10-11]在一个生产商主导的、通过投放广告建立商誉的、零售商促销产品营销渠道研究了动态的广告与促销战略,研究结果显示,无论商誉对销售是否存在边际递减作用,在该营销渠道中合作广告安排都是一个协调机制;与Jorgensen等^[10-11]研究的相似,傅强等^[12]运用微分对策的方法研究了基于单制造商-单零售商构成的渠道,发现协同合作广告博弈情形下的系统利润、制造商和零售商的广告投入均优于非合作博弈情形时的对应值;Berger^[13]、He等^[14]也把制造商作为主导者,研究了供应链中合作广告的问题.这一类文献只研究了上下游企业间的广告策略的协调,并且他们都发现供应链的合作是最优的,而本文则发现供应链的合作不一定是最优的,只有合作价值存在时,合作才是有意义的.另外,此类文献与静态的研究相似,仅研究上下游企业之间进行同类活动时的协调,忽略了对上下游企业之间从事不同活动协调的研究.

把促销和运营管理结合起来已成为利用微分博弈理论进行研究的一个主要部分.Nair等^[15]把产品质量和促销结合起来;而Erickson^[16]只是在一个企业内部研究了企业促销与运营的动态战略,没有从供应链的角度进行研究;Pietro^[17]研究了一个由零售商决定

促销与供应商决定改善质量的供应链.以上文献在考虑制造商或者供应商与零售商的合作博弈时,没有意识到当前的气候变暖问题以及减排对企业的意义.

鉴于现有文献存在的局限与不足,本文的主要工作是:假设零售商为领导者,制造商为跟随者,处于主导地位的零售商的促销水平和处于跟随者地位的制造商因为减排形成的低碳商誉共同对市场需求产生影响,并认为制造商的商誉水平受到其减排水平的正影响.另外,商誉还存在一定程度的衰减.利用微分博弈理论,研究不合作情形、成本分担契约、合作情形3种情况下的各个企业决策水平,成本分担契约实施条件,合作情形是否一定是供应链企业最好的契约形式,以及倘若合作情形是供应链企业最好的选择,企业应如何分配利润.

1 问题描述与求解

假设制造商 m 在 t 时期的减排水平为 $\varepsilon(t)$,零售商 r 在 t 时期的促销水平为 $p(t)$,并且减排研发投入和广告成本分别为减排水平和广告水平的凸函数.可以假设制造商和零售商的投入函数和广告成本函数分别为

$$I(t) = \frac{k_m \varepsilon^2(t)}{2}, \quad (1)$$

$$C(t) = \frac{k_r p^2(t)}{2}. \quad (2)$$

其中: k_m 为制造商的减排投资系数, k_r 为零售商的广告投入系数; $I(t)$ 、 $C(t)$ 分别为制造商与零售商的减排研发投入和广告促销成本.以二次方的形式表示投入或成本是文献中常用的形式,其他关于二次方的函数的解释可以参见文献[18-19].

考虑到大型零售商的出现且其在供应链关系中处于主导地位,本文以零售商作为领导者,制造商作为跟随者.假设在气候变暖的背景下,消费者倾向于购买具有低碳商誉(用 $G(t)$ 表示)的制造商的产品.另外,市场对产品的需求还受零售商的促销水平的影响,因此可以把产品的需求函数定义为

$$D(t) = \beta p(t) + \gamma G(t). \quad (3)$$

其中: β 、 γ 均为大于零的正常数,分别表示零售商的促销、生产商的低碳商誉对需求的影响程度.

制造商的减排水平会提高其低碳商誉,采用Nerlove-Arrow商誉模型^[20]的变形来表示商誉受减排的影响和随时间衰减的变化,即

$$\dot{G}(t) = \xi \varepsilon_m(t) - \delta G(t). \quad (4)$$

其中: $\xi > 0$ 表示减排对制造商的商声誉影响程度,或称减排的有效程度; $\delta > 0$ 表示制造商的商誉的衰减率或者消费者遗忘对商誉造成的影响,这来自于其他竞争对手采取相同的减排策略对其造成的影响或者

新产品的推出。

在没有减排和促销的情况下, 假设由于市场的激烈竞争, 制造商给予零售商的批发价格、产品终端价格以及相应的边际生产成本和边际销售成本为已确定的常量。于是, 可以使用 π_m 、 π_r 分别表示制造商和零售商的边际利润。供应链中的制造商与零售商有相同的正贴现率 ρ , 他们都在无限的时区内分别寻求能够使利润达到最大化的减排和促销策略。作为领导者的零售商通过分担制造商的一定比例的减排成本以促进其减排, 设分担比例为 $s(t)$ ($0 \leq s(t) \leq 1$)。

制造商的目标函数为

$$J_m = \int_0^\infty e^{-\rho t} \{ \pi_m [\beta p(t) + \gamma G(t)] - (1 - s(t)) I(t) \} dt. \quad (5)$$

零售商的目标函数为

$$J_r = \int_0^\infty e^{-\rho t} \{ \pi_r [\beta p(t) + \gamma G(t)] - C(t) - s(t) I(t) \} dt. \quad (6)$$

依据式 (4)~(6), 本文定义了一个包含制造商和零售商的两个参与者的微分博弈, 其中包含 3 个控制变量 $\varepsilon(t) \geq 0$ 、 $p(t) \geq 0$ 、 $1 \geq s(t) \geq 0$ 以及 1 个状态变量 $G(t) \geq 0$ 。在非合作契约下, 存在两个控制变量 $\varepsilon(t)$ 和 $p(t)$, 且 $s(t) = 0$ 。

本文将方程的解限定在最优策略依赖于当前状态和时间的反馈斯坦伯格解。但因模型中的所有参数都与时间无关, 成员在无限时间的任何时期都面对着相同的博弈, 故可以把策略限定在静态策略, 其均衡即为静态反馈均衡^[21]。于是, 反馈策略将明确地不再依赖于时间 t (为方便书写, 后面将略去时间单位)。

本文首先分析制造商和零售商不合作的情况, 用下标 m 、 r 和 s 分别表示制造商、零售商及供应链, 用上标 n 表示不合作。在不合作契约中, 制造商和零售商展开斯坦伯格博弈, 此时 $s = 0$ 。然后研究成本分担契约, 本文用上标 d 表示。在该契约中供应链中的成员仍然进行斯坦伯格博弈, 零售商通过分担一部分制造商的减排投入以促进其减少碳排放。最后将研究供应链成员以总体供应链利润最大化为目标的合作契约, 用上标 c 表示。

1.1 不合作契约

在该契约中供应链成员的决策次序为: 零售商首先制定自己的促销策略, 决策其最优的促销水平 p ; 制造商在零售商决策的基础上制定其减排策略, 决策其最优控制减排水平 ε 。研究发现在此契约中, Nash 非

合作博弈和 Stackelberg 非合作博弈的均衡策略是相同的。

定理 1 在不合作的契约下, 零售商的分担比例 $s = 0$, 制造商和零售商的静态反馈均衡策略分别为

$$\varepsilon^n = \frac{\pi_m \gamma \xi}{k_m (\rho + \delta)}, \quad (7)$$

$$p^n = \frac{\pi_r \beta}{k_r}. \quad (8)$$

证明 由静态反馈均衡的充分条件可以假设, 连续有界的微分利润函数 $V_i(G)$ 对于任意的 $G \geq 0$, 存在汉密尔顿-雅可比-贝尔曼(Hamilton-Jacobi-Bellman)方程, 即

$$\rho V_m^n = \max_p \left\{ \pi_m (\beta p + \gamma G) - I(\varepsilon) + \frac{\partial V_m^n}{\partial G} (\xi \varepsilon - \delta G) \right\}, \quad (9)$$

$$\rho V_r^n = \max_p \left\{ \pi_r (\beta p + \gamma G) - I(p) + \frac{\partial V_r^n}{\partial G} (\xi \varepsilon - \delta G) \right\}. \quad (10)$$

式 (9) 关于决策变量减排水平 ε 的一阶条件为 $-k_m \varepsilon + V_m^n \xi = 0$, 可得

$$\varepsilon = \frac{V_m^n \xi}{k_m}. \quad (11)$$

通过求解式 (10) 关于促销水平 p 的一阶条件可得式 (8)。

将式 (11) 和 (8) 分别代入 (9) 和 (10), 可得

$$\rho V_m^n = (\gamma \pi_m - \delta V_m^n) G + \frac{(V_m^n)' \xi^2}{2k_m} + \frac{\pi_m \pi_r \beta^2}{k_r}, \quad (12)$$

$$\rho V_r^n = (\gamma \pi_r - \delta V_r^n) G + \frac{(V_m^n)' (V_r^n)' \xi^2}{k_m} + \frac{\pi_r \beta^2}{2k_r}. \quad (13)$$

由式 (12) 和 (13) 的结构可知, 关于 G 的线性最优价值函数是汉密尔顿-雅可比-贝尔曼方程的解, 令

$$V_m^n(G) = c_1 G + c_2, \quad V_r^n = l_1 G + l_2, \quad (14)$$

其中 c_1 、 c_2 和 l_1 、 l_2 是常数。将式 (14) 关于 G 的一次导数代入式 (12) 和 (13), 可得

$$\rho V_m^n = (\gamma \pi_m - \delta c_1) G + \frac{(c_1 \xi)^2}{2k_m} + \frac{\pi_m \pi_r \beta^2}{k_r}, \quad (15)$$

$$\rho V_r^n = (\pi_r \gamma - \delta l_1) G + \frac{c_1 l_1 \xi^2}{k_m} + \frac{(\pi_r \beta)^2}{2k_r}. \quad (16)$$

对于任意 $G > 0$, 式 (15) 和 (16) 都满足, 通过计算可求得最优价值函数的参数分别为

$$c_1 = \frac{\gamma \pi_m}{\delta + \rho},$$

$$c_2 = \frac{(\pi_m \gamma \xi)^2}{2k_m \rho (\rho + \delta)^2} + \frac{\pi_m \pi_r \beta^2}{\rho k_r}; \quad (17)$$

$$\begin{aligned} l_1 &= \frac{\gamma\pi_r}{\delta + \rho}, \\ l_2 &= \frac{\pi_m\pi_r(\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \delta)^2} + \frac{(\pi_r\beta)^2}{2\rho k_r}. \end{aligned} \quad (18)$$

把 c_1 、 c_2 和 l_1 、 l_2 代入式 (11), 可得制造商和零售商的最优价值函数分别为

$$V_m^n = \frac{\gamma\pi_m}{\delta + \rho}G + \frac{(\pi_m\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \delta)^2} + \frac{\pi_m\pi_r\beta^2}{\rho k_r}, \quad (19)$$

$$V_r^n = \frac{\gamma\pi_r}{\delta + \rho}G + \frac{\pi_m\pi_r(\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \delta)^2} + \frac{(\pi_r\beta)^2}{2\rho k_r}. \quad (20)$$

对式 (19) 求 G 的导数并代入 (11) 即可得到制造商的最优努力程度, 见式 (7). \square

推论 1 在不合作契约中, 制造商的最优减排水平 ε 与折扣系数 ρ 、减排投资系数 k_m 以及低碳声誉的衰减程度 δ 负相关, 与低碳声誉对需求的影响系数 γ 、减排对声誉的影响系数 ξ 正相关.

推论 2 在不合作契约中, 零售商的最优促销水平 p 与促销对需求的影响系数 β 正相关, 与促销的成本系数 k_r 负相关.

从定理 1 可知, 制造商最优减排程度 ε 和零售商的促销水平 p 与其边际收益成正比, 意味着供应链中的两个参与者都从自身的利润最大化制定策略, 没有顾及供应链整体利润. 当供应链成员能够从整体的利润最大化来制定自身的策略时, 制造商和零售商的利润状况都会得到改善. 鉴于供应链成员在不合作情形时没有顾及供应链的总体利润, 本文将从合作的角度分析两种供应链合作的情形. 从推论 1 制造商的减排决策受投资成本系数的负影响可知, 制造商的减排成本降低有利于其提高减排水平, 可以考虑零售商分担制造商一定比例的投资成本以激励零售商尽可能多地提高减排水平, 促进需求的增加. 同样从式 (19) 和 (20) 可知, 价值函数是 k_m 的减函数, 降低制造商的减排投资系数能够增大供应链利润.

1.2 成本分担契约

在此契约中决策次序为: 零售商首先确定最优分担制造商减排投资的比例 s ($0 < s < 1$) 和最优促销水平 p , 制造商在零售商决策的基础上制定其减排战略, 决策其最优减排水平 ε .

定理 2 在零售商分担制造商的一部分减排成本时, 制造商与零售商的静态反馈均衡策略为

$$\varepsilon^d = \begin{cases} \frac{(2\pi_r + \pi_m)\gamma\xi}{2k_m(\rho + \delta)}, & \pi_r > \pi_m/2; \\ \frac{\pi_m\gamma\xi}{k_m(\rho + \delta)}, & \pi_r \leq \pi_m/2; \end{cases} \quad (21)$$

$$s = \begin{cases} \frac{2\pi_r - \pi_m}{2\pi_r + \pi_m}, & \pi_r > \pi_m/2; \\ 0, & \pi_r \leq \pi_m/2; \end{cases} \quad (22)$$

$$p^d = \frac{\pi_r\beta}{k_r}. \quad (23)$$

证明 为了得到此时博弈均衡解, 根据逆向求解法, 在成本分担契约下, 需首先对制造商的最优控制问题进行求解, 其最优价值函数 $V_r(G)$ 的汉密尔顿-雅可比-贝尔曼方程为

$$\begin{aligned} \rho V_m^d &= \\ \max_{\varepsilon} \{ &\pi_m(\beta p + \gamma G) - (1-s)I(\varepsilon) + \\ &(V_m^d)'(\xi\varepsilon - \delta G) \}. \end{aligned} \quad (24)$$

式 (24) 关于减排水平 ε 的一阶条件为

$$\varepsilon = \frac{(V_m^d)'\xi}{k_m(1-s)}. \quad (25)$$

理性的零售商将会预测到制造商根据反应函数 (25) 确定减排水平 ε , 此时零售商的汉密尔顿-雅可比-贝尔曼方程为

$$\begin{aligned} \rho V_r^d &= \\ \max_{p,s} \{ &\pi(\beta p + \gamma G) - C(p) - \\ &\frac{k_m s}{2} \left[\frac{(V_m^d)'\xi}{k_m(1-s)} \right]^2 + \\ &(V_r^d)' \left[\frac{(V_m^d)'\xi^2}{k_m(1-s)} - \delta G \right] \}. \end{aligned} \quad (26)$$

对式 (26) 分别求关于促销水平 p 和成本分担比例 s 的一阶条件, 可得式 (23) 以及下式:

$$s = \begin{cases} \frac{2(V_r^d)' - (V_m^d)'}{2(V_r^d)' + (V_m^d)'}, & 2(V_r^d)' > (V_m^d)'; \\ 0, & 2(V_r^d)' \leq (V_m^d)'. \end{cases} \quad (27)$$

把式 (23) 和 (27) 代入 (26), 经化简可得

$$\begin{aligned} \rho V_m^d &= \\ [\pi_m\gamma - &(V_m^d)'\delta]G + \frac{3[(V_r^d)'\xi]^2}{4k_m} + \frac{\pi_m\pi_r\beta^2}{k_r}, \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \rho V_r^d &= \\ [\pi\gamma - &(V_r^d)'\delta]G + \frac{[2(V_r^d)'\xi + (v_m^d)'\xi]^2}{8k_m} + \frac{(\pi_r\beta)^2}{2k_r}. \end{aligned} \quad (29)$$

类似地, 根据式 (28) 和 (29) 的结构, G 的线性最优价值函数是汉密尔顿-雅可比-贝尔曼方程的解. 令

$$V_m^d = \tau_1 G + \tau_2, \quad V_r^d = \varsigma_1 G + \varsigma_2, \quad (30)$$

其中: τ_1 、 τ_2 和 ς_1 、 ς_2 是常数. 把式 (30) 中 G 的导数分别代入 (28) 和 (29), 可以求得最优价值函数的参数分别为

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{\pi_m\gamma}{\delta + \rho}, \\ \tau_2 &= \frac{3(\pi_r\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \delta)^2} + \frac{\pi_r\pi_m\beta^2}{\rho k_r}, \\ \varsigma_1 &= \frac{\pi_r\gamma}{\delta + \rho}, \end{aligned} \quad (31)$$

$$\varsigma_2 = \frac{(2\pi_r\gamma + \pi_m\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \delta)^2} + \frac{(\pi_r\beta)^2}{2\rho k_r}. \quad (32)$$

将 τ_1 、 τ_2 和 ς_1 、 ς_2 代入式 (30), 从而得到制造商和零售商的最优价值函数分别为

$$V_m^d = \frac{\pi_m\gamma}{\delta + \rho}G + \frac{3(\pi_r\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \delta)^2} + \frac{\pi_r\pi_m\beta^2}{\rho k_r}, \quad (33)$$

$$V_r^d = \frac{\pi_r\gamma}{\delta + \rho}G + \frac{(2\pi_r\gamma + \pi_m\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \delta)^2} + \frac{(\pi_r\beta)^2}{2\rho k_r}. \quad (34)$$

将式 (33) 关于 G 的一阶导数代入 (25), 即可得到制造商的最优的减排策略 (21). \square

推论 3 在零售商分担制造商一定比例的研发成本时 ($\pi_r > \pi_m/2$), 制造商的最优减排水平除了与其自身的边际利润 π_m 正相关, 还与零售商的边际利润 π_r 正相关, 并且零售商的边际收益对制造商减排水平 ε 的影响大于制造商自身边际利润 π_m 对减排水平的影响.

推论 4 在零售商分担制造商一定比例的研发成本时 ($\pi_r > \pi_m/2$), 制造商确定的最优减排水平 ε^d 大于不合作时的减排水平 ε^n .

从推论 4 可知, 零售商承担制造商的研发成本, 降低了制造商的减排压力, 使得其最优的减排水平向右移动, 提高了其产品的减排水平. 这个结果与前面的预期一致.

从定理 2 可知: 零售商分担制造商减排成本的要求是其边际利润 π_r 不低于制造商边际利润的 1/2 ($\pi_r > \pi_m/2$), 这一结果与之前的研究结果相似^[12]; 当零售商的边际利润 π_r 等于或低于制造商边际利润 π_m 的一半时 ($\pi_r > \pi_m/2$), 这时零售商边际利润过低, 其不会承担制造商的减排成本, 此时制造商的最优策略与契约 1 中的策略相同, 其在制定促销战略时, 仍然只是考虑了自身的利益, 没有顾及整个供应链收益最大化. 零售商的广告战略始终与不合作情形时相同, 不受制造商 m 与其自身的边际利润的影响, 这是由于促销战略不影响产品的低碳声誉, 零售商仅根据促销对需求的影响以及促销成本来决定其最优的促销水平.

与推论 1 类似, 制造商 m 的最优减排水平 ε 与折扣系数 ρ 、减排投资系数 k_m 以及声誉的衰减程度 δ 负相关, 与声誉对需求的影响系数 γ 、减排对声誉的影响系数 ξ 正相关.

1.3 合作契约

在合作契约中, 制造商与零售商进行合作, 类似于供应链中存在一个计划者, 该计划者以供应链的总体利润最大化作为目标, 通过确定最优减排水平和促销水平, 使整个供应链达到最优状态.

定理 3 在合作契约下, 供应链的静态反馈均

衡策略为

$$\varepsilon_s^c = \frac{(\pi_m + \pi_r)\gamma\xi}{k_m(\rho + \delta)}, \quad (35)$$

$$p_s^c = \frac{(\pi_m + \pi_r)\beta}{k_r}. \quad (36)$$

证明 当制造商和零售商合作时, 双方将以供应链系统的利润最大化作为目标, 共同确定减排和促销的最优水平, 其目标函数为

$$J_s^c = J_m + J_r = \int_0^\infty e^{-\rho t} \{(\pi_m + \pi_r)(\beta p + \gamma G) - V(\varepsilon) - C(p)\} dt. \quad (37)$$

分别求上式关于 ε 、 p 的一阶条件, 可得式 (36) 以及

$$\varepsilon = \frac{V_s^{c'}\xi}{k_m}. \quad (38)$$

将式 (36) 和 (38) 代入 (37), 可得

$$\rho V_s^c = [(\pi_m + \pi_r)\gamma - V_c'\delta]G + \frac{[(\pi_m + \pi_r)\gamma + V_c'\xi]^2}{2k_m} + \frac{[(\pi_m + \pi_r)\beta]^2}{2k_r}. \quad (39)$$

同样由式 (39) 的结构, 关于 G 的线性最优价值函数是此汉密尔顿-雅可比-贝尔曼方程的解, 可设为

$$V_s^c(G) = \lambda_1 G + \lambda_2, \quad (40)$$

其中 λ_1 、 λ_2 为常数. 将式 (39) 的一阶导数代入 (38), 可求得最优价值函数的参数分别为

$$\lambda_1 = \frac{(\pi_m + \pi_r)\gamma}{\rho + \delta}, \quad (41)$$

$$\lambda_2 = \frac{(\pi_m + \pi_r)^2(\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \xi)^2} + \frac{(\pi_m + \pi_r)^2\beta^2}{2k_r\rho}. \quad (42)$$

将 λ_1 、 λ_2 代入式 (40), 得到供应链的最优价值函数为

$$V_s^c = \frac{(\pi_m + \pi_r)\gamma}{\rho + \delta}G + \frac{(\pi_m + \pi_r)^2(\gamma\xi)^2}{2k_m\rho(\rho + \xi)^2} + \frac{(\pi_m + \pi_r)^2\beta^2}{2k_r\rho}. \quad (43)$$

对式 (43) 求关于 G 的导数并代入 (36) 即可得到最优的减排水平 ε (35). \square

推论 5 在合作契约中, 制造商的最优减排水平 ε 与零售商的最优促销水平 p 都与两者的边际利润之和 $(\pi_m + \pi_r)$ 成正比.

推论 6 在合作契约中, 制造商的最优减排水平 ε 最高; 零售商的促销水平 p 也是最高的.

由 $\frac{\pi_m\gamma\xi}{k_m(\rho + \delta)} < \frac{(2\pi_m + \pi_r)\gamma\xi}{2k_m(\rho + \delta)} < \frac{(\pi_m + \pi_r)\gamma\xi}{k_m(\rho + \delta)}$, 可得 $\varepsilon^n < \varepsilon^d < \varepsilon^c$, 即制造商的最优减排水平 ε 在合

作契约中最高. 又由

$$\frac{\pi_r \beta}{k_r} = \frac{\pi_r \beta}{k_r} < \frac{(\pi_m + \pi_r) \gamma \xi}{k_m(\rho + \delta)},$$

可得 $p^n = p^d < p^c$, 即零售商 r 的最优促销水平 p 在合作契约中最高.

由定理 3 可知, 当供应链中的成员以整体利润最大化作为目标时, 他们将不再仅关注自身的边际利润, 还会顾及供应链中其他成员的收益, 以实现供应链的利润最大化. 当供应链成员不再把目光局限于自身时, 在以边际收益等于边际成本作为决策原则时, 由于以整个供应链作为决策的对象会增大边际收益, 从而使得边际收益等于边际成本的决策点向右移动, 导致供应链成员决策的最优水平增加. 供应链成员的决策变量受到其他参数的影响情况与不合作情形中相似, 不再赘述.

2 比较与分析

定理 4 与不合作契约相比, 在零售商分担制造商减排投入的契约中, 供应链成员实现了帕累托改进.

证明 对于制造商而言, 有

$$V_m^d(G_0) - V_m^n(G_0) = \frac{2(\pi_r \gamma \xi)^2}{2k_m(\rho + \delta)^2} > 0, \quad (44)$$

对于零售商而言, 有

$$V_r^d - V_r^n = \frac{(4\pi_r^2 + 3\pi_r \pi_m + \pi_m)^2 \gamma^2 \xi^2}{2k_m(\rho + \delta)^2} > 0. \quad (45)$$

即在成本分担契约中, 通过零售商分担制造商一定比例的减排投入实现了供应链的帕累托改进, 供应链成员的利润状况都得到了改善. \square

定理 5 当

$$\frac{(6\pi_r^2 + 2\pi_r \pi_m) \gamma^2 \xi^2}{k_m(\rho + \delta)^2} \geq \frac{\pi_m^2 \beta^2}{k_r}$$

时, 成本分担契约中 ($\pi_r > \pi_m/2$) 的供应链总体利润不少于在合作契约中的供应链利润; 当

$$\frac{(6\pi_r^2 + 2\pi_r \pi_m) \gamma^2 \xi^2}{k_m(\rho + \delta)^2} < \frac{\pi_m^2 \beta^2}{k_r}$$

时, 合作契约下供应链总体利润高于在成本分担契约下的供应链利润 ($\pi_r > \pi_m/2$).

证明 由比较

$$\begin{aligned} & V_s^d(G_0) - V_s^c(G_0) = \\ & V_m^d + V_r^d - V_s^c = \\ & \frac{(6\pi_r^2 + 2\pi_r \pi_m) \gamma^2 \xi^2}{k_m(\rho + \delta)^2} - \frac{\pi_m^2 \beta^2}{k_r} \end{aligned} \quad (46)$$

可知, 当式 (46) 大于零时, 在成本分担契约下的供应链总利润高于合作契约下的供应链总利润; 当小于零时, 此时在合作契约中供应链总利润高于在成本分担契约下的供应链利润 ($\pi_r > \pi_m/2$), 可以把合作契

约时比成本分担契约下高出的部分称为供应链合作价值. \square

定义 1 供应链合作价值表示供应链企业合作时得到总利润与不合作时得到的最高利润之间的差值, 即对于在不合作时供应链能够得到的最大价值的新增价值.

由定理 5 可知, 与 Jorgensen 等^[10-11]、傅强等^[12]得出的结论不同, 本文发现供应链成员企业的合作不一定是最优的状态, 只有在符合定理 5 中给出的条件存在合作价值时, 通过供应链成员企业合作做出集中化的决策才是有意义的. 当不符合条件时, 即使从推论 5 和推论 6 中得出在合作的状态下供应链可实现最高的减排水平和广告水平, 但是作为理性人, 供应链中企业是以利润为目标的, 不会选择这一契约, 而会选择排放水平和促销水平都较低且利润最大的成本分担契约情形.

当合作契约的利润最大时, 供应链企业会选择这一契约以实现各自利润的最大化. 然而, 这时存在一个如何分配利润的问题, 此时制造商或者零售商会把另外两种情景时的最高利润作为保留利润. 如果在合作情景下任何一个成员分得的利润少于其保留利润, 则合作契约将无法实施, 本文选择利润共享契约来实现利润的分配.

3 利润共享契约的设计

在实施利润共享契约时 (可以参考文献 [23-25]), 制造商和零售商应通过协商确定一个合作契约供应链总利润的分割比例, 本文把制造商获得的总利润的份额设为 θ , 则零售商利润份额为 $1 - \theta$, 其中 $0 \leq \theta \leq 1$. 当 $\pi_r > \pi_m/2$ 时, 制造商与零售商的保留利润分别为

$$\underline{V}_m = V_m^d, \quad \underline{V}_r = V_r^d;$$

当 $\pi_r \leq \pi_m/2$ 时, 制造商与零售商的保留利润分别为

$$\underline{V}_m = V_m^n, \quad \underline{V}_r = V_r^n.$$

实施利润共享契约时, 供应链成员企业必须满足利润分割比例, 即要满足以下不等式:

$$\begin{cases} \theta V_c \geq \underline{v}_m, \\ (1 - \theta) V_c \geq \underline{V}_r. \end{cases} \quad (47)$$

可以求得 θ 需满足 $[\underline{V}_m/V_s^c, (V_s^c - \underline{V}_r)/V_s^c]$, 为表示方便, 令

$$\underline{\theta} = \underline{V}_m/V_s^c, \quad \bar{\theta} = (V_s^c - \underline{V}_r)/V_s^c.$$

在既定的利润分配区间 $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$, 制造商和零售商都希望从合作产生的价值中分享更多的利润, 制造商希望利润分割比例 θ 能够尽可能地向 $\bar{\theta}$ 靠近, 而零售商则希望分割比例尽可能地向 $\underline{\theta}$ 靠近. 本文采用

Rubinstein^[26]讨价还价模型中的贴现因子的概念来确定利润分割比例 θ 。贴现因子或者贴现率表示参与者“讨价还价的能力”或者“耐心程度”，它可以理解为讨价还价的一种成本。贴现因子越趋向于1，表示参与者讨价还价能力越强，其获得的收益越多。这种讨价还价能力往往与谈判成本、参与者厌恶风险的程度、核心竞争力有关。可以假定制造商与零售商的贴现因子分别为 ν_m 、 ν_r 。

考虑到零售商处于主导地位，以零售商作为先出价者，应用Rubinstein轮流出价的讨价还价模型定理，制造商与零售商获得合作契约下供应链利润的份额分别为

$$\begin{cases} \theta = \frac{\nu_m(1-\nu_r)}{1-\nu_m\nu_r}(\bar{\theta}-\theta) + \theta, \\ (1-\theta) = 1 - \frac{\nu_m(1-\nu_r)}{1-\nu_m\nu_r}(\bar{\theta}-\theta) + \theta. \end{cases} \quad (48)$$

此时供应商与零售商的价值函数可以表示为

$$\begin{aligned} V_m &= \left[\frac{\nu_m(1-\nu_r)}{1-\nu_m\nu_r}(\bar{\theta}-\theta) + \theta \right] V_s^c, \\ V_r &= \left[1 - \frac{\nu_m(1-\nu_r)}{1-\nu_m\nu_r}(\bar{\theta}-\theta) + \theta \right] V_s^c. \end{aligned} \quad (49)$$

从式(48)和(49)可以看出，博弈方风险厌恶程度越低或谈判成本越低，其获得的利润就越多；而当博弈方的竞争能力越强时，将会获得更多的利润。当零售商的厌恶程度越低或谈判成本越低时，其从合作价值中分得的利润就会越多。相应地，供应商从合作价值中将获得更少的利润。当零售商核心竞争力越强时，其讨价还价能力越强，其合作价值的分得比例就会越高，利润也将越高。相应地，供应商分到的利润将会越少。

4 结论与展望

本文以大型零售商的出现和全球气候变暖为背景，研究了单个处于领导者地位的零售商与单个作为跟随者的制造商组成的供应链。首先假定零售商的促销和弱势制造商的低碳商誉影响消费者的购买行为，能够增加产品的销售量，而制造商的低碳商誉又受到其减排的正向作用；然后使用微分博弈理论，比较了不合作、成本分担以及合作3个契约对制造商与零售商的影响。经研究发现：制造商与零售商的最优促销水平与最优减排水平在合作契约下最高。但是，与之前的研究不同^[10-12]，供应链的总体价值在合作契约下不一定是最大的，只有当合作价值存在时，供应链的总价值才是最大的，制造商与零售商的合作才是有意义的；当合作价值不存在时，虽然在合作契约中制造商减排水平和零售商的促销水平都是最高的，对社会的碳排放的污染是最小的，但是理性的供应链成员企业将选择成本分担契约情形以使价值最大，而不会选

择减排水平较高的合作契约。

此外，本文还发现成本分担契约也是有条件的，只有在零售商的边际利润高于制造商边际利润一半时，该契约才能达成；否则零售商会因其边际利润过低而拒绝与制造商达成成本分担契约。即零售商支持制造商减排时先会考虑彼此的单位收益，当其收益相对较低时零售商需增加一部分成本用于制造商减排，这对零售商而言是不能承受的；而当其收益相对较高时零售商将会支持制造商的减排活动。同时，这也说明处于主导地位的零售商过多地让利给制造商而使自身处于不利的地位将不利于供应链利润的增加，无法实现供应链成员受益的帕累托改进，而且减排水平较低也不利于降低温室气体的排放。在供应链成员企业合作有意义时，设计了利润共享契约，并基于供应链成员的参与约束与激励相容约束给出了利润分割比例的区间。最后利用基于贴现因子的Rubinstein讨价还价模型确定了分割比例。

本文仅考虑了减排对需求造成的正面影响，而没有考虑减少的碳排放额同时可以在碳排放权交易市场上进行交易以获得收益。另外本文以企业自愿减排为出发点，没有考虑将来政府会强制企业降低碳排放，而强制减排对市场造成的影响可能会改变企业的行为。后续的研究可以从以上几点展开。

参考文献(References)

- [1] BBC news. Kiribati mulls Fiji land purchase in battle against sea[EB/OL]. (2012-03-08) [2013-01-04]. <http://www.bbc.co.uk/news/world-asia-17295862>.
- [2] Fores Marco, Urbano Lopes da Silva, Jr Malone Haidy, et al. WWF's living Amazon initiative — A comprehensive approach to conserving the largest rainforest and river system on earth[R]. Brasilia: World Wildlife Fund, 2010: 20-24.
- [3] Brown J. BP statistical review of world energy[R]. London: BP, 2006.
- [4] 汪秀英. 低碳公关让人们更加关注形象、品牌与未来[J]. 公关世界, 2010(10): 50-52.
(Wang X Y. The low-carbon public relations makes the people pay more attention to the image, the brand and the future[J]. The World of Public Relations, 2010(10): 50-52.)
- [5] Dant Rajiv P, Berger Paul D. Modeling cooperative advertising decisions in franchising[J]. The J of Operational Research Society, 1996, 47(9): 1120-1136.
- [6] Yue Jinfeng, Austin Jill, Wang Min-chiang, et al. Coordination of cooperative advertising in a two-level supply chain when manufacturer offers discount[J]. European J of Operational Research, 2006, 168(1): 65-85.

- [7] Huang Zhimin, Li Susan X, Mahajan Vijay. An analysis of manufacturer-retailer supply chain coordination in cooperative advertising[J]. *Decision Science*, 2002, 33(3): 469-494.
- [8] Li Shaoxuan, So Kut C, Zhang Fuqiang. Effects of supply reliability in a retail setting with joint marketing and inventory decisions[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2010, 12(1): 19-32.
- [9] Krishnan Harish, Kapuscinski Roman, Butz David. A quick response and retailer effort[J]. *Management Science*, 2009, 56(6): 962-977.
- [10] Jorgensen Steffen, Sigue Simon Pierre, Zaccour Georges. Dynamic cooperative advertising in a channel[J]. *J of Retailing*, 2000, 76(1): 71-92.
- [11] Jorgensen S, Taboubi S, Zaccour G. Cooperative advertising in a marketing channel[J]. *J of Optimization Theory and Application*, 2001, 110(1): 145-158.
- [12] 傅强, 曾顺秋. 纵向合作广告的微分对策模型研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2007(11): 26-33.
(Fu Q, Zeng S Q. Differential game models of the vertical cooperative advertising[J]. *System Engineering Theory and Practice*, 2007(11): 26-33.)
- [13] Berger P D. Vertical cooperative advertising ventures[J]. *J of Marketing Research*, 1972, 9(3): 309-312.
- [14] He Xiuli, Prasad Ashutosh, Sethi Suresh P. Cooperative advertising and pricing in a dynamic stochastic supply chain: Feedback stackelberg strategies[J]. *Production and Operations Management*, 2009, 18(1): 78-94.
- [15] Nair A, Narasimhan N. Dynamics of competing with quality and advertising-based goodwill[J]. *European J of Operational Research*, 2006(175): 462-474.
- [16] Erickson Gary M. A differential game model of the marketing-operations interface[J]. *European J of Operational Research*, 2011(211): 394-402.
- [17] Peitro De Giovanni. Quality improvement vs advertising support: Which strategy works for a manufacturer?[J]. *European J of Operational Research*, 2011(208): 119-130.
- [18] Liu Zugang, Anderson Trisha D, Curz Jose M. Consumer environmental awareness and competition in two-stage supply chains[J]. *European J of Operational Research*, 2012(28): 602-613.
- [19] Nordhaus W. To slow or not to slow: The economics of the green house effect[J]. *The Economic J*, 1991, 101(407): 920-937.
- [20] Nerlove M, Arrow K J. Optimal advertising policy dynamic conditions[J]. *Economica*, 1962, 29(114): 129-142.
- [21] Matthew G Nagler. An exploratory analysis of the determinants of cooperative advertising participation[J]. *Marketing Letters*, 2006, 17(10): 91-102.
- [22] Dockner E, Jorgensen S, Long N V, et al. *Differential games in economics and management science*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 97-103.
- [23] Cachon G P. *Supply chain coordination with contracts*[C]. *Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management*. Amsterdam, 2003: 227-339.
- [24] Dolan R, Frey J B. Quantity discounts: Managerial issues and research opportunities/commentary/reply[J]. *Marketing Science*, 2000, 46(11): 1-24.
- [25] Boyaci T, Gallego G. *Coordination issues in simple supply chains*[R]. New York: Columbia University, 1997.
- [26] Rubinstein Ariel. Perfect equilibrium in a bargaining model[J]. *Econometrica*, 1982, 50(1): 97-109.

(责任编辑: 李君玲)