

基于参考效应的动态定价和减排决策

楼高翔¹, 张永明^{1†}, 万 宁²

(1. 华东理工大学 商学院, 上海 200237; 2. 上海电机学院 商学院, 上海 201306)

摘要: 考虑顾客需求具有参考效应等非理性的特性, 基于动态规划方法, 对价格和减排水平两种参考效应不同组合情形下企业定价和减排水平问题进行研究. 研究发现, 相对于无参考效应情形, 存在价格参考效应时, 垄断制造商应降低产品价格和减排水平, 而存在减排水平参考效应时则相反; 价格或减排水平参考效应并存时, 垄断制造商长期的瞬时利润低于无参考效应情形, 表明两种参考效应都将对企业的长远利润产生不利影响. 通过对两种参考效应并存情形的分析, 并考虑当前消费者低碳意识较弱、产品关切仍集中于价格的现实, 建议两种参考效应并存下企业的产品价格应低于无参考效应的情形.

关键词: 参考效应; 动态规划; 定价; 减排

中图分类号: F272.3

文献标志码: A

Dynamic pricing and emission abatement with reference effect

LOU Gao-xiang¹, ZHANG Yong-ming^{1†}, WAN Ning²

(1. School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2. School of Business, Shanghai Dianji University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Considering the consumer demand characteristic of reference effects, the optimal price and emission abatement of monopolist manufacturer faced with different combinations of the two reference effects are studied bases on dynamic programming. The study shows that the monopolist manufacturer should decrease its price and emission abatement in the presence of reference price effect and promote its price and emission abatement in the presence of reference emission abatement effect, compared to no reference effect. The instant profit of monopolist with reference effects would be lower than that with no reference effects, which means, either of the two reference effects in the long term would be detrimental to the long-term interest. It is suggested that the monopolist manufacturer in the face of both reference effects should set lower price compared no reference effect, based on the analysis of the scenario with both reference effects and the fact that consumers nowadays are lack of low carbon consciousness and focus mainly on the retailing price.

Keywords: reference effects; dynamic programming; pricing; emission abatement

0 引言

全球变暖及气候异常问题愈加突出, 低碳问题引起各国政府、企业和学者越来越多的关注. 作为世界第二大经济体的中国也积极参与节能减排、保护环境的相关活动, 并将其纳入“十三五”规划前期研究重大课题目录, 成为“十三五”规划生态治理的重要内容. 作为消费者, 其需求对价格和减排水平的反应不仅取决于其绝对值, 还与以往消费经历所形成的价格和减排水平的期望或预期相关, 即参考效应.

所谓参考效应, 是指顾客通过大量的频繁的对商品及其他替代商品的购买经历而形成的关于价格

和质量等的参考点. Winer^[1]和Kalwani等^[2]的研究表明, 消费者的购买行为的确受到其过往购买经历所形成的关于产品属性期望的影响. Hardie等^[3]将参考质量引入基于一般前景理论价值函数建立的顾客选择模型中, 并发现了质量参考效应的显著性. 当前, 低碳等环保因素越来越成为产品质量的重要组成部分. Ko等^[4]也通过实证研究发现顾客对产品绿色环保的感知的确影响消费者的购买行为.

当产品价格高于参考价格或减排水平低于参考减排水平时, 顾客产生“损失”感, 从而减少对产品的需求; 当产品价格低于参考价格或减排水平高于

收稿日期: 2017-05-04; 修回日期: 2017-07-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71573087, 71473085, 71471062); 上海市浦江人才计划项目(15PJC020); 中央高校基本科研业务费专项基金项目.

作者简介: 楼高翔(1976—), 男, 教授, 博士, 从事低碳供应链、运营管理等研究; 张永明(1993—), 男, 硕士生, 从事低碳供应链的研究.

†通讯作者. E-mail: ecupl_student_1010@126.com

参考减排水平时,顾客产生“获得”感,从而增加对产品的需求.参考效应下,企业的定价和减排水平决策必须平衡现在和未来的收益,比如当企业采用低价格或高减排水平时,企业短期需求将上升,但这势必会降低顾客的价格参考点或提升顾客减排水平参考点,使未来企业难以给予顾客足够的“获得”感,从而损伤企业的未来收益.

本文基于行为经济学的理论,引入价格和减排水平参考效应,从生产运营的视角对企业的定价和减排策略进行分析,从而为企业定价和减排决策提供理论依据.这对于丰富低碳供应链理论、提高企业的低碳决策水平具有一定的理论价值和现实意义.

1 文献综述

本文将从碳减排研究、动态定价和参考效应3个方面对相关文献进行梳理.

1.1 碳减排研究

当前,碳减排研究从政策、物流设计、生产运营、协调优化等不同层面展开.

Cachon^[5]研究了供应链零售商下游网点布局如何在满足碳排放约束的同时使运营成本最小化,同时考虑了对消费者的影响;Du等^[6]在考虑存在碳排放权交易情况下,提出了新型供应链,由传统非营利绿色环保组织作为碳排放权的供应商和碳排放权依赖型企业组成,基于报童模型分析了排放依赖型供应链双方的博弈过程;马秋卓等^[7]研究了以配额制为基础的碳交易体系下单个企业低碳产品最优定价及碳排放策略问题.但上述研究皆为静态的,未考虑碳减排行为的跨期特性.

在动态的碳减排研究方面,赵道致等^[8]借助随机微分对策方法研究了在减排量为动态变化过程情况下的企业减排投资问题,并对相关参数作了灵敏度分析;徐春秋等^[9]将联合减排与合作广告相结合,即上游制造商进行减排投资,下游零售商进行低碳产品的宣传,分别对集中决策、无成本分担分散决策、制造商成本分担分散决策进行了研究对比;赵道致等^[10]基于微分博弈研究了一个供应商与一个制造商组成的低碳供应链中纵向合作减排的动态优化问题.但这些研究没有将定价与减排相结合,且皆假设决策者为理性的,而未考虑参考效应等非理性的现实因素.

1.2 动态定价

动态定价方面的论文大多是基于微分博弈的方法,并与不同的供应链结构、不同的契约设置、质量改进、广告投入等相结合加以研究.

Genaro等^[11]通过构建单一制造商和拥有长远和

短期两种决策视角的单一零售商所构成的供应链,基于Bass扩散模型和微分博弈方法,对创新耐用产品的价格促销策略进行了研究,并通过收益共享契约对供应链进行了协调;Fouad等^[12]针对由一个制造商和两个竞争性零售商构成的供应链,基于微分博弈方法,对批发价合同和收益共享合同下制造商最优的生产率、广告投入、质量改进努力和零售商最优的购买率、零售价格等进行了对比研究;Pietro^[13]针对逆向供应链上下游环境合作问题,基于微分博弈方法,分别对批发价合同和逆向收益共享合同下制造商和零售商的最优绿色广告和定价策略进行了研究.但较少有论文将动态定价与减排活动相结合进行研究.

1.3 参考效应

作为前景理论的一部分,参考依赖理论强调多数人对得失的判断往往是根据参考点决定的.目前,对参考效应的研究多集中于价格方面,少数论文还研究了质量参考效应.

Subrata等^[14]对存在参考价格的情形下易腐品的绿色运营和保护技术的最优投资策略进行了研究;Liu等^[15]针对具有参考质量效应的收益共享简单供应链,研究了短期决策和长期决策两种行为下的制造商与零售商的质量改进和定价行为;Ioana等^[16]研究了参考效应下的动态定价问题;皮德萍等^[17]引入消费者参考效应,讨论了消费者参考效应对闭环供应链优化决策和供应链利润的影响;Gadi等^[18]展示了非对称参考价格效应的微分博弈最优化模型的显性解的求解方法;Zhang等^[19]强调了广告宣传对顾客参考点的影响,并创新性地采用双边成本分担契约实现供应链的完全协调.上述研究主要集中于价格参考效应和质量参考效应,而本文在引入价格参考效应的同时假设减排水平也具有参考效应,并划分4种情形探索其对均衡价格和减排水平的影响,从而使模型和分析结果更加贴近实际.

本文借助动态规划方法,首先研究在无任何参考效应的情形下,企业的最优定价和减排努力水平问题;然后,分别研究在有价格参考效应而无减排水平参考效应、有减排参考效应而无价格参考效应及既有价格参考效应又有减排水平参考效应下的企业最优定价和减排问题,并与无任何参考效应的情形进行对比,进而对企业的最优定价和减排的策略进行研究.

2 问题描述及模型假设

为简化计算和表述,在不影响分析结果的前提下,剔除双重边际化的效应,只考虑由单一垄断制造

商组成的供应链,即垄断制造商将同时拥有定价和减排决策的权力。

假设垄断制造商的减排水平为 $\xi(t)$ 时的减排成本函数为

$$C(\xi(t)) = \frac{\mu}{2}\xi^2(t),$$

其中 $C(\xi(t))$ 为垄断制造商在 t 时刻减排水平下所要承担的减排成本。

通过对低碳产品的频繁的、大量的消费经历,顾客往往会对产品的价格和减排水平形成主观上的参考点,且在消费过程中与价格或者减排水平的实际状况进行对比,并形成主观上的“获得”或“损失”的感知,进而影响消费者的需求。本文用如下微分方程分别刻画参考减排水平和参考价格随时间的变化:

$$\begin{aligned} \dot{r}_\xi(t) &= k_1(\xi(t) - r_\xi(t)), \quad r_\xi(0) = r_{\xi 0} > 0, \\ \dot{r}_p(t) &= k_2(p(t) - r_p(t)), \quad r_p(0) = r_{p0} > 0. \end{aligned}$$

其中记忆参数 k_1 和 k_2 越大,顾客对减排水平和价格的记忆越倾向于短期记忆。

假设消费者的需求具有低碳偏好,且受到参考价格和参考减排水平的影响,则消费者的需求函数为

$$Q(t) = D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t) + \gamma_1(\xi(t) - r_\xi(t)) - \gamma_2(p(t) - r_p(t)),$$

其中 ν_1, ν_2, γ_1 和 γ_2 为正。

最后,假设垄断制造商面对不变且为正的贴现率,并以无限时区自身贴现利润最大化为目标来决定均衡价格和均衡减排水平。

本文所涉及的主要参数符号汇总如表1所示。

表1 主要参数符号

符号	含义
$p(t)$	t 时刻产品的价格
$\xi(t)$	t 时刻产品的减排水平
$p(\infty)$	产品价格的稳态值
$\xi(\infty)$	产品减排水平的稳态值
c	单位产品的生产成本
μ	减排成本系数
ρ	贴现率
D_0	基本需求量
k_1, k_2	减排水平、价格参考效应的记忆参数
$r_{\xi 0}, r_{p0}$	减排水平、价格参考效应的初始参考点
ν_1, ν_2	需求对价格、减排水平的敏感系数
γ_1, γ_2	减排水平、价格参考效应对需求的影响系数

3 不同参考效应下最优决策模型分析

本节将根据有无价格参考效应和有无减排水平参考效应,划分4种情形来研究企业的最优定价和减排水平的决策。

下文中字母上标第1个字母为 n 时表示无减排水平参考效应,为 r 时表示有减排水平参考效应;上

标第2个字母为 n 时表示无价格参考效应,为 r 时表示有价格参考效应。

为保证均衡价格、减排水平和需求始终大于零,本文作出如下假设:

$$\begin{aligned} D_0 - c\nu_1 &\gg 0, \quad 2\nu_1\mu - (\nu_2 + \gamma_1)^2 > 0, \\ (\rho + k_1)(D_0\mu - c\nu_2^2 + c\mu\nu_1) - \rho c\gamma\nu_1 &> 0. \end{aligned}$$

3.1 既无价格参考效应也无减排水平参考效应下的情形

在此种情形下,顾客需求不受价格和减排水平所对应的两种参考效应的影响,即需求只受价格和减排水平的影响。垄断制造商的目标函数为

$$\max_{p(t), \xi(t)} J = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \left\{ (p(t) - c)(D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t)) - \frac{\mu}{2} \xi^2(t) \right\} dt, \quad (1)$$

目标函数(1)中并不包含状态变量,所以其等价于以下静态问题:

$$\max_{p(t), \xi(t)} \pi = (p(t) - c)(D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t)) - \frac{\mu}{2} \xi^2(t).$$

由FOC条件,可得如下定理。

定理1 无任何参考效应情形下,垄断制造商的均衡减排水平和价格分别为

$$\begin{cases} \xi^{nn} = \frac{(D_0 - c\nu_1)\nu_2}{2\nu_1\mu - \nu_2^2}, \\ p^{nn} = \frac{D_0\mu + c(\nu_1\mu - \nu_2^2)}{2\nu_1\mu - \nu_2^2}. \end{cases} \quad (2)$$

3.2 存在价格参考效应但无减排水平参考效应下的情形

本节将考虑价格参考效应,即强调消费者需求不仅受价格和减排水平的影响,还受到价格参考效应的影响。此种情形下,垄断制造商的目标函数为

$$\begin{aligned} \max_{p(t), \xi(t)} J &= \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} (p(t) - c)(D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t) - \gamma_2(p(t) - r_p(t))) - \frac{\mu}{2} \xi^2(t) dt. \\ \text{s.t. } \dot{r}_p(t) &= k_2(p(t) - r_p(t)), \quad r_p(0) = r_{p0}. \end{aligned} \quad (3)$$

本文将采用开环解法求均衡解。

垄断制造商的目标函数对应的哈密顿函数为

$$H = (p(t) - c)(D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t) - \gamma_2(p(t) - r_p(t))) - \frac{\mu}{2} \xi^2(t) + \lambda_2 k_2 (p(t) - r_p(t)). \quad (4)$$

其中: λ_2 为共态变量,亦即影子价格,表示状态变量的单位变动对最优总利润的影响。其对应的共态方程为

$$\dot{\lambda}_2 = \rho\lambda_2 - \frac{\partial H}{\partial r_p} = (\rho + k_2)\lambda_2 - \gamma_2(p - c). \quad (5)$$

同时,由FOC条件可得

$$\xi^{nr} = \frac{(D_0 - c(\nu_1 + \gamma_2)) + \gamma_2 r_p + k_2 \lambda_2}{2\mu(\nu_1 + \gamma_2) - \nu_2^2} \nu_2,$$

$$p^{nr} = \frac{(D_0 \mu + c(\mu(\nu_1 + \gamma_2) - \nu_2^2)) + \mu \gamma_2 r_p + \mu k_2 \lambda_2}{2\mu(\nu_1 + \gamma_2) - \nu_2^2}. \quad (6)$$

将 ξ^{nr} 、 p^{nr} 代入状态方程 \dot{r}_p 和共态方程 $\dot{\lambda}_2$,并整理成如下形式:

$$\begin{bmatrix} \dot{\lambda}_2 \\ \dot{r}_p \end{bmatrix} = A^{nr} \begin{bmatrix} \lambda_2 \\ r_p \end{bmatrix} + b^{nr}. \quad (7)$$

其中

$$A^{nr} = \frac{1}{\eta_1} \begin{bmatrix} (\rho + k_2)\eta_1 - k_2\gamma_2\mu & -\gamma_2^2\mu \\ k_2^2\mu & -k_2(\mu(2\nu_1 + \gamma_2) - \nu_2^2) \end{bmatrix},$$

$$b^{nr} = \frac{1}{\eta_1} \begin{bmatrix} -\gamma_2(D_0\mu - c\mu(\nu_1 + \gamma_2)) \\ k_2(D_0\mu + c(\mu(\nu_1 + \gamma_2) - \nu_2^2)) \end{bmatrix},$$

$$\eta_1 = 2\mu(\nu_1 + \gamma_2) - \nu_2^2.$$

矩阵 A^{nr} 的特征值为

$$m_1^{nr} = \frac{-\sqrt{(2k_2 + \rho)\eta_1((2k_2 + \rho)\eta_1 - 4k_2\gamma_2\mu)} + \rho\eta_1}{2\eta_1},$$

$$m_2^{nr} = \frac{\sqrt{(2k_2 + \rho)\eta_1((2k_2 + \rho)\eta_1 - 4k_2\gamma_2\mu)} + \rho\eta_1}{2\eta_1}. \quad (8)$$

因为 $2\nu_1\mu - \nu_2^2 > 0$,所以 $m_1^{nr} < 0, m_2^{nr} > 0$.

对应的特征向量矩阵为

$$D^{nr} = \begin{bmatrix} \frac{\eta_1 - \gamma_2\mu}{k_2\mu} + \frac{\eta_1}{k_2^2\mu} m_1^{nr} & \frac{\eta_1 - \gamma_2\mu}{k_2\mu} + \frac{\eta_1}{k_2^2\mu} m_2^{nr} \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

因此,可得

$$\begin{bmatrix} \lambda_2 \\ r_p \end{bmatrix} = D^{nr} \begin{bmatrix} e^{m_1^{nr}t} & 0 \\ 0 & e^{m_2^{nr}t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} - (A^{nr})^{-1}b^{nr}. \quad (10)$$

假设 $-(A^{nr})^{-1}b^{nr} = [b_1^{nr} \ b_2^{nr}]^T$,由 $r_p(\infty) < \infty$,可得 $l_2 = 0$,所以可得

$$\lambda_2^{nr} = l_1 \left(\frac{\eta_1 - \gamma_2\mu}{k_2\mu} + \frac{\eta_1}{k_2^2\mu} m_1^{nr} \right) e^{m_1^{nr}t} + b_1^{nr},$$

$$r_p^{nr} = l_1 e^{m_1^{nr}t} + b_2^{nr}. \quad (11)$$

因为 $r_p(0) = r_{p0}$,所以

$$l_1 = r_{p0} - b_2^{nr} = r_{p0} - p^{nr}(\infty). \quad (12)$$

将 λ_2^{nr} 、 r_p^{nr} 代入 p^{nr} 和 ξ^{nr} ,即可得其具体的最优

轨迹.

定理2 由上述可得仅有价格参考效应下的开环均衡解分别为

$$p^{nr}(t) = p^{nr}(\infty) + \frac{r_{p0} - p^{nr}(\infty)}{k_2} (k_2 + m_1^{nr}) e^{m_1^{nr}t},$$

$$\xi^{nr}(t) = \xi^{nr}(\infty) + \frac{r_{p0} - p^{nr}(\infty)}{\mu k_2} (k_2 + m_1^{nr}) e^{m_1^{nr}t}. \quad (13)$$

其中

$$p^{nr}(\infty) = \frac{(\rho + k_2)(D_0\mu - c\nu_2^2 + c\mu\nu_1) + \rho c\gamma_2\mu}{(\rho + k_2)(2\mu\nu_1 - \nu_2^2) + \rho\gamma_2\mu},$$

$$\xi^{nr}(\infty) = \frac{\nu_2(\rho + k_2)(D_0 - c\nu_1)}{(\rho + k_2)(2\mu\nu_1 - \nu_2^2) + \rho\gamma_2\mu}.$$

3.3 存在减排水平参考效应但无价格参考效应下的情形

本节将引入减排水平参考效应,即消费者的需求不仅受价格和减排水平的影响,还受减排水平参考效应的影响.此种情形下,垄断制造商的目标函数为

$$\max_{p(t), \xi(t)} J = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \left\{ (p(t) - c)(D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t) + \gamma_1(\xi(t) - r_\xi(t))) - \frac{\mu}{2} \xi^2(t) \right\} dt.$$

s.t. $\dot{r}_\xi(t) = k_1(\xi(t) - r_\xi(t)), r_\xi(0) = r_{\xi 0}. \quad (14)$

同样,采用开环解法求解开环均衡.此种情形下,垄断制造商目标函数对应的哈密顿函数为

$$H = (p(t) - c)(D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t) + \gamma_1(\xi(t) - r_\xi(t))) - \frac{\mu}{2} \xi^2(t) + \lambda_1 k_1(\xi(t) - r_\xi(t)). \quad (15)$$

由FOC条件可得

$$\xi^{rn} = \frac{(D_0 - c\nu_1)(\nu_2 + \gamma_1) + 2\nu_1 k_1 \lambda_1 - \gamma_1(\nu_2 + \gamma_1)r_\xi}{2\mu\nu_1 - (\nu_2 + \gamma_1)^2},$$

$$p^{rn} = \frac{(D_0\mu + c(\nu_1\mu - (\nu_2 + \gamma_1)^2)) + k_1(\nu_2 + \gamma_1)\lambda_1 - \mu\gamma_1 r_\xi}{2\mu\nu_1 - (\nu_2 + \gamma_1)^2}. \quad (16)$$

哈密顿函数(15)对应的共态方程为

$$\dot{\lambda}_1 = \rho\lambda_1 - \frac{\partial H}{\partial r_\xi} = (\rho + k_1)\lambda_1 + \gamma_1(p - c). \quad (17)$$

将 ξ^{rn} 、 p^{rn} 代入状态方程、 \dot{r}_ξ 和共态方程 $\dot{\lambda}_1$,并整理成如下形式:

$$\begin{bmatrix} \dot{\lambda}_1 \\ \dot{r}_\xi \end{bmatrix} = A^{rn} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ r_\xi \end{bmatrix} + b^{rn}. \quad (18)$$

其中

$$A^{rn} = -\frac{1}{\eta_2} \begin{bmatrix} k_1\gamma_1(\nu_2 + \gamma_1) - (\rho + k_1)\eta_2 & \\ & 2\nu_1 k_1^2 \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$b^{rn} = -\frac{D_0 - c\nu_1}{\eta_2} \begin{bmatrix} \gamma_1\mu \\ k_1(\nu_2 + \gamma_1) \end{bmatrix},$$

$$\eta_2 = (\gamma_1 + \nu_2)^2 - 2\mu\nu_1.$$

矩阵 A^{rn} 对应的特征值分别为

$$m_1^{rn} = \frac{-\sqrt{\phi} + \rho\eta_1}{2\eta_2}, m_2^{rn} = \frac{\sqrt{\phi} + \rho\eta_1}{2\eta_2}, \quad (19)$$

其中

$$\phi = \eta_2(\rho^2\eta_2 + 4k_1(\gamma_1\nu_2\rho + (k_1\rho)(\nu_2^2 - 2\mu\nu_1))).$$

计算可得 $m_1^{rn} > 0, m_2^{rn} < 0$. 同时, 其对应的特征向量为

$$D^{rn} = \begin{bmatrix} -\frac{\nu_2^2 + \gamma_1\nu_2 - 2\mu\nu_1}{2k_1\nu_1} - \frac{\eta_2}{2k_1^2\nu_1}m_1^{rn} & \rightarrow \\ 1 & \\ \leftarrow -\frac{\nu_2^2 + \gamma_1\nu_2 - 2\mu\nu_1}{2k_1\nu_1} - \frac{\eta_2}{2k_1^2\nu_1}m_2^{rn} & \\ 1 & \end{bmatrix}. \quad (20)$$

因此, 可得

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ r_\xi \end{bmatrix} = D^{rn} \begin{bmatrix} e^{m_1^{rn}t} & 0 \\ 0 & e^{m_2^{rn}t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} - (A^{rn})^{-1}b^{rn}. \quad (21)$$

假设 $-(A^{rn})^{-1}b^{rn} = [b_1^{rn} \ b_2^{rn}]^T$, 因为 $r_\xi(\infty) < \infty$, 所以 $l_1 = 0$, 可得

$$\lambda_1^{rn} = l_2 \left(-\frac{\nu_2^2 + \gamma_1\nu_2 - 2\mu\nu_1}{2k_1\nu_1} - \frac{\eta_2}{2k_1^2\nu_1}m_2^{rn} \right) e^{m_2^{rn}t} + b_1^{rn},$$

$$r_\xi^{rn} = l_2 e^{m_2^{rn}t} + b_2^{rn}. \quad (22)$$

因为 $r_\xi(0) = r_{\xi 0}$, 所以可得

$$l_2 = r_{\xi 0} - b_2^{rn} = r_{\xi 0} - \xi^{rn}(\infty). \quad (23)$$

将 $\lambda_1^{rn}, r_\xi^{rn}$ 代入 p^{rn} 和 ξ^{rn} , 即可得相应的最优轨迹.

定理3 由上述可得仅有减排水平参考效应下的开环均衡解分别为

$$p^{rn} = p^{rn}(\infty) + (r_{\xi 0} - \xi^{rn}(\infty)) \left(\frac{\nu_2}{2\nu_1} + \frac{\nu_2 + \gamma_1}{2k_1\nu_1} m_2^{rn} \right) e^{m_2^{rn}t},$$

$$\xi^{rn}(t) = \xi^{rn}(\infty) + (r_{\xi 0} - \xi^{rn}(\infty)) \left(1 + \frac{m_2^{rn}}{k_1} \right) e^{m_2^{rn}t}. \quad (24)$$

其中

$$p^{rn}(\infty) = \frac{(\rho + k_1)(D_0\mu - c\nu_2^2 + c\mu\nu_1) - c\rho\gamma_1\nu_2}{(\rho + k_1)(2\mu\nu_1 - \nu_2^2) - \rho\gamma_1\nu_2},$$

$$\xi^{rn}(\infty) = \frac{(D_0 - c\nu_1)(k_1\nu_2 + \rho(\gamma_1 + \nu_2))}{(\rho + k_1)(2\mu\nu_1 - \nu_2^2) - \rho\gamma_1\nu_2}.$$

4 比较分析

本节将对有无参考效应情形下的价格稳态解、减排水平稳态解、稳态减排水平与稳态价格的比值以及需求关于价格和减排水平的稳态弹性等方面进行研究, 为企业的价格和减排投资决策提供具有管理意义的认识和发现.

4.1 有无参考效应下稳态的价格和减排水平的对比

$$p^{nr}(\infty) - p^{nn} = -\frac{\gamma_2\mu^2\rho(D_0 - c\nu_1)}{\varpi_1} < 0,$$

$$\xi^{nr}(\infty) - \xi^{nn} = -\frac{\gamma_2\mu\nu_2\rho(D_0 - c\nu_1)}{\varpi_1} < 0,$$

$$p^{rn}(\infty) - p^{nn} = \frac{\gamma_1\mu\nu_2\rho(D_0 - c\nu_1)}{\varpi_2} > 0,$$

$$\xi^{rn}(\infty) - \xi^{nn} = \frac{2\gamma_1\mu\nu_1\rho(D_0 - c\nu_1)}{\varpi_2} > 0.$$

其中

$$\varpi_1 = (2\mu\nu_1 - \nu_2^2)((\rho + k_2)(2\mu\nu_1 - \nu_2^2) + \rho\gamma_2\mu),$$

$$\varpi_2 = (\nu_2^2 - 2\mu\nu_1)((\rho + k_1)(\nu_2^2 - 2\mu\nu_1) + \rho\gamma_1\nu_2).$$

推论1 相对无任何参考效应情形, 在有价格参考效应而无减排水平参考效应情形下, 稳态价格降低, 企业的稳态减排水平相应降低; 而在有减排水平参考效应而无价格参考效应情形下, 稳态减排水平提升, 企业的稳态价格相应上升.

推论1表明, 相对无参考效应情形, 仅有价格参考效应情形下, 企业更有意愿降低价格, 以提升顾客的“获得”感或降低“损失”感, 从而刺激需求; 同时, 为避免减排成本, 适度地降低减排水平. 同理, 在仅有减排水平参考效应下, 企业更有意愿投资碳减排, 并适度地提升价格以分担减排成本.

4.2 有无参考效应下减排水平和价格的稳态比值对比

$$\frac{\xi^{nr}(\infty)}{p^{nr}(\infty)} - \frac{\xi^{nn}}{p^{nn}} = -\frac{c\gamma_2\mu\nu_2\rho(D_0 - c\nu_1)}{\tau(\tau(\rho + k_2) + \rho c\gamma_2\mu)} < 0,$$

$$\frac{\xi^{rn}(\infty)}{p^{rn}(\infty)} - \frac{\xi^{nn}}{p^{nn}} = -\frac{\gamma_1\mu\rho(D_0^2 - c^2\nu_1^2)}{\tau(\tau(\rho + k_1) - \rho c\gamma_1\nu_2)} > 0,$$

其中 $\tau = D_0\mu - c\nu_2^2 + c\mu\nu_1$.

推论2 相对无任何参考效应情形, 在有参考价格效应而无参考减排水平效应情形下, 减排水平和价格的稳态比例将降低, 而在参考减排水平效应而无参考价格效应情形下, 该比例将提升.

推论2表明, 相对于无参考效应情形, 有价格参考效应下, 单位价格下顾客所享受的减排水平将降低, 而减排水平参考效应下, 单位价格下顾客所享受

的减排水平将提升.

4.3 有无参考效应下需求关于价格和减排水平弹性的对比

$$\left| \frac{\partial Q^{nr}}{\partial p^{nr}} \frac{p^{nr}(\infty)}{Q^{nr}(\infty)} - \frac{\partial Q^{nn}}{\partial p^{nn}} \frac{p^{nn}(\infty)}{Q^{nn}(\infty)} \right| = \frac{\gamma_2(k_2(-c\nu_2^2 + D_0\mu + c\mu\nu_1) + \rho c\mu(\gamma_2 + \nu_1))}{\mu(D_0 - c\nu_1)(k_2\nu_1 + \gamma_2\rho + \nu_1\rho)} > 0,$$

$$\frac{\partial Q^{nr}}{\partial \xi^{nr}} \frac{\xi^{nr}(\infty)}{Q^{nr}(\infty)} - \frac{\partial Q^{nn}}{\partial \xi^{nn}} \frac{\xi^{nn}(\infty)}{Q^{nn}(\infty)} = -\frac{\gamma_2\nu_2^2\rho}{\mu\nu_1(k_2\nu_1 + \gamma_2\rho + \nu_1\rho)} < 0.$$

同理,通过计算并结合约束条件,可得

$$\left| \frac{\partial Q^{rn}}{\partial p^{rn}} \frac{p^{rn}(\infty)}{Q^{rn}(\infty)} - \frac{\partial Q^{nn}}{\partial p^{nn}} \frac{p^{nn}(\infty)}{Q^{nn}(\infty)} \right| < 0,$$

$$\frac{\partial Q^{rn}}{\partial \xi^{rn}} \frac{\xi^{rn}(\infty)}{Q^{rn}(\infty)} - \frac{\partial Q^{nn}}{\partial \xi^{nn}} \frac{\xi^{nn}(\infty)}{Q^{nn}(\infty)} > 0.$$

推论3 相对于无参考效应情形,在价格参考效应情形下,需求关于价格的弹性提升,而需求关于减排水平的弹性降低;在减排水平参考效应情形下,需求关于价格的弹性降低,而需求关于减排水平的弹性提升.

推论3表明,相对于无参考效应情形,在价格参考效应情形下,需求变动对价格变动的敏感性提升,而对减排水平敏感性降低;在减排水平参考效应下,需求变动对价格变动的敏感性降低,而对减排水平的敏感性提升.

5 算例分析

为了进一步针对均衡解进行分析,将通过敏感性分析得出更多具有管理意义的认识和结论.本节从参考效应系数和记忆参数对均衡减排水平和价格的轨迹及其比值的影响、参考效应系数和记忆参数对垄断制造商瞬时利润的影响、不同参考效应下企业的定价和减排策略的分析等方面展开细致分析.

算例相关参数如下: $D_0 = 10, \mu = 2, c = 5, \nu_1 = 1, \nu_2 = 1, \rho = 0.5, r_{\xi 0} = \xi^{nn}, r_{p0} = p^{nn}$.

5.1 参考效应相关因素对减排水平和价格的最优轨迹及比值的影响

为了进一步研究参考效应的影响系数和记忆参数对均衡解最优轨迹的影响,本节将分别以时间 t 作为自变量,比较 $\gamma_1、k_1、\gamma_2、k_2$ 不同取值情况下均衡价格和均衡减排水平的变动,见表2和表3.限于篇幅,减排水平参考效应情形下的敏感性分析表格不再放入论文中.

结果显示:

1) 在价格参考效应下,最优价格和减排水平及比值随效应影响系数的增加而递减,随记忆参数的增大

表2 价格参考效应下系数 γ_2 对最优决策及比值影响

t	p^{nr}			ξ^{nr}			ξ^{nr}/p^{nr}		
	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6
0	8.01	7.96	7.91	1.51	1.48	1.46	0.18804	0.18592	0.18403
0.5	8.00	7.94	7.89	1.50	1.47	1.44	0.18752	0.18520	0.18310
1.0	7.99	7.93	7.87	1.49	1.46	1.43	0.18709	0.18460	0.18233
1.5	7.98	7.91	7.85	1.49	1.46	1.43	0.18674	0.18411	0.18168
2.0	7.97	7.90	7.84	1.49	1.45	1.42	0.18646	0.18370	0.18115
2.5	7.97	7.90	7.83	1.48	1.45	1.41	0.18622	0.18337	0.18071
3.0	7.96	7.89	7.82	1.48	1.44	1.41	0.18603	0.18309	0.18034

表3 价格参考效应下记忆参数 k_2 对最优决策及比值影响

t	p^{nr}			ξ^{nr}			ξ^{nr}/p^{nr}		
	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6
0	7.924	7.960	7.990	1.462	1.480	1.495	0.1845	0.1859	0.1871
0.5	7.908	7.941	7.970	1.454	1.471	1.485	0.1839	0.1852	0.1863
1.0	7.894	7.926	7.954	1.447	1.463	1.477	0.1833	0.1846	0.1857
1.5	7.882	7.914	7.942	1.441	1.457	1.471	0.1828	0.1841	0.1852
2.0	7.872	7.904	7.932	1.436	1.452	1.466	0.1824	0.1837	0.1848
2.5	7.863	7.896	7.924	1.432	1.448	1.462	0.1821	0.1834	0.1845
3.0	7.856	7.889	7.918	1.428	1.444	1.459	0.1818	0.1831	0.1843

而递增.

当存在价格参考效应时,若顾客需求对参考价格效应越敏感,则企业将选择降低价格,以增加顾客的“获得”感或减少顾客的“损失”感,相应的企业的减排水平也将下降;若顾客对价格水平的记忆越倾向于短期记忆,则企业在作出定价决策时便会更少关注当前定价决策对以后的参考价格和企业收益的影响,而更加关注当前收益的最大化.所以,企业会选择提高价格,相应地提升企业的减排水平.值得注意的是,减排水平下降速率高于价格下降速率.

2) 在减排水平参考效应下,最优价格和减排水平及比值随效应影响系数的增加而递增,随记忆参数的增大而递减.

当存在减排水平参考效应时,若顾客需求对参考减排水平效应越敏感,则企业越有意愿提升减排水平,同时为分担减排成本,企业也会相应地提高产品的价格;当顾客对减排水平的记忆和关注偏重于短期时,企业在作出减排水平决策时,便会更少考虑当前的减排水平决策对以后收益的影响,而更加关注当前收益的最大化,从而企业的减排意愿降低,相应的产品价格也降低.同时,减排水平下降速率仍高于价格下降速率.

5.2 参考效应的相关因素对垄断制造商瞬时利润的影响

本节将以无任何参考效应下的垄断制造商的瞬时利润为参考,研究参考价格效应和参考减排水平效应的相关因素对垄断制造商瞬时利润的影响,并进行对比分析,见图1和图2.

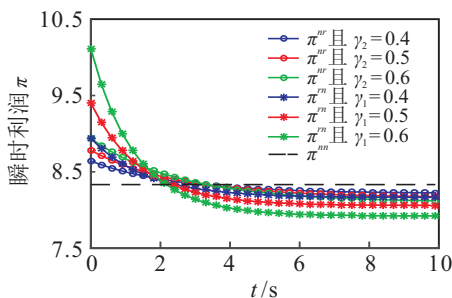


图1 参考效应系数对瞬时利润的影响

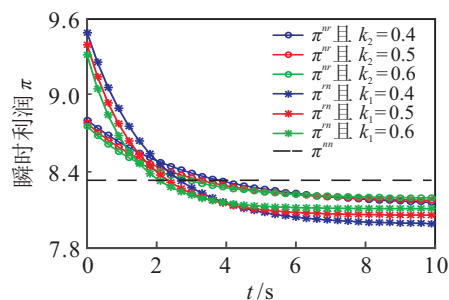


图2 记忆参数对瞬时利润的影响

由图1和图2可知: 首先, 垄断制造商的瞬时利润随时间递减; 其次, 无论价格参考效应还是减排水平参考效应, 短期内, 垄断制造商的瞬时利润高于无参考效应的情形, 而长期来讲, 垄断制造商的瞬时利润将低于无参考效应的情形. 对于两种参考效应, 效应的影响系数越高, 垄断制造商的短期瞬时利润越高, 但垄断制造商的长期瞬时利润越低; 而当记忆参数降低时, 短期的瞬时利润越高, 但长期的瞬时利润越低. 同时, 在两种效应的影响系数或记忆参数相同的情况下, 相较于价格参考效应的情形, 减排水平参考效应下垄断制造商的瞬时利润短期内会更高, 而长期来讲, 减排水平参考效应下垄断制造商的瞬时利润较低.

通过将垄断制造商的瞬时利润进行分解, 如价格参考效应下的瞬时利润分解为 $(p - c)(D_0 - \nu_1 p + \nu_2 \xi) - \xi^2 \mu / 2$ 和 $-(p - c)\gamma_2(p - r_p)$ 两部分, 可知垄断制造商瞬时利润的变动取决于新的定价和减排决策偏离无参考效应均衡解所产生的损失和增加消费者“获得”感或减少消费者“损失”感所产生的收益大小. 由于消费者参考点将随着定价或减排水平决策的变动而变动, 垄断制造商为了维持消费者的“获得”感, 需要制定更加偏离无参考效应均衡解的新的价格和减排水平决策, 从而使得垄断制造商的瞬时利润随着时间不断降低.

上述分析启示企业在面对具有价格或减排水平参考效应的消费者时, 除了需要根据消费者的参考效应制定相应的最优价格和减排水平决策, 更重要的是需要通过宣传等行为弱化消费者对价格或减排水平

的短期记忆倾向, 以及降低消费者需求对“损失”或“获得”的敏感性, 从而维护企业的长期利益.

5.3 不同参考效应下的减排水平和价格策略分析

本节将研究在不同参考效应下垄断制造商的定价和减排策略的决策问题. 定价策略分为两种:

- 1) “撇脂”定价, 即价格轨迹为由高到低单调递减;
- 2) “渗透”定价, 即价格轨迹为由低到高单调递增.

类比定价策略的作用效果, 本文将减排水平策略也分为两种:

- 1) “撇脂”型减排策略, 即减排水平由低到高单调递增;
- 2) “渗透”型减排策略, 即减排水平由高到低单调递减.

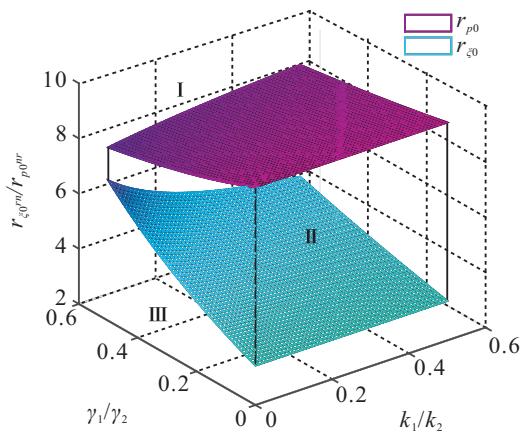


图3 当 $\nu_2 = 1.4$ 时的企业定价和减排水平策略分析

当满足 $2\mu\nu_1 - (\nu_2 + \gamma_1)^2 > 0$ 时, 由 $r_{\xi 0} = \xi^{rn}(\infty)$ 所构成的三维曲面始终在由 $r_{p0} = p^{rn}(\infty)$ 所构成的三维曲面之下, 如图3所示, 从而构成I、II、III三个区域. 在I区域中, $r_{\xi 0} > \xi^{rn}(\infty)$ 且 $r_{p0} > p^{rn}(\infty)$, 价格参考效应下的价格和减排水平轨迹为单调递减, 即采用“撇脂”定价和“渗透”型减排策略, 减排水平参考效应下的价格和减排水平轨迹为单调递增, 即采用“渗透”定价和“撇脂”型减排水平策略. 同理, 在II区域中, $r_{\xi 0} > \xi^{rn}(\infty)$ 且 $r_{p0} < p^{rn}(\infty)$, 无论价格参考效应还是减排水平参考效应, 都将采用“渗透”定价和“撇脂”型减排水平策略; 在III区域中, $r_{\xi 0} < \xi^{rn}(\infty)$ 且 $r_{p0} < p^{rn}(\infty)$, 减排水平参考效应下的企业将采用“撇脂”定价和“渗透”型减排策略, 而价格参考效应下的企业将采用“渗透”定价和“撇脂”型减排策略.

上述分析启示企业针对具有参考效应的消费者的最优定价和减排策略取决于初始参考点和稳态均衡解的大小. 企业的最优价格和减排水平的变动轨

迹相同,但市场影响效果相反,即“渗透”定价对应“撇脂”型减排策略,而“撇脂”定价对应“渗透”型的减排策略.同时,在价格参考效应下,当效应影响系数越小或效应记忆参数越大,垄断制造商采用“渗透”定价的可能性越高,而在减排水平参考效应下,当效应影响系数越大或效应记忆参数越小时,垄断制造商采用“撇脂”定价的可能性越高.

6 既存在价格参考效应又存在减排水平参考效应下的情形

本节将同时考虑参考价格效应和参考减排效应,并结合价格和减排水平对需求的影响,以无参考效应的情形为参照,分析两种不同参考效应并存可能对单一垄断制造商的均衡价格和均衡减排水平产生的影响.

采用开环解法求解过程如下.

此种情形下,垄断制造商的目标函数为

$$\max_{p(t), \xi(t)} J = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \left\{ (p(t) - c)(D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t) + \gamma_1(\xi(t) - r_\xi(t)) - \gamma_2(p(t) - r_p(t))) - \frac{\mu}{2} \xi^2(t) \right\} dt. \quad (25)$$

其中状态方程分别为

$$\begin{aligned} \dot{r}_\xi(t) &= k_1(\xi(t) - r_\xi(t)), \\ \dot{r}_p(t) &= k_2(p(t) - r_p(t)). \end{aligned} \quad (26)$$

通过计算可得稳态均衡解 $p^{rr}(\infty)$ 和 $\xi^{rr}(\infty)$ 的值. 已知目标函数及约束条件,则可得上述目标函数所对应的哈密顿函数为

$$\begin{aligned} H &= (p(t) - c)(D_0 - \nu_1 p(t) + \nu_2 \xi(t) + \gamma_1(\xi(t) - r_\xi(t)) - \gamma_2(p(t) - r_p(t))) - \frac{\mu}{2} \xi^2(t) + \\ &\quad \lambda_1 k_1(\xi(t) - r_\xi(t)) + \lambda_2 k_2(p(t) - r_p(t)). \end{aligned}$$

由FOC条件可得

$$p^{rr} = \frac{\zeta_1}{2\mu(\nu_1 + \gamma_2) - (\nu_2 + \gamma_1)^2}, \quad (27)$$

$$\xi^{rr} = \frac{\zeta_2}{2\mu(\nu_1 + \gamma_2) - (\nu_2 + \gamma_1)^2}. \quad (28)$$

其中

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= (D_0 \mu + c(\mu(\nu_1 + \gamma_2) - (\nu_2 + \gamma_1)^2)) - \mu \gamma_1 r_\xi + \mu \gamma_2 r_p + k_1(\nu_2 + \gamma_1) \lambda_1 + \mu k_2 \lambda_2, \\ \zeta_2 &= (D_0 - c(\nu_1 + \gamma_2))(\nu_2 + \gamma_1) - \gamma_1(\nu_2 + \gamma_1) r_\xi + \gamma_2(\nu_2 + \gamma_1) r_p + 2k_1(\nu_1 + \gamma_2) \lambda_1 + k_2(\nu_2 + \gamma_1) \lambda_2. \end{aligned}$$

同时,其对应的共态方程分别为

$$\dot{\lambda}_1 = \rho \lambda_1 - \frac{\partial H}{\partial r_\xi} = (\rho + k_1) \lambda_1 + \gamma_1(\rho - c),$$

$$\dot{\lambda}_2 = \rho \lambda_2 - \frac{\partial H}{\partial r_p} = (\rho + k_2) \lambda_2 - \gamma_2(\rho - c). \quad (29)$$

将 p^{rr} 和 ξ^{rr} 代入共态方程(27)和状态方程(26)中,并整理成如下形式:

$$\begin{bmatrix} \dot{r}_\xi \\ \dot{r}_p \\ \dot{\lambda}_1 \\ \dot{\lambda}_2 \end{bmatrix} = A^{rr} \begin{bmatrix} r_\xi \\ r_p \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} + b^{rr}.$$

其中

$$b^{rr} = \frac{1}{2\mu(\nu_1 + \gamma_2) - (\nu_2 + \gamma_1)^2} \times \begin{bmatrix} k_1(D_0 - c(\nu_1 + \gamma_2))(\nu_2 + \gamma_1) \\ k_2(D_0 \mu + c(\mu(\nu_1 + \gamma_2) - (\nu_2 + \gamma_1)^2)) \\ \gamma_1 \mu (D_0 - c(\nu_1 + \gamma_2)) \\ -\gamma_2 \mu (D_0 - c(\nu_1 + \gamma_2)) \end{bmatrix}.$$

由前文的计算过程易知

$$\begin{bmatrix} r_\xi(\infty) \\ r_p(\infty) \\ \lambda_1(\infty) \\ \lambda_2(\infty) \end{bmatrix} = -(A^{rr})^{-1} b^{rr}.$$

将 $r_\xi(\infty), r_p(\infty), \lambda_1(\infty), \lambda_2(\infty)$ 代入均衡解中即可得两种参考效应并存情形下的稳态解 $p^{rr}(\infty)$ 和 $\xi^{rr}(\infty)$.

由于特征值和相应的特征向量的计算较复杂,本文将使用控制变量的方法(即假设价格和质量的参考敏感系数、参考效应系数和参考效应的记忆参数皆相同)来探索相关变量的变动对结果的影响.

假设 $\Delta_\xi = \xi^{rr}(\infty) - \xi^{nn}, \Delta_p = p^{rr}(\infty) - p^{nn}$. 同时,对相关参数进行赋值,即: $D_0 = 10, \mu = 2, c = 5, \rho = 0.5, \nu_1 = \nu_2 = \nu, \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma, k_1 = k_2 = k$.

将 $p^{rr}(\infty), \xi^{rr}(\infty)$ 及已赋值的相关参数代入 Δ_ξ 和 Δ_p 中,可得

$$\begin{aligned} \Delta_\xi &= \frac{10\gamma(2 - \nu)(\gamma + \nu + 2\gamma k - 4)}{\omega}, \\ \Delta_p &= \frac{10\gamma(2 - \nu)(4\gamma k - 6\nu - 2\gamma + \gamma\nu + \nu^2 + 8)}{\nu\omega}. \end{aligned} \quad (30)$$

其中

$$\begin{aligned} \omega &= (\nu - 4)(8\gamma + 16\nu - 10\gamma\nu + 32k\nu + 4\gamma^2 k + \\ &\quad 2\gamma\nu^2 + \gamma^2\nu - 16k\nu^2 + 2k\nu^3 - 2\gamma^2 - \\ &\quad 8\nu^2 + \nu^3 - 8\gamma k\nu + 2\gamma k\nu^2). \end{aligned}$$

由于需要满足约束条件

$$\begin{cases} 4\nu - (\gamma + \nu)^2 > 0, \\ 2 - \nu > 0, \\ (2k + 1)(-\nu^2 + 2\nu + 4) - \gamma\nu > 0, \\ \nu, \gamma, k > 0, \end{cases} \quad (31)$$

通过计算可得 $\Delta_p < 0$, 而 Δ_ξ 的正负与 k 的取值有关. 为直观表述, 本文分别对 $\nu = 1$ 和 $\nu = 1.9$ 两种情形下 Δ_ξ 和 Δ_p 的图像进行绘制, 如图4和图5所示.

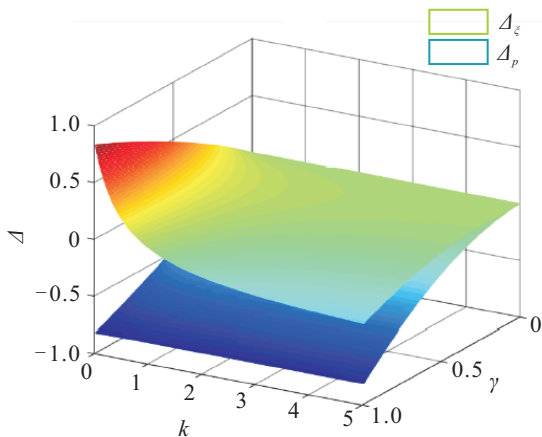


图4 当 $\nu = 1$ 且两种参考效应并存时均衡决策比较分析

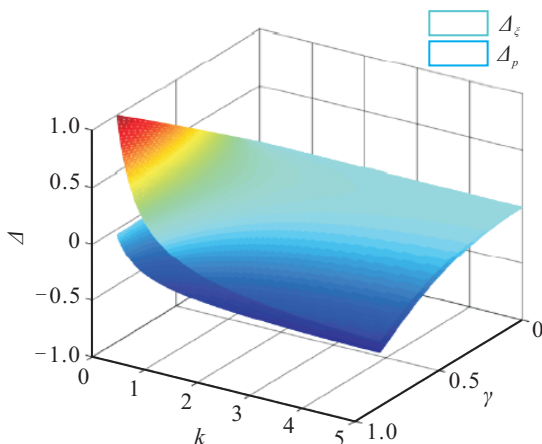


图5 当 $\nu = 1.9$ 且两种参考效应并存时均衡决策比较分析

推论4 若两种参考效应同时存在, 且需求对价格和减排水平敏感系数、相应参考效应影响系数和记忆参数相同, 并满足约束条件, 则 $p^{rr}(\infty) < p^{nn}$ 一定满足. 其中 $\xi^{rr}(\infty)$ 和 ξ^{nn} 的相对大小取决于记忆参数 k , 即 k 取较小值时, $\xi^{rr}(\infty) > \xi^{nn}$; k 取较大值时, $\xi^{rr}(\infty) < \xi^{nn}$.

推论4表明, 当两种参考效应的记忆参数和需求影响系数相同, 且满足约束条件时, 价格参考效应对稳态价格的抑制作用一定大于减排水平参考效应对稳态价格的提升作用, 即两种参考效应并存下的稳态价格低于无参考效应下的均衡价格, 而两种参考效应并存下的稳态减排水平与无参考效应下的均衡减排水平的相对大小还将取决于记忆参数 k , 即只有当记忆参数 k 较高时, 两种参考效应并存下的稳态减排水

平才会小于无参考效应下的均衡减排水平.

当前, 虽然消费者对产品的低碳水平越来越关注, 但消费者对产品价格的关切仍占据主导地位, 远超对产品低碳水平的关切, 即标准化情形下, 减排水平参考效应的记忆参数高于价格参考效应, 而减排水平参考效应的需求影响系数小于价格参考效应. 因此, 在当前实际运营中面对价格和减排水平参考效应并存的消费者时, 低碳企业制定的产品价格应当低于无参考效应均衡价格, 而对于消费者的记忆参数较高的产品, 企业的减排水平也将低于无参考效应的均衡减排水平. 这也启示政府, 为了降低产品的碳排放量水平, 除了提升消费者需求对低碳水平的敏感性之外, 弱化消费者的价格参考效应和强化消费者减排水平参考效应也是重要措施.

7 结论

本文考虑单个垄断制造商的情形, 假设其承担减排的任务, 并拥有制定零售价格的权力. 通过引入价格和减排水平两种参考效应, 分别对无参考效应、仅有价格参考效应、仅有减排水平参考效应3种情形下的定价和减排决策进行比较研究, 并探究了参考效应相关因素对均衡解、瞬时利润以及企业的定价和减排战略的影响. 最后, 以无参考效应情形为参照对价格、减排水平的变动进行了研究, 得到了以下主要结论:

- 1) 相比于无参考效应情形, 价格参考效应下的稳态价格和减排水平、稳态减排水平和价格的比值、稳态情形下需求对价格和减排水平的弹性等将降低;
 - 2) 相比于无参考效应情形, 减排水平参考效应下的稳态价格和减排水平、稳态减排水平和价格的比值、稳态情形下需求对价格和减排水平的弹性等将提升;
 - 3) 当价格参考点初始值较高时, 垄断制造商倾向于“撇脂”型定价, 反之则采用“渗透”型定价, 且减排水平参考点初始值对最优减排水平变化轨迹的影响与价格相同;
 - 4) 两种参考效应同时存在, 且参考效应影响系数、记忆参数、需求对价格和减排水平的敏感系数皆相同时, 价格参考效应对价格的抑制作用一定大于减排水平参考效应的提升作用, 而价格参考效应对减排水平的提升作用和减排水平参考效应对减排水平的提升作用的相对大小则取决于记忆参数的大小.
- 需要指出的是, 本文为简化计算只考虑了单一垄断制造商的情形, 而供应链的实际运营中多是两级乃至多个制造商、零售商的情形; 同时, 本文只考虑了对称的参考效应, 而未考虑不对称参考效应, 即损失规

避的情形.上述皆可以作为未来进一步研究的方向.

参考文献(References)

- [1] Winer R S. A Reference price model of brand choice for frequently purchased products[J]. *J of Consumer Research*, 1986, 13(2): 250-256.
- [2] Kalwani M U, Yim C K, Rinne H J, et al. A price expectations model of customer brand choice[J]. *J of Marketing Research*, 1990, 27(3): 251-262.
- [3] Hardie B G S, Johnson E J, Fader P S. Modeling loss aversion and reference dependence effects on brand choice[J]. *Marketing Science*, 1993, 12(4): 378-394.
- [4] Ko E, Hwang Y, Kim E. Green marketing' functions in building corporate image in the retailing setting[J]. *J of Business Research*, 2013, 66(1): 1709-1715.
- [5] Cachon G P. Retail store density and the cost of greenhouse gas emissions[J]. *Management Science*, 2014, 60(8): 1907-1925.
- [6] Du S, Ma F, Fu Z, et al. Game theoretic analysis for an emission-dependent supply chain in a "cap-and-trade" system[J]. *Annals of Operations Research*, 2015, 228(1): 135-149.
- [7] 马秋卓, 宋海清, 陈功玉. 碳配额交易体系下企业低碳产品定价及最优碳排放策略[J]. *管理工程学报*, 2014, 28(2): 127-136.
(Ma Q Z, Song H Q, Chen G Y. A study on low-carbon product pricing and carbon emission problems under the cap-and-trade system[J]. *J of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2014, 28(2): 127-136.)
- [8] 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]. *J of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2016, 30(1): 147-154.)
- [9] 徐春秋, 赵道致, 原白云, 等. 上下游联合减排与低碳宣传的差分博弈模型[J]. *管理科学学报*, 2016, 19(2): 53-65.
(Xu C Q, Zhao D Z, Yuan B Y, et al. 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.)
- [10] 赵道致, 原白云, 徐春秋. 低碳供应链纵向合作减排的动态优化[J]. *控制与决策*, 2014, 29(7): 1340-1344.
(Zhao D Z, Yuan B Y, Xu C Q. Dynamic optimization about vertical cooperative on carbon emission reduction in low-carbon chain[J]. *Control and Decision*, 2014, 29(7): 1340-1344.)
- [11] Genaro J Gutierrez, He X L. Life-cycle coordination issues in launching an innovative durable product[J]. *Production and Operations Management*, 2011, 20(2): 268-279.
- [12] Fouad El Ouardighi, Steffen Jørgensen, Federico Pasin. A dynamic game with monopolist manufacturer and price-competing duopolist retailer[J]. *OR Spectrum*, 2013, 35(4): 1059-1084.
- [13] Pietro De Giovanni. Environmental collaboration in a closed-loop supply chain with a reverse revenue sharing contract[J]. *Annals of Operations Research*, 2014, 22(1): 135-157.
- [14] Subrata Saha, Izabela Nielsen. Optimal retailer investments in green operations and preservation technology for deteriorating items[J]. *J of Cleaner Production*, 2016, 140: 1514-1527.
- [15] Liu Guowei, Seresh P Sethi, Zhang J X, et al. Myopic vs. far-sighted behaviours in a revenue-sharing supply chain with reference effect[J]. *Int J of Production Research*, 2016, 54(5): 1334-1357.
- [16] Ioana Popescu, Wu Yaozhong. Dynamic pricing strategies with reference effects[J]. *Operations Research*, 2007, 55(3): 413-429.
- [17] 皮德萍, 胡燕娟. 基于参考效应的闭环供应链契约协调机制[J]. *工业工程*, 2010, 13(2): 39-44.
(Pi D P, Hu Y J. Research on contract mechanism of closed-loop supply chain based on reference effects[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2010, 13(2): 39-44.)
- [18] Gadi Fibich, Arieh Gavious. Explicit solutions of optimization models and differential games with non-smooth reference—Price effects[J]. *Operations Research*, 2003, 51(5): 721-734.
- [19] Zhang J, Gou Q L. Supply chain coordination through cooperative advertising with reference price effect[J]. *Omega*, 2013, 41(2): 345-353.

(责任编辑: 孙艺红)