

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2019.01.017

碳标签政策对供应链减排决策行为的影响

柯丽芬¹, 张庭溢²

(1.福建工程学院 设计学院,福建 福州 350118;
2.福建工程学院 交通运输学院,福建 福州 350118)

摘要: 碳标签可以标识产品生命周期所产生的碳排放量,具有更低碳排放量的产品可增加消费者的支付意愿,从而促使供应链上下游企业产生减排意愿。基于供应链视角,采用博弈论方法对供应链的减排行为进行研究,结果表明上下游企业的减排贡献与技术减排能力成正比,即在碳排放标签政策的市场调节下,减排资源将向减排能力强的企业转移。同时,领导者企业将支持而跟随者企业可能抵制碳标签政策的实施,政府在碳排放政策制定中应对跟随者企业给予适当的倾斜。

关键词: 碳标签;碳排放;供应链;减排

中图分类号: F062.2;F224.3 文献标志码: A 文章编号: 1672-4348(2019)01-095-08

Impacts of carbon labeling policy on the supply chain's decision-making of carbon emission reduction

KE Lifen¹, ZHANG Tingyi²

(1. School of Design, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. School of Transportation, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: Carbon labels can identify the carbon emissions from the product life cycle. Products with lower carbon emissions can increase consumers' willingness to pay, thus prompting upstream and downstream companies in the supply chain to create a willingness to reduce emissions. Based on the perspective of supply chain, the game theory was used to study the emission reduction behavior of enterprises. Results show that the emission reduction contribution of upstream and downstream enterprises is proportional to the ability of the emission reduction technologies, that is, under the market regulation of carbon emission labelling policy, emission reduction resources will be transferred to enterprises with stronger emission reduction abilities. Leading enterprises will support the implementation of carbon labelling policies, while the following ones may resist it. Therefore, governments should give some priority to follower companies in their carbon policy formulation.

Keywords: carbon labels; carbon emissions; supply chain; carbon emission reduction

碳标签作为一种有效的碳排放政策已经为很多国家所接受并推广。碳标签是指在产品整个生命周期中,各个供应链节点所产生的碳排放总量在产品标签上用数字进行标示,以告知消费者该产品的总碳排放量^[1],利用此种标识可以引导消费者选择碳排放量更低的产品。随着德、美、英、日和韩国等强制要求在部分商品上加注碳标签标识,碳标签已经成为了部分国家商品进出口贸易的通行证。由于世界主流经济实体对碳标签的共识所形成的贸易门槛,一方面为了打破碳标签壁垒,另一方面也为了鼓励低碳经济的消费方式,国内很多学者已经开始致力于研究中国碳标签制度

的构建问题^[2]。我国政府也开始逐步着手建立碳标签的相关措施,《中国低碳产品认证管理办法》《低碳产品碳减排评价指标》《低碳产品认证技术规范》等管理办法已经颁布实施。

面对以上种种关于碳排放的规制政策,企业着手开展降低碳排放的一系列举措。在供应链竞争环境下,从供应链视角来研究上下游的整体碳排放越来越受到重视。调研数据表明,全球最大的两千多家企业温室气体排放量占总排放量的 20%,但是,与这些企业相关的供应链总的排放已大大超过这些企业自身的排放^[3]。想要降低整条供应链的碳排放总量,需要上下游企业共同努力^[4]。

关于低碳供应链的研究文献多关注于碳减排方面。在合作减排方面,赵道致等^[5]构建了以制造商为核心的二级供应链,分析上下游合作减排的动态优化问题,并给出了均衡策略;Luo 等^[6]研究了横向两个制造商在碳排放上限政策下的合作定价及减排策略;王芹鹏等^[7]则考虑了在零售商为核心的供应链中,上下游合作减排的协调问题。这部分文献主要从上下游合作的视角考虑了供应链减排的情况,但是对绿色投资减排对其产生影响未做深入考虑。在投资减排上,骆瑞玲等^[8]考虑供应链碳减排技术投资,从供应链协调的角度研究了减排问题;何华等^[9]分析了在不同碳排放政策下绿色投资减排的成品定价策略。这些文献则关注于投资对减排策略及产品定价的问题,对低碳标识产生的消费者偏好差异未做考虑,也未分析上下游的减排意愿。在消费者低碳偏好对企业减排决策的影响方面,聂佳佳等^[10]研究了消费者低碳偏好下制造商的产品选择,建立古诺模型分析政府补贴及生产策略对产量和利润的影响;Wang 等^[11]研究了消费者低碳需求偏好情形下,成本分享与批发价格溢价契约可以实现更好的减排目标;Du 等^[12]研究了碳排放上限规制政策下消费者低碳偏好对排放依赖性企业生产的决策影响。此外,申成然等^[13]考虑了在碳标签制度背景下,结合供应链上下游节点风险偏好研究了碳减排决策。

综上,现有文献主要体现在合作减排的供应链协同、减排投资以及消费者低碳偏好对企业减排决策的影响。结合碳标准政策实施对市场需求偏好以及绿色减排投资对供应链上下游减排意愿

的研究还比较少。基于此,文章研究实施碳标签政策下,结合单位产品碳排放量影响到消费者支付意愿下的消费者需求,建立制造商与分销商的二级供应链,用博弈论的理论方法及算例分析碳标签政策对供应链上下游企业减排意愿的影响及最优减排决策。

1 模型构建

1.1 模型说明与及相关假设

考虑由一个上游企业和一个下游企业组成的二级供应链,上游企业作为领导者。上游企业向下游企业提供产品的批发价格合同,上下游均以自身收益最大化为决策标准,两者之间存在转移支付。

1.1.1 需求函数设定

(1) 不存在碳标签政策的市场

不存在碳标签的市场,指产品没有贴上碳标签,消费者无法了解自己所购买产品的碳排放,购买时不考虑碳排放因素。此时由于消费者需求与单位产品的碳排放量无关,企业不存在减排激励,即不存在减排的外部 and 内部驱动力,所以企业不存在减排投资成本。考虑消费者面临的需求函数为基于价格敏感的线性函数:

$$q = Q - p \quad (1)$$

其中 Q 为不考虑单位产品碳排放影响需求时产品的潜在市场需求总量, q 为产品的实际需求量, p 为市场出清价格。

(2) 碳标签政策下的市场

碳标签政策下的市场,消费者通过碳标签可以看到自己所购买产品的碳环保程度。随着公众环保意识的提高,产品的碳排放程度对消费者的支付意愿将产生正向影响,消费者的消费意识对产品碳排放关注已成为企业决策不能忽略的因素。因此,我们假设产品的绿色程度与消费者的支付意愿呈正相关的关系,即某一产品的单位碳排放越低则消费者的支付意愿越大(与碳减排正相关)。

一般来说,碳标签上所涵盖的碳排放量包含了该产品或服务在整个生命周期(从原材料的获取、生产、运输与销售、使用及废弃后的处理)过程排放的温室气体总量。发达国家的碳排放主要存在于消费领域,而发展中国家则主要集中于产销环节。具体而言,发达国家里生产与消费的碳

排放量之比是3:7,而对于我国这样的发展中国家来说,情况却恰恰相反,我国的碳排放量主要来源于产销环节,制造业所产生的碳排放占全国碳排放总量的80%^[14]。故本文假设产品的碳标签不包含消费过程中产生的碳排放量,只考虑由上游企业和下游企业组成的供应链所产生的碳排放。本文中,用 U 表示上游企业, D 表示下游企业。假设上游企业单位产品的减排量为 a_U ,下游企业单位产品的减排量为 a_D ,则整条供应链的单位产品减排量为 $a_s = a_U + a_D$ 。

根据以上假设结合式(1),得到碳标签政策下需求函数:

$$q = Q + \varphi a_s - p, \bar{a} \geq a_s \geq 0 \quad (2)$$

其中 \bar{a} 表示由于受到技术限制所形成的单位产品减排上限, φ ($\varphi > 0$)为消费者对于产品低碳程度的敏感程度,表示产品单位减排所增加的客户需求。当 $a_s = 0$ 时,需求函数为: $q = Q - p$,即不存在碳排放标签政策的情形。

1.1.2 技术投资减排成本设定

当前降低单位碳排放的方式有很多,很多企业通过投资于碳减排设备、相关技术的研发和流程改进来实现碳减排。考虑到减排的技术瓶颈所造成的边际减排成本上升,投资成本 I 是单位产品减排量 a 的递增的凹函数(即 $\frac{\partial I}{\partial a} > 0, \frac{\partial^2 I}{\partial a^2} \leq 0$),假设 $I = \rho a^2$, ρ 代表一个公司的减排能力强弱,易见在相同的单位减排量情况下, ρ 越小则意味着投资减排所花费的成本越小, ρ 越小的企业减排能力越强。

1.2 不存在碳标签的供应链

当不存在碳标签政策时,上游企业向下游企业提供批发价格契约。上游企业向下游企业提供的批发价格为 w ,下游向上游采购批量为 q , c 表示上游企业生产单位产品的成本,双方均以自身收益最大化进行决策,两者之间存在转移支付。这是一个Stackberg博弈模型,上下游企业之间的博弈可表示为:

$$\text{Max } \pi_U(w) \rightarrow \text{Max } \pi_D(q)$$

则上下游企业的收益模型为:

$$\text{Max } \pi_D(q) = pq - wq = (Q - q)q - wq \quad (3)$$

$$\text{Max } \pi_U(w) = wq - cq \quad (4)$$

1.3 碳标签政策下的供应链

从整条供应链看,产品的碳排放是由供应链

上下游的合计碳排放来确定的,所以上下游企业均有减排的动力。对于下游企业,减排可以增加消费者的购买潜力,从而增加实际购买量,而上游企业减排通过消费者需求的增加,经过供应链传导,提升了下游企业的订单量。假设上游和下游企业均采用技术投资减排,那么上下游企业的投资减排成本分别为: $I_U = \rho_U a_U^2$; $I_D = \rho_D a_D^2$ 。

供应链中,上游企业向下游企业商提供批发价格契约,相互间合作驱动力和相互竞争驱动力是同时存在的。所以,上下游的纵向合作是一个二阶段博弈:

第一个阶段即技术减排投资阶段,上下游企业确定自身的单位产品减排量,企业在做出减排决策时以自身利润最大化作为决策标准。而在第二个阶段,即产销阶段,上游企业和下游企业之间的行动是非合作的,构成一个Stackelberg子博弈。在产销子博弈中,上游企业先给出产品的批发价格 w ,下游企业 D 在获悉批发价格后作出反应,确定产品生产规模 q ,因为第一、二阶段皆为独立决策,则企业两个阶段的决策目标都是以最大化自身利润为基础。很多企业在确定自身减排时,都是从自身的利润最大化出发,如百事可乐主要通过开发公司内部的能源软件分析系统、更换节能设备、热能和冷能回收利用系统和融糖热能的回收利用等项目来降低自身产品的碳排放强度,而其下游分销商则主要通过建立新配送中心、采用节能的运输方式等来降低碳排放。这样博弈模型可表示为:

$$\text{Max } \pi_U(a_U) \rightarrow \text{Max } \pi_U(w) \rightarrow \text{Max } \pi_D(q) \\ \text{Max } \pi_D(a_D)$$

下游企业利润模型为:

$$\text{Max } \pi_D(q, a_D) = (Q + \varphi a_s - q)q - wq - \rho_D a_D^2 \quad (5)$$

其中第一项为销售收入,第二项为采购成本,第三项为技术投资减排成本。

上游企业的利润模型为:

$$\text{Max } \pi_U(w, a_U) = wq - cq - \rho_U a_U^2 \quad (6)$$

其中第一项为销售收入,第二项为原料及生产成本,第三项为技术投资减排成本。

2 模型求解及分析

式(3)、式(4)通过逆向归纳法和最优化条件求解得产量、市场出清价格、上下游最优利润、供

应链利润和碳排放量如表 1 所示。

式(5)根据逆向归纳法及最优化条件,对任意 a_U, a_D 和 w , 下游的最优批量(即使下游利润 π_D 达到最大的 q 值)为:

$$q(a_U, a_D, w) = \frac{Q + \varphi a_S - w}{2} = \frac{Q + \varphi(a_U + a_D) - w}{2} \tag{7}$$

将上式代入上游的利润函数 π_U , 得:

$$\pi_U = w \left(\frac{Q + \varphi a_S - w}{2} \right) - c \left(\frac{Q + \varphi a_S - w}{2} \right) - \rho_U a_U^2$$

于是,可得在给定 a_U, a_D 下上游的最优批发价格为:

$$w(a_U, a_D) = \frac{Q + \varphi a_S + c}{2} = \frac{Q + \varphi(a_U + a_D) + c}{2}$$

以及生产批量:

$$q(a_U, a_D) = \frac{Q + \varphi a_S - c}{4} = \frac{Q + \varphi(a_U + a_D) - c}{4}$$

市场出清价格:

$$p(a_U, a_D) = Q + \varphi a_S - q = \frac{3Q + 3\varphi(a_U + a_D) + c}{4}$$

把 $q(a_U, a_D), w(a_U, a_D)$ 代入上游和下游企业的利润函数 π_U, π_D , 得下游企业的利润:

$$\begin{aligned} \text{Max} \pi_D(a_D) &= pq - wq - \rho_D a_D^2 = \\ \frac{(Q + \varphi a_S - c)^2}{16} - \rho_D a_D^2 &= \left(\frac{\varphi^2}{16} - \rho_D \right) a_D^2 + \end{aligned}$$

$$\frac{2\varphi(Q - c) + 2\varphi^2 a_U}{16} a_D + \frac{(Q - c)^2 + 2\varphi(Q - c) a_U + \varphi^2 a_U^2}{16}$$

当 $\frac{\varphi^2}{16} - \rho_D < 0$ 时,下游利润函数是关于 a_D 的凹函数,由利润最大化条件,

对 a_D 求导,得

$$\frac{\partial \pi_D}{\partial a_D} = \frac{\varphi(Q + \varphi a_S - c)}{8} - 2\rho_D a_D = 0 \tag{8}$$

此时,上游企业的利润函数:

$$\begin{aligned} \text{Max} \pi_U(a_U) &= wq - cq - \rho_U a_U^2 = \\ \frac{(Q + \varphi a_S - c)^2}{8} - \rho_U a_U^2 &= \\ \left(\frac{\varphi^2}{8} - \rho_U \right) a_U^2 + \frac{2\varphi(Q - c) + 2\varphi^2 a_U}{8} a_U + \\ \frac{(Q - c)^2 + 2\varphi(Q - c) a_D + \varphi^2 a_D^2}{8} \end{aligned}$$

当 $\frac{\varphi^2}{8} - \rho_U < 0$ 时,上游企业利润是关于 a_U 的凹函数,由利润最大化条件,

对 a_U 求导,有

$$\frac{\partial \pi_U}{\partial a_U} = \frac{\varphi(Q + \varphi a_S - c)}{4} - 2\rho_U a_U = 0 \tag{9}$$

命题 1: 碳标签下的供应链最优决策如表 1 所示。

表 1 碳标签政策实施前后供应链上下游产销和减排决策

Tab.1 Production, marketing and emission reduction decisions of supply chain before and after implementation of carbon labeling policy

参数值	碳标签政策实施前	碳标签政策实施后
a_U^*	0	$2\rho_D B$
a_D^*	0	$\rho_U B$
q^*	$\frac{Q - c}{4}$	$\frac{Q - c}{4} + \frac{\varphi(\rho_U B + 2\rho_D B)}{4}$
p^*	$\frac{3Q + c}{4}$	$\frac{3Q + c}{4} - \varphi \frac{3\rho_U B + 6\rho_D B}{4}$
π_D^*	$\frac{(Q - c)^2}{16}$	$\frac{(Q + \varphi \rho_U B + 2\varphi \rho_D B - c)^2}{16} - \rho_D \rho_U^2 B^2$
π_U^*	$\frac{(Q - c)^2}{8}$	$\frac{(Q + \varphi \rho_U B + 2\varphi \rho_D B - c)^2}{8} - 4\rho_U \rho_D^2 B^2$
π_S^*	$\frac{3(Q - c)^2}{16}$	$\frac{3(Q + \varphi \rho_U B + 2\varphi \rho_D B - c)^2}{16} - \rho_D \rho_U^2 B^2 - 4\rho_U \rho_D^2 B^2$

其中 $B = \frac{\varphi Q - \varphi c}{16 \rho_U \rho_D - 2 \rho_D \varphi^2 - \rho_U \varphi^2}^\circ$

证明:附录命题 1 证明。

由命题 1 可以得到如下结论:

与不存在碳排放标签相比,减排量的增加可以有效增加下游企业的采购量,提高上游的批发价格,降低产品的销售价格,从而提升消费者剩余。而是否提升上游和下游的利润水平,还受到技术投资减排成本的影响,文章后面将通过算例分析的方法进行分析。

经过进一步整理,得

$$\begin{cases} a_U^* = \frac{2(\varphi Q - \varphi c)}{16 \rho_U - 2 \varphi^2 - \frac{\rho_U}{\rho_D} \varphi^2} \\ a_D^* = \frac{\varphi Q - \varphi c}{16 \rho_D - 2 \varphi^2 - \frac{\rho_D}{\rho_U} \varphi^2} \end{cases}$$

易见, ρ_D 增大, a_U^* 变小; ρ_D 变小, a_U^* 变大。当上游企业单位减排能力不变,下游企业减排能力的减弱,会减弱上游降低单位减排量的意愿;反之,下游企业的减排能力的增强,会增加上游提升单位减排量的意愿。

同理, ρ_U 增大, a_D^* 变小; ρ_U 变小, a_D^* 变大。当下游企业单位减排能力不变,上游企业的减排能力的减弱,会减弱下游降低单位减排量的意愿;反之,上游企业的减排能力的增强,会增加下游提升单位减排量的意愿。

在供应链碳标签形成减排驱动下,上下游技术减排能力的提升是相互促进的。单位减排量的降低意味着整个国家的能源效率提升,竞争力增强。所以政府在推进低碳经济的进程中,应该重视能源效率的提升和清洁能源的使用。

令 γ 表示参与碳排放的实体企业对供应链上产品减排的贡献率,可以得到命题 2。

命题 2: 若 γ_U 和 γ_D 表示在独立减排中上游企业和下游企业的贡献率, $\gamma_U = \frac{a_U^*}{a_S^*} = \frac{2 \rho_D}{2 \rho_D + \rho_U}$,

$$\gamma_D = \frac{a_D^*}{a_S^*} = \frac{\rho_U}{2 \rho_D + \rho_U}^\circ$$

证明:附录命题 2 证明。

命题 2 说明,当 ρ_U 不变, ρ_D 越大, γ_U 越大,即上游企业贡献越大,意味着下游企业贡献越小, ρ_D 越大说明减排能力越差。当 ρ_D 不变, ρ_U 越大,

γ_D 越大,即下游企业贡献越大,意味着上游企业贡献变小。上下游的产品减排量企业所作的贡献与技术减排能力成正比,减排能力越弱,减排量越小,对利润的贡献也越小。所以,在供应链的竞合中,减排能力更高的企业将拥有更高的话语权。在分散决策下,碳标签下的环境规制,减排资源将向减排能力强的企业转移,从而实现资源的优化。

3 算例分析

为了进一步剖析具体的管理意义,下面通过算例分析的方法进行研究,参数参考了刘倩晨真实案例中的数据^[15],计算实验的参数值设置如下: $c = 2, \rho_D = 6, \rho_U = 4, \varphi = 2$,比较在碳排放标签政策实施前后供应链上下游企业、供应链整体利润的收益变化,如图 1、图 2 和图 3 所示。

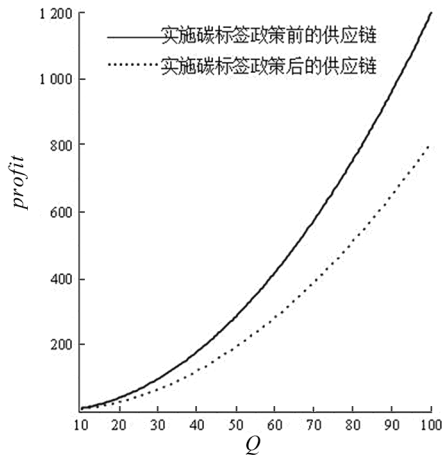


图 1 实施碳标签前后下游企业收益对比
Fig.1 Revenue contrast of downstream enterprises before and after implementing carbon labeling

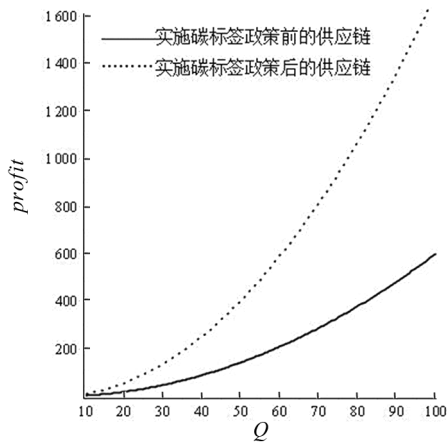


图 2 实施碳标签前后上游企业收益对比
Fig.2 Revenue contrast of upstream enterprises before and after implementing carbon labeling

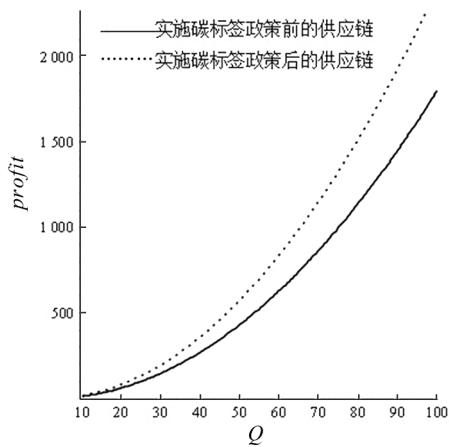


图 3 实施碳标签前后供应链整体利润对比

Fig.3 Revenue contrast of the supply chain before and after implementing carbon labeling

通过图 1、图 2 和图 3 可以得到以下 3 个结论：

结论 1：与不存在任何碳政策的供应链相比，存在碳标签时，供应链下游企业的利润均下降，即推行碳标签给作为跟随者的下游企业造成额外损失。

结论 2：与不存在任何碳政策的供应链相比，存在碳标签时，供应链上游企业的利润均上升，即推行碳标签给作为领导者的上游企业增加额外利润。

结论 3：与不存在任何碳政策的分散供应链相比，存在碳标签时，供应链总体利润增加。

以上结果表明在上游企业主导的供应链中，使用碳标签，对下游企业不利，对上游企业有利。所以，对于供应链中的追随者来说，必然选取抵制碳标签的策略来维护自身的利益。而对供应链中的领导者来说，必然选取推动碳标签政策的策略来维护自身利益。那么在研究供应链的协调问题中，就需要考虑在实施碳标签政策时对供应链上下游的利益所可能形成的损益情况，协调供应链

中的领导者对跟随者进行适当的补贴，如可以采用收益分享契约解决这个问题。另一方面，碳标签政策能为供应链带来额外收益，因为随着碳标签的建立，相对于原来没有碳标签概念时，属于产品的低碳概念被进一步发掘，客户的消费意愿增强，为供应链整体带来了额外利润。所以，企业不仅应该在上下游的产销博弈中加强合作以降低转移支付，而且在上下游的减排决策中应该坚持以整体利益最大化作为决策标准，实现帕累托改进。

4 结语

碳排放标签政策对于消费者的消费行为、企业的生产决策和碳排放减排决策都会产生直接的影响。碳标签可以对消费者消费行为进行引导，不仅可以使贴上碳标签的产品增加销售量，而且碳标签的碳排放高低标识可以促使供应链的上下游企业产生减排意愿。上游（下游）的减排能力的增强，会提高下游（上游）的减排意愿。同时，上下游的减排贡献与技术减排能力成反比，即在碳排放标签的市场调节下，市场具有将减排资源向减排能力强的企业转移的倾向，实现减排资源的合理优化。从供应链的整体绩效来看，碳标签可以为供应链整体以及处于领导地位的上游企业带来额外收益。然而，碳排放标签为下游企业带来了负收益，这意味着在分散供应链下，碳标签政策对处于领导地位的上游企业极为有利，而对跟随地位的下游企业不利，形成上游企业支持而下游企业可能抵制碳标签政策的状况。

政府作为规则制定者，一方面在实施推广碳标签政策时需要考虑到作为跟随者的下游企业对于碳标签政策的抵制，采取对应的措施，如补偿和激励政策等来保证碳标签政策的顺利施行；另一方政府应该加强消费者消费行为的引导和管制，促进其转向购买标识有碳排放标签的产品。

附录：

命题 1 证明：由(8)式、(9)式、联合解得碳排放投资均衡：

$$\frac{a_U}{a_D} = \frac{2\rho_D}{\rho_U}$$

由 $a_S = a_U + a_D = \frac{2\rho_D a_D}{\rho_U} + a_D$ 代入式 $\frac{\varphi(Q + \varphi a_S - c)}{8} - 2\rho_D a_D = 0$ 得：

$$\rho_U \varphi Q + \varphi^2 (2\rho_D a_D + \rho_U a_D) - \rho_U \varphi c - 16\rho_U \rho_D a_D = 0$$

分销商和制造的减排最优决策为:

$$\begin{cases} a_D^* = \frac{\rho_U \varphi Q - \rho_U \varphi c}{16 \rho_U \rho_D - 2 \rho_D \varphi^2 - \rho_U \varphi^2} \\ a_U^* = \frac{2 \rho_D \varphi Q - 2 \rho_D \varphi c}{16 \rho_U \rho_D - 2 \rho_D \varphi^2 - \rho_U \varphi^2} \end{cases}$$

批发价格和销售价格最优决策为:

$$\begin{cases} w^* = \frac{Q + \varphi(a_U + a_D) + c}{2} = \frac{Q + c}{2} + \varphi \frac{\rho_U \varphi Q - \rho_U \varphi c + 2 \rho_D \varphi Q - 2 \rho_D \varphi c}{2(16 \rho_U \rho_D - 2 \rho_D \varphi^2 - \rho_U \varphi^2)} \\ q^* = \frac{Q - c}{4} + \varphi \frac{\rho_U \varphi Q - \rho_U \varphi c + 2 \rho_D \varphi Q - 2 \rho_D \varphi c}{4(16 \rho_U \rho_D - 2 \rho_D \varphi^2 - \rho_U \varphi^2)} \end{cases}$$

令 $\frac{\varphi Q - \varphi c}{16 \rho_U \rho_D - 2 \rho_D \varphi^2 - \rho_U \varphi^2} = B$, 则:

$$\begin{cases} a_D^* = \rho_U B \\ a_U^* = 2 \rho_D B \\ a_S = \rho_U B + 2 \rho_D B \\ w^* = \frac{Q + \varphi(a_U + a_D) + c}{2} = \frac{Q + c}{2} + \varphi \frac{\rho_U B + 2 \rho_D B}{2} \\ q^* = \frac{Q - c}{4} + \varphi \frac{\rho_U B + 2 \rho_D B}{4} \\ p^* = \frac{3Q + c}{4} - \varphi \frac{3 \rho_U B + 6 \rho_D B}{4} \\ \pi_D^* = \frac{(Q + \varphi a_S - c)^2}{16} - \rho_D a_D^2 = \frac{(Q + \varphi \rho_U B + 2 \varphi \rho_D B - c)^2}{16} - \rho_D \rho_U^2 B^2 \\ \pi_U^* = \frac{(Q + \varphi a_S - c)^2}{8} - \rho_U a_U^2 = \frac{(Q + \varphi \rho_U B + \varphi^2 \rho_D B - c)^2}{8} - 4 \rho_U \rho_D^2 B^2 \end{cases}$$

证毕。

命题 2 证明: 根据命题 1 有, $\gamma_U = \frac{a_U^*}{a_S^*} = \frac{2 \rho_D}{2 \rho_D + \rho_U}$, $\gamma_D = \frac{a_D^*}{a_S^*} = \frac{\rho_U}{2 \rho_D + \rho_U}$, 证毕。

参考文献:

- [1] 胡莹菲, 王润, 余运俊. 中国建立碳标签体系的经验借鉴与展望[J]. 产业经济, 2010(3): 16-19.
- [2] 余运俊, 王润, 孙艳伟, 等. 建立中国碳标签体系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(5): 9-14.
- [3] Carbon Disclosure Project. Carbon disclosure project supply chain report 2011: migrating to a low carbon economy through leadership and collaboration[R]. London, 2011.
- [4] BENJAFFAR S, LI Y, DASKIN M. Carbon footprint and the management of supply chain: insights from simple models. Working Paper, University of Minnesota, 2011.
- [5] 赵道致, 原白云, 徐春明, 等. 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.
- [6] LUO Z, CHEN X, WANG X. The role of co-opetition in low carbon manufacturing[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 253(2): 392-403.
- [7] 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.
- [8] 骆瑞玲, 范体军, 夏海洋. 碳排放交易政策下供应链碳减排技术投资的博弈分析[J]. 中国管理科学, 2014, 22(11): 44-52.
- [9] 何华, 马常松, 吴忠和. 碳限额与交易政策下考虑绿色技术投入的定价策略研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(5):

74-84.

- [10] 聂佳佳, 李伟琛. 需求波动下政府补贴对低碳产品选择的影响[J]. 工业工程, 2018, 21(1): 22-29.
- [11] WANG Q, ZHAO D, HE L. Contracting emission reduction for supply chains considering market low-carbon preference [J]. Journal of Cleaner Production, 2016(120): 72-84.
- [12] DU S, HU L, SONG M. Production optimization considering environmental performance and preference in the cap-and-trade system[J]. Journal of Cleaner Production, 2016(112): 1600-1607.
- [13] 申成然, 刘小媛. 考虑风险规避与碳减排的双渠道供应链决策[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(1): 241-247
- [14] 李晓钟, 刘振宇. FDI 对我国制造业碳排放影响分析[J]. 对外经济贸易大学学报, 2013(1): 95-103.
- [15] 刘倩晨. 考虑碳排放的冷链物流研究[D]. 北京: 清华大学, 2010.

(责任编辑: 王圆圆)

《福建工程学院学报》征稿启事

《福建工程学院学报》是经中华人民共和国新闻出版总署批准、由福建省教育厅主管、福建工程学院主办的省级综合性学术期刊, 在国内外公开发行人; 坚持“创新性、科学性、实用性”的办刊方针, 追踪学科前沿研究成果, 展现区域文化特色; 现为双月刊, 每年 6 期(其中理工版 4 期, 社科版 2 期)。中国标准连续出版物号: CN 35-1267/Z; 国际标准连续出版物号: ISSN 1672-4348; 国外发行代号: BM4387。

本刊为中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊, 中国学术期刊综合评价数据来源期刊, 万方数据库全文收录期刊, 维普资讯《中文科技期刊数据库》全文收录期刊, 台湾华艺 CEPS 中文电子期刊服务数据库全文收录期刊。

一、投稿要求

来稿要求思想正确, 立论科学, 观点鲜明, 论证严密, 论据充分, 资料可靠, 引证恰当, 图表合理, 术语规范, 文字精炼, 具体格式和要求请看本刊网站的“投稿须知”(<http://gcxyxb.fjut.edu.cn/Corp/30.aspx>)。

二、投稿方式

1. 打开福建工程学院主页(<http://www.fjut.edu.cn/>)从“学报纵览”进入学报采编系统, 注册登录进行投稿;

2. 直接打开域名(<http://gcxyxb.fjut.edu.cn/>), 进入学报采编系统, 注册登录进行投稿。

三、投稿约定

1. 来稿须保证合法性和规范性, 坚决反对学术不端行为。

2. 作者可在线查询稿件处理情况, 3 个月内未接用稿通知可自行处理。本刊对所有来稿概不收取版面费、审稿费等费用。

3. 作者同意将该文稿的发表权、汇编权、纸型版、网络版及其他电子版的发行权、传播权和复制权交本刊独家使用, 并同意由编辑部统一纳入相关的信息服务系统。

四、本刊联系方式

地址: 福建省福州市大学新区学府南路 33 号(邮编: 350118)

电话: 0591-22863076