

文章编号: 1007-7588(2013)01-0125-07

基于碳税的政府与企业行为博弈模型研究

李 媛¹, 赵道致¹, 祝晓光²

(1. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072; 2. 河北省环境保护厅, 石家庄 050051)

摘 要: 在供应链低碳化过程中, 考虑到政府拟采取征收碳税的方式对制造企业碳排放进行规制, 构建了政府和企业的三阶段博弈模型。在模型中综合考虑了产品低碳度、消费者低碳偏好、碳税税率等因素, 使模型更加接近现实从而减少预测误差。第一阶段为政府制定单位碳排放的征收税率, 第二阶段为制造商确定最优减排率, 第三阶段为制造商确定产品价格。研究表明, 征收碳税对制造企业减排起到有效的激励作用, 将碳税税率制定在不同水平, 企业的减排效果发生很大的改变; 碳税对企业的产品价格影响较小, 伴随税率的变化价格波动较低。最后, 进行了模型的应用分析, 为低碳化供应链管理中政府及制造商的战略决策提供技术指导和数据支持。

关键词: 供应链低碳化; 碳税; 碳减排率; 低碳度; 博弈模型

1 引言

在《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》等日益严格的国际环保法规的制约及消费者低碳意识与日俱增的压力下, 制造商开始关注上游供应商的低碳绩效以及自身的二氧化碳排放, 实施低碳化供应链管理^[1]。为了顺应国内及国际环境, 企业进行低碳化供应链管理来提升核心竞争力^[2]。随着消费者的环保意识逐渐加强, 个人亦成为减少温室气体的驱动力, 为了保护生活环境, 防止大气温度进一步升高, 人类有责任采取行动遏制环境改变^[3]。福特汽车公司要求其全球 5000 多家零部件供应商必须获得环境管理系统的第三方认证, 雀巢(菲律宾)公司为供应商和分包商提供技术指导, 来帮助他们实现环境管理系统^[4]。同时, 惠普、德州仪器、可口可乐等公司已实施低碳化供应链管理实践并获得成效。

在我国, 政府面对来自国际的节能减排压力, 采取了相应措施, 其中征收碳税和许可碳排放权交易是较为常用的激励政策工具^[5]。目前世界上有许多国家都开始征收碳税, 如瑞典、荷兰、丹麦、芬兰、意大利等^[6]。我国政府根据国内的政治经济环境,

借鉴和参考国际上的碳税实施经验, 拟实施碳税征收政策。二氧化碳排放引起气候变暖实质上是外部不经济问题, 庇古(Pigou)提出了政府征税或者补贴的方法来解决^[7]。将碳排放的外部成本转化为企业内部的生产成本改变了企业的传统盈利函数, 从而改变了决策主体的行为决策。因此, 当政府征收碳税时, 对政府与企业的行为博弈研究是一个重要的问题。

国内外一些学者关于供应链中政府和企业间的博弈问题已进行了一些研究^[8]。王齐^[9]利用经济学原理解释了企业肆意排污的原因, 建立了排污管制的分析模型, 依据该模型对政府管制与企业排污进行了博弈分析, 提出了加强环境保护的建议。张保银等^[10]设计了在信息不对称的情况下, 政府对企业的激励和监督模型。Zhu 等^[11]初步建立了政府和供应链中核心企业的演化博弈模型, 拟在绿色供应链中探索一条政府和核心企业双赢的发展路径。Hoel^[12]讨论了碳税在不同部门是否应该相同的问题, 文章指出碳税在经济体的各部门中应一致, 信息及政治因素也制约了部门间碳税不一致的可能性。Mitra 等^[13]分析了制造商和再制造商的两阶段

收稿日期: 2012-08-14; 修订日期: 2012-09-27

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 71072155)。

作者简介: 李媛, 女, 河北石家庄人, 博士生, 主要从事供应链与物流管理研究。E-mail: yingxi_leer@sina.com

通讯作者: 赵道致, E-mail: dzzhao@tju.edu.cn

博弈模型,主要研究了政府补贴作为提升再制造行为的影响。Andrew^[14]在文章中强调了通过减少温室气体排放解决气候变化的一些方法并对市场失灵、政府失灵和外部性进行讨论,将欧盟排放交易体系作为市场及政府失灵的案例,主要关注碳价格及碳税的设计特性。Goulder等^[15]指出污染控制工具的选择对环保政策至关重要,结果表明低效率的工具也可能被用来替代成本有效的工具(如燃油税、碳税等)。Jaffe等^[16]认为与环境污染相关的市场失灵与与创新及新技术扩散相关的市场失灵相互作用,二者为公共政策促进降低排放提供依据,尽管环保技术政策困难重重,仍要从长远的角度来提供一个检验政策方法及系统评估其成功可能性的战略。

以往的文献研究了政府补贴对企业环保行为的影响,或从定性的角度分析碳税征收对企业战略的改变。本文在上述文献的基础上,将政府征收碳税、消费者低碳偏好和产品低碳度等因素引入进来,定量地分析政府和企业间的低碳实践行为博弈。

2 问题描述与模型建立

2.1 问题描述

在低碳环境下,由于消费者对低碳产品的潜在需求,为了提升企业的核心竞争力,制造商已经开始投入生产低碳产品。本文考虑双寡头市场,双寡头分别采用常规的生产方式和低碳的生产方式,制造商1生产普通产品,制造商2生产低碳产品,市场由容量为 N 的消费者构成。在企业生产过程中,由于化石燃料的燃烧会产生大量二氧化碳等温室气体,对全球气候变暖造成严重的危害,政府为了遏制企业的二氧化碳排放,以征收碳税作为制约机制。因此,政府干预和消费者偏好均为制约制造商生产的外部力量,其关系如图1所示。然而,企业节能减排所进行的技术投资会带来总成本的增加,因此制造商面对政府制约是否进行二氧化碳减排及减排达到何种规模将成为其决策的重点。

产品的二氧化碳排放量大小用低碳度这一指标来衡量,低碳度是指用来描述产品在全生命周期过程中温室气体排放水平的相对程度。用 θ 表示消费者希望购买到的产品低碳度。设普通产品的

低碳度为 $\underline{\theta}$,低碳产品的低碳度为 $\bar{\theta}$,令 θ 服从均匀分布,即 $\theta \sim [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 。

市场上的消费者由于其环保意识程度的不同而对产品购买倾向有所差异。有些消费者是价格驱动型的,他们只希望购买低价的产品,而对产品是否会污染环境并不关心;有些消费者是环保驱动型的,他们具有较高的环境意识,倾向于购买低碳产品,宁愿支付相对高额的价格。消费者对产品每提高一个单位的低碳度水平愿意支付的费用为 k 。

本文重点研究在政府征收碳税机制下,政府和企业间的博弈问题。通过逆向求解,分别讨论产品的定价策略,企业的减排率及政府碳税税率制定。

2.2 模型假设

为使模型简化,作出如下假设:

(1)市场为双寡头市场,制造商1生产普通产品,制造商2生产低碳产品,单位产品生产成本分别为 c_1 、 c_2 。制造商的生产能力足够大,即可以满足消费者需求。

(2)低碳产品可以替代市场上的普通产品,其具有共存性和互补性,消费者根据自身的偏好确定购买何种产品。设市场容量为 N ,消费者对产品偏好和购买机会均等。

(3)制造商2由于生产低碳产品,相应的要付出一定的研发成本 I 。根据已有文献的经典模型对研发成本函数的标准假设^[17](研发成果与研发投入成二次方关系),本文假设研发成本与制造商的减排率成二次关系,即 $I = \frac{1}{2}\beta\xi^2$ ($0 \leq \xi < 1$), β 为研发成本系数, ξ 为单位产品减排率。

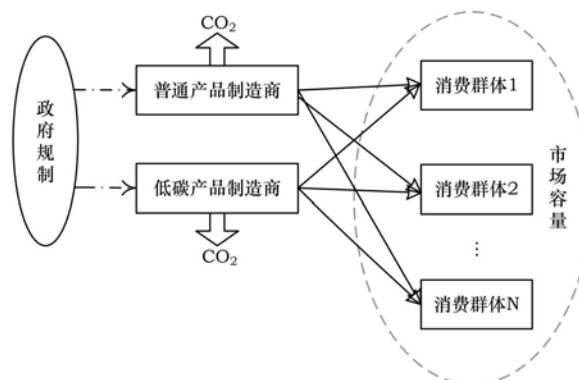


图1 市场结构关系

Fig.1 Market structure

2013年1月

(4) 制造商2采用低碳化供应链管理, 低碳度为 θ_2 , 提升低碳度的同时由于节约了原材料使得边际成本下降, 设成本降低率为 α , 则制造商2降低的成本为 $\alpha(\theta_2 - \underline{\theta})$ 。

(5) 设 θ 表示消费者希望购买到的产品的低碳度, 且 θ 在区间 $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 服从均匀分布。

(6) 设消费者对产品低碳度每增加一个单位愿意支付的费用为 k , 则当 $p_1 + k(\theta - \underline{\theta}) = p_2$ 时, 消费者购买普通产品和低碳产品是无差异的, 因此可以求得消费者的期望低碳度临界值为: $\theta^* = \frac{p_2 - p_1}{k} + \underline{\theta}$ 。

(7) 为了简化计算, 将市场容量 N 视为1, 则普通产品的市场需求量为 q_1 , 低碳产品的市场需求量为 $1 - q_1$ 。

(8) 普通产品的单位碳排放量为 e , 政府对单位二氧化碳排放征收碳税率 t (元/tCO₂)。

(9) 假设社会总福利 U_s 为消费者剩余 U_1 、 U_2 、制造商利润 π_1 、 π_2 及政府的税收所得之和。

2.3 模型建立

购买制造商1生产的产品的消费者剩余为:

$$U_1 = \int_{\underline{\theta}}^{\theta^*} \frac{k(\theta - \underline{\theta}) - p_1}{\theta - \underline{\theta}} d\theta = \frac{p_2^2 - 4p_1p_2 + 3p_1^2}{2k(\bar{\theta} - \underline{\theta})} \quad (1)$$

购买制造商2生产的产品的消费者剩余为:

$$U_2 = \int_{\theta^*}^{\bar{\theta}} \frac{k(\theta - \underline{\theta}) - p_2}{\theta - \underline{\theta}} d\theta = \frac{k(\bar{\theta} - \underline{\theta})}{2} - p_2 + \frac{p_2^2 - p_1^2}{2k(\bar{\theta} - \underline{\theta})} \quad (2)$$

市场对低碳产品的需求量为 q_2 , 则对普通产品的需求量为 $1 - q_2$, 需求函数可表示为:

$$q_2 = 1 \times \int_{\theta^*}^{\bar{\theta}} \frac{1}{\theta - \underline{\theta}} d\theta = 1 - \frac{p_2 - p_1}{k(\bar{\theta} - \underline{\theta})} \quad (3)$$

$$q_1 = 1 - q_2 = \frac{p_2 - p_1}{k(\bar{\theta} - \underline{\theta})} \quad (4)$$

生产普通产品制造商1的利润函数为:

$$\pi_1 = (p_1 - c_1)q_1 - eq_1t \quad (5)$$

生产低碳产品制造商2的利润函数为:

$$\pi_2 = [p_2 - c_2 + \alpha(\theta_2 - \underline{\theta})]q_2 - \frac{1}{2}\beta\xi^2 - e(1 - \xi)q_2t \quad (6)$$

社会总福利为消费者总剩余、寡头制造商的利润及政府的税收之和, 其函数为:

$$U_s = U_1 + U_2 + \pi_1 + \pi_2 + eq_1t + e(1 - \xi)q_2t \quad (7)$$

3 模型求解

3.1 制造商确定产品的最优价格

在非合作博弈下, 制造商会把个人利润最大化作为定价的出发点。制造商1的博弈模型为:

$$\max_{p_1} \pi_1 = (p_1 - c_1)q_1 - eq_1t \quad (8)$$

制造商2的博弈模型为:

$$\max_{p_2} \pi_2 = [p_2 - c_2 + \alpha(\theta_2 - \underline{\theta})]q_2 - \frac{1}{2}\beta\xi^2 - e(1 - \xi)q_2t \quad (9)$$

公式(8)和公式(9)分别对 p_1 和 p_2 求导, 并联合求解, 得:

$$p_1 = \frac{p_2 + c_1 + et}{2} \quad (10)$$

$$p_2 = \frac{k(\bar{\theta} - \underline{\theta}) + p_1 + c_2 - \alpha(\theta_2 - \underline{\theta}) + e(1 - \xi)t}{2} \quad (11)$$

$$\begin{cases} p_1^* = \frac{1}{3}[k(\bar{\theta} - \underline{\theta}) + 2c_1 + c_2 - \alpha(\theta_2 - \underline{\theta}) + (3 - \xi)et] \\ p_2^* = \frac{1}{3}[2k(\bar{\theta} - \underline{\theta}) + c_1 + 2c_2 - 2\alpha(\theta_2 - \underline{\theta}) + (3 - 2\xi)et] \end{cases} \quad (12)$$

结论1: 由公式(11)得出, 在实际的制造决策中, 为了满足客户对低碳产品的需求, 有些制造商进行低碳化供应链管理战略, 它们比较注重采用经济环保并能有效减少碳足迹的措施, 产品的成本降低率 α 升高, 边际生产成本降低, 从而导致普通产品和低碳产品的价格差异增大。最终, 制造商1专注生产普通产品, 靠廉价赢得客户; 制造商2靠较高的低碳度水平来赢得客户。伴随着政府征税的政策实施, 并且拟逐年增加税率, 使得普通产品的价格大幅上升, 最终被市场淘汰。那么, 制造商1为了企业的生存便会加入到低碳化管理的进程中来, 从而政府的征税措施达到了激励企业减排的目的。

结论2: 由公式(12)得出, 消费者对单位低碳满意度提升愿意支付的费用 k 越大, 普通产品和低碳产品的价格均增加, 且对低碳产品价格影响的效用更大。

结论3: 政府制定的碳税税率越大, 普通产品和低碳产品的价格均增加。

证明: 由公式(12)对税率 t 求一阶导可得:

$$\frac{\partial p_1^*}{\partial t} = \frac{1}{3}(3 - \xi)e > 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial p_2^*}{\partial t} = \frac{1}{3}(3 - 2\xi)e > 0 \quad (14)$$

公式(13)和公式(14)大于零说明随着碳税税率的增加,产品的价格均增大。因此政府在碳税税率的制定上应尽可能合理,不宜过大,税率过大使得消费者承受物价上涨的压力,税率过小使得起不到激励制造商生产低碳产品的驱动力。证毕。

将公式(12)带入需求函数公式(3)和公式(4),
解得 q_1 和 q_2 为:

$$q_1^* = \frac{p_2^* - p_1^*}{k(\bar{\theta} - \theta)} = \frac{1}{3k(\bar{\theta} - \theta)} \quad (15)$$

$$q_2^* = 1 - \frac{p_2^* - p_1^*}{k(\bar{\theta} - \underline{\theta})} = \frac{1}{3k(\bar{\theta} - \underline{\theta})} \quad (16)$$

结论4:由公式(15)和公式(16)可得,普通产品的需求量随着低碳制造商的成本降低率增大而减少;低碳产品需求量随成本降低率增大而增大。

证明: 公式(15)和公式(16)对 α 求一阶导数:

$$\frac{\partial q_1^*}{\partial \alpha} = -\frac{1}{3k(\bar{\theta} - \underline{\theta})}(\theta_2 - \underline{\theta}) < 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha} = \frac{1}{3k(\bar{\theta} - \theta)}(\theta_2 - \underline{\theta}) > 0 \quad (18)$$

低碳产品制造商的成本降低率会引起两个制造商市场占有率的变化,随着成本降低率的升高,低碳产品所占的份额逐渐增大,而普通产品的市场份额则相应降低。同时,由于减排率的提升,也会引起低碳产品市场份额的增加。证毕。

将最优产量和最优价格带入到制造商的利润函数,可以得到寡头制造商利润如下:

$$\pi_1^* = (p_1^* - c_1)q_1^* - eq_1^*t \quad (19)$$

$$\pi_2^* = [p_2^* - c_2 + \alpha(\theta_2 - \underline{\theta})]q_2^* - \frac{1}{\gamma}\beta\xi^2 - e(1 - \xi)q_2^*t \quad (20)$$

最终,可得社会总福利为:

$$U^* = U_1^* + U_2^* + \pi_1^* + \pi_2^* + eq_1^* t + e(1 - \xi)q_2^* t \quad (21)$$

3.2 低碳产品制造商确定最优二氧化碳减排率

公式(20)对减排率 ξ 求一阶条件,令一阶条件为零,即得制造商2的最优减排率:

$$\xi^* = \frac{2et[2k(\bar{\theta} - \underline{\theta}) + c_1 - c_2 + \alpha(\theta_2 - \underline{\theta})]}{9k(\bar{\theta} - \underline{\theta})\beta - 2e^2t^2} \quad (22)$$

3.3 政府确定最优碳税税率

最大化社会总福利,并对碳税税率 t 求一阶导数,可得 t 满足:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_s^*}{\partial t} &= \frac{\partial U_1^*}{\partial t} + \frac{\partial U_2^*}{\partial t} + \frac{\partial \pi_1^*}{\partial t} + \frac{\partial \pi_2^*}{\partial t} + \frac{\partial (eq_1^* t)}{\partial t} \\ &+ \frac{\partial [e(1-\xi)q_2^* t]}{\partial t} = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

求解公式(23)可得政府制定的最优税率。由于式子的复杂性,将在下节给出模型的应用分析。

4 模型应用

由于实际的企业数据难以获得及所得公式的复杂性,采用 Matlab7.8.0(R2009a)对该模型进行数值分析。探讨政府征收碳税税率 t 和消费者低碳度支付系数 k 的变化对不同产品的产品定价、低碳制造商减排率及双寡头制造商利润的影响,以期为政府和企业的行为决策提供参考依据。

4.1 碳税税率 t 变化的影响分析

假设普通产品的生产成本 $c_1=5$ 元,低碳产品的生产成本 $c_2=7$ 元,研发成本系数 $\beta=1$ 元,产品的低碳度区间 $\underline{\theta}=1$, $\bar{\theta}=7$,低碳产品的低碳度 $\theta_2=5$,成本降低率 $\alpha=0.05$ 元,单位产品二氧化碳排放量 $e=0.01$ 元 tCO₂,消费者低碳度支付系数 $k=2$ 元。通过模型求解,可得碳税税率对其它变量的影响,如表 1 所示。可以看出,随着碳税税率的增加,制造商的减排率显著提高,产品定价变动较小,如图 2 所示。价格的微小变化表明征税主要影响制造商的行为,消费者承担了较小的由税收引起的价格波动,这样市场才会平稳的发展。为了清晰的看出税率变化对碳减排及社会福利的影响,图 3 给出了敏感性分析。当税率变化 50% 时,碳减排率增加了 50.12%,社会总福利降低了 0.02%,这说明税率的变动对制造商的减排率制定产生较大影响,而且减排率变化幅度要大于税率的变化幅度,因此可得征税可以有效激励制造商减少二氧化碳排放。

4.2 消费者低碳度支付系数 k 变化的影响分析

假设政府征收的碳税税率 $t = 25$ 元/tCO₂, 其它参数赋值同上述。令消费者低碳度支付系数由 1 元到 5 元, 以步长 0.5 变动, 通过计算求解消费者低碳偏好对其它变量的影响, 如表 2 所示。

由图4可以看出消费者对低碳度提升愿意支付

注:;;;;元。

2013年1月

的费用 k 对制造商的产品定价有较大影响,并且对低碳产品的影响大于对普通产品的影响。消费者对低碳产品的偏好对减排率的影响较小,当支付系数 k 由 1 增加到 5 即变化了 400% 时,减排率由 9.47% 增加到 10.78%,其变化率为 13.83%,如图 5 所示。曲线斜率递减表示消费者的低碳偏好对制造商的减排激励呈减小趋势。因此说明消费者对低

碳产品的偏好使低碳产品制造商可以在保持原有减排率的基础上,提升产品价格从而获得较高利润。随支付系数 k 的增加,低碳产品的市场占有率增加,普通产品的市场占有率则相应减少。因此,当消费者的低碳环保意识提高后,普通产品会逐渐减少,最终退出市场或为了生存采取减排措施生产低碳产品。

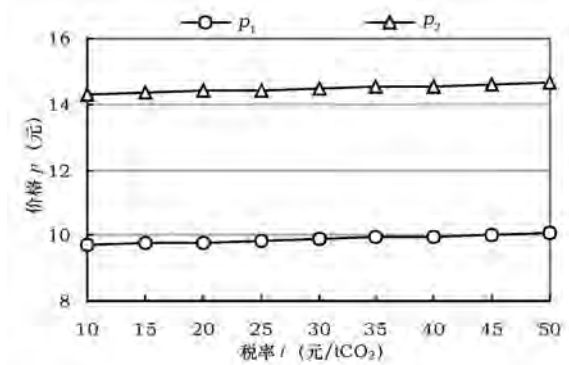


图2 税率对产品价格的影响

Fig.2 Effects of carbon tax on products' price

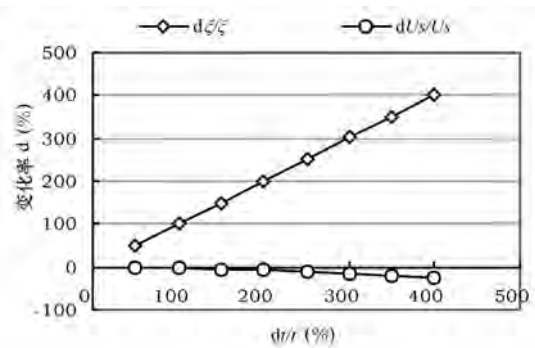


图3 敏感性分析

Fig.3 Sensitivity analysis

表1 对碳税税率 t 的数值分析Table 1 Numerical analysis of the carbon tax rate t

t (元/tCO ₂)	ξ (%)	p_1 (元)	p_2 (元)	q_1	q_2	U_s (元)	π_1 (元)	π_2 (元)	p_1/p_2	q_1/q_2	π_1/π_2
10	4.11	9.6986	14.2970	0.3832	0.6168	-0.1111	1.7623	4.5643	0.6783	0.6212	0.3861
15	6.17	9.7469	14.3440	0.3831	0.6169	-0.1124	1.7610	4.5652	0.6795	0.6210	0.3857
20	8.23	9.7945	14.3890	0.3829	0.6170	-0.1142	1.7591	4.5667	0.6807	0.6206	0.3852
25	10.29	9.8414	14.4330	0.3826	0.6174	-0.1166	1.7568	4.5686	0.6818	0.6197	0.3845
30	12.35	9.8876	14.4750	0.3823	0.6177	-0.1195	1.7539	4.5710	0.6830	0.6189	0.3837
35	14.42	9.9332	14.5160	0.3819	0.6181	-0.1229	1.7505	4.5737	0.6843	0.6179	0.3827
40	16.49	9.9780	14.5560	0.3815	0.6185	-0.1269	1.7465	4.5769	0.6855	0.6168	0.3816
45	18.57	10.0220	14.5940	0.3810	0.6190	-0.1314	1.7420	4.5805	0.6867	0.6155	0.3803
50	20.65	10.0660	14.6310	0.3805	0.6195	-0.1365	1.7370	4.5846	0.6880	0.6142	0.3792

表2 对消费者低碳度支付系数 k 数值分析Table 2 Numerical analysis of consumers' low-carbon degree payment coefficient k

k (元)	ξ (%)	p_1 (元)	p_2 (元)	q_1	q_2	U_s (元)	π_1 (元)	π_2 (元)	p_1/p_2	q_1/q_2	π_1/π_2
1	9.47	7.8421	10.4340	0.4320	0.5680	-3.0268	1.1198	1.9311	0.7516	0.7606	0.5799
1.5	10.02	8.8417	12.4330	0.3991	0.6009	-1.5867	1.4333	3.2450	0.7111	0.6642	0.4417
2	10.29	9.8414	14.4330	0.3826	0.6174	-0.1166	1.7568	4.5686	0.6819	0.6197	0.3845
2.5	10.45	10.8410	16.4330	0.3728	0.6273	1.3655	2.0842	5.8961	0.6597	0.5943	0.3545
3	10.56	11.8410	18.4750	0.3662	0.6338	2.8535	2.4135	7.2256	0.6409	0.5778	0.3340
3.5	10.64	12.8410	20.4320	0.3615	0.6385	4.3450	2.7441	8.5561	0.6285	0.5662	0.3207
4	10.70	13.8410	22.4320	0.3580	0.6420	5.8386	3.0753	9.8874	0.6170	0.5576	0.3110
4.5	10.75	14.8410	24.4320	0.3552	0.6448	7.3336	3.4070	11.2190	0.6074	0.5509	0.3037
5	10.78	15.8410	26.4320	0.3530	0.6470	8.8296	3.7390	12.5510	0.5993	0.5456	0.2979

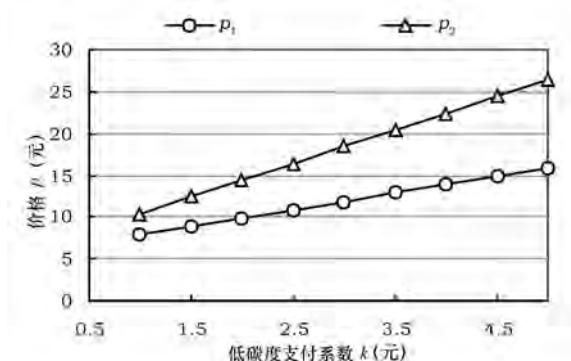


图4 消费者低碳偏好对产品价格的影响

Fig.4 Effects of consumer low-carbon preference on products' prices

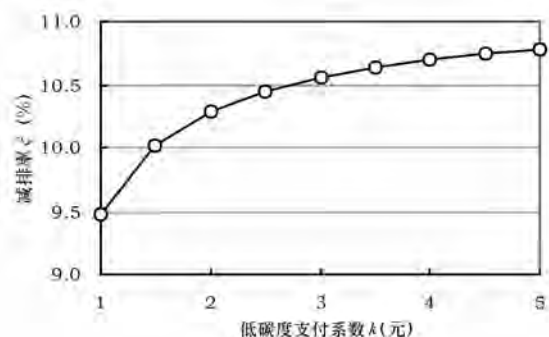


图5 消费者低碳偏好对减排率的影响

Fig.5 Effects of consumer low-carbon preference on emission reduction rate

5 结论与讨论

本文综合考虑了政府征收碳税、消费者低碳偏好、产品低碳度、不同产品竞争等因素,构建了三阶段博弈模型,应用模型进行实证分析并验证了模型的可靠性。

文中给出的结论具有一定的理论依据和现实意义。在当前全球低碳化迅速发展的背景下,我国签署了《京都议定书》并承诺到2020年中国单位GDP二氧化碳排放将比2005年下降40%~45%,为实现该承诺,要求制造企业达到一定的减排水平,因此政府应考虑如何制定税率才能够激励企业进行碳减排。通过实证分析可知税率的变动对价格的变化影响不大,这充分解释了现实生活中产品的价格保持基本稳定的现象。通过不同税率水平的设定,制造企业的减排率变化显著,因此征收碳税可以有效激励制造商进行碳减排,最终实现社会、环境以及经济的和谐与可持续发展。

该模型适用于以制造业为主导产业的国家,如德国、日本、韩国、印度等。我国现在已提升为世界头号制造业国家,制造企业由于结构不合理、生产效率低及能源利用率低等因素成为二氧化碳排放的主要来源,因此政府有针对性的对制造企业征收碳税是控制碳排放总量的重要手段之一。

今后,可以在如下方面做进一步研究。首先,假设产品低碳度服从均匀分布,而实际中其分布可能并不满足这样的限定;其次,政府在采取规制政策时,可以双管齐下,选用总量限制交易和征收碳税同时使用的模式,因此可将总量限制交易考虑到

模型中;最后,本模型假设博弈主体具有完全信息,可在不完全信息下进行改进。

参考文献(References):

- [1] Vachon S, Klassen R D. Environmental management and manufacturing performance: the role of collaboration in the supply chain[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 111(2): 299-315.
- [2] Yang H J, Zhang J. The strategy of advancing the cooperation satisfaction among enterprises based on low carbon supply chain [J]. *Energy Procedia*, 2011, 5: 1125-1229.
- [3] Goodall C. How to Live A Low-Carbon Life: The Individual's Guide to Stopping Climate Change[M]. UK: Earthscan, 2007.
- [4] Rao P. Greening the supply chain: a new initiatives in South East Asia[J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2002, 22(6): 632-655.
- [5] European Environmental Agency (EEA). Environmental Taxes Implementation and Environmental Effectiveness[M]. Copenhagen: EEA, 1996.
- [6] 高鹏飞, 陈文颖. 碳税与碳排放[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2002, 42(10): 1335-1338.
- [7] Pigou A C. The Economics of Welfare[M]. London: Macmillan, 1952.
- [8] Mahesh Nagarajan, Greys Sošić. Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: review and extensions[J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 187(3): 719-745.
- [9] 王齐. 政府管制与企业排污的博弈分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2004 14(3): 119-122.
- [10] 张保银, 汪波, 吴煜. 基于循环经济模式的政府与监督问题[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(1): 136-141.

- [11] Zhu Qing-hua, Dou Yi-jie. Evolutionary game model and core enterprises in greening supply chains[J]. *System Engineering-Theory & Practice*, 2007, 27(12): 85-89.
- [12] Hoel M. Should a carbon tax be differentiated across sectors?[J]. *Journal of Public Economics*, 1996, 59(1): 17-32.
- [13] Mitra S, Webster S. Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 111(2): 287-298.
- [14] Andrew B. Market failure, government failure and externalities in climate change mitigation: the case for a carbon tax[J]. *Public Administration and Development*, 2008, 28(5): 393-401.
- [15] Goulder L H, Parry Ian W H. Instrument choice in environmental policy[J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2008, 2(2): 152-274.
- [16] Jaffe A B, Newell R G, Stavins R N. A tale of two market failures: technology and environmental policy[J]. *Ecological Economics*, 2005, 54(2-3): 164-174.
- [17] D'Aspremont C, Jacquemin A. Cooperative and nocooperative R&D in duopoly with spillovers[J]. *The American Economic Review*, 1988, 78(5): 1133-1137.

A Game Model for Government and Enterprise Behaviour Based on a Carbon Tax

LI Yuan¹, ZHAO Daozhi¹, ZHU Xiaoguang²

(1. College of Management & Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Environmental Protection Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: In the process of supply chain low-carbonization, a three-stage game model is constructed between the government and enterprises by considering the carbon tax as one regulation mode. This model integrates factors such as low-carbon production, consumer low-carbon preferences and carbon rates. In the first stage, the government determines the carbon tax rate; in the second stage, manufacturers determine optimal emission reduction rates; and in the third stage, manufacturers determine prices of their own products. Our research shows that levying carbon tax plays an effective role in driving enterprises to reduce carbon emissions. In the proposed implementation phase, the government sets the carbon rate at 10 CNY/tCO₂ and then increases it gradually over time to reach 50 CNY/tCO₂. The rate of emission reduction will change from 4.11% to 20.65%. Under different carbon rates the performance of enterprises is changes. The higher the carbon tax, the faster the rate of emission reduction, but it has less impact on product pricing and general producers. Under the rapid development of a low-carbon economy, the Chinese government has signed the Kyoto Protocol and committed that Chinese unit GDP carbon dioxide emissions in 2020 will be reduced by 40%~50% of 2005 levels. In order to realize this goal, the proper carbon tax should be chosen by forecasting models. We also present an application analysis to test the effects of variation in different factors so as to provide technical guidance and data support for low-carbonization supply chain management.

Key words: Supply chain low-carbonization; Carbon tax; Rate of carbon emission reduction; Low carbon degree; Game model