

碳交易政策下制造商双模式生产决策问题研究

柯春媛¹, 夏 芃², 张国兴²

(1. 茂名职业技术学院 经济管理系, 广东 茂名 525000; 2. 兰州大学 管理学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要:文章基于碳交易政策构建了垄断制造商同时采用普通和清洁两种技术生产同质产品的利润模型。研究结果表明,在低碳-普通双技术模式生产策略下,存在一个碳交易成本临界曲线可以反映企业的碳交易决策行为;此外,研究发现政府提高碳限额并不能有效促进企业减排,反而会增加总碳排放量;当企业只采用清洁技术和只采用普通技术的单技术模式下,碳交易价格的改变不仅会改变企业在碳交易市场上取得的利润,而且对产品市场具有溢出效应;而在双技术模式下,碳交易价格对利润的影响仅取决于碳交易量的高低,最后文章对研究结果的有效性进行了算例验证。

关键词:碳交易;供应链;技术选择;生产决策

中图分类号:F273;F062.2

文献标志码:A

文章编号:1007-5097(2019)06-0177-08

Research on Manufacturer's Dual-mode Production Decision under Carbon Trade Policy

KE Chun-yuan¹, XIA Peng², ZHANG Guo-xing²

(1. Department of Economic Management, Maoming Vocational and Technical College, Maoming 525000, China;

2. School of Management, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the carbon trading policy, this paper constructs a profit model for monopoly manufacturers to produce homogeneous products using both common and clean technologies. The results show that there is a critical curve of carbon transaction cost under the production strategy of low-carbon-common dual-technology mode, which can reflect the decision-making behavior of enterprises in carbon trading. The current government's increase of carbon quota can not effectively promote enterprise emission reduction, but will increase total carbon emissions; when enterprises only adopt clean technology and only adopt common technology, the change of carbon trading price will not only change the profits of enterprises in the carbon trading market, but also have spillover effect on the product market; while in the dual-technology model, the carbon trading price has a profit-making effect. The impact depends only on the volume of carbon trading. Finally, an example is given to verify the validity of the research results.

Keywords: carbon trading; supply chain; technology choice; production decision

一、引言

随着工业经济的不断深入发展,生产制造过程中产生的碳排放量和污染物排放也在日益增加,这给人类赖以生存的社会环境带来了沉重负担,也引起了全球各国的共同关注^[1]。因此各国政府都正在积极采取政策措施,降低碳排放量以期延缓全球变暖趋势的加剧,继欧盟在2005年建立了EU-ETS碳排放交易体系之后^[2],我国在十三五规划的碳减排纲要中指出在七个区域建立碳交易试点^[3]。碳交易政策的实施,不仅推动了经济的发展,而且促进了能源消费结构升级与改革。以深圳为例,其首批纳入碳交易市场的600多家工业企业在进入碳交易市场之

后,企业使用清洁能源和清洁生产技术的比重有所增加^[4]。由此可见,碳交易机制能够促进企业清洁生产。那么对于企业而言,如何在受碳交易政策的影响下合理选择与安排生产技术和产量才能获取竞争优势成为需要关注的问题之一^[5]。

关于低碳政策下企业的运营管理问题,已经有许多学者进行了大量的研究。一些学者分析了碳税、碳交易等政策对企业运营管理的影响,如Song^[6]分析了碳交易政策、碳排放限额管制政策与税政策这三种政策对企业最优生产量的影响。张盼和熊中楷^[7]通过构建政府与生产商的stackelberg博弈模型,分析了碳税和碳交易两种政策下生产商的总碳排放

收稿日期:2018-12-15

基金项目:国家自然科学基金项目(71874074)

作者简介:柯春媛(1981-),女,广东茂名人,副教授,硕士,研究方向:供应链管理;

夏 芃(1994-),女,河南信阳人,硕士研究生,通讯作者,研究方向:供应链管理;

张国兴(1979-),男,内蒙古商都人,教授,博士生导师,博士,研究方向:绿色供应链,节能减排。

量、环保创新水平以及社会福利水平。而 Zhao 等^[8]通过构建非线性互补模型研究了三种不同的分配制度(碳配额拍卖、免费发放固定配额、按企业现有产出、投资等因素进行配额分配)对经济效益以及消费者成本的影响。还有一些学者着重关注企业的生产决策问题, Cohen 等^[9]基于报童模型研究了需求不确定时,政府给消费者提供低碳产品补贴情形下的制造商产品定价决策。He 等^[10]研究了有定价权的制造商在碳交易制度下碳排放量和最优生产决策,并基于制造商决策的政府设定碳排放限额问题。廖诺^[3]利用系统动力学仿真建模分析了在碳交易政策影响下二级电煤供应链上生产、运输和消费环节所产生的碳排放的比例,并分析了碳交易价格以及碳配额对供应链各节点企业利润以及碳排放量的影响。杨磊等^[11]则关注了低碳政策下双渠道供应链问题,研究了由单个制造商和零售商构成的四种双渠道结构下企业的定价以及减排决策。很少有学者关注低碳政策下企业在生产决策中的技术选择问题。程永伟和穆东^[12]构建了在碳交易政策影响下车企同时生产新能源汽车以及传统燃油汽车的联合生产决策模型,分析了碳交易价格对企业生产决策的影响。Aflaki 和 Netessine^[13]建立了可再生能源技术(如风能)和天然气技术之间的投资权衡模型,研究表明对碳排放收取更多的费用可能会阻碍可再生能源技术的投资。该研究侧重分析低碳技术与非低碳技术的投资决策,没有考虑企业的生产决策问题。Gong 和 Zhou^[14]研究虽然探讨了在碳交易政策下以制造商总成本最低为目标的企业绿色技术和常规技术选择问题,但是没有考虑产品市场因素。基于以上文献梳理,可以看出目前很少有学者从利润最大化的角度考虑同时采用清洁技术和普通技术的制造商如何进行技术选择并合理地安排生产决策问题,而本文就主要针对这一问题进行探讨。

二、问题描述

本文考虑在某经济区域内有一个政府建立的碳交易中心,有碳排放依赖型企业加入碳交易中心,在生产周期期初,政府给企业设定免费碳排放限额总量 G , 单位产品的碳配额为 g 。当企业在生产周期期末所产生的碳排放总量 E_T 超过限额 G 的情况下(此时碳交易量 $E_t = E_T - G > 0$), 企业就需要到碳交易市场上按照碳交易价格 P_c 购买碳排放权才能在下一个周期继续生产;若企业在生产周期期末所产生的碳排放量低于期初设定的碳限额,那么企业就能够以碳排放权的形式将碳排放量按普通商品明码标价出售,在碳交易市场上与其他有需求购买碳排放

权的企业进行交易,从而获取利润。在碳交易规则的约束下,有一个垄断的碳排放依赖型制造商为了能够降低碳排放量,采取两种生产技术(分别为清洁技术和普通技术)生产同一种产品,所生产的产品同质无差异。应用普通技术生产的普通产品在制造过程中产生的单位产品碳排放量为 e , 边际成本为 c , 单位产品价格为 p_r ; 应用清洁技术生产的低碳产品在制造过程中的碳排放量低,减排量为 Δe , 但是边际成本相比与单位普通产品的边际成本增加 c_0 , 单位低碳产品价格为 p_l 。在这种情形下,企业的生产部门如何合理的安排生产技术和低碳产品与普通产品的产量(q_l, q_r),才能使得企业利润最大化是本文要研究的主要问题。

根据 Goyal^[15]的相关研究,本文列出采用清洁技术和普通技术所生产的两种产品的反需求函数如下:

$$p_l = a - q_l - \beta q_r \quad (1)$$

$$p_r = a - q_r - \beta q_l \quad (2)$$

其中 a 表示市场容量, β 代表两种产品的替代程度(同时代表两种产品的竞争激烈程度), 其中 $0 < \beta < 1$ 。

三、模型求解

在传统的考虑收益与成本的模型中,同时考虑清洁技术和普通技术成本的差异与碳交易制度的约束,该碳排放依赖型制造商的利润模型如下:

$$\pi = (p_l - c - c_0)q_l + (p_r - c)q_r - p_c[eq_r + (e - \Delta e)q_l - (q_r + q_l)g] \quad (3)$$

将反需求函数(1)(2)带入收益函数(3)可知展开式如下:

$$\pi = (a - c - c_0 - p_c e + p_c g + p_c \Delta e)q_l - q_l^2 + (a - c - p_c e + p_c g - 2\beta q_l q_r - q_r^2) \quad (4)$$

考虑在寡头垄断市场,价格主要由寡头制造商制定,而在单周期的碳交易市场上碳交易价格也相对稳定。根据利润最大化的原则,本文主要权衡低碳产品产量 q_l 和普通产品的产量 q_r , 因此假设清洁技术下低碳产品和普通技术下普通产品价格稳定,分别对制造商利润求关于两种产品产量的偏导数,利润 π 最大化关于低碳产品 q_l 的一阶条件:

$$\frac{\partial \pi}{\partial q_l} = a - c - c_0 - p_c e + p_c g + p_c \Delta e - 2q_l - 2\beta q_r = 0 \quad (5)$$

利润 π 最大化关于普通产品产量 q_r 的一阶条件:

$$\frac{\partial \pi}{\partial q_r} = a - c - p_c e + p_c g - 2q_r - 2\beta q_l \quad (6)$$

利润 π 关于低碳产品产量 q_l 和普通产品 q_r 的二阶导数组成的海森矩阵为:

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \pi}{\partial q_l^2} & \frac{\partial^2 \Omega}{\partial q_l \partial q_r} \\ \frac{\partial^2 \Omega}{\partial q_r \partial q_l} & \frac{\partial^2 \Omega}{\partial q_r^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 2\beta \\ 2\beta & 2 \end{pmatrix} = 4 - 4\beta^2 > 0 \quad (7)$$

由以上推导可知该矩阵为负定矩阵,制造商的利润在均衡产量 q_l^* 和 q_r^* 取得最大值,那么当制造商利润最大化时,求解式(5)和式(6)两个等式可得到均衡产量为 q_l^* 和 q_r^* 为:

$$q_l^* = \frac{(1-\beta)(a-c-p_e e + p_e g) + p_e \Delta e - c_0}{2(1-\beta^2)} \quad (8)$$

$$q_r^* = \frac{(1-\beta)(a-c-p_e e + p_e g) - \beta(p_e \Delta e - c_0)}{2(1-\beta^2)} \quad (9)$$

将均衡产量 q_l^* 和 q_r^* 带入利润函数,得出相应命题。为了表述方便,本文定义:

$A = a - c - p_e e + p_e g$, $B = p_e \Delta e - c_0$, 其中 B 为单位低碳产品的碳收益。

$$C_1 = p_e \Delta e + (1-\beta)(a-c-p_e e + p_e g),$$

$$C_2 = p_e \Delta e - (1-\beta)(a-c-p_e e + p_e g)/\beta.$$

(一)企业的生产模式选择以及最优决策

命题1:存在生产模式选择成本阈值 C_1 和 C_2 ,制造商会根据应用清洁技术的额外成本水平的不同,而选择以下几种不同的生产技术组合:

(1)当 $c_0 > C_1$,制造商仅仅采用普通技术投入产品生产,即为普通技术模式。此时制造商生产的低碳产品数量为0,最优普通产品产量如下:

$$q_r^* = \frac{(1-\beta)A - \beta B}{2(1-\beta^2)}, \quad q_l^* = 0$$

普通技术模式下企业最优利润为:

$$\pi_{(0,q_r)}^* = \frac{(1-\beta)^2(1+2\beta)A^2 - \beta^2 B^2 - 2\beta^2(1-\beta)AB}{4(1-\beta^2)^2}$$

(2)当 $C_2 < c_0 < C_1$,制造商将同时将清洁技术与普通技术投入生产,即为双技术模式,双此时低碳产品和普通产品的产量均大于0,最优产量决策如下:

$$q_l^* = \frac{(1-\beta)A + B}{2(1-\beta^2)}, \quad q_r^* = \frac{(1-\beta)A - \beta B}{2(1-\beta^2)}$$

双技术模式下企业最优利润为:

$$\pi_{(q_l,q_r)}^* = \frac{2(1-\beta)A(A+B) + B^2}{4(1-\beta^2)^2}$$

(3)当 $c_0 < C_2$ 时,制造商仅仅采用清洁技术投入产品生产,即为清洁技术模式。此时制造商生产的普通产品数量为0,最优低碳产品产量如下:

$$q_l^* = \frac{(1-\beta)A + B}{2(1-\beta^2)}, \quad q_r^* = 0$$

清洁技术模式下,企业的最优利润为:

$$\pi_{(q_l,0)}^* = \frac{(1-\beta)^2(1+2\beta)A^2 + (1-2\beta^2)B^2}{2(1-\beta^2)} +$$

$$\frac{2(1+\beta-\beta^2)(1-\beta)AB}{2(1-\beta^2)}$$

命题1表明在考虑碳交易政策的情形下,制造商对生产技术的选择主要取决于单位低碳产品与普通产品的成本差额。当应用清洁技术而产生的单位附加成本 c_0 大于阈值 C_1 时,制造商会仅仅将普通技术投入生产,因为此时普通技术具有成本优势,而采用清洁技术的额外成本过高,清洁技术生产是亏本生产。当单位低碳产品的额外成本 c_0 低于阈值 C_2 时,制造商会只采用清洁技术进行生产,这是因为此时采用清洁技术与普通技术的成本无差异,但是采用技术会在碳交易市场上获得额外的收入。当单位低碳产品的额外成本 c_0 高于 C_2 低于 C_1 时,制造商会同时采用普通和清洁双技术模式生产。因为此时制造商的普通技术不具有明显的成本优势,而且清洁技术也没有明显的碳交易优势,而采用双技术模式可以使得企业获得两种产品细分市场的利润,并且可以按照碳交易市场的收益调整低碳产品和普通产品的产量。

(二)不同生产模式下制造商的碳交易决策

以上分析考虑了制造商的单位低碳产品的额外成本的阈值而决定的三种生产模型,下面考虑在三种不同的生产技术组合下企业的碳交易行为。具体表现形式在以下命题当中。

命题2:在普通技术模式下,制造商在生产周期末的碳排放量超出碳限额,必须到碳交易市场购买碳排放权。碳排放权购买量为:

$$E_{B(0,q_r)} = E_T = \frac{(e-g)[(1-\beta)A - \beta B]}{2(1-\beta^2)}$$

命题3:清洁技术模式下,制造商超额完成了政府设定的碳限额任务,因此可以将多出的配额卖出。碳排放权出售量为:

$$E_{S(q_l,0)} = -E_T = \frac{(g + \Delta e - e)[(1-\beta)A + B]}{2(1-\beta^2)}$$

命题4:双技术模式策略下,则存在碳交易行为成本临界值:

$$C(E) = p_e \Delta e - \frac{(1-\beta)(2e - 2g - \Delta e)A}{(g - e + \Delta e) + \beta(e - g)}$$

(1)当 $C(E) < c_0 < C_1$,此时 $E_T > 0$,制造商在生产周期末的碳排放量超出碳限额,必须要在碳交易市场按照碳交易价格购买碳排放权,才能进行下一周期的生产,此时制造商的碳交易量如下:

$$E_{B(q_l,q_r)} = E_T = \frac{(1-\beta)(2e - 2g - \Delta e)A + [(1-\beta)(e - g) - \Delta e](p_e \Delta e - c_0)}{2(1-\beta^2)}$$

(2)当 $C_2 < c_0 < C(E)$,此时碳交易量 $E_T < 0$,此时

企业就可以在生产周期期末超额完成碳限额任务从而可以在碳交易市场上出售碳排量,碳交易售出货量如下:

$$E_{S_{(q_i, q_r)}} = -E_T = \frac{-(1-\beta)(2e-2g-\Delta e)A}{2(1-\beta^2)} - \frac{[(1-\beta)(e-g)-\Delta e](p_e\Delta e - c_0)}{2(1-\beta^2)}$$

图1展示了在不同的碳限额水平下,制造商在不同的生产技术选择组合下的碳交易行为。可以看出,当政府制定的碳限额低于单位低碳产品的碳排量时,制造商无论如何进行减排努力,总是无法满足给定的限额任务,因此进行碳限额的出售;当碳限额高于单位普通产品的碳排量时,制造商不需要进行减排努力也总能超额完成减排任务,总可以出售碳限额获取收益。这两种情形无法激励企业进行减排努力。而当政府制定的碳限额高于单位低碳产品的碳排量而低于普通产品的碳排量时,制造商存在一条碳交易成本临界值,当企业采用清洁技术的额外成本低于该临界值时而高于 C_2 时,企业会选择双技术模式生产并进行碳排放权的购买,而当企业采用清洁技术的额外成本低于该临界值时且低于 C_2 时,企业会进行低碳模式生产并进行碳排放权的购买;反之,企业会进行碳排放权的出售。该碳交易成本临界值可以帮助企业在减排期初根据自身的减排能力采取减排努力措施和程度。

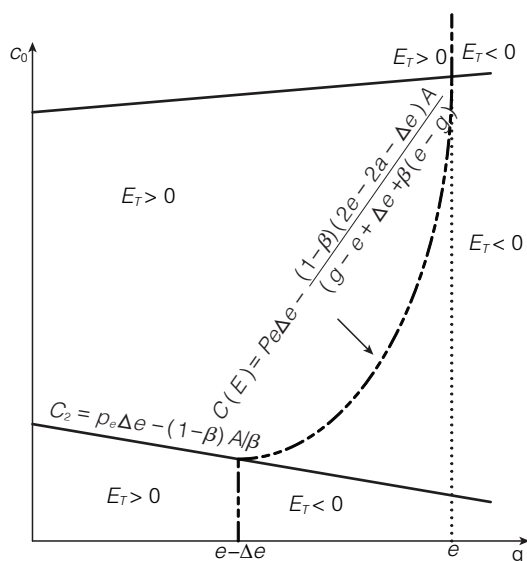


图1 成本临界值与碳交易买卖行为关系

推论1: 阈值 C_1 是 β 的减函数, 阈值 C_2 是 β 的增函数; 在普通技术模式下, 若 $c_0 > p_e\Delta e + A$, 普通产品产量 q_i^* 会随着产品替代程度 β 单调增加, 当 $p_e\Delta e + (1-\beta)A \leq c_0 \leq p_e\Delta e + A$, 普通产品产量 q_i^* 则会随着 β 先增后减; 在清洁技术模式下, 低碳产品产量 q_r^* 则会随着两种产品替代程度 β 的增加而降低。在双技术模式下, 低

碳产品产量 q_i^* 会随着 β 的增加而降低; 当 $p_e\Delta e \leq c_0 < p_e\Delta e + (1-\beta)A$, 普通产品产量 q_i^* 则会随着产品替代程度 β 先增后减, 当 $p_e\Delta e - (1-\beta)A/\beta < c_0 \leq p_e\Delta e$, 随着产品替代程度 β 的增加普通产品产量 q_i^* 单调递减; 双技术模式生产策略下, 制造商的最优总产量则会随着产品替代程度 β 增加而降低。在三种不同的生产技术选择组合下, 最优利润 π^* 都是产品替代程度 β 的减函数。

推论1表明随着产品替代程度的增加, 企业会倾向于采用单技术模式进行生产而不是双技术模式, 这是由于随着产品替代程度的增加, 两种产品的竞争加剧, 两种产品的价格会随之降低, 企业会选择具有成本优势的模式进行生产。在双技术模式情形下, 若采用清洁技术的单位产品附加成本高, 应用普通技术相对而言就会具有成本优势, 那么普通产品由于成本优势而在和低碳产品的激烈竞争中产量逐渐增加; 而若采用清洁技术的单位产品附加成本低, 普通技术成本优势相对就不太明显, 而且随着竞争增加, 价格降低, 企业就会降低普通产品的产量。而低碳产品由于一直不具备竞争优势, 因此产量会随着市场的激烈程度降低。在这种情形下, 企业的总产量会随着产品竞争激烈程度的增加而降低, 产量和价格的降低, 企业的总利润也会随之降低。

推论2: 阈值 C_1 是单位低碳产品碳配额 g 的增函数, 而阈值 C_2 是 g 的减函数; 在三种不同的技术组合下, 两种产品产量 q_i^* 和 q_r^* 都是 g 的增函数, 而且 $\frac{\partial q_i}{\partial g} = \frac{\partial q_r}{\partial g} = \frac{p_e}{2(1+\beta)}$; 普通技术模式下的碳交易购买量 $E_{B_{(0, q_r)}}$ 和双技术模式下的碳交易购买量 $E_{B_{(q_i, q_r)}}$ 都是 g 的减函数, 而清洁技术模式下碳交易销售量 $E_{S_{(q_i, 0)}}$ 和双技术模式下的碳交易销售量 $E_{S_{(q_i, q_r)}}$ 是 g 的增函数。在三种不同的生产技术选择组合下, 最优利润 π^* 均是配额 g 的减函数。

从推论2中可知, 当政府在期初设定的碳限额提高时, 企业更加倾向于采用双技术模式进行生产, 而不是仅仅选择单技术模式情形。而且若政府设定的碳限额增加, 在清洁技术模式下, 企业能够出售的碳排放量会增加, 这是因为企业在原有的超额完成限额任务的情况下, 又增加了多出的限额, 那么企业在碳交易市场上获取的碳交易利润就会增加, 使得企业总利润增加。在普通技术模式下, 企业购买的碳交易量会降低, 这是因为企业虽然没能完成限额任务, 但是随着限额的增加, 企业的未完成碳限额的部分被增加的限额抵消, 从而使得企业的购买量降低, 因此在碳交易市场上企业用于购买碳排放权的成本被节约, 所以企业的利润也会增加。

推论3: 阈值 C_1 和 C_2 都随着清洁技术下单位低碳产品减排量 Δe 的增加而降低; 低碳产品的最优产量 q_l^* 则会随着低碳产品减排量 Δe 的增加而增加, 反之, 普通产品的最优产量 q_r^* 却随着 Δe 的增加而降低; 此外, 在普通技术模式下的碳交易购买量 E_B 和双技术模式下的碳交易购买量 E_B 都是减排量 Δe 的减函数, 洁技术模式下的碳交易出售量 E_S 和双技术模式下的碳交易出售量 E_S 都是 Δe 的增函数。在三种不同的生产技术选择组合下, 最优利润 π^* 均是 Δe 的减函数。

从推论3可以看出, 在同一成本水平下, 若提高减排水平, 企业会更加倾向于选择清洁技术模式和双技术模式生产。由于需求波动不大, 在稳定的需求下, 随着单位低碳产品减排量的增加, 企业会增加低碳产品的生产, 而降低普通产品的生产, 因为这种情形下生产更多的低碳产品, 企业能够在碳交易市场上出售更多的碳排放量而增加利润, 或者能够降低在碳交易市场上购买碳排放权产生的成本, 从而使得企业的总利润增加。可以看出, 减排水平的变动对碳交易量和利润的影响与推论2中碳限额的变动对碳交易量和利润的影响是相同的, 但是减排水平的增加是企业从自身进行减排努力, 从而减少对普通产品的生产增加低碳产品的生产, 这样可以有效地达到减排效果保护环境, 碳限额则是同时增加了低碳产品和普通产品的生产规模, 从而增加了碳排放量, 并不能对环境进行有效保护。

推论4: 阈值 C_1 和 C_2 随着碳交易价格 p_e 的提高而增加; 低碳产品的最优产量 q_l^* 则随着碳交易价格 p_e 的增加而降低, 普通产品的最优产量 q_r^* 在 p_e 增加时会减少; 普通技术模式下的碳交易购买量 E_B 和双技术模式下的碳交易购买量 E_B 都随着碳交易价格 p_e 增加而降低, 反之, 清洁技术模式下的碳交易出售量 E_S 和双技术模式下的碳交易出售量 E_S 都随着 p_e 的增加而增加。在三种不同的生产技术选择组合下, 碳交易价格 p_e 的改变对制造商利润的影响不一样, 分别是

$$\frac{\partial \pi_{(q_l, 0)}}{\partial p_e} = (p_l q_l)' + E_S - \frac{\partial \pi_{(q_r, 0)}}{\partial p_e} = (p_r q_r)' - E_B - \frac{\partial \pi_{(q_l, q_r)}}{\partial p_e} = -E_{T0}$$

分析推论4可以看出, 随着碳交易市场上碳交易价格的增加, 同一水平的低碳技术额外成本下, 企业会更倾向于选择清洁技术模式和双技术模式生产。而且碳交易价格的提升可以有效地促进企业减排, 增加企业低碳产品的生产, 这是由于当碳交易价格提升时, 企业必须减少碳排放量才能在碳交易市场

上获取更多的利润, 或者降低成本。此外, 在双技术模式情形下, 碳交易价格提升或降低给制造商带来的利润变动仅仅取决于碳交易市场, 而产品市场上低碳产品和普通产品价格的变动相互抵消, 不会对总利润产生影响。但是在单技术模式下, 碳交易价格的变动会使得产品市场和碳交易市场的变动无法相互抵消, 从而利润变动存在很大的不确定性。

四、数值分析

为了验证以上模型假定和相关推论, 本文进行如下算例分析, 具体数值设定如下:

$$a = 100, c = 20, e = 2, \Delta e = 1.5, \beta = 0.7, g = 0.8, p_e = 10.$$

(1) 在其他参数不变的情形下, 分析两种产品竞争激烈程度对制造商生产技术组合选择阈值、产量以及利润的影响。

为验证推论1, 图2分析了当产品之间的竞争激烈程度 β 在 $(0, 1)$ 之间变化时, 对生产模式选择阈值 C_1, C_2 变化曲线的影响, 图3分析了额外成本 c_0 在 $(0, 90)$ 之间变化时, β 在 $[0.3, 0.7]$ 当中取值对制造商低碳产品和普通产品的产量影响。

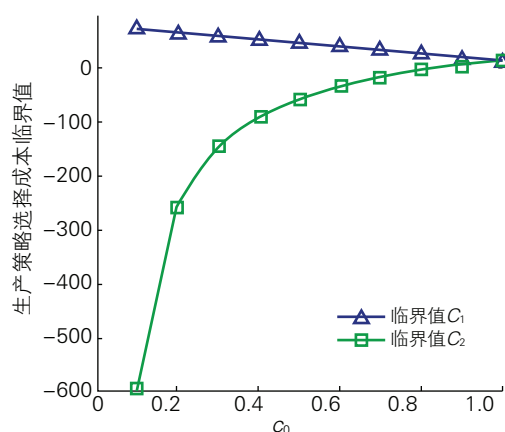


图2 β 变化对成本阈值 C 的影响

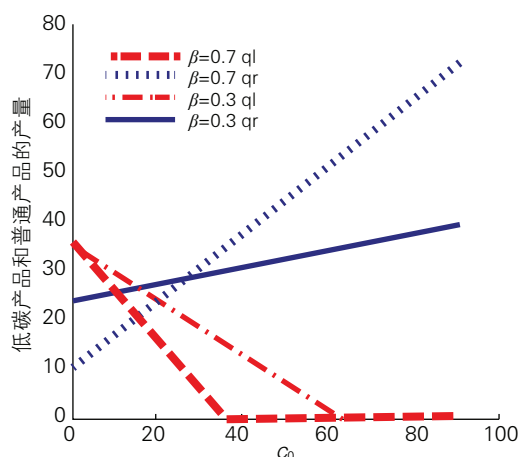


图3 β 变化对两种产品产量 q 的影响

分析图2可知,随着产品激烈程度 β 的增加, C_2 会随着 β 的增加而降低,而 C_1 则会随着 β 的增加而增加, C_1C_2 之间的差距会逐渐缩小,由此表明随着产品激烈程度的增加,企业会倾向于选择单技术模式生产,而不会再选择双技术模式进行生产。而当产品的竞争激烈程度较低时,企业会更加倾向于选择双技术模式进行生产。从图3可以看出,当产品竞争激烈程度由低变高时,低碳产品的产量会大幅下降,而普通产品的产量则会随着单位低碳产品额外成本水平的不同而产生不同的变化,当清洁技术下单位低碳产品附加成本水平比较低时,普通产品最优产量减少,反之增加。图4可以看出,随着两种产品竞争加剧,制造商的利润曲线逐渐下降,由此可以验证在推论1中的解释。即当产品竞争不激烈时,企业会采用双技术模式收获低碳产品市场和普通产品市场两个细分市场的利润。

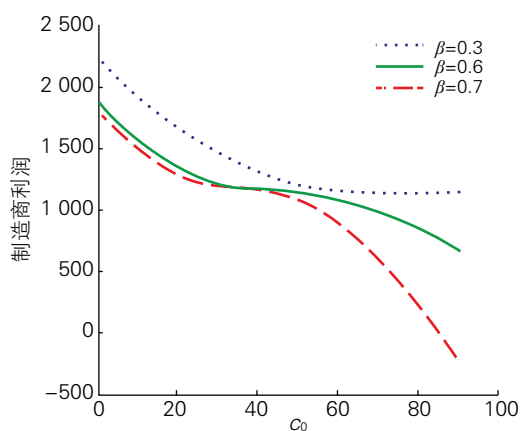


图4 β 变化对制造商利润 π 的影响

(2)在其他参数不变的情形下,分析碳限额对制造商生产技术组合选择阈值、产量以及利润的影响。

图5分析了政府设定的碳限额 g 在(0.6,1.9)之间变化时,对生产模式选择阈值 C_1C_2 变化曲线的影响,图6分析了额外成本 c_0 在(0,90)之间变化时, g 在[0.8;1.6]当中取值对制造商低碳产品和普通产品产量的影响。图7分析单位低碳产品的额外成本和企业利润曲线在 g 取[0.8;1.6]时的变动图。从图5可以看出,若政府提高碳限额,企业的生产模式选择阈值 C_2 会随之降低, C_1 则会随之增加, C_1 和 C_2 之间的范围扩大说明企业选择进行双模式生产策略的概率会增加。图6和图7可以观察到,随着政府设定的碳限额的增加,企业的低碳产品和普通产品的产量曲线,以及总利润曲线均向上平移增加。说明碳限额的提高是政府放宽了碳排放约束,给企业增加额外的低碳补贴,使得企业可以扩大生产规模,但是这种情形并不能够提高企业进行减排的积极性、促进企业减

排,反而会使企业总碳排放量增加,与碳交易政策目标背道而驰。

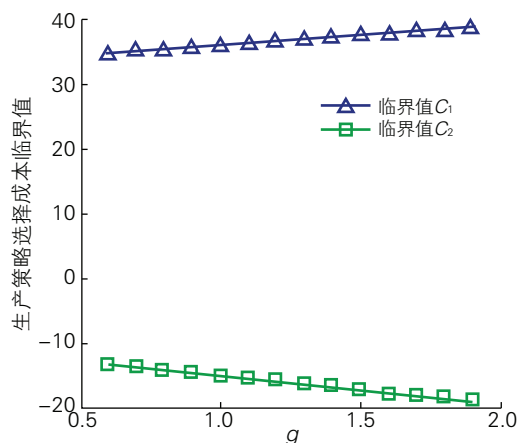


图5 g 变化对成本阈值 C 的影响

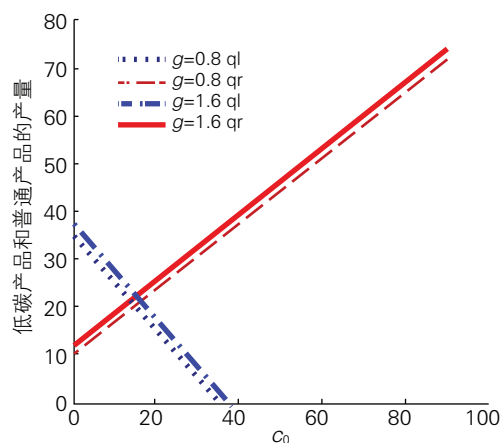


图6 g 变化对两种产品产量 q 的影响

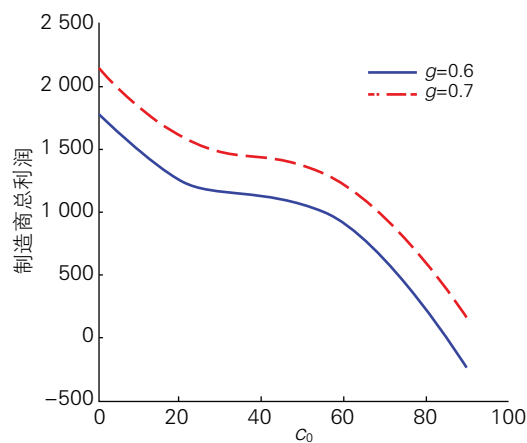


图7 g 变化对制造商利润 π 的影响

(3)在其他参数不变的情形下,分析减排量对制造商生产技术组合选择阈值、产量以及利润的影响。

为验证推论3,图8分析了单位低碳产品的减排量 Δe 在(0.1,1.9)之间变化时,对生产模式选择阈值 C_1C_2 变化曲线的影响,图9分析了额外成本 c_0 在(0,90)之间变化时, Δe 在[1;1.5]当中取值对制造商

低碳产品和普通产品产量的影响。图10分析单位低碳产品的额外成本和企业利润曲线在 Δe 在 $[1; 1.5]$ 时的变动。

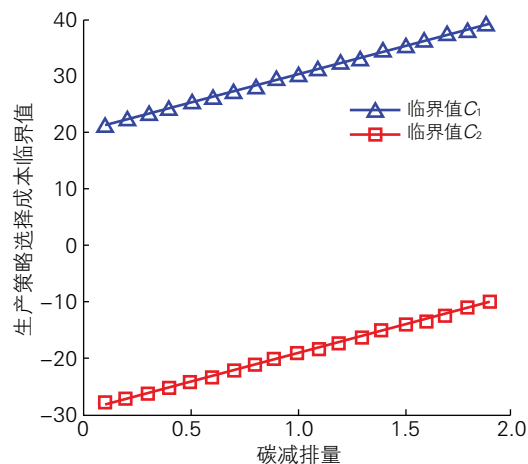


图8 Δe 变化对成本阈值 C 的影响

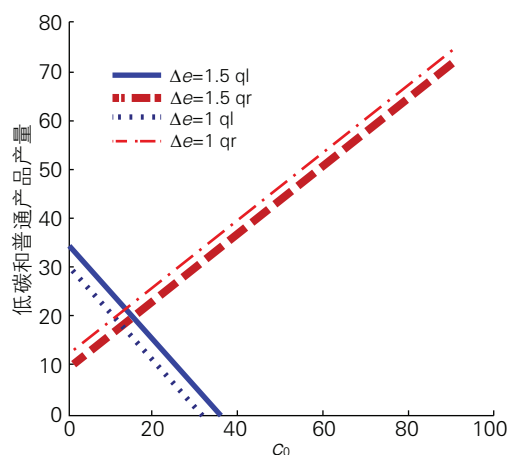


图9 Δe 变化对两种产品产量 q 的影响

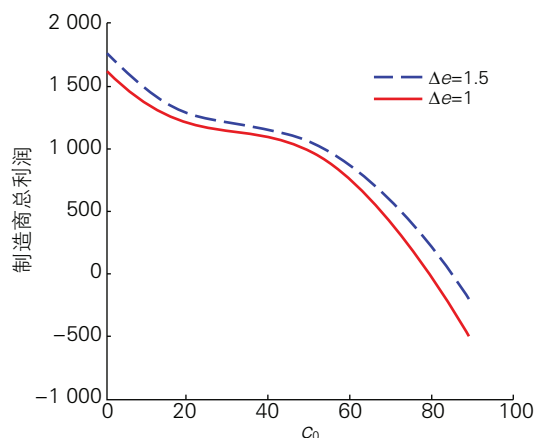


图10 Δe 变化对制造商利润 π 的影响

由图8可以看出,两条生产策略成本阈值会随着单位低碳产品的减排量的增加而增加,说明企业在同一清洁技术下的额外成本,企业会更倾向于选择

双模式生产或者低碳生产模式。图9和图10可以看出,低碳产品产量曲线会向上平移,而普通产品产量曲线向下平移,企业的产量利润曲线也向上波动但不是平移,当低碳产品额外成本较高时,企业增加低碳产品的生产会大幅提高企业的利润,因为这样可以降低企业在碳交易市场上的成本。当企业低碳产品额外成本比较低时,企业进一步增加低碳产品的生产会大幅度提高其在碳交易市场的收益。由此验证了推论3。

(4)在其他参数不变的情形下,分析碳交易价格对制造商生产技术组合选择阈值、产量以及利润的影响。

为验证推论4,图11分析了单位低碳产品的减排量 P_e 在 $(5, 20)$ 之间变化时,对生产模式选择阈值 C_1, C_2 变化曲线的影响,图12分析了额外成本 c_0 在 $(0, 90)$ 之间变化时, p_e 在 $[10; 20]$ 当中取值对制造商低碳产品和普通产品产量的影响。图13分析单位低碳产品的额外成本和企业利润曲线 p_e 在 $[10; 20]$ 时的变动图。从图13可以看出,当单位低碳产品的额外成本比较低时,企业倾向于采用清洁技术模式进行生产,此时碳交易价格的提升会使得企业利润增加,这是因为企业超额完成了碳限额任务,碳交易出售量提高,单位碳交易价格提高,企业利润增加;而随着单位低碳产品额外成本的增加,制造商采用清洁技术生产低碳产品成本提高,碳交易市场的红利逐渐被成本抵消,而使得企业利润降低。随着单位低碳产品额外成本的增加,制造商会逐渐采取普通技术生产普通产品,而且逐渐增加普通产品的生产来削减清洁技术带来的成本,因此在图13中间,当碳交易价格为10时,制造商的利润反而高于碳交易价格为20的情形,那么为了追逐利润最大化,制造商会增加对普通产品的生产,从而使得制造商总碳排放量增加。

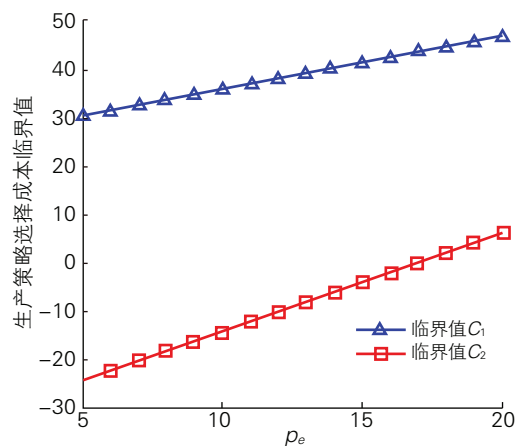


图11 p_e 变化对成本阈值 C 的影响

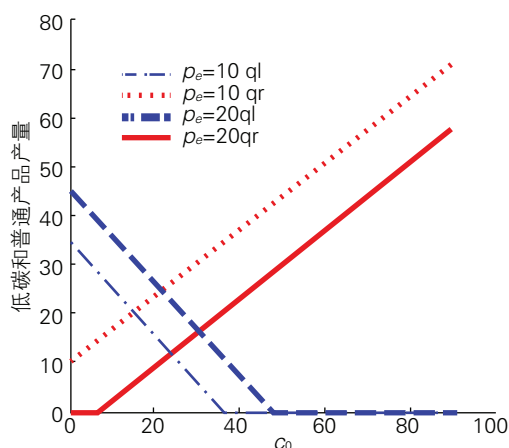


图 12 p_c 变化对两种产品产量 q 的影响

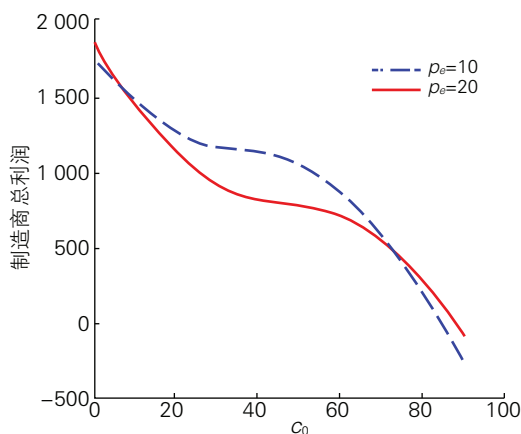


图 13 p_c 变化对制造商利润 π 的影响

五、结束语

为了积极响应政府提出的碳限额与交易等减排政策,越来越多的企业加入碳交易体系。与此同时,企业为了能够完成政府设定的碳限额任务并达到减排目的,则必须在原有传统生产技术上引入清洁技术。基于这种考虑,本文分析了在碳交易政策约束下,碳排放依赖型制造商同时采用清洁和普通技术投入生产的不同技术选择组合下制造商的生产决策以及碳交易行为。研究表明,在双技术模式策略下,存在一条碳交易买卖成本临界值,若企业选择清洁技术的额外成本高于该临界曲线,企业必须购买碳排放权维持生产计划;反之,则有超额排放权可以出售;该碳交易买卖临界曲线可以指导企业按照自身的清洁技术成本水平进行减排决策。

参考文献:

- [1] SUNAR N, PLAMBECK E. Allocating Emissions Among Co-Products: Implications for Procurement and Climate Policy [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2016, 18(3): 309-460.
- [2] SHEU J B, FANG L. Market Competition and Greening Transportation of Airlines Under the Emission Trading Scheme: A Case of Duopoly Market [J]. Transportation Science, 2014, 48(4): 684-694.
- [3] 廖诺, 赵亚莉, 贺勇. 碳交易政策对电煤供应链利润及碳排放量影响的仿真分析 [J]. 中国管理科学, 2018, 26(8): 154-163.
- [4] 中国碳排放交易网. 碳交易的“深圳模式” [EB/OL]. (2017-05-27) [2018-11-20]. <http://www.tanpaifang.com/tanjiaoyi/2017/0620/59754.html>.
- [5] HONG Z, CHU C, YU Y. Dual-mode production planning for manufacturing with emission constraints [J]. European Journal of Operational Research, 2016, 251(1): 96-106.
- [6] SONG J, LENG M. Analysis of the Single-Period Problem under Carbon Emissions Policies [M]. New York: Springer, 2012: 297-313.
- [7] 张盼, 熊中楷. 基于政府视角的最优碳减排政策研究 [J]. 系统工程学报, 2018, 33(5): 627-636.
- [8] ZHAO J, HOBBS B F, PANG J S. Long-Run Equilibrium Modeling of Emissions Allowance Allocation Systems in Electric Power Markets [J]. Operation Research, 2010, 58(3): 529-548.
- [9] COHEN M C, LOBEL R, PERAKIS G. The Impact of Demand Uncertainty on Consumer Subsidies for Green Technology Adoption [J]. Social Science Electronic Publishing, 2017, 68(9): 1094-1105.
- [10] HE P, DOU G, ZHANG W. Optimal Production Planning and Cap Setting Under Cap-and-Trade Regulation [J]. Journal of the Operational Research Society, 2017, 68(9): 1094-1105.
- [11] 杨磊, 张琴, 张智勇. 碳交易机制下供应链渠道选择与减排策略 [J]. 管理科学学报, 2017, 20(11): 75-87.
- [12] 程永伟, 穆东. 应对碳价格波动的新能源汽车联合生产策略 [J]. 系统工程学报, 2018, 33(6): 780-792.
- [13] AFLAKI S, NETESSINE S. Strategic Investment in Renewable Energy Sources: The Effect of Supply Intermittency [A]. Working Paper, University of Pennsylvania, 2016.
- [14] GONG X, ZHOU S X. Optimal Production Planning with Emissions Trading [J]. Operations Research, 2013, 61(4): 908-924.
- [15] GOYAL M, NETESSINE S. Strategic Technology Choice and Capacity Investment Under Demand Uncertainty [J]. Management Science, 2007, 53(2): 192-207.

[责任编辑: 欧世平]