DOI 编码：10.3969/j.issn.1672-884x.2019.12.011

碳排放依赖型企业生产的影响因素及作用机理研究

唐洪雷　肖汉杰　韦　震
（湖州师范学院商学院）

摘要：以企业生产活动中的碳足迹为研究视角，创设在碳排放权限额与交易政策的情境下，讨论碳排放依赖型企业，如钢铁生产企业的经济生产批量决策等问题，并建立数学模型，定量研究碳排放权配额、碳排放权交易价格等因素对企业经济生产批量、企业总成本及总碳排放量的影响。研究发现：存在碳排放权交易时，其价格与碳排放净化处理水平将影响企业生产决策；且碳排放净化处理水平不仅是企业生产的约束条件，也有可能成为企业增加利润的途径。碳排放权限额与交易政策可以促进碳排放总量的控制。

关键词：碳排放权；限额与交易；生产决策

中图法分类号：C93　**文献标志码**：A　**文章编号**：1672-884X(2019)12-1841-06

Study on the Influencing Factors and Mechanism of Production of Carbon-Dependent Enterprises

TANG Honglei　XIAO Hanjie　WEI Zhen
(Huzhou University, Huzhou, Zhejiang, China)

Abstract: For the carbon footprint of enterprise production activities, this study analyzes the problem of carbon-emission-dependent enterprises, such as steel production enterprises, under the condition of carbon emission credit permits and trading policy, and establishes a mathematical model to quantitatively discuss the influence of the carbon emission credit quota, carbon emission credit transaction price and other factors on the enterprise economic production volume. The results show that when carbon emission credit are traded, the price of carbon emission credit trading and the level of carbon emission purification treatment will affect the production decision of enterprises. The level of carbon emission purification treatment is not only a constraint, but also a way for enterprises to increase profits. Carbon emission credit quota and trading policy can promote the control of total carbon emissions.

Key words: carbon emissions credit; permits and trading; production decisions

1　研究背景

随着全球气候变暖，大气中二氧化碳容量资源日益成为稀缺的环境资源[1]，尤其是对于西方后工业化发达国家而言，经常会利用生态环境、碳排放份额来制衡发展中国家的工业化进程。针对我国目前的经济发展阶段，能源消耗量大的第二产业在一段时期内的碳、硫等产物的排放量会保持比较高的水平，甚至在未来相当长的一段时间内，全社会能源供给和二氧化碳减排的压力也将越来越大。

为了应对国际舆论，也为了缓解环境压力，倡导生态化、绿色化发展，我国需要对二氧化碳减排行为进行更深入的科学研究。二氧化碳减排不仅仅是缓和气候变化的环境问题，并且还是一个政治和社会问题[2]，说到底它是一个经济问题，因为减少二氧化碳等温室气体排放量的任何政策都会涉及世界各国，尤其是发展中国家的经济发展，这是当前国际社会极度敏感的焦点问题之一。当前，研究人员从不同角度出发，建立了各种理论和模型来分析减少二氧化碳排放量的各种措施，力求得到既可以实现

收稿日期：2019-05-05
基金项目：浙江省哲学社会科学规划基金资助重点课题(17NDJC005Z)；国家社会科学基金资助重大项目(16@ZH005)；湖州市科技计划资助项目(2018YZ13)；湖州师范学院人文社会科学预研究资助项目(2018SKYY03)

减排,又能最大限度地减少对国家宏观经济的负面影响的减排措施。本研究借鉴相关研究,以钢铁生产企业、电厂、水泥生产企业等为代表的碳排放依赖型企业为研究对象,从微观生产运作角度,探讨基于碳排放权交易的背景下,企业生产全过程中的影响因素以及碳减排作用机理。

2 文献回顾与问题提出

早期的研究认为:碳排放权交易市场是不完全竞争市场,并且在一级市场的碳排放权配额会在极大程度上影响二级市场最后的均衡结果。如HAHN[3]的研究表明,在一个不完全竞争市场中,当所有企业的碳减排边际成本相等时,碳减排总成本最低;如果企业的碳减排边际成本不相等,则市场的碳减排成本就不是最优的,会偏离平衡状态。WESTSKOG[4]和MALIK[5]的研究说明,当有多个碳排放依赖型企业时,企业多获得的碳排放权配额一定是从其他企业处夺取过来的。尽管这些关于碳排放权配额市场的研究成果较为丰富,但是,随着全球碳排放限额与交易制度的建立,自由的碳排放权交易成为可能,此时,碳排放权就必然成为企业的一种生产要素。目前,关于企业微观生产运作领域中的碳排放权交易的研究还比较少。

另外,从企业生产成本的角度看,MALUEG[6]假设企业之间的生产成本不同,碳排放权的交易对成本类型不同的企业作用结果不相同。SARTZETAKIS[7]认为,由于不完全竞争市场的存在,碳排放权交易使企业面临相同的边际减排成本,可以实现减排成本最小化,最终促进社会福利事业发展。HUNG等[8]研究生产成本和碳排放效率两种参数,在以企业利润最大化为目标的情境下企业生产行为对社会福利的影响。CHAO等[9]发现,假定各国具有相同的生产参数,以各国效用函数的加权平均和最大化为目标,碳排放权交易可以促进实现帕累托最优。MEUNIER[10]假设在两个不完全竞争的产品市场和完全竞争的碳排放交易市场背景下,研究了碳排放权配额方式以及不同政策对生产企业产品产量的影响。

国内学者也对该问题进行了相关研究。在碳排放权交易体系下,企业在碳排放权交易一级市场中,通过免费或有偿的方式获得一定数量的碳排放配额。有些企业通过技术创新和节能管理实现碳减排,就可以在碳交易市场出售碳排放配额获利;反之,则只能购买碳排放配额。碳排放交易给中国企业带来的成本压力正日益显现[11]。李凯杰等[12]在碳排放配额市场完全竞争的条件下,结合博弈论以及信息经济学的相关理论,研究在二级市场上,3种碳排放权配额分配方式对企业的影响。侯玉梅等[13]利用博弈论,研究不同市场条件下,两寡头企业的生产量决策,以净化水平作为重要参数,分析企业的碳排放最优决策。何大义等[14]在碳排放约束下对单个企业的生产策略进行了优化研究,并利用博弈论探讨监管机构和企业之间的碳排放问题,最终得到基于政府层面的几点政策性建议,提出改进气候变化的战略。章文燕[15]对低碳经济环境下供应链协同最优订货量模型进行了探讨,并运用算例进行了验证。魏守道等[16]、程东伟等[17]讨论了在不同碳税政策下,组成供应链企业碳减排决策问题。杜少甫等[18]以净化水平为重要参数,建立存在碳排放权交易的企业生产优化模型,得出了企业生产的最优策略,并对相关结论进行数学证明。目前,更多的文献是在宏观或者中观层面,运用博弈论或是经典的生产模型对企业生产行为的刻画,而对于企业微观生产过程的研究还是黑箱状态。本研究以企业生产的碳足迹为研究视角,有助于揭示碳排放权交易影响企业生产决策的作用机理和影响路径,对于碳排放依赖型企业的生产决策可以提供参考。

3 问题描述与参数符号

3.1 基本假设

不失一般性,本研究考虑企业在确定性需求条件下的生产经营策略。企业在日常生产经营中,无时无刻都有碳排放。为了简化问题,这里只考虑企业生产过程中的碳排放,并分为生产准备、生产和库存3个阶段。假定企业每次安排生产时的碳排放量为 g_1;企业在生产中,每生产一单位产品的碳排放量为 g_2;在库存过程中,持有每单位产品在单位时间内的碳排放量为 g_3。TE 表示企业在整个过程中碳排放总量。

本研究考虑企业单周期生产过程,并且只有单排放物(其他温室气体可以折算成碳排放)的情形,结合现实情况,提出如下假设:

(1)如果企业有碳排放权的交易需求,则假定碳排放权可以在碳交易市场上自由交易,并且认为在一定范围内碳排放权市场供应充足。

(2)假设行业是带垄断或寡头性质的高排放行业,并且企业有能力对所产生的碳排放物进行净化处理。

(3)在确定生产技术水平下,生产单位产成

品，根据生产过程中所使用原材料的量，其产生的碳排放量一定。即：单位产品的碳排放量是常数，因此，企业总的碳排放量是产量的线性函数。

(4)初始碳排放权配额由政府相关部门分配，为外生变量，且只能单周期使用，不能转移到下一周期。

(5)碳排放物可采用 CCS 技术或净化技术进行处理，并获得碳排放权节约，且其处理成本随碳排放物处理水平的上升而加速上升，这与现实情况是吻合的。

3.2　参数符号

本研究所涉及的主要参数符号汇总如下：

q：生产商拟生产的产品总量，决策变量；且企业的一定生产技术和所使用的能源为产量的内生变量。

R：假定企业产品的市场需求是确定型需求，并且其需求速率为 R。

d：假定企业产品的生产速率为 d。

g_1：在生产准备阶段，企业单位时间内发生的碳排放量，该变量只和准备过程时间长短有关，和企业每次生产的产量无关。

g_2：完成生产的实际排放量，由于在企业技术水平确定的条件下，每单位产量在生产过程中的碳排放量为 g_2。

g_3：单位产品在单位时间内存储过程中产生的碳排放量。

E_g：来自一级碳排放权市场的配额。

C_m：碳排放权交易市场上单位碳排放权的交易价格。

E_m：通过碳排放权交易市场而获得的碳排放量，$E_m>0$ 为购入，$E_m<0$ 为售出。

t：表示企业的一个生产周期。

C_1：企业生产的每单位产品在单位时间内产生的存储费用。

C_2：表示在企业的一个生产周期内，发生缺货的损失费用。

C_3：企业在生产准备阶段发生的费用。

C_4：单位产品的生产成本。

η：碳排放量的处理水平，即单位碳排放量处理后所得到的碳排放权节约，$0\leqslant\eta\leqslant1$。

$c(\eta)$：在处理水平 η 下的单位处理成本，连续可微，且满足 $c(0)=0,c(1)=+\infty,c'(\eta)>0,c''(\eta)>0$。

E_p：在一个生产周期内被处理的碳排放物，决策变量，$0\leqslant E_p\leqslant qg_2$。

E_s：通过处理所获得的净碳排放权节约，$E_s=\eta E_p$。

4　建立模型

企业产品生产周期内 3 个阶段的碳排放量分别为：生产准备阶段的碳排放量：g_1t_1；企业生产过程中的碳排放量：$1/2g_2Rt(t_3-t_1)$；企业在产品存储阶段的碳排放量：$1/2g_3(d-R)(t_3-t_2)\cdot(t-t_2)$。在$[0,t]$时间内总平均碳排放量 TE 为

$$TE=\frac{1}{t}g_1\frac{d-R}{d}t_2+\frac{1}{2}g_2\frac{R^2}{d}t+\frac{1}{2}g_3(d-R)\frac{R}{d}\frac{(t-t_2)^2}{t}。\tag{1}$$

如果企业的目标是在生产周期内最小化碳排放量，即 $\min TE(t,t_2)$，则可以找到满足碳排放量最小的产量 Q^{TCM} 为

$$Q^{\mathrm{TCM}}=\sqrt{\frac{d-R}{g_2}}\sqrt{\frac{g_1^2}{g_3R}}。\tag{2}$$

根据企业在实际生产中的情况，本研究分两种情境讨论企业的碳排放：无碳排放权限额情境，以及有碳排放权限额并存在碳排放权交易的情境。

4.1　无碳排放权限额情境

企业做生产计划时，如果不考虑碳排放权限额，则企业的成本包括生产准备成本、生产成本、库存持有成本及缺货成本。企业通过确定经济生产批量 Q^*，达到企业的最小总成本。在$[0,t]$时间内总平均费用 TC 为

$$TC=\frac{1}{t}\Big[\frac{1}{2}C_1(d-R)\frac{R}{d}(t-t_2)^2+\frac{1}{2}C_2R\frac{d-R}{d}t_2^2+C_3+C_4Rt\Big],\tag{3}$$

解之可以得到：企业的经济生产批量 Q^* 为

$$Q^*=Rt=\sqrt{\frac{2C_3R}{C_1}}\sqrt{\frac{C_1+C_2}{C_2}}\sqrt{\frac{d}{d-R}}。\tag{4}$$

企业的成本

$$\min_{Q>0}TC(t,t_2)=TC^{\mathrm{NCE}}=\sqrt{2C_1C_3R}\cdot\sqrt{\frac{C_2}{C_1+C_2}}\sqrt{\frac{d-R}{d}}+C_4R。\tag{5}$$

进一步，可以得到企业在无碳排放限额时，实现最优生产计划时的总碳排放量 TE^{NCE} 为

$$TE^{\mathrm{NCE}}=\frac{C_1}{C_1+C_2}g_1\frac{d-R}{d}+\sqrt{\frac{C_3R}{2C_1}}\sqrt{\frac{C_2}{C_1+C_2}}\cdot\sqrt{\frac{d-R}{d}}\Big(g_2\frac{R}{d-R}\frac{C_1+C_2}{C_2}+g_3\frac{C_2}{C_1+C_2}\Big)。\tag{6}$$

4.2　存在碳排放权交易的情境

本研究讨论的是碳排放权配额与交易政策对碳排放权依赖型企业的生产优化问题，故需要考虑碳排放的相关成本——碳排放权配额交易成本和处理成本，而其他成本则可忽略。根据本研究的假设，生产企业的碳排放权主要来自于 3 种渠道：政府配额 E_g、净化处理所获得

的碳排放权节约 E_s 和通过碳排放权交易市场购入部分 E_m。然而，最终企业实际生产过程中的碳排放量不会超过所获得的总碳排放权，即 $TE \leqslant E_g + E_s + E_m$。并且企业是理性的，碳排放权可通过碳交易市场自由交易，则在单周期生产的情形下，一旦碳排放权有盈余，企业也会投放到交易市场出售。从而上述不等式可转换成

$$TE = E_g + E_s + E_m。\tag{7}$$

如果把碳排放权交易的成本和企业净化处理成本都考虑进去，其中，$E_s = \eta E_p$，由式(5)和式(7)整理可知，此时企业生产周期内的总平均成本 TC^{CEM} 为

$$TC^{\mathrm{CEM}} = \frac{1}{2}\frac{d-R}{d}R\left[C_1 t - 2C_1 t_2 + (C_1 + C_2)\frac{t_2^2}{t}\right] + \frac{C_3}{t} + C_4 R + C_m E_m + c(\eta)E_p。\tag{8}$$

在碳排放权配额与交易政策下，企业的最优生产目标为

$$\min_{t,t_2,E_m} TC^{\mathrm{CEM}}(t,t_2,E_m)，\tag{9}$$

$$\text{s.t.} \quad TE \leqslant E_g + E_m + \eta E_p。\tag{10}$$

4.3 模型分析

在碳排放权交易政策条件下，企业的经济生产批量由企业自身净化处理成本及碳交易市场上的交易价格共同决定。可分为如下 3 种情况：

①当 $\dfrac{c(\eta)}{\eta} < C_m$ 时，企业的经济生产批量为

$$Q^* = (2RC_3(C_1+C_2)d/((d-R)C_1C_2 + C_m(C_1+C_2)g_2(R-2\eta d) + 2c(\eta)g_2(C_1+C_2)d))^{\frac{1}{2}}。\tag{11}$$

②当 $\dfrac{c(\eta)}{\eta} = C_m$ 时，企业的经济生产批量为

$$Q^* = \sqrt{\frac{2RC_3(C_1+C_2)d}{(d-R)C_1C_2 + C_m(C_1+C_2)g_2R}}。\tag{12}$$

③当 $\dfrac{c(\eta)}{\eta} > C_m$ 时，企业的经济生产批量为

$$Q^* = \sqrt{\frac{2RC_3(C_1+C_2)d}{(d-R)C_1C_2 + C_m(C_1+C_2)g_2R}}$$

$$E_p = 0;\quad E_m = TE - E_g，\tag{13}$$

式中，当 $\dfrac{c(\eta)}{\eta} = C_m$ 时，即企业采用净化技术处理的方式与碳交易市场购买方式是等效的，此时，E_p 无论取$[0, TE]$区间内的任意值，均不影响企业的利润空间；当 $\dfrac{c(\eta)}{\eta} > C_m$ 时，可以得到：$\dfrac{\partial TC^{\mathrm{CEM}}}{\partial E_p} > 0$，$TC^{\mathrm{CEM}}$ 关于 E_p 单调递增，因此必有 $E_p = 0$。其经济意义在于：企业采用净化处理方式的成本，要比从碳交易市场直接购买碳排放权更高，生产商不会选择净化处理碳排放物，所有的碳排放物都直接排放。如果企业拥有的碳排放权配额不足以应对消耗或者还存有剩余，则均通过碳交易市场购买或者出售。目前的实际情况并非如此，故本研究对该种情况也不予考虑。现仅就第一种情况进行深入分析。

在碳排放权交易政策下，企业实现最优生产时的碳排放总量为

$$TE_{(1)}^{\mathrm{CEM}} = 1/2g_2Rd^{-1}(2RC_3(C_1+C_2)d)/((d-R)C_1C_2 + C_m(C_1+C_2)g_2(R-2\eta d) + 2c(\eta)g_2(C_1+C_2)d)^{\frac{1}{2}}。\tag{14}$$

5 仿真分析

钢铁行业是我国重点碳排放行业，将成为碳排放权交易市场建设的重要参与者。本研究选取钢铁企业作为研究对象，由于钢铁厂生产工艺和所选原料的不同，难以精确度量每单位钢铁的碳排放量。由此，本研究通过分析相关文献及实地走访调研，获得钢铁企业的生产数据，再结合数值模拟仿真来验证模型的可行性与合理性，关于模型的主要参数及取值见表 1。为了说明碳排放交易价格 C_m、企业生产活动中的碳足迹参数，以及生产企业对碳排放物的净化处理水平 η 等参数对企业生产决策的影响，下面分别对企业生产过程中的各项参数做仿真分析（分别见图 1～图 7）。

表 1 模型主要参数及数值来源

参数	符号	取值	单位	数据来源
产品生产速率	d	15	万吨/天	根据 X 钢铁企业
产品需求速率	R	10	万吨/天	年度报告估算
单位库存成本	C_1	2	万元/万吨	
单位缺货成本	C_2	1	万元/万吨	
单位生产准备成本	C_3	50	万元/万吨	
单位产品生产成本	C_4	3 000	万元/万吨	
单位产量生产碳排放量	g_2	2.2	万吨	文献[19]
政府的碳排放权配额	E_g	20	万吨/天	
单位碳排放权市场价格	E_m	40	元/吨	文献[20]
碳排放物的净化水平	η	0.3	—	—

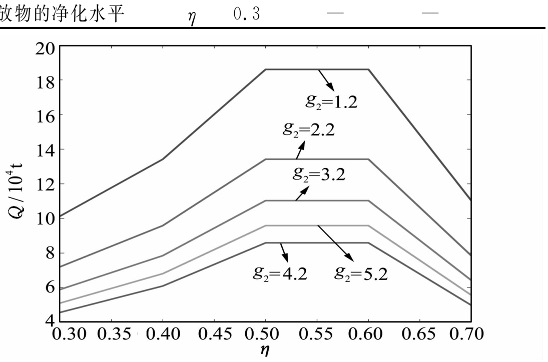

图 1 生产产量与碳排放处理水平的关系

由图 1 可知：碳排放净化处理水平越高的企业，在未来的竞争中会越具有优势，企业会扩大生产规模，其经济生产批量不小于碳排放净化处理水平低的企业。此外，企业在生产的过

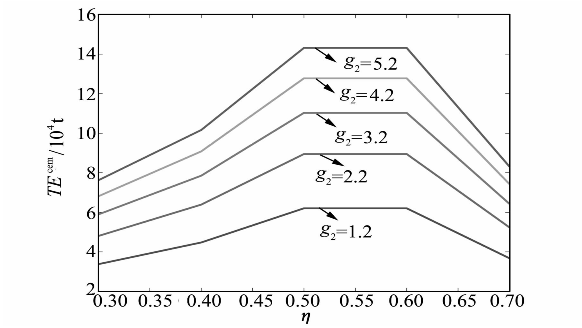

图 2　总碳排放量与碳排放处理水平的关系

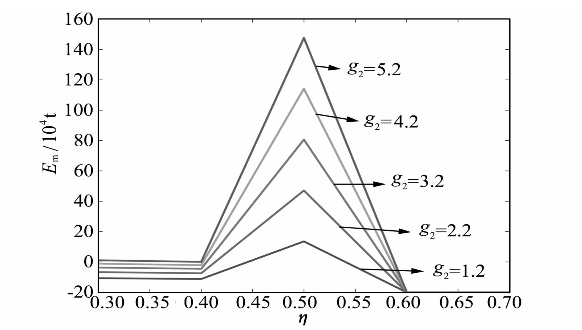

图 3　碳排放权交易量与碳排放处理水平的关系

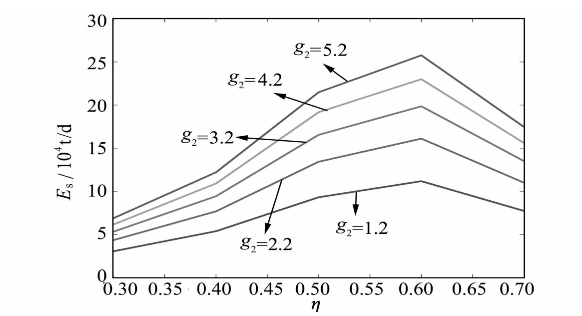

图 4　碳排放权节约与碳排放处理水平的关系

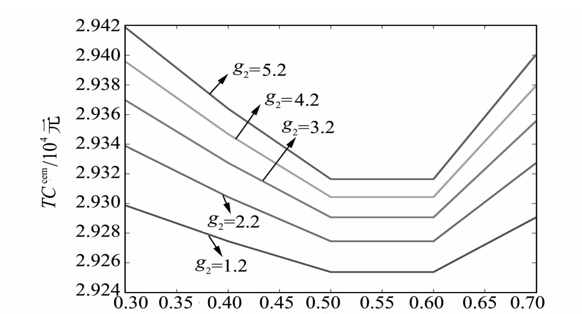

图 5　企业总成本与碳排放处理水平的关系

程中，碳排放净化处理水平存在阈值，在达到这个阈值之前，随着碳排放净化水平的提高，企业生产产量在上升，说明在初期，生产过程中边际碳排放成本小于碳排放的净化处理成本，企业增加生产规模。由图 2 可知：虽然碳排放净化处理水平提高了，但随着产量的提高，总碳排放量也缓慢提高，说明碳排放净化处理水平的阈值并没有在生产的初期达到；但是当超过阈值之后，企业成本过高，负担过重，缩减生产规模，生产产量和碳排放的总量下降速度都较快。

碳排放净化处理水平和碳排放权交易市场的影响机理比较复杂（分别见图 3 和图 4）。开始，碳排放净化处理水平很低时，生产过程中的碳排放都需要从碳排放权交易市场购入才能满足生产排放，此时，企业生产获利远低于碳排放权购买成本，对企业而言，更可行的途径是停止生产，出售碳排放权获取一定利润；随着碳排放净化水平的提高，企业可以支付生产过程中的碳交易成本，甚至可以通过碳交易市场进一步获取利润；但是，由于碳排放净化水平阈值的存在，处理成本急剧上升，此时，企业的边际碳减排成本会远高于企业生产获利与碳排放权交易获利。

在碳排放权限额与交易的政策背景下，每个企业都有一定的合理区域，能实现碳排放净化处理水平和碳排放权交易的均衡，此时，企业的内部生产约束与外部因素为最佳匹配（见图 5），企业的生产成本达到最优。

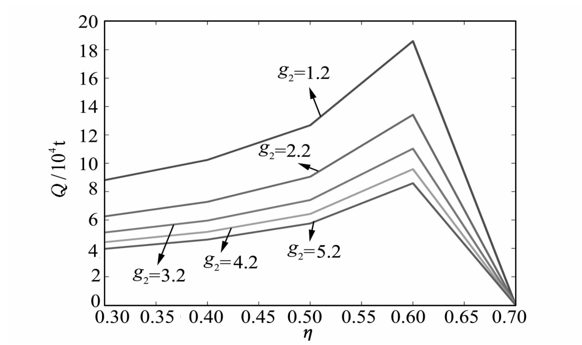

图 6　生产产量与碳排放权交易价格的关系

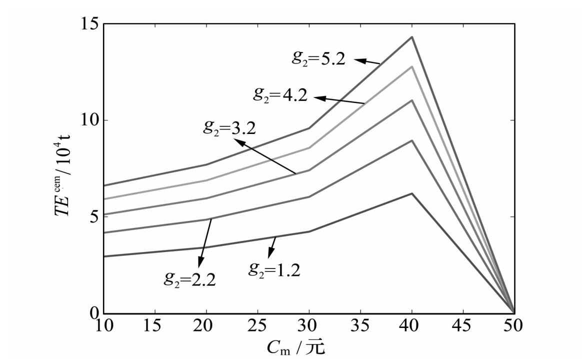

图 7　总碳排放量与碳排放权交易价格的关系

由图 6、图 7 可知：当碳排放权交易价格较低时，企业对碳排放权价格不够敏感，企业生产的产量与碳排放量变化不够明显；当碳排放权交易价格增加到一定程度时，碳排放权配额的边际利润增大，对企业生产贡献较大，此时，企业的生产产量和碳排放量有明显增加；当碳排放权交易价格达到或超过一定阈值后，碳排放权交易的边际成本相对较高，企业生产获利远低于碳排放权交易成本，其最优决策是降低生产规模，把多余的碳排放权初始配额出售获利。

更为重要的是，当生产企业净化处理水平低，且单位生产碳排放较高时，生产企业会因为一方面产品的产量低，另一方面碳排放权购买量大的双重压力而负担过重导致亏本，甚至出现经营困难；但当单位碳排放量较低时，生产企业又可以通过出售多余的碳排放权来获得更高的利润。由此，碳排放权交易政策会加速碳排放依赖型生产企业的转型升级，但必须科学设置碳排放权交易价格，不能过高也不能过低，这样不仅可以促进企业生产技术的转型升级，也会促进碳交易市场的健康发展。

6 研究结论

通过研究碳排放净化处理水平，以及碳排放权交易市场等因素对企业的生产策略和利润的影响，结合钢铁企业的生产实际，得出如下研究结论：①在碳排放权交易政策条件下，企业的经济生产批量由企业自身净化处理成本及碳交易市场上的交易价格共同决定。碳排放净化处理水平高的企业经济生产批量不小于净化处理水平低的生产企业。碳排放净化处理技术更好的企业会更加适应碳排放权限额交易政策。②碳排放权交易价格影响企业生产决策的机制比较复杂。碳排放权交易价格过低或者过高对企业生产决策都有不利影响，但该价格如果设置合理，不仅能促进企业碳排放净化处理技术的转型升级，也可促进碳排放权交易市场的健康发展。③碳排放权限额与交易政策下，企业实现经济批量生产时的碳排放总量，不高于无碳排放权限额条件下企业实现最优生产时的碳排放总量。碳排放权限额与交易政策可以在一定程度上促进碳排放总量的控制。④企业对碳排放物的处理净化水平 η 存在极限值，当 $\eta\in[0,\eta^*]$ 时，企业的总成本和 η 负相关；当 η 超过该临界值 η^* 时，企业的总成本急剧增加，此时，碳排放净化处理的边际成本远高于企业生产获利。⑤碳排放权交易政策下，对于净化处理技术相对先进的企业，随着碳排放权交易价格 C_m 的升高，企业的总成本会一直下降，企业可以通过碳排放权交易获得更多的利润；但是，对于净化处理技术相对落后的企业，会有双重压力，成本的增加和获利渠道的减少，会导致企业经营更加困难。

参 考 文 献

[1] 叶同，关志民，赵莹，等. 广告和低碳竞争下基于低碳商誉的供应链动态优化与协调[J]. 管理学报，2018，15(8)：1 240-1 248.

[2] 徐莹，张雪梅，曹柬. 雾霾背景下政府监管与交通企业低碳行为演化博弈[J]. 系统管理学报，2018，27(3)：462-469，477.

[3] HAHN R W. Market Power and Transferable Property Rights[J]. Quarterly Journal of Economics，1984，99(4)：753-765.

[4] WESTSKOG H. Market Power in a System of Tradable CO_2 Quotas[J]. Energy Journal，1996，17(3)：85-103.

[5] MALIK A S. Further Results on Permit Markets with Market Power and Cheating[J]. Journal of Environmental Economics and Management，2002，44(3)：371-390.

[6] MALUEG D A. Welfare Consequences of Emission Credit Trading Programs[J]. Journal of Environmental Economics and Management，1990，18(1)：66-77.

[7] SARTZETAKIS E S. Tradeable Emission Permits Regulation in the Presence of Imperfectly Competitive Product Markets：Welfare Implications[J]. Environmental and Resource Economics，1997，9(1)：65-81.

[8] HUNG N M，SARTZETAKIS E S. Cross-Industry Emission Permits Trading[J]. Journal of Regulatory Economics，1998，13(1)：37-46.

[9] CHAO H，PECK S. Greenhouse Gas Abatement：How Much? and Who Pays? [J]. Resource and Economics，2000，22(1)：1-20.

[10] MEUNIER G. Emission Permit Trading between Imperfectly Competitive Product Markets[J]. Environmental and Resource Economics，2011，50(3)：347-364.

[11] 林健，王宇露. 碳排放权、碳资本与企业碳竞争优势培育[J]. 能源技术经济，2012，24(3)：59-65.

[12] 李凯杰，曲如晓. 碳排放配额初始分配的经济效应及启示[J]. 国际经济合作，2012(3)：113-115.

[13] 侯玉梅，潘登，梁聪智. 碳排放权交易下双寡头企业生产与减排研究[J]. 商业研究，2013(1)：176-182.

[14] 何大义，马洪云. 碳排放约束下企业生产与存储策略研究[J]. 资源与产业，2011，13(2)：63-68.

[15] 章文燕. 低碳经济下的供应链协同研究[J]. 统计与决策，2011(12)：72-74.

[16] 魏守道，周建波. 碳税政策下供应链低碳技术研发策略选择[J]. 管理学报，2016，13(12)：1 834-1 841.

[17] 程东伟，穆东，马婷婷. 混合碳政策下供应链减排决策优化[J]. 系统管理学报，2017，26(5)：947-956.

[18] 杜少甫，董骏峰，梁樑，等. 考虑排放许可与交易的生产优化[J]. 中国管理科学，2009，17(3)：82-86.

[19] 赵艺伟，左海滨，佘雪峰，等. 钢铁工业二氧化碳排放计算方法实例研究[J]. 有色金属科学与工程，2019，10(1)：34-40.

[20] 叶泽，何姣，周鑫，等. 发电行业碳排放权初始配额分配的双层规划模型[J]. 系统工程，2018(11)：140-146.

（编辑 丘斯迈）

通讯作者：肖汉杰(1987～)，男，湖北鄂州人。湖州师范学院(浙江省湖州市 31300)商学院讲师，博士。研究方向为技术管理与创新。E-mail：hanjiesmile@163.com