



TN:



Location: RECAP

Call #: HD70.C5 Z47

Barcode:



SEND TO:

***WEB:**

docdeliv@ipfw.edu

Borrower:



HV6 - Indiana Purdue

University Library

Document Delivery Services



ILL# 107151350



Lender String: *ZCU,ZCU

Patron: Wellington, John

Maxcost: 20.00IFM

Title: Zhongguo guan li ke xue ; Zhong guo guan li ke xue =
Chinese Journal of Management Science.

Volume: 17

Issue: 3

Month/Year: 2009

Pages: 81-86

ILL - RECAP

Columbia University Libraries

400 Forrester Road

Princeton, NJ 08540

Article Author: Du, S. F., Dong, J. F., Liang, L., Zhang, J. J.

Article Title: Optimal production policy with emission permits
and trading

880-02 Beijing ; 'Zhongguo guan li ke xu

****Supplied by ReCAP****

**Any request for resubmission must
be received within 5 business days**

recapils@princeton.edu

or

609-258-7614

NOTICE:

THIS MATERIAL MAY BE PROTECTED
BY COPYRIGHT LAW
(TITLE 17 U.S. CODE)

324242
5

SUPPLIED BY: ReCAP - COLUMBIA UNIVERSITY

TN: 450389 7/22/13

考虑排放许可与交易的生产优化

杜少甫,董峻峰,梁 樑,张靖江

(中国科学技术大学管理学院,安徽合肥 230026)

摘 要:本文旨在研究排放许可与交易激励对排放依赖性企业生产策略的影响。生产者可通过二种渠道获得排放许可:政府配给、市场交易和净化处理,并在不同渠道间取得平衡。本文分析了净化处理成本的特点,分别预确定净化水平与可控净化水平,情况展开讨论,建立企业生产优化模型,得到了有排放限额下的最优生产策略。通过分析模型,得到了优先选择净化处理的充分必要条件,即“存在净化空间”,此外还证实了策略策略的唯一存在性。最后通过数值分析说明了本文模型的应用,并采用灵敏度分析对参数影响加以分析。

关键词:排放许可;交易;减排;净化;生产策略
中图分类号:F253.4;F224 **文献标识码:**A

1 引言

现代化进程的推进伴随着有毒排放物的大幅增加,所带来的环境危害也明显增加。最典型的例子是,二氧化碳排放(简称“碳排放”)已被证实是近年来全球气温上升的主要祸首之一。2005年正式生效的国际公约《京都议定书》设定了“减排机制”,针对每个国家或地区设定减排限额,允许“排放权交易”,难以完成减排目标的国家或地区可向超额完成的国家或地区购买,只计“净排放量”,即实际排放量扣除被森林吸收的部分^[1]。

在公约设定的减排目标下,各国/地区必须将减排目标分解落实到微观企业层面,针对有关企业制定相应的配额和交易政策。如2008年4月,香港立法会审议由环境保护署提交的《2008年空气污染管制(修订)条例草案》,针对电力行业制订了减排计划与相关措施,并明确提出将促进排放许可交易^[2]。排放权交易是在排放限额的基础上进行的直接管制与经济激励相结合的减排手段^[3]。排放权配额成为生产要素,排放依赖性企业会根据配额自我规范,超标

者需借助排放许可交易市场向其它企业或绿化组织购买额外排放许可,否则将会受到法律制裁,而通过生产或净化环节的技术革新而获得排放许可节约的企业则可借助市场交易平台获取额外收益。

目前排放权交易相关研究主要停留在宏观层面,如经济体间的排放权双边交易规则;各经济体在既定规则下如何展开博弈,制定单边政策;排放交易和减排政策对国家或行业的经济影响等。针对电力行业,Monica和Francesco研究了在欧盟现行的排放权交易机制下,碳排放交易价格对于电力市场定价策略的影响,并且比较了在市场方(Market Power)环境和完全竞争环境(Perfect Competition)下这种影响的差异^[4]。Kara等人则以芬兰为例,讨论了欧洲碳排放交易对于电力市场以及电力用户的影响^[5]。Tiskalakris和Hatziaerghiou比较分析了在允许和不允许碳排放交易情况下分布式发电的环境效益^[6]。Damon和Phillippe则以钢铁工业为例探讨了欧洲碳排放交易机制对于该行业生产和收益的影响^[7]。在国与国双边交易与竞争方面,Rohdanz和Tol建立了两国博弈模型,分析温室气体排放权双边交易下的单边政策制定问题^[8]。Bernard等人则用动态博弈方法分析了俄罗斯与发展中国家如中国之间在碳排放交易市场的竞争,并且与垄断环境下的交易进行了比较^[9]。其他一些学者,如Cramton和Kerr,Knuti,Stromkhone和Roos等也分别从不同角度分析了排放交易对于不同行业和国家的影响^[10-12]。

到目前为止,鲜有文献从微观角度对排放许可与

收稿日期:2008-06-16;修订日期:2008-12-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70625001),
国家自然科学基金杰出青年基金(70625001)

作者简介:杜少甫(1980-),男,汉族,安徽霍山人,中国科学技术
大学管理学院,博士,讲师,研究方向:供应链管理、博弈
论、决策分析。

交易进行研究,较有代表性的如:Bode以欧洲电力行业为背景对象,考虑多周期、有排放许可与交易情况下的排放权在各期的分配计划问题^[1]。在排放权成为企业的一种资产和生产要素时,企业运作的诸多方面尤其是生产上将受到显著影响,从微观层面对此问题展开讨论是必要的。本文将以单个排放权企业为例,分析在给定排放限额和允许排放权自由交易情况下的最优生产决策问题。

2 基本假设与参数

本文考虑政府配额、市场交易和净化处理三种排放权来源,以及单周期生产、单排放物情形,如图1所示。

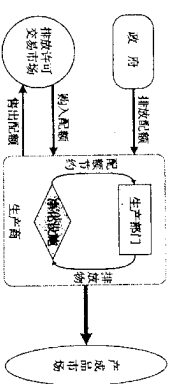


图1 带排放许可与交易的生产

结合现实情况,我们作出如下假设:

- (1) 排放权自由交易,考虑到绿化造林组织期有较大排放供应能力,可认为在一定范围内排放权市场供应充足;
- (2) 所虑行业是带垄断或寡头性质的高排放行业,如能源、化工、电力等,产品市场售价由产量决定。本文考虑线性反需求函数^[14];
- (3) 在确定技术水平下,单位产量产生的排放量一定;
- (4) 排放物可经净化处理,并获得排放权节约,净化成本 $c(a)$ 随净化水平 a 的上升而加速上升,见图2。这与现实情况是吻合的。

本文所涉及的主要参数符号汇总如下:

E_p : 来自政府的排放许可配额;

q : 生产商拟生产的产成品总量,决策变量;

$E(q)$: 完成生产的实际排放量,是产量 q 的函数,不失一般性,本文考虑单位产量的排放量为 e , 即 $E(q) = eq$;

c_m : 排放许可交易市场单位排放权的交易价格;

E_p : 通过市场交易获得的排放权, $E_p > 0$ 为购入, $E_p < 0$ 为售出;

$p(q)$: p 为成品市场售价,由产量决定。考虑线性反需求函数 $p(q) = K - aq$;

α : 排放处理的净化水平,即,单位排放量净化后所得到的排放许可节约, $0 \leq \alpha < 1$;

$c(a)$: 在净化水平 a 下的单位净化处理成本,连续可微,且满足 $c(0) = 0, c'(1) = +\infty, c'(a) > 0, c''(a) > 0$;

F_p : 被净化处理的排放物,决策变量, $0 \leq E_p \leq E(q)$;

E_p : 通过净化处理所获得的净排放权节约, $E_p = E(q) - \alpha F_p$ 。

3 优化模型

本文旨在讨论排放许可对生产企业产量决策问题,故只须考虑排放相关成本——排放许可采购成本和净化处理成本,而其他成本则可忽略,这不会对分析结果带来影响。则生产商净收益为

$$\pi = qp(q) - c_m E_p - c(a) E_p \quad (1)$$

生产商的排放许可主要来自三种渠道:政府配额 E_p , 净化处理获得的排放权节约 E_p , 和排放权市场购入部分 E_m , 最终排放量不会超过总排放权, 即

$$E(q) \leq E_p + E_m + F_p \quad (2)$$

而排放权可通过市场自由交易,则单期情形下,一旦排放权有盈余,生产商会投放到交易市场出售。从而上述不等式即转换成

$$E(q) = E_p + E_m + F_p \quad (3)$$

从而生产商需通过市场购入排放权 E_m 为(若为负,则表示售出)

$$F_p = E(q) - E_p - F_p = E(q) - E_p - \alpha F_p \quad (4)$$

将式(4)代入到(1)式中可得:

$$\pi = qp(q) - c_m [E(q) - E_p - \alpha F_p] - c(a) E_p \quad (5)$$

让我们分析政府配额以外的两种排放许可获取途径:若以净化水平 a 处理 F_p 单位排放物,净化处理成本为 $c(a) F_p$, 可节约 αE_p 单位排放权, 换言之,

之,以净化方式获取单位排放权节约的成本为 $c(a)/\alpha$;若从排放权交易市场购买,单位排放权的采购成本则为 c_m 。

3.1 确定净化水平

当生产商的排放权净化水平 a 固定时,分析 π 与 E_p 间的关系, $E_p \in [0, E(q)]$

(1) 若 $c(a)/\alpha < c_m$, 从式(5)中可以看出 $\frac{\partial \pi}{\partial E_p} > 0$, 关于 E_p 单调递增,则有 $E_p = E(q)$, 其管理意义在于,净化处理方式比市场购买方式成本更低,或从出售排放权角度看就是存在利润空间,生产商会优先选择净化处理所有排放物,不足部分则从交易市场购入,盈余部分则投放交易市场赚取差价。在此情况下,式(4)应重新表述为

$$E_m = (1 - \alpha)E(q) - F_p \quad (6)$$

进而有

$$\pi = qp(q) - [c_m(1 - \alpha) + c(a)]E(q) + c_m E_p \quad (7)$$

生产商会针对产量 q 作出最优决策以最大化其利润水平,式(7)关于 q 的一阶条件为

$$\frac{\partial \pi}{\partial q} = p(q) + qp'(q) - [c_m(1 - \alpha) + c(a)]E(q) = 0 \quad (8)$$

不失一般性,本文考虑线性反需求函数 $p(q) = K - aq$ 与线性排放函数 $E(q) = eq$, 从而生产商最优产量为

$$q^* = \frac{K - [c_m(1 - \alpha) + c(a)]}{2a} \quad (9)$$

在此最优产量决策下,生产商净化处理的排放量,由此获得的排放权节约,通过排放权交易市场处理的许可差额或盈余以及最大利润水平分别为

$$E_p = \alpha q^*; E_m = \alpha q^*; E_p = (1 - \alpha)E(q^*) - E_p \quad (10)$$

若 $c(a)/\alpha > c_m$, 则有 $\frac{\partial \pi}{\partial E_p} < 0$, 关于 E_p 的单调递减函数,因此必有 $E_p = 0$ 。其管理意义在于,净化处理成本比从市场直接购买排放许可更高,生产商会选择净化处理方式,所有排放物都将直接排放,若政府配额不足以应对生产需要或者尚有盈余,均通过排放权交易市场购入或出售。在这种情况下,生产商收益保持式(11)的形式,从而最优产量 q^* 仍如式(13)所示,且

$$E_m = E(q^*) - F_p; E_p = 0 \quad (11)$$

表1汇总比较了不同净化水平下生产商的决策以及所取得的优化结果。

净化水平	$c(a)/\alpha \leq c_m$		$c(a)/\alpha > c_m$	
	q^*	E_p	q^*	E_p
可变的	$\frac{K - [c_m(1 - \alpha) + c(a)]}{2a}$	$\frac{c(a)E_p}{\alpha}$	$\frac{K - c_m e}{2a}$	0
固定的	$\frac{K - [c_m(1 - \alpha) + c(a)]}{2a}$	$\frac{c(a)E_p}{\alpha}$	$\frac{K - c_m e}{2a}$	0
固定的	$\frac{K - [c_m(1 - \alpha) + c(a)]}{2a}$	$\frac{c(a)E_p}{\alpha}$	$\frac{K - c_m e}{2a}$	0
固定的	$\frac{K - [c_m(1 - \alpha) + c(a)]}{2a}$	$\frac{c(a)E_p}{\alpha}$	$\frac{K - c_m e}{2a}$	0

在很多情况下,净化处理水平是可变的。例如,在相同的净化处理设施中,若对排放物进行多次净化处理,显然会获得比单次处理更高的净化水平,所以

3.2 可变净化水平

获得的排放权节约也就越多,但每增加一次净化处理会发生更多的处理成本,排放权节约增量也会有所下降。生产商会选择在成本增加和排放权节约间权衡,选择最有利的净化处理水平。

获得的排放权节约也就越多,但每增加一次净化处理会发生更多的处理成本,排放权节约增量也会有所下降。生产商会选择在成本增加和排放权节约间权衡,选择最有利的净化处理水平。

净化水平可变动情况, α 就成为 $[0, 1)$ 区间内的决策变量。若记 $f(\alpha) \equiv c_m \alpha - c(\alpha)$, $D \equiv \{ \alpha \mid f(\alpha) > 0, \alpha \in (0, 1) \}$, 则集合 D 的管理意义就是净化处理优于市场交易的净化水平范围, 不妨称之为“净化空间”, 即图 3 所示的 $(0, \alpha_0)$ 区间。若 $D = \emptyset$, 即可行区间内的任意 α 均不满足 $c(\alpha)/\alpha < c_m$, 则生产商不会选择净化处理, 生产商收益与 α 无关, 无须针对 α 作出决策; 若 $D \neq \emptyset$, 即存在 $\alpha \in (0, 1)$ 使得 $c(\alpha)/\alpha < c_m$ 成立, 回顾式(7)和式(11)可知, D 内的 α 必优于 D 范围外的 α , 因此生产商必然会在 D 内针对净化水平作出优化决策。

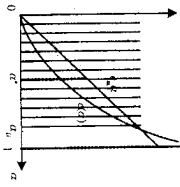


图 3 c_m 与 $c(\alpha)$ 曲线比较(带净化空间)

命题 1: 净化空间存在的充分必要条件是 $c'(0) < c_m$ 。

证明: 见附录 A。

命题 2: 若存在净化空间, 则函数 $f(\alpha)$ 存在唯一极大值, 且对应的 α^* 必在净化空间内。

证明: 见附录 B。

根据式(7)并结合命题 2 可知, 若存在净化空间, 则最优净化水平就是 α^* , 且 $f(\alpha^*) = 0$, 即 $c'(\alpha^*) = c_m$ 。若记 ξ 为 $c'(\alpha)$ 的反函数, 则唯一最优净化水平为

$$\alpha^* = \xi(c_m) \quad (16)$$

将式(16)代入表 1 中的对应公式可得到生产商在不同情况下的最优产量 q^* 、净化处理量 E_1^* 、排放权市场交易量 E_2^* 以及由此所获最大收益 π^* 。

通过第 2 部分的分析可知, 满足 $c'(0) = 0$, $c(1) = +\infty$, $c(\alpha) > 0$, $c'(\alpha) > 0$ 的 $c(\alpha)$ 皆为可行的净化处理成本函数, 具体函数形式因现实情况而异。不妨以特例情形 $c(\alpha) = c_0 \alpha / (1 - \alpha^2)$ 对上述结论进一步展开讨论。此时, $c'(\alpha) = c_0 / (1 - \alpha^2)^2$, $c'(0) = c_0$, 且 $c'(\alpha)$ 的反函数 $\xi(x) = 1 - \sqrt{c_0/x}$ 。在这种情景下, 净化空间 $D = (0, 1 - c_0/c_m)$, 当 $c_0 < c_m$ 时存在净化空间, 这与命题 1 相吻合。则当 $c_0 < c_m$ 时, 生产商会对所有排放物净化处理, 最优净

化水平为

$$\alpha^* = \xi(c_m) = 1 - \sqrt{c_0/c_m} \quad (17)$$

相应地, 最优产量、净化处理的排放量、通过市场交易处理的排放量以及最大利润水平分别为

$$q^* = \frac{K + c_m - 2c_0 \sqrt{c_0/c_m}}{2a} \quad (18)$$

$$E_1^* = \frac{K + c_m - 2c_0 \sqrt{c_0/c_m}}{2a} \quad (19)$$

$$E_2^* = \frac{K \sqrt{c_0} (2 \sqrt{c_0/c_m} - \sqrt{c_0})}{2a \sqrt{c_m}} - F_2 \quad (20)$$

$$\pi^* = \frac{(K + c_m - 2c_0 \sqrt{c_0/c_m})^2}{4a} + c_m E_2^* \quad (21)$$

当 $c_0 \geq c_m$ 时, 由于净化处理方式并不比排放许可市场交易更经济, 因此生产商不会净化处理排放物, 相应结果仍如表 1 所示。

4 数值分析

为了说明本文模型的应用, 我们提供一个可控净化水平情况下的数值分析。若排放权政府配额 $E_1 = 100$, 单位产量排量为 $a = 1.5$, 排放许可的市场交易价格 $c_m = 40$, 产成品反需求函数 $p(q) = 150 - 0.5q$, 净化处理成本函数 $c(\alpha) = 18\alpha / (1 - \alpha^2)$ 。由于 $c_0 < c_m$, 则存在净化空间, 即 $(0, 0.6)$ 区间。生产商会对所有排放物作净化处理, 最优净化水平为 $\alpha^* = 1 - \sqrt{0.4} \approx 36.75\%$, 最优产量为 $q^* \approx 98.11$, 将被处理的排放总量为 $E_1^* = 147.16$ 单位, 所获的排放许可节约为 $E_2^* = 54.09$ 单位。为了满足生产需要, 生产商尚需从交易市场购买 $E_2 = 38.98$ 单位排放权。这样, 生产商收益水平达到最大, 即 $\pi^* = 8812.33$ 。若政府提高排放权配额为 150, 那么政府配额以及通过净化处理所获的排放权节约能够满足生产需要, 且还盈余 8.71 单位排放权投放到交易市场出售。

若保持上述其它参数不变, 而排放权交易价格降为 $c_m = 15$ 。由于 $c_0 > c_m$, 不存在净化空间, 生产商不会对排放物作净化处理。最优产量为 $q^* = 127.5$, 需从交易市场购买 $E_2^* = 91.25$ 单位排放权才可能应对生产所需。此时, 生产商收益水平达到最大, $\pi^* = 9628.123$ 。

为了进一步研究排放权交易价格 c_m 、净化处理成本参数 c_0 以及单位产量排放量 a 对企业决策及优化结果的影响, 我们针对三个参数作灵敏度分析

(如表 2~4 所示)。结果显示: (1) 随着排放权交易价格 c_m 的降低, 企业利润先降后增, 净化水平逐渐减小直至不选择净化而全部采用购买方式弥补排放权差额, 而产成品产量则一直处于增长状态, 企业由卖出多余排放权转变为买入排放权; (2) 随着 c_0 的下降, 企业利润先增后降, 净化水平从无到有直至逐渐增大, 企业由买入排放权转变为卖出排放权, 而产成品产量一直增大; (3) 随着单位产量排放量 a 的降低(比如技术进步), 最优产量及利润水平都会逐渐增大, 净化水平则不受影响, 企业先是卖出排放权, 再是买入排放权, 最后卖出排放权。

表 2 排放权交易价格变动对企业决策及优化结果的灵敏度分析

c_m	α^*	q^*	E_1^*	E_2^*	π^*
45	0.4037	93.50	140.25	56.62	8871.27
40	0.3675	98.11	147.16	54.09	8812.34
35	0.3230	103.61	154.51	50.04	8805.23
30	0.2807	108.27	162.41	43.80	8851.55
25	0.2000	114.00	171.00	36.20	8998.00
20	0.1056	120.33	180.50	19.06	9250.18
15	-	127.50	0	0	91.25
10	-	135.00	0	0	10112.50

表 3 净化成本参数 c_0 变动对企业决策及优化结果的灵敏度分析

c_0	α^*	q^*	E_1^*	E_2^*	π^*
45	0	90.00	0	0	8000.00
40	0	90.00	0	0	9050.00
35	0.0546	90.25	138.25	26.53	8250.35
30	0.1340	91.08	136.62	18.30	8443.39
25	0.2091	92.63	138.95	9.85	8621.59
20	0.2929	95.13	142.72	0.82	8782.95
15	0.3876	99.02	148.52	57.57	8808.00
10	0.5000	105.00	157.50	78.75	8587.50

表 4 单位产量排放量变动对企业决策及优化结果的灵敏度分析

a	α^*	q^*	E_1^*	E_2^*	π^*
3.0	0.3875	46.21	138.63	50.55	5067.71
2.5	0.3675	58.31	138.77	58.36	6016.69
2.0	0.3495	80.81	141.51	64.89	7254.89
1.5	0.3495	98.11	147.16	54.09	8812.33
1.0	0.3875	116.40	153.40	42.42	10056.09
0.5	0.3875	132.70	162.35	24.39	12804.90

5 结论

本文考虑单周期、单排放情形, 无论是因生产规模较大带来的排放许可不足, 还是因生产规模较小而出现排放许可盈余, 均可通过交易市场解决。分别研究了净化水平确定和可控两种情况, 在确定情况下, 生产商须根据不同净化水平条件制定最优产量和最优净化量; 而在可控情况下, 净化水平则也成为决策变量, 生产商须制订产量、净化水平和净化水平的最佳组合。通过分析模型, 得到了优先选择净化处理的充分必要条件, 即“存在净化空间”, 此外还证实了最优策略的唯一存在性。

本文是将排放许可与交易纳入到微观企业层面考虑以研究其影响的初步尝试, 尚有许多值得研究

的问题, 如: 允许排放许可跨期使用的多周期问题、产品需求随机情况下排放许可交易契约问题、考虑规模经济的非线性排放因素等。

附录

A. 命题 1 证明:
 (1) 用反证法证明充分性: 若 D 为空, 即对任意 $\alpha \in (0, 1)$ 均有 $f(\alpha) \leq 0$, 即 $c(\alpha)/\alpha \geq c_m$, 则有 $\lim_{\alpha \rightarrow 0} [c(\alpha)/\alpha] \geq c_m$ 。由于 $c(\alpha)$ 连续可微, 则有 $\lim_{\alpha \rightarrow 0} [c(\alpha)/\alpha] = \lim_{\alpha \rightarrow 0} c'(\alpha) = c'(0) \geq c_m$ 。这与条件 $c'(0) < c_m$ 不符, 充分性得以证明。
 (2) 用反证法证明必要性: 若 $c'(0) \geq c_m$, 由于 $f(\alpha) > 0$, 则对任意 $\alpha \in (0, 1)$ 均有 $c'(\alpha) > c_m$, 即有 $f'(\alpha) = c_m - c'(\alpha) < 0$, 而我们知道 $f(0) = c(0) = 0$, 从而对任意 $\alpha \in (0, 1)$ 均有 $f(\alpha) < 0$ 。这与“集合 D 非空”条件不符, 必要性得以证明。

B. 命题 2 证明:

(1) 假设存在性: 假设 $f'(a) = 0$ 在 $a \in (0, 1)$ 内有解. 从 $f(a)$ 定义易知 $f'(a) = c_a - c'(a)$. 由于 $c(a)$ 连续可微, 且 $c'(0) = 0, c'(1) = +\infty, c'(a) > 0, c''(a) > 0$, 则 $c'(1) = +\infty$, 从而 $f'(1) < 0$;

根据命题 1 可知, 若集合 D 非空, 必有 $c'(a) < c_a$, 则 $f'(a) = c_a - c'(a) > 0$.

应用中值定理可知, 必然存在 $a \in (0, 1)$ 使得 $f'(a) = 0$, 假设存在性得以证明.

(2) 极大值唯一性: 由 $c(a)$ 连续可微可知, $f(a)$ 也连续可微, 而 $f'(a) = c_a - c'(a) < 0$, 则 $f(a)$ 是关于 a 严格单调递减, 则 $f(a)$ 极大值唯一.

(3) 由于 $f(a) | a \in D > 0 \geq f(a) | a \in D$, 因此若 D 非空, 则 a^* 必在 D 内.

参考文献:

[1] Oberthur S., Ott, H. E., The Kyoto Protocol: International Climate Policy for the 21st Century [M]. Berlin/Heidelberg/New York, Springer, 1999.

[2] 香港环境保护署. 2008 空气污染防治管理(修订)条例草案 [Z]. 香港, 2008. http://www.legco.gov.hk/yr07-08/chinese/bills/bred/1b28_1st.pdf.

[3] 魏一鸣, 等. 中国能源报告(2008): 碳排放研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 134.

[4] Montez, B., Fatasco, G., Electricity pricing under "carbon emissions trading": A dominant firm with competitive fringe model [J]. Energy Policy, 2007, 35(8): 4200-4220.

[5] Kari, M., et al. The impacts of EU CO2 emissions trading on electricity markets and electricity consumers in Finland [J]. Energy Economics, 2008, 30(2): 193-211.

[6] Tskakakis, A. G., Hatzigeorgiou, N. D., Environmental benefits of distributed generation with and without emissions trading [J]. Energy Policy, 2007, 35(6): 3395-3409.

[7] Damien, D., Philippe, Q., European emission trading scheme and competitiveness: a case study on the iron and steel industry [J]. Energy Economics, 2007, 30(4): 2009-2027.

[8] Rehdanz, K., Tol, R. S. J., Unilateral Regulation of Behavioral Trade in Greenhouse Gas Emission Permits [J]. Ecological Economics, 2005, 54(4): 397-416.

[9] Bernardi, A., Haurie, A., Vellei, M., Vigster, L., A two level dynamic game of carbon emission trading between Russia, China, and Annex B countries [J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2007, 32(6): 1830-1856.

[10] Cramton, P., Kerr, S., Tradable carbon permit auctions: How and why to auction non grandfathered [J]. Energy Policy, 2002, 30(4): 333-345.

[11] Knut, E. R., Incentives and prices in an emissions trading scheme with updating [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2008, 56(1): 59-82.

[12] Strömliken, D., Kuos, I., GHG emission trading implications on energy sector in Baltic States [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, 13(4): 854-862.

[13] Bode, S., Multi-period emissions trading in the electricity sector - winners and losers [J]. Energy Policy, 2006, 34(6): 680-691.

[14] Michael, A. S., Monopoly, quality, and regulation [J]. The Bell Journal of Economics, 1975, 6(2): 417-429.

Optimal Production Policy with Emission Permits and Trading

DU Shao-fu, DONG Jun-ting, LIANG Liang, ZHANG Jing-fang

(School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: The paper focuses on the impact of emission permits and trading on the production policy for emission dependent firms. The firm might obtain emission permits in three different ways, i. e. government quota, market trade and purifying, and making a tradeoff between them. The characteristic of purifying cost is analyzed, based on it the cases of deterministic and variable purifying levels are investigated respectively. Then, an optimal production model with emission permits and trading is established. Additionally, a sufficient and necessary condition that the firm would prefer purification to trading is proposed, i. e. the so-called purifying domain is nonempty. Moreover, the existence and uniqueness of the optimal policy is guaranteed. Finally, a typical numerical example is employed to show the application of the model.

Key words: emission permits and trading; emission reduction; purifying; production policy