

# 碳补贴:生产企业 or 消费者?

——基于集中决策两级低碳供应链优化视角

杨仕辉<sup>1</sup>,付 菊<sup>1</sup>,杨景茜<sup>2</sup>

(1.暨南大学 经济学院,广东 广州 510632;

2.中国海洋大学 数学科学学院,山东 青岛 266100)

**摘 要:**文章基于两级低碳供应链视角,针对制造商主导情景,建立了碳补贴生产企业政策优化决策博弈模型,得到了均衡解,分析了供应链成员企业定价和减排优化策略,采用罗宾斯坦议价模型求得供应链协调均衡解;与碳补贴消费者政策进行比较,发现两种政策各有所长,没有绝对优劣之分,仅可以相互部分替代;基于总量控制和目标减排导向,给出了政府补贴消费者政策和补贴生产企业政策最优选择的边界条件,但政府两种政策都不能同时实现总量控制和目标减排。在此基础上,提出了相应的政策建议。

**关键词:**碳补贴生产企业政策;碳补贴消费者政策;低碳供应链;博弈

**中图分类号:**F742      **文献标识码:**A      **文章编号:**2095-929X(2017)02-0078-08

## 0 引 言

工业化时代,人类大量生产和消费工业化产品,导致大量的二氧化碳排放,对人类生存和可持续发展构成严重威胁,碳减排已成为世界各国面临的重大问题,为此,气候大会不仅积极促进碳减排谈判,各国也积极推进碳减排进程,并相继出台碳配额、碳税等碳减排政策,以加强对碳排放企业和消费者的正面引导,作为公共政策的补贴政策也被许多国家用于碳减排的推进。可是,究竟是将补贴给生产者(企业)还是给消费者,才能产生更好的碳减排效应?其次,政府补贴政策的碳减排效应究竟是从碳净减排量(即目标减排)还是从控制总排放量(即总量控制)来评价,会直接影响到政府补贴政策的选择,因此,政府补贴政策选择以及供应链企业如何应对是政府与企业共同面临的问题。本文拟建立一个分析框架对此进行分析。

现有研究主要体现在两方面:

第一,补贴给企业。绝大部分从政府对企业补贴的角度出发,分析政府与企业之间的博弈关系及政府政策对供应链的影响。Mitraa 和 Websterb<sup>[1]</sup>建立了一个两阶段博弈模型,研究三种补贴发放形式对再制造产品

修回日期:2016-09-14

**基金项目:**国家自然科学基金面上项目“环境倾销与环境管制的博弈分析、效应比较与策略选择”(71273114);国家自然科学基金重大项目“我国重点生态功能区市场化生态补偿机制研究”(15ZDA054)。

**作者简介:**杨仕辉,男,江西丰城人,暨南大学经济学院教授、博士生导师,研究方向:低碳供应链优化、气候政策与贸易政策,Email:yangshh@126.com;付菊,女,重庆人,暨南大学经济学院硕士生,研究方向:低碳供应链管理;杨景茜,女,广东广州人,中国海洋大学数学科学学院本科生,研究方向:数学建模。

的推广效果,并提出了新产品制造商和再制造产品生产商之间的补贴分享机制。孟卫军<sup>[2]</sup>在考虑研发溢出率的基础上,构建了补贴与研发三阶段博弈模型,从比较补贴效果的角度,研究政府在企业减排研发竞争与合作两种情形下的最优补贴问题。方海燕等<sup>[3]</sup>分析了政府对企业研发补贴和产品创新补贴的两种形式下,基于不同补贴策略的研发投入和社会福利水平。Xu 和 Zhou<sup>[4]</sup>构建了包含政府、家电生产企业和消费者的三方博弈模型,研究政府补贴对家电产业绿色供应链的影响。李友东等<sup>[5]</sup>从低碳研发投入产出的角度构建了制造商和零售商的利润模型,分析了低碳研发成本分摊系数和政府低碳补贴对供应链低碳化研发投入的影响。Shi 和 Bian<sup>[6]</sup>建立了政府补贴政策下收益共享契约和数量折扣契约的供应链协调模型,分析发现收益共享契约和数量折扣契约都能消除双重边际化效应,实现供应链协调。Caro 等<sup>[7]</sup>通过联合生产模型,研究分散和集中决策时的最优产量和供应链联合减排问题。

第二,补贴给消费者。消费者的低碳消费观念、习惯、行为偏好等都会影响到企业是否低碳生产。朱庆华和窦一杰<sup>[8]</sup>同时考虑消费者环境偏好和政府补贴政策,经过博弈分析,发现政府补贴政策对促进生产企业碳减排具有重要作用。Wang 和 Zhao<sup>[9]</sup>发现政府补贴零售商政策对生产商和零售商的产品定价、利润等具有作用。李媛和赵道致<sup>[10]</sup>、熊中楷等<sup>[11]</sup>分别探讨了碳税税率和消费者的低碳偏好对企业减排率和产品定价、单位产品碳排放量和供应链成员利润的不同影响。柳键和邱国斌<sup>[12]</sup>分析了制造商和零售商合作及非合作情景下政府补贴消费者政策的影响,但没有涉及碳减排效应。Wei 等<sup>[13]</sup>从消费者和企业的角度比较了政府实行消费补贴政策前后对双渠道闭环供应链影响的差异。Huang 等<sup>[14]</sup>借助燃料汽车供应链和电动车供应链,分析政府补贴消费者政策,会促进燃料汽车和电动汽车厂商的碳减排。杨仕辉和付菊<sup>[15]</sup>针对低碳产品两级供应链中上游制造商主导的情境,应用 Stackelberg 博弈理论分别建立了制造商和零售商在有无消费者补贴时的分散决策和集中决策博弈模型。分析发现,政府实施消费者补贴政策,供应链成员也能间接从补贴政策中获得利益,间接实现了补贴供应链企业政策的目的,且企业合作策略更优;当单位减排率补贴额满足一定条件时,能够实现供应链碳排放总量的降低和供应链的协调。

这些研究成果为政府实施补贴政策提供了科学依据,但是,这些研究没有回答究竟是将补贴给企业好,还是补贴给消费者更好? 其次,主要从供应链是否协调和是否实现了减排来评价,没有考虑政府补贴政策的动机——如目标减排还是总量控制? 到目前为止,也没有发现相关成果。本文的贡献在于借助低碳供应链分析框架,建立碳补贴给生产者 and 补贴给消费者博弈模型,从总量控制和目标减排两方面分析比较低碳补贴政策效果,为政府低碳补贴政策提供理论依据。

## 1 问题描述与模型假设

### 1.1 问题描述

考虑一条由上游制造商主导的制造商——零售商组成的两级供应链。为了减少供应链的碳排放总量,政府可以选择将制造商或消费者作为补贴对象,对其实施碳补贴,以此给低碳产品供应链以外部激励,发挥政策导向作用,发展低碳经济。如前文所述,现有文献多集中分析补贴企业的政策效应,也有少数研究关注补贴消费者的政策,但他们大多是在供应链上下游企业间力量不对等的分散和集中决策的对比分析框架下进行的。虽然企业市场势力有差异是一个现实,但是,经过很多文献研究证明,在面对政府的碳补贴政策时,供应链成员企业间的合作,能够实现更大的经济效益,集中决策相比分散决策而言,均是各企业更优的策略选择。因此,本文将探讨在企业选择集中决策时,政府究竟是实施补贴制造商还是补贴消费者的政策,会实现更好的政策效果。

### 1.2 符号说明

本文中的相关变量符号及其含义说明,见表 1。

1.3 模型假设

- (1)假设制造商为供应链的主导者,以批发价格  $w$  向零售商提供产品,零售商再以零售价格  $p$  出售产品给消费者;
- (2)不考虑制造商的边际成本、零售商的运营成本;
- (3)生产低碳产品的制造商提高碳减排量  $\xi$ ,相应的碳减排成本为  $C(\xi)$ ,满足  $C'(\xi)>0, C''(\xi)>0$ 。表明减排成本是关于减排量的增函数,边际减排成本递增。根据 Ma 等<sup>[16]</sup>和胡军等<sup>[17]</sup>的设定,不妨令  $C(\xi)=\beta\xi^2/2$ ;
- (4)根据徐春秋等<sup>[18]</sup>,将单位低碳产品补贴额与单位产品的碳减排量间的关系设定为: $\mu=s\xi$ ;
- (5)不考虑缺货和产品库存积压问题;
- (6)制造商和零售商进行集中决策,均追求供应链总利润最大化;
- (7)在没有补贴政策时,单位产品的碳排放量为单位 1。

表 1 符号定义

变量	含 义
$w$	单位产品批发价格
$p$	单位产品零售价格
$\xi$	单位产品碳减排量
$\mu$	单位产品补贴额
$\pi_m$	制造商的利润
$\pi_r$	零售商的利润
$\pi_{sc}$	供应链总利润
$TE$	供应链碳排放总量
$\Delta TE$	供应链碳减排量
$Q$	产品市场需求量
$p_0$	消费者支付的单位产品价格
$\beta$	减排难度系数
$s$	单位减排量补贴额
$C_1$	补贴制造商的集中决策
$C_2$	补贴消费者的集中决策
$B_1$	补贴制造商的分散决策
$B_2$	补贴消费者的分散决策

2 补贴制造商低碳优化决策模型

2.1 补贴制造商低碳优化分散决策模型

在政府补贴低碳产品制造商的分散决策时,政府、制造商、零售商构成了一个三阶段博弈:第一阶段,政府确定单位减排量补贴额  $s$ ;第二阶段,在给定  $s$  时,制造商确定产品的批发价格  $w$  和减排量  $\xi$ ;第三阶段,在  $(s, w, \xi)$  给定时,零售商确定产品的零售价格  $p$ 。此时,制造商和零售商的最优化问题为:

$$\begin{cases} \max_p \pi_r^{B_1}(p|s, w, \xi) = (p-w)(a-bp) \\ \max_{w, \xi} \pi_m^{B_1}(w, \xi) = (w+s\xi)(a-bp) - \beta\xi^2/2 \end{cases} \tag{1}$$

制造商的目标函数为 $\max_{w, \xi} \pi_m^{B_1}(w, \xi)$ ,  $H^{B_1} = \begin{bmatrix} -b & -bs/2 \\ -bs/2 & -\beta \end{bmatrix}$ 。当  $4\beta > bs^2$  时,  $|H_1^{B_1}| = -b < 0$ ,  $|H_2^{B_1}| = b\beta - (bs)^2/4 > 0$ ,所以  $H^{B_1}$ 是负定的,故  $\pi_m^{B_1}(w, \xi)$ 存在最大值。由一阶条件可求得补贴制造商政策下,分散决策的均衡结果,如表 2 所示。

表 2 不同情境下的均衡解

变量	补贴制造商		补贴消费者	
	分散式决策( $B_1$ )	集中决策( $C_1$ )	分散式决策( $B_2$ )	集中决策( $C_2$ )
$w^*$	$\frac{a(2\beta-bs^2)}{b(4\beta-bs^2)}$	$\frac{(1-\delta_2)w_{\min}^{C_1}+(1-\delta_1)\delta_2w_{\max}^{C_1}}{1-\delta_1\delta_2}$	$\frac{2a\beta}{4b\beta-c^2s^2}$	$\frac{(1-\delta_2)w_{\min}^{C_2}+(1-\delta_1)\delta_2w_{\max}^{C_2}}{1-\delta_1\delta_2}$
$\xi^*$	$\frac{as}{4\beta-bs^2}$	$\frac{as}{2\beta-bs^2}$	$\frac{acs}{4b\beta-c^2s^2}$	$\frac{acs}{2b\beta-c^2s^2}$

续表 2

变量	补贴制造商		补贴消费者	
	分散式决策 ( $B_1$ )	集中决策 ( $C_1$ )	分散式决策 ( $B_2$ )	集中决策 ( $C_2$ )
$p^*$	$\frac{a(3\beta-bs^2)}{b(4\beta-bs^2)}$	$\frac{a(\beta-bs^2)}{b(2\beta-bs^2)}$	$\frac{3a\beta}{4b\beta-c^2s^2}$	$\frac{a\beta}{2b\beta-c^2s^2}$
$p_0^*$	$\frac{a(3\beta-bs^2)}{b(4\beta-bs^2)}$	$\frac{a(\beta-bs^2)}{b(2\beta-bs^2)}$	$\frac{a(3\beta-cs^2)}{4b\beta-c^2s^2}$	$\frac{a(\beta-cs^2)}{2b\beta-c^2s^2}$
$Q^*$	$\frac{a\beta}{4\beta-bs^2}$	$\frac{a\beta}{2\beta-bs^2}$	$\frac{ab\beta}{4b\beta-c^2s^2}$	$\frac{ab\beta}{2b\beta-c^2s^2}$
$\pi_m^*$	$\frac{a^2\beta}{2b(4\beta-bs^2)}$	$\frac{a\beta(as^2+4\beta w^{C_1*}-2bs^2w^{C_1*})}{2(2\beta-bs^2)^2}$	$\frac{a^2\beta}{8b\beta-2c^2s^2}$	$\frac{a\beta[2b(2b\beta-c^2s^2)w^{C_2*}-ac^2s^2]}{2(2b\beta-c^2s^2)^2}$
$\pi_r^*$	$\frac{a^2\beta^2}{b(4\beta-bs^2)^2}$	$\frac{a\beta[a(\beta-bs^2)-b(2\beta-bs^2)w^{C_1*}]}{b(2\beta-bs^2)^2}$	$\frac{a^2b\beta^2}{(4b\beta-c^2s^2)^2}$	$\frac{ab\beta(a\beta-2b\beta w^{C_2*}+c^2s^2w^{C_2*})}{(2b\beta-c^2s^2)^2}$
$\pi_{sc}^*$	$\frac{a^2\beta(6\beta-bs^2)}{2b(4\beta-bs^2)^2}$	$\frac{a^2\beta}{2b(2\beta-bs^2)}$	$\frac{a^2\beta(6b\beta-c^2s^2)}{2(4b\beta-c^2s^2)^2}$	$\frac{a^2\beta}{4b\beta-2c^2s^2}$

注:本表补贴消费者政策的求解结果来源于文献[15]。

2.2 补贴制造商低碳优化集中决策模型

此时,以供应链总利润最大化为目标,决策变量为 $(p,\xi)$ ,最优化问题为:

$$\max_{p,\xi} \pi_{sc}^{C_1} = (p+s\xi)(a-bp) - \beta\xi^2/2$$

(2)

经计算得: $H^{C_1} = \begin{bmatrix} -2b & -bs \\ -bs & -\beta \end{bmatrix}$ ,当  $2\beta > bs^2$  时,  $H^{C_1}$  的一阶顺序主子式  $|H_1^{C_1}| = -2b < 0$ , 二阶顺序主子式  $|H_2^{C_1}| = 2b\beta - b^2s^2 > 0$ ,故  $H^{C_1}$  是负定的,由一阶条件可求解得补贴制造商政策下集中决策的均衡结果,如表 2 所示。

但是要达到集中决策的效果,必须满足各企业的参与约束,也就是说集中决策下的供应链所有企业的收益都要比分散决策下的收益要高,即:

$$\begin{cases} \pi_m^{C_1*} > \pi_m^{B_1*} \\ \pi_r^{C_1*} > \pi_r^{B_1*} \end{cases}$$

(3)

求解(3)式,得到补贴制造商集中决策时低碳产品最优批发价格  $w^{C_1*}$  为: $w^{C_1*} \in (w_{\min}^{C_1}, w_{\max}^{C_1})$ 。其中: $w_{\min}^{C_1} = \frac{a(2\beta^2-4b\beta s^2+b^2s^4)}{b(2\beta-bs^2)(4\beta-bs^2)}$ ,  $w_{\max}^{C_1} = \frac{a(12\beta^3-20b\beta^2s^2+8b^2\beta s^4-b^3s^6)}{b(4\beta-bs^2)^2(2\beta-bs^2)}$ 。

收益的合理分配是企业积极合作的保证,制造商会尽可能使  $w^{C_1*}$  逼近  $w_{\max}^{C_1}$ ,而零售商则希望  $w^{C_2*}$  更接近  $w_{\min}^{C_1}$ 。这里参考 Liu 和 Ding<sup>[19]</sup>、夏良杰等<sup>[20]</sup>的方法,采用罗宾斯坦讨价还价模型来确定低碳产品的最优批发价格  $w^{C_1*}$ ,从而得到制造商和零售商各自的企业利润。

根据假设,制造商主导供应链,令两个企业具有不对称的耐心程度<sup>[20]</sup>,分别用贴现因子  $\delta_1$  和  $\delta_2$  表示,且满足  $0 \leq \delta_i \leq 1, i=1,2$ 。耐心程度越高,贴现因子越大,说明该企业的风险厌恶程度越小,谈判能力更强。令  $\theta^* = (1-\delta_2)/(1-\delta_1\delta_2)$ ,且满足  $0 \leq \theta^* \leq 1$ ,  $\theta^*$  代表讨价还价后,制造商收益占供应链总收益的比例,则零售商收益比例为  $1-\theta^*$ 。罗宾斯坦讨价还价博弈有唯一的子博弈完美均衡,如果  $\delta_1$  和  $\delta_2$  已知,则低碳产品的最优批发价格  $w^{C_1*}$  应满足:

$$\frac{w_{\max}^{C_1} - w^{C_1*}}{w^{C_1*} - w_{\min}^{C_1}} = \frac{\theta^*}{1-\theta^*} = \frac{1-\delta_2}{(1-\delta_1)\delta_2}$$

(4)

求解(4)式,可以得到:

$$w^{C_1*} = \frac{(1-\delta_2)w_{\min}^{C_1} + (1-\delta_1)\delta_2 w_{\max}^{C_2}}{1-\delta_1\delta_2} \quad (5)$$

由表2的结果,可计算得补贴制造商集中决策时,供应链总体的碳排放量  $TE^{C_1}$  和碳减排量  $\Delta TE^{C_1}$ :

$$TE^{C_1} = (1-\xi^{C_1*})Q^{C_1*} = \frac{a\beta(2\beta-bs^2-as)}{(2\beta-bs^2)^2} \quad (6)$$

$$\Delta TE^{C_1} = \xi^{C_1*}Q^{C_1*} = \frac{a^2\beta s}{(2\beta-bs^2)^2} \quad (7)$$

### 3 政策效应比较与最优选择

为了比较补贴消费者政策和补贴制造商政策的优劣,将文献[15]的结果和本文的结果进行比较如下。

#### 3.1 政策效应比较

根据表2中的均衡结果,可以得到如下的命题:

命题1  $s^{C_1} \subset s^{C_2}$ ; 且当  $0 < s \leq \frac{\sqrt{a^2+8b\beta}-a}{2b}$  时,有  $\xi^{C_1*} > \xi^{C_2*}$  成立。

证明: 制造商的最优减排量  $\xi^{i*}$  ( $i=C_1, C_2$ ) 均需满足  $0 < \xi^{i*} \leq 1$ , 故  $s^{C_1} = (0, \frac{\sqrt{a^2+8b\beta}-a}{2b})$ ; 补贴消费者时,  $s$

的范围用集合表示为:  $s^{C_2} = (0, \frac{\sqrt{a^2+8b\beta}-a}{2c})$ , 由于  $b > c$ , 所以有  $s^{C_1} \subset s^{C_2}$ 。  $\xi^{C_1*} - \xi^{C_2*} = \frac{as(b-c)(2\beta+cs^2)}{(2\beta-bs^2)(2b\beta-c^2s^2)}$ , 根

据前文的假设, 有  $b > c, 2\beta > bs^2, 2b\beta > c^2s^2$ 。由于  $2\beta > bs^2$ , 可求解得到  $0 < s < \sqrt{2\beta/b}$ ;  $2b\beta > c^2s^2$ , 可得  $0 < s < \sqrt{2b\beta}/c$ ;

制造商的最优减排量  $\xi^{i*}$  ( $i=C_1, C_2$ ) 只能在集合  $s^{C_1}$  内比较大小, 因此  $0 < s \leq \frac{\sqrt{a^2+8b\beta}-a}{2b}$ 。比较上述  $s$  的3个范

围的临界值, 可知  $\frac{\sqrt{a^2+8b\beta}-a}{2b} < \sqrt{\frac{2\beta}{b}} < \frac{\sqrt{2b\beta}}{c}$ 。所以当  $0 < s \leq \frac{\sqrt{a^2+8b\beta}-a}{2b}$  时,  $\xi^{C_1*} - \xi^{C_2*} > 0$ , 命题得证。

命题1的含义是: 集中决策时, 补贴制造商时的单位减排量补贴额  $s$  的范围比补贴消费者时小; 当  $0 < s \leq \frac{\sqrt{a^2+8b\beta}-a}{2b}$  时, 补贴制造商带来的单位产品减排量比补贴消费者时的单位产品减排量要高。

命题2 当  $0 < s < \sqrt{\beta/b}$  时, 有  $p^{C_1*} < p^{C_2*}$  成立。

证明: 低碳产品的零售价格  $p^{C_1*} = \frac{a(\beta-bs^2)}{b(2\beta-bs^2)}$ , 须满足  $p^{C_1*} > 0$ , 根据假设有  $2\beta > bs^2$ , 所以要求  $\beta-bs^2 > 0$ , 求解

得到  $0 < s < \sqrt{\beta/b}$ 。  $p^{C_1*} - p^{C_2*} = \frac{as^2[bc^2s^2-\beta(b^2+c^2)]}{b(2\beta-bs^2)(2b\beta-c^2s^2)}$ , 由于前文假设  $2\beta > bs^2, 2b\beta > c^2s^2$ , 因此当  $bc^2s^2-\beta(b^2+c^2) <$

0 即  $0 < s < \sqrt{\frac{\beta(b^2+c^2)}{bc^2}}$  时,  $p^{C_1*} - p^{C_2*} < 0$ 。因为  $b > c$ , 所以有  $\sqrt{\frac{\beta(b^2+c^2)}{bc^2}} > \sqrt{\frac{\beta}{b}}$ 。综合比较上述  $s$  的两个范围的

临界值与命题1中的分析结果, 可知  $\sqrt{\frac{\beta}{b}} < \sqrt{\frac{2\beta}{b}} < \sqrt{\frac{\beta(b^2+c^2)}{bc^2}} < \frac{\sqrt{2b\beta}}{c}$ 。所以, 只有当  $0 < s < \sqrt{\beta/b}$  时, 同时存在

$p^{C_1*} > 0, p^{C_1*} < p^{C_2*}$ , 命题得证。

命题2的含义是: 集中决策模式下, 当  $0 < s < \sqrt{\beta/b}$  时, 与补贴生产企业政策相比, 低碳产品的零售价格在



政府实行消费者补贴时更高,零售商会提高零售价格,以此转移部分消费者补贴,从而也间接起到了补贴企业的作用。也就是说补贴消费者政策可以部分实现补贴制造商政策的目标。

命题 3 当  $0 < s < \sqrt{\beta/b}$  时,有  $p_0^{c_1^*} < p_0^{c_2^*}$  成立。

证明:由于  $p_0^{c_1^*} = p^{c_1^*} = \frac{a(\beta-bs^2)}{b(2\beta-bs^2)}$ ,  $p_0^{c_2^*} = p^{c_2^*} - s\xi^{c_2^*} = \frac{a(\beta-cs^2)}{2b\beta-c^2s^2}$ , 故:  $p_0^{c_1^*} - p_0^{c_2^*} = \frac{-(b-c)[(b-c)\beta+bcs^2]}{b(2\beta-b^2s^2)(2b\beta-c^2s^2)}$ ,

因为  $b > c, 2b\beta > bs^2, 2b\beta > c^2s^2$ , 所以  $p_0^{c_1^*} - p_0^{c_2^*} < 0$ 。求解上述 4 个条件,可得到  $0 < s < \sqrt{\beta/b}$ ,命题得证。

命题 3 的含义是:在供应链成员企业进行集中决策且当  $0 < s < \sqrt{\beta/b}$  时,与补贴消费者政策相比,补贴制造商政策使得消费者为购买低碳产品所实际支付的价格更低,消费者也能间接从中获益。也就是说补贴制造商政策可以部分实现补贴消费者政策的目标。

命题 4 当  $0 < s < \sqrt{2\beta/b}$  时,有  $Q^{c_1^*} > Q^{c_2^*}, \pi_{sc}^{c_1^*} > \pi_{sc}^{c_2^*}$  成立。

证明:  $Q^{c_1^*} - Q^{c_2^*} = \frac{a\beta s^2(b^2-c^2)}{(2\beta-bs^2)(2b\beta-c^2s^2)}$ ,  $\pi_{sc}^{c_1^*} - \pi_{sc}^{c_2^*} = \frac{a^2\beta s^2(b^2-c^2)}{2b(2\beta-bs^2)(2b\beta-c^2s^2)}$ 。由于  $b > c, 2b\beta > bs^2, 2b\beta > c^2s^2$ ,

所以  $Q^{c_1^*} - Q^{c_2^*} > 0, \pi_{sc}^{c_1^*} - \pi_{sc}^{c_2^*} > 0$ 。求解上述 3 个不等式,得到  $0 < s < \sqrt{2\beta/b}$ ,命题得证。

命题 4 的含义是:供应链成员企业集中决策且当  $0 < s < \sqrt{2\beta/b}$  时,与补贴消费者政策相比,补贴制造商政策能更好地推广低碳产品,扩大市场需求量,并使低碳产品供应链实现的总利润更高。

3.2 政策最优选择

下面重点讨论在供应链上下游企业集中决策时,从总量控制和目标减排两个视角,分析补贴制造商政策和补贴消费者政策的最优选择。

3.2.1 总量控制

若政府补贴政策是基于总量控制的目的,则会将能够实现更低的供应链碳排放总量作为补贴对象选择的依据。因此,有必要比较两种补贴对象下对应的供应链总体碳排放量,可得命题 5。

命题 5 政府实行总量控制低碳政策时,若  $X > 0$  且  $s \in s^{c_1}$ ,则  $TE^{c_1} > TE^{c_2}$ ,反之则反。其中  $X = cs^3(as-2\beta)(b^2+bc+c^2)+bc^2(b+c)s^5+2b\beta s^2(b^2s-2ac)+4b\beta(bs+cs-a\beta)$ 。

证明:  $TE^{c_1} - TE^{c_2} = \frac{a\beta(b-c)sX}{(2\beta-bs^2)^2(2b\beta-c^2s^2)^2}$ , 由于  $b > c$ , 所以当  $s$  需满足  $X > 0$  时,  $TE^{c_1} - TE^{c_2} > 0$ ; 当  $s$  需满足  $X < 0$ ,  $TE^{c_1} - TE^{c_2} < 0$ 。由于  $s^{c_1} \subset s^{c_2}$ , 因此只能在区间  $s^{c_1}$  内, 才能进行  $TE^{c_1}$ 、 $TE^{c_2}$  大小的比较, 命题得证。

命题 5 的含义是:若政府实行总量控制低碳政策,当  $s$  满足  $X > 0$  且  $s \in s^{c_1}$  时,为了使供应链碳排放总量更低,政府应选择补贴消费者政策;反之,则应选择补贴制造商政策。

3.2.2 目标减排

若补贴政策是基于目标减排的目的,政府应该将能够实现更大的供应链碳减排量作为补贴对象选择的依据。因此,需比较两种补贴对象下相应的净减排量,可得命题 6。

命题 6 在政府实行减排目标的低碳政策时,若  $s$  满足  $(b^2+c^2+bc)cs^4-4bc\beta s^2-4b\beta^2 > 0$  且  $s \in s^{c_1}$ ,则  $\Delta TE^{c_1} < \Delta TE^{c_2}$ ;反之,则  $\Delta TE^{c_1} > \Delta TE^{c_2}$ 。

证明:  $\Delta TE^{c_1} - \Delta TE^{c_2} = -\frac{a^2(b-c)\beta s[(b^2+bc+c^2)cs^4-4bc\beta s^2-4b\beta^2]}{(2\beta-bs^2)^2(2b\beta-c^2s^2)^2}$ , 由于  $b > c$ , 所以当  $s$  满足  $(b^2+bc+c^2)cs^4-4bc\beta s^2-4b\beta^2 > 0$  时,  $\Delta TE^{c_1} - \Delta TE^{c_2} < 0$ ; 反之则反, 命题得证。

命题 6 的含义是:当  $s$  满足  $(b^2+bc+c^2)cs^4-4bc\beta s^2-4b\beta^2 > 0$  且  $s \in s^{c_1}$ , 若政府实行减排目标低碳政策,则补贴消费者政策能够实现更高的碳减排量;反之,补贴制造商政策更好。

## 4 结论和政策建议

### 4.1 结 论

本文基于两级低碳供应链,分别建立了政府补贴制造商政策和补贴消费者政策的博弈模型,求解得到相关变量的最优解、供应链碳排放总量和碳减排量,比较得到了补贴消费者政策和补贴制造商政策选择的边界条件。研究结果表明:

(1)在供应链成员企业集中决策时,无论政府选择的补贴对象是制造商还是消费者,都能推动供应链减排,且均能间接实现对另一对象的补贴。换言之,两种政策之间能部分相互替代,没有绝对优劣之分。

(2)基于总量控制和目标减排导向,给出了政府补贴消费者政策和补贴生产企业政策最优选择的边界条件。无论是总量控制还是目标减排,政府两种政策(补贴消费者政策和补贴生产企业政策)都不能同时实现总量控制和目标减排。

### 4.2 政策建议

(1)政府层面:政府要建立严格的碳排放监管制度,根据行业特点和消费者需求,确立明确有区别的碳减排目标导向,分别制定碳补贴企业政策和碳补贴消费者政策,并通过碳补贴效果评价与反馈机制,来修正和完善碳补贴政策,提高补贴政策的减排效率;为积极引导消费者形成低碳消费理念,要营造低碳环保的社会氛围,积极引导消费偏好。

(2)企业层面:供应链核心企业应将低碳供应链设计、管理、协调优化等理念纳入企业供应链战略;全方位监控产品碳足迹,从产品研发、原材料采购、存储、物流配送、产品生产、营销和服务等各个环节降低碳排放;供应链成员企业要建立企业间的碳减排合作伙伴关系,选择适合的契约以协调供应链企业利益,并根据政府碳减排的目标导向和碳补贴政策,选择最优的减排、生产、研发、营销等决策;加快低碳产品的研发和生产,确立低碳产品的品牌战略。

(3)消费者层面:要积极响应政府低碳经济的号召,逐渐培养和形成消费低碳和环保产品的理念、意识与习惯,降低消费者的碳足迹消耗;并积极参与低碳企业的经营决策环节,促进企业低碳品牌战略的形成。

### 参考文献:

[1] MITRA A S, WEBSTER B S. Competition in Remanufacturing and the Effects of Government Subsidies[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 111(2): 287-298.

[2] 孟卫军. 溢出率、减排研发合作行为和最优补贴政策[J]. 科学学研究, 2010, 28(8): 1160-1164.

[3] 方海燕, 达庆利, 朱长宁. 政府不同研发补贴政策下的企业市场绩效[J]. 工业工程, 2012, 15(2): 33-40.

[4] XU A, ZHOU Z Q. A Pricing Model for Governments' Subsidy in the Green Supply Chain[J]. International Journal of Networking and Virtual Organisation, 2014, 14(1/2): 40-56.

[5] 李友东, 赵道致, 夏良杰. 低碳供应链纵向减排合作下的政府补贴策略[J]. 运筹与管理, 2014, 23(4): 1-11.

[6] SHI C D, BIAN D X. Closed-loop Supply Chain Coordination by Contracts under Government Subsidy[R]. Control and Decision Conference, 2011.

[7] CARO F, CORBETT C J, TAN T, ZUIDWIJK R. Carbon-optimal and Carbon-neutral Supply Chains[R]. Working paper, Anderson Graduate School of Management-decisions, Operations, and Technology Management, UCLA, 2011.

[8] 朱庆华, 窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型[J]. 管理科学学报, 2011, 14(6): 86-95.

[9] WANG L S, ZHAO J. Differential Pricing under Trading in Old Goods for New based on Market Segmentation[R]. Proceedings of the 31st Chinese Control Conference, 2012.

[10]李媛,赵道致.基于供应链低碳化的政府及企业行为博弈模型[J].工业工程,2013,16(4):1-6,27.

[11]熊中楷,张盼,郭年.供应链中碳税和消费者环保意识对碳排放影响[J].系统工程理论与实践,2014,34(9):2245-2252.

[12]柳键,邱国斌.政府补贴背景下制造商和零售商博弈研究[J].软科学,2011,25(9):48-53.

[13]WEI J, ZHAO J, LI Y J. Pricing Decisions for Complementary Products with Firm's Different Market Powers[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 224(3):507-519.

[14]HUANG J, LENG M M, LIANG L P, et al. Promoting Electric Automobiles: Supply Chain Analysis under a Government's Subsidy Incentive Scheme[J]. IIE Transactions, 2013, 45(8):826-844.

[15]杨仕辉,付菊.基于消费者补贴的供应链碳减排优化[J].产经评论,2015,22(6):104-115

[16]MA P, WANG H Y, JENNIFER S. Contract Design for Two-stage Supply Chain Coordination: Integrating Manufacturer-quality and Retailer-marketing Efforts [J]. International Journal of Production Economics, 2013, 144(2):572-581.

[17]胡军,张镓,芮明杰.线性需求条件下考虑质量控制的供应链协调契约模型[J].系统工程理论与实践,2013,33(3):601-609.

[18]徐春秋,赵道致,原白云.政府补贴政策下产品差别定价与供应链协调机制[J].系统工程,2014,32(3):78-86.

[19]LIU Q, DING H P. Research on Collaborative Pricing Decisions of Enterprises in Supply Chain under Constraints of Carbon Emission[R]. Proceedings of International Conference on Low-carbon Transportation and Logistics, and Green Buildings, 2013.

[20]夏良杰,赵道致,李友东.力量不对等供应链中的零售商-制造商广告-研发博弈[J].西安电子科技大学学报(社会科学版),2013,23(3):87-97.

Carbon Subsidy: Enterprises or Consumers?

——From Perspective of Centralized Decision-making Two-level Low Carbon Supply Chain Optimization

YANG Shihui<sup>1</sup>, FU Ju<sup>1</sup>, YANG Jingqian<sup>2</sup>

(1.School of Economics, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

2.School of Mathematical Science, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:**From the perspective of two-level low carbon supply chain and aimed at the manufacturer-dominating scenario, this paper establishes a carbon subsidy enterprise policy optimization game model, obtains the equilibrium solution, analyzes supply chain member pricing and emission reduction optimization strategies, gets supply chain coordination equilibrium solution by adopting Rubinstein bargaining model, and makes a comparison with carbon subsidy consumer policy. The results show that the two different policies have their own good points without absolute advantage and can replace each other only partially. Based on total amount control and target emission reduction orientation, the boundary conditions are provided for the optimal selection of government subsidy consumer policy and government subsidy enterprise policy, but neither of the two policies can achieve total control and target emission reduction. On such a basis, the corresponding policy recommendations are put forward.

**Keywords:**carbon subsidy enterprise policy; carbon subsidy consumer policy; low carbon supply chain; game theory

(责任编辑 时明芝)