

doi:10.3969/j.issn.1672-626x.2016.03.004

# 企业低碳技术研发模式的比较

## ——基于斯塔克尔伯格产量竞争的研究

魏守道

(广东金融学院 工商管理系,广东 广州 510521)

**摘要:**封闭经济中有一个领导企业和多个跟随企业,且领导企业低碳技术自主研发效率较高,可选择的研发模式有研发竞争与研发合作。通过构建研发竞争与研发合作下政府设定碳税税率、企业确定研发水平和产量水平的博弈模型,比较研发竞争与研发合作下净碳排放总量、企业利润和国家福利变化,发现较之于研发竞争,若自主研发成果不能在企业之间溢出,研发合作下净碳排放总量、企业利润和国家福利均不会发生变化;若自主研发成果可以在企业之间溢出,研发合作下净碳排放总量较多、领导企业利润较低、国家福利较高,跟随企业利润是否会下降要视跟随企业数目和自主研发效率、自主研发成果溢出率而定。

**关键词:**低碳技术研发;研发竞争;研发合作

**中图分类号:**F062.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-626X(2016)03-0024-06

### 一、引言

随着社会经济发展加快,化石能源的消耗量越来越大,产生的二氧化碳也越来越多,对环境的破坏越来越严重。为降低碳排放量、实现节能减排,芬兰、丹麦等北欧国家最先开始征收碳税,法国、澳大利亚、日本等国也纷纷效仿,加拿大和美国则在国内部分地区试点,中国也对碳税进行了大量研究,试图在适当的时间推行碳税政策。由于企业是化石能源的主要使用者,要从根本上降低碳排放量、解决碳排放量日益增多的问题,还得依靠企业加强低碳技术研发自主创新。

与积极实施降低生产成本研发不同的是,企业不会积极实施低碳技术研发。Katsoulacos 和 Xepapadeas 指出,只有面临被征收碳税,企业才有可能实施低碳技术研发。<sup>[1]</sup>D'Aspremont 和 Jacquemin 提出 D-J 模型,认为在降低生产成本研发方面,企业

可选择研发竞争和研发合作,且研发合作下企业自主研发水平较高。<sup>[2]</sup>学者们不断扩展 D-J 模型,将其应用于低碳技术研发的研究。大多数研究构建了政府先实施碳税、企业后进行研发的博弈模型。Katsoulacos 等比较了研发竞争和研发联合体,发现与研发竞争相比,只要碳排放对环境造成的损害不大,企业选择研发联合体可提高国家福利。<sup>[3]</sup>Chiou 和 Hu 比较了研发卡特尔、研发联合体竞争和研发联合体卡特尔,发现企业选择研发卡特尔最不利于企业提高研发水平和降低碳排放量,若研发成果溢出率足够高,企业选择研发联合体卡特尔最有利于企业提高研发水平和降低碳排放量。<sup>[4]</sup>孟卫军引入低碳技术研发补贴,比较了研发合作与研发不合作(研发竞争),发现与研发竞争相比,企业选择研发合作可提高国家福利,若研发成果溢出率比较小,企业选择研发合作可提高企业利润;<sup>[5]</sup>他还比较了政府提供

收稿日期:2016-03-16

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71273114);教育部人文社会科学研究规划基金项目(12YJA790130);广东省自然科学基金博士启动项目(2015A030310199)

作者简介:魏守道(1983-),男,湖北武汉人,广东金融学院教师,经济学博士,主要从事环境政策研究。

研发补贴、企业研发合作以及两者组合,发现两者组合有利于提高国家福利和企业利润。<sup>[6]</sup>杨仕辉和魏守道比较了政府采取单边碳税政策或碳税合作政策、企业选择独立低碳技术研发(研发竞争)和研发合作,发现与研发竞争相比,若不存在研发成果溢出,企业选择研发合作不会提高研发水平和降低碳排放量;若存在研发成果溢出,则可提高企业研发水平和降低碳排放量。<sup>[7]</sup>由于企业会对国家征收碳税有预期,进而主动减少碳排放量和承担更多的碳减排,所以,Conrad认为企业在政府征收碳税前进行低碳技术研发更合理。<sup>[8]</sup>少数研究构建企业先进行研发、政府后实施碳税的博弈模型。Poyago-Theotoky比较了企业选择研发竞争和研发卡特尔的效果,发现与研发竞争相比,若研发成本很高,而且碳排放对环境造成的损害较大,则研发卡特尔下的研发水平较低,反之则较高。<sup>[9]</sup>杨仕辉和魏守道考虑企业生产差异化产品,进一步比较了企业选择研发竞争和研发卡特尔的效果,发现总体而言,研发卡特尔优于研发竞争,但随着产品差异化程度的缩小和研发溢出程度的降低,研发卡特尔优于研发竞争的程度也在缩小。<sup>[10]</sup>

由上可知,学者们对企业选择不同低碳技术研发模式有较为深入的研究,揭示出研发合作并不一定能完全提高国家福利、企业利润和降低碳排放量。然而,这些研究均假设两个企业在产品市场上进行古诺竞争,既没有考虑到不同企业在产品市场上的不同地位,也没有考虑到企业数目对研发模式选择的影响。本文考虑产品市场上有一个领导企业和多个跟随企业,领导企业和跟随企业在产品市场上进行斯塔克尔伯格产量竞争,在低碳技术研发方面可选择研发竞争和研发合作,构建相应的博弈模型,比较了研发模式选择对净碳排放总量、领导企业和跟随企业利润、国家福利的影响。

## 二、低碳技术研发模式比较的理论模型

### (一)基本假设

封闭经济由1个领导企业和n个跟随企业组成。各企业生产同质产品,产品仅在国内市场上销售,需求函数为 $p=1-Q$ ,其中, $Q=q_L+q_{F1}+q_{F2}+\dots+q_{Fn}$ 代表所有企业生产总量, $q_L$ 表示领导企业L产量, $q_{Fi}$ ( $i=1,2,\dots,n$ )表示跟随企业 $F_i$ 产量。产品生产过程伴随二氧化碳排放,设单位产品产生单位碳排放量。为降低碳排放量,企业 $k$ ( $k=L, F_i$ )可实施低碳技术

自主研发(本文简称为自主研发),研发策略可分为研发竞争与研发合作。设企业 $k$ 自主研发成本函数为 $C_k=x_k^2/(2\gamma_k)$ ,其中, $x_k$ 表示企业 $k$ 自主研发水平, $\gamma_k$ 衡量企业 $k$ 自主研发效率,该值越小意味着研发效率越低。研发成果可在企业之间溢出,设溢出率为 $\beta$ ( $0\leq\beta\leq 1$ )。社会净碳排放总量为 $E=e_L+e_{F1}+e_{F2}+\dots+e_{Fn}$ ,对环境造成的损害设为 $D=E^2/2$ 。由于碳排放量对环境造成损害,政府可对企业净碳排放总量征收碳税,设碳税税率为 $t$ 。由于领导企业自主研发效率较高,为便于分析,设 $\gamma_L=\gamma<\gamma_{Fi}=1$ 。

政府与企业之间的博弈规则如下:第一阶段,政府以国家福利最大化确定最优碳税税率;第二阶段,各企业确定最优的自主研发水平;第三阶段,领导企业以本企业利润最大化确定最优产量水平;第四阶段,跟随企业观察到领导企业产量水平后,以各自企业利润最大化确定最优产量水平。跟随企业 $F_i$ 和领导企业L利润函数分别为:

$$\pi_{Fi}=(1-q_L-\sum_{j=1}^n q_{Fj})q_{Fi}-t[q_{Fi}-(1-\beta)x_{Fi}-\beta(x_L+\sum_{j=1}^n x_{Fj})]-x_{Fi}^2/(2\gamma) \quad (1)$$

$$\pi_L=(1-q_L-\sum_{j=1}^n q_{Fj})q_L-t(q_L-x_L-\beta\sum_{j=1}^n x_{Fj})-x_L^2/2 \quad (2)$$

国家福利 $W$ 为领导企业利润、跟随企业利润以及消费者剩余之和减去环境损害,即:

$$W=\pi_L+\sum_{i=1}^n \pi_{Fi}+Q^2/2-E^2/2 \quad (3)$$

### (二)研发竞争下的博弈模型

先看第四阶段,跟随企业最优产量水平选择以最大化其利润,由跟随企业利润最大化的一阶条件 $\partial\pi_{Fi}/\partial q_{Fi}=0$ 有:

$$q_{Fi}^*=(1-t-q_L-\sum_{s=1}^{i-1} q_{Fs}-\sum_{k=i+1}^n q_{Fk})/2 \quad (4)$$

然后看第三阶段,领导企业最优产量水平选择以最大化其利润。将(4)式回代(2)式,结合领导企业利润最大化的一阶条件 $\partial\pi_L/\partial q_L=0$ 有:

$$q_L^*=(1-t-\sum_{s=1}^{i-1} q_{Fs}-\sum_{k=i+1}^n q_{Fk})/2 \quad (5)$$

联立(4)式和(5)式可求得跟随企业和领导企业最优产量分别为:

$$q_L^*=2(1-t)/(n+3), q_{Fi}^*=(1-t)/(n+3) \quad (6)$$

也就是说,每个跟随企业产量都只有领导企业产量的一半,领导企业具有先动优势,而且,各企业最优产量不仅与跟随企业数目有关,还与碳税税率

有关。跟随企业越多或碳税税率越高,各企业产量越少,而且,领导企业产量下降得更快。

再看第二阶段,领导企业和跟随企业以自身企业利润最大化确定最优的自主研发水平。将(6)式回代(1)式和(2)式,结合领导企业利润最大化的一阶条件 $\partial \pi_l / \partial x_l = 0$ 和跟随企业利润最大化的一阶条件 $\partial \pi_f / \partial x_f = 0$ 有:

$$x_l^* = t, x_f^* = \gamma t \quad (7)$$

这就意味着,研发竞争下,领导企业和跟随企业最优的自主研发水平仅与政府设定的碳税税率相关,而且,政府设定的碳税税率越高,企业自主研发水平也越高。

最后看第一阶段,政府确定最优碳税税率。将(6)式和(7)式回代(3)式,由国家福利最大化的一阶条件 $\partial W / \partial t = 0$ ,可求得国家最优碳税税率为:

$$t^m = \alpha_1 [\alpha_2 - 2 + n\alpha_2 (\gamma + \beta\alpha_4)] / \Gamma_1 \quad (8)$$

其中,  $\Gamma_1 = [\alpha_1 + \alpha_2 + n\alpha_2 (\gamma + \beta\alpha_4)]^2 - \alpha_1 (\alpha_1 + 2) - \alpha_3 \alpha_4 \alpha_2^2$ ,  $\alpha_1 = n + 2$ ,  $\alpha_2 = n + 3$ ,  $\alpha_3 = 1 + 2n\beta$ ,  $\alpha_4 = 1 + n\gamma$ 。

### (三) 研发合作下的博弈模型

研发合作下,跟随企业和领导企业产量选择与研发竞争下相同。第二阶段,各企业以所有企业利润之和 $\Pi$ 最大化确定最优的研发水平。该最优化问题可概括如下:

$$\max_{x_l, x_f} \Pi = \sum_{i=1}^n [(q_{fi}^*)^2 - x_{fi}^2 (2\gamma)] + q_{li}^* q_{fi}^* - x_{li}^2 / 2 + (1 + n\beta) (x_{li} + \sum_{i=1}^n x_{fi}) t \quad (9)$$

同理,由利润之和最大化的一阶条件有:

$$x_{li}^{**} = (1 + n\beta)t, x_{fi}^{**} = (1 + n\beta)\gamma t \quad (10)$$

这就意味着,研发合作下,领导企业和跟随企业最优的自主研发水平也仅与政府设定的碳税税率相关,而且,政府设定的碳税税率越高,企业自主研发水平也越高。

第一阶段,政府确定最优碳税税率。将(6)式和(10)式回代(3)式,由国家福利最大化的一阶条件可求得国家最优碳税税率为:

$$t^m = \alpha_1 (\alpha_2 \alpha_4 \alpha_5^2 - 2) / \Gamma_2 \quad (11)$$

其中,  $\Gamma_2 = (\alpha_1 + \alpha_2 \alpha_4 \alpha_5^2) - \alpha_1 (\alpha_1 + 2) - \alpha_4 \alpha_2^2 \alpha_5^2$ ,  $\alpha_5 = 1 + n\beta$ 。

## 三、低碳技术研发模式的比较

### (一) 低碳技术研发水平比较

研发竞争下,领导企业低碳技术研发水平为 $x_{li}^c = t^c$ ,各跟随企业低碳技术研发水平为 $x_{fi}^c = \gamma t^c$ ;研

发合作下,领导企业低碳技术研发水平为 $x_{li}^c = (1 + n\beta)t^c$ ,各跟随企业低碳技术研发水平为 $x_{fi}^c = (1 + n\beta)\gamma t^c$ 。因此有:

$$x_{li}^c - x_{li}^m = (1 + n\beta)t^c - t^m, x_{fi}^c - x_{fi}^m = \gamma[(1 + n\beta)t^c - t^m] \quad (12)$$

将(8)式和(11)式代入(12)式,经比较容易发现,对于任意 $\beta > 0$ ,  $\gamma > 0$ ,  $n > 0$ ,恒有 $x_{li}^c < x_{li}^m$ ,  $x_{fi}^c < x_{fi}^m$ ;若 $\beta = 0$ ,则有 $x_{li}^c = x_{li}^m$ ,  $x_{fi}^c = x_{fi}^m$ 。因此,企业选择不同研发模式对低碳技术研发水平的影响如下:

命题1:无论跟随企业数量多少,以及领导企业研发效率多高,若自主研发成果不能在企业之间溢出,则研发合作与研发竞争下低碳技术研发水平相同;若自主研发成果可在企业之间溢出,则研发合作下各企业低碳技术研发水平较低。

若自主研发成果不能在企业之间溢出( $\beta = 0$ ),每个企业只能享受本企业自主研发成果,无法从其他企业分享到研发成果。在不同的研发模式下,国家设定的碳税税率不会发生变化,领导企业和跟随企业的自主研发水平保持不变。若自主研发成果可以在企业之间溢出( $\beta > 0$ ),每个企业不仅可以享受本企业自主研发成果,还可享受其他企业的部分自主研发成果。而且,研发合作下各企业以两企业利润之和最大化为目的确定自主研发水平,在碳税税率保持不变时,研发合作下的研发水平更高。但国家预计到研发合作下各企业会提高研发水平后,就会制定较低的碳税税率,从而使各企业最优研发水平下降。

### (二) 产量水平比较

研发竞争下,领导企业产量和各跟随企业产量分别为 $q_{li}^c = 2(1 - t^c) / (n + 3)$ 和 $q_{fi}^c = (1 - t^c) / (n + 3)$ ;研发合作下,领导企业产量和各跟随企业产量分别为 $q_{li}^c = 2(1 - t^c) / (n + 3)$ 。因此有:

$$q_{li}^c - q_{li}^m = 2(t^m - t^c) / (n + 3), q_{fi}^c - q_{fi}^m = (t^m - t^c) / (n + 3) \quad (13)$$

将(8)式和(11)式代入(13)式,经比较容易发现,对于任意 $\beta > 0$ ,  $\gamma > 0$ ,  $n > 0$ ,恒有 $q_{li}^c > q_{li}^m$ ,  $q_{fi}^c > q_{fi}^m$ ;若 $\beta = 0$ ,则有 $q_{li}^c = q_{li}^m$ ,  $q_{fi}^c = q_{fi}^m$ 。因此,企业选择不同研发模式对企业产量的影响如下:

命题2:无论跟随企业数量多少,以及领导企业研发效率多高,与研发竞争相比,若自主研发成果不能在企业之间溢出,则研发合作下领导企业和跟随企业产量水平相同;若自主研发成果可在企业之

间溢出,则研发合作下领导企业和跟随企业产量水平均较高。

若自主研发成果不能在企业之间溢出,由于研发竞争与研发合作下国家制定的碳税税率相同,所以各企业产量没有变化。若自主研发成果可以在企业之间溢出,由于研发合作下国家制定的碳税税率比研发竞争下的低,各企业在研发合作下的税负较低,促使各企业扩大生产,所以各企业产量上升。

(三)净碳排放总量比较

记研发竞争下和研发合作下所有企业净碳排放总量分别为  $E^w$  和  $E^c$ ,从而有:

$$E^c - E^w = [\alpha_1(t^c - t^w) + \alpha_2\alpha_4\alpha_5(t^w - \alpha_5 t^c)] / \alpha_2 \quad (14)$$

将(8)式和(11)式代入(14)式,易证:对于任意  $\beta > 0, \gamma > 0, n > 0$ ,恒有  $E^c > E^w$ ;若  $\beta = 0$ ,则有  $E^c = E^w$ 。因此,企业选择不同研发模式对净碳排放总量的影响如下:

命题 3:无论跟随企业数量多少,以及领导企业研发效率多高,若自主研发成果不能在企业之间溢出,则研发合作与研发竞争下净碳排放总量相同;若自主研发成果可在企业之间溢出,则研发合作下净碳排放总量较多。

若自主研发成果不能在企业之间溢出,研发竞争与研发合作下各企业低碳技术研发水平和产量水平均没有发生变化,从而各企业净碳排放量相同,整个国家净碳排放总量也相同。若自主研发成果可以在企业之间溢出,与研发竞争相比,研发合作下各企业产量较高,低碳技术研发水平较低,因此,各企业净碳排放量较高,整个国家净碳排放总量也较高。

(四)企业利润比较

记研发竞争下和研发合作下领导企业利润分

别为  $\pi^w_L$  和  $\pi^c_L$ ,研发竞争下和研发合作下跟随企业  $F_i$  的利润分别为  $\pi^w_{F_i}$  和  $\pi^c_{F_i}$ ,从而有:

$$\begin{aligned} \pi^c_L - \pi^w_L &= (t^c - t^w) [(1 + 2n\beta\gamma)\alpha_2^2 (t^c + t^w) - 4(2 - t^w - t^c)] / (2\alpha_2^2) \\ \pi^c_{F_i} - \pi^w_{F_i} &= (t^c - t^w) \{ [\alpha_3 + 2(n-1)\beta\gamma^2]\alpha_2^2 (t^c + t^w) - 2\gamma(2 - t^w - t^c) \} / (2\gamma\alpha_2^2) \end{aligned} \quad (15)$$

由于难以得出不同竞争模式下领导企业利润变化和跟随企业  $F_i$  利润变化的具体条件,下面选取  $\beta = 0.2, 0.5, 0.7$ ,模拟  $\pi^c_L - \pi^w_L$  和  $\pi^c_{F_i} - \pi^w_{F_i}$  变化,结果如图 1 所示。由图 1 可知,  $\beta, \gamma, n$  的变化会对  $\pi^c_L - \pi^w_L$  和  $\pi^c_{F_i} - \pi^w_{F_i}$  产生影响。具体而言,对于任意  $\beta$ ,只要存在跟随企业,无论跟随企业的自主研发效率如何,恒有  $\pi^c_L < \pi^w_L$ ;当  $\beta = 0.2$  时,若只有一个跟随企业,且该跟随企业的自主研发效率非常低,则有  $\pi^c_{F_i} > \pi^w_{F_i}$ ,随着跟随企业数目的增多,无论跟随企业的自主研发效率如何,则有  $\pi^c_{F_i} < \pi^w_{F_i}$ ;当  $\beta = 0.5$  和  $\beta = 0.7$  和时,只要存在跟随企业,无论跟随企业的自主研发效率如何,恒有  $\pi^c_{F_i} < \pi^w_{F_i}$ 。因此,可有如下推论:

推论 1:若自主研发成果不能在企业之间溢出,则研发合作与研发竞争下领导企业和跟随企业获得的利润不变;若自主研发成果可在企业之间溢出,研发合作下领导企业获得的利润较少;若自主研发成果溢出率较低,且唯一的跟随企业自主研发效率非常低,则研发合作下该跟随企业获得的利润较多,但随着自主研发成果溢出率的提高和跟随企业数量的增多,则研发合作下跟随企业获得的利润较少。

(五)国家福利比较

记研发竞争下和研发合作下国家福利分别为  $W^w$  和  $W^c$ ,从而有:

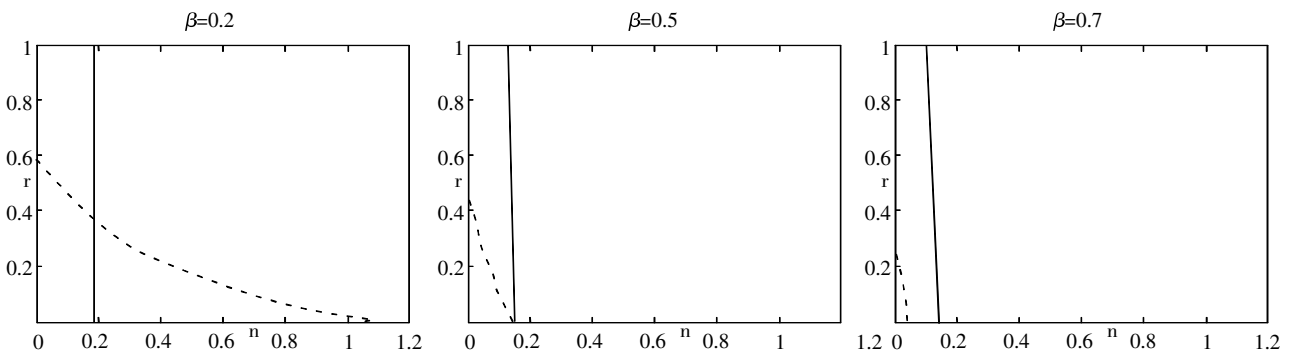


图 1 不同研发模式下企业利润比较

注:实线和虚线分别代表  $\pi^c_L - \pi^w_L$  和  $\pi^c_{F_i} - \pi^w_{F_i}$  中决定符号的表达式;实线右边部分表示  $\pi^c_L < \pi^w_L$ ,虚线以上部分表示  $\pi^c_{F_i} < \pi^w_{F_i}$ ,反之则反。

$$W^c - W^{nc} = \frac{1}{2\alpha_2^2} \{ \alpha_1(\alpha_1 + 2)(1 - t^c)^2 + \alpha_4\alpha_2\alpha_5(t^c)^2 - [\alpha_1 - (\alpha_1 + \alpha_2\alpha_4\alpha_5)t^c]^2 - \alpha_1(\alpha_1 + 2)(1 - t^{nc})^2 + \alpha_3\alpha_4\alpha_2(t^{nc})^2 + [\alpha_1 - (\alpha_1 + \alpha_2\alpha_4\alpha_5)t^{nc}]^2 \} \quad (16)$$

将(8)式和(11)式代入(16)式,易证:对于任意 $\beta > 0, \gamma > 0, n > 0$ ,恒有 $W^c > W^{nc}$ ;若 $\beta = 0$ ,则有 $W^c = W^{nc}$ 。因此,企业选择不同研发模式对国家福利的影响如下:

命题4:无论跟随企业数量多少,以及领导企业研发效率多高,若自主研发成果不能在企业之间溢出,则研发合作与研发竞争下国家福利水平相同;若自主研发成果可在企业之间溢出,则研发合作下国家福利水平较高。

若自主研发成果不能在企业之间溢出,研发合作与研发竞争下碳税税率不变,领导企业产量和跟随企业产量、自主研发水平均不会变化,进而国家福利也不会变化。若自主研发成果可以在企业之间溢出,与研发竞争相比,研发合作下领导企业利润较低、跟随企业利润也可能较低、环境损害较为严重,但消费者可以消费更多的产品,消费者剩余较高,足以抵消企业利润的降低和环境损害的加重带来的不利影响,因此,国家福利较高。

#### 四、结论

本文在一个领导企业和多个跟随企业构成的封闭经济中,假设领导企业具有低碳技术研发优势,领导企业和跟随企业可以选择两种研发模式:研发竞争和研发合作,构建了政府设定碳税税率、领导企业和跟随企业同时选择研发竞争模式及研发水平、先后决定产量的博弈模型。运用逆向求解法求得各模型的均衡解,比较了不同研发模式下净碳排放总量、企业利润和国家福利变化,得出的主要结论有:与研发竞争相比,无论跟随企业数量多少,以及领导企业研发效率多高,当自主研发成果不能在企业之间溢出时,研发合作下净碳排放总量、领导企业和跟随企业利润、国家福利不会发生变化;当自主研发成果可在企业之间溢出时,则研发合作下净碳排放总量较多、领导企业利润较低、国家福利较高,跟随企业利润是否会下降取决于跟随企业数目和自主研发效率、自主研发成果溢出率的大小。若自主研发成果溢出率较低,且唯一的跟

随企业自主研发效率非常低,则研发合作下该跟随企业获得的利润较多,但随着自主研发成果溢出率的提高和跟随企业数量的增多,则研发合作下跟随企业获得的利润较少。

本文的政策含义是:在低碳经济背景下,低碳技术研发合作并不适合于领导者和跟随者组成的市场结构,政府不应鼓励这些企业进行低碳技术研发合作。在领导者和跟随者组成的市场结构下,领导企业与跟随企业进行低碳技术研发合作的动力不足,即便政府提供经济补偿,也无法提高各企业的低碳技术研发水平,不利于企业和整个社会节能减排,无助于降低碳排放量和解决环境问题。

#### 参考文献:

- [1] Katsoulacos Y, Xepapadeas A. Environmental Innovation, Spillovers and Optimal Policy Rules [A]. Carraro C, Katsoulacos Y, Xepapadeas A. eds.. Environmental Policy and Market Structure [C]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996. 143-150.
- [2] D'Aspremont C, Jacquemin A. Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers [J]. The American Economic Review, 1988, (9): 1133-1137.
- [3] Katsoulacos Y, Ulph A, Ulph D. The Effects of Environmental Policy on the Performance of Environmental R&D [R]. NBER Working Paper No. 7301, 1999.
- [4] Chiou J R, Hu J L. Environmental Research Joint Ventures under Emission Taxes [J]. Environmental and Resource Economics, 2001, (2): 129-146.
- [5] 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, (5): 1160-1164.
- [6] 孟卫军. 基于减排研发的技术政策选择策略[J]. 经济问题, 2010, (10): 30-34.
- [7] 杨仕辉, 魏守道. 溢出率、低碳技术研发形式与碳税政策选择[J]. 研究与发展管理, 2013, (6): 62-71.
- [8] Conrad K. Voluntary Environmental Agreement vs. Emission Taxes in Strategic Trade Model [J]. Environmental and Resource Economics, 2001, (4): 361-381.
- [9] Poyago-Theotoky J A. The Organization of R&D and Environmental Policy [J]. Journal of Economic Behavior and Organization, 2007, (1): 63-75.
- [10] 杨仕辉, 魏守道. 企业环境研发、产品差异化与政府环境管制[J]. 中国管理科学, 2016, (1): 159-168.

(责任编辑: 彭晶晶)

## The Comparison of Enterprise Environmental R&D Mode ——Based on the Study of Stackelberg Production Competition

WEI Shou-dao

(Department of Industry and Business Administration, Guangdong University of Finance, Guangzhou Guangdong 510521,China)

**Abstract:** Considering an autarky comprised of a leading firm and several following firms, and the leader have higher efficiency of environmental R&D. All these firms can choose to compete or cooperate in environmental R&D. Two game models are constructed where the government sets carbon tax rate, firms decide environmental R&D levels and production. With equilibriums of these models, total amount of net carbon emission, profits and welfares are compared between these models. It's found that if there is no environmental R&D spillover, total amount of net carbon emission, profits of the leader and followers and welfare under the organization of R&D cooperation are the same as under the organization of R&D competition. However, if there is environmental R&D spillover, total amount of net carbon emission, profit of the leader and welfare under the organization of R&D cooperation are much less than under the organization of R&D competition, whether profits of followers under the organization of R&D cooperation are much less than under the organization of R&D competition depends on the amount and efficiency of environmental R&D of followers and spillover.

**Key words:** environmental R&D; R&D competition; R&D cooperation