

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.08.017

中小企业减排技术协同创新策略研究^①

陈 勇¹, 黄 波²

1. 重庆科技发展战略研究院, 重庆 401123; 2. 重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400044

摘要: 考虑专业治污公司为中小企业进行污染物治理的情况下, 中小企业委托研发机构进行减排技术创新, 政府则对该创新活动进行补贴, 通过构建中小企业、研发机构及政府间协同创新博弈模型, 研究了中小企业委托研发机构进行减排技术创新的策略和政府补贴政策. 通过理论和仿真分析得出了中小企业减排创新和政府进行补贴的条件, 以及中小企业和政府的最优策略. 研究表明, 当研发机构创新能力较弱或治污公司单位治污收费较低, 中小企业不愿进行创新时, 政府可以通过补贴中小企业, 促使其进行减排创新, 进而提高社会福利.

关键词: 协同创新; 中小企业; 减排技术; 政府补贴

中图分类号: F406.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)08-0097-08

随着社会、经济及科技的发展, 我国政府及公众对生态环境的保护越来越重视. 在以往的生态环境保护中, 大型企业成为关注焦点, 排污权交易^[1], 排污税^[2], 排放补贴^[3]等制度都是针对大型企业的特征制定. 但事实上, 占到我国企业总数 99% 以上中小企业, 在为国民经济发展做出巨大贡献的同时, 也造成了极大的环境破坏. 数据显示, 2011 年我国因环境污染造成的 2.6 万亿元损失中, 来自中小企业的污染占到了 60%^[4]. 如何针对中小企业的特点, 制定适合的制度和管理办法, 成为我国生态环境保护的关键问题.

目前, 我国在生态环境保护中针对中小企业实施的管理模式是集中治污. 在该模式下, 中小企业被集中到工业园区中进行生产, 其排放的污染物则统一由专业治污公司治理, 较好解决了中小企业无力承担治污设备投资, 以及政府难以监管等问题^[5]. 但集中治污模式下还存在一个难题, 就是中小企业生产工艺落后, 会在生产过程中产生大量污染物, 极大增加了中小企业的治污成本和总成本, 也极大提高了治污公司的治污难度, 甚至导致其治污不达标, 造成生态环境破坏^[6]. 如何激励中小企业进行减排技术创新, 成为集中治污模式成功运行的关键问题.

国内外学者就如何激励大型企业进行减排技术创新进行了深入研究. 宋之杰和孙其龙^[7]通过构建研发补贴与排污税下的企业减排研发模型, 研究了减排目标下企业的最优减排研发水平, 以及政府最优研发补贴和排污税. 孟卫军^[8-9]通过构建一个政府与双寡头间的三阶段研发—补贴博弈模型, 研究了征收排放税的条件下, 政府对双寡头的合作减排研发及独立减排研发的补贴政策. 还研究了在考虑政府对企业实施排放税的条件下, 对企业减排研发分别实施补贴和鼓励合作的技术政策, 对比分析了政府政策的激励效果. 谢鑫鹏和赵道致^[10]探讨了国有大型制造企业在面临政府碳排放规制的情况下, 如何与其供应链的上、下游企业制度生产和减排决策. 王峰正^[11]基于对内蒙古工业企业节能减排现状分析, 提出以技术创新生态化, 实现内蒙古工业企业节能减排. 但由于资本约束以及研发的正外部性, 中小企业一般不愿独立进行减排技术创新. 更为可行的办法是由同一地区的同行内中小企业结成联盟, 委托科研院所或高校进行减排技术创新.

① 收稿日期: 2014-09-15

基金项目: 重庆市社会科学规划项目(2012QNGL052); 中国教育部人文社科项目(11YJC630070); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ120623).

作者简介: 陈 勇(1968-), 女, 四川仁寿人, 经济师, 主要从事科技风险投资、科技发展战略等方面的研究.

基于此,本文考虑在专业治污公司对中小企业排放的污染物进行集中治理的情况下,中小企业结成联盟进行减排技术创新,政府则根据中小企业的创新投入对其进行补贴,构建中小企业、研发机构及政府间的减排创新博弈模型,研究中小企业的减排技术创新策略及政府的补贴政策,并找出中小企业进行减排技术创新以及政府对中小企业补贴的条件,得出中小企业的最优创新策略和政府最优补贴政策,为中小企业及政府制定减排创新策略提供理论依据.

1 问题描述及模型建立

1.1 问题描述

某地区有多家生产同一产品的中小企业,中小企业在生产过程中会产生一定数量的污染物.为了实现治污规模化,获得治污规模经济,中小企业集中到一起进行生产,将污染物排放治理给一家专业治污企业,并按排污量向其支付一定数额的治污费,由其进行专业化集中治污.

中小企业计划进行降低污染物排放量的技术创新.由于中小企业本身并不具备相应研发创新能力,因此,中小企业决定共同出资,委托一家研发机构(科研机构或高校)进行减排技术的创新活动.

为了鼓励中小企业进行减排技术的创新,政府决定进行创新投资补贴,其方式可以是按中小企业用于研发的出资额的一定比例对其进行补贴,也可以按研发机构的研发投入的一定比例对其进行补贴.

中小企业减排技术协同创新过程如下:首先,由政府决定补贴对象和补贴比例;接着由研发机构决定向中小企业收取的研发费用;然后由中小企业共同决定其减排技术的创新程度(即减排程度);最后,中小企业展开古诺博弈,决定产品产量.

本文将通过构建中小企业减排技术协同创新博弈模型,研究中小企业的减排技术协同创新策略,包括是否应该进行创新,应该将污染物排放水平降低多少;还要研究政府的创新补贴策略,包括是否应该补贴,对谁进行补贴,补贴比例是多少等,以最终实现社会福利最大化.

1.2 模型建立

某地区有 n 家生产同一产品的中小企业,该产品的反需求函数为 $P = P_0 - aQ$, 其中, Q 为所有中小企业 $i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的产品产量 q_i 之和,即 $Q = \sum_{i=1}^n q_i$. 中小企业 i 的单位产品生产成本为 C_P , 且在生产过程中会产生一定数量的污染物,其污染物生成量(即排放量) e_i 为其产品产量的函数,即 $e_i = \epsilon_0 q_i$, 其中, ϵ_0 为单位产品的污染物排放量.

为了实现治污规模化,发展治污规模经济,中小企业集中到一起进行生产,将污染物排放治理给一家专业治污企业 E , 由其进行专业化集中治污. 治污企业以单位治污成本 C_E 对中小企业的污染物进行治理,并按单位治污价格 P_E 向中小企业收取治污费. 本文考虑治污企业的单位治污价格与中小企业排污量无关,即在中小企业进行技术创新前后维持不变.

现中小企业计划进行降低单位产品污染物排放量的技术创新,将单位产品的污染物排放量由 ϵ_0 降低为 ϵ_1 , $0 \leq \epsilon_1 \leq 1$. 由于中小企业本身并不具备相应研发创新能力,因此,中小企业决定共同出资,委托一家研发机构 R (科研机构或高校) 进行减排技术的创新活动,技术创新所需费用由所有中小企业平均分摊.

研发机构进行减排技术创新活动的成本 C_R 为中小企业的单位产品污染物排放量初始值 ϵ_0 和减排技术创新目标值 ϵ_1 的函数,即 $C_R = \gamma(\epsilon_0 - \epsilon_1)^2 / 2$, 该创新成本函数表明,单位产品的污染物排放量初始值与减排技术创新目标值之间的差距(不妨称为“创新程度”)越大,创新成本越高,且创新难度也越大,即创新的边际成本也越高. γ 为创新成本系数,是研发机构创新能力的表现,即 γ 越大,研发机构创新能力越弱,相同创新程度下的创新成本越高;反之, γ 越小,研发机构创新能力越强,相同创新程度下的创新成本越低. 研发机构向中小企业收取创新费用 P_R 同样为创新程度的函数,即 $P_R = \frac{\beta(\epsilon_0 - \epsilon_1)^3}{3}$, 其中, β 为创新收费系数.

为了鼓励中小企业进行减排技术创新,政府决定按中小企业创新成本(即研发机构创新收费 P_R) 的一

定比例 s 对中小企业 i 进行补贴.

以上信息均为政府、研发机构、治污企业和中小企业的共同知识.

由于中小企业 i 的单位产品生产成本 C_P 以及治污企业的单位治污成本 C_E 为固定常数, 并不会对模型分析产生本质影响, 只会使分析公式变复杂, 因此, 本文将 C_P 和 C_E 简化为 0.

命 $j = NR$ 表示不进行技术创新, $j = RN$ 表示进行技术创新但政府不补贴, $j = RS$ 表示进行技术创新且政府进行补贴. 由此可得, 中小企业 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 利润为

$$\pi_i^j = (P^j - P_E e_i^j) q_i^j - \frac{\delta^j \beta (\epsilon_0 - \epsilon_i^j)^3 (1 - \sigma^j s)}{3n} \quad (1)$$

其中,

$$\delta^j = \begin{cases} 0 & j = NR \\ 1 & \text{其它} \end{cases} \quad \sigma^j = \begin{cases} 0 & \text{其它} \\ 1 & j = RS \end{cases}$$

治污企业 E 的利润为

$$\pi_E^j = P_E \sum_{i=1}^n e_i^j \quad (2)$$

研发机构 R 的利润为

$$\pi_R^j = \delta_j \left[\frac{\beta^j (\epsilon_0 - \epsilon_i^j)^3}{3} - \frac{\gamma (\epsilon_0 - \epsilon_i^j)^2}{2} \right] \quad (3)$$

消费者剩余为

$$CS^j = \frac{(P_0 - P^j)^2}{2a} \quad (4)$$

政府补贴为

$$GS^j = \frac{\delta_j \sigma_j s \beta (\epsilon_0 - \epsilon_i^j)^3}{3} \quad (5)$$

社会福利为

$$SW^j = \sum_{i=1}^n \pi_i^j + \pi_E^j + \pi_R^j + CS^j - GS^j \quad (6)$$

2 协同创新及政府补贴策略分析

若中小企业 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 不进行技术创新, 则在产品市场上的古诺博弈均衡解, 即最优产品产量为

$$\overline{q_i^{NR}} = \frac{(P_0 - P_E \epsilon_0)}{2na} \quad (7)$$

中小企业 i 的最优利润和最优社会福利分别为

$$\overline{\pi_i^{NR}} = \frac{(P_0 - P_E \epsilon_0)^2}{4na} \quad (8)$$

$$\overline{SW^{NR}} = \frac{(P_0 - P_E \epsilon_0)(3P_0 + P_E \epsilon_0)}{8a} \quad (9)$$

若中小企业 i 在没有政府补贴的情况下进行技术创新, 则在产品市场上的古诺博弈均衡解为

$$q_i^{RN} = \frac{(P_0 - P_E \epsilon_1^{RN})}{2na} \quad (10)$$

接着, 中小企业以利润最大化为目标, 共同决定其减排技术创新目标值 ϵ_1^{RN} , 将(10)式代入(1)式, 并求解

$\frac{\partial \pi_i^{RN}}{\partial \epsilon_1^{RN}} = 0$, 可得:

$$\epsilon_1^{RN} = \epsilon_0 - \frac{P_E^2 + \sqrt{P_E^4 + 8a\beta^{RN} P_E (P_0 - P_E \epsilon_0)}}{4a\beta^{RN}} \quad (11)$$

(11) 式为中小企业减排技术创新目标值 ϵ_1^{RN} 关于研发机构创新收费系数 β^{RN} 的反应函数, 即, 中小企业会根据研发机构的创新收费系数 β^{RN} 确定其减排技术创新目标值 ϵ_1^{RN} . 由于以上信息为共同知识, 因此, 研发机构知道中小企业的创新程度反应函数, 就会根据该函数, 以最大化其自身利润为目标确定创新收费系数. 将(11)式代入(3)式, 并求解 $\frac{\partial \pi_i^{RN}}{\partial \beta^{RN}} = 0$, 可得研发机构最优创新收费系数 $\bar{\beta}^{RN}$ 为

$$\bar{\beta}^{RN} = \frac{(P_E^2 - 6a\gamma)(P_E^2 - 3a\gamma)}{aP_E(P_0 - P_E\epsilon_0)} \quad (12)$$

将(12)式分别代入(10)式和(11)式, 求得当 $P_E^2 > 6a\gamma$ 时的中小企业最优创新目标值和产量, 再分别代入(1)–(6)式, 可得中小企业 i 、治污企业和研发机构最优利润 $\bar{\pi}_i^{RN}$ 、 $\bar{\pi}_E^{RN}$ 、 $\bar{\pi}_R^{RN}$, 最优消费者剩余 \bar{CS}^{RN} , 以及最优社会福利 \bar{SW}^{RN} , 其中, 中小企业和研发机构最优利润, 以及最优社会福利分别为

$$\bar{\pi}_i^{RN} = \frac{(P_0 - P_E\epsilon_0)^2(2P_E^2 - 9a\gamma)(P_E^2 - 3a\gamma)}{3an(P_E^2 - 6a\gamma)^2} \quad (13)$$

$$\bar{\pi}_R^{RN} = \frac{P_E^2(P_0 - P_E\epsilon_0)^2(2P_E^2 - 9a\gamma)}{6a(P_E^2 - 6a\gamma)^2} \quad (14)$$

$$\bar{SW}^{RN} = \frac{(P_0 - P_E\epsilon_0)(P_0\theta_1 + P_E\epsilon_0\theta_2)}{2a(P_E^2 - 6a\gamma)^2} \quad (15)$$

其中, $\theta_1 = P_E^4 - 13a\gamma P_E^2 + 27a^2\gamma^2$, $\theta_2 = P_E^4 - 5a\gamma P_E^2 + 9a^2\gamma^2$, 由此可得命题 1 如下.

命题 1 当 $a\gamma < \frac{P_E^2}{6}$ 时, 中小企业将在没有政府补贴的情况下展开减排技术的创新活动.

证 由(8)式和(13)式可得, 当 $a\gamma < \frac{P_E^2}{6}$ 时, $\bar{\pi}_i^{RN} - \bar{\pi}_i^{NR} > 0$, 即, 中小企业在没有政府补贴的情况下展开减排技术创新所获利润大于不进行技术创新所获利润, 因此, 中小企业愿意进行技术创新. 由(12)式和(14)式可知, 当 $a\gamma < \frac{P_E^2}{6}$ 时, 研发机构的所获利润 $\bar{\pi}_R^{RN} > 0$, 因此, 研发机构愿意为中小企业进行减排技术创新. 由此可知, 当 $a\gamma < \frac{P_E^2}{6}$ 时, 中小企业将在没有政府补贴的情况下展开减排技术的创新活动.

命题 1 证毕.

由命题 1 中的条件 $a\gamma < \frac{P_E^2}{6}$ 可以看出, 当治污企业收取的单位治污费用 P_E 较高, 或研发机构的创新成本系数 γ 较小, 即研发机构的创新能力足够强时, 中小企业愿意进行减排技术的创新. 这主要是因为, 治污企业收取的单位治污费用较高时, 中小企业通过减排技术创新所节约的治污成本更多, 因此更愿意进行减排技术创新; 而研发机构的创新能力足够强时, 其完成相同减排技术创新程度所需成本足够低, 中小企业支付的创新费用低于因此节约的治污费用与增加的产品销售利润之和, 从而愿意进行减排技术的创新.

若中小企业 i 在政府对其补贴的情况下进行技术创新, 则其在产品市场上的古诺博弈均衡解为

$$q_i^{RS} = \frac{(P_0 - P_E\epsilon_1^{RS})}{2na} \quad (16)$$

接着, 中小企业以利润最大化为目标, 共同决定其减排技术创新目标值 ϵ_1^{RS} , 将(16)式代入(1)式, 并求解 $\frac{\partial \pi_i^{RS}}{\partial \epsilon_1^{RS}} = 0$, 可得:

$$\epsilon_1^{RS} = \epsilon_0 - \frac{1}{4a\beta^{RS}} [P_E^2 + \sqrt{P_E^4 + 8a\beta^{RS}P_E(1-s)(P_0 - P_E\epsilon_0)}] \quad (17)$$

(17) 式为中小企业减排技术创新目标值 ϵ_1^{RS} 关于研发机构创新收费系数 β^{RS} 的反应函数, 因此, 研发机构将根据该函数以最大化其自身利润为目标确定加成比例. 将(17)式代入(3)式, 并求解 $\frac{\partial \pi_R^{RS}}{\partial \beta^{RS}} = 0$, 可得研发机

构创新收费系数 β^{RS} 为

$$\beta^{RS} = \frac{[P_E^2 - 6(1-s)a\gamma] [P_E^2 - 3(1-s)a\gamma]}{aP_E(1-s)(P_0 - P_E\epsilon_0)} \quad (18)$$

(18) 式为研发机构创新收费系数 β^{RS} 关于政府补贴比例 s 的反应函数, 即, 研发机构将按政府的补贴比例 s 确定其加成比例 β^{RS} . 由于以上信息也是共同知识, 因此, 政府知道研发机构的反应函数, 就会根据该函数以最大化社会福利为目标确定补贴比例. 将(18)式代入(6)式, 并求解 $\frac{\partial SW^{RS}}{\partial s} = 0$, 可得政府最优补贴 \bar{s} 为:

$$\bar{s} = \frac{a\gamma(5P_0 + P_E\epsilon_0) - P_E^3\epsilon_0}{3a\gamma(P_0 + P_E\epsilon_0)} \quad (19)$$

将(19)式代入(18)式, 可得研发机构最优创新收费系数 $\bar{\beta}^{RS}$ 为:

$$\bar{\beta}^{RS} = \frac{3\gamma(P_E^2 + 4a\gamma) [P_0P_E^2 + 2a(P_0 - P_E\epsilon_0)]}{P_E(P_0 + P_E\epsilon_0) [P_E^3\epsilon_0 - 2a\gamma(P_0 - P_E\epsilon_0)]} \quad (20)$$

将(20)式分别代入(16)和(17)式, 可得中小企业最优创新目标值 $\bar{\epsilon}_1^{RS}$ 和最优产品产量 \bar{q}_i^{RS} , 再将 \bar{q}_i^{RS} 、 $\bar{\epsilon}_1^{RS}$ 和 $\bar{\beta}^{RS}$ 分别代入(1)–(6)式, 可得中小企业 i 、治污企业和研发机构最优利润 $\bar{\pi}_i^{RS}$ 、 $\bar{\pi}_E^{RS}$ 、 $\bar{\pi}_R^{RS}$, 最优消费者剩余 \bar{CS}^{RS} 以及最优社会福利 \bar{SW}^{RS} , 其中, 中小企业和研发机构的最优利润, 以及最优社会福利分别为:

$$\bar{\pi}_i^{RS} = \frac{[P_0P_E^2 + 2a\gamma(P_0 - P_E\epsilon_0)] [P_E^2(P_0 - P_E\epsilon_0) + 6a\gamma(P_0 - P_E\epsilon_0)]}{3an(P_E^2 - 6a\gamma)^2} \quad (21)$$

$$\bar{\pi}_R^{RS} = \frac{P_E^2\gamma(P_0 - P_E\epsilon_0)^2 [P_E^2(P_0 - P_E\epsilon_0) + 6a\gamma(P_0 - P_E\epsilon_0)]}{2(P_E^2 + 4a\gamma)^2 [P_E^3\epsilon_0 - 2a\gamma(P_0 - P_E\epsilon_0)]} \quad (22)$$

$$\bar{SW}^{RS} = \frac{1}{2aP_E^2 + 8a^2\gamma} \{P_E^2P_0^2 + a\gamma[(P_0^2 - P_E^2\epsilon_0^2) + 2(P_0^2 - P_0P_E\epsilon_0)]\} \quad (23)$$

由此可得命题 2 如下.

命题 2 当 $a\gamma > \frac{P_E^3\epsilon_0}{(5P_0 + P_E\epsilon_0)}$ 时, 中小企业愿意在政府对中小企业进行补贴的情况下, 展开减排技术的创新活动.

证 由(8)、(13)式和(21)式可得, 当 $a\gamma > \frac{P_E^3\epsilon_0}{(5P_0 + P_E\epsilon_0)}$ 时, $\bar{\pi}_i^{RS} > \bar{\pi}_i^{NR}$ 且 $\bar{\pi}_i^{RS} > \bar{\pi}_i^{RN}$, 即, 中小企业在政府对其进行补贴的情况下展开减排技术创新所获利润大于不进行技术创新所获利润, 以及在没有政府补贴情况下展开技术创新所获利润, 因此, 中小企业愿意在政府对其进行补贴的情况下进行技术创新.

命题 2 证毕.

命题 2 中的条件 $a\gamma > \frac{P_E^3\epsilon_0}{(5P_0 + P_E\epsilon_0)}$ 可以看出, 当治污企业收取的单位治污费用 P_E 较低, 或研发机构的创新成本系数 γ 较大, 即研发机构的创新能力较弱时, 政府可以通过适当的创新投资补贴来激励中小企业进行减排技术的创新活动.

命题 3 当 $a\gamma < \frac{P_E^3\epsilon_0}{(P_0 - P_E\epsilon_0)}$ 时, 研发机构愿意在政府对中小企业进行补贴的情况下, 为中小企业进行减排技术的创新活动.

证 当 $a\gamma < \frac{P_E^3\epsilon_0}{(P_0 - P_E\epsilon_0)}$ 时, 研发机构的最优创新收费系数 $\bar{\beta}^{RS}$ 和最优利润 $\bar{\pi}_R^{RS}$ 均为正. 此外, 由于只有中小企业才有权决定是否接受政府补贴, 研发机构只能根据其利润是否为正决定是否中小企业进行技术创新, 因此, 当 $a\gamma < \frac{P_E^3\epsilon_0}{(P_0 - P_E\epsilon_0)}$ 时, 研发机构所获利润大于 0, 就会愿意为中小企业进行减排技术创新.

命题 3 证毕.

由命题 3 的条件 $a\gamma < \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)}$ 可以看出, 即使是在政府对中小企业进行补贴的情况下, 也只有创新成本系数 γ 较小, 即创新能力较强的研发机构才愿意接受中小企业的委托进行减排技术的创新活动。

命题 4 当 $a\gamma > \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(5P_0 + P_E \epsilon_0)}$ 时, 政府应该对中小企业减排技术创新进行补贴。

证 由命题 2 可知, 当 $a\gamma > \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(5P_0 + P_E \epsilon_0)}$ 时, 中小企业愿意在政府对其进行补贴的情况下进行减排技术的创新活动。

由(9)、(15)式和(23)式可得, $\overline{SW}^{RS} > \overline{SW}^{NR}$ 且 $\overline{SW}^{RS} > \overline{SW}^{RN}$, 即, 政府通过补贴中小企业减排技术创新提高了社会福利。

因此, 作为以社会福利最大化为目标的政府, 应该在 $a\gamma > \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(5P_0 + P_E \epsilon_0)}$ 时, 对中小企业减排技术创新活动进行补贴。

命题 4 证毕。

命题 4 表明, 当研发机构的创新成本系数 γ 较大, 即研发机构的创新能力较弱时, 政府对中小企业的减排技术创新活动进行补贴, 不仅可以提高中小企业的利润, 使得中小企业愿意在其补贴下进行创新, 还可以提高社会福利, 实现了政府最大化社会福利的目标。

命题 5 当 $\frac{P_E^2}{6} < a\gamma < \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)}$ 时, 政府对中小企业进行创新补贴可以激励中小企业进行减排技术创新, 提高社会福利。

证 由(8)式和(13)式可得, 当 $a\gamma > \frac{P_E^2}{6}$ 时, $\bar{\pi}_i^{RN} - \bar{\pi}_i^{NR} < 0$, 因此, 若政府不对中小企业进行补贴, 中小企业将不会进行创新活动。

由 $P_0 > P_E \epsilon_0$ 可知 $\frac{P_E^3 \epsilon_0}{(5P_0 + P_E \epsilon_0)} > \frac{P_E^2}{6}$, 因此, 由命题 2 可知, 当 $a\gamma > \frac{P_E^2}{6}$ 时, 原本不愿进行减排技术创新的中小企业, 在政府对其进行补贴的情况下愿意进行减排技术创新活动。

由命题 3 可知, 当 $a\gamma < \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)}$ 时, 研发机构愿意在政府对中小企业进行补贴的情况下, 为中小企业进行减排技术的创新活动。

因此, 当 $\frac{P_E^2}{6} < a\gamma < \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)}$ 时, 在政府不进行补贴情况下无法进行的减排技术创新活动, 由于政府对中小企业进行补贴变为可行。

此外, 由(9)式和(23)式可知, $\overline{SW}^{RS} > \overline{SW}^{NR}$, 即政府补贴提高了社会福利。

因此, 当 $\frac{P_E^2}{6} < a\gamma < \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)}$ 时, 政府对中小企业进行创新补贴可以激励中小企业进行减排技术创新, 提高社会福利。

命题 5 证毕。

命题 5 表明, 当研发机构的创新能力较弱, 使得中小企业进行技术创新反而会降低其利润而不愿进行创新时, 政府可以通过对中小企业进行补贴, 使其从减排技术创新中增加利润, 从而愿意进行创新, 进而提高社会福利。

命题 6 当 $a\gamma < \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(5P_0 + P_E \epsilon_0)}$ 或 $a\gamma > \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)}$ 时, 政府无需对中小企业进行创新投入补贴。

证 当 $a\gamma < \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(5P_0 + P_E \epsilon_0)}$ 时, $\bar{\pi}_i^{RS} < \bar{\pi}_i^{RN}$, 因此, 中小企业不会接受政府的补贴; 当 $a\gamma >$

$\frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)}$ 时, $\bar{\pi}_R^{RS} < 0$, 研发机构不会为中小企业进行减排技术创新. 因此, 在以上两种情况下, 政府均无需对中小企业进行创新投入补贴.

命题 6 证毕.

命题 6 表明, 当研发机构创新能力很强时, 政府进行补贴反而会降低中小企业利润, 因此, 中小企业不会接受政府补贴, 政府也就无需对中小企业的创新行为进行补贴; 当研发机构创新能力太弱时, 即使政府对中小企业的创新行为进行补贴, 研发机构也无法从协同创新中获利, 而不愿为中小企业进行技术创新, 因此, 政府也无需进行补贴.

3 仿真分析

某地区有 20 家生产同一种产品的中小企业, 其产品反需求函数为 $P = 1\ 000 - Q$. 中小企业 $i (i = 1, 2, \dots, 20)$ 在生产过程中会产生一定数量的污染物, 且污染物生产量为 $e_i = 10q_i$. 所有中小企业的污染物均由专业治污公司进行治理, 治污公司按单位治污价格 $P_E = 60$ 向中小企业收取治污费用.

现中小企业计划进行减排技术创新, 将单位产品的污染物排放量由 $\epsilon_0 = 10$ 降低为 ϵ_1 . 中小企业将创新活动外包给科研组织, 科研组织的研发成本为 $C_R = 350(\epsilon_0 - \epsilon_1)^2$, 并依中小企业减排技术创新目标值 ϵ_1 向中小企业收取研发费用 P_R .

为了鼓励中小企业进行减排技术创新, 政府决定按其创新成本 P_R 的一定比例 s 进行补贴.

由(7)、(8)和(9)式计算可得, 中小企业不进行减排技术创新时的最优产品产量、利润及社会福利分别为: $\bar{q}_i^{NR} = 10$, $\bar{\pi}_i^{NR} = 2\ 000$ 和 $\overline{SW}^{NR} = 180\ 000$.

由(13)、(14)和(15)式计算可得, 中小企业在政府不对其进行创新补贴的情况下, 展开减排技术创新所获利润, 研发机构利润, 以及社会福利分别为: $\bar{\pi}_i^{RN} = 979.59$, $\bar{\pi}_R^{RN} = -14\ 693.96$, 和 $\overline{SW}^{RN} = 9\ 9591.8$; 中小企业创新与不创新的利润差为 $\bar{\pi}_i^{RN} - \bar{\pi}_i^{NR} = -1\ 020.41$. 由于中小企业进行创新反而降低了其利润, 且研发机构的利润为负, 因此, 中小企业和研发机构均不愿进行减排技术创新. 由 $2\ 000 = a\gamma > \frac{P_E^2}{6} = 600$, 证实了本文命题 1 的结论.

由(21)、(22)和(23)式计算可得, 中小企业在政府对其进行创新补贴的情况下, 展开减排技术创新所获利润, 研发机构利润, 以及社会福利分别为: $\bar{\pi}_i^{RS} = 6637.69$, $\bar{\pi}_R^{RS} = 1\ 203\ 470$, 和 $\overline{SW}^{RS} = 279\ 310$. 对比可得 $\bar{\pi}_i^{RS} - \bar{\pi}_i^{NR} = 4\ 337.69$ 和 $\overline{SW}^{RS} - \overline{SW}^{NR} = 99\ 310$, 因此, 中小企业和研发机构均愿意进行减排技术的创新活动, 社会福利也得到了极大提高. 由 $\frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)} = 5\ 400$, 证实了本文命题 4 和命题 5 的结论, 当 $\frac{P_E^2}{6} <$

$a\gamma < \frac{P_E^3 \epsilon_0}{(P_0 - P_E \epsilon_0)}$ 时, 政府通过对中小企业进行补贴可以使原本无法进行的减排技术创新活动得以实现, 且提高了社会福利, 因此, 政府应该对中小企业减排技术创新进行补贴.

4 结 论

本文通过构建中小企业、研发机构及政府间的减排技术协同创新博弈模型, 研究了中小企业委托研发机构进行减排技术创新的策略和政府补贴政策. 通过理论和仿真分析得出了中小企业进行减排技术创新和政府中小企业补贴的条件以及中小企业的最优创新策略和政府最优补贴政策. 研究表明, 当研发机构创新能力较强或治污企业向中小企业收取的单位治污费用较高时, 中小企业会进行减排技术协同创新; 当研发机构创新能力较弱或单位治污收费较低时, 政府需要对中小企业进行补贴, 以促使其进行创新, 进而提高社会福利; 当研发机构创新能力太弱时, 即使政府对中小企业补贴, 中小企业也不会进行创新, 政府也就无需补贴.

参考文献:

- [1] TANAKA M. Multi-Sector Model of Tradable Emission Permits [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2012, 51(1): 61–77.
- [2] PANG A, SHAW D. Optimal Emission Tax with Pre-Existing Distortions [J]. *Environmental Economics and Policy Studies*, 2011, 13(2): 79–88.
- [3] PAETZOLD A, SMITH M, WARREN P H, et al. Environmental Impact Propagated by Cross-System Subsidy: Chronic Stream Pollution Controls Riparian Spider Populations [J]. *Ecology*, 2011, 92(9): 1711–1716.
- [4] STEVENS R J L, MOUSTAPHA M M, EVELYN P, et al. Analysis of the Emerging China Green Era and Its Influence on Small and Medium-Sized Enterprises Development: Review and Perspectives [J]. *Journal of Sustainable Development*, 2013, 6(4): 86–105.
- [5] 李宇雨. 中小企业环境规制机制研究 [J]. *现代管理科学*, 2012, 31(9): 112–114.
- [6] ZENG S X, MENG X H, ZENG R C, et al. How Environmental Management Driving Forces Affect Environmental and Economic Performance of SMEs: a Study in the Northern China District [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(13): 1426–1437.
- [7] 宋之杰, 孙其龙. 减排视角下企业的最优研发与补贴 [J]. *科研管理*, 2012(10): 80–89.
- [8] 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.
- [9] 孟卫军. 基于减排研发的补贴和合作政策比较 [J]. *系统工程*, 2010, 28(11): 123–126.
- [10] 谢鑫鹏, 赵道致. 低碳供应链企业减排合作策略研究 [J]. *管理科学*, 2013, 26(3): 108–119.
- [11] 王锋正. 低碳经济视角下内蒙古工业企业节能减排技术创新路径研究 [J]. *科学管理研究*, 2010, 28(3): 40–46.

Research on the Policy of SMEs' Cooperative Emission Reduction Innovation

CHEN Yong¹, HUANG Bo²

1. *Chongqing Academy of Science and Technology, Chongqing 401123, China;*

2. *School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China*

Abstract: Assuming that SMEs (small- and middle-sized enterprises) consign emission reduction innovation to an R&D organization with government's subsidy under the condition that a professional pollutants treatment enterprise treats all pollutants for SMEs, a game model among SMEs, R&D organization and government is developed so as to study SMEs' optimal innovation policy and government's optimal subsidy policy. Theoretical calculation and numerical simulation show that when the R&D organization's innovation capacity is weak or the unit pollutant treatment price charged by the pollutant treatment enterprise is low, which causes SMEs to be unwilling to make innovation, government can stimulate SMEs to make innovation through subsidy and, as a result, social welfare is improved.

Key words: cooperative innovation; small and middle sized enterprises (SMEs); emission reduction technology; government subsidy

责任编辑 汤振金

