

碳税规制下零售商减排成本分担对企业减排决策的影响

姜 跃¹，韩水华²

(1. 福建工程学院 管理学院，福州 350118; 2. 厦门大学 管理学院，福建 厦门 361005)

内容提要：基于制造商与零售商行为的斯坦伯格博弈，本文分析在碳税规制下零售商减排成本分担如何影响制造商与零售商减排的最优决策。研究结果表明：在零售商不承担减排成本时，零售商的最优订货批量与制造商的减排量正相关，零售商的最优订货量与产品的批发价格负相关；在零售商承担减排成本时，零售商的订购批量与制造商产品的减排量之间的关系主要取决于消费者对碳排放敏感度与零售商成本分担率之差，当消费者对碳排放的敏感度大于零售商成本分担率，零售商的最优订购量与制造商的减排量之间正相关，反之则负相关。零售商订购批量与制造商确定的半成品价格负相关；实施成本分担契约后，如果制造商的减排量满足一定约束条件，制造商的利润和零售商的利润会同时增加，实现帕累托最优。

关键词：碳税；碳排放敏感度；零售商成本分担；斯坦伯格博弈

中图分类号：F224 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-148X (2017) 08-0158-09

DOI:10.13902/j.cnki.syyj.2017.08.019

一、引言

随着消费者低碳意识的提高和碳税的逐步开征，碳排放对产品价格的影响越来越大，降低碳排放成为企业急需解决的重大问题。制造商降低产品的碳排量能够提高产品的零售价格，提升零售商销售单位产品所获得的利润，但是如果制造商承担全部减排成本，那么就必然会导致产品的批发价格上升，市场需求量下降。因此，碳税政策下减排成本分担对企业减排决策具有重要的影响。

关于碳税规制对供应链各环节决策的影响，Petraakis 和 Poyago-Theotoky (2002) 研究了碳税政策下激发企业减排欲望的政府补贴政策，以及面对政府碳税政策和补贴政策企业生产决策选择，研究结果显示合适的碳税政策和补贴政策能够起到促进企业减排的作用^[1]。夏良杰等 (2015) 研究了基于转移支付契约的供应商和制造商联合减排问题，并且分析相关参数对供应商和制造商各决策变量的影响，研究表明制造商可以通过提高自身减排量和为供应商减排提供转移支付激励其提高减排量，联合减排能够实现供应链产品碳足迹的优化和利润的帕累托改进^[2]。程永宏和熊中楷 (2015) 研究政府碳税政策对制造商和零售商的影响，并且分析了碳税税率变化所引起的制造商和零售商决策的变化，研究发现，碳税政策下单位产品的二氧化碳减排量和销售价格不仅依赖于碳税税率，还与其初始二氧化碳排放量以及供应链中制造商和零售商的决策方式有关^[3]。

供应链上下游企业减排合作问题，Bhaskaran 和 Krishnan (2009) 认为主要有成本分摊和任务分摊两种合作模式，在此基础上通过比较成本分摊和任务分摊的优缺点，研究得出这两种合作模式的适用范围^[4]。Poyago-Theotoky (2007) 研究了在碳税政策下生产同种产品的企业之间的合作与竞争问题，并比较了内生排放税下不同研发组织形式企业的研发水平、利润和社会福利^[5]。孟卫军 (2010) 通过考察两个生产同类产品的企业在政府收取碳税时减排合作与减排竞争下的最优决策和社会福利变化，发现当排

收稿日期：2017-04-18

作者简介：姜跃 (1985-)，女，辽宁营口人，福建工程学院管理学院讲师，管理学博士，研究方向：供应链管理、运作管理；韩水华 (1970-)，男，江西上饶人，厦门大学管理学院教授，博士生导师，工学博士，研究方向：供应链管理、信息管理。

基金项目：国家自然科学基金项目，项目编号：71671152；教育部新世纪优秀人才支持计划项目，项目编号：NCET-12-0321；福建工程学院引进人才科研启动基金项目，项目编号：GY-S17001。

放税较高时，合作研发下的研发水平和利润大于补贴下的研发水平和利润；当排放税较低时，则相反^[6]。

关于零售商成本分担对企业减排决策的影响，骆瑞玲等（2014）构建制造商和零售商两阶段博弈模型，分别分析集中决策和分散决策情况下制造商和零售商的最优决策，研究结果显示合理的碳排放上限对制造商降低碳排放具有积极作用^[7]。Liu 等（2012）通过构建制造商与零售商之间的 Stackelberg 两阶段博弈模型来分析消费者对碳排放的敏感性对供应链成员决策的影响，同时分析了制造商与零售商之间的竞争对利润分配的影响^[8]。

考虑到碳税规制下零售商成本分担对制造商和零售商最优决策的影响，本文构建一个以制造商作为领导者，零售商作为跟随者的两阶段斯坦伯格博弈模型来研究在无成本分担和实施成本分担契约下制造商与零售商减排的最优决策，并且通过算例分析考察相关参数对制造商和零售商决策变量的影响。

二、问题描述

在制造商和零售商组成的两级供应链中，考虑零售商承担减排成本和不承担减排成本两种情况下制造商和零售商的最优决策。图 1 表示制造商和零售商组成的两级供应链结构图。

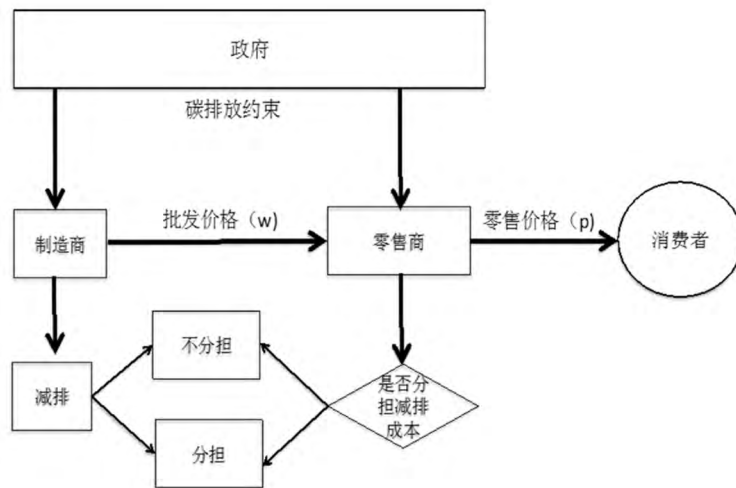


图 1 制造商和零售商组成的两级供应链网络结构图

基本假设如下：（1）制造商具有能够满足市场需求的生产能力，因此不考虑缺货的情况；（2）该供应链只生产和销售一种产品；（3）在制造商生产条件不变的情况下，生产单位产品的碳排放是固定的，即总碳排放量是关于产量的线性函数；（4）为了不失去一般性，本文假设 $p > w$ ；（5）政府根据碳排放量来征收碳税，不考虑碳税减免的情况。

本文定义如下相关符号： σ_m 和 e_m 分别表示减排前制造商生产单位产品的碳排放量和碳排放降低量； w 表示产品批发价格； p 表示产品的销售价格； d 表示消费者对碳排放的敏感度； c_m 表示制造商单位产品的生产成本； l_m 表示制造商减排投资成本系数； t 表示政府单位碳排放征收的碳税； λ 表示零售商减排成本分担率； Π_m^{ND} 和 Π_m^{YD} 表示制造商在零售商不承担减排成本和承担减排成本两种情况下制造商的利润； Π_r^{ND} 和 Π_r^{YD} 表示零售商不承担减排成本和承担减排成本两种情况下零售商的利润。

制造商刚开始减排时减排成本相对较低，但是制造商的减排成本的上升速度随着减排量的上升而不断加快，因此制造商减排成本是关于减排量的凸函数，所以制造商的减排投资成本 $c(e)$ 同时满足一阶导数和二阶导数大于 0，即 $c'(e) > 0$ 和 $c''(e) > 0$ 。同时根据相关文献假设，制造商的减排投资成本为 $\frac{1}{2}l_m e_m^2$ 。

在不考虑碳排放时产品的市场价格 $p = a - bQ$ ，随着消费者低碳意识的逐步提高，消费者对低碳产品的支付意愿越来越强，因此考虑碳排放时产品的市场价格为 $p = a - bQ + de_m$ 。

三、模型分析

（一）零售商不承担减排成本时企业的减排决策

在供应链中，制造商和零售商行为是斯坦伯格博弈。该博弈一共分为两个阶段，第一阶段制造商确

定产品的批发价格和减排量，第二阶段零售商根据制造商的相关决策以及市场情况确定产品的采购量。本文采用逆向归纳法进行求解。

零售商的目标函数为：

$$\text{MAX}\Pi_r^{ND} = (a - bQ + de_m - w) Q \quad (1)$$

公式 (1) 对 Q 求二阶导数，可以得到 $\frac{\partial^2 \Pi_r^{ND}}{\partial Q^2} = -2b < 0$ ，目标函数 (1) 存在唯一最优解，令一阶偏导数 $\frac{\partial \Pi_r^{ND}}{\partial Q} = 0$ ，可以求得零售商的最优订货批量为：

$$Q^{ND} = \frac{a + de_m - w}{2b} \quad (2)$$

将 Q 分别对 e_m 和 w 求偏导数，可以得到 $\frac{\partial Q^{ND}}{\partial e_m} > 0$ ， $\frac{\partial Q^{ND}}{\partial w} < 0$ 。

结论 1：零售商不承担减排成本时，(1) 零售商的最优订货批量与制造商的减排量正相关；(2) 零售商的最优订货批量与产品的批发价格负相关。

结论 1 说明了随着制造商减排量的不断上升，零售商应该增加产品的订货批量。形成这一现象的主要原因是产品的销售价格与制造商的碳排放降低量正相关，当制造商增加碳排放降低量时，产品的销售价格不断上涨，同时产品销售价格的上涨速度小于产品批发价格的上涨速度，所以随着制造商碳排放降低量不断上升，零售商从产品销售中所获取的利润就不断上升，因此零售商的采购量也随之不断提高。零售商的最优订货批量与产品的批发价格负相关，这主要是因为当产品的批发价格上涨时，零售商的成本就会上升，因此会降低产品订货量，同时我们还可以看出制造商降低产品的批发价格是促使零售商增加产品订货量的有效方法之一。

制造商根据零售商采购量来确定半成品的价格和减排水平，制造商的目标函数为：

$$\Pi_m^{ND} = (w - c_m) \frac{a + de_m - w}{2b} - t(\sigma_m - e_m) \frac{a + de_m - w}{2b} - \frac{1}{2} l_m e_m^2 \quad (3)$$

由于海赛矩阵等于 $H^{ND} = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \Pi_m^{NE}}{\partial w^2} & \frac{\partial^2 \Pi_m^{NE}}{\partial w \partial e_m} \\ \frac{\partial^2 \Pi_m^{NE}}{\partial e_m \partial w} & \frac{\partial^2 \Pi_m^{NE}}{\partial e_m^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\frac{1}{b} & \frac{d-t}{2b} \\ \frac{d-t}{2b} & dt - bl_m \end{vmatrix}$ ，一阶顺序主子式等于 $-\frac{1}{b}$ ，而二阶顺

序主子式为 $\frac{4bl_m - (d+t)^2}{4b^2}$ ，所以当 $4bl_m - (d+t)^2 > 0$ 时，海赛矩阵的二阶顺序主子式大于 0，海赛矩阵 H^{ND} 为负定的，此时公式 (3) 存在局部最优值。

公式 (3) 所表示的制造商的目标函数分别对 w 和 e_m 求一阶偏导数，并令一阶偏导数等于 0，可得：

$$w = \frac{a + (d-t)e_m + c_m + t\sigma_m}{2}, e_m = \frac{-at - dw + tw + dc_m + dt\sigma_m}{2(dt - bl_m)} \quad (4)$$

将 w 对 e_m 求导，可以得到 $\frac{\partial w}{\partial e_m} = d - t$ 。

结论 2：产品的生产成本随着制造商减排量的上升而上升，但是产品的批发价格不一定上升。产品批发价格与制造商减排量之间的关系主要取决于消费者对碳排放敏感度和碳税。如果碳排放敏感度大于碳税，那么产品批发价格与制造商减排量之间正相关，反之则负相关。

形成这一现象的主要原因是，如果消费者的碳排放敏感度大于碳税，制造商降低碳排放所导致的由于零售商增加订货量而增加的利润小于制造商的减排成本和制造商向政府缴纳的碳税降低量之和，所以此时制造商会通过提高产品批发价格的方法来弥补减排成本，因此产品的批发价格随着制造商碳排放降低量的上升而增加，反之同理。

同时可以求得制造商最优减排量为 $e_m = \frac{(d+t)(c_m - a + t\sigma_m)}{(d+t)^2 - 4bl_m}$ ，制造商和零售商的利润为 $\Pi_r^{ND} =$

$\frac{bl_m^2 (c_m + t\sigma_m - a)^2}{[(d+t)^2 - 4bl_m]^2}$, $\Pi_m^{ND} = \frac{l_m (c_m - a + t\sigma_m)^2}{2[4bl_m - (d+t)^2]}$ 。将 e_m 对 d 和 t 求导, 可以得到:

$$\frac{\partial e_m}{\partial d} = \frac{[(d+t)^2 + 4bl_m] (a - c_m - t\sigma_m)}{[(d+t)^2 - 4bl_m]^2}$$

$$\frac{\partial e_m}{\partial t} = \frac{(d+t)^2 (a + d\sigma_m) + 4bl_m [a - (d+2t)\sigma_m] - c_m [(d+t)^2 + 4bl_m]}{[(d+t)^2 - 4bl_m]^2}$$

分析 $\frac{\partial e_m}{\partial d}$, 由于制造商的利润函数存在最优解的条件是海赛矩阵的二阶顺序主子式大于 0, 因此 $4bl_m -$

$(d+t)^2 > 0$, 同时由于 $Q^{ND} = \frac{l_m (a - c_m - t\sigma_m)}{4bl_m - (d+t)^2}$ 大于 0, 所以 $a - c_m - \sigma_m > 0$, 因此可以得到 $\frac{\partial e_m}{\partial d} =$

$$\frac{[(d+t)^2 + 4bl_m] (a - c_m - t\sigma_m)}{[(d+t)^2 - 4bl_m]^2} > 0。$$

分析 $\frac{\partial e_m}{\partial t}$, 当 t 相对较小时, $\frac{\partial e_m}{\partial t} > 0$; 随着 t 的不断增大, $4bl_m [a - (d+2t)\sigma_m]$ 的上涨速度小于

$c_m [(d+t)^2 + 4bl_m]$ 的上涨速度, 所以当 t 增大到一定程度时, $\frac{\partial e_m}{\partial t} < 0$ 。

结论 3: 在零售商无成本分担情况下, 制造商的减排量与消费者对碳排放的敏感度和碳税有关。制造商的减排量随着碳排放敏感度的上升而增加, 形成这一详细的主要原因是随着碳排放敏感度的上升, 制造商由于增加减排量而带来的利润上涨幅度大于减排成本的上升幅度, 因此为了获取较高利润, 制造商会随着碳排放敏感度的上升而逐步提高减排量, 随着碳排放敏感度的下降而降低减排量。

这种现象同时也说明了政府可以通过增强关于低碳产品的宣传, 产品采用低碳标识来增强消费者的碳排放敏感度, 从而刺激制造商增加产品的减排量。随着碳税的上升制造商的减排量先上升后下降, 这就说明了碳税不是越高越好, 政府应该在合理的范围内设置碳税, 这样才能起到减排作用, 如果碳税过高, 只能使企业经营负担增加, 并不能达到减排的效果。

(二) 零售商承担减排成本时企业的减排决策

在引入零售商减排成本分担后, 制造商和零售商之间同样是两阶段斯坦伯格博弈, 在第一阶段, 制造商先决定产品的批发价格、减排量以及减排成本分担率。第二阶段, 零售商根据制造商确定产品的批发价格、减排量、减排成本分担率以及产品的市场需求来确定自己的最优订购批量。本节同样采用逆向归纳法进行求解, 即先求出零售商的最优订货批量, 然后再求出制造商产品的批发价格、产品减排量以及减排成本分担率。我们假设零售商的减排成本分担率 λ , 制造商和零售商的利润函数分别为:

$$\Pi_m^{YD} = (w - c_m) Q - (\sigma_m - e_m) Qt - \frac{1}{2} l_m e_m^2 + \lambda e_m Q \quad (5)$$

$$\Pi_r^{YD} = (p - w) Q - \lambda e_m Q \quad (6)$$

为了计算方便, 假设制造商产品的批发价格和减排量已经事先确定好, 在下一节具体分析零售商减排成本分担情况下产品的批发价格和制造商减排量的具体取值范围。第一阶段, 零售商决定采购量, 由

公式 (6) 可得 $Q^{YD} = \frac{a + de_m - w - \lambda e_m}{2b}$, 并分别对 e_m 和 w 求偏导数可得 $\frac{\partial Q}{\partial e_m} = d - \lambda$, $\frac{\partial Q}{\partial w} < 0$ 。

结论 4: 在零售商成本分担的斯坦伯格博弈中, (1) 零售商的订购批量与制造商产品的减排量之间的关系主要取决于消费者对碳排放敏感度与零售商成本分担率之差, 当消费者对碳排放的敏感度大于零售商成本分担率, 那么零售商的最优订购量与制造商的减排量之间正相关, 反之则负相关。(2) 零售商的订购批量与制造商确定的半成品价格负相关。

结论 4 中零售商产品的采购量与制造商的减排量之间的关系主要取决于消费者对碳排放敏感度与零售商成本分担率之差, 这主要是因为如果消费者对碳排放敏感度大于零售商成本分担率, 此时由于制造商降低碳排放量所导致的产品零售价格上涨给零售商带来的利润的上升幅度大于零售商所承担的减排成本, 所以零售商为了获取最大利润就会增加产品的采购量, 反之同理。零售商的最优订货批量与产品的

批发价格负相关，这主要是因为当产品的批发价格上涨时，零售商的成本就会上升，因此会降低产品订货量，同时我们还可以看出在零售商分担减排成本的情况下，制造商降低产品的批发价格是刺激零售商增加产品采购量的有效方法。

第二阶段制造商决定零售商的减排成本分担率，把 $Q^{YD} = \frac{a + de_m - w - \lambda e_m}{2b}$ 代入公式 (5) 中，可以得到制造商的目标函数为：

$$\Pi_m^{YD} = \frac{1}{2b}(a + de_m - w - \lambda e_m)(w - c_m - t\sigma_m + te_m + \lambda e_m) - \frac{1}{2}l_m e_m^2 \quad (7)$$

Π_m^{YD} 对 λ 求二阶偏导数，可以求得 $\frac{\partial^2 \Pi_m^{YD}}{\partial \lambda^2} = -\frac{e_m^2}{b} < 0$ ，所以公式 (7) 存在唯一最优值。令 $\frac{\partial \Pi_m^{YD}}{\partial \lambda} = 0$ ，可得 $\frac{\partial \Pi_m^{YD}}{\partial \lambda} = \frac{e_m}{2b}[a - 2w + c_m + (d - t - 2\lambda)e_m + t\sigma_m] = 0$ ，因此可以求得零售商的最优成本分担率为：

$$\lambda = \frac{a - 2w + c_m + (d - t)e_m + t\sigma_m}{2e_m} \quad (8)$$

将 λ 分别对 w 和 e_m 求偏导数可以得到： $\frac{\partial \lambda}{\partial w} = -\frac{1}{e_m} < 0$ ， $\frac{\partial \lambda}{\partial e_m} = \frac{2w - a - c_m - t\sigma_m}{2e_m^2}$ 。

结论 5：在零售商成本分担的斯坦伯格博弈中，(1) 零售商的减排成本分担率与产品的批发价格之间负相关。(2) 零售商的减排成本分担率与制造商的减排量之间的关系取决于 $2w - a - c_m - t\sigma_m$ 的数值，当 $2w - a - c_m - t\sigma_m$ 大于 0 时，零售商的减排成本分担率与制造商的减排量之间正相关；当 $2w - a - c_m - t\sigma_m$ 小于 0 时，零售商的减排成本分担率与制造商的减排量之间负相关。

零售商的减排成本分担率与产品的批发价格之间负相关说明了如果降低产品的批发价格时，制造商应该提高零售商的减排成本分担率；如果提高产品的批发价格，制造商应该降低零售商的减排成本分担率。这主要是因为制造商可以通过提高产品批发价格的方法把部分减排成本转移给零售商，所以当产品批发价格上升时，零售商的成本分担率会随之下降，反之亦然。零售商的减排成本分担率与制造商减排量之间的关系取决于 $2w - a - c_m - t\sigma_m$ 的数值，这主要是因为当 $2w - a - c_m - t\sigma_m$ 大于 0 时，随着产品减排量的上升，制造商投入的减排成本上升幅度大于由于产品碳排放降低而给制造商带来的利润增加幅度，因此为了获取最大利润，随着减排量的不断上升，制造商会逐步提高零售商的成本分担率；当 $2w - a - c_m - t\sigma_m$ 小于 0 时，此时制造商投入的减排成本上升幅度小于由于产品的碳排放降低而给制造商带来的利润增加幅度，因此此时随着减排量的不断上升，制造商会逐步降低零售商的成本分担率。

(三) 零售商承担减排成本的必要条件

制造商和零售商都愿意实施成本分担的必要条件是帕累托改进，即在实施成本分担后都能增加制造商和零售商的利润。在引入成本分担后，零售商决定最优订货量，制造商确定成本分担率，可以求出产品减排量的取值范围，使得制造商和零售商在实施减排成本分担契约后的利润都比无减排分担契约时有一定程度的增加。

制造商愿意实施成本分担契约的条件是在实施减排成本分担契约后，制造商的利润有一定程度增加，即实施减排成本分担后的利润大于实施减排成本分担前的利润，即：

$$\Pi_m^{YD} - \Pi_m^{ND} = \frac{(a - c_m + de_m + te_m - t\sigma_m)^2}{8b} - \frac{1}{2}l_m e_m^2 - \frac{l_m(c_m - a + t\sigma_m)^2}{2[4bl_m - (d + t)^2]} > 0 \quad (9)$$

则可以求出 e_m 的取值范围。

零售商愿意实施成本分担契约的条件是在实施减排成本分担契约后，零售商的利润有一定程度增加，即实施减排成本分担后的利润大于实施减排成本分担前的利润，即：

$$\Pi_r^{YD} - \Pi_r^{ND} = \frac{(a - c_m + de_m + te_m - t\sigma_m)^2}{16b} - \frac{bl_m^2(c_m + t\sigma_m - a)^2}{[(d + t)^2 - 4bl_m]^2} > 0 \quad (10)$$

结论 6：如果制造商产品的减排量 e_m 同时满足公式 (9) 和 (10)，则制造商的利润上升，同时零售商的利润也上升，所以此时的减排量使制造商和零售商都有动力实施成本分担契约。

在实施成本分担契约时，产品的减排量是制造商事先确定好的，并不一定能够取到最优值，因此此时制造商和零售商的利润也并不一定是最佳利润值，但是只要产品的减排量同时满足公式（9）和（10），制造商和零售商的利润在实施成本分担契约后都会增加，此时的产品减排量能够实现帕累托改进，因而证明了成本分担契约是有效的。

当由于产品减排量增加所带来的产品价格上涨给制造商和零售商带来的利润上涨幅度大于制造商和零售商承担的减排成本分担费用时，制造商和零售商就有动机实施成本分担契约。因此，在消费者具有一定碳排放敏感度的市场环境中，供应链中各成员就可以根据企业的实际情况进行详细分析、精确计算，制定合适的政策来激励供应链中的上下游企业，以实现帕累托最优。

四、算例分析

为了进一步比较碳税和消费者对碳排放的敏感度对无减排成本分担和实施减排成本分担契约后对供应链各决策变量以及制造商和零售商利润的影响，本节使用数值分析的方法来进行相关分析。在满足最优解的条件下，令 $a = 100, b = 0.8, l_m = 200, \sigma_m = 3, c_m = 10$ 。我们首先分析无减排成本分担情况下碳税和碳排放敏感度对供应链各决策变量的影响，然后分析实施减排成本分担契约后的碳税和碳排放敏感度对供应链各决策变量的影响，最后分析制造商减排量的取值范围。

（一）零售商不承担减排成本时碳排放敏感度与碳税对供应链成员决策的影响

无减排成本分担情况下，碳税与碳排放敏感度对供应链各成员决策的影响如图2至图5所示。图2、图3、图4和图5分别分析了碳税和消费者对碳排放敏感度对制造商减排量、零售商采购量、制造商利润和零售商利润的影响。

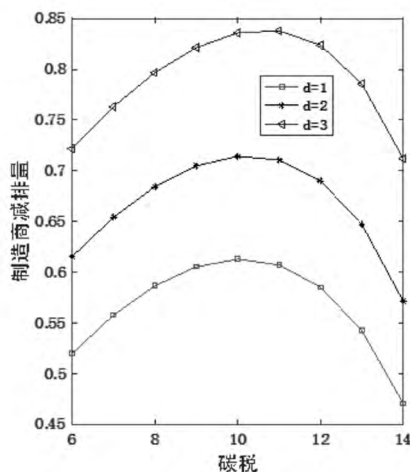


图2 无减排成本分担时碳税与碳排放敏感度对制造商减排量的影响

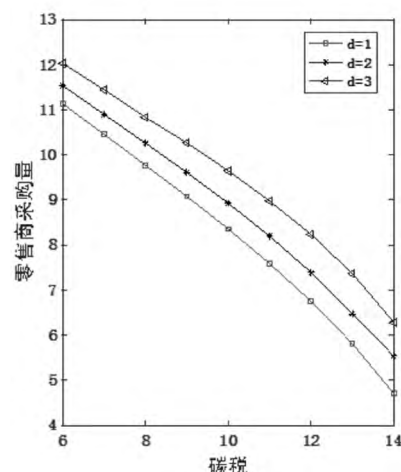


图3 无减排成本分担时碳税与碳排放敏感度对零售商采购量的影响

从图2至图5的分析结果可以看出，碳排放敏感度 d 与制造商的减排量、零售商的采购量、制造商和零售商的利润正相关。消费者对碳排放敏感度越高，就愿意为低碳产品支付更高的价格，零售商销售单位产品所获的利润就越高，因此随着碳排放敏感度的不断上升，零售商就会提高产品的采购量，零售商的利润也会增加。对于制造商而言，随着消费者对碳排放敏感度的上升，由于产品批发价格和零售商采购量上升所带来的利润上涨幅度大于制造商减排成本的上升幅度，所以随着消费者对碳排放敏感度的上升，制造商产品的减排量也随之不断上升，制造商利润也会相应增加。这一现象告诉我们，企业可以加强在低碳产品方面的宣传工作，在产品上使用碳标签或者低碳标识等，不断提高消费者对碳排放的敏感度，进而提高企业利润水平。政府方面可以通过宣传来弘扬人与自然和谐相处的发展观，加强低碳产品的认证，不断提高消费者的低碳意识，营造一个低碳节能的社会环境。

同时从上述算例分析还可以看出，制造商的减排量随着碳税的上升先增加后减少，零售商采购量、制造商利润和零售商利润随着碳税的上升而降低，这就说明了碳税不是越高越好，政府应该在合理的范

围内设置碳税, 这样才能起到减排作用, 如果碳税过高, 只能使企业经营负担增加, 并不能达到减排的效果。另外, 制造商和零售商的成本也会随着碳税的升高而上升, 所以零售商降低产品采购量, 制造商和零售商利润也会随着碳税的升高而下降。

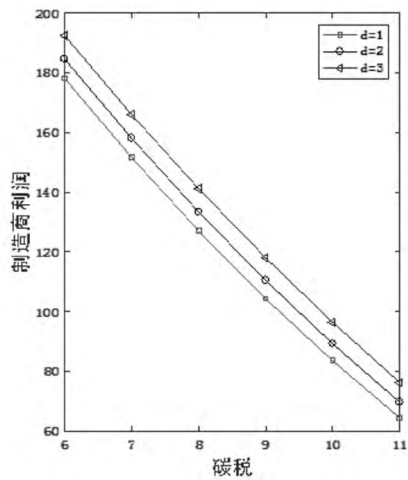


图4 无减排成本分担时碳税与碳排放敏感度对制造商利润的影响

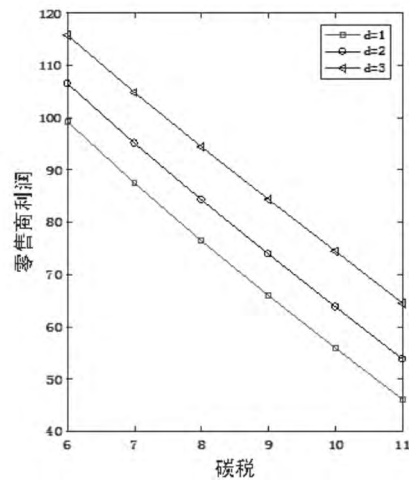


图5 无减排成本分担时碳税与碳排放敏感度对零售商利润的影响

(二) 零售商承担减排成本时碳排放敏感度与碳税对供应链成员决策的影响

假设产品的批发价格 $w = 50$, 制造商减排量 $e_m = 1.2$ 。图6、图7、图8和图9分别分析减排成本分担下, 碳税和碳排放敏感度对零售商成本分担率、零售商采购量、制造商利润和零售商利润的影响。

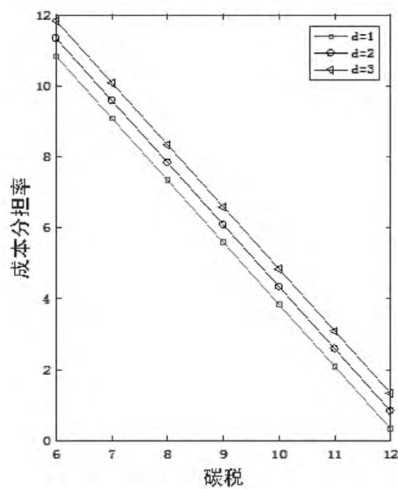


图6 减排成本分担时碳税与碳排放敏感度对成本分担率的影响

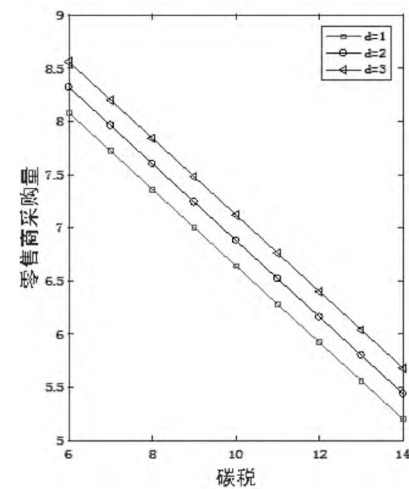


图7 减排成本分担时碳税与碳排放敏感度对零售商采购量的影响

与上一节无成本分担情况一致, 消费者对碳排放敏感度 d 的取值分析了消费者对碳排放敏感度对零售商成本分担率、零售商采购量、制造商利润和零售商利润的影响。图6至图9显示了在实施成本分担契约下, 随着消费者对碳排放敏感度的增加, 零售商成本分担率、零售商采购量、制造商利润和零售商利润都有所增加。随着碳税的增大, 零售商成本分担率、零售商采购量、制造商利润和零售商利润逐步降低。形成这一现象的主要原因是消费者能够接受的产品价格随着消费者对碳排放敏感度的上升而不断上升, 零售商的利润空间不断增大, 零售商能够承担的减排成本就越来越高, 因此制造商为了获取最大利润, 就会不断提高零售商的成本分担率。随着碳税的不断上升, 产品成本越来越高, 产品销售价格就随之越来越高, 零售商的产品销售量就随之下降, 零售商利润空间降低, 进而零售商能够承担的减排成本就越来越少, 所以随着碳税的逐步上升, 制造商会降低零售商的减排成本分担率。在实施成本分担契约后, 零售商采购量、制造商利润和零售商利润随着碳税和碳排放敏感度的变化趋势与无成本分担情况一致,

此处不再赘述其变化原因。

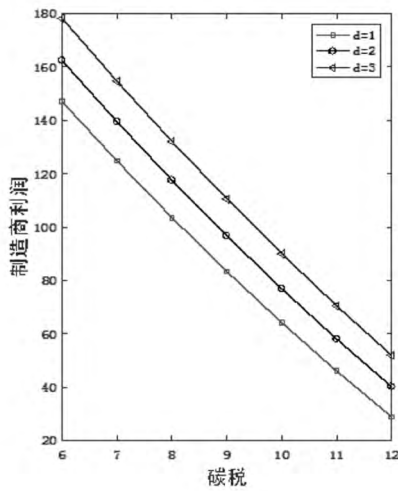


图8 减排成本分担时碳税与碳排放敏感度对制造商利润的影响

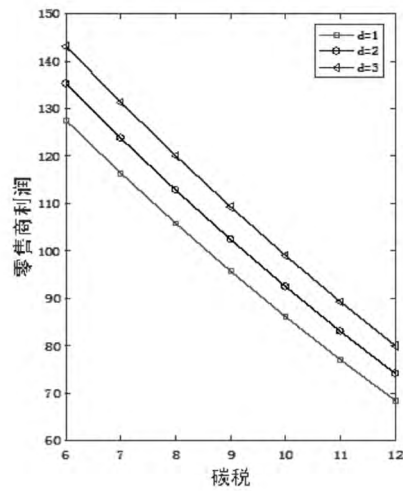


图9 减排成本分担时碳税与碳排放敏感度对零售商利润的影响

(三) 成本分担前后比较分析

假设消费者对碳排放的敏感度 $d = 9$ ，碳税 $t = 4$ 。图10分析了实施减排成本分担契约后，不同减排量情况下制造商和零售商的利润变化趋势。

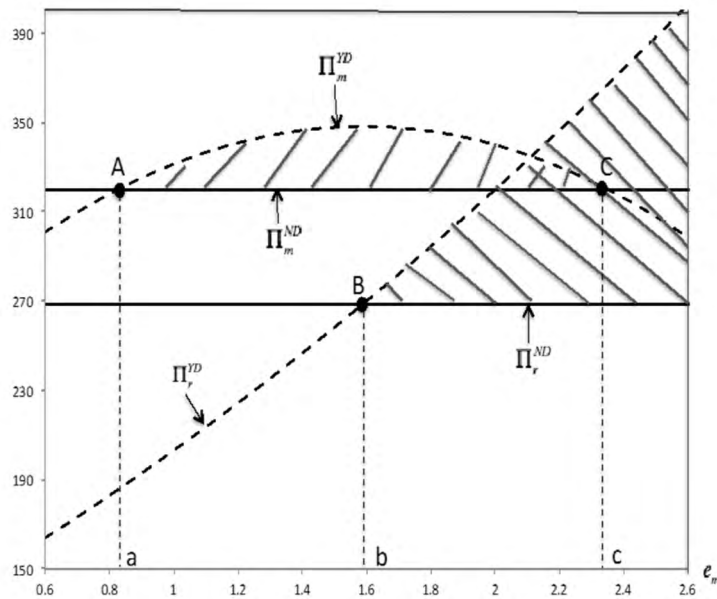


图10 减排成本分担前后制造商和零售商利润变化图

图10中， Π_m^{ND} 表示无成本分担情况下制造商的利润， Π_m^{YD} 表示实施成本分担契约后制造商的利润， Π_r^{ND} 表示无成本分担情况下零售商的利润， Π_r^{YD} 表示实施成本分担契约后零售商的利润。在无成本分担情况下，制造商减排量 e_m 为决策变量，即取最优值 $e_m^* = 1.588$ ，因此 Π_m^{ND} 和 Π_r^{ND} 分别表示减排量为 1.588 时制造商和零售商的最优利润水平，为了便于比较，在图10中我们用两条平行线表示。在实施成本分担契约后，制造商的利润 Π_m^{YD} 随着制造商减排量 e_m 的增加先上升后降低，零售商的利润 Π_r^{YD} 随着制造商减排量 e_m 的增加而上升。 a 、 b 和 c 分别表示交点 A、B 和 C 对应的横坐标制造商减排量 e_m 的取值。阴影部分表示实施成本分担契约后，制造商和零售商的利润大于无成本分担的情况，从图10中可以看出当制造商减排量 $a \leq e_m \leq c$ 时，实施成本分担契约后制造商的利润大于无成本分担情况下的利润；当制造商减排量 $e_m \geq b$ 时，实施成本分担契约后零售商的利润大于无成本分担情况下的利润。取 $a \leq e_m \leq c$ 和 $e_m \geq b$ 的交集，可以

得到 $b \leq e_m \leq c$, 所以当制造商减排量 $b \leq e_m \leq c$ 时, 实施减排成本分担契约能够同时提高制造商和零售商的利润水平。

五、结论

本文构建一个以制造商作为领导者, 零售商作为跟随者的两阶段斯坦伯格博弈模型研究在无成本分担和实施成本分担契约下制造商与零售商减排的最优决策, 通过算例分析碳税与消费者碳排放敏感度对制造商和零售商最优决策的影响, 考察制造商减排量的取值范围。研究发现在实施成本分担契约后, 如果制造商的减排量满足一定约束条件, 制造商的利润和零售商的利润会同时增加, 实现帕累托最优; 同时还发现制造商的减排量随着碳排放敏感度的上升而增加, 这种现象表明政府可以通过增强关于低碳产品的宣传, 产品采用低碳标识来增强消费者的碳排放敏感度, 从而刺激制造商增加产品的减排量; 随着碳税的上升制造商的减排量先上升后下降, 这显示碳税不是越高越好, 政府应该在合理的范围内设置碳税才能起到减排作用, 过高碳税只能使企业经营负担增加, 并不能达到减排的效果。

参考文献:

- [1] Petrakis E, Poyago-Theotoky J. R&D Subsidies versus R&D Cooperation in a Duopoly with Spillovers and Pollution [J]. Australian Economic Papers, 2002, 41(1): 37-52.
- [2] 夏良杰, 郝旺强, 吴梦娇. 碳税规制下基于转移支付的供应链减排优化研究 [J]. 经济经纬, 2015(4): 114-120.
- [3] 程永宏, 熊中楷. 碳税政策下基于供应链视角的最优减排与定价策略及协调 [J]. 科研管理, 2015, 36(6): 81-91.
- [4] Bhaskaran S R, Krishnan V. Effort, revenue, and costs sharing mechanisms for collaborative new product development [J]. Management Science, 2009, 55(7): 1152-1169.
- [5] Poyago-Theotoky J A. The organization of R&D and environmental policy [J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2007, 62(1): 63-75.
- [6] 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(11): 123-126.
- [7] 骆瑞玲, 范体军, 夏海洋. 碳排放交易政策下供应链碳减排技术投资的博弈分析 [J]. 中国管理科学, 2014, 22(11): 44-53.
- [8] Liu Z, Anderson T D, Cruz J M. Consumer Environmental Awareness and Competition in Two-stage Supply Chains [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 218(3): 602-613.

The Impact of Retailer Cost Sharing on Emission Reduction under Carbon Tax Regulation

JIANG Yue¹, HAN Shui-hua²

(1. School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. School of Management, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Based on Stackelberg game between manufacturer and retailer, this paper analyzes how retailer cost sharing on emission reduction affects optimal decisions of manufacturer and retailer emission reduction. The results show that optimum order batch of retailer is positively correlated with volume of carbon emission reductions of manufacturer, and is negatively correlated with wholesale price of product without retailer cost sharing; with retailer cost sharing, the relationship between optimum order batch of retailer and volume of carbon emission reductions of manufacturer depends on the difference between carbon emission sensitivity and retailer cost sharing rate: if carbon emission sensitivity is greater than retailer cost sharing rate, optimum order batch of retailer is positively correlated with volume of carbon emission reductions of manufacturer, otherwise they are negatively correlated. Optimum order batch of retailer is negatively correlated with the price of semi-manufactured goods.

Key words: carbon tax; carbon emission sensitivity; retailer cost sharing; Stackelberg game

(责任编辑: 维翰)