

碳税制度下企业产品升级及信息披露策略研究

许舒婷, 缪朝炜, 檀 哲*, 上官莉莉

(厦门大学管理学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 在实行碳税制度的背景下, 本文构建了包含两家制造商的双寡头模型, 以其中一家制造商是否投资产品升级减排作为关键信息, 分别研究信息不公开(模型1)和信息公开(模型2)时两家制造商的均衡定价与最优利润以及制造商产品升级的条件, 并且进一步研究当制造商同时掌握技术决策权和信息披露权时选择四种不同决策方案的条件。理论结果表明, 如果升级后单位实际生产成本变大, 制造商选择不升级且不公开; 如果升级后单位实际成本变小, 当升级后利润增值大于固定成本投入时, 制造商选择升级并不公开, 反之, 选择不升级并公开。无论升级前后单位实际成本大小关系如何, 制造商都不会选择升级且公开信息。数值试验部分表明, 当制造商同时掌握技术选择权和信息披露权时, 碳税是驱动制造商进行升级减排的主要因素, 随着碳税的提高, 制造商会依次从不升级不公开, 不升级公开到升级不公开做决策。当不升级的概率越大时, 制造商会在较低的碳税点越早开始升级; 当减排努力越大时, 制造商会在较高的碳税点才开始升级。

关键词: 产品升级; 不对称信息博弈; 定价策略; 碳税

中图分类号: F272

文献标志码: A

文章编号: 1004-6062(2020)02-0224-007

DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2020.02.024

0 引言

进入 20 世纪以来, 全球经济飞速发展, 伴随着工业化进程推进而带来的环境问题越来越多, 造成的严重后果日渐凸显。例如二氧化碳等污染气体的过量排放造成全球气温上升, 并因此引发“温室效应”等一系列气候异常问题; 工业污水的排放也对地球上有限的水资源造成污染, 严重危害人类健康。各类环境问题亟待解决, 因此国内外的政府和相关组织都开始加大对环境保护的重视程度, 并出台了一系列政策与措施来控制工业生产过程中污染物的排放问题。2014 年 2 月 25 日, 欧盟委员会通过了一条严格控制碳排放量的法规, 要求 2020 年 1 月 1 日之前, 欧盟销售的新车 95% 二氧化碳平均排放量少于每公里 95 克, 到 2020 年此项规定必须覆盖所有新车。国际公约《京都议定书》和欧盟制定了碳交易机制来达到减排效果, 许多国家和地区也开始通过对企业的碳排放进行征税等制度来实现减排的目的。

目前, 碳税和碳交易机制都逐渐成为有效的环境保护政策, 也受到了学术界、政府以及企业的重视。自我国政府在德班气候变化大会上承诺兑现 2020 年碳减排目标以来, 关于采用何种措施实现此目标成为政策制定者、学者和管理层共同关注的一个焦点问题。王明喜等^[1]针对“数量控制”和“价格控制”两种减排措施展开系统分析, 详细阐述这两种减排措施的具体实施过程和实际减排效果, 进而对比分析它们在实施过程中的优缺点。石敏俊等^[2]根据碳税和碳排放交易的政策属性, 设计了单一碳税、单一碳排放交易以及碳税与碳交易相结合的复合政策等不同情景, 模拟分析了不同政策的减排效果、经济影响与减排成本, 最后研究发现碳排放交易与适度碳税相结合的复合政策是较优的减排政策。由于碳税

便于操作而且效率较高, 越来越多的国家开始采取碳税的形式^[3-4]。Avi-Yonah 等^[5]认为碳税在改善温室效应方面比碳限制和交易具有更好的效果, 并且认为碳税是可调节的, 当碳税无法有效降低碳排放量时, 可提高碳税; 当碳税降低碳排放量过多时, 可以降低碳税。为了应对碳税政策, 越来越多的制造型企业开始关注绿色技术的研发与应用, 并将节能减排策略与企业的生产优化策略联系起来。企业采用节能减排技术, 一方面承担起了企业社会责任, 从技术上实现对环境的保护; 另一方面, 虽然技术升级会使企业因此产生额外的成本负担, 但减少自身碳排放也可以降低碳税成本, 企业可以通过平衡二者来做出技术升级决策。有些国内外学者在该背景下对企业的节能减排技术选择和定价决策进行研究。王明喜等^[6]将减排路径分为三种, 分别为技术路径、清洁能源路径和管理路径, 并认为三种减排路径均需投入成本。周艳菊等^[7]进一步考虑了政府的碳税决策行为, 构建了政府、制造商和零售商参与的供应链博弈模型, 并指出不论在零售商垄断还是竞争的情况下, 政府的最优碳税率均随消费者环保意识增加而提高。Drake 等^[8]分别研究了在碳税和碳排放限额政策下垄断制造商两种绿色技术的产能制定和产品定价决策问题。Krass 等^[9]研究了在政府实施碳税的情况下垄断企业的绿色技术选择和定价决策问题, 并且指出较低的碳税将引导企业选择更绿色的技术, 但是当碳税过高时企业将转向非绿色技术。Wang 等^[10]基于发达国家向发展中国家的纺织品征收碳税的背景, 研究了两个国家的纺织企业的价格竞争行为。文中构建了两阶段的博弈模型, 在第一阶段, 两家企业同时具有绿色排放技术的选择权并做决策; 第二阶段两家企业同时做价格竞争。文中指出发展中国家的纺织企

收稿日期: 2018-07-24 **修回日期:** 2019-01-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71671151、71371158、71711530046)

通讯作者: 檀哲(1990—), 男, 福建永泰县人; 厦门大学管理学院博士生; 研究方向: 供应链管理。

业需要选择合适的绿色排放技术以应对碳税带来的影响。以上研究在单一垄断或双寡头垄断企业的背景下关注了企业的技术选择和定价决策问题，并没有关注企业的信息披露问题，即当企业做技术决策后，是否将技术决策信息向竞争对手公开。在竞争市场中，企业投资选择减排技术是一种战略信息，竞争对手可以根据企业披露的信息做相应的决策，从而对双方企业产生不同的影响^[11]。因此具有投资减排技术能力的企业同时面临着技术决策（是否投资减排技术）和信息披露决策（是否公开决策信息）。

基于以上问题，本文构建了一个存在两家制造商的双寡头垄断市场，其中只有一家制造商掌握减排升级技术，两家制造商在市场中同时进行价格竞争。本文分别研究了掌握减排升级技术的制造商只有技术选择权、只有信息披露权和同时具有技术选择权和信息披露权三种情况下，两家制造商的最优决策和均衡表现。本文将回答以下几个问题：（1）在信息不对称和信息公开的情况下，掌握技术优势的制造商如何做升级及定价决策？（2）在给定的技术选择决策下（升级或不升级），掌握技术优势的制造商如何做信息披露决策？信息公开与信息对称如何影响两家制造商的利润？（3）当掌握技术优势的制造商同时具有技术选择权和信息披露权时，双方分别如何做最优决策？（4）政府征收的碳税水平和制造商所掌握的减排技术特征将对制造商的升级和信息披露决策产生何种影响？

1 建模与分析

1.1 问题描述与假设条件

本文考虑在一个双寡头的市场中，存在两家制造商 M_1 和 M_2 ，他们生产相同或相似的产品从而形成价格竞争关系，其中 M_1 是一家使用旧技术的制造商， M_2 是具有开发（或引进）新技术能力并且掌握减排升级技术优势的制造商。现假设两家制造商单位产品价格分别为 p_1 和 p_2 ，市场需求函数为 $D_i(p_1, p_2) = \alpha - \beta p_i + \gamma p_j (i, j = 1, 2; i \neq j)$ ^[12-13]，其中 $\beta > \gamma$ ，即制造商需求量对自身价格的敏感度大于对竞争对手价格的敏感度。

在碳税背景下，政府对制造商每单位碳排放征收碳税为 t 。制造商 M_1 生产单位产品的成本为 c_1 ，生产单位产品碳排放量为 e_1 ，因此单位产品的碳税成本为 $e_1 t$ ；制造商 M_2 在没有采用减排技术的情况下生产单位产品的成本为 c_{2h} ，生产单位产品碳排放量为 e_2 ，单位产品的碳税成本为 $e_2 t$ 。 M_2 具有开发（或引进）减排技术的能力，如果采用减排技术进行升级，升级后产品的单位生产成本为 c_{2l} ，单位碳排放量为 τe_2 ，单位产品的减排努力为 $(1-\tau)e_2$ ，同时升级会产生一个固定的投资减排成本 $R(1-\tau)^2$ ^[14]。假设上述信息都是共同知识。

基于上述的问题设置， M_2 在生产过程中面临是否选择

$$p_{2h}^* = \frac{\alpha + \beta(c_{2h} + e_2 t)}{2\beta} + \frac{\gamma[\gamma\alpha + 2\beta\alpha + 2(c_1 + e_1 t)\beta^2 + \theta\gamma\beta(c_{2h} + e_2 t) + (1-\theta)\gamma\beta(c_{2l} + \tau e_2 t)]}{2\beta(4\beta^2 - \gamma^2)}$$

M_2 升级后的最优定价为：

$$p_{2l}^* = \frac{\alpha + \beta(c_{2l} + \tau e_2 t)}{2\beta} + \frac{\gamma[\gamma\alpha + 2\beta\alpha + 2(c_1 + e_1 t)\beta^2 + \theta\gamma\beta(c_{2h} + e_2 t) + (1-\theta)\gamma\beta(c_{2l} + \tau e_2 t)]}{2\beta(4\beta^2 - \gamma^2)}$$

均衡时 M_1 的需求量为 $D_1^*(p_1^*) = \beta(p_1^* - c_1 - e_1 t)$ ， M_2 升级

减排升级技术以及是否公布技术选择信息的问题。本文依次研究了在 M_2 具有不同决策权的情况下（只有技术选择权、只有信息披露权、同时具有技术选择权和信息披露权），两家制造商在同时博弈下的最优决策和均衡表现。

当 M_2 只有技术选择权时，本文构建信息不对称与信息公开情形下两家企业的静态博弈模型（模型 1 和模型 2）。在模型 1（信息不对称）中， M_2 具有技术选择权，但 M_2 的技术选择信息不在市场中公开， M_1 只知道竞争对手投资减排决策的概率分布，假设制造商 M_1 认为 M_2 不升级的概率为 θ ，升级的概率为 $1-\theta$ 。在模型 2（信息公开）中， M_2 具有技术选择权，同时 M_2 的技术选择信息在市场中是公开的。为了方便论述，表 1 汇总了本文相关变量的符号以及含义。

表 1 模型变量

Table 1 Variables in the model

变量	定义
$p_1 (p_1^*)$	M_1 在信息不对称（公开）时定价
$p_{2x} (p_{2x}^*)$	M_2 升级前后信息不对称（公开）时定价
$D_1(p_1, p_{2x}) (D_1^*(p_1^*, p_{2x}^*))$	在信息不对称（公开）时 M_1 产品的市场需求
$D_2(p_1, p_2) (D_2^*(p_1^*, p_2^*))$	在信息不对称（公开） M_2 产品的市场需求
$\pi_1 (\pi_1^*)$	M_1 在信息不对称（公开）时的利润
$\pi_{2x} (\pi_{2x}^*)$	M_2 在信息不对称（公开）时的利润

注：（ $x = h/l$ ， h 代表升级前， l 代表升级后，上标表示信息公开）

1.2 模型 1（信息不对称）

在 M_2 投资产品升级减排信息不对称时，制造商 M_1 和 M_2 的博弈过程为不完全信息静态博弈，即两家制造商同时进行定价决策，且 M_1 只知道 M_2 升级决策的概率分布， M_2 要根据升级前后的最优利润对比来进行投资升级减排决策。在这种情况下， M_1 的优化问题为：

$$\max \pi_1(p_1) = p_1 D_1(p_1, p_2) - c_1 D_1(p_1, p_2) - e_1 t D_1(p_1, p_2) \quad (1)$$

M_2 升级前的优化问题为：

$$\max \pi_2(p_{2h}) = p_{2h} D_2(p_1, p_{2h}) - c_{2h} D_2(p_1, p_{2h}) - e_2 t D_2(p_1, p_{2h}) \quad (2)$$

M_2 升级后的优化问题为：

$$\max \pi_2(p_{2l}) = p_{2l} D_2(p_1, p_{2l}) - c_{2l} D_2(p_1, p_{2l}) - \tau e_2 t D_2(p_1, p_{2l}) - R(1-\tau)^2 \quad (3)$$

根据概率分布， M_1 的需求函数

$D_1(p_1, p_2) = \alpha - \beta p_1 + \theta \gamma p_{2h} + (1-\theta) \gamma p_{2l}$ ， M_2 升级前、后的需求函数分别为 $D_2(p_1, p_{2h}) = \alpha - \beta p_{2h} + \gamma p_1$ ， $D_2(p_1, p_{2l}) = \alpha - \beta p_{2l} + \gamma p_1$ 。在信息不对称的情况下，两家制造商同时进行定价决策，利用 Nash 均衡的求解方法，可以求得 M_1 、 M_2 满足利润最大化时的最优解。

命题 1 模型 1 中，制造商 M_1 的均衡决策即最优定价为：

$$p_1^* = \frac{\gamma\alpha + 2\beta\alpha + 2(c_1 + e_1 t)\beta^2 + \theta\gamma\beta(c_{2h} + e_2 t) + (1-\theta)\gamma\beta(c_{2l} + \tau e_2 t)}{4\beta^2 - \gamma^2}$$

前、后的需求量分别为： $D_{2h}^*(p_{2h}^*) = \beta(p_{2h}^* - c_{2h} - e_2 t)$ 、

$P_{2l}^*(p_{2l}^*) = \beta(p_{2l}^* - c_{2l} - \tau e_{2l}t)$; 相应地, M_1 的最优利润为 $\pi_1^*(p_1^*) = \beta(p_1^* - c_1 - e_1t)^2$, M_2 升级前后的最优利润分别为: $\pi_{2h}^*(p_{2h}^*) = \beta(p_{2h}^* - c_{2h} - e_{2l}t)^2$, $\pi_{2l}^*(p_{2l}^*) = \beta(p_{2l}^* - c_{2l} - \tau e_{2l}t)^2 - R(1-\tau)^2$ 。

命题 1 表明在信息不对称的情况下, 当市场达到均衡时, 在 β 和 τ 固定的情况下, 两家制造商的销售量与单件产品的净利润 (单价减去单位产品的生产成本与碳税成本之和) 呈正相关关系, 又由于制造商的总利润等于总销量与单件产品净利润的乘积 (升级后, 需要减去固定的升级投资成本), 所以制造商总利润随着单件产品净利润递增。

推论 1 在模型 1 中, (1) 当 $c_{2h} + e_{2l}t > (\leq) c_{2l} + \tau e_{2l}t$ 时, $p_{2h}^* > (\leq) p_{2l}^*$, p_1^* , p_{2h}^* , p_{2l}^* , $\pi_1^*(p_1^*)$, π_{2h}^* , π_{2l}^* 随着 θ 递增 (递减)。(2) p_1^* , p_{2h}^* , p_{2l}^* 均随着 t , τ 递增; D_1^* , D_{2h}^* , π_1^* , π_{2h}^* 均随着 τ 递增, D_{2l}^* , π_{2l}^* 均随着 τ 递减。

推论 1 表明: (1) 信息不对称时, 如果 M_2 不升级时的单位实际生产成本 (单位变动成本和碳税成本之和) 大于升级时的单位生产成本, 由于定价受单位实际生产成本的影响, M_2 不升级时的均衡定价会高于升级时的均衡定价。无论 M_2 是否升级, M_1 估计 M_2 不升级的概率越高, 双方均衡利润越高。因为当信息不对称时, M_1 不知道 M_2 的具体决策, M_1 会根据自己对 M_2 决策估计的概率分布来定价, 定价主要受 M_1 对 M_2 的单位实际成本预测值 ($\theta(c_{2h} + e_{2l}t) + (1-\theta)(c_{2l} + \tau e_{2l}t)$) 的影响。因为 $c_{2h} + e_{2l}t > c_{2l} + \tau e_{2l}t$, 当 θ 越大时, 成本预测值越大, M_1 会定价越高, 同时 M_2 也会提高价格, 均衡时 M_1 和 M_2 单件产品的净利润都会增加, 根据命题 1, 销量与净利润呈正比关系, 因此 M_1 和 M_2 的总利润都会增加。当 $c_{2h} + e_{2l}t \leq c_{2l} + \tau e_{2l}t$ 时, 结果则相反。(2) 由于碳税和单位减排努力 $(1-\tau)$ 影响到单位实际生产成本, 两家企业的最优定价会随着 t 和 τ 递增。提高升级技术的单位减排努力 (即降低 τ) 有助于降低升级时 M_2 的单位实际生产成本。本文假设无论 M_2 是否升级, 升级技术的减排努力和成本信息均公开。如果 M_2 升级, 当 τ 越小时, 它的单位实际生产成本下降, D_{2l}^* 和 π_{2l}^* 均上升, D_1^* 和 π_1^* 均下降; 如果 M_2 不升级, 升级技术越环保的信息 (τ 越小) 反倒越不利于双方, 因为它会造成 M_1 对 M_2 的单位实际成本预测值越低, M_1 过度调低产品价格, 造成双方间的低价竞争。

推论 2 当 $c_{2l} + \tau e_{2l}t \geq c_{2h} + e_{2l}t$ 时, M_2 不升级; 当 $c_{2l} + \tau e_{2l}t < c_{2h} + e_{2l}t$ 时, 如果 $R(1-\tau)^2 < R_1$, M_2 升级, 否则不升级。

推论 2 表明: 只有当升级后实际的单位生产成本 (单位生产成本与单位碳税之和) 小于升级前的单位生产成本, 即 $c_{2l} + \tau e_{2l}t < c_{2h} + e_{2l}t$, 讨论升级才有意义。如果 $c_{2l} + \tau e_{2l}t \geq c_{2h} + e_{2l}t$, 表明 M_2 升级后的单位总成本更高, 再加上升级产生的固定成本, M_2 的成本负担加重, M_2 肯定不升级; 而且即使升级后单位成本减少, 也只有当升级后比升级前增加的销售利润 R_1 (R_1 的表达式见推论 2 证明部分) 可以弥补升级产生的固定额外成本 $R(1-\tau)^2$ 时, 制造商 M_2 才会选择升级。

1.3 模型 2 (信息公开)

在信息公开的情况下, 即 M_1 知道 M_2 升级或不升级的决策信息, 两家制造商的博弈过程为完全信息静态博弈。此

时, 当 M_2 不升级, M_1 和 M_2 优化问题分别为:

$$\max \pi_1^h(p_1^h) = p_1^h D_1^h(p_1^h, p_{2h}^h) - c_1 D_1^h(p_1^h, p_{2h}^h) - e_1 t D_1^h(p_1^h, p_{2h}^h) \quad (4)$$

$$\max \pi_{2h}^h(p_{2h}^h) = p_{2h}^h D_{2h}^h(p_1^h, p_{2h}^h) - c_{2h} D_{2h}^h(p_1^h, p_{2h}^h) - e_{2l} t D_{2h}^h(p_1^h, p_{2h}^h) \quad (5)$$

其中需求函数为: $D_1^h(p_1^h, p_{2h}^h) = \alpha - \beta p_1^h + \gamma p_{2h}^h$, $D_{2h}^h(p_1^h, p_{2h}^h) = \alpha - \beta p_{2h}^h + \gamma p_1^h$ 。

当 M_2 升级时, M_1 和 M_2 优化问题分别为:

$$\max \pi_1^l(p_1^l) = p_1^l D_1^l(p_1^l, p_{2l}^l) - c_1 D_1^l(p_1^l, p_{2l}^l) - e_1 t D_1^l(p_1^l, p_{2l}^l) \quad (6)$$

$$\max \pi_{2l}^l(p_{2l}^l) = p_{2l}^l D_{2l}^l(p_1^l, p_{2l}^l) - c_{2l} D_{2l}^l(p_1^l, p_{2l}^l) - \tau e_{2l} t D_{2l}^l(p_1^l, p_{2l}^l) - R(1-\tau)^2 \quad (7)$$

其中需求函数为: $D_1^l(p_1^l, p_{2l}^l) = \alpha - \beta p_1^l + \gamma p_{2l}^l$, $D_{2l}^l(p_1^l, p_{2l}^l) = \alpha - \beta p_{2l}^l + \gamma p_1^l$ 。

命题 2 如果 M_2 不升级, 两家制造商的最优定价策略分别为:

$$p_1^{h*} = \frac{\gamma\alpha + 2\beta\alpha + 2(c_1 + e_1t)\beta^2 + \gamma\beta(c_{2h} + e_{2l}t)}{4\beta^2 - \gamma^2},$$

$$p_{2h}^{h*} = \frac{\gamma\alpha + 2\beta\alpha + 2(c_{2h} + e_{2l}t)\beta^2 + \gamma\beta(c_1 + e_1t)}{4\beta^2 - \gamma^2}; \text{ 如果 } M_2 \text{ 升}$$

级, 两家制造商的最优定价策略分别为:

$$p_1^{l*} = \frac{\gamma\alpha + 2\beta\alpha + 2(c_1 + e_1t)\beta^2 + \gamma\beta(c_{2l} + \tau e_{2l}t)}{4\beta^2 - \gamma^2},$$

$$p_{2l}^{l*} = \frac{\gamma\alpha + 2\beta\alpha + 2(c_{2l} + \tau e_{2l}t)\beta^2 + \gamma\beta(c_1 + e_1t)}{4\beta^2 - \gamma^2}。$$

信息公开实际上是信息不对称时的一个特例 (不升级时 $\theta=1$ 或升级时 $\theta=0$), 因此其主要结论和模型 1 的结果类似。由命题 2 可以得到推论 3, 其中 R_2 的表达式见推论 3 证明部分。

推论 3 当 $c_{2l} + \tau e_{2l}t \geq c_{2h} + e_{2l}t$ 时, M_2 不升级; 当 $c_{2l} + \tau e_{2l}t < c_{2h} + e_{2l}t$ 时, 如果 $R(1-\tau)^2 < R_2$, M_2 升级, 否则不升级。

2 模型对比

在本文的研究背景下, 假设 M_2 给定技术选择 (升级或不升级), M_2 掌握信息披露权, M_2 可以通过是否公开技术决策信息使利润最大化。推论 4 给出了不同情况下 M_2 的最优披露决策以及对 M_1 利润的影响。

推论 4 当 $c_{2l} + \tau e_{2l}t < c_{2h} + e_{2l}t$, 如果 M_2 产品升级, 则 $\pi_{2l}^* > \pi_{2l}^{l*}$, $\pi_1^* > \pi_1^{l*}$; 如果 M_2 产品不升级, 则 $\pi_{2h}^{h*} > \pi_{2h}^*$, $\pi_1^{h*} > \pi_1^*$ 。当 $c_{2l} + \tau e_{2l}t \geq c_{2h} + e_{2l}t$ 时, 如果 M_2 产品不升级, 则 $\pi_{2h}^* \geq \pi_{2h}^{h*}$, $\pi_1^* \geq \pi_1^{h*}$ 。

推论 4 表明: 当升级时的单位实际成本变低 ($c_{2l} + \tau e_{2l}t < c_{2h} + e_{2l}t$) 时, 如果 M_2 升级, 信息不对称对两家制造商更有利; 如果 M_2 不升级, 信息公开对两家制造

商更有利。因为，当 M_2 升级并公开信息， M_1 会意识到它在信息不对称时对 M_2 的单位实际成本预测值高于 M_2 的单位实际成本 ($\theta(c_{2h} + e_2t) + (1-\theta)(c_{2l} + \tau e_2t) > c_{2l} + \tau e_2t$)，因此在 M_2 公开信息后 M_1 会企图通过降低定价来竞争市场份额，因为 M_2 知道 M_1 会降低定价， M_2 也会通过比较低的定价来进行博弈，如此反复直到达到信息公开时的均衡，最终博弈的结果是两家制造商的市场需求量都降低，并且利润下降。相比于公开升级信息的情况， M_1 和 M_2 在不公开升级信息的情况下都会保持更高的定价 ($p_{2l}^* > p_{2l}^{l*}, p_1^* > p_1^{l*}$)，在该情况下双方都可以获得更多的利润。同理，可分析得到推论 4 的其他结论。在实际经营过程中，企业可能会受外部或内部一些客观因素的影响必须进行技术升级，而且竞争者有可能无法准确识别这些情况， M_2 仍然有信息披露的主动权。因此，当 $c_{2l} + \tau e_2t \geq c_{2h} + e_2t$ 时，如果 M_2 产品升级，则 $\pi_{2l}^{l*} \geq \pi_{2l}^*$ ， $\pi_1^{l*} \geq \pi_1^*$ 。

以上分析说明在给定的技术选择下，信息不对称并不总是对 M_2 更有利。 M_2 是否公开信息主要取决于公开信息时 M_2 产品最优定价是否高于不公开信息时的最优定价，而这种最优定价的变化主要取决于信息公开时 M_2 的单位实际成本与信息公开前 M_1 对 M_2 的单位实际成本预测值 ($\theta(c_{2h} + e_2t) + (1-\theta)(c_{2l} + \tau e_2t)$) 的大小关系。并且可以发现，当 M_2 做出最优披露决策时， M_1 的利润表现并不会变差，甚至有可能更好，达到双方互赢的结果。

接下来进一步考虑当 M_2 同时具有技术决策和信息披露权时，双方的最优决策和均衡表现。在该情况下， M_2 同时具有表 2 中的四种决策方案。相比于推论 4 中给定技术选择的情况，当 M_2 同时做技术选择和信息披露决策时， M_2 还需进一步去权衡升级固定成本投入与利润增加值的大小关系。推论 5 给出了选择四种决策方案相应的条件，其中 R_3 的表达式见推论 5 证明部分。

表 2 M_2 决策矩阵

Table 2 M_2 decision-making matrix

决策	公开	不公开
升级	1	2
不升级	3	4

推论 5 (1) 当 $c_{2l} + \tau e_2t \geq c_{2h} + e_2t$ 时， M_2 不升级且不公开信息，即决策 4。(2) 当 $c_{2l} + \tau e_2t < c_{2h} + e_2t$ 时，如果 $R(1-\tau)^2 < R_3$ ， M_2 选择升级且不公开信息，即决策 2；否则， M_2 不升级且公开信息，即决策 3。

推论 5 表明：(1) 当 $c_{2l} + \tau e_2t \geq c_{2h} + e_2t$ ， M_2 不会进行技术升级。这种情况表现为，当 $c_{2l} > c_{2h}$ (如生产单位升级产品需要更贵的生产原料) 且 $1-\tau \leq (c_{2l} - c_{2h}) / (e_2t)$ (单位减排努力不显著) 时， M_2 没有动力投资升级减排。虽然升级技术的固定投资较低，但是并没有带来单位实际生产成本的下降，技术升级反倒加重了 M_2 的成本负担。根据推论 4， M_2 会选择不升级且不公开信息 (决策 4)。进一步可以发现，在 c_{2l} ， c_{2h} ， τ 不变的情况下，单位减排努力的阈值 ($(c_{2l} - c_{2h}) / (e_2t)$) 会随着碳税的提升而降低。因此，政府可以在观察企业的减排技术水平和成本信息的基础上，通过制定合理的碳税以促进企业转型升级。(2) 当 $c_{2l} + \tau e_2t < c_{2h} + e_2t$ 时，特别地，当 $c_{2l} > c_{2h}$ 且 $1-\tau > (c_{2l} - c_{2h}) / (e_2t)$ (单位减排努力显著时)，尽管固定

成本投入较高，如果升级后增加的利润值 R_3 足以弥补固定成本投入， M_2 升级，根据推论 4， M_2 选择升级且不公开信息 (决策 2)。反之，如果增加的利润值 R_3 不足以弥补较高的固定成本投入， M_2 选择不升级且公开信息 (决策 3)。

(3) 无论何种情况， M_2 都不会选择升级且公开信息 (决策 1)。首先只有当升级后的单位实际生产成本低于升级前的单位实际生产成本时，讨论升级才是有意义的，此时，如果 M_2 不公开升级信息， M_1 会高估 M_2 的生产成本，因而相比于信息公开的情况， M_2 可以更灵活的定价以实现利润最优化，而公开升级信息有可能使 M_2 降低利润，产生竞争劣势成本。竞争劣势成本也称为专有性成本^[15]。这种专有性成本可以理解为市场其他参与者出于自身利益策略性地利用了公司所披露的信息，则公开披露可能会对披露信息的公司产生负面影响。与披露相关的专有性成本越高，公司就越倾向于不披露专有信息^[11]。在实际生产活动中，技术升级属于企业的战略信息，许多经理人员害怕过多的战略信息披露会使竞争对手具有更充分的准备，从而失去“先发制人”的竞争优势^[16-17]。

当 M_2 没有掌握升级技术不具有技术选择权，并且双方成本信息均公开时， M_1 的最优利润记为 $\Pi_1^*|_N$ 。当 M_2 同时具有技术决策和信息披露决策权时， M_1 的最优利润记为 Π_1^* ，推论 6 进一步比较 $\Pi_1^*|_N$ 与 Π_1^* 的大小情况。

推论 6 当 M_2 具有技术决策和信息披露决策权时，如果 M_2 采取决策 3， $\Pi_1^*|_N = \Pi_1^*$ ；如果 M_2 采取决策 4， $\Pi_1^*|_N < \Pi_1^*$ ；如果 M_2 采取决策 2， $\Pi_1^*|_N > \Pi_1^*$ 。

推论 6 表明：掌握技术决策和信息披露主动权的 M_2 通过选择最优策略使利润最大化，而 M_1 只能根据对方给出的信息作决策，比较被动，最优利润可能变小，因此说明在竞争环境下掌握技术与信息优势具有重要作用。

3 数值试验

本部分数值试验分析了在相关参数 $\alpha = 9400$ ， $\beta = 8.7$ ， $\gamma = 7.8$ ， $c_1 = 22$ ， $c_{2h} = 24$ ， $c_{2l} = 32$ ， $R = 484000$ ， $e_1 = 0.2$ ， $e_2 = 0.4$ 的情况下， M_2 选择不同决策方案的条件。从推论 5 可知， M_2 不会考虑升级公开的决策 (决策 1)，所以数值试验部分只比较了其他三种决策情况下的最优利润。

从图 1 和图 2 可以发现，碳税是驱动 M_2 进行减排转型的重要原因。随着碳税的增加，在不同的碳税临界点 (\bar{t}_1 ， \bar{t}_2)， M_2 会依次从决策 3 (不升级不公开)，决策 4 (不升级公开)，决策 2 (升级不公开) 发生转变。当政府实施碳税后，当 $t < \bar{t}_1 = (c_{2l} - c_{2h}) / ((1-\tau)e_2) = 40$ 时，在碳税较小的情况下， M_2 会选择不升级且不公开，因为在这个条件下不升级单位实际成本仍然小于升级后单位实际成本， M_2 没有动力投资升级减排，但同时不会公开自己不升级的信息，使对手在不知道具体决策信息的时候定价较高来提升均衡时的定价，使得自己获利；当碳税提升 $\bar{t}_1 < t < \bar{t}_2$ 时，升级相对于不升级在单位成本上更有优势 (不升级单位实际成本大于升级后单位实际成本)，但是这种单位成本的降低优势不够显著，所带来的利润提升并不足以弥补升级减排所需要的固定投资成本， M_2 仍然选择不升级，但是此时会公开，避免 M_1 由于猜测 M_2 升级而降低产品定价从而降低 M_2 产品的市场需求量；当 $t > \bar{t}_2$ 时，高额的碳税使得升级带来的单位

生产成本的降低优势更为明显， M_2 开始减排转型。但是此时 M_2 不公开信息，因为公开升级信息的情况下 M_1 会考虑到 M_2 成本下降从而降低自己的产品价格，从而导致 M_2 降低均衡时价格，利润受损。 $\bar{t}_2(\theta = 0.5) < \bar{t}_2(\theta = 0.1)$ 表明当 M_1 预测 M_2 不升级的概率越大时， M_2 会越早开始升级并且不公开信息，因为如果 M_1 预测 M_2 不升级的概率越大，那么 M_1 产品的定价会越高， M_2 在碳税较低时就进行升级，可以降低生产成本从而降低产品价格，获取竞争优势。

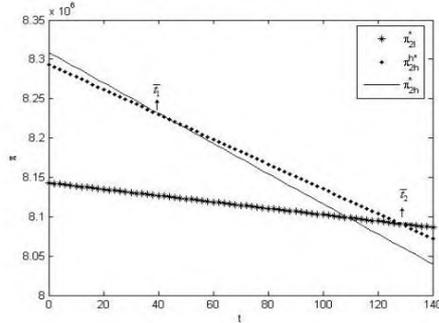


图1 M_2 采取不同策略下的均衡利润 ($\theta = 0.1, \tau = 0.55$)
Figure 1 Equilibrium profits when M_2 takes different policies ($\theta = 0.1, \tau = 0.55$)

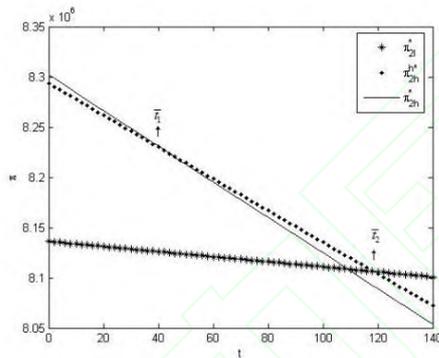


图2 M_2 采取不同策略下的均衡利润 ($\theta = 0.5, \tau = 0.55$)
Figure 2 Equilibrium profits when M_2 takes different policies ($\theta = 0.5, \tau = 0.55$)

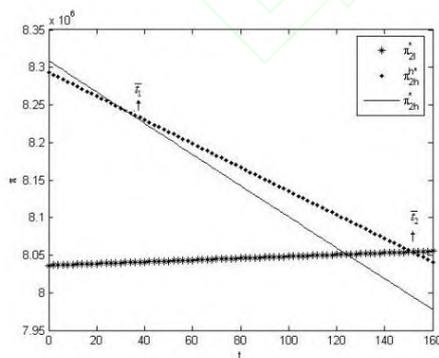


图3 M_2 采取不同策略下的均衡利润 ($\theta = 0.1, \tau = 0.35$)
Figure 3 Equilibrium profits when M_2 takes different policies ($\theta = 0.1, \tau = 0.35$)

从图1和图3可以发现， $\bar{t}_2(\tau = 0.55) < \bar{t}_2(\tau = 0.35)$ ，当减排努力更大 ($1 - \tau = 0.65$) 时， M_2 需付出更高的投资成本，因此相比于较小的减排努力 ($1 - \tau = 0.45$)，只有当碳税足够高时， M_2 才会采取升级减排。

4 结论

在碳税背景下，本文研究一个存在两家制造商 M_1 和 M_2 垄断的双寡头市场， M_1 不掌握产品升级技术， M_2 掌握产品升级技术。本文分别研究了在 M_2 只有技术选择权、 M_2 只有信息披露权、 M_2 同时具有技术选择权和信息披露权三种情况下，双方的最优决策和均衡表现。首先当 M_2 只有技术选择权时，本文分别构建了信息不对称（模型1）和信息公开（模型2）两种模型，分别得出了 M_2 在两种模型中投资升级减排的条件；接下来当 M_2 只有信息披露权时，本文研究了在 M_2 给定技术选择时， M_2 的最优信息披露决策，结果表明信息不对称并不总是对 M_2 最有利的， M_2 的信息披露决策主要取决于升级前后成本的大小关系以及给定的技术选择，并且在 M_2 的最优信息披露决策下 M_1 的利润也是最优的；最后本文研究了当 M_2 同时具有技术选择权和信息披露权时， M_2 的最优决策及 M_1 的利润情况。理论结果表明，如果升级后单位实际成本变大， M_2 选择不升级且不公开；如果升级后单位实际成本变小，当升级后利润增值大于固定成本投入时， M_2 选择升级且不公开，反之， M_2 选择不升级且公开。无论升级前后成本大小关系如何， M_2 都不会选择升级且公开信息。相比于 M_2 没有掌握升级技术并且双方成本信息均公开时， M_2 在掌握技术决策和信息披露主动权的情况下可以通过选择最优策略使利润最大化，但 M_1 比较被动，它的均衡利润可能变小，说明在竞争环境下掌握技术与信息优势具有重要作用。数值试验结果表明，当 M_2 同时具有技术决策权和信息披露权时，碳税是驱动 M_2 进行技术升级的主要因素。随着碳税的提高，制造商会依次从不升级不公开，不升级公开到升级不公开做决策。当不升级的概率越大时，制造商会较低的碳税点越早开始升级；当减排努力越大时，制造商会较高的碳税点才开始升级。本文没有考虑不同竞争者地位和碳排放配额制等其他减排政策，这将是进一步的研究方向。

参考文献

- [1] 王明喜, 胡毅, 郭冬梅, 等. 低碳经济:理论实证研究进展与展望[J].系统工程理论与实践,2017,37(1):17-34.
Wang M X, Hu Y, Guo D M, et al. Low-carbon economy: Theoretical and empirical progress and prospects[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017,37(1):17-34.
- [2] 石敏俊, 袁永娜, 周晟吕, 等. 碳减排政策:碳税、碳交易还是两者兼之?[J].管理科学学报,2013,16(9):9-19.
Shi M J, Yuan Y N, Zhou S L, et al. Carbon tax, cap-and-trade or mixed policy: Which is better for carbon mitigation? [J]. Journal of Management Science in China, 2013, 16(9):9-19.
- [3] Weisbach D A, Metcalf G E. The Design of a Carbon Tax[J].Social Science Electronic Publishing,2009,33(2):499-556.
- [4] Metcalf G E.Designing a carbon tax to reduce U.S.greenhouse gas emissions[J].Review of Environmental Economics & Policy,2008, 3(1):63-83.
- [5] Avi-Yonah R S, Uhlmann D M. Combating Global Climate Change: Why a Carbon Tax is a Better Response to Global Warming than Cap and Trade[J]. SSRN Electronic Journal,2009,28(3).
- [6] 王明喜, 鲍勤, 汤铃, 等. 碳排放约束下的企业最优减排投资行为[J].管理科学学报,2015,18(6):41-57.

- Wang M X, Bao Q, Tang L et al. Enterprises' optimal abatement investment behavior with the carbon emission constraint[J]. Journal of Management Science in China, 2015,18(6):41-57.
- [7] 周艳菊, 胡凤英, 周正龙, 等. 最优碳税税率对供应链结构和社会福利的影响[J]. 系统工程理论与实践, 2017,37(4):886-900.
- Zhou Y L, Hu F Y, Zhou Z L, et al. Impact of Optimal Carbon Tax Rate on Supply Chain Structure and Social Welfare. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017,37(4):886-900.
- [8] Drake D. Technology Choice and Capacity Portfolios under Emissions Regulation Technology Choice and Capacity Portfolios under Emissions Regulation[J]. Production and Operations Management, 2016, 25(6):1006-1025.
- [9] Krass D, Nedorezov T, Ovchinnikov A. Environmental Taxes and the Choice of Green Technology[J]. Production and Operations Management, 2013,22(5):1035-1055.
- [10] Wang M, Liu J, Chan H, et al. Effects of carbon tariffs trading policy on duopoly market entry decisions and price competition: insights from textile firms of developing countries[J]. International Journal of Production Economics, 2016,181(2):470-484.
- [11] Darrrough M N. Disclosure policy and competition: Cournot vs Bertrand[J]. Accounting review, 1993: 534-561.
- [12] VIVES X. On the efficiency of Bertrand and Cournot equilibria with product differentiation[J]. Journal of Economic Theory, 1985,36(1): 166-175.
- [13] Chen X, Hao G. Sustainable pricing and production policies for two competing firms with carbon emissions tax[J]. International Journal of Production Research, 2014,53(21):1-13.
- [14] Brécard D. Environmental Tax in a Green Market[J]. Environmental & Resource Economics, 2011, 49(3):387-403.
- [15] Jovanovic B. Truthful Disclosure of Information[J]. Bell Journal of Economics, 1982,13(1):36-44.
- [16] Annalisa Prencipe. Proprietary costs and determinants of voluntary segment disclosure: evidence from Italian listed companies[J]. European Accounting Review, 2004,13(2):319-340.
- [17] Verrecchia R E. Information quality and discretionary disclosure[J]. Journal of Accounting & Economics, 1990, 12(4):365-380.

Product upgrading and information disclosure decisions in the context of carbon tax

XU Shuting, MIAO Zhaowei, TAN Zhe*, SHANGGUAN Lili
(School of Management, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Environmental issues have received increasing attention in recent years. Governments in many regions have taken steps to encourage manufacturers to reduce their emissions to protect the environment. Carbon taxes are one common measure designed to reduce carbon emissions in the manufacturing process. A carbon tax, if implemented, would inflate manufacturers' unit production costs, based on the level of emissions generated by the production process – and, consequently, motivate manufacturers to consider upgrading the technology in their facilities to reduce emissions. In a competitive environment, information on manufacturers' technology upgrades has an important impact on competitors' production decisions. This paper focuses on the technology upgrade and information disclosure strategies used among competing manufacturers, in the context of carbon tax, and on the construction of a duopoly model with two manufacturers (M_1 and M_2) competing simultaneously through game theory. It assumes: M_1 does not apply product upgrades and emission reduction technologies, and M_2 applies product upgrade and emission reduction technologies. We study the optimal decision-making and profit performance of manufacturers in three different situations. These three situations are M_2 : only technology choice, only information disclosure, and both technology decision-making and information disclosure.

First, the paper separately studies the optimal decision-making and equilibrium performance of the two manufacturers in the case of information asymmetry (model 1) and information disclosure (model 2) when there is a technology choice for M_2 . In Model 1, product upgrade decision information will not be published for M_2 , and pricing decisions will be made for M_1 based on probabilistic estimate of the upgrade for M_2 . The results show that when the actual unit cost (sum of unit production cost and unit carbon tax cost) of the upgrade becomes larger, the technology upgrade for M_2 will not be carried out; when the actual unit cost of the upgrade becomes smaller, the investment cost will be fixed according to the technology upgrade. M_2 will decide whether to upgrade technology based on the fixed investment cost and the size of the profit from the technology upgrade. In Model 2, the upgrade information for M_2 is disclosed. Since Model 2 is actually a special case when Model 1 has an upgrade probability of 0 or 1, the result in Model 2 is similar to that of Model 1.

Next, the paper discusses the optimal disclosure decisions for M_2 under different conditions when determining technical decisions (upgrade or not). The results show that when the actual cost of the upgraded unit becomes small, if the upgrade of M_2 is made, disclosing this information is not more favorable to both parties; if the upgrade is not made for M_2 , disclosing the information is more favorable to both parties. When the actual cost of the upgraded unit becomes larger, if the upgrade is made for M_2 , information disclosure is more favorable for both parties; if the upgrade of M_2 is not made, the non-disclosure of information is beneficial to both parties. In short, information asymmetry is not always beneficial to M_2 , it depends mainly on the given technology choices of M_2 and the cost relationship before and after the upgrade.

Finally, the paper discusses conditions for M_2 selecting among four decision-making schemes when there are both technological upgrade options and information disclosure rights. The four schemes are: upgrade and disclose, upgrade but do not disclose, do not upgrade and disclose the decision, do not upgrade nor disclose. The results show that if the actual total unit cost of production is likely to increase following the technology upgrade, the best option for M_2 is to not upgrade nor disclose; on the contrary, if the actual total unit cost of production is likely to decrease following the technology upgrade, the best option for M_2 is to upgrade but not disclose if the ensuing profit increase is also likely to be greater than the fixed cost input, and vice versa; regardless of the cost-benefit relationship before or after the upgrade, manufacturer M_2 will choose not to upgrade and disclose that information. Compared with the M_2 case where the technology upgrade is not regulated and the cost information of both parties is disclosed, profit of M_2 can be maximized by selecting the optimal

strategy. In the case where a good balance is achieved between technology upgrades and information disclosure, the optimal profit of M_1 may be minimized, indicating that achieving such a balance plays an important role in a competitive environment.

The numerical test section shows that carbon tax is a critical factor driving the transition of M_2 to better emission reduction technologies. As the carbon tax increases, M_2 would change from not being upgraded nor the decision disclosed, to not being upgraded and the decision disclosed, and finally to being upgraded but the decision not disclosed. When the likelihood of upgrading the technology for M_1 is lower, M_2 will begin to upgrade at a lower carbon tax point; when the likelihood of emission reduction efforts is greater, M_2 will begin to upgrade at a higher carbon tax point. This paper provides some management advice to governments and manufacturers through theoretical and numerical reasoning.

Key words: Product upgrading; Asymmetric information game; Pricing decision; Carbon tax

中文编辑：杜 健；英文编辑：Boping Yan

