

碳税政策下考虑AI应用的平台供应链优化策略研究

杨鑫源, 韩小雅

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年8月31日; 录用日期: 2023年10月12日; 发布日期: 2023年10月23日

摘要

碳税政策下, 文章考虑消费者环保意识 and AI 技术应用的影响, 构建制造商和电商平台之间的 Stackelberg 博弈模型, 分别研究平台未采用或者采用 AI 技术下制造商和平台的最优决策及相应利润。制造商减排生产, 以转售模式加入平台, 平台采用 AI 技术是否能实现制造商在利润和环境上的双赢? 因此文章探究两种情形下的减碳水平和经济效益并作对比分析, 证明在某种条件下应用 AI 技术将产生积极影响。研究结果为供应链的决策提供理论依据, 对推动绿色供应链的可持续发展有着重要意义。

关键词

AI 技术, 碳税, 绿色供应链, 优化决策, 可持续发展

Research on Platform Supply Chain Optimization Strategy Considering AI Application under Carbon Tax Policy

Xinyuan Yang, Xiaoya Han

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Aug. 31st, 2023; accepted: Oct. 12th, 2023; published: Oct. 23rd, 2023

Abstract

Under the carbon tax policy, this paper considers the impact of consumer environmental awareness and AI technology application. The paper studies the optimal decisions without or with AI technology by building the Stackelberg game model between manufacturers and e-commerce

platforms. Manufacturers reduce emissions and join the platform in a resale model. Can the adoption of AI technology in the platform achieve a win-win situation for manufacturers in terms of profits and environment? Therefore, this paper explores the level of carbon reduction and economic benefits in two cases and makes a comparative analysis. It is proven that the application of AI technology under certain conditions will have a positive impact. The research results provide theoretical basis for supply chain decision-making and have important significance for promoting sustainable development of green supply chain.

Keywords

AI Technology, Carbon Tax, Green Supply Chain, Optimization Decision, Sustainable Development

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

空气污染和气候变化等环境问题严重威胁了人类的生活健康, 较大程度上制约了经济社会的发展。很多国家已经采取措施减少二氧化碳的排放量从而缓解“温室效应”, 提高环境的可持续性。有一项报告显示, 中国的温室气体排放量约占全球排放量的 30%, 美国约占 15%, 印度约占 7%, 俄罗斯约占 7%, 日本约占 4%。为应对气候变化, 政府层面制定碳税政策以控制企业碳排放、促进环境的可持续发展。

由于平台更完善的性能, 制造商改变传统销售模式, 在电商平台上进行运营管理。平台应用 AI 技术能够为消费者提供更多相关产品性能、质量等信息, 提高消费者对产品的感知能力, 从而更好的竞争市场份额。虽然 AI 在信息透明化提升方面有很好的应用场景, 但 AI 技术使用也会引发客户隐私问题。比如在体验 AI 智能时, 通常需要消费者注册数字身份, 消费者出于对隐私的关注而限制了其活动。如何平衡 AI 应用的利弊, 使其更好的应用于市场中是一个重要问题。如今消费者环保意识逐渐提高, 打开了绿色市场的大门, 为制造商绿色发展提供了更大的潜力和前景。制造商和平台如何更好的合作, 同时提高经济和环境效益、共同推进绿色供应链的可持续发展是当下比较热门且有意义的研究课题。因此文章基于政府的碳税政策, 考虑 AI 技术应用的影响, 研究平台供应链的最优决策。

2. 问题描述与符号说明

现如今电商平台发展迅猛, 平台供应链成为了一个热门的研究话题。由于电商平台更完善的服务、更具潜力的消费市场, 越来越多的制造商改变传统的销售模式, 与平台合作以追求利益最大化。在政府碳税政策下, 制造商开发绿色技术生产产品, 从而减少碳排放。一方面能缓解沉重的碳税负担、增加制造商的经济收益, 另一方面能促进环境的可持续性提高制造商的环境效益。随着“绿色理念”深入人心, 消费者普遍具有环保意识, 倾向购买绿色产品。

制造商减排生产, 单位产品的减碳水平为 e 。假定不减排生产下的单位碳排放为 1, 则制造商采用绿色技术下产生的单位碳排放量为 $(1-e)$ 。政府征收的单位税费为 c_e , 制造商需缴纳碳税 $(1-e)c_e q$ [1]。假设消费者对产品性能评估是异质性的, 市场容量为 1。消费者对产品的支付意愿为 V , V 在 $[0,1]$ 服从均匀分布[2]。由于消费者具有绿色偏好, 从绿色产品中获得环境效用 ke [3]。构建消费者的效用函数为 $U = V - P + ke$, 消费者根据效用大小决定是否购买产品。下表 1 是关于文中符号的具体解释说明:

Table 1. Symbol specification
表 1. 符号说明

符号及含义	
V 消费者从产品功能质量中获得的基础效用	Π_m 制造商的利润
w 制造商制定的批发价格	Π_p 平台的利润
p 平台制定的销售价格	α AI 技术信息透明度敏感系数
e 制造商的减碳水平	r AI 技术带来的隐私问题成本
q 市场需求量	c_e 单位碳排放税费
b 绿色技术研发成本系数	c_a 采用 AI 技术的单位成本

3. 基础模型

市场中存在一家制造商, 采用转售模式在电商平台中销售产品。制造商以价格 w 将产品批发给平台, 平台制定价格 p 将产品销售给消费者。制造商和电商平台之间存在 Stackelberg 博弈关系, 其中制造商作为领导者首先决策批发价 w 和减碳水平 e , 然后平台作为跟随者决策销售价格 p 。绿色研发成本是关于 e 的二次函数 be^2 [4], 制造商和平台的利润函数分别为:

$$\begin{cases} \Pi_m = wq - be^2 - (1-e)c_e q \\ \Pi_p = (p-w)q \end{cases} \quad (1)$$

根据利润最大化及决策顺序求解得到制造商和平台的最优策略如下。

定理 1: 制造商和平台的最优决策如表 2 所示:

Table 2. Optimal decision
表 2. 最优决策

w^*	p^*	e^*	q^*	Π_m^*	Π_p^*
$\frac{4b(1+c_e)-c_e(1+k)(c_e+k)}{8b-(c_e+k)^2}$	$\frac{2b(3+c_e)-c_e(1+k)(c_e+k)}{8b-(c_e+k)^2}$	$\frac{(1-c_e)(c_e+k)}{8b-(c_e+k)^2}$	$\frac{2b(1-c_e)}{8b-(c_e+k)^2}$	$\frac{b(1-c_e)^2}{8b-(c_e+k)^2}$	$\frac{4b^2(1-c_e)^2}{(8b-(c_e+k)^2)^2}$

从表 2 中给出的最优解可以看出, 最优定价和减碳水平受到消费者环保意识、单位碳税等影响, 接下来对这些因素的影响进行分析。

命题 1: 制造商的批发价、平台制定的销售价格受环境意识的影响如下: 当 $b < b_1$ 时, $\partial w^*/\partial k < 0$; 当 $b > b_1$ 时, $\partial w^*/\partial k > 0$ 。当 $b < b_2$ 时, $\partial p^*/\partial k < 0$; 当 $b > b_2$ 时, $\partial p^*/\partial k > 0$ 。如果制造商的绿色研发成本较低, 随着消费者环保意识的增加, 制造商和平台应该分别提高批发价和销售价。绿色研发成本较低时, 制造商具有成本优势。随着消费者环保意识提高, 绿色产品在市场上受到青睐, 这种市场环境下制造商提高批发价格更有利可图。批发价格上涨, 而且消费者具有绿色偏好, 平台提高销售价格不影响产品的畅销, 此时平台的利润会有所增长。当绿色研发成本较高, 随着消费者环保意识的提升, 制造商和平台应该适当降低价格以竞争市场份额, 从而保障利润最大化。

命题 2: 减碳水平、制造商及平台利润受单位碳税的影响如下:

- ① 若 $k > 1-2c_e$ ($k < 1-2c_e$ 情况则相反):

当 $b < \frac{(c_e + k)^2(1+k)}{8(2c_e + k - 1)}$ 时, $\frac{\partial e^*}{\partial c_e} > 0$; 当 $b > \frac{(c_e + k)^2(1+k)}{8(2c_e + k - 1)}$ 时, $\frac{\partial e^*}{\partial c_e} < 0$ 。

② 若 $b > \frac{(c_e + k)(1+k)}{8}$, 则有 $\frac{\partial \Pi_m^*}{\partial c_e} < 0$; 若 $b < \frac{(c_e + k)(1+k)}{8}$, 则 $\frac{\partial \Pi_m^*}{\partial c_e} > 0$ 。

③ 若 $b > \frac{(c_e + k)(2 - c_e + k)}{8}$, 则有 $\frac{\partial \Pi_p^*}{\partial c_e} < 0$; 若 $b < \frac{(c_e + k)(2 - c_e + k)}{8}$, 则 $\frac{\partial \Pi_p^*}{\partial c_e} > 0$ 。

消费者环保意识较高时: 当绿色研发成本较低, 减碳水平将随着单位碳税的增加而增加; 当绿色研发成本较高, 减碳水平随着单位碳税的增加而降低。这是因为当消费者普遍具有绿色偏好且绿色研发成本较低时, 较高的碳税给制造商减排提供动力, 制造商提高减碳水平既符合市场需求又减缓高昂的碳税负担。但是绿色研发成本高的情况下, 高碳税给制造商带来压力, 制造商无法承担成本费用, 只能降低减碳水平。

碳税对制造商和平台利润的影响受到绿色研发成本的干扰。当绿色研发成本较高, 碳税越高会导致制造商和平台的利润越低; 但绿色研发成本较低时, 碳税越高时制造商和平台的利润越高。如果绿色研发成本高, 制造商在减碳水平上的投入力度弱。碳排放增加, 那么高碳税下制造商的利润必然降低, 平台利润受到影响也随之降低。绿色研发成本低时, 制造商能够很好的控制碳排放水平。即使碳税增长, 也不会给制造商的利润带来威胁。在绿色市场上, 制造商和平台的利润会增加。

因此, 政府的碳税征收应该根据制造商的实际管理运作情况而有紧有松的调节, 把握好适中的度。碳税政策的作用是监督并控制制造商的碳排放行为从而达到有效治理环境的目的, 而不应该成为制造商生产中的重担和束缚。

4. AI 技术应用

上一节讨论了平台未采用 AI 技术下制造商和平台的最优决策和最大利润, 本节研究平台采用 AI 技术下, 双方最优决策的变化。AI 技术的应用提高了产品信息的透明度, 增强消费者对产品性能和质量的更好认知, 因此消费者对产品的估值会增加 ($\alpha > 1$)。但是另一方面 AI 技术也会引发信息和数据泄露等问题, 让消费者对自身隐私产生担忧。从应用 AI 技术的平台处购买产品, 消费者要承担隐私成本 r [5], 消费者效用函数 $U^i = \alpha V - P^i + ke^i - r$ 。使用 AI 技术的单位成本为 c_a [6], 构建制造商和平台的利润函数:

$$\begin{cases} \Pi_m^i = wq^i - b(e^i)^2 - (1 - e^i)c_e q^i \\ \Pi_p^i = (p^i - w^i)q^i - c_a q^i \end{cases} \quad (2)$$

定理 2: 平台采用 AI 技术下制造商的最优批发价、减碳水平, 以及平台的最优销售定价为:

$$\begin{cases} w^{i*} = \frac{4a^2b + c_e(k + c_e)(r - k) - a(c_e(k + c_e - 4b) + 4br)}{8ab - (c_e + k)^2} \\ e^{i*} = \frac{(c_e - a + r)(c_e + k)}{-8ab + (c_e + k)^2} \\ p^{i*} = \frac{6a^2b + c_e(k + c_e)(r - k) - a(c_e(k + c_e - 2b) + 6br)}{8ab - (c_e + k)^2} \end{cases} \quad (3)$$

通过 w^{i*} 、 e^{i*} 和 p^{i*} , 可以得到最优生产量 $q^{i*} = \frac{2b(a - c_e - r)}{8ab - (c_e + k)^2}$, 制造商利润 $\Pi_m^{i*} = \frac{b(c_e - a + r)^2}{8ab - (c_e + k)^2}$, 平

台利润 $\Pi_p^{i*} = \frac{2b(a-c_e-r)(2a^2b+c_a(k+c_e)^2-2ab(4c_a+c_e+r))}{(-8ab+(c_e+k)^2)^2}$ 。下面对比平台是否采用 AI 技术下减碳

水平、市场需求量以及制造商利润的差别。

命题 3: 平台是否采用 AI 技术下的减碳水平对比: 若 $k < k_1$: 当 $\alpha > \alpha_1$ 时, 则 $e^{i*} > e^*$; $\alpha < \alpha_1$ 时, 则 $e^{i*} < e^*$ 。 $k > k_1$ 时情况则相反。

消费者环保意识较低时, 如果 $\alpha > \alpha_1$, 平台采用 AI 技术会提高制造商的减碳水平。如果 $\alpha < \alpha_1$, 平台采用 AI 技术会导致减碳水平降低。当消费者环保意识低, 如果 AI 技术能很好的提高产品的信息透明度, 提高消费者对环境属性的感知, 便能刺激市场消费潜力。所以制造商应该提高减碳水平赋予产品绿色价值。 $\alpha < \alpha_1$ 时, 较低的环保意识削弱了 AI 技术给消费者带来的感知能力, 这时制造商降低减碳水平是最好的选择。

命题 4: 平台是否采用 AI 技术下的市场需求量对比:

若 $\alpha > \frac{c_e+r}{c_e}$: 当 $b > \frac{(c_e+k)^2(a-1-r)}{8(ac_e-c_e-r)}$ 时, $q^{i*} > q^*$; 当 $b < \frac{(c_e+k)^2(a-1-r)}{8(ac_e-c_e-r)}$ 时, $q^{i*} < q^*$ 。若 $\alpha < \frac{c_e+r}{c_e}$

情况则相反。

消费者对 AI 技术敏感性较大时, 如果制造商的绿色研发成本较大, AI 技术应用下的市场需求量更大; 如果绿色研发成本较低, 不采用 AI 技术下市场需求量更大。 α 较大时, AI 技术能够激发市场消费潜力, 高成本下制造商和平台采取“薄利多销”手段以覆盖成本获取更大利润; 低成本下, 面对具有绿色消费前景的市场环境, 制造商和平台走“高端销售路线”。因此 AI 技术应用下市场定位于“高端消费者”, 市场需求降低。

命题 5: 平台是否采用 AI 技术下制造商的利润对比:

若 $\alpha > \frac{c_e+r}{c_e}$: 令 $r_1 = \sqrt{\frac{b(c_e-1)^2(8ab-(c_e+k)^2)}{b(8b-(c_e+k)^2)}} + a - c_e$, 当 $r > r_1$ 时, $\Pi_m^{i*} < \Pi_m^*$; 当 $r < r_1$ 时, $\Pi_m^{i*} > \Pi_m^*$ 。

若 $\alpha < \frac{c_e+r}{c_e}$ 情况则相反。

当 α 较大时, 如果 AI 技术的应用给消费者带来的隐私成本较大, 平台应用 AI 技术会导致制造商利润降低。如果隐私成本较小, 平台应用 AI 技术会提高制造商利润。隐私成本较大时, AI 技术虽然能够提高消费者对产品的信任度, 但不足以弥补其给消费者带来的隐患问题。这将会导致大量潜在消费者的流失, 使得市场需求量降低, 从而降低了制造商的利润。

因此, 在实际 AI 技术应用中, 平台不应该仅仅关注 AI 技术能力的强弱, 即其在调动市场消费能力上的作用, 也应该着重关注 AI 技术所带来的隐患问题。加强 AI 技术对消费者隐私信息披露问题上的治理, 重在减轻消费者承担的隐私问题成本, 才能更好的发挥 AI 技术的作用和价值。

5. 结论

文章考虑消费者环保意识, 在碳税政策下研究是否采用 AI 技术对制造商的影响。通过构建制造商和电商平台之间的 Stackelberg 博弈模型, 并对模型优化求解, 得到制造商和平台的最优定价以及绿色策略。分析结果为制造商的生产运营提供了管理内涵, 为平台的决策制定提供了参考价值。

分析结果表明, 消费者环保意识、绿色研发成本和碳税等因素明显影响制造商的定价和减碳水平, 制造商应根据市场环境的变化调整策略以谋取利益最大化。碳税的制定应该根据制造商生产中的实际运作情况有所调节, 碳税征收反应适度, 发挥其控制碳排放促进环境可持续性的有效作用。平台采用 AI 技术

在某种条件下(见命题 3、4、5)可以促进企业减排、激发市场消费潜力,但是 AI 技术的应用给消费者带来的隐私披露问题严重影响制造商的收益。平台采用 AI 技术,不仅要考虑到 AI 技术提升信息透明度的能力,更要关注其产生的隐患成本,才能实现制造商在利润和环境上的双赢局面。

参考文献

- [1] Zhang, Y.R., Hong, Z.F., Chen, Z.X. and Glock, C.H. (2020) Tax or Subsidy? Design and Selection of Regulatory Policies for Remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, **287**, 885-900. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.05.023>
- [2] Cao, K.Y. and Choi, T.M. (2021) Optimal Trade-In Return Policies: Is it Wise to be Generous? *Production and Operations Management*, **31**, 1309-1331. <https://doi.org/10.1111/poms.13612>
- [3] Cao, K.Y., Guo, Q. and Xu, Y.Q. (2023) Information Sharing and Carbon Reduction Strategies with Extreme Weather in the Platform Economy. *International Journal of Production Economics*, **255**, Article ID: 108683. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108683>
- [4] Hong, Z.F., Wang, H. and Gong, Y.M. (2019) Green Product Design Considering Functional-Product Reference. *International Journal of Production Economics*, **210**, 155-168. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.008>
- [5] Zhang, Z.M., Ren, D., Lan, Y.F. and Yang, S.X. (2022) Price Competition and Blockchain Adoption in Retailing Markets. *European Journal of Operational Research*, **300**, 647-660. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.08.027>
- [6] Xu, X.P., Hong, Z.F., Chen, Y.J. and Chen, T.C.E. (2023) When Is It Wise to Use Artificial Intelligence for Platform Operations Considering Consumer Returns? *European Journal of Operational Research*, **308**, 1188-1205. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.11.036>

附录

定理 1 的证明: 由消费者效用函数 $U = V - P + ke > 0$ 可得需求函数 $q = 1 - P + ke$ 。根据利润函数(1), 制造商和平台之间的 Stackelberg 博弈模型求解: $\frac{\partial^2 \Pi_p}{\partial p^2} < 0$, 由 $\frac{\partial \Pi_p}{\partial p} = 0$ 可得 $p^* = \frac{1 + ek + w}{2}$ 。再根据制造商利润求解 w 、 e 时, 海塞矩阵为:

$$H_1 = \begin{pmatrix} -1 & \frac{k - c_e}{2} \\ \frac{k - c_e}{2} & c_e k - 2b \end{pmatrix} \quad (Y1)$$

其中 $h_1 = -1 < 0$, 由 $h_2 > 0$ 可得 $8b - (c_e + k)^2 > 0$ (X1)。海塞矩阵满足条件时, 目标函数的最优解存在且唯一。通过联立方程组 $\frac{\partial \Pi_m}{\partial w} = 0$ 和 $\frac{\partial \Pi_m}{\partial e} = 0$, 得到最优解:

$$\begin{cases} w^* = \frac{4b(1 + c_e) - c_e(1 + k)(c_e + k)}{8b - (c_e + k)^2} \\ e^* = \frac{(1 - c_e)(c_e + k)}{8b - (c_e + k)^2} \end{cases} \quad (Y2)$$

将式(Y2)代入 p^* 和 q , 进而再带入式(1), 得到最优策略如定理 1 所示。

定理 2 的证明与定理 1 类似, 因此省略。

命题 1 的证明: 根据定理 1, 对 w^* 和 p^* 关于 k 做灵敏性分析:

$$\begin{cases} \frac{\partial w^*}{\partial k} = \frac{(c_e - 1)(c_e(c_e + k)^2 - 8bk)}{(8b - (c_e + k)^2)^2} \\ \frac{\partial p^*}{\partial k} = \frac{(c_e - 1)(c_e(c_e + k)^2 - 4b(c_e + 3k))}{(8b - (c_e + k)^2)^2} \end{cases} \quad (Y3)$$

根据(Y3), 对式子进行正负判别, 则只需判别分子的正负。所以, 令 $b_1 = \frac{c_e(c_e + k)^2}{8k}$, 当 $b < b_1$ 时,

$\frac{\partial w^*}{\partial k} < 0$; 当 $b > b_1$ 时, $\frac{\partial w^*}{\partial k} > 0$ 。令 $b_2 = \frac{c_e(c_e + k)^2}{4(3k + c_e)}$, 当 $b < b_2$ 时, $\frac{\partial p^*}{\partial k} < 0$; 当 $b > b_2$ 时, $\frac{\partial p^*}{\partial k} > 0$ 。

命题 2 的证明与命题 1 的类似, 因此省略。

命题 3、4、5 的证明: 对是否采用 AI 技术下的减碳水平、市场需求量、制造商的利润分别作差可得:

$$\begin{cases} e^{i*} - e^* = \frac{(c_e + k)(c_e - a + r)}{-8ab + (c_e + k)^2} - \frac{(c_e + k)(c_e - 1)}{-8b + (c_e + k)^2} \\ q^{i*} - q^* = \frac{2b(a - c_e - r)}{8ab - (c_e + k)^2} + \frac{2b(c_e - 1)}{8b - (c_e + k)^2} \\ \Pi_m^{i*} - \Pi_m^* = \frac{b(c_e + r - a)^2}{8ab - (c_e + k)^2} - \frac{b(c_e - 1)^2}{8b - (c_e + k)^2} \end{cases} \quad (Y4)$$

根据式(Y4), 判别各式正负。令 $k_1 = 3c_e - 2\sqrt{2}c_e$, $\alpha_1 = \frac{(c_e + r)(8k - (c_e + k)^2) - (1 - c_e)(c_e + k)^2}{6kc_e - c_e^2 - k^2}$ 。若

$k < k_1$: 当 $\alpha > \alpha_1$ 时, 则 $e^{i*} > e^*$; $\alpha < \alpha_1$ 时, 则 $e^{i*} < e^*$ 。 $k > k_1$ 时情况则相反。

若 $\alpha > \frac{c_e + r}{c_e}$: 当 $b > \frac{(c_e + k)^2(a - 1 - r)}{8(ac_e - c_e - r)}$ 时, $q^{i*} > q^*$; 当 $b < \frac{(c_e + k)^2(a - 1 - r)}{8(ac_e - c_e - r)}$ 时, $q^{i*} < q^*$ 。若 $\alpha < \frac{c_e + r}{c_e}$

情况则相反。

若 $\alpha > c_e + r$: 令 $r_1 = \sqrt{\frac{b(c_e - 1)^2(8ab - (c_e + k)^2)}{b(8b - (c_e + k)^2)}} + a - c_e$, 当 $r > r_1$ 时, $\Pi_m^{i*} < \Pi_m^*$; 当 $r < r_1$ 时, $\Pi_m^{i*} > \Pi_m^*$ 。

若 $\alpha < c_e + r$ 情况则相反。