

碳税政策下区块链对供应链的减排决策研究

衣珊珊 林玮清

福州理工学院经济管理学院

DOI:10.32629/ej.v9i1.3304

[摘要] 构建一个由单一制造商和单一零售商组成的二级供应链模型,分析在碳税政策施行情况下,有无区块链技术投入两种情形,看看制造商实施减排技术给供应链带来什么影响,运用Stackelberg模型求得最优决策方案。研究结果表明,与不投入区块链技术相比,消费者对区块链技术的绿色信任度提升会促使企业利润增加;碳税政策的实施可以推动企业开展减排工作,进一步激发销售者对低碳产品的需求,在一定程度上提高企业利润水平。

[关键词] 碳税; 供应链; 区块链; 减排技术

中图分类号: F812.42 **文献标识码:** A

Research on the Decisions of Supply Chain Emission Reduction under Carbon Tax Policy

Shanshan Yi Weiqing Lin

Fuzhou Institute of Technology

[Abstract] This study constructs a two-tier supply chain model comprising a single manufacturer and retailer, analyzing the impacts of carbon tax policies under two scenarios: blockchain adoption versus non-adoption. Using the Stackelberg game model, we determine optimal decision-making strategies. Findings indicate that enhanced consumer trust in blockchain technology significantly boosts corporate profits compared to non-adoption. The carbon tax policy effectively incentivizes emission reduction efforts, which in turn stimulates demand for low-carbon products among retailers, ultimately elevating corporate profitability.

[Key words] carbon tax; supply chain; blockchain; emission reduction technology

引言

大气中温室气体浓度持续升高,引发了气候突变和环境恶化,世界各国都在积极减少碳排放,共同应对气候变化。碳中和是减缓全球变暖、推动能源绿色低碳转型、创新绿色低碳技术的关键步骤,它已经成为经济高质量发展的强大驱动力以及构建人类命运共同体的价值追求^[1]。在这样的一种大环境之下,去深入剖析碳税政策和区块链技术两者之间协同作用的具体机制,与此同时分析‘碳税约束+区块链赋能’到底是怎样对供应链企业的减排决策产生影响的,这既是学术研究领域急需去填补的一个空白之处,也是对产业实践发挥指导作用、助力“双碳”目标可以切实落地实施的一个极为重要的关键命题。

1 文献综述

在实际政策层面,碳税呈现出较为直接且颇为透明的特点,能够给企业赋予清晰明确的环境目标,称得上是一种行之有效的减排政策工具^[2]。碳税借助把碳排放所涉及的外部成本转化为内部成本的方式,对企业碳排放行为加以约束^[3]。

综合各方面的情况来看,对以往学者所著的文献经过分析之后可以发现,虽说已经取得了一定的研究成果,然而现有的研

究当中仍然存在着不少的不足之处。本文着手构建了一个二级供应链模型,在这个模型里是由单个制造商以及单个零售商共同构成的,并且是在碳税政策之下构建起来的,接着去对比在有区块链技术投入和没有区块链技术投入这两种不同情形下企业的减排决策到底存在怎样的差异,进而为供应链减排方面的实践活动给予更具针对性的理论方面的有力支撑。

2 模型构建与求解

2.1 问题描述

本文关注一条供应链,该供应链包含一个原始制造商和一个再制造商。政府借助碳税政策对那些碳排放量较高的新产品征收碳税,以此引导企业减少碳排放。因为产品生产流程存在一定程度的不透明情况,所以在产品生产进程中嵌入那种可记录零部件来源相关信息的芯片(如RFID芯片),通过区块链技术提供完整的产品生产历史信息,进而实现对再制造产品的溯源和质量追踪。文中涉及的相关参数如表1:

2.2 模型假设

假设1: 假设在碳减排投入过程中,其投入成本不断增加且增速很快。则设定,其中。 $R = \frac{1}{2}e\gamma^2$,其中 $e > \gamma > 0$ 。

表1 参数说明

符号	含义	符号	含义
p_n	零售商产品的单位零售价格	γ	制造商生产单位产品时的减排量
$Q_{n,b}$	未投/投区块链技术产品的需求	t	碳税率/单位
c_n	产品加工的单位成本	π_m	制造商利润
w_n	产品的单位批发价格	π_r	零售商利润
ε	减排成本系数	e	加工单位产品的碳排放量
λ	消费者低碳偏好	R	碳减排投入成本

假设2: 其产品市场需求函数可表示为 $Q_n = (1-\mu)a - p_n + \lambda\gamma(1-\phi)$ 这里的a表示的是市场潜在需求; p_n 表示的是零售价格; μ ($\mu > 0$) 所指的就是消费者对产品来源的不信任程度; γ ($\gamma > 0$) 表示制造商碳减排水平; λ ($\lambda > 0$) 是消费者低碳偏好系数的体现; ϕ ($\phi > 0$) 则是制造商碳减排水平对需求产生正向影响时的折扣程度。而一旦投入了区块链技术之后, 消费者对于产品来源以及碳排放信息就会达成完全的信任状态, 也就是此时 $\mu = 0, \phi = 0$, 那么产品市场需求的情况会相应发生变化, 即此时 $Q_b = a - p_n + \lambda\gamma$ 。

假设3: 在未引入区块链技术时, 制造商和零售商的每单位交易成本是相等的 c_s 。一旦投入区块链技术, 其投入成本会分为两部分: 其一是构建区块链系统的固定成本, 该部分成本视作沉没成本; 其二是区块链的运营成本, 因为区块链技术的固定成本不会以沉没成本的方式影响企业正常运营, 所以在这种情况下, 需要考虑制造商与零售商都投入区块链技术后, 每单位产品需付出的相同额度的区块链技术投入成本 c_t ($c_t > c_s$)。接着, 通过创建区块并将其输入区块链, 以满足存储和更新数据信息的需求。

2.3 模型构建与求解

2.3.1 未投入区块链技术的制造商进行单一减排的决策模型

在实施碳税相关政策之际, 制造商着手投入减排技术方面的工作, 并暂时设定单位产品减排量。此时, 制造商按照批发价格将产品销售给零售商。在这种情况下, 作为跟随者的零售商会根据制造商的决策确定产品零售价格, 其对应的利润模型如下所示:

$$\pi_{m1} = (w_n - c_n - c_s)Q_n - \frac{1}{2}\varepsilon\gamma^2 - (e - \gamma)tQ_n \tag{1}$$

$$\pi_{r1} = (p_n - w_n - c_s)Q_n \tag{2}$$

令 $\frac{\partial \pi_{r1}}{\partial p_n} = 0$ 则可以得到 p_n^T 。

将 p_n^T 代入(1)中得到 π_{m1} 的Hessian矩阵:

运用Hessian矩阵展开相应计算后发现, 其一阶主子式的数值小于 $-1 < 0$, 当 $\varepsilon > \frac{[\lambda(1-\phi)+t]^2}{4}$ 时, 在出现此种情形的时候, 该矩阵就会呈现负性的状态。并且在这样的状态之下, 存在最优批发

价格 w_n^T 和最优减排量 γ_n^T 这两个变量, 只有将这两个变量同时确定下来, 才能使制造商利润最大化。

令 $\frac{\partial \pi_{m1}}{\partial w_n} = 0; \frac{\partial \pi_{m1}}{\partial \gamma} = 0$ 得到:

$$\gamma_n^T = \frac{[\lambda(1-\phi) + t][c_n + te + 2c_s - (1-\mu)a]}{[\lambda(1-\phi) + t]^2 - 4\varepsilon}$$

$$w_n^T = \frac{(1-\mu)a + c_n + te}{2} + \frac{\lambda(1-\phi) - t}{2} \times \frac{[\lambda(1-\phi) + t][c_n + te + 2c_s - (1-\mu)a]}{[\lambda(1-\phi) + t]^2 - 4\varepsilon}$$

$$Q_n^T = \frac{\varepsilon[c_n + te + 2c_s - (1-\mu)a]}{[\lambda(1-\phi) + t]^2 - 4\varepsilon}$$

$$p_n^T = \frac{3(1-\mu)a + c_n + te + 2c_s}{4} + \frac{3\lambda(1-\phi) - t}{4} \times \frac{[\lambda(1-\phi) + t][c_n + te + 2c_s - (1-\mu)a]}{[\lambda(1-\phi) + t]^2 - 4\varepsilon}$$

2.3.2 投入区块链技术制造商进行单一减排的决策模型 其利润模型具体:

$$\pi_{m2} = (w_n - c_n - c_t)Q_b - \frac{1}{2}\varepsilon\gamma^2 - (e - \gamma)tQ_b \tag{3}$$

$$\pi_{r2} = (p_n - w_n - c_t)Q_b \tag{4}$$

借助Hessian矩阵来分析, 当特定条件 $\varepsilon > \frac{[\lambda+t]^2}{4}$ 达成时, 该矩阵呈现出负性的特性, 在此情况下, 存在着一个最优的批发价格 w_n^z 以及最优的减排量 γ_n^z , 能够促使制造商的利润 π_{m2} 实现最大化。

令 $\frac{\partial \pi_{m2}}{\partial w_n} = 0; \frac{\partial \pi_{m2}}{\partial \gamma} = 0$, 得到:

$$\gamma_n^z = \frac{[\lambda + t][c_n + te + 2c_t - a]}{[\lambda + t]^2 - 4\varepsilon}$$

$$w_n^z = \frac{a + c_n + te}{2} + \frac{\lambda - t}{2} \times \frac{[\lambda + t][c_n + te + 2c_t - a]}{[\lambda + t]^2 - 4\varepsilon}$$

$$Q_b^z = \frac{\varepsilon[c_n + te + 2c_t - a]}{[\lambda + t]^2 - 4\varepsilon}$$

$$p_n^z = \frac{3a + c_n + te + 2c_t}{4} + \frac{3\lambda - t}{4} \times \frac{[\lambda + t][c_n + te + 2c_t - a]}{[\lambda + t]^2 - 4\varepsilon}$$

3 算例分析

假定参数: $c_s=0.02, c_n=0.1, c_t=0.12, \mu=0.2, \phi=0.2, \varepsilon=5, \lambda=3, a=400, e=10, t=0.02$

3.1 ε 对供应链利润的影响

从图1还有图2所展现出来的模拟结果当中可以发现, 当一个变量出现增加的情况时, 不论是制造商这一方, 还是零售商那一方, 它们的利润都会呈现出下降的趋向。在同样的条件前提下, 要是引入了区块链技术, 那么此时的总利润会一直要比没有引入区块链技术的情形要高一些。这足以说明, 尽管区块链技术致使单位运营成本有所提高 ($c_t > c_s$), 不过它所带来的信息透明度方面的提升却是相当突出的, 这样的提升大幅度增强了消费者对相关产品所持有的信任程度, 从而推动市场需求进一步地拓展开来。

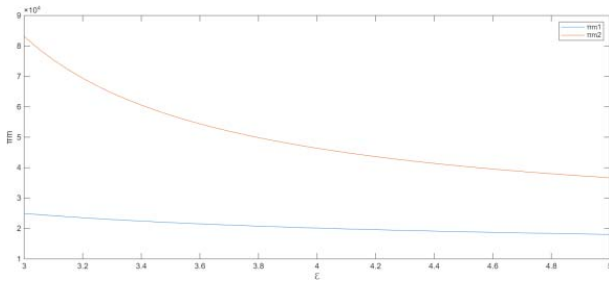


图1 ε 与 π_m 的关系

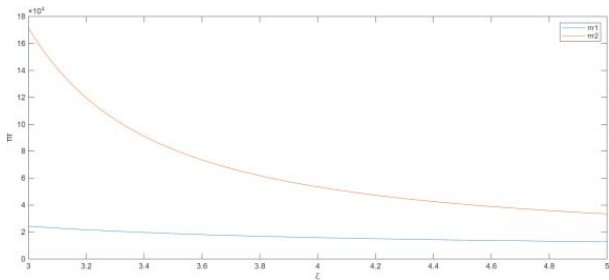


图2 ε 与 π_r 的关系

3.2 ϕ 与 μ 对供应链利润的影响

参照模拟图3所展现出来的结果来讲,随着某一个特定因素产生变化之后,它便给供应链利润带来了与之相对应的影响。在还没有引入区块链技术的阶段,随着这个因素持续不断地增加,制造商还有零售商的利润都呈现出一种下降的趋向。从图4也能够清晰地看出,在没有投入区块链技术的情形下,随着相关联的变量一步一步地增加,制造商以及零售商的利润没有例外地都在减少。即便企业把在减排方面的投入力度进一步加大了,然而这也很难切实有效地转化成为需求增长的实际状况。

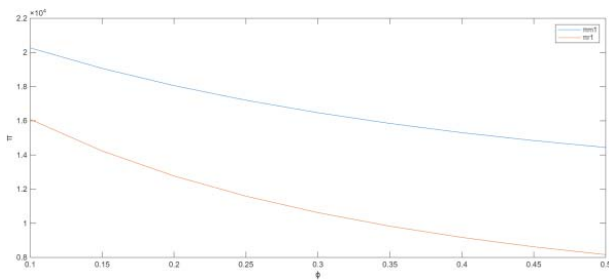


图3 ϕ 与 π_{m1} 、 π_{r1} 的关系

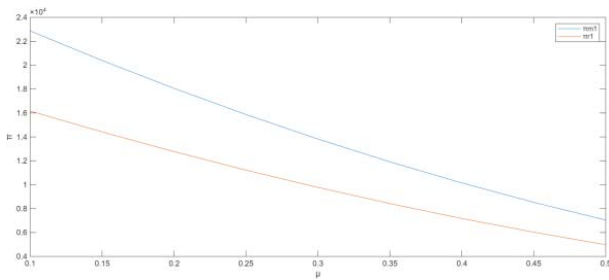


图4 μ 与 π_{m1} 、 π_{r1} 的关系

3.3 t对供应链利润的影响

从图5以及图6所呈现的模拟结果当中能够发现,t的增加,

无论是制造商还是零售商,它们的总利润均有所增长,这是因为在碳税政策得以实施的情况下,所导致的碳排放量附加成本,在企业做出适当投入减排技术这样的情形之下,能够对碳税政策影响下增加的生产成本起到一定的抵消作用,如此一来,既能减少整个供应链的碳排放量,又能促使企业的利润有所提升。不过碳税的设定也不能过高,过高的碳税会给企业带来过重的成本负担,使得企业利润减少,甚至会对整个市场经济产生影响。

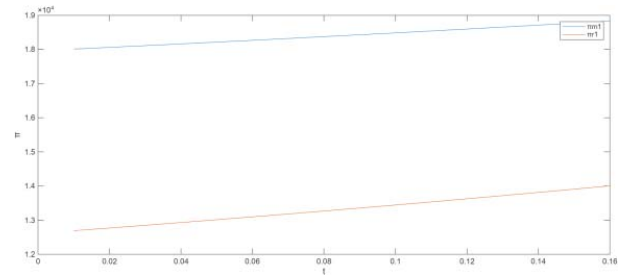


图5 t与 π_{m1} 、 π_{r1} 的关系

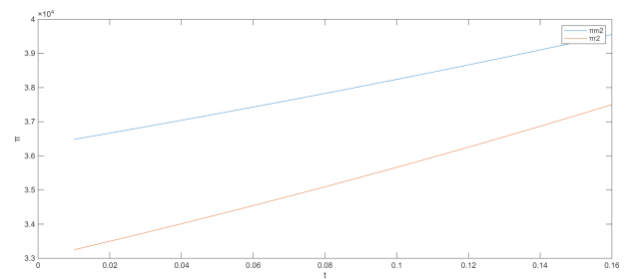


图6 t与 π_{m2} 、 π_{r2} 的关系

4 结论

根据上述结论可得如下管理启示:

(1) 区块链技术助力提高最优减排水平并满足市场需求。

借助区块链可实现碳足迹全程追溯且相关信息无法篡改,这有效缓解了消费者对低碳产品真实性存有的疑虑,大幅增强绿色信任,推动市场需求持续增长,进而激励制造商增加减排投入。

(2) 碳税率与减排绩效二者之间存在一种非线性关联。

当碳税率维持在适宜程度的时候,它能够切实有效地调动企业在减排工作方面的积极主动性。尤其是在有区块链技术予以支撑的情形之下,企业是能够凭借‘减排降税’这一途径,还有依靠品牌所形成出来的溢价这两个不同方面,推动自身利润重新实现回升的。

(3) 消费者信任在很大程度上决定了绿色转型能否取得成功,是其中极为关键的一个变量。通过对相关参数以及所开展的敏感性分析可以发现,信息不对称的情况会大幅度削减企业减排所带来的价值。只有当消费者对企业所取得的减排成效给予充分认可的时候,企业在绿色方面所做出的投入才能够转变成其在市场竞争当中占据的优势。

[基金项目]

福州理工学院校级科研基金项目《“双碳”目标下考虑碳政策的闭环供应链减排与定价决策研究》(FTKY2024015)。

[参考文献]

- [1]邹才能,薛华庆,熊波,等.“碳中和”的内涵、创新与愿景[J].天然气工业,2021,41(08):46-57.
- [2]Liu L,Pang C,Hong X.Patented product remanufacturing and technology licensing in a closed-loop supply chain[J].Computers & Industrial Engineering, 2022, 172(Pt.A).
- [3]Sijie L,Bin Z,Dongfeng J.Optimal decisions for hybrid

manufacturing and remanufacturing with trade-in program and carbon tax[J].Omega,2024,124103012.

作者简介:

衣珊珊(1992--),女,汉族,黑龙江齐齐哈尔人,硕士,讲师,研究方向:低碳供应链。

林玮清(1999--),女,汉族,福建福州人,硕士,讲师,研究方向:低碳供应链。