

【工程与技术研究】

质量升级下嵌入区块链的外包再制造决策

李雪梦, 冯艳刚

(阜阳师范大学 商学院, 安徽 阜阳 236037)

摘要:再制造产品质量升级可以弥补质量缺陷问题, 区块链技术可以提高产品信息的透明度。为了研究质量升级下, 区块链技术对外包再制造供应链决策的影响, 分别构建了无区块链和有区块链的决策模型, 比较了不同情形下成员的最优解, 并对相关参数进行单调性分析。结果表明, 无区块链时的再制造产品零售价大于有区块链时的零售价, 当区块链运营成本大于某一临界值时, 相较于无区块链, 再制造产品的批发价会提高。再制造产品的批发价与区块链运营成本负相关, 零售价、供应链成员利润与区块链运营成本正相关, 且有区块链时的成员利润始终大于无区块链时的利润。质量升级投入水平与新产品价格无关, 与再制造产品价格正相关, 再制造商投入质量升级技术虽会降低自身利润但会提高制造商利润。

关键词:外包再制造; 区块链; 最优解; 利润; 运营成本

中图分类号: F 274 **文献标识码:** A **DOI:** 10.13486/j.cnki.1673-2618.2023.06.010

0 引言

再制造作为绿色发展的重要形式, 不仅能降低制造成本、促使资源再生、减少环境污染, 而且能在一定程度上促进经济效益与环境效益的协同发展。随着我国对再制造产业的大力扶持, 再制造已经成为实现可持续发展战略的重要途径, 许多企业开始进行再制造生产, 极大促进了再制造业的发展^[1]。

再制造对生产技术水平要求较高, 因此原始制造商一般会放弃, 由独立的再制造商进行^[2]。企业广泛采用的是再制造外包模式, 例如, 卡特彼勒负责回收旧产品并进行再制造, 然后向利星行供应再制造产品, 由利星行负责将产品销售给市场上的客户^[3]。目前, 外包模式作为再制造供应链的一个前沿研究领域吸引了大量国内外学者的关注。郑小雪等^[4]分别讨论了制造商、零售商两种外包模式, 分析了第三方再制造时的外包选择与协调问题。王海燕等^[5]基于汽车再制造行业研究了当制造商给予再制造商额外外包激励时, 不同激励对再制造的影响。刘雪琦等^[6]基于非合作博弈理论研究了政府补贴对外包再制造的影响, 为政府制定补贴策略提供科学依据。Zhang 等^[7]考虑由领先的第三方再制造商和资本受限的原始制造商组成的二元闭环供应链, 以无资本约束的情况为基准, 研究了资本约束和融资组合对外包、授权再制造模式选择的影响。Zhou 等^[8]探讨了原始设备制造商应采取的最佳再制造参与策略和再制造模式。Zhang 等^[9]基于消费者的异质需求市场, 为找到最合适、最有利的供应链再制造模式, 对比分析了制造商外包再制造、授权再制造以及自主再制造三种模式的最优解。

收稿日期: 2023-05-20

基金项目: 安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2021A0674)

第一作者简介: 李雪梦(1998—), 女, 安徽阜南人, 硕士研究生, 主要从事供应链管理研究。

E-mail: lixuемeng00123@163.com

回收来的废旧产品进行拆解加工处理后,有利用价值的部分元件可以作为再制造产品的生产原料,但消费者往往会质疑这部分元件的功能和质量,进而不相信再制造产品的质量,这严重影响了再制造产品的销售。由此可见,再制造产品的质量对企业运营和决策至关重要。目前,部分文献在供应链中考虑了产品的质量提升,Chakraborty等^[10]讨论了三种不同的合同情景,基于合作产品质量改进策略,研究了零售商是否有兴趣与制造商分担更多质量投资成本的情况。Zhou等^[11]建立了包含产品质量参考效应和服务质量参考效应的动态模型,利用微分对策理论,得到了不同决策情景下产品质量和服务质量的最优决策。范建昌等^[12]在供应商履行企业社会责任的基础上,考虑了改进产品质量,探讨了产品质量投资策略与社会责任实施策略的相互影响关系。Taleizadeh等^[13]研究了两种闭环供应链中的定价策略、质量水平以及回收努力决策,在不同渠道结构的基础上,探索了价格、质量水平、销售和回收努力的最佳值。袁开福等^[14]在碳限额与交易政策下,针对制造商是否进行产品质量升级的情况,求解出不同模型的质量升级策略以及差别定价机制。王建华等^[15]认为再制造质量投入是影响再制品销售的关键因素,根据单双销售渠道的闭环供应链模型,探讨了再制造产品质量升级对销售策略的影响。

区块链技术带来了供应链运营的颠覆性变化,可以克服供应链在实现信息共享、保持整个流程的可追溯性和提高运营效率方面遇到的困难^[16]。Kouhizadeh等^[17]表明区块链技术目前的受欢迎程度正在达到顶峰,探讨了区块链技术对可持续的,尤其是绿色供应链的影响,展望了一些供进一步研究的领域。Zheng等^[18]针对海量信用调查数据和隐私保护问题,提出区块链模型能够实现供应链中共享交易信息的访问控制和管理。Shen等^[19]探讨了区块链技术如何打击供应链中的模仿者,当且仅当新顾客的数量足够大时,零售商销售可以通过区块链技术有效地打击模仿者。Pun等^[20]调查了区块链和定价信号对打击供应链中造假者的作用,发现区块链在消除购买后悔方面比定价信号更有效。Niu等^[21]考虑了一个由两个药品制造商和一个比制造商拥有更准确需求信息的共同零售商组成的两阶段供应链,研究了供应链成员采用区块链技术的激励结盟机会。Xu等^[22]考虑一个零售平台销售产品给消费者,并使用区块链技术自愿披露产品质量信息,开发了一个分析模型来探讨信息披露策略对零售平台定价和消费者深思熟虑决策的影响。Xu等^[23]为了研究消费者对绿色产品价值的不确定,分析了政府补贴的绿色产品定价问题及绿色投资的最优策略,并探讨了采用区块链技术的确切条件。但很少有学者同时考虑了区块链技术和再制造模式,Yang等^[24]基于品牌优势,根据再制造企业采用竞争模式或合作模式销售再制造产品,研究了区块链对制造商、再制造商再制造模式选择的影响。

虽然国内外学者对再制造外包模式的研究较多,但对外包模式下再制造产品质量升级的研究较少,更少考虑区块链技术对再制造外包模式的影响。随着政府对再制造的重视与扶持、消费者对再制造产品质量的高要求,越来越多企业着力于投资质量升级技术。区块链技术可以将产品信息正确且完整地披露、储存在区块中,消费者可以通过该平台充分了解产品信息。因此,在再制造产品质量升级下研究区块链技术对再制造外包决策的影响是非常有意义的。本文基于再制造的外包模式和再制造的产品质量升级,为研究区块链技术对不同成员决策的影响,分别建立无区块链和有区块链的外包博弈模型,对比分析不同情形下成员的最优决策,为企业的生产实践提供理论依据。

1 问题说明与假设

由于技术复杂性的增加、产品更新的加速、不确定性因素,原始设备制造商通常会放弃废旧零部件的再加工,将这些关键零部件外包给再制造供应商来完成。根据某公司的外包再制造方式——新产品和再制造产品的生产业务均外包给再制造商,但自身保留两种产品的销售权,这种外包模式可以帮助公司有效协调新产品和再制造产品的价格,避免价格战,进而维持品牌产品的声誉。基于此,本文构建由单一制造商和单一再制造商组成的外包再制造供应链模型。其中,再制造商负责新产品、再制造产品的生产和质量升级技术的投入,制造商负责两种产品的销售。区块链具有“诚实”与“透明”的特点,能够全程追溯、公开

再制造产品的质量信息,为满足消费者了解再制造产品质量信息的需求,制造商会选择借助区块链平台来销售再制造产品。因此,根据再制造产品是否通过区块链平台销售,考虑两种博弈决策模型:(a)无区块链的外包模型(NO模型), (b)有区块链的外包模型(BO模型),这里的“N”和“B”分别代表无区块链、有区块链,“O”代表外包模式, w_n 、 w_r 分别代表新产品、再制造产品的批发价, p_n 、 p_r 分别代表新产品、再制造产品的零售价(图 1)。

为了便于分析,做出以下基本假设。

(1) 再制造产品通常由废旧损耗的元件重新加工而成,消费者对其质量的认可程度会打折扣。假设消费者对新产品的感知质量为 v , v 在 $[0, a]$ (a 为市场最大容量)上服从均匀分布,则对再制造产品感知质量为 βv , β 为折扣系数且 $0 < \beta < 1$ ^[25]。

(2) 企业不使用区块链销售再制造产品时,消费者无法获取再制造产品的质量信息,也无法确定再制造产品的质量,假设不确定程度为 r 。而企业通过区块链销售再制造产品时,消费者可以获得完整且准确的质量信息,因此 $r=0$ ^[23]。

(3) α 表示再制造商对再制造产品质量信息的披露程度,在区块链平台上 $\alpha=1$ 。再制造是对受损零部件进行功能修复,恢复废旧产品剩余价值的一种生产方式。相较于新产品,消费者会非常关心这些废旧零部件重新加工成再制造产品后的质量,因此,消费者希望卖方披露产品的质量信息。尽管卖家可能会披露一些质量信息,但由于缺乏有效的验证机制,消费者很难相信卖家披露的信息。区块链能记录数据和共享真相,再制造商可以真实记录再制造产品的质量信息并将其有效地传递给消费者^[24]。

(4) 假设区块链的运营成本为 b ,使用区块链平台的商家需要创建区块并将区块输入区块链中来存储和更新数据^[26]。

(5) 再制造商在再制造生产中需要改进设备、优化再制造流程以提升再制造产品的质量,假设再制造产品质量投入水平为 θ ,质量升级成本系数为 h ($h > 0$),则质量升级的投入成本为 $\frac{1}{2}h\theta^2$ ^[14]。

(6) 新产品生产加工使用的元件均是崭新的,消费者可以确定新产品的质量,其效用为 $U_n = v - p_n$;而消费者对再制造产品的感知质量是不确定的,感知质量包括初始感知质量和质量升级所增加的感知质量,随着再制造产品质量的提高,消费者的感知质量也提高,那么购买再制造产品的效用 $U_r = \alpha(1-r)\beta(v + \mu\theta) - p_r$,其中, μ 为消费者的质量升级敏感度。 $U_n > 0$ 且 $U_n > U_r$ 时,消费者购买新产品; $U_r > 0$ 且 $U_n < U_r$ 时,消费者购买再制造产品。经计算,新产品的需求函数 $D_n = a - \frac{p_n - p_r + \alpha\beta(1-r)\mu\theta}{1 - \alpha\beta(1-r)}$,再制造产品的需求函数 $D_r = \frac{\alpha\beta(1-r)p_n - p_r + \alpha\beta(1-r)\mu\theta}{\alpha\beta(1-r)(1 - \alpha\beta(1-r))}$ 。由两种产品的需求函数表达式可知,消费者从再制造产品质量升级中获得的感知质量会同时影响两种产品的需求量,当其获得的感知质量较大时,会减少新产品的购买,更愿意购买再制造产品;反之,更倾向于购买新产品,减少购买再制造产品。

2 模型构建与求解

外包模式下,供应链成员遵循的是完全信息对称下的 Stackelberg 博弈,二者的博弈顺序为再制造商先决定批发价格,制造商再决定零售价格。

2.1 NO 模型

无区块链时,新产品和再制造产品的市场需求分别为

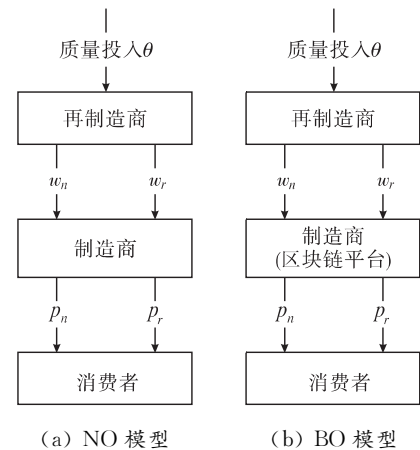


图 1 两种决策模型

$$D_n^{\text{NO}} = a - \frac{p_n - p_r + \alpha\beta(1-r)\mu\theta}{1 - \alpha\beta(1-r)}, D_r^{\text{NO}} = \frac{\alpha\beta(1-r)p_n - p_r + \alpha\beta(1-r)\mu\theta}{\alpha\beta(1-r)(1 - \alpha\beta(1-r))}. \quad (1)$$

再制造商和制造商的利润分别为

$$\pi_{\text{RM}}^{\text{NO}} = (\omega_n - c)D_n^{\text{NO}} + (\omega_r - c + s)D_r^{\text{NO}} - \frac{1}{2}h\theta^2, \pi_{\text{M}}^{\text{NO}} = (p_n - \omega_n)D_n^{\text{NO}} + (p_r - \omega_r)D_r^{\text{NO}}. \quad (2)$$

其中, c 为新产品单位生产成本, s 为再制造产品单位节约成本。

定理 1 无区块链的外包模式下,再制造商两种产品的最优批发价分别为 $\omega_n^{\text{NO}*} = \frac{a+c}{2}$, $\omega_r^{\text{NO}*} = \frac{1}{2}(c - s + \alpha\beta(1-r)(a + \mu\theta))$; 制造商两种产品的最优零售价分别为

$$p_n^{\text{NO}*} = \frac{3a+c}{4}, p_r^{\text{NO}*} = \frac{1}{4}(c - s + 3\alpha\beta(1-r)(a + \mu\theta)).$$

证明 采用逆向归纳法求解,首先将式(1)代入式(2)第 2 个方程,得到 $\pi_{\text{M}}^{\text{NO}}$ 的 Hessian 矩阵为

$$\mathbf{H}_{\text{M}}^{\text{NO}} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \pi_{\text{M}}^{\text{NO}}}{\partial p_n^2} & \frac{\partial^2 \pi_{\text{M}}^{\text{NO}}}{\partial p_n \partial p_r} \\ \frac{\partial^2 \pi_{\text{M}}^{\text{NO}}}{\partial p_r \partial p_n} & \frac{\partial^2 \pi_{\text{M}}^{\text{NO}}}{\partial p_r^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{2}{1 - (1-r)\alpha\beta} & \frac{2}{1 - (1-r)\alpha\beta} \\ \frac{2}{1 - (1-r)\alpha\beta} & -\frac{2}{(1-r)\alpha\beta(1 - (1-r)\alpha\beta)} \end{pmatrix},$$

该矩阵一阶主子式 $-\frac{2}{1 - (1-r)\alpha\beta} < 0$, 二阶主子式 $\frac{4}{(1-r)\alpha\beta(1 - (1-r)\alpha\beta)} > 0$, 则制造商存在最优零售价

使其利润最大: $p_n^{\text{NO}*} = \frac{a + \omega_n}{2}$, $p_r^{\text{NO}*} = \frac{1}{2}(\omega_r + \alpha\beta(1-r)(a + \mu\theta))$ 。将 $p_n^{\text{NO}*}$ 、 $p_r^{\text{NO}*}$ 代入式(2)第 1 个方程, 则

$\pi_{\text{RM}}^{\text{NO}}$ 的 Hessian 矩阵为

$$\mathbf{H}_{\text{RM}}^{\text{NO}} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \pi_{\text{RM}}^{\text{NO}}}{\partial \omega_n^2} & \frac{\partial^2 \pi_{\text{RM}}^{\text{NO}}}{\partial \omega_n \partial \omega_r} \\ \frac{\partial^2 \pi_{\text{RM}}^{\text{NO}}}{\partial \omega_n \partial \omega_r} & \frac{\partial^2 \pi_{\text{RM}}^{\text{NO}}}{\partial \omega_r^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{1 - (1-r)\alpha\beta} & \frac{1}{1 - (1-r)\alpha\beta} \\ \frac{1}{1 - (1-r)\alpha\beta} & -\frac{1}{(1-r)\alpha\beta(1 - (1-r)\alpha\beta)} \end{pmatrix},$$

该矩阵一阶主子式 $-\frac{1}{1 - (1-r)\alpha\beta} < 0$, 二阶主子式 $\frac{1}{(1-r)\alpha\beta(1 - (1-r)\alpha\beta)} > 0$, 则再制造商存在最优批发

价使其利润最大: $\omega_n^{\text{NO}*} = \frac{a+c}{2}$, $\omega_r^{\text{NO}*} = \frac{1}{2}(c - s + \alpha\beta(1-r)(a + \mu\theta))$ 。此时, 制造商新产品、再制造产品的

零售价格分别为 $p_n^{\text{NO}*} = \frac{3a+c}{4}$, $p_r^{\text{NO}*} = \frac{1}{4}(c - s + 3\alpha\beta(1-r)(a + \mu\theta))$ 。

2.2 BO 模型

制造商通过区块链平台销售再制造产品时,需要额外支付区块链的运营成本 b ,即在原有再制造产品销售收益的基础上再减去运营成本。此时,再制造产品的质量信息会完全被披露,即 $\alpha=1$; 消费者可以完全确定再制造产品的质量信息,即 $r=0$ 。两种产品的市场需求分别为 $D_n^{\text{BO}} = a - \frac{p_n - p_r + \beta\mu\theta}{1 - \beta}$, $D_r^{\text{BO}} =$

$\frac{\beta p_n - p_r + \beta\mu\theta}{\beta(1 - \beta)}$ 。再制造商和制造商的利润分别为

$$\pi_{\text{RM}}^{\text{BO}} = (\omega_n - c)D_n^{\text{BO}} + (\omega_r - c + s)D_r^{\text{BO}} - \frac{1}{2}h\theta^2, \pi_{\text{M}}^{\text{BO}} = (p_n - \omega_n)D_n^{\text{BO}} + (p_r - \omega_r - b)D_r^{\text{BO}}.$$

定理 2 有区块链的外包模式下,再制造商两种产品的最优批发价分别为 $\omega_n^{\text{BO}*} = \frac{a+c}{2}$, $\omega_r^{\text{BO}*} = \frac{1}{2}(c - b - s + \beta(a + \mu\theta))$; 制造商两种产品的最优零售价分别为 $p_n^{\text{BO}*} = \frac{3a+c}{4}$, $p_r^{\text{BO}*} = \frac{1}{4}(b + c - s + 3\beta(a + \mu\theta))$ 。

证明 证明过程与定理 1 相同。

3 比较与单调性分析

3.1 比较分析

推论 1 若 $b_1 = \beta(1 - (1 - r)\alpha)(a + \mu\theta)$, 则 $w_n^{NO^*} = w_n^{BO^*}, p_n^{NO^*} = p_n^{BO^*}, \begin{cases} w_r^{NO^*} < w_r^{BO^*}, & b < b_1 \\ w_r^{NO^*} > w_r^{BO^*}, & b > b_1 \end{cases}, p_r^{NO^*} < p_r^{BO^*}$ 。

证明 $b < b_1$ 时, $w_r^{NO^*} - w_r^{BO^*} = \frac{1}{2}(b - \beta(1 - (1 - r)\alpha)(a + \mu\theta)) < 0$; $b > b_1$ 时,

$$w_r^{NO^*} - w_r^{BO^*} = \frac{1}{2}(b - \beta(1 - (1 - r)\alpha)(a + \mu\theta)) > 0, p_r^{NO^*} - p_r^{BO^*} = \frac{1}{4}(-b - 3\beta(1 - (1 - r)\alpha)(a + \mu\theta)) < 0。$$

推论 1 表明, 制造商是否在区块链平台上销售再制造产品对新产品的价格无影响, 因为制造商有权出售再制造产品来保护利益, 所以没必要改变新产品的价格来与再制造产品竞争。无区块链时的再制造产品零售价小于有区块链时的, 利用区块链销售再制造产品虽然让消费者获得更多质量信息, 提高了他们的购买积极性, 但较高的区块链运营成本可能会导致制造商“入不敷出”, 此时, 制造商会根据区块链运营成本设定能够获得更多收益的销售价格。

当区块链的运营成本在某一临界值范围内, 无区块链时的再制造产品批发价小于有区块链时的。在合理的区块链运营成本内, 再制造商为了鼓励制造商在区块链上销售再制造产品会适当降低批发价。但当区块链的运营成本大于该临界值时, 随着零售价的不断增大, 势必会提高批发价保证利润。

3.2 单调性分析

3.2.1 再制造产品的质量信息披露程度对不同决策的影响

推论 2 $\frac{\partial w_n^{NO^*}}{\partial \alpha} = 0, \frac{\partial p_n^{NO^*}}{\partial \alpha} = 0, \frac{\partial w_r^{NO^*}}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial p_r^{NO^*}}{\partial \alpha} > 0$ 。

证明 前两式显然成立, $\frac{\partial w_r^{NO^*}}{\partial \alpha} = \frac{1}{2}\beta(1 - r)(a + \mu\theta) > 0, \frac{\partial p_r^{NO^*}}{\partial \alpha} = \frac{3}{4}\beta(1 - r)(a + \mu\theta) > 0$ 。

推论 2 表明, 无区块链时, 新产品的价格只取决于市场潜在需求量和生产成本, 与再制造产品的质量信息披露程度无关, 再制造产品的价格与再制造产品的质量信息披露程度成正比。再制造产品质量信息披露的越多, 消费者获得的质量信息越多, 对质量的顾虑越少, 购买欲望越大, 在消费者需求增加的前提下, 成员为获得更多利益, 会适当提高再制造产品的价格。

3.2.2 消费者对再制造产品质量的不确定程度对不同决策的影响

推论 3 $\frac{\partial w_n^{NO^*}}{\partial r} = 0, \frac{\partial p_n^{NO^*}}{\partial r} = 0, \frac{\partial w_r^{NO^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial p_r^{NO^*}}{\partial r} < 0$ 。

证明 前两式显然成立, $\frac{\partial w_r^{NO^*}}{\partial r} = -\frac{1}{2}\alpha\beta(a + \mu\theta) < 0, \frac{\partial p_r^{NO^*}}{\partial r} = -\frac{3}{4}\alpha\beta(a + \mu\theta) < 0$ 。

推论 3 表明, 无区块链时, 消费者对再制造产品质量的不确定程度与新产品的价格无关, 与再制造产品的价格负相关。消费者对再制造产品质量的不确定程度越大, 怀疑态度越强烈, 就越宁愿多花钱购买质量好的产品, 也不愿意低价购买再制造产品。因为购买再制造产品是不理性的, 不是“物有所值”的, 而再制造商和制造商为了避免积压库存造成更多损失, 只能进一步降低产品价格。

3.2.3 区块链的单位运营成本对不同决策的影响

推论 4 $\frac{\partial w_n^{BO^*}}{\partial b} = 0, \frac{\partial p_n^{BO^*}}{\partial b} = 0, \frac{\partial w_r^{BO^*}}{\partial b} < 0, \frac{\partial p_r^{BO^*}}{\partial b} > 0$ 。

证明 前两式显然成立, $\frac{\partial w_r^{BO^*}}{\partial b} = -\frac{1}{2} < 0, \frac{\partial p_r^{BO^*}}{\partial b} = \frac{1}{4} > 0$ 。

推论 4 表明, 区块链的单位运营成本与新产品的价格无关, 与再制造产品的批发价负相关, 与零售价正相关。区块链的运营成本增加导致制造商为销售再制造产品所花费的成本增加, 提高再制造产品零售

价可以弥补一部分成本增加导致的利润损失。此时,再制造商只有降低批发价才能保证产品顺利流转回制造商手中,并最终售卖给消费者。

3.2.4 质量升级投入水平对不同决策的影响

推论 5 (1) $\frac{\partial w_n^{NO^*}}{\partial \theta} = 0, \frac{\partial p_n^{NO^*}}{\partial \theta} = 0, \frac{\partial w_r^{NO^*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial p_r^{NO^*}}{\partial \theta} > 0$; (2) $\frac{\partial w_n^{BO^*}}{\partial \theta} = 0, \frac{\partial p_n^{BO^*}}{\partial \theta} = 0, \frac{\partial w_r^{BO^*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial p_r^{BO^*}}{\partial \theta} > 0$ 。

证明 (1) 前两式显然成立, $\frac{\partial w_r^{NO^*}}{\partial \theta} = \frac{1}{2}\alpha\beta\mu(1-r) > 0, \frac{\partial p_r^{NO^*}}{\partial \theta} = \frac{3}{4}\alpha\beta\mu(1-r) > 0$; (2) 前两式显然成立, $\frac{\partial w_r^{BO^*}}{\partial \theta} = \frac{\beta\mu}{2} > 0, \frac{\partial p_r^{BO^*}}{\partial \theta} = \frac{3\beta\mu}{4} > 0$ 。

推论 5 表明,外包模式下,无论制造商是否采用区块链平台销售再制造产品,再制造产品的质量升级投入水平都对新产品的价格无影响,都对再制造产品的价格具有正面影响。再制造商为提升消费者对再制造产品的质量感知,会付出相应的努力,即通过改进生产设备、优化再制造流程对再制造产品进行质量升级。为弥补质量升级投资成本增加导致的收益下降,再制造商势必会提高再制造产品的批发价,制造商作为追随者,当购买再制造产品的成本增大时,零售价必定增大。对消费者而言,用高价格换取高质量的产品,他们依旧认为这种方式十分划算。

4 数值算例

本节借助数值算例对研究结果进行考证和补充。参照文献[15,25]的做法,假设 $a=2000, \beta=0.5, c=100, s=50, \alpha=0.5, r=0.2, b=50, \mu=0.5, h=10, \theta=100$,可以得到无区块链时再制造产品质量信息的披露程度、消费者对再制造产品质量的不确定程度与两种产品价格之间的关系(图 2)。

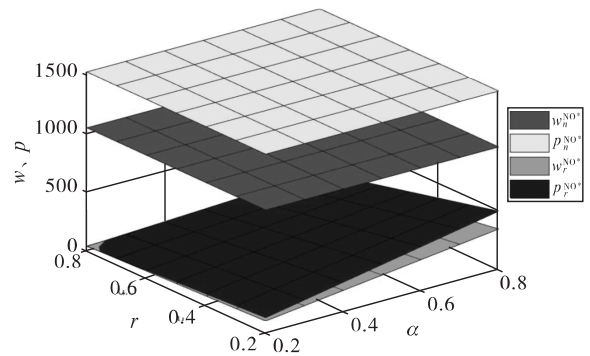


图 2 α, r 对两种产品批发价、零售价的影响

再制造外包模式下,制造商不利用区块链平台销售产品时,新产品的批发价和零售价与再制造产品的质量信息披露程度、消费者对再制造产品质量的不确定程度均无关。再制造产品的质量信息披露程度、消费者对再制造产品质量的不确定程度与再制造产品的批发价正相关,与零售价负相关。(1)披露更多的再制造产品质量信息能够提升消费者对产品质量的信任度,提高其购买欲望,此时,制造商可以在保证需求的前提下适当提高再制造产品零售价以增大收益。消费者认为在质量有保证下购买再制造产品是“物有所值”的,那么,作为主导者的再制造商,同样会提高批发价。(2)消费者对再制造产品质量不确定程度的增大导致其感知质量下降,不愿意冒险购买再制造产品。此时,消费者会倾向于购买新产品,面对市场需求持续下滑的再制造产品,制造商为避免产品积压库存,会降低零售价,而同时作为生产者和博弈主导者的再制造商,随之降低批发价。

图 3 为外包模式下区块链的运营成本对两种产品价格的影响。由图 3 可知,制造商利用区块链平台销售产品时,再制造产品的批发价与区块链的运营成本正相关,零售价与区块链的运营成本负相关。区块链的运营成本大,制造商为销售再制造产品所花费的成本多,势必会提高再制造产品零售价以弥补成本增加导致的收益降低。为了激励制造商使用区块链平台销售,上游再制造商会适当降低批发价。

图 4 为无区块链、有区块链时区块链的运营成本对供应链成员利润的影响。由图 4 可知,制造商利用区块链平台销售产品时,随着区块链运营成本的增加,成员的利润也增加。制造商在区块链平台上销售产

品的一个重要前提是搭建用于储存信息的区块,这毋庸置疑会花费大量时间、金钱成本,但消费者经区块链确定过再制造产品的质量信息后,会提升购买意愿,推动需求的增加,同时,价格提高带来的额外收益也能够弥补一部分成本损失,制造商的利润会有所上升。对于再制造商来说,虽然为驱使制造商利用区块链平台销售再制造产品降低了批发价,但加强了与制造商间的“互利共赢”合作关系,且新产品良好的市场销售前景同样能使其利润不断扩大。

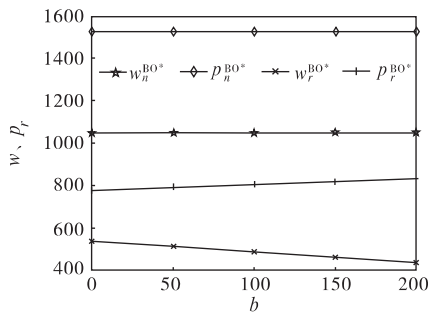


图 3 b 对两种产品价格的影响

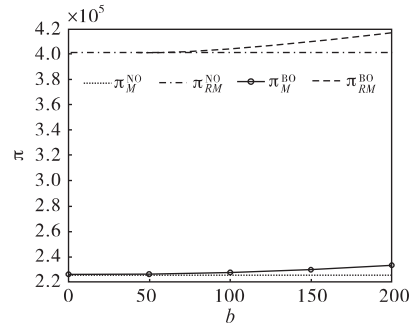
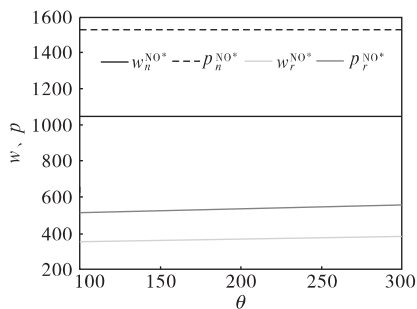


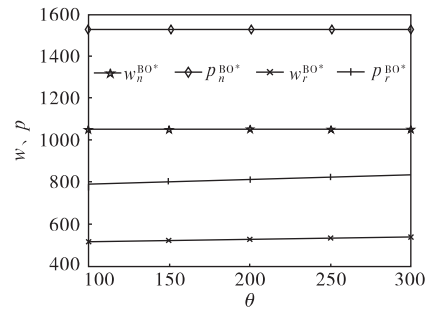
图 4 b 对成员利润的影响

此外,相较于不使用区块链平台销售再制造产品,使用区块链平台可以持续扩大再制造商和制造商的利润。区块链运营成本为零时,两种情形下成员的利润是相同的,随着区块链运营成本持续增大,成员的利润持续维持上升趋势。这是因为“诚实透明”的区块链可以让消费者随时随地获得再制造产品的质量信息,缩短了消费者了解产品信息的时间,提高了购买效率,提升了产品“回购率”,积累了产品的“回头客”。这也表明区块链的使用既有利于消费者追溯、明确产品的完整信息,又有利于制造商提升业界声誉和产品影响力。因此,为扩大销售市场,占据有利的市场地位并得到更多利润,制造商应在区块链平台上销售再制造产品,而上游再制造商若想长久获利,需要长久与制造商合作,及时调整合作策略与激励手段以提高制造商使用区块链平台销售的积极性和主动性,进而实现双方合作利益的最大化。

图 5 反映了外包模式下质量升级投入水平对两种产品批发价、零售价的影响。由图 5 可以看出,无论制造商是否利用区块链平台销售再制造产品,再制造产品的质量升级投入对新产品的价格无影响。因为对于消费者来说,新产品的质量本身就是有保障的,而对于制造商来说,新产品是有市场竞争力的,为维持当前产品的市场占有率和影响力,不必变动产品的零售价。再制造产品的价格与质量升级投入水平成正比,再制造商的质量升级虽然增加了消费者的质量感知,但也耗费了巨大的成本,且质量升级带来的收益远不能弥补花费的成本。为了减少利润损失,再制造商会提高批发价,作为直接面对消费者市场的制造商,在批发价提高时,为保证利润会提高零售价。



(a) 无区块链时, θ 对两种产品价格的影响



(b) 有区块链时, θ 对两种产品价格的影响

图 5 区块链对两种产品价格的影响

图 6 反映了外包模式下质量升级投入对供应链成员利润的影响。由图 6 可知,无论制造商是否利用区块链平台销售产品,质量升级投入水平都与制造商利润正相关,都与再制造商利润负相关。再制造商为

质量升级所花费的成本随着质量投入水平的增大而增加,此时产品价格提高和市场需求增加带来的共同收益也无济于事,利润会不断下降。但质量升级行为有益于再制造商树立企业良好的声誉,提高市场影响力,进而带动了新产品的销量,这有利于下游制造商销售产品、提高利润。

5 结论

本文基于再制造产品的质量升级,在外包再制造供应链中进一步考虑了区块链技术,分别构建了无区块链、有区块链的外包决策模型,研究了两种情形下供应链成员的最优决策问题,将相关决策结果进行分析比较,并利用数值仿真进行了检验,得到以下结论。

(1) 制造商是否利用区块链平台销售再制造产品对新产品的批发价、零售价均无影响;制造商使用区块链时的再制造产品零售价大于不使用区块链时的再制造产品零售价,当区块链运营成本大于某一临界值时,相比于不使用区块链,再制造产品的批发价会提高。

(2) 制造商利用区块链平台销售再制造产品时,再制造产品的批发价与区块链运营成本负相关,零售价、成员的利润与区块链运营成本正相关。此外,使用区块链时的成员利润始终大于不使用区块链时的成员利润。

(3) 再制造产品的质量升级投入水平对新产品价格无影响,对再制造产品价格具有正向影响,且再制造产品价格的增加幅度不断随着投入水平的增大而增大;再制造商投入质量升级技术虽会降低自身利润但会提高制造商利润。

本研究可以得到如下管理启示。第一,随着消费者对绿色环保理念了解的深入,他们愿意购买再制造产品,但会非常注重产品的质量。为提高消费者对再制造产品质量的信任,企业应采取能够提高质量的措施,为再制造产品打开销售市场。第二,区块链技术可以增加消费者对产品信息了解,企业应根据区块链运营成本动态调整销售方式,当使用区块链带来的正效应大于负效应时,应合理借助区块链平台销售产品。第三,企业建设完整的再制造体系需要花费大量成本,外包模式下的再制造需要各个企业形成亲密无间的合作关系。为了鼓励企业积极开展回收再制造活动,政府应根据市场形势给予相应的补贴。

本文仅考虑了再制造商再制造的情况,实际上,制造商拥有技术后也可进行再制造,我们可以进一步探究区块链对制造商选择自我再制造或第三方再制造的影响,还可以进一步讨论政府对企业再制造模式选择的影响。

参考文献:

- [1] 李新然,李长浩. 消费者双重偏好下闭环供应链渠道差异研究[J]. 系统工程理论与实践,2019,39(3):695-704.
- [2] 夏西强,武晓晴. 政府碳税政策对三种再制造模式影响对比分析研究[J]. 运筹与管理,2023,32(2):159-165.
- [3] 邹宗保,王建军,邓贵仕. 再制造外包对供应链成员决策的影响[J]. 系统工程学报,2017(6):783-793.
- [4] 郑小雪,刘志. 第三方再制造外包模式选择与协调研究[J]. 控制与决策,2020,35(9):2261-2268.
- [5] 王海燕,袁素萍. 考虑质保服务的再制造外包激励博弈策略分析[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2022,44(1):91-97.

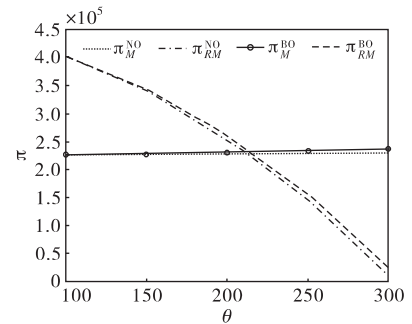


图6 θ 对成员利润的影响

- [6] 刘雪琦,周岩. 外包再制造下考虑政府补贴的闭环供应链网络均衡[J]. 山东大学学报(理学版), 2023,58(1):76-88.
- [7] ZHANG Y, CHEN W, LI Q. Third-party remanufacturing mode selection for a capital-constrained closed-loop supply chain under financing portfolio[J]. *Computers & industrial engineering*, 2021, 157:107315.
- [8] ZHOU Q, YUEN K F. An investigation of original equipment manufacturer's optimal remanufacturing mode and engagement strategy[J]. *International transactions in operational research*, 2021, 28(4):1890-1916.
- [9] ZHANG Y, ZHANG R. Manufacturer's remanufacturing mode selection strategy based on consumer preference[J]. *Frontiers in economics and management*, 2021, 2(3):36-46.
- [10] CHAKRABORTY T, CHAUHAN S S, OUHIMMOU M. Cost-sharing mechanism for product quality improvement in a supply chain under competition[J]. *International journal of production economics*, 2019, 208:566-587.
- [11] ZHOU X, XU B, XIE F, et al. Research on quality decisions and coordination with reference effect in dual-channel supply chain[J]. *Sustainability*, 2020, 12(6):2296.
- [12] 范建昌, 顾雨昕, 洪定军, 等. 基于企业社会责任与改进产品质量的零售商领导者两级供应链动态博弈模型研究[J]. *供应链管理*, 2021, 2(8):58-68.
- [13] TALEIZADEH A A, ALIZADEH-BASBAN N, NIAKI S T A. A closed-loop supply chain considering carbon reduction, quality improvement effort, and return policy under two remanufacturing scenarios[J]. *Journal of cleaner production*, 2019, 232:1230-1250.
- [14] 袁开福, 吴光强, 何波, 等. 碳交易下考虑质量升级的再制造供应链定价[J]. *计算机集成制造系统*, 2022, 28(5):1586-1602.
- [15] 王建华, 黄强, 陈庭强. 考虑利他关切和质量投入的闭环供应链渠道差异性研究[J]. *系统科学与数学*, 2021, 41(11):3218-3233.
- [16] LIM M K, LI Y, WANG C, et al. A literature review of blockchain technology applications in supply chains: a comprehensive analysis of themes, methodologies and industries[J]. *Computers & industrial engineering*, 2021, 154:107133.
- [17] KOUHIZADEH M, SARKIS J. Blockchain practices, potentials, and perspectives in greening supply chains[J]. *Sustainability*, 2018, 10(10):3652.
- [18] ZHENG K, ZHENG L J, GAUTHIER J, et al. Blockchain technology for enterprise credit information sharing in supply chain finance[J]. *Journal of innovation & knowledge*, 2022, 7(4):100256.
- [19] SHEN B, DONG C, MINNER S. Combating copycats in the supply chain with permissioned blockchain technology[J]. *Production and operations management*, 2022, 31(1):138-154.
- [20] PUN H, SWAMINATHAN J M, HOU P. Blockchain adoption for combating deceptive counterfeits[J]. *Production and operations management*, 2021, 30(4):864-882.
- [21] NIU B, DONG J, LIU Y. Incentive alignment for blockchain adoption in medicine supply chains[J]. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 2021, 152:102276.
- [22] XU Q, HE Y. Optimal information disclosure strategies for a retail platform in the blockchain technology era[J]. *International journal of production research*, 2023, 61:3781-3792.
- [23] XU J, DUAN Y. Pricing and greenness investment for green products with government subsidies:

- when to apply blockchain technology? [J]. *Electronic commerce research and applications*, 2022, 51:101108.
- [24] YANG L, GAO M, FENG L. Competition versus cooperation? Which is better in a remanufacturing supply chain considering blockchain[J]. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 2022, 165:102855.
- [25] 檀哲, 缪朝炜, 许舒婷, 等. 统一碳税和差异化碳税下的再制造绩效评价[J]. *系统工程学报*, 2021 (1):102-119.
- [26] XU X, CHOI T M. Supply chain operations with online platforms under the cap-and-trade regulation: impacts of using blockchain technology[J]. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 2021, 155:102491.

Comparative Analysis and Research on Outsourcing Remanufacturing Considering Blockchain and Quality Upgrade

LI Xuemeng, FENG Yan'gang

(*Business School, Fuyang Normal University, Fuyang 236037, China*)

Abstract: Quality upgrading of remanufactured products can make up for quality defects, and blockchain technology can improve the transparency of product information. Under the quality upgrade, in order to study the impact of blockchain technology on outsourcing remanufacturing supply chain decisions, the outsourcing decision-making models without blockchain and with blockchain are constructed respectively. The optimal solutions of members in different situations are compared, and the monotonicity analysis of relevant parameters is carried out. The results show that the retail price of the remanufactured products without blockchain is greater than that with blockchain. When the operating cost of blockchain exceeds a certain threshold, the wholesale price of the remanufactured products will increase compared to that without blockchain. The wholesale price of the remanufactured products is negatively correlated with the operating cost of blockchain, while the retail price and profits of supply chain members are positively correlated with the operating cost of blockchain. Moreover, the profits of members with blockchain are always greater than those without blockchain. The level of investment in quality upgrading is not related to the prices of the new product, but is positively correlated with the prices of the remanufactured product, and it is interesting that the remanufacturer investing in quality upgrading technology may reduce its own profit, but it will increase manufacturer's profit.

Keywords: outsourcing remanufacturing; blockchain; optimal solution; profit; operating cost

(责任编辑:王新亮)