

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2024.17.024

考虑环境治理成本下“互联网+”回收平台的 回收决策与制造商推广策略选择

冯章伟

(宁波大学商学院, 浙江宁波 315211)

摘要: 随着资源短缺和环境污染问题的倒逼, 以及数字经济和互联网技术的发展, “互联网+”回收应用应运而生, 这类平台的参与机制和影响机制也逐渐成为学术热点。此外, 环境治理成本虽增加了企业的运营成本, 但能够潜在地促进消费者的新产品需求并提高废旧产品的回收率, 因而需要研究企业“互联网+”回收决策, 探讨环境治理成本对企业利润的影响。由此, 构建由单一供应商、制造商和第三方回收商(3PR)组成的闭环供应链, 其中制造商是领导者, 可以选择推广或不推广“互联网+”回收平台。在此基础上, 研究制造商推广“互联网+”回收模式的动机、3PR的回收定价和回收努力程度等决策, 并探讨环境治理成本的影响机制。研究发现: 一旦出现环境治理成本且单位环境治理成本较小时, 3PR付出回收努力程度能够带来废旧产品回收价的降低和回收数量、3PR利润的提高; 一旦考虑环境治理成本, 3PR付出回收努力程度并且制造商推广“互联网+”回收平台能够带来最高需求和制造商利润, 并且随着拆解率的提高而提高; 3PR只有在拆解率高于一定阈值时才和制造商的偏好一致, 而供应商的策略偏好与3PR相反。基于研究结论, 针对家电平台商家、上游家电厂商、政府和3PR等不同视角提出发展建议。

关键词: “互联网+”回收; 环境治理成本; 拆解率; 再制造; 废旧产品回收; 消费者环境偏好

中图分类号: F49; F274; F224; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695(2024)17-0222-08

Recycling Decisions and Manufacturer's Promotion Strategy Selection in an "Internet+" Recycling Platform Considering the Environmental Governance Costs

Feng Zhangwei

(Business School, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Driven by the pressures of resource shortages and environmental pollution, and the development of digital economy and internet technology, "Internet+" recycling such as "Ai Huishou" and "Dabashou" came into being, and the participation mechanism and influence mechanism of such platforms have gradually become a hot academic topic. In addition, although environmental governance costs increase the operating costs of enterprises, they can potentially promote consumers' demand for new products and improve the recycling rate of used products. Therefore, it is necessary to study enterprises' "Internet+" recycling decisions and to explore the impact of environmental governance costs on enterprises' profits. Aiming at this, this paper constructs a closed-loop supply chain consisting of a supplier, a manufacturer, and a third-party recycler (3PR). Among them, the manufacturer is the leader and can choose whether to promote or not promote the "Internet+" recycling platform. On this basis, it studies the behind the manufacturer promoting the "Internet+" recycling model, the decisions regarding 3PR's recycling pricing and its level of recycling effort, as well as the impact mechanism of environmental governance costs on the motivation and decisions. The results indicate that: once environmental governance costs arise and the unit environmental governance cost is relatively low, the 3PR's recycling effort can reduce the recycling price of used products and increase the both its recycling quantity and its profit. When environmental governance costs are taken into account, the 3PR's recycling effort and the manufacturer's promotion of the "Internet+" recycling platform lead to the highest demand and manufacturer profits, which increase with the improvement of the disassembly rate. The 3PR's preference aligns with the manufacturer's only when the disassembly rate exceeds a certain threshold, while the supplier's strategic preferences are opposite to those of the 3PR. Based on above conclusions, development suggestions from different perspectives of home appliance platform

收稿日期: 2023-12-04, 修回日期: 2024-02-29

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目“环境责任情境下‘互联网+’回收决策和再制造模式选择研究”(72202110); 浙江省社会科学规划专项课题“全球变局下提升产业链供应链韧性与安全水平——以长三角新能源汽车产业为例”(23YJZX06YB)

merchants, upstream home appliance manufacturers, the government, and the 3PR are provided.

Key words: "Internet+" recycling; environmental governance costs; disassembly rate; remanufacturing; recycling of waste products; consumer environmental preference

0 引言

为进一步解决当前世界的资源短缺和环境污染问题,也随着国内数字经济和互联网平台技术的发展,以及《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》《关于加快废旧物资循环利用体系建设的指导意见》的提出,“互联网+”回收——如“爱回收”“搭把手”等应用程序(APP)或新型智慧再生资源回收体系应运而生,既满足了消费者的环保理念和便捷化需求,又推动了再生资源回收体系的建设。以“搭把手”平台为例,它采用智能化科技设备,对可回收垃圾分类的前端用户进行积极引导,以智慧运输车将可回收垃圾运往分拣中心,经分拣后再送至第三方资源再生企业^[1]。2023年,中国废钢铁等10个品种再生资源回收总额约为1.30万亿元,未来10年将成为一个具备3万亿元市场潜力的风口产业^[2]。目前更多的回收企业将运用互联网、物联网和大数据等现代技术,构建全链条业务信息回收平台,建成“互联网+”回收平台。

在闭环供应链管理中,回收模式和回收决策的有关研究主要关注回收渠道选择(如姚卫新^[3]的研究),以及回收率(如Savaskan等^[4]的研究)、回收定价(如Ferrer等^[5]的研究)、回收努力程度(如Choi等^[6]的研究)等决策。比如,丁斌等^[7]和冯章伟等^[8]均建立了由供应商和制造商参与再制造的两级再制造闭环供应链,前者研究了回收率和回收价格,而后者进一步考虑了回收努力程度和有效回收比例等其他回收决策,在此基础上,他们都还研究了第三方回收商的回收决策对供应商和制造商的影响。Giri等^[9]建立了双回收渠道的闭环供应链,并研究了不同回收渠道对回收决策和企业利润的影响。随着互联网红利的蔓延,关于“互联网+”的回收决策也受到很多学者(如郗永勤等^[10]、许民利等^[11]、Jian等^[12]、简惠云等^[13]、Sun等^[14])的研究。比如,Jian等^[12]以废旧电器电子设备回收为研究对象,基于“互联网+”回收的商业模式,建立了集中式模型、单位转移价格模型、单边成本分担模型和双边成本分担模型,并比较了各种合作模型中的最优决策和成员利润,探讨了集中化模型、单位转移价格模型、单位成本分担模型和双边成本分担模型等4种模型的选择机制;简惠云等^[13]研究了供应链各成员对分担“互联网+”回收平台的

推广成本的最优策略,认为制造商分摊推广费用比不分摊推广费用的效果好,制造商分摊网络零售商的推广费用比分摊第三方回收商的推广费用的推广效果好。

废旧产品回收之后,制造型企业负责生产和销售再制造产品。这些逆向物流业务在过去主要受到潜在的激励作用影响,例如,再制造不仅能够节约资源和生产成本,还能够帮助企业树立良好的企业社会责任,进一步体现企业的生产责任延伸制等(可见于张鹤立等^[15]、Subramanian等^[16]、Gui等^[17]、Hong等^[18]的研究)。企业如果不参与回收与再制造还会受到惩罚等倒逼机制的影响。例如,日益更新的电器电子产品的生产与销售导致了大量的废弃电器电子产品产生,企业如果不回收与再制造这些废弃产品将需支付给政府一定的环境成本用于治理潜在的污染。国务院在2019年颁布了《废弃电器电子产品回收处理管理条例(修正方案)》,其中第七条指出国家建立废弃电器电子产品处理基金,用于废弃电器电子产品回收处理费用的补贴。这里收缴的处理基金可以认为是企业或个人对潜在造成的污染所支付的环境治理成本。

更多的制造商去考虑对于环境有重要影响的环境治理成本和企业环境责任行为。比如,Atasu等^[19]假设了环境治理成本体现在每个未被回收的废弃电子电器产品上,以此来研究政府法律法规的制定和制造商再制造产品的生产。在此基础上,Atasu等^[20-21]分别从闭环供应链运作效率和闭环供应链每个利益相关者的角度,研究了环境治理成本对废弃电子电器产品回收法律和各成员的利益影响。进一步地,为研究制造商对于环境治理成本的支付意愿即环境责任行为在闭环供应链中的影响,Liu等^[22]将其刻画到回收渠道的选择中;Feng等^[23]将其刻画到第三方再制造模式的选择中,并研究了环境责任行为对制造商利润的影响机制发现,在环境治理成本较高的情况下,他们很难选择相同的第三方再制造策略;反之,他们可能达成一致选择授权或外包模式。环境治理成本已经成为闭环供应链管理和运营(如企业社会责任等)中的重要研究对象或情景,正被越来越多的学者纳入研究当中。

虽然环境治理成本增加了企业的运营成本,但是其能够潜在地促进消费者对新产品的需求并提高废旧产品的回收率。因此,需要从环境治理成本视

角研究企业“互联网+”回收决策, 探讨环境治理成本对企业利润的影响。基于此, 本研究构建了由单一供应商、制造商和第三方回收商组成的再制造闭环供应链, 其中制造商是领导者, 可以选择推广或不推广“互联网+”回收平台。进一步地, 研究“互联网+”回收模式下第三方回收商 (third-party

recycler, 3PR) 的回收定价和回收努力程度等决策, 并探讨环境治理成本对这些决策的影响。

1 问题描述与假设

1.1 模型中的符号说明

本研究的参数和变量符号如表 1 所示。

表 1 变量代表符号及其定义

符号	定义	符号	定义
m	零部件的单位材料成本	w	供应商的批发价格
c_s	零部件的单位制造成本	p	制造商的零售价格
c_m	产品的单位制造成本	p_r	废旧产品回收价格
λ	拆解率, 即有效零部件占总零部件的比例	A_t	3PR 的回收努力程度
d	废旧产品的单位拆解成本	A_m	制造商的推广努力水平
f	有效零部件的回购费用	D	需求函数
e	单位环境治理成本	Q	回收数量函数
α	潜在的市场容量	C_m	制造商的推广成本
β	零售价格的敏感系数	C_t	3PR 回收成本
γ	需求中推广努力水平的敏感系数	C_e	环境治理成本
Q_0	消费者无偿条件下回收的数量	$\pi_S^N, \pi_S^R, \pi_S^E$	情景 N、情景 R、情景 E 下供应商的利润函数
a	废弃产品回收价格的敏感系数	$\pi_M^N, \pi_M^R, \pi_M^E$	情景 N、情景 R、情景 E 下制造商的利润函数
b_1	回收努力程度的敏感系数	$\pi_{3PR}^N, \pi_{3PR}^R, \pi_{3PR}^E$	情景 N、情景 R、情景 E 下 3PR 的利润函数
b_2	回收数量中推广努力水平的敏感系数		
θ_1	3PR 回收努力成本的规模系数		
θ_2	制造商推广努力成本的规模系数		

1.2 系统描述

考虑由单一供应商、制造商和 3PR 组成的再制造闭环供应链, 其中制造商是领导者, 可以选择推广或不推广 3PR 构建的“互联网+”回收平台; 3PR 承担回收成本和环境治理成本, 前者包括回收价格、回收努力成本和拆解成本等, 后者包括不回收或未被再次利用的废旧产品需要支付给政府用于额外的环境治理成本。由制造商推广策略选择和 3PR 的回收决策引出 3 种情景: (1) 既不考虑环境治理成本, 3PR 也不付出回收努力程度 (情景 N); (2) 考虑环境治理成本, 3PR 付出回收努力程度 (情景 R); (3) 考虑环境治理成本, 3PR 付出回收努力程度, 并且制造商推广“互联网+”回收平台 (情景 E)。通过比较 3 种情境下的均衡利润研究 3PR 的回收决策变化和制造商推广“互联网+”回收平台的动机以及关键参数的影响机制。

1.3 研究假设

假设 1 假设再制造产品与新产品是同质的^[8]。其中, 废旧产品经过拆解并检验零部件的性能后满足产品再制造的零部件称为有效零部件, 比例为 λ ($0 \leq \lambda \leq 1$), 且是外生的, 而其他为无效零部件将且被丢弃^[24]。

假设 2 假设有效零部件的单位回购费是外生的, 制造商产品再制造的经济驱动力是 $w > f$, 3PR 的利益驱动是 $f > p_r + d\lambda$ ^[7]。

假设 3 情景 E 下, 需求函数为

$D(p, A_m) = \alpha - \beta p + \gamma A_m$ ^[25], $\gamma > 0$ 意味着消费者在“互联网+”平台进行废旧产品回收时, 可能会激发其购买新产品的冲动^[4]。制造商的推广努力成本为 $C_m = \theta_2 A_m^2 / 2$; 而在情景 N 和情景 R 下, $\gamma = C_m = 0$ 。

假设 4 情景 E 下, 回收数量函数为 $Q(p_r, A_t, A_m) = Q_0 + ap_r + b_1 A_t + b_2 A_m$ ^[26]; 3PR 回收成本为 $C_t = \theta_1 A_t^2 / 2 + (p_r + d\lambda) \cdot Q$ ^[27]。特别地, $\theta_1 A_t^2 / 2$ 意味着成本随回收努力程度增加而增加; 另一方面, 当回收努力程度较大时, 成本将变得相对高昂^[28]。而在情景 R 下, $b_2 = 0$; 情景 N 下, $b_1 = b_2 = \theta_1 = 0$ 。

假设 5 假设企业不回收或未被再次利用的废旧产品需要支付给政府用于额外的环境处理和治理成本^[19], 则 $C_e = e(D - \lambda Q)$, 其中 e 为单位环境治理成本, 由 3PR 为承担。

1.4 3 种情景下的利润函数及博弈顺序

情景 N 下: 既不考虑环境治理成本, 3PR 也不付出回收努力程度。此时, 供应商、制造商、3PR 的利润函数分别为:

$$\pi_S^N = (w - m - c_s)(D - \lambda Q) \quad (1)$$

$$\pi_M^N = (p - w - c_m)D + (w - f)\lambda Q \quad (2)$$

$$\pi_{3PR}^N = f\lambda Q - (p_r + d\lambda) \cdot Q \quad (3)$$

博弈顺序如下: 首先供应商制定批发价格 w ; 其次制造商决定零售价格 p ; 最后, 3PR 制定回收价

格 p_r 。

情景 R 下：考虑环境治理成本，3PR 付出回收努力程度。此时，供应商、制造商、3PR 的利润函数分别为：

$$\pi_S^R = (w - m - c_s)(D - \lambda Q) \quad (4)$$

$$\pi_M^R = (p - w - c_m)D + (w - f)\lambda Q \quad (5)$$

$$\pi_{3PR}^R = f\lambda Q - (p_r + d\lambda) \cdot Q - \theta_1 A_i^2 / 2 - e(D - \lambda Q) \quad (6)$$

式(6)中： $\theta_1 A_i^2 / 2$ 和 $e(D - \lambda Q)$ 分别为3PR的回收努力成本和环境治理成本。

博弈顺序如下：首先供应商制定批发价格 w ；其次制造商决定零售价格 p ；最后，3PR 制定回收努力程度 A_i 和回收价格 p_r 。

情景 E 下：考虑环境治理成本，3PR 付出回收努力程度，并且制造商推广“互联网+”回收平台。制造商参与并推广3PR的“互联网+”回收平台，

既能促进需求的增长，又能促进3PR的回收并减轻3PR的环境治理成本与运营成本。此时，供应商、制造商、3PR的利润函数分别为：

$$\pi_S^E = (w - m - c_s)(D - \lambda Q) \quad (7)$$

$$\pi_M^E = (p - w - c_m)D + (w - f)\lambda Q - \theta_2 A_m^2 / 2 \quad (8)$$

$$\pi_{3PR}^E = f\lambda Q - (p_r + d\lambda) \cdot Q - \theta_1 A_i^2 / 2 - e(D - \lambda Q) \quad (9)$$

式(8)中： $\theta_2 A_m^2 / 2$ 为制造商的推广努力成本。

博弈顺序如下：首先供应商制定批发价格 w ；其次制造商决定零售价格 p 和推广努力程度 A_m ；最后3PR制定回收努力程度 A_i 和回收价格 p_r 。

2 均衡决策及分析

结合不同情景下的博弈顺序和利润函数，采用逆向归纳法可求得3种情景下再制造闭环供应链的最优决策¹⁾，结果见表2。

表2 3种情景下再制造闭环供应链的均衡决策

项目	情景 N	情景 R	情景 E
假设	/	$b_1 < \sqrt{2a\theta_1}$	$\gamma < \sqrt{2\beta\theta_2}$
缩写	$A = \frac{\alpha - \beta(c_m - c_s - m)}{2\beta}$	$M = 2a\theta_1 - b_1^2 > 0,$ $B = Q_0 + a(f - d + e)\lambda$	$N = 2\beta\theta_2 - \gamma^2 > 0,$ $K = \beta\theta_2 M^2 - 2\gamma(ab_2\theta_1\lambda)M + 2(ab_2\theta_1\lambda)^2 > 0$ (因为 $M > 0$ 且 $\Delta = -4(ab_2\theta_1\lambda)^2 N < 0$, 所以 $K > 0$)
w	$w^{N*} = A - \frac{\lambda(B - ae\lambda)}{2\beta}$	$w^{R*} = A - \frac{a\theta_1\lambda B}{\beta M}$	$w^{E*} = A - \frac{a\theta_1\lambda\{MNB - b_1[\alpha - \beta(c_m + f)](2ab_2\theta_1\lambda - M\gamma)\}}{2\beta K}$
p	$p^{N*} = \frac{\alpha + \beta(c_m + w^{N*})}{2\beta}$	$p^{R*} = \frac{\alpha + \beta(c_m + w^{R*})}{2\beta}$	$p^{E*} = \frac{\alpha\theta_2 + (\beta\theta_2 - \gamma^2)(c_m + w^{E*})}{N} + \frac{ab_2\gamma\theta_1\lambda(w^{E*} - f)}{MN}$
p_r	$p_r^{N*} = \frac{B - ae\lambda - 2Q_0}{2a}$	$p_r^{R*} = \frac{\theta_1(B - 2Q_0) - b_1^2(f - d + e)\lambda}{M}$	$p_r^{E*} = \frac{-A^{E*}b_2\theta_1 + \theta_1(B - 2Q_0) - b_1^2(f - d + e)\lambda}{M}$
A_i	/	$A_i^{R*} = \frac{b_1 B}{M}$	$A_i^{E*} = \frac{b_1(B + A_m^{E*}b_2)}{M}$
A_m	/	/	$A_m^{E*} = \frac{[\alpha - \beta(c_m + w^{E*})]\gamma}{N} + \frac{2ab_2\beta\theta_1\lambda(w^{E*} - f)}{MN}$

注：/ 代表不存在均衡解。

由3种情景下的均衡决策代入函数可得均衡需求、均衡回收数量和均衡利润。命题1展示了在情景 N 下的灵敏度分析。

命题1 在情景 N 下，当 $f > d$ 时， $\partial Q^{N*} / \partial \lambda > 0$ ， $\partial \pi_{3PR}^{N*} / \partial \lambda > 0$ 。在情景 R 下，该结论具有鲁棒性，但是 f 的阈值为 $d - e$ 。

这意味着，拆解率的提高是否有利于3PR的回收数量和利润主要取决于有效零部件的回购费用 f 和单位拆解成本 d 以及单位环境治理成本 e 之间的大小关系。具体而言，只有当有效零部件的回收成

本足够高（即情景 N 下 $f > d$ ，情景 R 下 $f > d - e$ ）时才能激发3PR回收与拆解的动机，这是符合现实的。因为有效零部件的回收成本是3PR的主要收益，它必须足够高才能用于抵消投入的可变拆解成本和环境治理成本。由此可知，即使有效零部件的回收成本足够高，3PR越受利于高拆解率，也需要政府的有效监督与管理。否则，很多3PR只会考虑短期收益而忽略长期的环境治理成本，甚至牺牲环境和人的健康为代价将节省出来的环境治理成本作为不良所得。比如，被称为“世界电子垃圾终点站”的广

东省贵屿镇，因电视机、微型计算机、洗衣机、电冰箱、空气调节器（“四机一脑”）和手机的高回收价和高拆解率，导致大量电子废弃物长期聚集，使得方圆上百里已找不到可饮用的水，土地无法种植作物；2010年，汕头大学医学院对贵屿儿童血铅进行检测的结果显示，该镇高达81.8%儿童铅中毒^[29]。当地政府主导建立了贵屿镇循环经济产业园，兼顾了电子废物的环境危害属性和资源属性，同时将环境治理放在首位。最终实现了转型升级和环境治理与生态修复示范工程，区域环境质量得到明显改善^[30]。因此，如果失去政府监管，足够高的再制造产品回收价虽然能够抵消可变拆解成本和用于治理环境污染的环境治理成本的不实际投入，但所付出代价是巨大的。因此，在理论上保证3PR有动机参与回收与拆解的基础上，现实中需要引入政府监督。

另外，只要在保证一定拆解率的基础上（即情景N下 $f > d$ ，情景R下 $f > d - e$ ），随着废旧产品的回收价格的提高，新产品的需求也是增加的（即 $\partial D^{N^*} / \partial a > 0$ ， $\partial D^{R^*} / \partial a > 0$ 和 $\partial D^{N^*} / \partial b_1 > 0$ ），即使在需求中未刻画相关变量的影响。这意味着逆向物流中的回收价格越高、回收努力程度越高，正向物流中的新产品也越受欢迎。比如，二手市场如“闲鱼”“转转”中的高品质旧苹果手机不仅价格依旧较高，而且也能促进市场中新产品的迭代更新。此外，以京东集团为例，它与中国再生资源集团实现战略合作，发挥一体化供应链优势，为再生资源前端收储及转运环节提供仓配一体化服务。在此基础上，废旧家电以旧换新成为京东商城电子产品营销的亮点之一。对于京东商城的家电平台商家而言，不仅要负责产品的销售，还要提供废旧家电的便捷式回收服务，以及配送至专业的拆解平台^[31]。对于供应链的上游家电厂商而言，废旧家电的高效回收淘汰加速了新产品的销售，也带动了用户的消费升级。因此，无论制造商还是零售商，只要拆解率足够高且3PR有利可图就可以在正向销售环节增加营销手段（如“以旧换新”等）促进未来废旧产品的回收。

通过比较情景N和情景R的均衡需求、均衡回收数量和均衡利润，可得命题2~命题4。

命题2 $w^{R^*} < w^{N^*}$ ， $p^{R^*} < p^{N^*}$ ；当 $b_1 < \sqrt{a\theta_1}$ 且 $e < \hat{e}_1$ 时， $p_r^{R^*} < p_r^{N^*}$ ；否则， $p_r^{R^*} \geq p_r^{N^*}$ 。

在既不考虑环境治理成本，3PR也不付出回收努力程度的情景N下，考虑环境治理成本，3PR付出回收努力程度的情景R能够带来新产品的降价（即 $w^{R^*} < w^{N^*}$ 和 $p^{R^*} < p^{N^*}$ ）。特别地，在单位环境治理

成本较小时（即 $e < \hat{e}_1$ ），情景R也能够带来废旧产品的降价（即 $p_r^{R^*} < p_r^{N^*}$ ）。这意味着3PR付出回收努力用于应对环境治理成本对于促进新产品的降价是有效的，但是，是否能够促进废旧产品的降价则需要考虑环境治理成本，因为过高的环境治理成本会给3PR带来运营成本压力。理论上，收缴环境治理成本作为一种环境规制手段，具有强劲的执行力度和监督力度，会给污染企业带来监督压力和成本压力。为此，在制定环境治理成本及其相对应的环境规制制度前期过程中，政府应当在扮演监督者身份的同时设置优惠与减免规则，以此激励污染企业积极参与环境治理。一方面，环境治理压力的倒逼作用和税收优惠的激励作用可能使得污染企业提高治理水平，履行更多的企业环境责任^[32]；另一方面，若优惠与减免规则的激励效应弱，在短期环境治理成本攀升的情况下，那么电子产品企业可能会在超负荷的环境治理压力下进入金融领域投资寻求利益最大化。无论是前者提高环境治理水平，还是后者追求融资提高投资，对于整个社会的可持续发展都是有利的。但是，对于数量和利润的影响需要进一步讨论，具体见命题3和命题4。

命题3 $Q^{R^*} > Q^{N^*}$ ；当 $X > 0$ 且 $e < \hat{e}_2$ 时， $\pi_{3PR}^{R^*} > \pi_{3PR}^{N^*}$ ；否则， $\pi_{3PR}^{R^*} \leq \pi_{3PR}^{N^*}$ 。

命题4 $D^{R^*} > D^{N^*}$ ；当 $Y > 0$ 且 $e > \hat{e}_3$ 时， $\pi_M^{R^*} > \pi_M^{N^*}$ ；否则， $\pi_M^{R^*} \leq \pi_M^{N^*}$ 。

一旦考虑环境治理成本、3PR付出回收努力程度后，均衡回收数量和需求都得以提高（即 $Q^{R^*} > Q^{N^*}$ 和 $D^{R^*} > D^{N^*}$ ），这对于促进循环经济、资源节约都存在积极作用和实践价值。但是，制造商或3PR是否受益取决于环境治理成本。对于承担回收努力成本和环境治理成本的主体，3PR只有在环境治理成本不是很高时（如 $X > 0$ 且 $e < \hat{e}_2$ ）才受益，而制造商的偏好则与3PR的偏好相反。现实中，如果环境治理成本不是很高时，政府不用出台补贴政策，3PR参与回收是有利可图的，这也是早期政府监管不严时或劳动力成本较低时，很多中小型3PR积极参与回收和再制造的重要原因，但也可能造成严重的环境污染。但是，随着《“十四五”循环经济发展规划》《关于加快废旧物资循环利用体系建设的指导意见》等政策收紧、劳动力或房租等运营成本的增加，环境治理成本也随之高涨并成为企业不可避免的企业成本。因此，可能需要政府出台补贴或制造商实行收益共享契约才能够激发3PR的回收动机。

3 算例分析

由于情景 E 难以与情景 N 和情景 R 下的利润进行直接的数理比较，接下来将采取数值算例并进行数值分析，既能验证上文部分结论，又能得出新的研究结果。在选取参数默认值或范围时，一方面既要保证满足基本假设和均衡解/均衡利润的非负性，另一方面尽可能展现不同企业在不同策略之间的选择动机。在此规则下，所有默认参数设置为： $c_m=1.80$ ， $c_s=1.00$ ， $m=1.20$ ， $\alpha=9.00$ ， $\beta=0.50$ ， $d=0.20$ ， $f=2.60$ ， $e=0.12$ ， $\theta_1=2.60$ ， $\theta_2=2.10$ ， $a=0.80$ ， $b_1=0.38$ ， $b_2=0.28$ ， $\gamma=0.20$ ， $Q_0=0.60$ ， $\lambda \in [0.4, 0.8]$ 。

图 1 和图 2 直观地显示了在满足非负条件下的假设 $b_1 < \sqrt{2a\theta_1}$ 和 $\gamma < \sqrt{2\beta\theta_2}$ 时，制造商在情景 E 下的均衡需求和利润最高，而情景 N 下的均衡需求和利润最低（即 $D^{E*} > D^{R*} > D^{N*}$ 和 $\pi_M^{E*} > \pi_M^{R*} > \pi_M^{N*}$ ），即制造商推广“互联网+”回收平台能给自己带来高需求和高利润，并且无论需求还是利润均随着拆解率的提高而提高；否则，制造商没有参与情景 R 或情景 E 的动机。在现实中，“互联网+”回收企业的翘楚——“爱回收”APP 和“搭把手”新型智慧再生资源回收体系的成功推广主要得益于很多第三方资源再生企业、原始制造商（original equipment manufacturer, OEM）参与“互联网+”回收平台，此外也得益于良好的回收宣传效果，即 3PR 的回收努力程度。

比较 N、R、E 两两情景下的制造商利润差发现（见图 3），制造商推广努力成本的规模系数对于制造商的情景选择有重大影响。具体地，随着 θ_2 的增大，情景 E 与情景 R 之间的利润差会缩小且逐渐小于情景 R 与情景 N 的利润差。因此，对于单一情景，制造商会选择情景 R，即 3PR 只要选择了投资回收努力成本构建“互联网+”回收平台，制造商应该帮助 3PR 推广这个“互联网+”平台；如果 3PR 没有投资回收努力成本，制造商可以建议政府出台环境治理成本相关法律法规，从而诱导 3PR 投资回收努力成本。

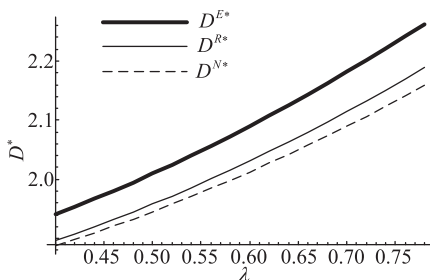


图 1 均衡需求和拆解率的关系

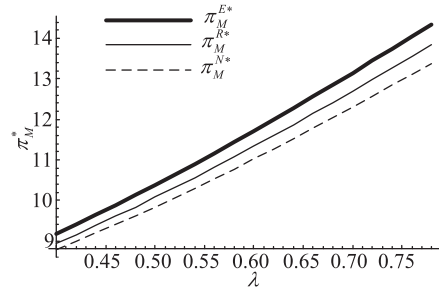


图 2 制造商均衡利润和拆解率的关系

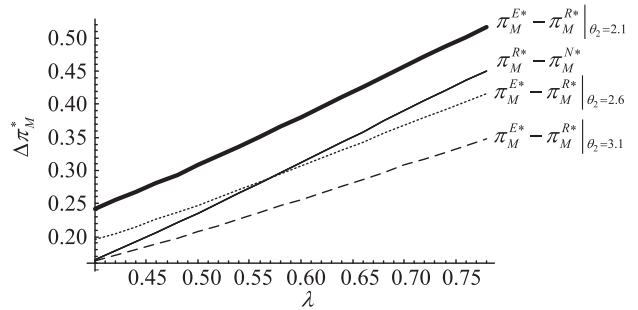


图 3 制造商利润差、拆解率和制造商推广努力成本的规模系数的关系

图 4 和图 5 显示，虽然均衡回收数量关于拆解率的趋势与均衡需求关于拆解率的趋势基本一致，但是 3PR 的策略偏好则显然与制造商的策略偏好不一致。具体地，第一，相对于情景 N 而言，一旦考虑了环境治理成本，如果只有 3PR 付出回收努力程度，那它自身的利润是最低的，即 3PR 单独参与付出回收努力程度的动机是最低的，未来可能需要建立制造商的成本共同分担或收益共享等机制，甚至需要政府补贴来激励；第二，在情景 E 和情景 R 之间，3PR 的策略偏好取决于拆解率，当拆解率低于一定阈值时，3PR 既不用考虑环境治理成本也不用付出回收努力程度，因为此时 3PR 是无利可图的。现实中，过低的拆解率会导致很少的有效零部件用于出售，未来可以考虑将无效零部件作为原材料出售给供应商以获得更多的拆解利润，进一步促进资源节约。由此可知，考虑环境治理成本且 3PR 投入回收努力成本构建“互联网+”回收平台后，制造商不作为的话对 3PR 是最不利的。此时，3PR 应该引导制造商推广“互联网+”回收平台并尽可能地提高回收量和拆解率。实践中，“搭把手”将更多的再生资源制造商引入“互联网+”回收平台中，并加强智能回收箱的建设和智慧终端 APP 的推广从而提高回收率。

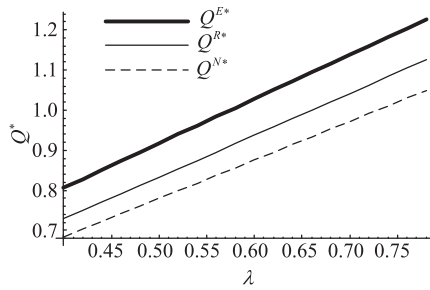


图4 均衡回收数量和拆解率的关系

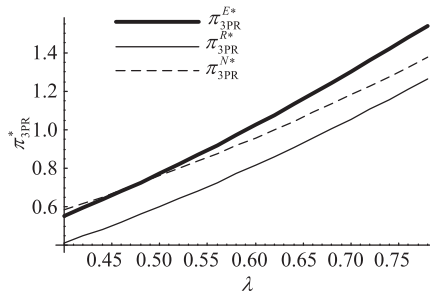
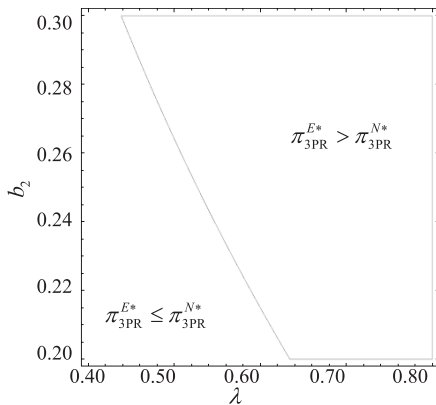
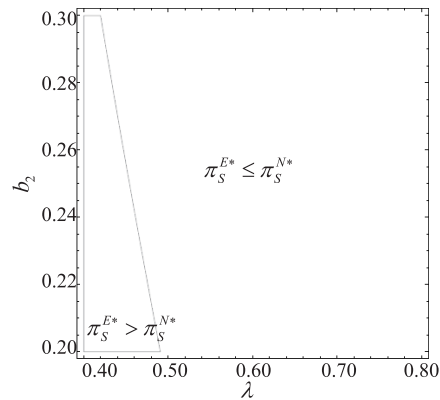


图5 3PR 均衡利润和拆解率的关系

(a) 3PR 均衡利润与 λ 、 b_2 (b) 供应商均衡利润与 λ 、 b_2 图6 供应商/3PR 均衡利润和 λ 、 b_2 的关系

4 结论

研究如“百度回收站”“爱回收”“搭把手”等正在不断涌现的“互联网+”回收平台的参与机制和影响机制成为学术热点。基于此,文章构建了由单一供应商、制造商和3PR组成的再制造闭环供应链,研究了3种情境下制造商的推广策略选择和3PR的回收决策,探讨了制造商推广“互联网+”回收平台的动机以及关键参数的影响机制,并得出了如下结论:

(1) 一旦出现环境治理成本且单位环境治理成本较小的情况时,3PR付出回收努力程度能够带来新产品零售价格和废旧产品回收价的同时降低,而均衡回收数量和需求都得以提高,这对于促进循环经济、资源节约都存在积极意义。然而,对于承担

一方面,图6(a)验证了图5的结论,即3PR关于拆解率 λ 的策略偏好,而图6(b)又发现了供应商关于拆解率 λ 的策略偏好,即供应商的策略偏好与3PR的策略偏好相反(即当 $\lambda < 0.5$ 时, $\pi_S^{N*} < \pi_S^{E*}$),且供应商的利润随着拆解率的提高而降低。这是因为,3PR的再制造原材料挤压了供应商的新产品原材料供应,即供应商参与制造的新零部件变少了,能够获得的潜在利益会减少,这与现实也是一致的。另一方面,从图6还可以发现,当 b_2 越大时,制造商参与推广“互联网+”回收平台的效果越好,对于3PR和供应商在情景E下也越有利。管理启示:制造商参与推广“互联网+”回收平台后,其推广的效果越好,无论对于其自身还是供应链整体而言都是越有利的。此时,3PR应当尽可能诱导制造商积极推广“互联网+”回收平台,这也是“搭把手”等平台极力诱导更多制造商或再生资源企业进入“互联网+”回收平台的原因。

回收努力成本和环境治理成本的主体,3PR只有在整体环境治理成本不是很高时才受益,而制造商的偏好则与3PR的偏好相反。

(2) 一旦考虑了环境治理成本,3PR付出回收努力程度且制造商推广“互联网+”回收平台能够带来最高的均衡需求和制造商利润,并且它们都随着拆解率的提高而提高;但是,3PR只有在拆解率高于一定阈值时(如 $\lambda < 0.47$),才和制造商的偏好一致,实现双赢。

(3) 供应商的策略偏好与3PR的策略偏好刚好相反,且供应商利润随着拆解率的提高而降低。另外,回收数量中推广努力水平的敏感系数越大,即制造商参与推广的效果越好,对于3PR和供应商在该情景下也越有利。

基于以上关键结论，得到以下管理启示：

一是对于家电平台商家而言，不仅要负责新产品的销售，还要提供废旧家电的回收服务，以及配送至专业的“互联网+”回收与拆解平台。二是对于上游家电厂商而言，废旧家电的高效回收不仅能够淘汰旧产品，也加速了新产品的销售，带动了用户的消费升级。三是对于政府而言，应当建立以环境治理成本为基础的环境规制制度，在给污染企业监督压力和成本压力的同时，还要设置优惠与减免规则，以激励污染企业积极参与环境治理。如果环境治理成本不是很高时，政府不用出台补贴政策，3PR参与回收是有利可图的；否则，政府需要出台补贴或制造商实行收益共享契约能够激发3PR的回收动机。四是在考虑环境治理成本的情况下，3PR应该引导制造商推广“互联网+”回收平台，并尽可能地提高回收量和拆解率。

本研究考虑的再制造与新制造产品是同质的，后续研究可以考虑不同类型消费者（如绿色消费者和普通消费者、策略型消费者和普通消费者等）对于新产品和再制造产品的异质性偏好。另外，回收对于社会、环境产生可持续、循环的积极影响，以及企业环境责任、政府补贴、环境绩效等方面均可以作为未来的研究方向。

注释：

1) 囿于篇幅限制，均衡决策的证明过程备索。

参考文献：

- [1] 冯章伟, 王巍强. “互联网+”回收实践的创新发展战略研究: 以宁波市“搭把手”新型智慧再生资源回收体系为例[J]. 嘉兴学院学报, 2024, 36(1): 49-54.
- [2] 中国物资再生协会. 2024中国再生资源回收行业发展报告[J]. 资源再生, 2024, 7: 27-38.
- [3] 姚卫新. 再制造条件下逆向物流回收模式的研究[J]. 管理科学, 2004, 17(1): 76-80.
- [4] SAVASKAN R C, BHATTACHARYA S, Van WASSENHOVE L N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing[J]. Management Science, 2004, 50(2): 239-252.
- [5] FERRER G, SWAMINATHAN J M. Managing new and remanufactured products[J]. Management Science, 2006, 52(1): 15-26.
- [6] CHOI T M, LI Y J, XU L. Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains[J]. International Journal of Production Economics, 2013, 146(1): 371-380.
- [7] 丁斌, 马海庆. 两级再制造的S-M闭环供应链的决策与绩效分析[J]. 中国管理科学, 2015, 23(6): 118-125.
- [8] 冯章伟, 肖条军, 柴彩春. 第三方回收商领导型两级闭环供应链的回收与定价策略[J]. 中国管理科学, 2018, 26(1): 118-127.
- [9] GIRI B C, DEY S K. Game theoretic analysis of a closed-loop supply chain with backup supplier under dual channel recycling[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 129: 179-191.
- [10] 郝永勤, 张大涛. 再生资源“互联网+回收”模式的构建[J]. 科技管理研究, 2018, 38(23): 260-267.
- [11] 许民利, 邹康来, 简惠云. “互联网+”环境下考虑消费者行为的资源回收策略[J]. 控制与决策, 2019, 34(8): 1745-1753.
- [12] JIAN H Y, XU M L, ZHOU L. Collaborative collection effort strategies based on the "Internet+ recycling" business model[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 241: 118120.1-118120.14.
- [13] 简惠云, 黄秋兰, 许民利. 闭环供应链中互联网回收平台合作推广研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(11): 64-73.
- [14] SUN Q, WANG C, ZHOU Y F, et al. Dominant platform capability, symbiotic strategy and the construction of "Internet+WEEE collection" business ecosystem: a comparative study of two typical cases in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 254: 120074.1-120074.13.
- [15] 张鹤立, 淳伟德, 燕汝贞, 等. 考虑差异化补贴的新能源汽车闭环供应链决策研究[J]. 工程管理科技前沿, 2023, 42(2): 67-74.
- [16] SUBRAMANIAN R, GUPTA S, TALBOT B. Product design and supply chain coordination under extended producer responsibility[J]. Production and Operations Management, 2009, 18(3): 259-277.
- [17] GUI L Y, ATASU A, ERGUN Ö, et al. Efficient implementation of collective extended producer responsibility legislation[J]. Management Science, 2015, 62(4): 1098-1123.
- [18] HONG Z F, GUO X L. Green product supply chain contracts considering environmental responsibilities[J]. Omega, 2019, 83: 155-166.
- [19] ATASU A, Van WASSENHOVE L N, SARVARY M. Efficient take-back legislation[J]. Production and Operations Management, 2009, 18(3): 243-258.
- [20] ATASU A, VAN WASSENHOVE L N. An operations perspective on product take-back legislation for e-waste: theory, practice, and research needs[J]. Production and Operations Management, 2012, 21(3): 407-422.
- [21] ATASU A, ÖZDENIR Ö, VAN WASSENHOVE L N. Stakeholder perspectives on e-waste take-back legislation[J]. Production and Operations Management, 2013, 22(2): 382-396.
- [22] LIU Y Z, XIAO T J. Pricing and collection rate decisions and reverse channel choice in a socially responsible supply chain with green consumers[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2020, 67(2): 483-495.
- [23] FENG Z W, XIAO T J, ROBB D J. Environmentally responsible closed-loop supply chain models with outsourcing and authorization options[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 278: 123791.1-123791.14.
- [24] XIANG Z H, XU M L. Dynamic game strategies of a two-stage remanufacturing closed-loop supply chain considering big data marketing, technological innovation and overconfidence[J]. Computers & Industrial Engineering, 2020, 145: 106538.1-106538.15.
- [25] 王昶, 吕夏冰, 孙桥. 居民参与“互联网+”回收意愿的影响因素研究[J]. 管理学报, 2017, 14(12): 1847-1854.
- [26] 简惠云, 黄秋兰, 许民利. 基于供应链的“互联网+回收”平台合作推广研究[J]. 运筹与管理, 2020, 29(6): 41-48.
- [27] 唐飞, 苑希港. 基于网络平台的制造商销售与回收模式选择[J]. 计算机集成制造系统, 2024, 30(7): 2540-2552.
- [28] QU Y, ZHANG Y X, GUO L L, et al. Decision strategies for the WEEE reverse supply chain under the "Internet+recycling" model[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 172: 108532.1-108532.14.
- [29] 中国循环经济协会. 电子废弃物资源亟需回收利用[EB/OL]. (2016-06-07) [2024-02-29]. <https://www.chinacace.org/news/view?id=7420>.
- [30] 于可利, 张贺然, 刘雨浓. 汕头市贵屿镇循环经济产业园区电子废物回收处理情况[J]. 资源再生, 2022(3): 48-49.
- [31] 易余胤, 李华艺. 考虑制造商回收定价的B2C平台以旧换新优惠策略[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(3): 927-942.
- [32] 黄依婷, 陈和, 杨永聪. 环境保护费改税与污染企业转型: 环境权变抑或金融逐利[J]. 环境经济研究, 2022, 7(2): 106-124.

作者简介: 冯章伟(1990—), 男, 浙江嘉兴人, 硕士生导师, 特聘副研究员, 博士, 主要研究方向为物流与供应链管理。