

不同企业技术创新模式下闭环供应链定价决策研究

舒彤, 刁首琪, 闫毓敏

(湖南大学工商管理学院, 湖南省长沙市, 410000)

摘要: 在制造商高度竞争的时代, 技术创新已经成为越来越多企业获取竞争优势的途径。本文基于消费者需求偏好的不同, 构建了无技术创新、OEM 技术创新、IR 技术创新和 OEM 与 IR 共同技术创新四种不同的企业技术创新模式, 研究不同模式下企业技术创新对闭环供应链成员利润、专利许可费用及定价决策的影响。研究表明: IR 单独进行技术创新模式对 OEM 利润增加最有利, OEM 与 IR 共同进行技术创新时则需要控制好创新度以保证 OEM 与 IR 利润的增长; 新产品价格只与 OEM 的技术创新水平有关, IR 单独进行技术创新时再制造产品的价格最高; IR 技术创新及二者同时进行技术创新时的专利许可费用高于无技术创新和 OEM 单独进行技术创新模式。

关键词: 闭环供应链; 专利保护; 技术创新; 差别定价

中图分类号: C93

文献标识码: A

1. 引言

伴随着全球经济的高速增长, 居民生活水平得到大幅提升, 且电器电子产品更新换代速度逐年加快, 2020 年我国电器电子产品的报废量达 5 亿台, 约合 538.4 万。如何对数量庞大的废弃电器电子产品进行回收再利用, 来缓解环境污染、减少资源浪费并降低生产成本, 已经成为社会各界的关注热点^[1]。再制造作为一种节约环保的生产理念和制造方式, 以及其在经济和生态方面的巨大潜力而越来越受到企业的关注和采用^[2]。再制造体现了可持续发展理念, 可提升企业生产率和客户服务, 给企业带来经济效益, 并增强其竞争优势。目前政府和企业对再制造给予了高度关注, 例如欧洲的《废旧电器和电子设备(WEEE)指令》为企业实施逆向物流等行为提供了重要动力, 它要求制造商专注于产品的再制造, 以减少对地球自然资源的需求, 并尽量减少废弃物的生产。而中国作为支持发展再制造的国家, 于 2017 年 10 月 31 日制定发布了《高端智能再制造行动计划(2018-2020 年)》并指出到 2020 年带动再制造产业规模达到 2000 亿元^[3]。也有许多公司回收废旧产品并将它们输入再制造过程, 如戴尔、苹果和惠普大力鼓励客户回收其二手电子产品并积极构建逆向物流系统, 三星也于 2016 年推销其再制造的手机。Xerox 公司将墨盒进行回收并投入再制造, 并降低了 40% 以上的制造成本。再制造与维修翻新最大的区别在于, 再制造产品的质量与性能均可等同于甚至超过新产品。其中技术创新在再制造中有举足轻重的作用, 例如卡特彼勒公司再制造相关的专利已超过 100 多项, 在产品技术创新方面, 成为了世界级的标杆^[4]。但目前, 我国再制造行业虽然已经可以基本做到“恢复尺寸, 性能提升”, 但研发创新水平依然比较低, 是制约再制造进一步发展的重要因素^[5]。

同时, 许多品牌原制造商并不参与回收再制造的环节, 而是授权第三方再制造商进行再制造。此时专利许可就成为原始制造商常用的一种手段, 既可以保护原始制造商的知识产权, 同时也使得两家公司由竞争转变为合作关系, 提升二者的利润及运营效率。

本文主要解决以下问题:

(1) 在无技术创新、OEM 技术创新、IR 技术创新和 OEM 与 IR 共同技术创新这四种不同的企业技术创新模式下, 技术创新分别如何影响新产品及再制造产品的定价、销量和利润?

(2) 原制造商的专利保护行为对第三方再制造商技术创新有怎样的影响? 是否会对其进行再制造技术创新的积极性产生削弱?

(3) 上述的四种技术创新模式下哪一种最有利于供应链成员利润的提升?

本文的其余部分安排如下。第 2 节对相关文献进行了整理与回顾。第 3 节描述了模型参数设置及假设, 主要考虑四种技术创新模式: (1) 无技术创新; (2) OEM 技术创新; (3) IR 技术创新; (4) OEM 与 IR 共同技术创新。第 4 节分析了主要参数对供应链成员进行最优定价决策的影响。第 5 节利用数值分析验证主要命题与结果。第 6 节对本文进行总结并提出了局限性及未来研究方向。

2. 文献综述

本文主要涉及三方面的文献, 一是闭环供应链与再制造的相关文献; 二是技术创新相关文献; 三是专利保护相关文献。

2.1 闭环供应链与再制造

目前, 闭环供应链相关文献愈加丰富, 许多学者从闭环供应链的不同视角进行研究, 如生产计划和库存管理、逆向网络设计、渠道管理等。在这些研究中, 闭环供应链中的定价决策是学者们的一个主要研究方向, 也是本文的主要研究内容。例如, Xiong 等 (2016) 分析了分散式闭环供应链中制造商与供应商竞争性再制造的绩效, 发现当单位再制造成本高的时候, 制造商和消费者倾向于制造商再制造^[6]。Xie 等 (2017) 研究双渠道闭环供应链的定价决策与契约协调, 得出最优的线上与线下价格、批发价格和广告投入^[7]。Long 等 (2019) 基于消费者对不同再制造商生产的再制造产品的支付意愿不同, 建立了考虑 WTP 的多种再制造模式的模型。研究发现在单阶段再制造方案中, 混合再制造比单一再制造对制造商更有利^[8]。Zhang 等 (2020) 结合不同再制造模式和政府基金政策, 建立了四种动态博弈模型, 分析了政府基金政策对 CLSC 决策的影响。结果表明: 在没有政府资金政策的情况下, 制造商再制造模式有利于 CLSC 成员^[9]。

2.2 技术创新

技术创新指生产技术的创新, 包括开发新技术, 或者将已有的技术进行应用创新。目前已有许多学者对技术创新进行了不同的解读。Genc 等 (2018) 建立了一个由一个供应商和一个制造商组成的闭环供应链模型, 研究制造商投资于创新驱动的精益项目导致的战略创新和过程创新对闭环供应链成员的利润影响^[10]。朱宾欣等 (2018) 研究了原制造商专利保护对再制造商技术创新策略的影响, 但是文章只考虑了再制造商进行技术创新的情形^[11]。

Reimann 等 (2019) 建立了由单个制造商和单个零售商组成的闭环供应链, 研究由制造商进行再制造流程创新对供应链成员决策的影响^[12]。许民利等 (2019) 研究了原始制造商 (OEM) 和再制造商 (IR) 在不同创新模式下, 质量提升型技术创新对新产品及再制造产品定价、专

利许可费用及供应链成员各自利润的影响^[13]。

2.3 专利保护

当存在多个再制造主体时,其中就涉及知识产权、专利保护以及相关保护法律诉讼和法律纠纷问题,这已经成为全世界各国政府、社会各界以及企业急需解决的问题。Huang 等(2017)针对制造商再制造、制造商和经销商同时再制造、制造商和第三方再制造商同时再制造这三种再制造模式,研究了专利授权对闭环供应链再制造模式的影响^[14]。Hong 等(2017)对专利许可的闭环供应链中的数量和收集决策进行研究,制造商作为专利持有者生产新的再制造产品,同时他和再制造商(依据合同只能生产再制造产品)竞争性地从市场上收集旧产品,调查了 CLSC 内的两种授权模式,固定专利费用与单位专利使用费^[15]。Chen 等(2017)针对由一个供应商与双寡头制造商构成的供应链系统,探讨了基于产品售价与基于原材料成本的两种专利许可策略的适用性^[16]。

综上所述,目前关于再制造及闭环供应链的研究已较为丰富,但是考虑供应链成员技术创新的研究相对较少,其中研究闭环供应链技术创新的文献更为稀少。本文研究专利保护下考虑技术创新的闭环供应链定价决策,通过构建四种不同创新模式下的定价模型,得出技术创新对新产品和再制造产品定价、供应链成员利润和专利许可费用的影响。

本文主要有以下创新点:1、考虑了技术创新对消费者效用的影响,构建了不同技术创新模式下的需求函数,以往的研究大多仅考虑消费者需求函数与价格或消费者支付意愿相关,本文的设定更加贴合实际;2、同时考虑了闭环供应链中的技术创新和专利保护问题,研究了不同的技术创新模式对供应链成员利润和新再产品定价的影响,以及原制造商专利保护行为对第三方再制造商技术创新的影响;3、本文研究的技术创新包括了质量提升与成本降低两个作用,之前的相关文献大多只考虑其对质量提升的影响。

3. 模型描述和假设

本文考虑由单个原始制造商(OEM)和单个第三方再制造商(IR)组成的闭环供应链系统。其中,OEM负责将零部件和原材料加工成新产品并进行销售,IR负责回收废旧产品进行再制造和再销售,但需向OEM交纳专利许可费以取得OEM的再制造授权。专利许可费用使用单位费率合同,即OEM对IR生产并销售的再制造产品收取单位许可费^[17]。此文章的假设中,我们认为所有的废旧产品都能够成功地被再制造并进行二次销售^[18]。

本文主要考虑四种技术创新模式:(1)无技术创新(N);(2)OEM技术创新(MT);(3)IR技术创新(RT);(4)OEM与IR共同技术创新(MRT)。通过分析比较四种情况下的最优定价策略、专利许可费用及渠道成员利润,研究企业技术创新对闭环供应链的影响,并探讨技术创新与专利保护之间的联系。

3.1 模型标记

文中所用到的变量及标记如表1所示。

表 1 模型主要符号标记

模型参数	描述
c_n	新产品单位制造成本
c_r	再制造产品单位制造成本
$e(e \in [0,1])$	技术创新水平
$k(k \in [0,1])$	技术创新带来的成本节约
D_n	新产品需求
D_r	再制造产品需求
$\theta(\theta \in [0,1])$	消费者支付意愿
决策变量	描述
P_n	新产品零售价格
P_r	再制造产品零售价格
f	再制造单位专利许可费用
$\pi_i^j(i = M, R; j = N, MT, RT, MRT)$	模式 j 时 i 的利润函数, $i = M, R$ 分别表示制造商、第三方再制造商; $j = N, MT, RT, MRT$ 分别表示无技术创新、OEM 技术创新、IR 技术创新和 OEM 与 IR 共同技术创新四种模式

3.2 模型假设

(1) 本文 OEM 和 IR 的决策过程构成一个单周期的 Stackelberg 博弈, 其中 OEM 为供应链成员的领导者, IR 为博弈的追随者。这一假设与传统供应链研究相一致, OEM 决定了单位产品批发价格和专利许可费用, 而 IR 的再制造产品定价策略受 OEM 定价及专利许可费用的影响。

(2) 在该闭环供应链中, OEM 生产新产品的单位制造成本为 c_n , IR 生产再制造产品的单位制造成本为 c_r , 其中 $c_r < c_n$ 。

(3) 与朱宾欣等 (2018) 的假设类似^[11], 将研发投资成本视为固定成本。且研发投资成本是技术创新水平的凸函数, 假设 OEM 和 IR 的技术创新成本系数均为 1, 则 OEM 和 IR 的技术创新成本均为 $\frac{1}{2}e^2$ 。

(4) 技术创新可以降低新再产品制造过程中的技术难度, 从而降低制造成本。因此新产品技术创新时成本为 $c_n - ke$, 再制造产品技术创新时成本为 $c_r - ke$ 。k 代表技术创新可以造成的最大成本节约, 受到目前技术水平的制约。

4. 需求函数设定

参考 Ferrer 等 (2010) 的研究^[9], 设市场规模标准化为 1, 消费者购买新产品的效用可以表示为 $U_n = v - P_n$, 消费者购买再制造产品获得的效用为: $U_r = \theta v - P_r$, $\theta \in [0,1]$ 。其中 v 为消费者对新产品的价值评估, 服从 $[0,1]$ 的均匀分布; θv 表示消费者对再制造产品的价值评估。

4.1 无技术创新

在该模式下 OEM 与 IR 均不进行技术创新, 消费者购买新产品的效用可以表示为 $U_n^N =$

$v - P_n$, 消费者购买再制造产品获得的效用为: $U_r^N = \theta v - P_r$ 。当 $P_r < \theta P_n$ 时, 市场中同时存在对新产品和再制造产品的需求。此时新产品及再制造产品的需求量为:

$$D_n^N = \int_{\frac{P_n - P_r}{1 - \theta}}^1 dv = 1 - \frac{P_n - P_r}{1 - \theta} \quad (1)$$

$$D_r^N = \int_{\frac{P_r}{\theta}}^{\frac{P_n - P_r}{1 - \theta}} dv = \frac{P_n - P_r}{1 - \theta} - \frac{P_r}{\theta} = \frac{\theta P_n - P_r}{\theta(1 - \theta)} \quad (2)$$

4.2 OEM 技术创新

在该模式下 OEM 通过技术创新来提高消费者购买新产品的效用, IR 不进行技术创新, 前文假设技术创新水平为 e , 消费者购买新产品的效用可以表示为 $U_n^{MT} = v + e - P_n$, 消费者购买再制造产品获得的效用依旧为: $U_r^{MT} = \theta v - P_r$ 。当 $P_r < \theta(P_n - e)$ 时, 市场中同时存在对新产品和再制造产品的需求。此时新产品及再制造产品的需求量为:

$$D_n^{MT} = \int_{\frac{e - P_n + P_r}{\theta - 1}}^1 dv = 1 - \frac{e - P_n + P_r}{\theta - 1} \quad (3)$$

$$D_r^{MT} = \int_{\frac{P_r}{\theta}}^{\frac{e - P_n + P_r}{\theta - 1}} dv = \frac{e - P_n + P_r}{\theta - 1} - \frac{P_r}{\theta} = \frac{\theta(e - P_n) + P_r}{\theta(\theta - 1)} \quad (4)$$

4.3 IR 技术创新

在该模式下 IR 通过技术创新来提高消费者购买再制造产品的效用, OEM 不进行技术创新, 依旧假设技术创新水平为 e 。消费者购买新产品的效用可以表示为 $U_n^{RT} = v - P_n$, 消费者购买再制造产品时会综合考虑再制造产品技术创新及价值折扣, 因此购买再制造产品获得的效用为: $U_r^{RT} = \theta(v + e) - P_r$ 。当 $P_r < \theta(P_n + e)$ 时, 市场中同时存在对新产品和再制造产品的需求。此时新产品及再制造产品的需求量为:

$$D_n^{RT} = \int_{\frac{\theta e + P_n - P_r}{1 - \theta}}^1 dv = 1 - \frac{\theta e + P_n - P_r}{1 - \theta} \quad (5)$$

$$D_r^{RT} = \int_{\frac{P_r - \theta e}{\theta}}^{\frac{\theta e + P_n - P_r}{1 - \theta}} dv = \frac{\theta e + P_n - P_r}{1 - \theta} - \frac{P_r - \theta e}{\theta} = \frac{\theta(e + P_n) - P_r}{\theta(1 - \theta)} \quad (6)$$

4.4 OEM 及 IR 共同进行技术创新

在该模式下 OEM 通过技术创新来提高消费者购买新产品的效用, IR 通过技术创新来提高消费者购买再制造产品的效用, 假设二者技术创新水平均为 e 。消费者购买新产品的效用可以表示为 $U_n^{MRT} = v + e - P_n$ 。消费者购买再制造产品时依旧会综合考虑再制造产品技术创新及价值折扣, 因此购买再制造产品获得的效用仍为: $U_r^{MRT} = \theta(v + e) - P_r$ 。当 $P_r < \theta P_n$ 时, 市场中同时存在对新产品和再制造产品的需求。此时新产品及再制造产品的需求量为:

$$D_n^{MRT} = \int_{\frac{\theta e - e + P_n - P_r}{1 - \theta}}^1 dv = 1 - \frac{\theta e - e + P_n - P_r}{1 - \theta} \quad (7)$$

$$D_r^{MRT} = \int_{\frac{P_r - \theta e}{\theta}}^{\frac{\theta e - e + P_n - P_r}{1 - \theta}} dv = \frac{\theta e - e + P_n - P_r}{1 - \theta} - \frac{P_r - \theta e}{\theta} = \frac{\theta P_n - P_r}{\theta(1 - \theta)} \quad (8)$$

5. 模型构建与求解

5.1 无技术创新——模型 N

无技术创新模式下, OEM 与 IR 均不开展技术创新, 其中 OEM 为领导者, IR 为追随

者，双方均已自身利润最大化作为目标。OEM 与 IR 的利润函数为：

$$\pi_M^N = (P_n - c_n)D_n^N + fD_r^N \quad (9)$$

$$\pi_R^N = (P_r - c_r - f)D_r^N \quad (10)$$

此时由 OEM 确认新产品的销售价格及专利许可费用，IR 根据 OEM 的决策制定最优再制造产品定价决策，求解 Stackelberg 博弈均衡，对式(10)求二阶导数，有 $\frac{\partial^2 \pi_R^N}{\partial P_r^2} = \frac{2}{\theta(\theta-1)} < 0$ ，说明 IR 利润为再制造品售价的凹函数，一阶导数得 $\frac{\partial \pi_R^N}{\partial P_r} = 0$ ，得到 $P_r = \frac{\theta P_n + f + c_r}{2\theta(\theta-1)}$ ，将其代入式(9)并使 $\frac{\partial \pi_M^N}{\partial P_n} = 0$ ， $\frac{\partial \pi_M^N}{\partial f} = 0$ 。即可求解得到 P_n^{N*} 及 f^{N*} ，再将其代入上式 $P_r = \frac{\theta P_n + f + c_r}{2\theta(\theta-1)}$ ，可求得 P_r^{N*} ，从而求得 P_r^{N*} ， P_n^{N*} ， f^{N*} ， π_M^{N*} ， π_R^{N*} 。

由此可知在 N 模式中，新产品的最优销售价格为 $P_n^{N*} = \frac{1+c_n}{2}$ ，再制造产品的最优销售价格为 $P_r^{N*} = \frac{\theta(2+c_n)+c_r}{4}$ ，专利许可费用为 $f^{N*} = \frac{\theta-c_r}{2}$ ，OEM 的最优利润为 $\pi_M^{N*} = \frac{(\theta c_n - c_r)(\theta c_n + c_r - 2\theta c_n)}{8\theta(\theta-1)}$ ，IR 的最优利润为 $\pi_R^{N*} = \frac{(\theta c_n - c_r)^2}{16\theta(1-\theta)}$ 。

命题 1：在 N 模式下，OEM 和 IR 的最优策略集为 $((P_r^{N*}, f^{N*}, P_n^{N*})$ 。

推论 1：在 N 模式下，新再产品的价格、专利许可费用关于新再产品成本及消费者支付意愿的变化： $\frac{\partial P_r^{N*}}{\partial c_n} > 0$ ， $\frac{\partial P_r^{N*}}{\partial \theta} > 0$ ， $\frac{\partial P_r^{N*}}{\partial c_r} > 0$ ； $\frac{\partial P_n^{N*}}{\partial c_n} > 0$ ； $\frac{\partial f^{N*}}{\partial c_r} < 0$ ， $\frac{\partial f^{N*}}{\partial \theta} > 0$ 。

其中新产品定价只与新产品的生产成本有关；再制造产品定价与再制造成本、新产品生产成本以及消费者对再制造产品的接受程度有关；最优专利许可费与消费者对再制造产品的接受程度和再制造成本有关。推论 1 表明消费者对再制造产品的接受度的提高会提升再制造产品的定价和 OEM 收取的专利许可费，而新产品价格只与其生产成本有关。

5.2 OEM 技术创新——模型 MT

OEM 技术创新模式下，OEM 开展新产品的技术创新，IR 不进行再制造产品的技术创新。此模式下依然是 OEM 为领导者，IR 为追随者，双方均已自身利润最大化作为目标。

OEM 与 IR 的利润函数为：

$$\pi_M^{MT} = (P_n - c_n + ke)D_n^{MT} + fD_r^{MT} - \frac{1}{2}e^2 \quad (11)$$

$$\pi_R^{MT} = (P_r - c_r - f)D_r^{MT} \quad (12)$$

此时由 OEM 确认新产品的销售价格及专利许可费用，IR 根据 OEM 的决策制定最优再制造产品定价决策，求解 Stackelberg 博弈均衡，由逆向归纳法令 $\frac{\partial \pi_R^{MT}}{\partial P_r} = 0$ ，得到 $P_r = \frac{\theta(P_n - e) + f + c_r}{2}$ ，将其代入式(11)并使 $\frac{\partial \pi_M^{MT}}{\partial P_n} = 0$ ， $\frac{\partial \pi_M^{MT}}{\partial f} = 0$ 。即可求解得到 P_n^{MT*} 及 f^{MT*} ，再将其代入式 $P_r = \frac{\theta(P_n - e) + f + c_r}{2}$ ，可求得 P_r^{MT*} ，从而求得 P_r^{MT*} ， P_n^{MT*} ， f^{MT*} ， π_M^{MT*} ， π_R^{MT*} 。

可知在 MT 模式中，新产品的最优销售价格为 $P_n^{MT*} = \frac{1+c_n+e-ke}{2}$ ，再制造产品的最优销售价格为 $P_r^{MT*} = \frac{\theta(2+c_n-e-ke)+c_r}{4}$ ，专利许可费用为 $f^{MT*} = \frac{\theta-c_r}{2}$ ，OEM 的最优利润为

$\pi_M^{MT*} = \frac{\theta^2 A - 2\theta B - c_r^2}{8\theta(\theta-1)}$, 其中 $A = (c_n + e - 1)(c_n - 3e + 1) - 4c_n + ek(ek - 2c_n + 2e) + 3$,
 $B = c_n^2 - c_n(c_r + 2e + 2) - ek(-ek + 2c_n + c_r - 2e - 2) - e^2 + (2 + c_r)e + 1$; IR 的最优利
 润为 $\pi_R^{MT*} = \frac{(ek\theta + e\theta - \theta c_n + c_r)^2}{16\theta(1-\theta)}$ 。

推论 2: 在 MT 模式下, 新再产品的价格及专利许可费用关于新再产品成本、企业技术创新能力及消费者支付意愿的变化为:

$$\frac{\partial P_r^{MT*}}{\partial e} < 0, \frac{\partial P_r^{MT*}}{\partial c_n} > 0, \frac{\partial P_r^{MT*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial P_r^{MT*}}{\partial c_r} > 0; \frac{\partial f^{MT*}}{\partial c_r} < 0, \frac{\partial f^{MT*}}{\partial \theta} > 0; \frac{\partial P_n^{MT*}}{\partial c_n} > 0, \frac{\partial P_n^{MT*}}{\partial e} > 0。$$

推论 3: N 模式、MT 模式与 RT 模式下价格对比: $P_n^{MT*} > P_n^{N*}$; $P_r^{MT*} > P_r^{N*}$; $f^{MT*} = f^{N*}$ 。

推论 2 和推论 3 表明: OEM 通过技术创新可以提升新产品的市场需求, 对再制造产品形成挤兑效应, 导致再制造产品价格下降。MT 模式下的专利许可费与 N 模式是相同的, 因为仅仅原始制造商进行技术创新并不会对 IR 进行再制造产生影响。

5.3 IR 技术创新——模型 RT

IR 技术创新模式下, OEM 不开展新产品的技术创新, IR 进行再制造产品的技术创新。依然是 OEM 为领导者, IR 为追随者, 双方均已自身利润最大化作为目标。OEM 与 IR 的利润函数为:

$$\pi_M^{RT} = (P_n - c_n)D_n^{MT} + fD_r^{RT} \quad (13)$$

$$\pi_R^{RT} = (P_r - c_r - f + ke)D_r^{RT} - \frac{1}{2}e^2 \quad (14)$$

此时由 OEM 确认新产品的销售价格及专利许可费用, IR 根据 OEM 的决策制定最优再制造产品定价决策, 求解 Stackelberg 博弈均衡, 由逆向归纳法令 $\frac{\partial \pi_R^{RT}}{\partial P_r} = 0$, 得到 $P_r = \frac{\theta(P_n + e) - ke + f + c_r}{2}$, 将其代入式 (13) 并使得 $\frac{\partial \pi_M^{RT}}{\partial P_n} = 0$, $\frac{\partial \pi_M^{RT}}{\partial f} = 0$ 。即可求解得到 P_n^{RT*} 及 f^{RT*} , 再将其代入式 $P_r = \frac{\theta(P_n + e) - ke + f + c_r}{2}$, 可求得 P_r^{RT*} , 从而求得 P_r^{RT*} , P_n^{RT*} , f^{RT*} , π_M^{RT*} , π_R^{RT*} 。

可知在 RT 模式中, 新产品的最优销售价格为 $P_n^{RT*} = \frac{1+c_n}{2}$, 专利许可费用为 $f^{RT*} = \frac{\theta(1+e)+ke-c_r}{2}$, OEM 的最优利润为 $\pi_M^{RT*} = \frac{\theta^2 C - 2\theta D - (c_r - ek)^2}{8\theta(\theta-1)}$, 其中 $C = c_n^2 - c_n(2e + 4) - e^2 + 2$; $D = c_n^2 + c_n(ek - c_r - 2) + e^2 k - c_r e + 1$; 再制造产品的最优销售价格为 $P_r^{RT*} = \frac{\theta(2+c_n+3e)-ke+c_r}{4}$, IR 的最优利润为

$$\pi_R^{RT*} = \frac{\theta^2(9e^2 + 2c_n e + c_n^2) + \theta((2k-8)e^2 + (2c_n k - 2c_r)e - 2c_r c_n) + (c_r - ek)^2}{16\theta(1-\theta)}。$$

推论 4: 在 RT 模式下, 新再产品的价格、专利许可费用关于新再产品成本、技术创新能力及消费者支付意愿的变化:

$$\frac{\partial P_r^{RT*}}{\partial e} > 0, \frac{\partial P_r^{RT*}}{\partial c_n} > 0, \frac{\partial P_r^{RT*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial P_r^{RT*}}{\partial c_r} > 0; \frac{\partial f^{RT*}}{\partial c_r} < 0, \frac{\partial f^{RT*}}{\partial \theta} > 0; \frac{\partial P_n^{RT*}}{\partial c_n} > 0, \frac{\partial P_n^{RT*}}{\partial e} > 0。$$

推论 5: N 模式、MT 模式与 RT 模式下价格对比:

$$P_n^{RT*} = P_n^{N*} < P_n^{MT*}; P_r^{RT*} < P_r^{N*} < P_r^{MT*}; f^{RT*} = f^{N*} < f^{MT*}。$$

推论 4 和推论 5 表明, IR 通过技术创新能提升再制造产品的市场需求, 从而提高再制造产品价格, 加强对新产品的挤兑效应, OEM 将收取更多的专利许可费予以反击。在 IR 进行技术创新时, 对新产品价格并没有产生影响, 但提升了再制造产品的价格。

5.4 OEM 及 IR 共同进行技术创新——模型 MRT

OEM 及 IR 共同进行技术创新模式下, OEM 开展新产品的技术创新, IR 进行再制造产品的技术创新, 二者的技术创新能力均为 e 。此时依然是 OEM 为领导者, IR 为追随者, 双方均已自身利润最大化作为目标。OEM 与 IR 的利润函数为:

$$\pi_M^{MRT} = (P_n - c_n + ke)D_n^{MRT} + fD_r^{MRT} - \frac{1}{2}e^2 \quad (15)$$

$$\pi_R^{MRT} = (P_r - c_r - f + ke)D_r^{MRT} - \frac{1}{2}e^2 \quad (16)$$

此时由 OEM 确认新产品的销售价格及专利许可费用, IR 根据 OEM 的决策制定最优再制造产品定价决策, 求解 Stackelberg 博弈均衡, 由逆向归纳法令 $\frac{\partial \pi_R^{MRT}}{\partial P_r} = 0$, 得到 $P_r = \frac{\theta(P_n + e) - ke + f + c_r}{2}$, 将其代入式(11)并使得 $\frac{\partial \pi_M^{MRT}}{\partial P_n} = 0$, $\frac{\partial \pi_M^{MRT}}{\partial f} = 0$ 。即可求解得到 P_n^{MRT*} 及 f^{MRT*} , 再将其代入式 $P_r = \frac{\theta(P_n + e) - ke + f + c_r}{2}$, 可求得 P_r^{MRT*} , 从而求得 P_r^{MRT*} , P_n^{MRT*} , f^{MRT*} , π_M^{MRT*} , π_R^{MRT*} 。

可知在 MRT 模式中, 新产品的最优销售价格为 $P_n^{MRT*} = \frac{1 + c_n + e - ke}{2}$, 再制造产品的最优销售价格为 $P_r^{MRT*} = \frac{\theta(2 + c_n + 2e - ke) - ek + c_r}{4}$, 专利许可费用为 $f^{MRT*} = \frac{\theta(1 + e) + ke - c_r}{2}$, OEM 的最优利润为 $\pi_M^{MRT*} = \frac{\theta^2 E - 2\theta F - c_r^2 + 2c_r ek}{8\theta(\theta - 1)}$, 其中

$$E = c_n^2 - 4(1 + e)c_n + ek(ek - 2c_n + 4e + 4) - 2e^2 + 4e + 2F = c_n^2 - c_n(c_r + 2e + 2) - ek(2c_n - 2c_r - 2e + 2) - e^2 + 2e + 1;$$

$$\text{IR 的最优利润为 } \pi_R^{MRT*} = \frac{\theta^2((8 + k^2)e^2 - 2c_n ek + c_n^2) - \theta((8 + 2k^2)e^2 + 2(c_n + c_r)ek + 2c_r c_n) + (c_r - ek)^2}{16\theta(1 - \theta)}.$$

推论 6: 在 RT 模式下, 新再产品的价格、专利许可费用关于新再产品成本、技术创新能力及消费者支付意愿的变化:

$$\frac{\partial P_r^{MRT*}}{\partial e} > 0, \frac{\partial P_r^{MRT*}}{\partial c_n} > 0, \frac{\partial P_r^{MRT*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial P_r^{MRT*}}{\partial c_r} > 0; \frac{\partial f^{MRT*}}{\partial c_r} < 0, \frac{\partial f^{MRT*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial f^{MRT*}}{\partial e} > 0; \frac{\partial P_n^{MRT*}}{\partial c_n} > 0, \frac{\partial P_n^{MRT*}}{\partial e} > 0.$$

推论 7: N 模式、MT 模式、RT 模式与 MRT 模式下价格对比:

$$P_n^{RT*} = P_n^{N*} < P_n^{MT*} = P_n^{MRT*}; P_r^{MT*} < P_r^{N*} < P_r^{MRT*} < P_r^{RT*}; f^{MT*} = f^{N*} < f^{RT*} = f^{MRT*}.$$

推论 6 和推论 7 表明, OEM 和 IR 同时开展技术创新时, 新产品价格与 OEM 单独进行技术创新时相同, 并且高于 IR 单独进行技术创新时的价格。专利许可费用于 IR 单独进行技术创新时相同, 并且高于 OEM 进行技术创新时的费用, 说明当 IR 进行再制造的技术创新时, 会提升再制造产品的市场需求, 引起 OEM 的危机感, 从而增加专利许可费用。再

制造产品价格高于 OEM 进行技术创新时的价格但低于 IR 技术创新时的价格，因为当二者同时进行技术创新时，新再产品的需求均有提升，制约了再制造品的价格过大增加。

6. 数值分析

6.1 技术创新对供应链成员利润的影响

为了更加直观的体现技术创新对供应链利润及各供应链成员定价的影响，我们利用数值分析对二者进行比较。取 $\theta = 0.65$, $c_n = 0.6$, $c_r = 0.3$, $k = 0.1$ 。如图 (a) 及图 (b) 所示，即为企业技术创新对 OEM 及 IR 利润的影响。

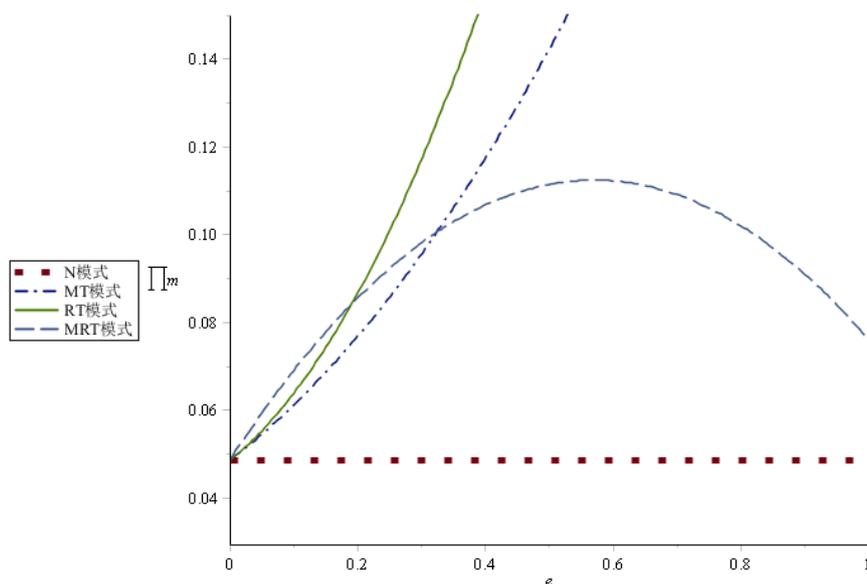


图 (a) 技术创新 e 对 OEM 利润的影响

从图 (a) 中可以看出，无技术创新模式下由于不考虑技术创新，因 OEM 利润与技术创新水平无关，MT 模式和 RT 模式下的 OEM 利润均与供应链技术创新水平正相关，这说明 OEM 和 IR 中无论哪一方单独进行技术创新均对 OEM 有利，均可使其利润增加。而且 IR 技术创新模式下的 OEM 利润增长相对更快，这是因为 IR 进行技术创新时提升了消费者对于再制造产品的需求，OEM 可以收取更多的专利许可费且并不需要花费技术研发成本。当双方同时技术创新时，OEM 的利润随技术创新水平先增加后减少，这是由于技术创新水平较低时，双方通过技术创新提高了消费者效用，从而提高了新再产品的市场需求，OEM 可以获得更多的新产品销售收入，而且可以收取更多的专利许可费，因此利润提升。而技术创新水平较高时，新产品价格升高较多，市场需求因此降低，同时研发成本大量增加，从而减少了 OEM 的利润，说明在二者同时进行技术创新时 OEM 应该保持在适度的技术创新水平，才有利于利润的增加。

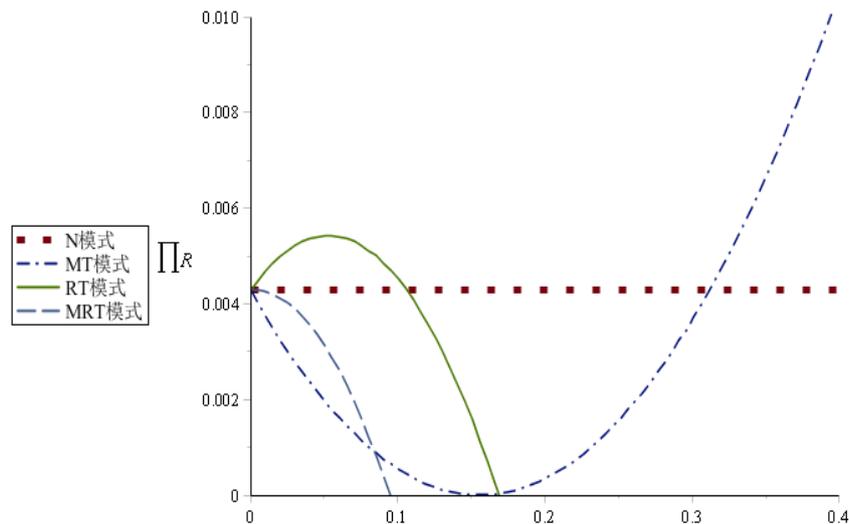
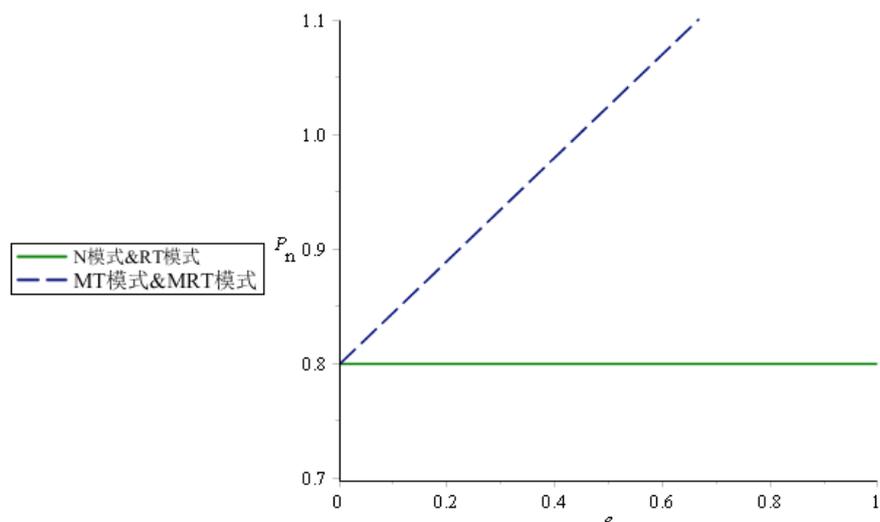
图 (b) 技术创新 e 对 IR 利润的影响

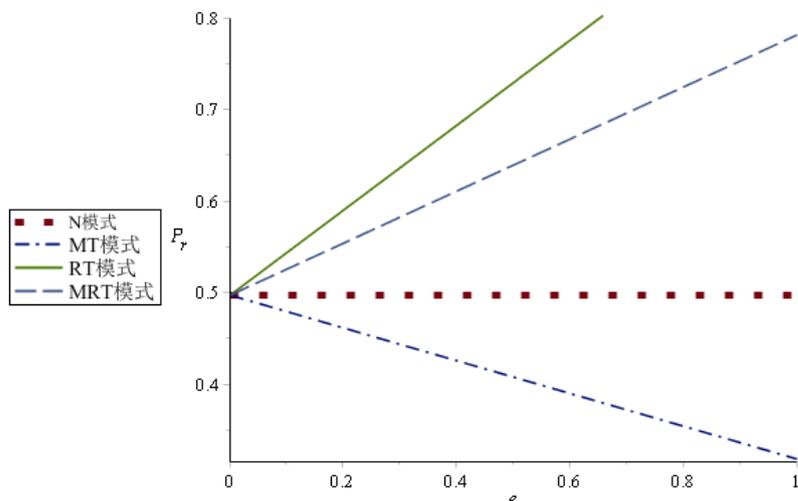
图 (b) 反映出 IR 的利润随技术创新水平的变化情况。N 模式下不考虑技术创新，所以该模式下的 IR 利润与技术创新水平无关。MT 模式下 IR 的利润随技术创新水平先降低后升高，原因在于 MT 模式下 OEM 技术创新水平低于临界值时，新产品价格不贵却有技术上的创新，因此新产品市场需求较大，对再制造产品形成挤兑效应，再制造产品的需求降低，IR 利润水平下降。当 OEM 技术创新水平高于该临界值时，新产品价格过高导致消费者转而选择购买再制造产品，IR 的利润随之增加。RT 模式下 IR 的利润随技术创新水平先升高后降低，原因在于 IR 技术创新水平较低时，再制造产品市场需求升高，利润增加。但当技术创新水平较高时，花费的技术研发成本过大，利润减少。MRT 模式时 IR 利润逐步降低，因为双方同时进行技术创新时，IR 既需要交纳更多的专利许可费又要承担再制造产品的技术研发成本，因此其利润降低，在这种情况下这将打击 IR 开展技术创新的积极性，此时应当基于 IR 一定的补贴激励其进行技术创新。

6.2 技术创新对新产品及再制造产品定价的影响

算例与 6.1 中假设一致，如图 (c) 及图 (d) 所示，即为四种技术创新模式下企业技术创新对新产品及再制造产品定价的影响。

图(c) 技术创新 e 对新产品价格的影响

图(c)表明在MT模式及MRT模式下新产品价格随技术创新水平的提高而增加,由于OEM是供应链的领导者,优先决定新产品价格而不必考虑IR的决策状况,因此在于IR共同进行技术创新模式下新产品价格不受IR技术创新的影响,与MT模式下的新产品价格保持一致。

图(d) 技术创新 e 对再制造产品价格的影响

图(d)表明RT和MRT模式下再制造产品价格随技术创新水平的提高而增加,说明再制造产品技术创新可以提升其定价。但是MT模式下再制造产品价格与技术创新水平负相关,这是因为在此模式下OEM开展技术创新提升了消费者对新产品的市场需求,对再制造产品形成挤兑效应。而此时IR不开展技术创新,只能选择降低再制造产品价格来与新产品抢夺市场从而获取利润,因此MT模式下再制造产品价格下降。

6.3 技术创新对新产品及再制造产品市场需求的影响

算例与6.1中假设一致,如图(e)及图(f)所示,即为四种技术创新模式下技术创新

对新产品及再制造产品市场需求的影响。

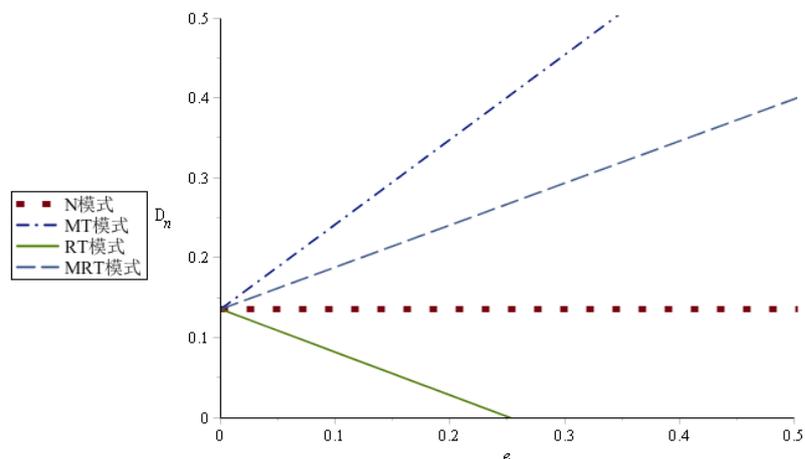


图 (e) 技术创新 e 对新产品市场需求的影响

图 (e) 表明在 MT 模式及 MRT 模式下新产品市场需求随技术创新水平的提高而增加，说明 OEM 技术创新可以提升其新产品的市场需求。其中 MT 模式下市场需求增速更快，因为在 MRT 模式下新产品及再制造产品均进行技术创新，再制造产品一定程度上会对新产品的市场进行抢夺。RT 模式下，IR 进行技术创新，提升了再制造产品的性能及质量，因此消费者转向购买再制造产品，新产品的市场需求降低。

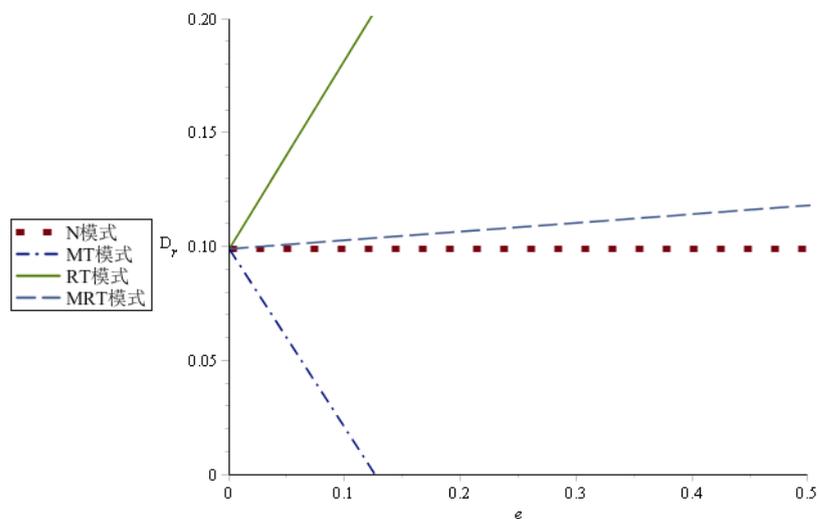


图 (f) 技术创新 e 对再制造产品市场需求的影响

图 (f) 表明在 RT 模式及 MRT 模式下再制造产品市场需求随技术创新水平的提高而增加，说明 IR 技术创新可以提升其再制造产品的市场需求。其中 RT 模式下市场需求增速更快，因为在 MRT 模式下新产品及再制造产品均进行技术创新，新产品与再制造产品的市场进行竞争，因此再制造产品需求增速比 RT 模式慢。MT 模式下，仅 OEM 进行技术创新，提升新产品的性能及质量，因此消费者更加倾向于购买新产品，再制造产品的市场需求降低。

6.4 技术创新对专利许可费用的影响

算例与 6.1 中假设一致, 如图 (g) 所示, 即为四种技术创新模式下技术创新对专利许可费用的影响。

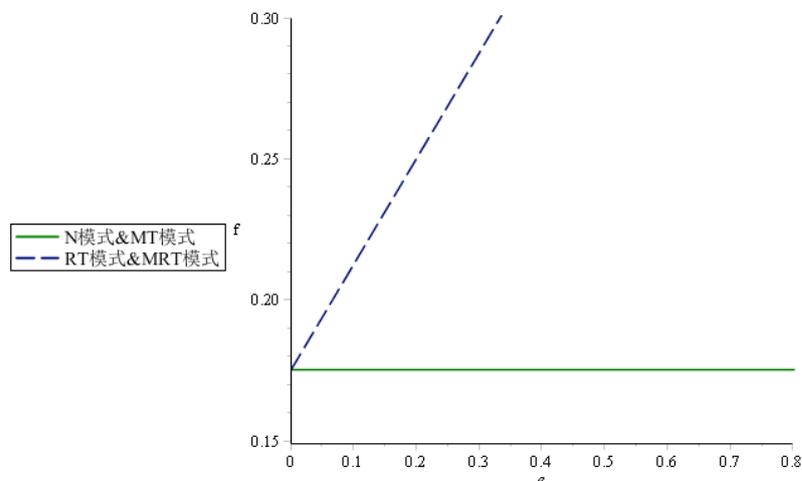


图 (g) 技术创新 e 对专利许可费用的影响

图 (g) 表明 N 和 MT 模式下的专利许可费与技术创新水平无关, 而 RT 和 MRT 模式下的专利许可费随技术创新水平呈线性增加。由于 N 模式下不考虑技术创新, 所以该模式下的专利许可费与技术创新水平无关。MT 模式下仅有 OEM 进行技术创新, 此时仅新产品的市场需求变化, 对再制造产品市场需求并没有显著的影响, 因此在不考虑其他可能因素时, MT 模式下的专利许可费与 N 模式保持一致, 并不随 OEM 的技术创新水平变化而变化。在 RT 和 MRT 模式下, 由于 IR 开展技术创新提升了再制造产品的需求, 因此 OEM 需通过提高单位专利许可费用来减轻再制造产品市场的竞争压力, 因此这两种模式下的专利许可费会随着技术创新水平升高而增加。因此就专利许可费而言, OEM 更加偏好 RT 模式, 因为该模式下 OEM 可以收取较高的专利许可费且不需要进行技术研发费用的投入, 从而降低来自 IR 的竞争压力, 打击 IR 进行技术创新的积极性。

7. 结论

本文研究了单一原制造商 (OEM) 和第三方再制造商 (IR) 组成考虑专利保护的 OEM 占主导地位的闭环供应链, 在考虑供应链成员进行技术创新提升消费者效用进而影响市场需求的情况下, 探讨了四种不同模式下 OEM 和 IR 的最优博弈策略。从 OEM 及 IR 的最优定价、专利许可费及双方利润等不同的角度, 对四种模式的均衡结果进行对比分析。主要研究结论如下:

(1) OEM 和 IR 均不开展技术创新时, 新产品定价随生产成本的增加而增加。专利许可费用随消费者对再制造产品接受度的提高而增加, 随再制造成本的增加而降低。再制造产品定价随再制造成本、新产品生产成本以及消费者对再制造产品接受度的增加而增加。

(2) OEM 开展技术创新而 IR 不进行技术创新时, 新产品定价随 OEM 技术创新水平及新产品成本的提高而增加。专利许可费与无技术创新模式下保持一致, 随消费者对再制造

产品接受度的提高而增加，随再制造成本的增加而降低。且再制造产品定价随 OEM 技术创新水平的提高而降低，随消费者对再制造产品接受度的提高而增加，随新再产品成本的提高而增加。新产品市场需求随 OEM 技术创新水平的提高而增加，再制造产品市场需求则随 OEM 技术创新水平的提高而减少。

(3) IR 开展技术创新而 OEM 不开展技术创新时，新产品的最优定价与无技术创新模式保持一致。专利许可费用随 IR 技术创新水平的提高而增加，随消费者对再制造产品接受度的提高而增加，随再制造成本的增加而降低。再制造产品定价随 IR 技术创新水平的提高而增加，随消费者对再制造产品接受度的提高而增加，随再制造成本的增加而增加。再制造产品市场需求随 IR 技术创新水平的提高而增加，新产品市场需求随 IR 技术创新水平的提高而减少。

(4) OEM 和 IR 同时开展技术创新时，新产品的最优定价和 MT 模式相同，专利许可费与 RT 模式保持一致，而且新产品价格、专利许可费用和再制造产品价格均随技术创新水平的提高而上升，新产品及再制造产品的市场需求随二者技术创新水平的提高而增加。

根据以上研究，得到如下管理启示：

(1) 对 OEM 来说，开展技术创新确实能够提升新产品的市场需求，但过度追求技术创新带来研发成本的巨大增长反而会损害其利润。因此 OEM 应综合考虑其市场需求和技术研发成本的实际情况，合理决定其技术创新水平。

(2) 对 IR 来说，技术创新时应综合注意考虑消费者对再制造产品的接受程度以及 OEM 的专利保护行为。因为 OEM 与 IR 的市场竞争关系，在 IR 生产的再制造产品需求升高时，需要支付的专利许可费用也会增加，此时 OEM 的专利保护在一定程度上会打击 IR 技术创新的积极性。政府应当完善再制造专利保护的相关法律法规，规范 OEM 的专利保护行为，避免不正当的“专利战”。同时为了提高 IR 进行再制造的积极性，政府也应当为其再制造产品的技术创新进行一定的补贴，激励其再制造活动的开展。

(3) 政府应加大对再制造产品的宣传力度，向消费者普及再制造产品相关知识，提升消费者对再制造产品的认知程度和认可程度。从而提升再制造产品的市场需求，提升再制造商的利润。同时鼓励再制造厂商积极开展再制造活动的技术创新，提升再制造产业的竞争力，形成资源的可持续利用。

本文为考虑专利保护与技术创新下的闭环供应链决策与管理提供了一些想法与建议，但依旧存在一些局限与不足，未来研究可从以下角度进行拓展与完善。(1) 本文假设需求为价格线性函数，未来研究可基于不确定性需求函数或更复杂的其他形式；(2) 本文假定原制造商和第三方再制造商所开展的技术创新不存在知识溢出效应，可进一步研究存在知识溢出效应时的影响；(3) 本文研究的是单位费用专利许可模式，之后可进一步研究固定费用专利许可模式；(4) 本文没有考虑政府对再制造商进行再制造行为的补贴，之后可进一步研究政府补贴对闭环供应链决策的影响。尽管本文诸多假设与前提限制了模型的应用场景，但文中研究结果仍具有普遍的现实意义，对于专利保护下考虑技术创新的闭环供应链的管理

都具有积极的影响。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Govindan K, Soleimani H, Kannan D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 240(3):603-626.
- [3] Wang C, Wang W, Huang R. Supply chain enterprise operations and government carbon tax decisions considering carbon emissions[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 152(20):271-280.
- [4] Chen haozhe, Wang, et al. Third-party remanufacturing mode selection: Outsourcing or authorization?[J]. *Transportation research, Part E. Logistics and transportation review*, 2016.
- [5] 徐滨士, 梁秀兵, 史佩京. 我国再制造工程及其产业发展[J]. *表面工程与再制造*, 2015, 15(2):6-10.
- [6] Xiong Y, Zhao Q, Zhou Y. Manufacturer-remanufacturing vs supplier-remanufacturing in a closed-loop supply chain[J]. *International journal of production economics*, 2016, 176(10):21-28.
- [7] Xie P, Liang L, Liu L H, et al. Coordination contracts of dual-channel with cooperation advertising in closed-loop supply chains[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 17 (8):51-58.
- [8] Long X, Ge J. Analysis for recycling and remanufacturing strategies in a supply chain considering consumers' heterogeneous WTP[J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2019, 148(1):80-90.
- [9] Zhang X M, Li Q. Optimal pricing and remanufacturing mode in a closed-loop supply chain of WEEE under government fund policy[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 10(5):35-46.
- [10] Genc T, Talat S. Closed-loop supply chain games with innovation-led lean programs and sustainability - ScienceDirect[J]. *International Journal of Production Economics*, 2018, 219:440-456.
- [11] 朱宾欣, 马志强, 吴宁. 原制造商专利保护对再制造供应链技术创新策略的影响[J]. *计算机集成制造系统*, 2018, 024(9):2329-2340.
- [12] Reimann M, Xiong Y, Zhou Y. Managing a closed-loop supply chain with process innovation for remanufacturing[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 276(2):510-518.
- [13] 许民利, 田成瑞, 简惠云. 专利保护下考虑技术创新的再制造供应链差异定价[J]. *软科学*, 2019, 237(09):31-36.
- [14] Huang Y, Wang Z. Information sharing in a closed-loop supply chain with technology licensing[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 191:113-127.
- [15] Hong X, Govindan K. Quantity and collection decisions in a closed-loop supply chain with technology licensing[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 256(3):820-829.
- [16] Chen J, Liang L, Yao D Q. An analysis of intellectual property licensing strategy under duopoly competition: Component or product-based? [J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 193:502-513.
- [17] 熊中楷, 申成然, 彭志强. 专利保护下再制造闭环供应链协调机制研究[J]. *管理科学学报*, 2011, 14(6):76-85.
- [18] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L. Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing[J]. *Management Science*, 2004, 50(2):239-252.
- [19] Ferrer G, Swaminathan J M. Managing new and remanufactured products[J]. *Operations Research*, 2006, 46(5):553-554.

Research on Closed-loop Supply Chain Pricing Decision under Different Enterprise Technological Innovation Models

SHU Tong, DIAO Shouqi, YAN Yumin

(Business School of Hunan University, Changsha, 410000)

Abstract: In the era of strong competition among manufacturers, technological innovation has become a way for more and more companies to gain competitive advantage. Based on the difference in consumer demand and preference, this paper constructs four different enterprise technology innovation models: no technological innovation, OEM technological innovation, IR technological innovation, and common technological innovation. This paper studies the impact of technological innovation on the profit, licensing fee and pricing decision of the closed-loop supply chain members under different modes. Research shows that: IR technological innovation mode is most beneficial to the increase of OEM profits. When OEM and IR jointly carry out technological innovation, it is necessary to control the degree of innovation to ensure the growth of OEM and IR profits; The price of a new product is only related to the level of technological innovation of the OEM. The price of remanufactured products is the highest when IR carries out technological innovation alone; the patent license fee of IR technological innovation and common technological innovation mode is higher than that of no technological innovation and OEM technology Innovation mode.

Keywords: patent protection; technological innovation; Closed-loop supply chain; differential pricing