

控制与决策

Control and Decision

基于零售商资金约束供应链采用RFID技术的决策及融资分析

张李浩, 王嘉燕, 陈靖

引用本文:

张李浩, 王嘉燕, 陈靖. 基于零售商资金约束供应链采用RFID技术的决策及融资分析[J]. *控制与决策*, 2022, 37(3): 701–711.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0930>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[考虑成员企业风险态度的制造商资金约束闭环供应链定价与回收决策](#)

Pricing and recycling decisions of a closed-loop supply chain considering participators' risk attitudes and manufacturer capital constraint

控制与决策. 2021, 36(5): 1239–1248 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1305>

[不同担保模式下考虑零售商公平关切的闭环供应链博弈模型](#)

Game models of closed-loop supply chain under different warranty modes considering retailer's fairness concerns

控制与决策. 2021, 36(6): 1489–1498 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1328>

[模糊环境下考虑零售商风险偏好的绿色供应链博弈模型](#)

Modeling green supply chain games considering retailer's risk preference in fuzzy environment

控制与决策. 2021, 36(3): 711–723 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0646>

[风险规避制造商市场入侵策略](#)

Market encroachment strategy of risk-averse manufacturer

控制与决策. 2021, 36(10): 2528–2536 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1819>

[平台品牌赋能情境下考虑信息不对称的供应链渠道冲突](#)

Supply chain channel conflicts considering asymmetric information under platform brand empowerment

控制与决策. 2021, 36(9): 2123–2132 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0098>

基于零售商资金约束供应链 采用 RFID 技术的决策及融资分析

张李浩¹, 王嘉燕¹, 陈靖^{2†}

(1. 上海海事大学 物流研究中心, 上海 200135; 2. 上海外国语大学 国际工商管理学院, 上海 200083)

摘要: 为研究零售商存在资金约束和库存错放时, 供应链成员采用无线射频识别 (radio frequency identification, RFID) 技术及融资决策的均衡问题, 以单制造商和单资金约束零售商组成的两级供应链为研究对象, 基于报童模型构建供应链成员采用 RFID 技术前后零售商是否融资 4 种情景下的收益模型, 求解出相应的最优解并探讨供应链成员 RFID 采用决策与零售商的融资策略. 研究发现: 当零售商的自有资金适中时, 供应链成员采用 RFID 技术一定程度上能够缓解零售商的资金约束; 零售商选择融资时, 供应链及其成员能够承担更高的 RFID 成本; 零售商分摊 RFID 固定成本的比例对制造商、零售商和供应链能够承担的 RFID 标签成本阈值有决定性的影响.

关键词: 资金约束零售商; RFID 技术; 库存错放; 融资分析; 均衡策略

中图分类号: TP273

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.0930

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



引用格式: 张李浩, 王嘉燕, 陈靖. 基于零售商资金约束供应链采用 RFID 技术的决策及融资分析 [J]. 控制与决策, 2022, 37(3): 701-711.

Equilibrium strategies of RFID adoption and financing in a supply chain with a capital-constrained retailer

ZHANG Li-hao¹, WANG Jia-yan¹, CHEN Jing^{2†}

(1. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China; 2. SISU School of Business and Management, Shanghai International Studies University, Shanghai 200083, China)

Abstract: This paper investigates the RFID adoption and financing strategies in a supply chain with one manufacturer and one capital-constrained retailer facing an inventory misplacement problem. Based on whether the supply chain players adopt RFID and the capital-constrained retailer chooses to finance or not, we use the Newsvendor model to establish four profit models. We derive the corresponding optimal order quantity, prices and profits under different scenarios, and explore the equilibrium strategy for the supply chain. It is found that when the retailer's initial capital is moderate, adopting RFID technology can alleviate the retailer's financial constraints. When the retailer chooses to finance, the supply chain and its players can afford a higher RFID tagging cost. In addition, the proportion of the retailer sharing RFID fixed cost has a decisive effect on the RFID tagging cost thresholds that the manufacturer, the retailer and the supply chain can afford.

Keywords: capital-constrained retailer; RFID technology; inventory misplacement; financing decisions; equilibrium strategies

0 引言

随着市场竞争的日益加剧, 资金约束已成为制约企业发展的普遍问题^[1]. Archibald 等^[2]通过研究发现, 28% 的中小型企业破产是由资金不足导致的. 对于零售企业而言, 资金不足使其无法实现最优的订货数量, 进而影响供应链成员的收益. 此外, 零售商因

商品订购数量大, 频繁地出入库以及顾客选购商品等原因, 极易产生库存错放问题. 库存错放是指一部分商品被放置在错误的位置, 不能及时满足顾客的需求. Dehoratius 等^[3]对美国大型零售商 Gamma 公司的 30 万条数据记录记录进行分析后发现, 不准确的记录高达 65%; Raman 等^[4]通过案例研究发现, 商品错放大

收稿日期: 2020-07-09; 录用日期: 2020-11-23.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71971137, 71601114, 71702106).

责任编委: 李登峰.

† 通讯作者. E-mail: Jingchen@shisu.edu.cn.

约可使得零售商的收益减少25%。企业需要通过增加库存量以降低其因库存错放而引起的缺货损失,但是这无疑增大了零售商的库存成本,进一步加剧了其资金约束程度。因此,减少甚至消除商品错放的数量并通过融资的方式缓解零售企业资金约束问题,对改善供应链绩效具有十分重要的意义。

RFID是解决企业库存错放问题最有效的技术,其通过RFID扫描器可以随时监测商品的位置,多应用于制造业、零售业等领域^[5]。然而,供应链成员采用RFID带来的技术成本又将影响零售商的资金约束程度。目前,不少企业开始通过一些合理的方法,向企业以外的其他经济实体筹集资金的方式进行RFID技术的投资。例如:2020年新三板公司德鑫物联为了满足市场对RFID应用爆发式增长的需求,结合其在RFID行业十多年的运营经验,拟通过募集1.6亿元资金以大幅推动RFID技术的应用和相关设备的生产。由此可见,资金约束企业通过融资的方式实现RFID技术的投资,已是供应链中较为普遍的运作方式。因此,考虑资金充足的单制造商和存在资金约束和库存错放的单零售商组成的两级供应链,假设RFID的固定成本由上下游企业分摊^[5],制造商承担RFID的标签成本并通过博弈制定的新批发价格与零售商进行分摊^[6],构建了4种情景的收益模型:供应链成员不采用RFID技术时,零售商选择不融资或融资;供应链成员采用RFID技术时,零售商选择不融资或融资。此时,零售商的资金约束问题对供应链成员的RFID采用决策有什么影响?供应链成员的RFID采用决策又将如何影响零售商的融资策略?供应链成员是否存在RFID技术采用和融资的均衡策略?以上问题亟待解决。

已有学者研究了资金约束企业的生产和融资决策问题。郭金森等^[7]在市场需求不确定情形下,研究了资金约束零售商和采用3种契约策略的双渠道制造商的运作策略和收益。沈建男等^[8]研究了不同付款方式对资金约束供应链最优定价的影响。陈震等^[9]考虑了存在初始资金与资金约束的单产品批量问题,结合资金的变化构建了数学模型,并设计算法进行求解,探讨了资金量对生产计划的影响。Kouvelis等^[10]研究了当制造商和零售商都存在资金约束时,银行信贷利率、贸易信贷利率以及无风险利率对链上成员融资方式的影响。Yang等^[11]基于一个制造商和两个资金约束的零售商构成的二级供应链,探讨了外部融资对供应链成员的定价决策及收益的影响。上述

研究缺乏考虑产品错放问题对资金约束零售商融资决策的影响。此外,目前RFID技术应用总成本仍然较高,现有研究尚未探讨供应链成员能否通过融资方式实现RFID技术的投资以消除库存错放,进而增强自身竞争力的问题。

关于库存错放和供应链采用RFID技术的决策问题,国内外学者进行了相关研究。Rekik等^[12]分析了库存错放对供应链成员收益的影响。Cannella等^[13]基于库存错放问题分析了库存审核频率、交货时间等因素对供应链整体收益的影响。Fan等^[14]分析了单制造商和单零售商组成的两级供应链采用RFID的成本阈值,并通过数据模拟探讨了RFID成本变化对链上成员收益的影响。Xu等^[15]讨论了市场需求为均匀分布时供应链成员能够承担的RFID成本的表达式。Zhang等^[16]考虑库存错放问题对供应链成员收益的影响,得出了链上成员采用RFID的均衡策略。Wang等^[17]基于单周期随机需求情景分析了RFID技术对不同库存决策的订货量和收益的影响,并探讨了不同需求敏感系数时库存错放问题对零售商收益的影响。张李浩等^[18]通过建立RFID采用前后分散式和集中式供应链的收益模型,分析了RFID标签成本阈值对批发价、服务水平和协调参数的影响。上述研究缺乏考虑链上成员存在资金约束对供应链成员采用RFID技术决策的影响。

本文以单制造商和单资金约束零售商组成的两级供应链为研究对象,考虑零售商的自有资金、库存错放率及RFID成本对供应链成员采用RFID技术的决策及融资策略的影响。针对供应链成员是否采用RFID技术及零售商是否选择融资这4种情景,分析得出各情景下的供应链成员最优批发价格、订货量和利润,得出零售商资金约束供应链的RFID采用与融资均衡策略。

1 模型描述与基本假设

本文考虑由单个制造商和单个零售商组成的两级供应链,其中制造商的自有资金是充足的,零售商存在资金约束和库存错放两个问题,制造商通过零售商销售一种单位生产成本为 c 的短生命周期商品(如牛奶、面包、服装等)。假设制造商为供应链Stackelberg博弈的领导者,零售商为跟随者。此外,假设制造商和零售商为风险中性且完全理性,链上成员间的信息完全对称且均以自身利润最大化作决策。

为了消除库存错放问题,供应链成员需要决策是否采用RFID技术。当链上成员不采用RFID技术时,零售商的库存错放率为 α ($\alpha \in [0, 1]$)。此时,若零售

商订购 q 个商品,则仅有 $(1 - \alpha)q$ 个商品能够用于满足市场需求, αq 个商品由于错放而无法进行销售. 本文考虑的是短生命周期的商品,不考虑错放商品的残值. 若供应链成员采用RFID技术,则零售商的库存错放率为 $\alpha = 0^{[5,16]}$. RFID技术成本包括固定成本和变动标签成本两部分^[5]. 假设RFID的固定成本为 F ,零售商分摊的比例为 $\theta(\theta \in [0, 1])$,即零售商和制造商分别承担 θF 和 $(1 - \theta)F$ 的RFID固定成本. RFID标签成本为 t ,假设由制造商先行支付,并通过博弈制定的新批发价格与零售商进行分摊^[6]. 此外,考虑RFID固定成本的期末残值为 S ,满足 $S < F$,零售商和制造商获得的期末残值分别为 θS 和 $(1 - \theta)S$.

为了缓解资金约束的影响,零售商需要决策是否融资,假设零售商的自有资金为 K ,零售商选择融资,银行的融资利率为 r ,市场的无风险利率为 r_f ,满足 $r \geq r_f$. 此外,银行从事融资活动无法获得超额利润,且其期望收益等于无风险投资收益. 产品的市场需求为 ξ ,其概率密度函数和分布函数分别为 $f(\xi)$ 和 $F(\xi)$. 市场需求分布函数 $F(\xi)$ 满足失效率递增(increasing failure rate, IFR)性质, $g(\xi) = f(\xi)/\bar{F}(\xi)$ 为增函数,很多常见的分布函数,如正态分布、指数分布、均匀分布、韦伯分布等均满足这些性质^[19].

供应链成员的决策顺序如下: 1) 供应链上下游企业协商确定是否采用RFID技术. 2) 制造商作为Stackelberg博弈的领导者,制定商品的单位批发价格 w . 3) 资金约束的零售商决策是否融资. 4) 零售商确定商品的订货 q ,并立即支付资金给制造商. 5) 销售期结束后,零售商获得销售利润并偿还融资本息(如有);若销售利润过低,则会出现违约的情况,此时假设零售商破产并且所有利润转移给银行.

2 供应链成员的收益模型及零售商的融资决策

2.1 供应链成员不采用RFID技术的收益模型

当供应链成员不采用RFID技术时,零售商面临库存错放问题,资金约束的零售商存在不融资和融资两种选择. 零售商选择不融资时,其订货决策受到自有资金的约束. 零售商选择融资时,其能够获得足够的资金进行采购,在销售期结束获得利润后,零售商需要偿还融资本息;若其销售利润过低,则零售商会出现违约,此时假设零售商破产并且所有利润转移给银行.

2.1.1 零售商不融资(NN情景)

当供应链成员不采用RFID技术且不融资时,零售商的订货量为 q^{NN} . 由于存在库存错放,零售商订

购的 q^{NN} 个商品中仅有 $(1 - \alpha)q^{NN}$ 个商品能够用于满足市场需求, αq^{NN} 个商品由于错放而无法进行销售. 由于市场需求是随机的,零售商的期望收益为 $p \min[(1 - \alpha)q^{NN}, \xi]$,订货成本为 $w^{NN}q^{NN}(1 + r_f)$. 由此可得销售期结束后,零售商的期望利润为

$$\begin{aligned} \pi_r^{NN} &= E\{p \min[(1 - \alpha)q^{NN}, \xi]\} - \\ &w^{NN}q^{NN}(1 + r_f); \\ \text{s.t. } 0 &< w^{NN}q^{NN} \leq K. \end{aligned} \quad (1)$$

由于

$$\frac{\partial^2 \pi_r^{NN}}{(\partial q^{NN})^2} = -(1 - \alpha)^2 p f((1 - \alpha)q^{NN}) < 0,$$

考虑约束条件 $0 < w^{NN}q^{NN} \leq K$,得到零售商的订货量为

$$q^{NN} = \min \left\{ \frac{1}{(1 - \alpha)} \bar{F}^{-1} \left(\frac{w^{NN}(1 + r_f)}{(1 - \alpha)p} \right), \frac{K}{w^{NN}} \right\}. \quad (2)$$

制造商在生产前收到 $w^{NN}q^{NN}$ 的订货金额,并根据订单数量安排生产,付出 cq^{NN} 金额的生产成本. 考虑制造商资金的无风险收益,得到其利润函数为

$$\pi_m^{NN} = (w^{NN} - c)q^{NN}(1 + r_f). \quad (3)$$

由于零售商存在资金约束,即 $0 < w^{NN}q^{NN} \leq K$,制造商可能无法实现报童模型时的最优批发价格. 记 \bar{w}^{NN} 和 \underline{w}^{NN} 为 $K = w^{NN}q^{NN}$ 时的两个根,其中 $\underline{w}^{NN} \leq \bar{w}^{NN}$. 当 $w^{NN} \in (\underline{w}^{NN}, \bar{w}^{NN}]$ 时,零售商为满足市场需求会订购总金额为 K 的产品,此时制造商的最优批发价为 $w^{NN*} = \bar{w}^{NN}$. 当 $(\underline{w}^{NN}, \bar{w}^{NN}) = \emptyset$ 时,零售商不存在资金约束,此时制造商的最优批发价格与报童模型时的最优批发价格一致,即关于 π_m^{NN} 对 w^{NN} 求一阶导数,有

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_m^{NN}}{\partial w^{NN}} &= \frac{\partial \pi_m^{NN}}{\partial q^{NN}} \frac{\partial q^{NN}}{\partial w^{NN}} = \\ &(1 + r_f)q^{NN} + (w^{NN} - c)(1 + r_f) \frac{\partial q^{NN}}{\partial w^{NN}}, \end{aligned}$$

其中

$$\frac{\partial q^{NN}}{\partial w^{NN}} = -\frac{1 + r_f}{(1 - \alpha)^2 p f((1 - \alpha)q^{NN})}.$$

进一步地,对 w^{NN} 求二阶导数,可得

$$\frac{\partial^2 \pi_m^{NN}}{\partial (w^{NN})^2} < 0.$$

由市场需求具有失效率递增的性质可知, π_m^{NN} 是关于 w^{NN} 的凹函数. 由此得到,当供应链成员不采用RFID技术且零售商不融资时,制造商的最优批发价为

$$w^{NN*} = \begin{cases} \bar{w}^{NN}, & K \leq K_N; \\ \hat{w}^{NN}, & K > K_N. \end{cases}$$

零售商的最优订货量为

$$q^{NN*} = \begin{cases} \underline{q}^{NN}, & K \leq K_N; \\ \hat{q}^{NN}, & K > K_N. \end{cases}$$

制造商和零售商的最大利润分别为

$$\pi_m^{NN*} = \begin{cases} (1+r_f)(K - c\underline{q}^{NN}), & K \leq K_N; \\ p[(1-\alpha)\hat{q}^{NN}]^2 f((1-\alpha)\hat{q}^{NN}), & K > K_N. \end{cases}$$

$$\pi_r^{NN*} = \begin{cases} p \int_0^{(1-\alpha)\underline{q}^{NN}} \xi f(\xi) d\xi, & K \leq K_N; \\ p \int_0^{(1-\alpha)\hat{q}^{NN}} \xi f(\xi) d\xi, & K > K_N. \end{cases}$$

其中

$$\underline{q}^{NN} = K/\bar{w}^{NN},$$

$$\bar{w}^{NN} = \max \left\{ \arg \left\{ K = \frac{(1-\alpha)p\bar{F}((1-\alpha)q^{NN})q^{NN}}{1+r_f} \right\} \right\},$$

$$\hat{q}^{NN} = \frac{\bar{F}^{-1}(\bar{w}^{NN}(1+r_f)(1-\alpha)p)}{1-\alpha},$$

$$\bar{w}^{NN} = \frac{(1-\alpha)^2 \hat{q}^{NN} p f(1-\alpha)q^{NN}}{1+r_f} + c,$$

$$\hat{w}^{NN} = \frac{(1-\alpha)^2 \hat{q}^{NN} p f(1-\alpha)q^{NN}}{1+r_f} + c,$$

$$K_N = \arg_K \left\{ \bar{F}((1-\alpha)q^{NN})q^{NN} = \frac{(1+r_f)K}{(1-\alpha)p}, \right.$$

$$\left. [\bar{F}((1-\alpha)q^{NN})(1-\alpha)q^{NN} f((1-\alpha)q^{NN})] = \frac{c(1+r_f)}{(1-\alpha)p} \right\}.$$

2.1.2 零售商融资(NF情景)

当供应链成员不采用RFID技术,零售商选择融资并借款 $L_N = (w^{NF}q^{NF} - K)^+$ 时,其资金约束问题将得到解决,零售商销售期结束后需偿还银行本息 $L_N(1+r_N)$. 若零售商最终获得的利润过低,则出现违约,此时零售商破产并且所有利润转移给银行. 零售商的破产临界需求为 $z_N(w^{NF}, q^{NF}) = L_N(1+r_N)/p$, 当实际需求小于 $z_N(w^{NF}, q^{NF})$ 时,零售商会破产. 假设银行是风险中性且处于完全竞争的市场,其只能获得无风险收益,从而银行的期望收益为

$$\pi_b^{NF} = E\{\min[p \min((1-\alpha)q^{NF}, \xi), L_N(1+r_N)]\} = L_N(1+r_f).$$

零售商选择融资时的期望利润为

$$\pi_r^{NF} = E\{p \min((1-\alpha)q^{NF}, \xi) - L_N(1+r_N)\}^+ - K(1+r_f);$$

$$\text{s.t. } \pi_b^{NF} = L_N(1+r_f). \quad (4)$$

由式(4)可得

$$\frac{\partial \pi_r^{NF}}{\partial q^{NF}} = (1-\alpha)p\bar{F}((1-\alpha)q^{NF}) - w^{NF}(1+r_N),$$

$$\frac{\partial^2 \pi_r^{NF}}{\partial (q^{NF})^2} < 0,$$

因此零售商的最优订货量为

$$q^{NF} = \frac{1}{1-\alpha} \bar{F}^{-1} \left(\frac{w^{NF}(1+r_N)}{(1-\alpha)p} \right). \quad (5)$$

考虑制造商资金的无风险收益,得到其利润函数为

$$\pi_m^{NF} = (w^{NF} - c)q^{NF}(1+r_f). \quad (6)$$

关于 π_m^{NF} 对 w^{NF} 求一阶导数,有

$$\frac{\partial \pi_m^{NF}}{\partial w^{NF}} = \frac{\partial \pi_m^{NF}}{\partial q^{NF}} \frac{\partial q^{NF}}{\partial w^{NF}} = (1+r_f)q^{NF} + (w^{NF} - c)(1+r_f) \frac{\partial q^{NF}}{\partial w^{NF}},$$

其中

$$\frac{\partial q^{NF}}{\partial w^{NF}} = -\frac{1+r_N}{(1-\alpha)^2 p f((1-\alpha)q^{NF})}.$$

进一步地,对 w^{NF} 求二阶导数,可得 $\frac{\partial^2 \pi_m^{NF}}{\partial (w^{NF})^2} < 0$,

由市场需求具有失效率递增的性质可知, π_m^{NF} 是关于 w^{NF} 的凹函数. 由此得到,当供应链成员不采用RFID技术且零售商选择融资时,制造商的最优批发价为

$$w^{NF*} = \frac{(1-\alpha)^2 q^{NF*} p f((1-\alpha)q^{NF})}{1+r_N^*} + c.$$

零售商的最优订货量为

$$q^{NF*} = \frac{\bar{F}^{-1}(w^{NF*}(1+r_N)/(1-\alpha)p)}{1-\alpha}.$$

银行最优利率为

$$r_N^* = r_f + \frac{p \int_0^{z_N(w^{NF*}, q^{NF*})} F(x) dx}{w^{NF*} q^{NF*} - K}.$$

制造商和零售商的最大利润分别为

$$\pi_m^{NF*} = p((1-\alpha)q^{NF*})^2 f((1-\alpha)q^{NF*}),$$

$$\pi_r^{NF*} = p \int_0^{(1-\alpha)q^{NF*}} \xi f(\xi) d\xi.$$

2.1.3 供应链成员不采用RFID技术时的零售商订货量及融资决策分析

假设 $\xi \sim U(0, 100)$, $c = 5$, $p = 20$, $r_f = 0.1$, 绘制供应链成员不采用RFID技术时订货量和批发价格的函数关系如图1所示. 可以发现:零售商选择融资能够消除其资金约束问题,从而零售商的订货量关于批发价格的函数图像是线性的,此时制造商制定的最优批发价格 w^{NF*} 能够确保其获得最大利润,从而零售商的最优订货量为 q^{NF*} .

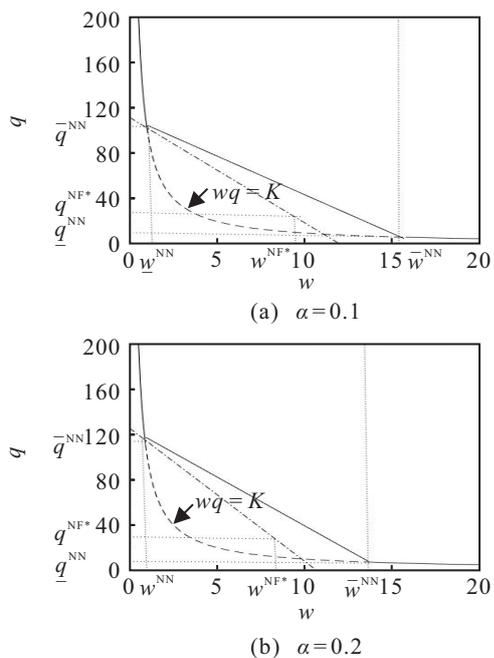


图1 不采用RFID技术时订货量关于批发价格的变化

当零售商选择不融资时,批发价格对应的订货量曲线将会变化,此时制造商制定的批发价格决定了零售商的订货量.当 $w^{NN} \in (\underline{w}^{NN}, \bar{w}^{NN}]$ 时,零售商存在资金约束.零售商为了实现自身收益的最大化,会选择将全部资金 K 用于订货,因此制造商仅设置 w^{NN} 或 \bar{w}^{NN} 这两个批发价格,并获得相同的收益 K .由图1可以发现, $\bar{q}^{NN} > \underline{q}^{NN}$,对应的制造商需要支付的生产成本 $c\bar{q}^{NN} > c\underline{q}^{NN}$.制造商为了实现利润最大化, \bar{w}^{NN} 将是其最优的批发价格,从而零售商选择不融资时的最优订货量为 \underline{q}^{NN} .

此外,当零售商的错放率较低时,通过对比图1(a)和(b)可以发现,零售商选择融资/不融资时制造商的最优批发价格 w^{NF*}/\bar{w}^{NN} 均随着零售商错放率 α 的增大而减小,这是因为错放问题降低了零售商可销售商品的数量,此时制造商通过降低批发价格以鼓励零售商多订货,从而零售商选择融资/不融资时的最优订货量 $q^{NF*}/\underline{q}^{NN}$ 均随着错放率的增大而增大.

当供应链成员不采用RFID技术时,零售商需要决策是否选择融资以缓解自身的资金约束问题.通过对比零售商融资前后的期望利润,得出其融资决策如引理1所示.

引理1 若供应链成员不采用RFID技术,则:当 $K \leq K_N$ 时,零售商选择融资;当 $K > K_N$ 时,零售商选择不融资.

2.2 供应链成员采用RFID技术的收益模型

当供应链成员采用RFID技术时,零售商的库存错放问题能够被完全消除.此时,资金约束的零售商仍存在两种选择:不融资和融资.本节将分析供应链

成员采用RFID技术时的零售商融资决策.

2.2.1 零售商不融资(AN情景)

当供应链成员采用RFID技术时,零售商的库存错放率 $\alpha = 0$.此时,零售商分摊 θF 的RFID固定成本,期末获得 θS 的RFID固定成本的残值.由此得到零售商选择融资时的期望利润为

$$\begin{aligned} \pi_r^{AN} &= E[p \min(q^{AN}, \xi)] - w^{AN} q^{AN} (1 + r_f) - \\ &\quad \theta F (1 + r_f) + \theta S; \\ \text{s.t. } &0 \leq w^{AN} q^{AN} \leq K - \theta F. \end{aligned} \tag{7}$$

由于

$$\frac{\partial^2 \pi_r^{AN}}{\partial (q^{AN})^2} = -pf(q^{AN}) < 0,$$

考虑约束条件

$$0 < w^{AN} q^{AN} \leq K - \theta F,$$

得到零售商的订货量为

$$q^{AN} = \min \left\{ \bar{F}^{-1} \left(\frac{w^{AN} (1 + r_f)}{p} \right), \frac{K - \theta F}{w^{AN}} \right\}. \tag{8}$$

当投资RFID技术后,制造商先支付全部的标签成本 tq^{AN} ,再通过制定新的批发价格与零售商共同分担.制造商在生产前收到 $w^{AN}q^{AN}$ 的订货金额,并根据订单数量安排生产,付出 cq^{AN} 金额的生产成本.考虑制造商资金的无风险收益,得到其利润函数为

$$\begin{aligned} \pi_m^{AN} &= (w^{AN} - c - t)q^{AN} (1 + r_f) - \\ &\quad (1 - \theta)F (1 + r_f) + (1 - \theta)S. \end{aligned} \tag{9}$$

类似第2.1.1节的求解思路,当供应链成员采用RFID技术且零售商不融资时,制造商最优批发价为

$$w^{AN*} = \begin{cases} \bar{w}^{AN}, & \theta F < K \leq K_A; \\ \hat{w}^{AN}, & K > K_A. \end{cases}$$

零售商的最优订货量为

$$q^{AN*} = \begin{cases} \underline{q}^{AN}, & \theta F < K \leq K_A; \\ \hat{q}^{AN}, & K > K_A. \end{cases}$$

制造商和零售商的最大利润分别为

$$\begin{aligned} \pi_m^{AN*} &= \begin{cases} (1 + r_f)[K - \theta F - (c + t)^{AN}] - \\ (1 - \theta)[F(1 + r_f) - S], & K \leq K_A; \\ p(\hat{q}^{AN})^2 f(\hat{q}^{AN}) - (1 - \theta)[F(1 + r_f) - S], & K > K_A. \end{cases} \\ \pi_r^{AN*} &= \begin{cases} p \int_0^{\hat{q}^{AN}} \xi f(\xi) d\xi - \theta[F(1 + r_f) - S], & \theta F < K \leq K_A; \\ p \int_0^{\hat{q}^{AN}} \xi f(\xi) d\xi - \theta[F(1 + r_f) - S], & K > K_A. \end{cases} \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} \underline{q}^{\text{AN}} &= (K - \theta F) / \bar{w}^{\text{AN}}, \\ \bar{w}^{\text{AN}} &= \max \left\{ \arg \left\{ K = \frac{p \bar{F}(q^{\text{AN}}) q^{\text{AN}}}{1 + r_f} \right\} \right\}, \\ \hat{q}^{\text{AN}} &= \bar{F}^{-1} \left(\frac{\hat{w}^{\text{AN}} (1 + r_f)}{p} \right), \\ \hat{w}^{\text{AN}} &= \frac{\hat{q}^{\text{AN}} p f(q^{\text{AN}})}{1 + r_f} + c + t, \\ K_A - \theta F &= \arg \left\{ p \bar{F}(q^{\text{AN}}) q^{\text{AN}} = (1 + r_f) K, \right. \\ &\quad \left. p \bar{F}(q^{\text{AN}}) - p q^{\text{AN}} f(q^{\text{AN}}) = \right. \\ &\quad \left. (c + t)(1 + r_f) \right\}. \end{aligned}$$

2.2.2 零售商融资(AF情景)

当供应链成员采用RFID技术,零售商选择融资并借款 $L_A = (w^{\text{AF}} q^{\text{AF}} + \theta F - K)^+$ 时,其资金约束问题将得到解决.零售商销售期结束后需偿还融资本息 $L_A(1 + r_A)$,破产临界需求为

$$z_A(w^{\text{AF}}, q^{\text{AF}}) = [L_A(1 + r_A) - \theta S] / p,$$

当实际需求小于该临界值时,零售商破产.假设银行为风险中性且处于完全竞争的市场,其只能获得无风险收益,即此时银行的期望收益为

$$\begin{aligned} \pi_b^A &= E\{\min[p \min(q^{\text{AF}}, \xi) + \theta S, L_A(1 + r_A)]\} = \\ &L_A(1 + r_f). \end{aligned}$$

由此得到零售商选择融资时的期望利润为

$$\begin{aligned} \pi_r^{\text{AF}} &= E\{p \min(q^{\text{AF}}, \xi) + \theta S - L_A(1 + r_A)\}^+ - \\ &(1 + r_f)K; \\ \text{s.t. } \pi_b^{\text{AF}} &= L_A(1 + r_f). \end{aligned} \quad (10)$$

由式(10)可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_r^{\text{AF}}}{\partial q^{\text{AF}}} &= p \bar{F}(q^{\text{AF}}) - w^{\text{AF}}(1 + r_A), \\ \frac{\partial^2 \pi_r^{\text{AF}}}{\partial (q^{\text{AF}})^2} &= -p f(q^{\text{AF}}) < 0, \end{aligned}$$

因此零售商的订货量为

$$q^{\text{AF}} = \bar{F}^{-1} \left(\frac{w^{\text{AF}} (1 + r_A)}{p} \right). \quad (11)$$

考虑制造商资金的无风险收益,得到其利润函数为

$$\begin{aligned} \pi_m^{\text{AF}} &= (w^{\text{AF}} - c - t) q^{\text{AF}} (1 + r_f) - \\ &(1 - \theta)[F(1 + r_f) - S]. \end{aligned} \quad (12)$$

类似第2.1.2节的求解思路,当供应链成员采用RFID技术且零售商选择融资时,制造商的最优批发价为

$$w^{\text{AF}*} = \frac{q^{\text{AF}*} p f(q^{\text{AF}})}{1 + r_A} + c + t,$$

零售商的最优订货量为

$$q^{\text{AF}*} = \bar{F}^{-1} \left(\frac{w^{\text{AF}*} (1 + r_A)}{p} \right).$$

银行最优利率为

$$r_A^* = r_f + \frac{p \int_0^{z_A} (w^{\text{AF}*}, q^{\text{AF}*}) F(x) dx}{w^{\text{AF}*} q^{\text{AF}*} + \theta F - K}.$$

制造商和零售商的最大利润分别为

$$\begin{aligned} \pi_m^{\text{AF}*} &= p (q^{\text{AF}*})^2 f(q^{\text{AF}*}) - [(1 - \theta)F(1 + r_f) - S], \\ \pi_r^{\text{AF}*} &= p \int_0^{q^{\text{AF}*}} \xi f(\xi) d\xi - \theta[F(1 + r_f) - S]. \end{aligned}$$

2.2.3 供应链成员采用RFID技术时的零售商订货量及融资决策分析

假设 $\xi \sim U(0, 100)$, $c = 5$, $p = 20$, $r_f = 0.1$, 绘制供应链成员采用RFID技术时订货量和批发价格的函数关系如图2所示.可以发现:零售商选择融资时,零售商的订货量关于批发价格的函数图像是线性的,此时制造商制定的最优批发价格 $w^{\text{AF}*}$ 能够确保其获得最大利润,从而零售商的最优订货量为 $q^{\text{AF}*}$.零售商选择不融资时,若 $w^{\text{AN}} \in (\underline{w}^{\text{AN}}, \bar{w}^{\text{AN}}]$, 则零售商存在资金约束.与图1思想类似,零售商会选择将全部资金用于订货,制造商为了实现利润最大化,将设定其最优批发价格为 \bar{w}^{AN} , 从而零售商选择不融资时的最优订货量为 $\underline{q}^{\text{AN}}$.

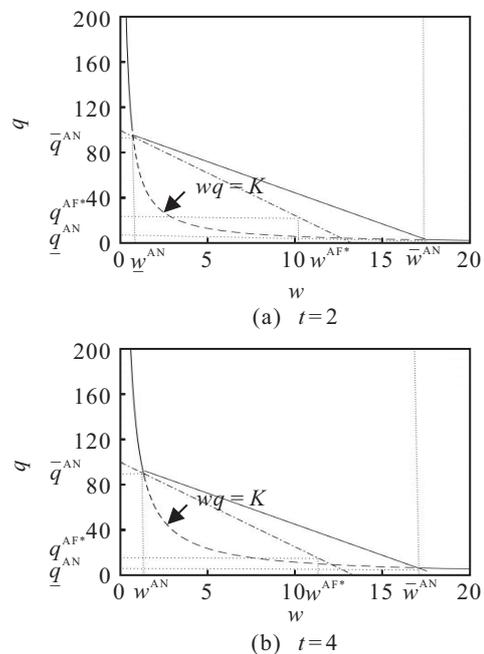


图2 采用RFID技术时订货量关于批发价格的变化

此外,当RFID标签成本较低时,通过对比图2(a)和(b)可以发现,零售商选择融资/不融资时制造商的最优批发价格 $w^{\text{AF}*} / \bar{w}^{\text{AN}}$ 均随着RFID标签成本 t 的增大而增大.这是因为制造商承担了RFID标签的成本,然后通过博弈制定的批发价格与零售商进行

分摊,从而较高的RFID标签成本必然引起批发价格的上升,导致零售商的订货量减少,即零售商选择融资/不融资时的最优订货量 q^{AF*}/q^{AN} 均随着RFID标签成本 t 的增大而减少。

当供应链成员采用RFID技术时,零售商同样可以选择融资或者不融资.通过对比零售商融资前后的自身收益对比,得出零售商融资决策的子博弈策略如引理2所示。

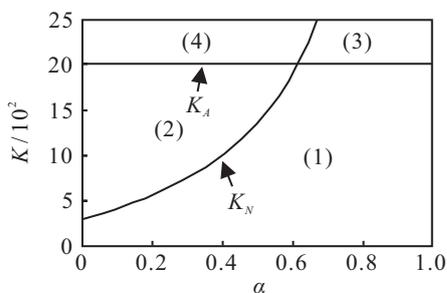
引理2 若供应链成员采用RFID技术,则:当 $K \leq K_A$ 时,零售商选择融资;当 $K > K_A$ 时,零售商选择不融资。

2.3 零售商的融资决策分析

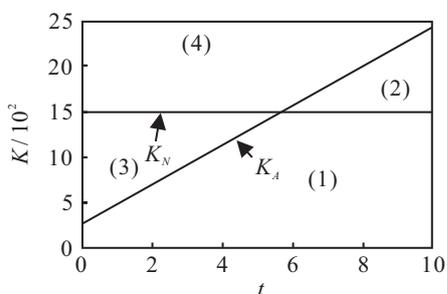
由引理1和引理2,得到零售商的融资策略如定理1所示。

定理1 1)当 $K \leq \min\{K_N, K_A\}$ 时,零售商选择融资;2)当 $K_N < K \leq K_A$ 时,零售商是否融资与供应链成员是否采用RFID的决策一致;3)当 $K_A < K \leq K_N$ 时,零售商是否融资与供应链成员是否采用RFID的决策相反;4)当 $K > \max\{K_N, K_A\}$ 时,零售商选择不融资。

为了直观地展示定理1的结论,假设 $\xi \sim U(0, 100)$, $c = 5, p = 20, r_f = 0.3, \theta = 0.6, F = 10, S = 4$,分别绘制库存错放率和RFID标签成本对零售商融资决策的影响,如图3(a)和(b)所示,图3中的区域(1)、(4)分别与定理1中的策略1)、4)相对应。



(a) 库存错放率对融资策略阈值的影响



(b) RFID 标签成本对融资策略阈值的影响

图3 库存错放率及RFID标签成本对融资策略阈值影响

首先,分析库存错放率 α 对 K_N 的影响,如图3(a)所示.可以发现:随着库存错放率 α 的增加,零售商的自有资金阈值 K_N 上升,表明较高的库存错放率使得

零售商的资金约束情况更加严重.这是因为过高的错放率将导致零售商实际可销售商品的边际成本上升,零售商需要通过融资去订购更多商品用以抵消一部分库存错放带来的损失,以使自身的收益增加。

然后,分析RFID标签成本 t 对 K_A 的影响,如图3(b)所示.可以发现:随着RFID标签成本 t 的增加,零售商的自有资金阈值 K_A 随之增大,这表明RFID标签成本会影响零售商的融资决策.当标签成本较大时,资金约束零售商更倾向于进行融资从而改善其资金约束问题。

最后,结合定理1和图3发现,当零售商的自有资金很低($K \leq \min\{K_N, K_A\}$)时,其将选择融资;当零售商的自有资金很高($K > \max\{K_N, K_A\}$)时,其将选择不融资.此时,零售商的融资决策均与供应链成员是否采用RFID技术无关.当零售商的自有资金适中($\min\{K_N, K_A\} < K \leq \max\{K_N, K_A\}$)时,供应链成员是否采用RFID技术直接影响零售商的融资决策.具体而言,若 $K_N < K \leq K_A$,则供应链成员采用RFID技术时,零售商选择融资;供应链成员不采用RFID技术时,零售商选择不融资.该结论与直觉是一致的,因为供应链成员采用RFID技术时,零售商需要支付一部分额外的RFID固定成本及标签成本,从而加重了零售商资金约束的程度,进而促使其选择融资.但是,若 $K_A < K \leq K_N$,则供应链成员采用RFID技术时,零售商选择不融资;供应链成员不采用RFID技术时,零售商选择融资.这个结论与直觉相矛盾.结合图3(a)和图3(b)可以发现,当零售商的库存错放率很高或RFID成本很低时, $K_A < K \leq K_N$ 才能成立.这意味着当供应链成员不采用RFID技术时,由于错放率过高,零售商需要订购更多的商品以满足市场的需求,从而导致其批发成本总额上升而选择融资;当供应链成员采用RFID技术时,虽然零售商需要额外支付较低的RFID技术成本,但是能够消除因错放商品引起的高额资金浪费,零售商通过采用RFID技术使得自身的资金转变为充足的状态,从而选择不融资。

3 供应链成员采用RFID技术的决策分析

基于零售商的融资均衡策略,供应链成员可以选择采用或不采用RFID技术.通过对比采用RFID技术前后链上成员利润的变化,得出制造商和零售商两个视角下的RFID采用决策与零售商融资均衡策略,如定理2所示。

定理2 1)当 $K \leq \min\{K_N, K_A\}$ 时:若 $t \leq t_x^{AF-NF}$,则企业 x 采用RFID技术且零售商选择融资

(AF情景);若 $t > t_x^{\text{AF-NF}}$, 则企业 x 不采用 RFID 技术但零售商选择融资(NF情景).

2) 当 $K_N < K \leq K_A$ 时: 若 $t \leq t_x^{\text{AF-NN}}$, 则企业 x 选择 AF 情景; 若 $t > t_x^{\text{AF-NN}}$, 则企业 x 不采用 RFID 技术且零售商选择不融资(NN情景).

3) 当 $K_A < K \leq K_N$ 时: 若 $t \leq t_x^{\text{AN-NF}}$, 则企业 x 采用 RFID 技术但零售商选择不融资(AN情景); 若 $t > t_x^{\text{AN-NF}}$, 则企业 x 选择 NF 情景.

4) 当 $K > \max\{K_N, K_A\}$ 时: 若 $t \leq t_x^{\text{AN-NN}}$, 则企业 x 选择 AN 情景; 若 $t > t_x^{\text{AN-NN}}$, 则企业 x 选择 NN 情景.

由定理 2 可以发现, RFID 标签成本 t 是影响供应链成员采用 RFID 技术的关键因素. 当 RFID 标签成本较低时, 供应链成员均采用 RFID 技术; 反之, 当 RFID 标签成本很高时, 则均不采用该技术. 这是因为当 RFID 标签成本较低时, 消除商品错放所增加的收益大于供应链成员需支付的标签成本, 促使了供应链成员采用 RFID 技术.

事实上, 定理 2 也揭示了零售商自有资金 k 变化时, RFID 投资阈值 $t_x^k (k \in \{\text{AF-NF}, \text{AF-NN}, \text{AN-NF}, \text{AN-NN}\})$ 也随之变化. 这表明零售商自有资金的高低对供应链成员采用 RFID 技术的均衡策略产生了影响. 由于定理 2 中的 RFID 标签成本阈值均为隐函数形式, 无法比较大小关系, 假设市场需求 $\xi \sim U(0, b)$, 得到如下推论 1.

推论 1 市场需求 $\xi \sim U(0, b)$ 时: 若 $K_N \leq K_A$, 则有 $t_x^{\text{AN-NN}} < t_x^{\text{AF-NN}} < t_x^{\text{AF-NF}}$; 若 $K_N > K_A$, 则有 $t_x^{\text{AN-NN}} < t_x^{\text{AN-NF}} < t_x^{\text{AF-NF}}$.

由推论 1 和定理 2 可以发现: 零售商自有资金很低 ($K \leq \min\{K_N, K_A\}$) 时, RFID 投资成本阈值 $t_x^{\text{AF-NF}}$ 最大; 零售商自有资金很高 ($K > \max\{K_N, K_A\}$) 时, RFID 投资成本阈值 $t_x^{\text{AN-NN}}$ 最小; 零售商自有资金适中 ($\min\{K_N, K_A\} < K \leq \max\{K_N, K_A\}$) 时, RFID 投资成本阈值 $t_x^{\text{AF-NN}}$ 或 $t_x^{\text{AN-NF}}$ 居中. 这表明零售商选择融资时, 供应链成员能够承担更高的 RFID 成本, 从而促进了 RFID 技术的推广及应用. 相反地, 当零售商选择不融资时, 供应链成员能够承担的 RFID 成本阈值更低, 即企业将更加谨慎地决策是否采用 RFID 技术. 这也佐证了金融政策对经济发展及技术普及具有积极的推动作用.

此外, 定理 2 揭示了制造商和零售商能够承担的最大 RFID 标签成本阈值是不同的, 这表明供应链成员在某种情况下投资 RFID 技术的决策是不一致的, 此结论与以往供应链 RFID 技术投资决策的结论不同^[14-15, 20]. 定理 3 给出了分散式决策供应链成员的

RFID 采用与融资均衡策略.

定理 3 1) 当 $K \leq \min\{K_N, K_A\}$ 时: 若

$$t \leq \min(t_m^{\text{AF-NF}}, t_r^{\text{AF-NF}}),$$

则链上成员均选择 AF 情景; 若

$$\min(t_m^{\text{AF-NF}}, t_r^{\text{AF-NF}}) < t \leq \max(t_m^{\text{AF-NF}}, t_r^{\text{AF-NF}}),$$

则链上成员选择的策略不一致; 若

$$t > \max(t_m^{\text{AF-NF}}, t_r^{\text{AF-NF}}),$$

则链上成员均选择 NF 情景.

2) 当 $K_N < K \leq K_A$ 时: 若

$$t \leq \min(t_m^{\text{AF-NN}}, t_r^{\text{AF-NN}}),$$

则链上成员均选择 AF 情景; 若

$$\min(t_m^{\text{AF-NN}}, t_r^{\text{AF-NN}}) < t \leq \max(t_m^{\text{AF-NN}}, t_r^{\text{AF-NN}}),$$

则链上成员选择的策略不一致; 若

$$t > \max(t_m^{\text{AF-NN}}, t_r^{\text{AF-NN}}),$$

则链上成员均选择 NN 情景.

3) 当 $K_A < K \leq K_N$ 时: 若

$$t \leq \min(t_m^{\text{AN-NF}}, t_r^{\text{AN-NF}}),$$

则链上成员均选择 AN 情景; 若

$$\min(t_m^{\text{AN-NF}}, t_r^{\text{AN-NF}}) < t \leq \max(t_m^{\text{AN-NF}}, t_r^{\text{AN-NF}}),$$

则链上成员选择的策略不一致; 若

$$t > \max(t_m^{\text{AN-NF}}, t_r^{\text{AN-NF}}),$$

则链上成员均选择 NF 情景.

4) 当 $K > \max\{K_N, K_A\}$ 时: 若

$$t \leq \min(t_m^{\text{AN-NN}}, t_r^{\text{AN-NN}}),$$

则链上成员均选择 AN 情景; 若

$$\min(t_m^{\text{AN-NN}}, t_r^{\text{AN-NN}}) < t \leq \max(t_m^{\text{AN-NN}}, t_r^{\text{AN-NN}}),$$

则链上成员选择的策略不一致; 若

$$t > \max(t_m^{\text{AN-NN}}, t_r^{\text{AN-NN}}),$$

则链上成员均选择 NN 情景.

定理 3 表明: 当 RFID 标签成本很低 ($t \leq \min(t_m^k, t_r^k)$) 或很高 ($t > \max(t_m^k, t_r^k)$) 时, 链上成员的 RFID 技术采用和融资决策均衡策略是一致的; 当 RFID 标签成本适中 ($\min(t_m^k, t_r^k) < t \leq \max(t_m^k, t_r^k)$) 时, 链上成员的决策存在冲突, 无法得出均衡策略. 为了分析链上成员决策冲突的原因, 假设市场需求 $\xi \sim U(0, b)$, 得到如下推论 2.

推论 2 市场需求 $\xi \sim U(0, b)$ 时: 若零售商分摊 RFID 固定成本的比例 $0 \leq \theta < 1/3$, 则有 $t_m^k < t_{sc}^k < t_r^k$; 若 $\theta = 1/3$, 则有 $t_m^k = t_{sc}^k = t_r^k$; 若 $1/3 < \theta \leq 1$, 则有 $t_m^k > t_{sc}^k > t_r^k$.

假设 $\xi \sim U(0, 100)$, $c = 5$, $p = 20$, $r_f = 0.3$, $F = 10$, $S = 4$, 得到分散式决策供应链 RFID 采用与融资

均衡策略如图4所示.

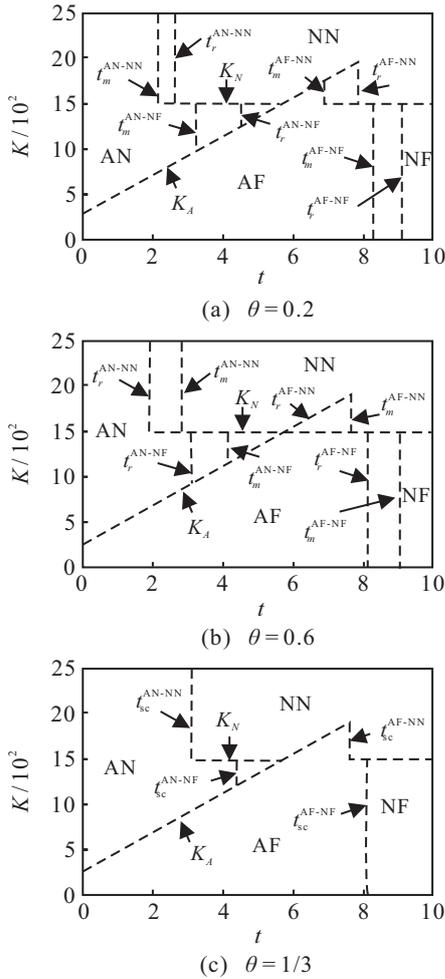


图4 分散式决策供应链RFID采用与融资均衡策略

结合推论2可以发现:链上成员决策冲突的原因与零售商分摊的RFID固定成本比例相关. 具体而言, 当零售商分摊较低比例的RFID固定成本($0 \leq \theta < 1/3$)时, 其能够承担的RFID标签成本阈值更大, 因此当RFID标签成本 $t_m^k < t \leq t_r^k$ 时, 零售商和制造商选择的策略不一致; 同样地, 当零售商分摊较高比例的RFID固定成本($1/3 < \theta \leq 1$)时, 其能够承担的RFID标签成本阈值更小, 因此当RFID标签成本 $t_r^k < t \leq t_m^k$ 时, 零售商和制造商选择的策略不一致; 当零售商分摊RFID固定成本的比例 $\theta = 1/3$ 时, 链上成员选择的策略始终一致, 如图4(c)所示.

当RFID标签成本满足 $\min(t_m^k, t_r^k) < t \leq \max(t_m^k, t_r^k)$, 由定理3可知此时链上成员的决策存在冲突, 无法得出均衡策略. 采用转移支付的方式得到链上成员的Pareto改进策略, 如推论3所示.

推论3 市场需求服从 $\xi \sim U(0, b)$:

1) 当 $K \leq \min\{K_N, K_A\}$ 时: 若

$$t_x^{AF-NF} < t \leq t_{sc}^{AF-NF},$$

则企业 x' 将不高于 $\Delta_{x'}^{AF-NF}$ 的收益转移给企业 x , 此

时链上成员均选择AF情景; 若

$$t_{sc}^{AF-NF} < t \leq t_{x'}^{AF-NF},$$

则链上成员均选择NF情景.

2) 当 $K_N < K \leq K_A$ 时: 若

$$t_x^{AF-NN} < t \leq t_{sc}^{AF-NN},$$

则企业 x' 将不高于 $\Delta_{x'}^{AF-NN}$ 的收益转移给企业 x , 此时链上成员均选择AF情景; 若

$$t_{sc}^{AF-NN} < t \leq t_{x'}^{AF-NN},$$

则链上成员均选择NN情景.

3) 当 $K_A < K \leq K_N$ 时: 若

$$t_x^{AN-NF} < t \leq t_{sc}^{AN-NF},$$

则企业 x' 将不高于 $\Delta_{x'}^{AN-NF}$ 的收益转移给企业 x , 此时链上成员均选择AN情景; 若

$$t_{sc}^{AN-NF} < t \leq t_{x'}^{AN-NF},$$

则链上成员均选择NF情景.

4) 当 $K > \max\{K_N, K_A\}$ 时: 若

$$t_x^{AN-NN} < t \leq t_{sc}^{AN-NN},$$

则企业 x' 将不高于 $\Delta_{x'}^{AN-NN}$ 的收益转移给企业 x , 此时链上成员均选择AN情景; 若

$$t_{sc}^{AN-NN} < t \leq t_{x'}^{AN-NN},$$

则链上成员均选择NN情景. 其中: 当零售商分摊RFID固定成本的比例为 $0 \leq \theta < 1/3$ 时, $x = m$ 且 $x' = r$; 当 $1/3 < \theta \leq 1$ 时, $x = r$ 且 $x' = m$.

基于推论3的结论, 设 $\xi \sim U(0, 100)$, $c = 5$, $p = 20$, $r_f = 0.3$, $F = 10$, $S = 4$, 得到分散式决策供应链RFID采用与融资Pareto改进均衡策略如图5所示. 通

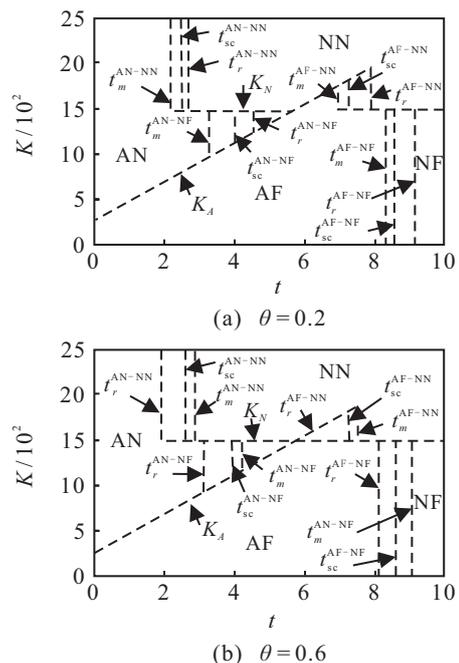


图5 RFID采用与融资Pareto改进均衡图

过转移支付策略,图4(a)和图4(b)的虚线间区域分别转变,这表明链上成员由无法得到均衡策略转变为链上成员实现了RFID技术采用和融资决策的一致性,并且链上各成员均实现了收益的Pareto改进。

4 结论

本文考虑了由一个制造商和一个资金约束零售商组成的两级供应链结构,制造商作为供应链的领导者且存在产品错放问题,基于报童模型构建了4种情景下的收益模型,得出了零售商自有资金水平对其融资策略及供应链成员定价订货决策的影响。此外,探讨了资金约束零售商供应链RFID技术采用及融资的均衡策略,分析了RFID成本、库存错放率、自有资金水平等因素对均衡策略的影响。本文研究结论如下:

1)零售商融资决策方面:当零售商的自有资金很低时,其选择融资;当零售商的自有资金很高时,选择不融资;当零售商自有资金水平适中时,供应链成员的RFID采用决策会直接影响零售商的融资决策。具体而言:首先,当零售商的库存错放率较高且RFID成本较低时:若供应链成员采用RFID技术,则零售商选择不融资;若供应链成员不采用RFID技术,则零售商选择融资。其次,当零售商的库存错放率较低或RFID成本较高时:若供应链成员采用RFID技术,则零售商选择融资;若供应链成员不采用RFID技术,则零售商选择不融资。

2)供应链成员采用RFID技术决策方面:①当零售商选择融资时,供应链及其成员能够承担更高的RFID成本,从而促进了RFID技术的推广及应用;相反地,当零售商选择不融资时,供应链及其成员能够承担的RFID成本阈值较低,即企业将更加谨慎地决策是否投资RFID技术。这也佐证了金融政策对经济发展及技术普及具有积极的推动作用。②与现有文献得出供应链及其成员是否采用RFID技术的决策是一致的(如文献[14-15,20])结论不同,仅当RFID标签成本很低或很高时,制造商和零售商采用RFID技术的决策是一致的;当RFID标签成本适中时,供应链成员是否采用RFID技术的决策存在冲突,与零售商承担的RFID固定成本比例相关。当零售商承担的RFID固定成本比例较小时,零售商能够承担的RFID标签成本阈值最大,制造商最小。此时,为激励制造商采用RFID技术,零售商可以通过转移支付契约,补贴制造商一定的收益以促使制造商采用RFID技术,从而达到链上成员收益的Pareto改进。当零售商承担的

RFID固定成本比例较大时,制造商能够承担的RFID标签成本阈值最大,其次是供应链,零售商最小。此时,制造商可以转移一部分收益给零售商以促使其采用RFID技术,从而实现供应链收益最优。

目前,国内外关于供应链采用RFID技术的研究,多集中于探讨RFID技术对供应链成员决策及收益影响和协调问题,忽略了资金约束及融资决策对RFID技术采用策略的影响。本文分析了一个制造商和一个资金约束零售商的RFID技术采用决策及融资策略,没有考虑产品零售价格的内生性问题。此外,本文的模型可以扩展为考虑不同融资方式(如贸易信贷融资、股权融资、银行融资等)对RFID技术采用决策及融资选择策略的影响,将在以后的工作中进一步完善。

参考文献(References)

- [1] 钟远光,周永务,李柏勋,等. 供应链融资模式下零售商的订货与定价研究[J]. 管理科学学报, 2011, 14(6), 57-67.
(Zhong Y G, Zhou Y W, Li B X, et al. The retailer's optimal ordering and pricing policies with supply chain financing[J]. Journal of Management Science in China, 2011, 14(6): 57-67.)
- [2] Archibald T W, Thomas L C, Betts J M, et al. Should start-up companies be cautious? Inventory policies which maximise survival probabilities[J]. Management Science, 2002, 48(9): 1161-1174.
- [3] Dehoratius N, Raman A. Inventory record inaccuracies: An empirical analysis[J]. Management Science, 2008, 54(4): 627-641.
- [4] Raman A, Dehoratius N, Ton Z. Execution: The missing link in retail operations[J]. California Management Review, 2001, 43(3): 136-152.
- [5] Camdereli A Z, Swaminathan J M. Misplaced inventory and radio-frequency identification (RFID) technology: Information and coordination[J]. Production and Operations Management, 2010, 19(1): 1-18.
- [6] Zhang L H, Li T, Fan T J. Inventory misplacement and demand forecast error in the supply chain: Profitable RFID strategies under wholesale and buy-back contracts[J]. International Journal of Production Research, 2018, 56(15): 5188-5205.
- [7] 郭金森,周永务,钟远光. 基于资金约束零售商的双渠道制造商贸易信贷与提前订货折扣契约选择策略研究[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(5): 1254-1264.
(Guo J S, Zhou Y W, Zhong Y G. Research on the dual-channel manufacturer trade credit and early order discount contract selection strategy based on capital

- constraint retailers[J]. *System Engineering—Theory & Practice*, 2017, 37(5): 1254-1264.)
- [8] 沈建男, 骆建文, 李超. 不同付款方式下资金约束供应链的定价策略[J]. *系统工程学报*, 2017, 32(4): 513-521.
(Shen J N, Luo J W, Li C. Pricing strategy of supply chains with capital constraints based on different payment terms[J]. *Journal of System Engineering*, 2017, 32(4): 513-521.)
- [9] 陈震, 张人千. 考虑资金借贷与资金约束的单产品批量问题[J]. *系统工程学报*, 2019, 34(2): 266-276.
(Chen Z, Zhang R Q. Single item lot sizing problem considering loaning and capital constraint[J]. *Journal of System Engineering*, 2019, 34(2): 266-276.)
- [10] Kouvelis P, Zhao W H. Financing the newsvendor: Supplier vs. bank, and the structure of optimal trade credit contracts [J]. *Operations Research*, 2012, 60(3): 566-580.
- [11] Yang H L, Zhou W Y, Shao L S. Equilibrium evolution in a two-echelon supply chain with financially constrained retailers: The impact of equity financing[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 185: 139-149.
- [12] Rekik Y, Sytetos A, Jemai Z. An e-retailing supply chain subject to inventory inaccuracies[J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 167: 139-155.
- [13] Cannella S, Dominguez R, Framinan J M. Inventory record inaccuracy — The impact of structural complexity and lead time variability[J]. *Omega*, 2017, 68: 123-138.
- [14] Fan T J, Chang X Y, Gu C H, et al. Benefits of RFID technology for reducing inventory shrinkage[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 147: 659-665.
- [15] Xu J P, Jiang W, Feng G Z, et al. Comparing improvement strategies for inventory inaccuracy in a two-echelon supply chain [J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 221(1): 213-221.
- [16] Zhang L H, Li T, Fan T J. Radio-frequency identification (RFID) adoption with inventory misplacement under retail competition[J]. *European Journal of Operational Research*, 2018, 270(3): 1028-1043.
- [17] Wang F Q, Fang X P, Chen X H, et al. Impact of inventory inaccuracies on products with inventory-dependent demand[J]. *International Journal of Production Economics*, 2016, 177: 118-130.
- [18] 张李浩, 包兴, 杨惠霄. 供应链采用RFID的标签成本阈值分析及契约协调[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(5): 1133-1143.
(Zhang L H, Bao X, Yang H X. Research on the tag cost thresholds and coordination of supply chain with RFID[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2015, 35(5): 1133-1143.)
- [19] Lariviere M A, Porteus E L. Selling to the newsvendor: An analysis of price-only contracts[J]. *Manufacturing & Service Operation Management*, 2001, 3(4): 293-305.
- [20] Zhang L H, Yang H X. Incentives for RFID adoption with imperfect read rates: Wholesale price premium versus cost sharing[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2019, 70(9): 1440-1456.

作者简介

张李浩(1990—), 男, 副教授, 博士生导师, 从事博弈论、供应链管理研究, E-mail: lhzhang@shmtu.edu.cn;

王嘉燕(1996—), 女, 硕士生, 从事博弈论、供应链管理的研究, E-mail: wangjiayan38@stu.shmtu.edu.cn;

陈靖(1985—), 女, 副教授, 博士生导师, 从事生鲜产品供应链决策研究, E-mail: Jingchen@shisu.edu.cn.

(责任编辑: 郑晓蕾)