

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20170104

## 应用 RFID 技术的供应链收入共享契约研究

王俊艳, 张鑫磊, 张苗苗  
(天津科技大学包装与印刷工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 针对传统供应链中引入射频识别技术(RFID)的两级供应链协调问题,建立制造商-零售商两级供应链收入共享契约模型.数理推导和算例分析表明:基于收入共享契约,未应用物流信息技术供应链和应用 RFID 技术的供应链均可能实现供应链协调,并推导出能够使供应链协调的收入共享率.通过期望总利润比较可看出,供应链投资引入 RFID 技术可以明显提高整体收益.本文研究丰富了收入共享契约的研究内容,可为供应链管理者合理应用射频识别等先进物流信息技术提供一定的参考.

**关键词:** RFID 技术; 收入共享契约; 供应链协调; 两级供应链

中图分类号: O223 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2018)02-0072-07

## RFID Technology in Supply Chain of Revenue Sharing Contract

WANG Junyan, ZHANG Xinlei, ZHANG Miaomiao

(College of Packaging and Printing Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of two-stage supply chain coordination after introducing into the traditional supply chain the radio frequency identification (RFID) technology, a revenue sharing contract model of manufacturer-retailer supply chain was established. Mathematical derivation and example analysis show that, based on revenue sharing contract, the supply chain without the application of logistics information technology and the one with the application of radio frequency identification technology can both realize the supply chain coordination, and the model can work out a revenue sharing rate to realize the coordination. Comparison of expected total profit shows RFID technology can significantly improve the overall benefit. This study can enrich the research work on revenue sharing contract, and provide supply chain managers with some scientific theoretical reference in their application of advanced logistics information technologies such as RFID.

**Key words:** radio frequency identification; revenue sharing contract; supply chain coordination; two-stage supply chain

供应链管理是对供应商、制造商、分销商、顾客等组成的网络中的物流、信息流、资金流进行管理的过程.供应链的各个参与者均有不同的经济目标,一般情况下,企业会根据自身的经济目标制定生产(销售)策略,以降低整个供应链系统绩效.因此,制定合理有效的供应链契约显得尤为重要.所谓供应链契约是指通过提供合适的信息和激励措施,保证买卖双方协调,优化销售渠道绩效的有关条款,即使供应链不能达到最好的协调,也可能存在帕累托最优解,以保证每一方的利益至少不比原来差<sup>[1]</sup>.

Pasternack<sup>[2]</sup>最早提出供应链契约理论,他主要研究单个供应商、单个零售商、一种商品的市场情

况,研究结论是:商品的转移支付价格与市场需求不相关,制造商不需要根据需求制定契约,而是需要通过新增利润保证零售商有效合作;制造商可以回收零售商销售剩余部分商品,从而实现供应链系统协调.在此基础上,越来越多的学者开始关注和研究各种形式的供应链契约.Tsay 等<sup>[3]</sup>认为制定供应链契约主要是为了实现提高供应链系统的总利益,在分散协调机制下供应链的总利益与集中管理机制下的总利益相近,激励供应链各个参与者共同承担风险.

收入共享最早出现在音像租赁行业,之后便引起学者的广泛关注.Cachon 等<sup>[4]</sup>和 Lariviere 等<sup>[5]</sup>提出收入共享契约基础研究框架,并探讨了该契约的使用范

收稿日期: 2017-04-19; 修回日期: 2017-12-15

基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(16JCYBJC18500)

作者简介: 王俊艳(1979—),女,河北沧州人,副教授, wang@tust.edu.cn

围,也证明应用收入共享契约机制可以取得更好的经济效果. Cachon 等<sup>[4]</sup>用详细的统计数据对收入共享契约在提高影碟租赁行业的收益方面进行了实证研究,录像带租赁公司应用收入共享契约后,销售额比原来增加了 75%,同时市场占有率也上升了 7%.

物联网被称为是在计算机、互联网之后当代信息产业革命的第 3 次浪潮,已经上升为我国的国家发展战略,成为今后长时间的产业任务. 在物联网中,射频识别 (radio frequency identification, RFID) 是实现物联网的关键技术. 由于供应链中库存信息不准确问题广泛存在,严重影响了供应链系统的效益. RFID 技术具有突出的自动读取和货物追踪能力、精确敏锐的数据捕捉能力,可以有效避免库存商品数量不准确或者错位,进而降低供应链库存管理成本. 供应链系统应用 RFID 技术,可以提高库存准确性、减少商品丢失、改进分销中心和零售商店的补货策略<sup>[6]</sup>;可以处理供应链中库存商品错放、库存消耗等供应链管理问题<sup>[7]</sup>;能够解决交易错误类问题<sup>[8]</sup>;可以节省 17% 的人工成本<sup>[9]</sup>,库存能够减少 10% ~ 30%<sup>[10]</sup>;范体军等<sup>[11]</sup>针对单供应商和单零售商的两级供应链,考虑提前期变化对供应链及其成员收益的影响,研究了应用 RFID 技术前后分散式供应链和集中式供应链的收益情况,并探讨了契约参数的变化对供应链协调的影响.

现有研究对应用 RFID 技术的供应链契约研究并不多,已有文献主要是研究投入 RFID 技术给供应链系统带来的益处,较少针对某种供应链契约具体研究投入 RFID 是否合理,能够为供应链系统带来多少利润增量. 张晓仪<sup>[12]</sup>、周莹莹<sup>[13]</sup>、安佳琪<sup>[14]</sup>在研究应用 RFID 技术的解决库存不准确问题时建立了两级供应链模型,模型中 RFID 技术投入成本由制造商和零售商共同承担,但是此模型与实际并不吻合,实际运作中 RFID 技术投入一般为制造商承担. 结合现有研究成果,考虑实际供应链系统运作情况,本文建立了收入共享机制下更贴近实际运作的系统模型,

通过数理分析方法研究了收入共享契约机制下未应用和应用 RFID 技术供应链能否实现系统协调,能否提高供应链利润,投资引入物流信息技术给供应链参与者带来的影响等问题.

## 1 问题描述与假设

由单一制造商、单一零售商构成的二级供应链中,每个销售季度初,供应链所面对的需求是随机的,制造商生产的商品仅仅可以卖给此零售商,零售商制定最佳订货数量,在单个销售季度中,零售商仅有一次订货机会,在销售季度内若发生缺货情况,该供应链系统将产生缺货成本;在销售季度内若发生商品剩余情况,剩余商品会产生残值,由于 RFID 可以重复利用,单位商品 RFID 也会随之产生残值. 在收入共享契约机制下,制造商会分得零售商部分比例的销售收入,由于零售商考虑自身经济利益,在与制造商共同分享收入,则应用 RFID 技术的投入成本由制造商全部承担. 本文作以下假设:在一个周期内,市场对商品的需求是随机变量  $x(x>0)$ ,  $F(x)$  和  $f(x)$  分别为需求的累计分布函数和概率密度函数,函数是连续增函数且可微的. 零售商单位产品收入共享率是决策变量. 假设每个周期内已知随机需求的概率分布且具有一般性,由于产品不同时其需求满足不同的分布形式,所以此处没有给出具体分布函数. 在某些特定的情形时,可以由历史记录或者其他措施估计.

## 2 模型建立与分析

在收入共享契约下,制造商和零售商共享销售收入,零售商按比例分得销售收入;单季度内商品的最终销售率定义为供应链出货率. 文中所用变量符号的含义见表 1.

表 1 变量符号的含义

Tab. 1 Meaning of variable symbols

符号	含义	符号	含义	符号	含义
$p$	单位商品售价	$\theta$	传统供应链出货率	$L(q)$	供应链期望缺货量
$c$	单位生产成本	$\theta_{RF}$	应用 RFID 技术供应链出货率	$I(q)$	供应链期望库存剩余量
$k$	单位缺货惩罚成本	$\alpha_r$	零售商单位产品收入共享率	$\pi_{TP}$	传统供应链期望利润
$v$	单位商品残值	$\alpha_M$	制造商单位产品收入共享率	$\pi_{RFP}$	应用 RFID 技术供应链期望利润
$q$	单周期制造商产量	$S(q)$	制造商期望销售量	$w$	零售商从制造商获得商品的进价

**命题 1** 收入共享契约下,未应用 RFID 的供应链可以实现供应链协调,供应链系统的最优订货量为

$$q_{TP}^* = \frac{1}{\theta} F^{-1} \left[ \frac{(p+k)\theta - c}{(p+k-v)\theta} \right]$$

**证明:**

(1) 建立模型

对于传统供应链而言,供应链系统的总期望利润由商品期望销售收入、剩余商品残值、去除制造商生产成本、缺货惩罚成本。

$$\begin{aligned} \pi_{TP} &= pS(q_{TP}) - cq_{TP} - kL(q_{TP}) + vI(q_{TP}) = \\ & p \left( \theta q_{TP} - \int_0^{\theta q_{TP}} F(x) dx \right) - cq_{TP} - \\ & k \left[ \int_{\theta q_{TP}}^{+\infty} (x - \theta q_{TP}) f(x) dx \right] + \\ & v \left[ \int_0^{\theta q_{TP}} (\theta q_{TP} - x) f(x) dx \right] = \\ & p \left( \theta q_{TP} - \int_0^{\theta q_{TP}} F(x) dx \right) - Cq_{TP} - \\ & k [E(x) - S(q_{TP})] + v [\theta q_{TP} - S(q_{TP})] \end{aligned} \quad (1)$$

函数  $\pi_{TP}$  关于  $q_{TP}$  的一阶导数为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_{TP}}{\partial q_{TP}} &= p(\theta - F(\theta q_{TP})\theta) - C - \\ & k [F(\theta q_{TP}) - 1] + v [F(\theta q_{TP})\theta] = \\ & -(p+k-v)F(\theta q_{TP})\theta + (p+k)\theta - c \end{aligned} \quad (2)$$

函数  $\pi_{TP}$  关于  $q_{TP}$  的二阶导数为

$$\frac{\partial^2 \pi_{TP}}{\partial q_{TP}^2} = -(p+k-v)\theta^2 f(\theta q_{TP}) \quad (3)$$

为保证研究问题的合理化,显而易见商品单价与单位商品缺货惩罚成本之和应大于单位剩余商品残值,由此可知,供应链利润函数二级导数小于 0,即供应链利润函数  $\pi_{TP}$  是关于的  $q_{TP}$  凹函数,存在最优订货批量。

令函数  $\pi_{TP}$  关于  $q_{TP}$  的一阶导数为 0,可以求得传统供应链系统最优订货批量为

$$q_{TP}^* = \frac{1}{\theta} F^{-1} \left[ \frac{(p+k)\theta - c}{(p+k-v)\theta} \right] \quad (4)$$

基于收入共享契约,传统供应链的零售商的期望利润为与制造商共享的商品销售收入、剩余库存商品残值、去除缺货惩罚成本、付给制造商的商品进价。

$$\begin{aligned} \pi_{TPR} &= \alpha_R p S(q_{TP}) + \\ & vI(q_{TP}) - k_R L(q_{TP}) - wq_{TP} \end{aligned} \quad (5)$$

求函数  $\pi_{TPR}$  关于  $q_{TP}$  的一阶导数为

$$\frac{\partial \pi_{TPR}}{\partial q_{TP}} = \alpha_R p [\theta - F(\theta q_{TP})\theta] + vF(\theta q_{TP})\theta -$$

$$\begin{aligned} & k_R (F(\theta q_{TP}) - 1)\theta - w = \\ & -(\alpha_R p - v + k_R)\theta F(\theta q_{TP}) + (p + k_R)\theta - w \end{aligned} \quad (6)$$

求函数  $\pi_{TPR}$  关于  $q_{TP}$  的二阶导数为

$$\frac{\partial^2 \pi_{TPR}}{\partial q_{TP}^2} = -(\alpha_R p - v + k_R)\theta^2 f(\theta q_{TP}) \quad (7)$$

因为零售商利润函数二级导数小于 0,即零售商利润函数  $\pi_{TPR}$  是关于  $q_{TP}$  的凹函数,零售商存在最优订货批量  $q_{TPR}^*$ 。

令一阶导数为 0,即

$$\begin{aligned} & -(\alpha_R p - v + k_R)\theta F(\theta q_{TP}) + (p + k_R)\theta - w = 0 \\ & (\alpha_R p - v + k_R)\theta F(\theta q_{TP}) = (p + k_R)\theta - w \\ & q_{TPR}^* = \frac{1}{\theta} F^{-1} \left[ \frac{(\alpha_R p + k_R)\theta - w}{(\alpha_R p + k_R - v)\theta} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

基于收入共享契约,传统供应链的制造商的期望利润为零售支付的商品进价、除去缺货惩罚成本、商品的生产成本。

$$\pi_{TPM} = \alpha_M p S(q_{TP}) + wq_{TP} - k_M L(q_{TP}) - cq_{TP} \quad (9)$$

式中:

$$\alpha_M = 1 - \alpha_R \quad (10)$$

(2) 分析模型

当零售商的最优订货批量与供应链系统的最优订货批量相同时,即可证明命题 1 传统供应链应用收入共享契约可以实现供应链系统协调。

当  $q_{TPR}^* = q_{TP}^*$  时

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\theta} F^{-1} \left[ \frac{(\alpha_R p + k_R)\theta - w}{(\alpha_R p + k_R - v)\theta} \right] = \frac{1}{\theta} F^{-1} \left[ \frac{(p+k)\theta - c}{(p+k-v)\theta} \right] \\ & \frac{(\alpha_R p + k_R)\theta - w}{(\alpha_R p + k_R - v)\theta} = \frac{(p+k)\theta - c}{(p+k-v)\theta} \\ & (\alpha_R p + k_R)\theta - w = \frac{(p+k)\theta - c}{(p+k-v)\theta} (\alpha_R p + k_R - v)\theta \\ & w = (\alpha_R p + k_R)\theta - \frac{(p+k)\theta - c}{(p+k-v)} (\alpha_R p + k_R - v) \end{aligned} \quad (11)$$

当  $w_{RF} < c$  时

$$\begin{aligned} & w = (\alpha_R p + k_R)\theta - \frac{(p+k)\theta - c}{(p+k-v)} (\alpha_R p + k_R) \\ & \alpha_R^* = \frac{(k_R\theta - w)(p+k-v) + (k_R - v)[(p+k)\theta - c]}{(v-c)p} \end{aligned} \quad (12)$$

**结论 1** 对于制造商而言,当接受零售商支付商品的价格  $w_{RF} > c$  时,制造商可以实现自身盈利,而当接受零售商支付商品的价格  $w_{RF} < c$  时,制造商可以与

零售商共享销售收入,且共享销售比例不能低于  $1-\alpha_r^*$ ,制造商即可以实现自身盈利的经济目标. 综上,收入共享契约下,可以实现整个供应链系统协调.

**命题 2** 应用 RFID 供应链收入共享契约可以实现供应链协调,供应链系统的最优订货量为

$$q_{\text{RF}}^* = \frac{1}{\theta_{\text{RF}}} F^{-1} \left[ \frac{(p+k)\theta_{\text{RF}} - c - c_{\text{RF}}}{(p+k-v-v_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}}} \right]$$

**证明:**

(1) 建立模型

基于 RFID 技术的供应链系统期望利润为商品期望销售收入、制造商的生产成本、RFID 技术成本、缺货惩罚成本、剩余商品和 RFID 的残值:

$$\begin{aligned} \pi_{\text{RF}} = & pS(q_{\text{RF}}) - (c + c_{\text{RF}})q_{\text{RF}} - kL(q_{\text{RF}}) + \\ & (v + v_{\text{RF}})I(q_{\text{RF}}) = \\ & p \left( \theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}} - \int_0^{\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}} F(x) dx \right) - (c + c_{\text{RF}})q_{\text{RF}} - \\ & k \left[ \int_{\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}}^{+\infty} (x - \theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}) f(x) dx \right] + \\ & (v + v_{\text{RF}}) \left[ \int_0^{\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}} (\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}} - x) f(x) dx \right] \end{aligned} \quad (13)$$

求函数  $\pi_{\text{RF}}$  关于  $q_{\text{RF}}$  的一阶导数为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_{\text{RF}}}{\partial q_{\text{RF}}} = & p(\theta_{\text{RF}} - F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}})) - (c + c_{\text{RF}}) - \\ & k[F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}) - 1] + (v + v_{\text{RF}})[F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}}] = \\ & -(p+k-v-v_{\text{RF}})F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}} + \\ & (p+k)\theta_{\text{RF}} - c - c_{\text{RF}} \end{aligned}$$

求函数  $\pi_{\text{RF}}$  关于  $q_{\text{RF}}$  的二阶导数为

$$\frac{\partial^2 \pi_{\text{RF}}}{\partial q_{\text{RF}}^2} = -(p+k-v-v_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}}^2 f(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}})$$

为保证研究问题的合理化,显而易见商品单价  $p$  与单位商品缺货惩罚成本  $k$  之和应大于单位剩余商品残值与单位剩余商品 RFID 残值之和,由此可知,供应链利润函数二级导数小于 0,即供应链利润函数是关于  $q_{\text{RF}}$  的凹函数,存在最优订货批量.

使函数  $\pi_{\text{RF}}$  关于  $q_{\text{RF}}$  的一阶导数为 0,求得应用 RFID 技术供应链系统最优订货批量为

$$q_{\text{RF}} = \frac{1}{\theta_{\text{RF}}} F^{-1} \left[ \frac{(p+k)\theta_{\text{RF}} - c - c_{\text{RF}}}{(p+k-v-v_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}}} \right] \quad (14)$$

基于收入共享契约,应用 RFID 供应链的零售商的期望利润为与制造商共享的商品销售收入、剩余库存商品残值、剩余商品 RFID 残值、去除缺货惩罚成本、付给制造商的商品进价.

$$\begin{aligned} \pi_{\text{RFPR}} = & \alpha_r p S(q_{\text{RF}}) + (v + v_{\text{RF}})I(q_{\text{RF}}) - \\ & k_r L(q_{\text{RF}}) - w_{\text{RF}} q_{\text{RF}} \end{aligned} \quad (15)$$

求函数  $\pi_{\text{RFPR}}$  关于  $q_{\text{RF}}$  的一阶导数和二阶导数:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_{\text{RFPR}}}{\partial q_{\text{RF}}} = & \alpha_r p [\theta_{\text{RF}} - F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}}] + \\ & (v + v_{\text{RF}})F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}} - \\ & k_r (F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}) - 1)\theta_{\text{RF}} - w_{\text{RF}} = \\ & -(\alpha_r p - v - v_{\text{RF}} + k_r)\theta_{\text{RF}} F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}) + \\ & (\alpha_r p + k_r)\theta_{\text{RF}} - w_{\text{RF}} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{\text{RFPR}}}{\partial q_{\text{RF}}^2} = -(\alpha_r p + k_r - v - v_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}}^2 f(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}})$$

为保证研究问题的合理化,显而易见  $\alpha_r p$  与零售商支付单位商品缺货惩罚成本  $k_r$  之和应大于单位剩余商品残值与单位剩余商品 RFID 残值之和,由此可知,供应链利润函数二级导数小于 0,即零售商利润函数是关于  $q_{\text{RF}}$  的凹函数,零售商存在最优订货批量.

令一阶导数为 0,即

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_{\text{RFPR}}}{\partial q_{\text{RF}}} = & -(\alpha_r p - v - v_{\text{RF}} + k_r)\theta_{\text{RF}} F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}) + \\ & (\alpha_r p + k_r)\theta_{\text{RF}} - w_{\text{RF}} = 0 \\ & (\alpha_r p - v - v_{\text{RF}} + k_r)\theta_{\text{RF}} F(\theta_{\text{RF}} q_{\text{RF}}) = \\ & (\alpha_r p + k_r)\theta_{\text{RF}} - w_{\text{RF}} \end{aligned}$$

$$q_{\text{RFPR}}^* = \frac{1}{\theta_{\text{RF}}} F^{-1} \left[ \frac{(\alpha_r p + k_r)\theta_{\text{RF}} - w_{\text{RF}}}{(\alpha_r p - v - v_{\text{RF}} + k_r)} \right] \quad (16)$$

制造商的利润为零售支付的商品进价、与零售商共享的商品销售收入,除去缺货惩罚成本、商品的生产成本、RFID 技术投入成本.

$$\begin{aligned} \pi_{\text{RFPM}} = & w_{\text{RF}} q_{\text{RF}} + \alpha_m p S(q_{\text{RF}}) - k_m L(q_{\text{RF}}) - \\ & c q_{\text{RF}} - c_{\text{RF}} q_{\text{RF}} \end{aligned} \quad (17)$$

(2) 分析模型

当零售商的最优订货批量与供应链系统的最优订货批量相同时,即可证明命题 1 应用 RFID 供应链收入共享契约可以实现供应链协调.

当  $q_{\text{RFPR}}^* = q_{\text{RF}}^*$  时

$$\begin{aligned} \frac{1}{\theta_{\text{RF}}} F^{-1} \left[ \frac{(\alpha_r p + k_r)\theta_{\text{RF}} - w_{\text{RF}}}{(p - v - v_{\text{RF}} + k_r)\theta_{\text{RF}}} \right] = \\ \frac{1}{\theta_{\text{RF}}} F^{-1} \left[ \frac{(p+k)\theta_{\text{RF}} - c - c_{\text{RF}}}{(p+k-v-v_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}}} \right] \\ \frac{(\alpha_r p + k_r)\theta_{\text{RF}} - w_{\text{RF}}}{(p - v - v_{\text{RF}} + k_r)\theta_{\text{RF}}} = \frac{(p+k)\theta_{\text{RF}} - c - c_{\text{RF}}}{(p+k-v-v_{\text{RF}})\theta_{\text{RF}}} \\ w_{\text{RF}} = (\alpha_r p - k_m - p)\theta_{\text{RF}} - \end{aligned}$$

$$\frac{k_M [(p+k)\theta_{RF} - c - c_{RF}]}{p+k-v-v_{RF}} + c + c_{RF} \quad (18)$$

**结论 2** 对于制造商,当接受零售商支付商品的价格  $w_{RF} > c + c_{RF}$  时,制造商可以实现自身盈利;而当接受零售商支付商品的价格  $w_{RF} < c + c_{RF}$  时,制造商可以与零售商共享销售收入,实现自身盈利的经济目标. 综上所述,收入共享契约机制下,应用 RFID 技术的供应链可以实现整个供应链系统协调.

**命题 3** (1) 收入共享比例不会影响供应链系统的最优订货量. (2) 零售商的利润与收入共享比例正相关,制造商的利润与收入共享比例负相关. (3) 能够使得供应链系统协调的收入共享率为

$$\alpha_R^* = \frac{c + c_{RF} - w_{RF}}{p\theta_{RF}} - \frac{k_M [(p+k)\theta_{RF} - c - c_{RF}]}{(p+k-v-v_{RF})p\theta_{RF}}$$

**证明:**

(1) 由前文分析证明可知,基于收入共享契约,应用 RFID 技术的供应链系统最优订货量为

$$q_{RFP}^* = \frac{1}{\theta_{RF}} F^{-1} \left[ \frac{(p+k)\theta_{RF} - c - c_{RF}}{(p+k-v-v_{RF})\theta_{RF}} \right]$$

由上式可以得出供应链系统最优订货量与收入共享比例  $\alpha_R$  不相关.

(2) 基于收入共享契约,应用 RFID 供应链的零售商的期望利润

$$\pi_{RFP} = \alpha_R p S(q_{RFP}) + (v + v_{RF}) I(q_{RFP}) - k_R L(q_{RFP}) - w q_{RFP}$$

求函数  $\pi_{RFP}$  关于  $\alpha_R$  的一阶导数

$$\frac{\partial \pi_{RFP}}{\partial \alpha_R} = p \left( \theta_{RF} q_{TP} - \int_0^{\theta_{RF} q_{RFP}} F(x) dx \right) > 0 \quad (19)$$

制造商的利润为

$$\pi_{RFP} = w_{RF} q_{RFP} + (1 - \alpha_R) p S(q_{RFP}) - k_M L(q_{RFP}) - c q_{RFP} - c_{RF} q_{RFP}$$

求函数  $\pi_{RFP}$  关于  $\alpha_R$  的一阶导数

$$\frac{\partial \pi_{RFP}}{\partial \alpha_R} = -p \left( \theta_{RF} q_{TP} - \int_0^{\theta_{RF} q_{RFP}} F(x) dx \right) < 0 \quad (20)$$

由式 (19) 和式 (20) 可以得出零售商的期望利润与收入共享比例正相关,制造商的利润与收入共享比例负相关.

(3) 当供应链系统的最优订货量和零售商的最优订货量相同时,制造商此时制定的商品进价应满足式 (18), 即

$$w_{RF} = (\alpha_R p - k_M - p) \theta_{RF} - \frac{k_M [(p+k)\theta_{RF} - c - c_{RF}]}{p+k-v-v_{RF}} + c + c_{RF}$$

进一步推导可得

$$\alpha_R^* = \frac{c + c_{RF} - w_{RF}}{p\theta_{RF}} - \frac{k_M [(p+k)\theta_{RF} - c - c_{RF}]}{(p+k-v-v_{RF})p\theta_{RF}} \quad (21)$$

综上,能够使得供应链系统协调的收入共享率为

$$\alpha_R^* = \frac{c + c_{RF} - w_{RF}}{p\theta_{RF}} - \frac{k_M [(p+k)\theta_{RF} - c - c_{RF}]}{(p+k-v-v_{RF})p\theta_{RF}}$$

**命题 4** 基于收入共享契约,应用 RFID 技术供应链利润大于传统供应链利润.

**证明:**

由式 (1) 和式 (13) 得

$$\pi_{RFP} - \pi_{TP} = (p+1-v) [S(q_{RFP}) - S(q_{TP})] + v_{RF} I(q_{RFP})$$

因为,  $p+1-v > 0$ ,  $S(q_{RFP}) - S(q_{TP}) > 0$ ,  $v_{RF} I(q_{RFP}) > 0$ , 所以收入共享契约,应用 RFID 技术供应链利润大于传统供应链利润.

### 3 算例分析

假设某两级供应链仅由制造商和零售商构成,单位商品生产成本  $c = 4$ ,单位商品的 RFID 技术投入成本为  $c_{RF} = 2$ ,零售商的单位产品售价  $p = 10$ ,制造商的单位缺货损失为  $k_M = 1$ ,零售商的单位商品缺货损失为  $k_R = 1$ ,单位剩余商品的残值为  $v = 2$ ,单位剩余商品的 RFID 残值为  $v_{RF} = 1$ ,未引入物流信息技术供应链有效库存率为  $\theta = 0.8$ ,应用 RFID 技术供应链的有效库存率为  $\theta = 0.85$ ,供应链的需求服从  $[0, a]$  的均匀分布,其中  $a = 10^6$ ,制造商从零售商分得的收入共享比例为  $\alpha$ ,基于前文研究结论,未使用物流信息技术供应链的最大订货量为

$$q_{TP}^* = a \frac{(p+k)\theta - c}{(p+k-v)\theta^2} = a \frac{(\alpha_R p + k_R)\theta - w}{(\alpha_R p + k_R - v)\theta^2}$$

供应链的最大利润为

$$\pi_{TP} = p\theta q_{TP} - \frac{p\theta^2 q_{TP}^2}{2a} - k \left( \frac{a}{2} - \theta q_{TP} \right) - c q_{TP}$$

零售商的最大利润为

$$\pi_{TPR} = (\alpha_R p + k_R) \theta q_{TP} - \frac{(\alpha_R p - 1) \theta^2 q_{TP}^2}{2a}$$

$$\frac{a k_R}{2} - w q_{TP}$$

制造商的最大利润为

$$\pi_{TPM} = \pi_{TP} - \pi_{TPR}$$

应用 RFID 技术供应链的最大订货量为

$$q_{RFP}^* = a \frac{(p+k)\theta_{RF} - c - c_{RF}}{(p+k-v-v_{RF})\theta_{RF}^2} = \frac{a(\alpha_R p + k_R)\theta_{RF} - w_{RF}}{(\alpha_R p - v - v_{RF} + k_R)\theta_{RF}^2}$$

供应链的最大利润为

$$\pi_{RFP} = p\theta q_{RFP} - k\left(\frac{a}{2} - \theta q_{RFP}\right) + \frac{(v_{RF} - p)\theta^2 q_{RFP}^2}{2a} - (c + c_{RF})q_{RFP}$$

零售商的最大利润为

$$\pi_{RFR} = \alpha_R p \theta q_{RFP} - \frac{(\alpha_R - k_R + v)\theta^2 q_{RFP}^2}{2a} - w_{RFP}$$

制造商的最大利润为

$$\pi_{RFRM} = \pi_{RFP} - \pi_{RFR}$$

$$w_{RF} = (\alpha_R p - k_M - p)\theta_{RF} - \frac{k_M[(p+k)\theta_{RF} - c - c_{RF}]}{p+k-v-v_{RF}} + c + c_{RF}$$

应用 Matlab 软件仿真, 得出未应用物流信息技术供应链和应用 RFID 技术的供应链的收入共享率-最大利润的分析图, 如图 1 和图 2 所示。

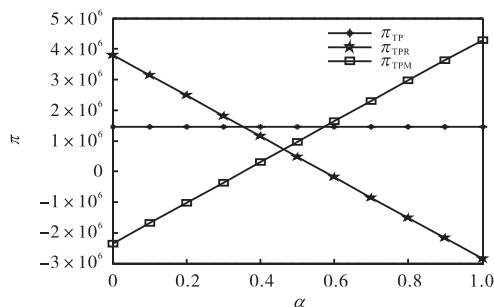


图 1 未应用 RFID 技术供应链的收入共享率-最大利润  
Fig. 1 Revenue sharing ratio-maximum profit of supply chain without RFID technology

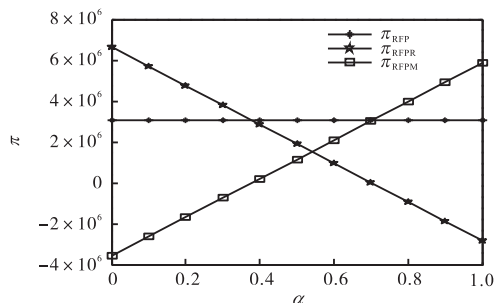


图 2 应用 RFID 技术供应链的收入共享率-最大利润  
Fig. 2 Revenue sharing ratio-maximum profit of supply chain based on RFID technology

由图 1、图 2 可以看出, 制造商的收入共享比例越高, 制造商获得的利润越高。由图 3 可以看出, 收

入共享契约机制下, 应用 RFID 技术的供应链的总利润明显高于未应用物流信息技术供应链的总利润, 即此算例适合投入 RFID 技术。由图 4 可以看出, 相同收入共享比例下, 应用 RFID 技术供应链系统中零售商的利润比未应用物流信息技术供应链系统的利润大, 投入 RFID 技术有效的提高了零售商的利润。应用 RFID 技术供应链系统中制造商的利润比未应用物流信息技术供应链系统的利润小, 随着收入比例的增加两种系统的制造商利润逐步接近, 所以应该提高制造商的收入共享比例。对于未应用 RFID 的供应链, 当制造商从零售商处分得的利润共享率低于 0.368 时, 制造商所获利润少于成本, 难以实现自身盈利, 即会出现图 1 利润为负值的情况; 对于应用 RFID 技术的供应链, 当制造商从零售商处分得的利润共享率低于 0.319 时, 制造商所获利润少于成本, 难以实现自身盈利, 即会出现图 2 中制造商的利润为负值的情况。

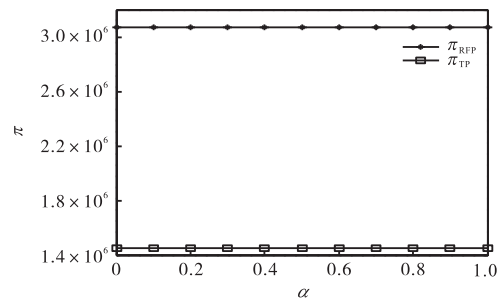


图 3 收入共享契约机制下, 两类供应链的利润比较  
Fig. 3 Comparison of profit sharing of two types of supply chains under revenue sharing contract

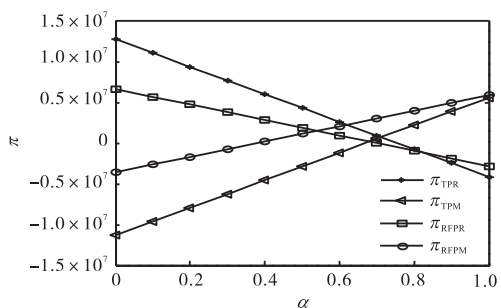


图 4 两类供应链的制造商和零售商利润比较  
Fig. 4 Comparison of manufacturer and retailer profit in two types of supply chains

#### 4 结 语

本文研究由一个制造商和一个零售商组成的两级供应链系统, 通过数理推导和算例分析得出收入共

享契约下,未应用 RFID 技术的供应链和应用 RFID 技术供应链收入共享契约在一定条件下可以实现供应链协调结论,并推导出最优订货量及使供应链系统协调的收入共享率. 收入共享契约机制下,应用 RFID 技术可以明显提高供应链系统的总利润. 零售商的利润与收入共享比例正相关,制造商的利润与收入共享比例负相关,收入共享比例不会影响供应链系统的最优订货量. 实际生活中,供应链系统由多个节点构成,今后还需进一步研究多个供应链参与者组成多级供应链协调问题.

参考文献:

[ 1 ] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts [J]. Handbooks in Operations Research and Management Science, 2003, 11 (11) : 229-339.

[ 2 ] Pasternack B A. Optimal pricing and return policies for perishable commodities[J]. Marketing Science, 1985, 4(2) : 166-176.

[ 3 ] Tasy A, Lovejoy S. Quantity-flexibility contract and supply chain performance[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 1999, 1 (2) : 89-111.

[ 4 ] Cachon G P, Kök A G. Competing manufacturers in a retail supply chain: On contractual form and coordination [J]. Management Science, 2010, 56 (3) : 571-589.

[ 5 ] Lariviere M, Porteus E. Selling to the newsvendor: An analysis of price-only contracts[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2001, 3 (4) : 293-305.

[ 6 ] Bensoussan A, Cakanyildirim M, Li M, et al. Managing inventory with cash register information: Sales recorded but not demands[J]. Production and Operations Management, 2016, 25 (1) : 9-21.

[ 7 ] Heese H S, Kemahlioglu-Ziya E. Don't ask, don't tell: Sharing revenues with a dishonest retailer[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 248 (2) : 580-592.

[ 8 ] Dai H Y, Li J B, Yan N N, et al. Bullwhip effect and supply chain costs with low-and high-quality information on inventory shrinkage[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 250 (2) : 457-469.

[ 9 ] Vlachos I P. A hierarchical model of the impact of RFID practices on retail supply chain performance[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41 (1) : 5-15.

[ 10 ] Ouardighi F E, Sim J E, Kim B. Pollution accumulation and abatement policy in a supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 248 (3) : 982-996.

[ 11 ] 范体军, 张李浩, 吴锋, 等. RFID 技术压缩提前期对供应链收益的影响与[J]. 中国管理科学, 2013, 21 (2) : 114-122.

[ 12 ] 张晓仪. 基于 RFID 技术的供应链协调机制研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.

[ 13 ] 周莹莹. RFID 环境下考虑销售努力及组合契约的供应链研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.

[ 14 ] 安佳琪. 基于 RFID 技术的两阶段报童模型的供应链协调机制研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.

责任编辑: 常涛

(上接第 57 页)

[ 6 ] 马红莲, 董守平, 翟磊. 圆锥节流型水力空化结构中流场的数值模拟[J]. 科学技术与工程, 2008, 8 (23) : 6266-6270.

[ 7 ] 何志霞, 陈驭航, 纪长浩. 多孔孔板水力空化可视化与数值模拟[J]. 农业机械学报, 2016, 47 (2) : 396-401.

[ 8 ] 尤国荣. 环隙型水力空化器对过程强化性能的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.

[ 9 ] 徐美娟, 王玉恒, 王启山. 多孔板水力空化器的优化和应用[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2010, 43 (6) :

9-13.

[ 10 ] 王智勇. 基于 FLUENT 软件的水力空化数值模拟[D]. 大连: 大连理工大学, 2006.

[ 11 ] Franc J P, Michel J M. Fundamentals of Cavitation[M]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.

[ 12 ] 李进良, 李承曦, 胡仁喜, 等. 精通 FLUENT6.3 流场分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 5-6.

责任编辑: 常涛