

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2018.05.030

考虑再制造回收率的两阶段双渠道闭环供应链协调契约设计

于春海, 刘姗姗, 荣冬玲, 李祎多
(东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 针对由一个制造商与一个零售商构成的二级供应链结构,考虑将整个销售期划分为两个销售阶段并通过混合双渠道销售产品,提出了有效的协调契约. 制造商与零售商之间存在以制造商为主导的斯塔克伯格博弈行为,运用博弈理论建立决策模型,并引入改进的收益共享契约,以解决渠道冲突问题. 结果表明,制造商在保持传统渠道的同时,开辟电子渠道将导致传统零售商抬高市场价格,影响产品的整体市场需求,导致总体利润降低,且在特定策略下回收率水平较低时会引起渠道冲突. 设计的批发价格与收益共享契约组合的改进契约实现了双渠道供应链的协调,并使得开辟电子渠道后供应链各成员利润达到帕累托改进,从而有效解决了渠道冲突问题.

关 键 词: 闭环供应链;两阶段;双渠道;契约;斯塔克伯格博弈

中图分类号: F 253.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2018)05-0756-05

A Coordinative Contract of the Dual-Channel Closed Loop Supply Chain with Two-Sale Periods Considering Rate of Recovery

YU Chun-hai, LIU Shan-shan, RONG Dong-ling, LI Yi-duo
(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: YU Chun-hai, E-mail: chyu@mail.neu.edu.cn)

Abstract: A coordinative contract based on a two-stage supply chain pricing model consisting of a manufacturer and a retailer was studied. The model divided the entire sale period into two-sale periods and sells the product through a dual channel. There exists the Stackelberg game behavior which is dominated by the manufacturer among the supply chain members. The game theory was used to establish the decision-making model and an improved revenue-sharing contract was introduced to solve the channel conflict. The results showed that the e-channel can lead the retailer to raise the market price when manufacturer maintain traditional channels, which may adversely affect the overall market demands causing the decrease of overall profits. The channel conflict may ensue when the rate of recovery is lower under specific strategies. In order to solve the conflict of the mixed dual channel, an improved contract of wholesale price and revenue sharing contract was designed, which not only achieves the coordination of the dual-channel supply chain, but also helps the supply chain members to get Pareto improvement in their profits.

Key words: closed loop supply chain; two-sale periods; dual-channel; contract; stackelberg game

随着人们环保意识及可持续发展观念的增强,在供应链中企业越来越重视对产品的回收再制造. 为了提高资源的利用效率,由制造商从事回收再制造已经成为再制造领域的一种重要方式. 另一方面,随着网络技术的发展,传统销售方式已不能满足日益激烈的市场竞争,双渠道乃至多渠道

道销售模式受到学术界越来越多的关注.

已有学者针对相关问题作了一些研究,并取得一定的成果.例如 Stindt 等^[1]对闭环供应链的库存问题及再制造相关过程管理和再制造品的竞争及价格策略以及回收过程决策等方面进行了研究.张曙红等^[2]研究了基于政府激励的再制造闭环供应链定价策略及协调机制.在对双渠道供应链的研究方面,Chiang 等^[3]考虑了消费者对于网络直销渠道的接受度.Rodríguez 等^[4]在双渠道销售模型的基础上通过建立嵌套逻辑模型,模拟客户的需求,分析顾客购买渠道,并寻求其最优定价策略.Li 等^[5]研究了双渠道绿色供应链的定价问题.Batarfi 等^[6]研究了需求基于价格变化的多制造商的混合渠道下生产决策模型.He 等^[7]考虑了碳排放政策下消费者搭便车行为对于双渠道闭环供应链运作效率的影响.另外,部分学者对单纯的收益共享契约进行了拓展,并成功实现了双渠道供应链的协调^[8-10].

然而上述研究中同时考虑前端市场特征及销售途径与再制造的经济效益因素,研究回收率与市场特征联合作用下的定价及协调契约设计问题所见文献甚少,因此本文在基于双渠道闭环供应链的基础上探究了考虑离散时间的两阶段销售期的定价及协调契约问题.并分析了回收率对于正向销售渠道策略选择的影响,进一步探究了回收率与契约共享系数的联合作用对于契约协调机制下定价策略的影响.并且运用改进收益共享契约,在设计有效契约的同时,解决了渠道冲突问题,具有重要的现实意义及研究价值.

1 基本模型描述与假设

由制造商负责回收的由一个制造商、一个零售商、一个消费市场三个主体构成的二级供应链模型如图 1 所示.消费者从零售商处购买产品的渠道类型为传统渠道,消费者通过电子商务平台直接从制造商处购买商品的渠道类型为网络直销渠道.将企业对产品的销售期分为两个阶段,第一销售阶段及第二销售阶段:在第一销售阶段,存在传统渠道及网上渠道两种渠道类型;在第二阶段取消传统渠道,只保留网络直销渠道,如图 2 所示.假设制造商以回收率 τ 对产品进行回收再制造,即制造商生产产品可以通过原材料进行生产,同时可以通过回收废旧产品进行再制造生产.并且假设再制造产品与新产品各方面不存在质量差异,因此新产品与再制造品以相同的价格销售.但

是再制造产品的生产成本较低,每单位再制造品较之新产品节约生产成本 C_{Δ} .本文不考虑缺货情况,第一期市场对产品的需求量为 q ,产品回收率为 τ ,废旧品回收数量为 τq ,生产再制造产品所节省的成本为 $\tau q C_{\Delta}$.

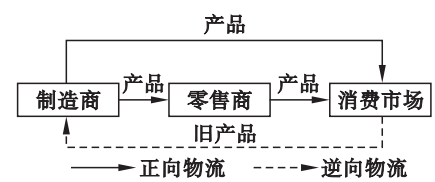


图 1 由制造商负责回收的单阶段供应链结构图
Fig. 1 Single-period supply chain structure collected by manufacturer

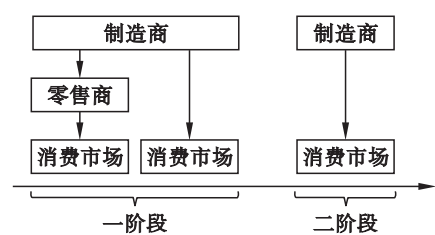


图 2 由制造商负责回收的两阶段供应链结构图
Fig. 2 Dual-period supply chain structure collected by manufacturer

假设制造商和零售商决策依据是利润最大化原则,对于消费者来说,若心理评价大于实际价格则选择购买,反之则不购买.这里考虑到消费者心理评价 V , V 服从 0 到 1 的均匀分布,需求量是完全依赖价格变化,且满足 $q = 1 - \lambda p$,其中 p 是产品的价格, λ 是产品的价格弹性系数.

在传统渠道销售模式下,消费者对于产品的心理评价为 V . 消费者对于产品的心理评价为 θV ,其中 θ 为消费者对于网络渠道的接受程度, $0 \leq \theta \leq 1$,其表征了消费者对于同等商品在网络渠道的产品价格感知.此外,随着时间的消逝,消费者对于网上售卖产品的感知与评价是随时间递减的,因此消费者在第二阶段获取产品的心理评价为 $\theta \mu V$,其中 μ 为消费者在第二期对购买产品所产生的心理评价衰减率.假设消费者效用为 $U = V - p$. 当 $U_r = V - p_r \geq 0$ 时,消费者会通过一阶段传统渠道购买产品,其中 p_r 为一阶段传统渠道下产品的销售价格;当 $U_d = \theta V - p_d \geq 0$ 时,消费者才会通过一阶段网络渠道购买产品,其中 p_d 为一阶段网络渠道下产品的销售价格;当 $U_2 = \theta \mu V - p_2 \geq 0$ 时,消费者才会在二阶段的网络渠道下购买产品, p_2 为二阶段网络渠道下产品的销售价格. 综上,得到购买行为的心理评价范围: $V \geq p_r, V \geq p_d/\theta, V \geq p_2/\mu\theta$. 需求量如式(1)所示:

$$(q_r, q_d, q_2) = \begin{cases} (1 - \frac{\lambda(p_r - p_d)}{1 - \theta}, \frac{\lambda(\theta p_r - p_d)}{\theta(1 - \theta)}, \frac{\lambda(p_d - p_2/\mu)}{\theta}), p_r \geq \frac{p_d}{\theta}; \\ (1 - \lambda p_r, 0, \lambda(p_r - \frac{p_2/\mu}{\theta})), \frac{p_2/\mu}{\theta} \leq p_r < \frac{p_d}{\theta}; \\ (1 - \lambda p_r, 0, 0), p_r < \frac{p_2}{\mu\theta}. \end{cases} \tag{1}$$

2 分散决策下不同渠道结构的均衡策略

制造商和零售商存在斯塔克伯格博弈,分别以自身利润最大化为目标进行决策.主导者制造商先行动决定批发价格和网络渠道的销售价格,追随者零售商观测到制造商的决策之后,确定自己的零售价格.由逆向归纳法求解,在此用上标 h 代表分散决策机制下的变量,其中 p_r^h 代表传统渠

道价格, ω^h 为批发价格, p_d^h 为一阶段网络渠道价格, p_2^h 为二阶段网络渠道价格, τ^{*h} 为在各最优策略下的回收率边界值.

2.1 分散决策下两阶段的均衡策略

命题 1 回收率满足 $\tau_1^{*h} < \tau \leq 1$ 时制造商采取两阶段销售模型,在第一阶段采用传统销售渠道和网络直销渠道,第二阶段采用网络直销渠道销售产品,供应链存在唯一最优定价策略.最优价格及回收率边界值为

$$p_r^{*h} = \frac{1}{2\lambda}, \omega^{*h} = \frac{\theta}{2\lambda}, p_d^{*h} = \frac{\theta}{2\lambda}, p_2^{*h} = \frac{-2\lambda\tau C_\Delta + 2\lambda C_d + \mu\theta}{4\lambda}, \tau_1^{*h} = \frac{2\lambda C_d - \mu\theta}{2\lambda C_\Delta}. \tag{2}$$

命题 2 当回收率满足 $\tau_2^{*h} < \tau \leq \tau_1^{*h}$ 时,制造商采取两阶段销售模型在一阶段采用传统渠道销售并设置网络渠道价格,但并不通过网络渠道

售卖产品,供应链存在唯一最优定价策略.最优价格及回收率边界值为

$$\left. \begin{aligned} p_r^{*h} &= -\frac{1}{\lambda(\theta - 2)}, \omega^{*h} = -\frac{\theta}{\lambda(\theta - 2)}, p_d^{*h} = -\frac{\theta}{\lambda(\theta - 2)}, \\ p_2^{*h} &= \frac{\lambda\tau\theta C_\Delta - 2\lambda\tau C_\Delta - \lambda\theta C_d + 2\lambda C_d + \mu\theta}{2\lambda(2 - \theta)}, \tau_2^{*h} = \frac{C_d(\theta - 2)\lambda + \mu\theta}{\lambda(\theta - 2)C_\Delta}. \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

命题 3 回收率满足 $\tau_3^{*h} < \tau \leq \tau_2^{*h}$ 时,制造商完全取消网络销售渠道,采用两阶段销售模型一阶段仅为传统渠道,二阶段为网络渠道,供应链

存在唯一最优定价策略.最优价格及回收率边界值为

$$\left. \begin{aligned} p_r^{*h} &= \frac{\lambda\tau C_\Delta + \lambda C_d - 2\lambda C_r - 6}{\lambda(\theta\mu - 8)}, \omega^{*h} = \frac{2\lambda\tau C_\Delta + 2\lambda C_d - 4\lambda C_r - \theta\mu - 4}{\lambda(\theta\mu - 8)}, \\ p_2^{*h} &= \frac{\lambda\mu\theta C_d - \lambda\mu\theta C_r + 4\lambda\tau C_\Delta - 4\lambda C_d - 3\theta\mu}{\lambda(\theta\mu - 8)}, \tau_3^{*h} = \frac{\lambda\mu\theta C_r - 4\lambda C_d + 3\theta\mu}{\lambda C_\Delta(\theta\mu - 4)}. \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

2.2 分散决策下单阶段的均衡策略

命题 4 当回收率满足 $0 < \tau \leq \tau_3^{*h}$ 时,制造商仅采用单阶段单销售渠道模型且仅通过传统销售渠道销售产品.供应链存在唯一最优解定价策略,且最优价格为

$$\left. \begin{aligned} p_r^{*h} &= \frac{-\lambda\tau C_\Delta + \lambda C_r + 3}{4\lambda}, \\ \omega^{*h} &= \frac{-\lambda\tau C_\Delta + \lambda C_r + 1}{2\lambda}. \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

3 集中决策下不同渠道结构的均衡策略

制造商与零售商作为统一的决策主体,建立

利润函数模型,求得各策略组合下利润达到最大值时的最优价格.在此用上标 I 表示集中决策变量.其中 p_r^I 代表传统渠道价格, p_d^I 为一阶段网络渠道价格, p_2^I 为二阶段网络渠道价格, τ^{*I} 为在各最优策略下的回收率边界值.

3.1 集中决策下两阶段的均衡策略

命题 5 在集中决策下,当回收率满足 $\tau_1^{*I} < \tau \leq 1$ 时,企业决策者采用两阶段销售渠道,且第一阶段包含传统渠道与网络渠道,第二阶段为网络渠道的销售模式,存在唯一最优定价策略.最优价格及回收率边界值为

$$\left. \begin{aligned} p_r^{*1} &= \frac{\lambda\mu C_d - \lambda\mu C_r - 2\lambda\tau C_\Delta - 2\lambda C_d + 4\lambda C_r + \mu\theta - \mu + 4}{2\lambda(4 - \mu)}, p_d^{*1} = \frac{\lambda\tau C_\Delta - \lambda C_d - 2\theta}{\lambda(\mu - 4)}, \\ p_2^{*1} &= \frac{2\lambda\tau C_\Delta - 2\lambda C_d - \mu\theta}{\lambda(\mu - 4)}, \tau_1^{*1} = \frac{\mu\theta^2 - \mu\theta + \lambda(\mu\theta C_d - \mu\theta C_r - 2\theta C_d + 4\theta C_r - 2C_d)}{2\lambda C_\Delta(-1 + \theta)}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

命题 6 在集中决策下,当回收率满足 $\tau_2^{*1} < \tau \leq \tau_1^{*1}$ 时,企业将选择两阶段销售策略,且一阶段仅设置传统渠道销售方式,企业存在唯一最优定价策略,且最优价格及回收率边界值为

$$\left. \begin{aligned} p_r^{*1} &= \frac{\lambda(\tau C_\Delta + C_d - 2C_r) - 2}{\lambda(\mu\theta - 4)}, \\ p_2^{*1} &= \frac{\lambda(\mu\theta C_d - \mu\theta C_r + 2\tau C_\Delta - 2C_d) - \mu\theta}{\lambda(\mu\theta - 4)}, \\ \tau_2^{*1} &= \frac{\lambda(\mu\theta C_r - 2C_d) + \mu\theta}{\lambda C_\Delta(\mu\theta - 2)}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

3.2 集中决策下单阶段的均衡策略

命题 7 在集中决策下,当回收率满足 $0 < \tau \leq \tau_2^{*1}$ 时,企业将采用一阶段销售策略,且此阶段内仅设置传统渠道进行销售,此时企业决策者的定价策略为 p_r^{*1} ,即:

$$p_r^{*1} = \frac{\lambda(-\tau C_\Delta + C_r) + 1}{2\lambda}. \quad (8)$$

4 协调契约的设计

供应链契约具有协调能力的条件:①供应链的整体利润可调整到集中式决策的最优水平;②

$$\left. \begin{aligned} p_r^{*J} &= \frac{\lambda\mu C_d - \lambda\mu C_r - 2\lambda\tau C_\Delta - 2\lambda C_d + 4\lambda C_r + \mu\theta - \mu + 4}{2\lambda(4 - \mu)}, \\ p_d^{*J} &= \frac{\lambda\tau C_\Delta - \lambda C_d - 2\theta}{\lambda(\mu - 4)}, p_2^{*J} = \frac{2\lambda\tau C_\Delta - 2\lambda C_d - \mu\theta}{\lambda(\mu - 4)}, \\ \omega^{*J} &= -\frac{\lambda\mu C_d - \lambda\mu C_r - \lambda\tau C_\Delta - 3\lambda C_d + 4\lambda C_r + 2\theta}{\lambda(\mu - 4)}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

当企业采取策略 2,即两阶段销售模式:一阶段采用传统渠道销售的同时,引入了网络销售渠道价格但并不销售产品;二阶段仅采用网络销售渠道,则认为此时价格关系为 $p_d^{*J} = p_d^{*1}$, $p_r^{*J} =$

$$\left. \begin{aligned} p_r^{*J} &= \frac{\lambda(\tau C_\Delta + C_d - 2C_r) - 2}{\lambda(\mu\theta - 4)}, p_d^{*J} = \frac{\lambda(\tau C_\Delta + C_d - 2C_r) - 2}{\lambda\theta(\mu\theta - 4)}, \\ p_2^{*J} &= \frac{\lambda(\mu\theta C_d - \mu\theta C_r + 2\tau C_\Delta - 2C_d) - \mu\theta}{\lambda(\mu\theta - 4)}, \omega^{*J} = \frac{2\lambda\tau C_\Delta + 2\lambda C_d - 4\lambda C_r - \mu\theta}{\lambda(\mu\theta - 4)}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

当企业采用策略 3,即两阶段销售模式:一阶段包含传统销售渠道,此时完全取消网络渠道;二阶段仅为网络渠道,则认为此时有 $p_r^{*J} = \frac{\lambda\omega^{*J} + 1}{2\lambda}$,当 $p_r^{*J} = p_r^{*1}$, $p_2^{*J} = p_2^{*1}$ 时,可以实现协调. 得到协调价格为

保证制造商和零售商各自获得的利润不低于分散式决策时的最大利润水平,并且可对制造商与零售商进行柔性的供应链利润分配^[11]. 本文采用改进收益共享契约机制^[12],其能够消除渠道冲突实现协调,使得协调下的供应链总体利益与集中决策下的供应链收益保持相等. 其中用上标 J 代表契约机制下的变量.

假设制造商分配的比例为 β ,零售商分配的比例为 $1 - \beta$,而 β 的大小由双方讨价还价能力确定. 则为使双方均接受契约协调需使利润满足: $\beta\pi^{*1} - \pi_m^{*h} \geq 0$, 且 $(1 - \beta)\pi^{*1} - \pi_r^{*h} \geq 0$. 如果能实现分散决策模式下的利润等于集中化决策模式下供应链渠道的总利润,则实现渠道的完美协调,即 $\pi^{*J} = \pi^{*1}$. 4 种阶段渠道组合下最优策略如下.

当企业采取策略 1,即两阶段销售模式:一阶段为传统渠道与网络直销渠道,二阶段仅为网络直销渠道时,已知 $p_d^{*J} = p_d^{*1}$, $p_r^{*J} = \frac{\lambda\omega + \lambda p_d^{*J} - \theta + 1}{2\lambda}$, $p_r^{*J} = p_r^{*1}$, $p_2^{*J} = p_2^{*1}$ 得到协调价格为

$p_d^{*J}/\theta = \frac{\lambda\omega^{*J} + 1}{2\lambda}$, $p_r^{*J} = p_r^{*1}$, $p_2^{*J} = p_2^{*1}$, 得到协调价格:

$$\left. \begin{aligned} p_r^{*J} &= \frac{\lambda(\tau C_\Delta + C_d - 2C_r) - 2}{\lambda(\mu\theta - 4)}, \\ p_2^{*J} &= \frac{\lambda(\mu\theta C_d - \mu\theta C_r + 2\tau C_\Delta - 2C_d) - \mu\theta}{\lambda(\mu\theta - 4)}, \\ \omega^{*J} &= \frac{2\lambda\tau C_\Delta + 2\lambda C_d - 4\lambda C_r - \mu\theta}{\lambda(\mu\theta - 4)}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

当企业采取策略 4,即采用单阶段单渠道销售模式:仅设置一个销售阶段,且仅包含传统销售渠道时,则认为此时有 $p_r^{*J} = \frac{\lambda \omega^{*J} + 1}{2\lambda}$,当 $p_r^{*J} = p_r^{*1}$ 时可以实现协调.得到协调价格为

$$p_r^{*J} = \frac{\lambda(-\tau C_\Delta + C_r) + 1}{2\lambda}, \omega^{*J} = -\tau C_\Delta + C_r. \tag{12}$$

当改进后的收益共享系数是其可行域范围内的某一个固定值时,且此时在契约协调机制下,改进后的制造商与零售商利润要分别大于等于两者分散决策下的利润,存在式(13)关系:

$$\left. \begin{aligned} \pi_r^{*J} - \pi_r^{*h} &\geq 0, \\ \pi_m^{*J} - \pi_m^{*h} &\geq 0. \end{aligned} \right\} \tag{13}$$

当不等式取等号时可求出其边界值:

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= 1 - \frac{\pi_r^{*h}}{\pi^{*J}}, \\ \beta_2 &= \frac{\pi_m^{*h}}{\pi^{*1}}. \end{aligned} \right\} \tag{14}$$

5 结 论

1) 无论在何种决策机制下,制造商进行废品回收均可以在每一种既定价格策内,提高闭环供应链系统收益及成员收益.

2) 当回收率较高时,企业更倾向去采取两阶段销售策略且将在一阶段开设网络直销渠道;当回收率水平一般时,企业将会采用两阶段销售策略,且一阶段不开设网络渠道;当回收率较低时,决策者将会仅采用一阶段传统销售渠道.

3) 在需求依赖价格变化的模型基础上,引入批发价格与收益共享契约组合形式的改进收益共享契约,可以达到供应链的完美协调,并使得各参与成员的收益实现帕累托改进.

参考文献:

[1] Sindt D, Sahamie R. Review of research on closed loop supply chain management in the process industry [J].

Flexible Services and Manufacturing Journal, 2014, 26 (1/2):268-293.

[2] 张曙红,张金隆,冷凯君. 基于政府激励的再制造闭环供应链定价策略及协调机制研究[J]. 计算机集成制造系统, 2012,18(12):2750-2755.

(Zhang Shu-hong, Zhang Jin-long, Leng Kai-jun. Pricing strategy and coordination mechanism of remanufacturing closed-loop supply chain based on government incentives [J]. *Computer Integrated Manufacturing System*, 2012, 18 (12):2750-2755.)

[3] Chiang W K, Chhajed D, Hess J D. Direct marketing, indirect profits: a strategic analysis of dual-channel supply-chain design[J]. *Management Science*, 2003, 49(1):1-20.

[4] Rodríguez B, Aydın G. Pricing and assortment decisions for a manufacturer selling through dual channels [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 242(3):901-909.

[5] Li B, Zhu M, Jiang Y, et al. Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112(20):2029-2042.

[6] Batarfi R, Jaber M Y, Zaroni S. Dual-channel supply chain: a strategy to maximize profit [J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2016, 40(21):9454-9473.

[7] He R, Xiong Y, Lin Z. Carbon emissions in a dual channel closed loop supply chain: the impact of consumer free riding behavior[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 134:384-394.

[8] 赵礼强. 基于电子市场的供应链双渠道冲突与协调的契约设计[J]. 中国管理科学, 2014, 22(5):62-70.

(Zhao Li-qiang. Contract design for coordination conflict of dual channels supply chain based on E-market[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2014, 22(5):62-70.)

[9] 张雨濛,王震. 多级双渠道供应链的联合契约研究[J]. 中国管理科学, 2015, 23(1):537-543.

(Zhang Yu-meng, Wang Zhen. Study on three level dual-channels with joint coordination on contract [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(1):537-543.)

[10] Xu G, Dan B, Zhang X, et al. Coordinating a dual-channel supply chain with risk-averse under a two-way revenue sharing contract [J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 147(1):171-179.

[11] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations [J]. *Management Science*, 2005, 51(1):30-44.

[12] 徐光业,但斌,肖剑. 基于改进收益共享契约的双渠道供应链协调研究[J]. 中国管理科学, 2010, 18(6):59-64.

(Xu Guang-ye, Dan Bin, Xiao Jian. Study on dual-channel supply chain coordination with new revenue-sharing contact [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2010, 18(6):59-64.)