

DOI:10.13196/j.cims.2018.01.023

# 需求与成本同时扰动下的信息产品供应链定价决策

于艳娜,姚锋敏<sup>+</sup>,滕春贤

(哈尔滨理工大学 系统工程研究所,黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:**为减少需求和成本同时扰动对信息产品供应链的影响,研究了扰动发生时,由单一制造商和单一零售商组成的信息产品供应链的定价问题。构建了不同结构双渠道信息产品供应链决策模型,分析了扰动发生对信息产品供应链需求、定价和利润的影响。研究发现,成本扰动发生时,集中式和分散式信息产品供应链的制造商利润均会降低,且成本扰动对分散式下零售商的利润影响较小;而销售高质量信息产品能够降低扰动对信息产品供应链的影响。

**关键词:**信息产品;供应链;扰动;定价决策;双渠道

**中图分类号:**F224;C931.1 **文献标识码:**A

## Pricing decision for information product supply chain under demand and cost disruption

YU Yanna, YAO Fengmin<sup>+</sup>, TENG Chunxian

(Institute of System Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** To reduce the influence of demand and cost disruption on information product supply chain, the pricing question was researched in an information product supply chain consisted of one manufacturer and one retailer. The decision models of dual-channel information supply chain were developed with different structures, and the influence of disruption on demand, price and profit were analyzed. The research showed that the profit of manufacturer decreased both in centralized and decentralized dual-channel information product supply chain with cost disruption, and such negative effect was smaller for retailer in decentralized system with cost disruption. The effect of disruption on information product supply chain would be decreased when sold information products with high quality.

**Keywords:** information product; supply chains; disruption; pricing decision; dual-channel

## 0 引言

随着互联网经济的快速发展,互联网应用深入到各个行业。2016年5月国务院印发了《关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》,部署深化制造业与互联网融合发展,协同推进“中国制造2025”和“互联网+”行动。互联网与制造业的融合创新与相互促进,为我国制造业转型升级提供了具体可行的技术路线,也为互联网产业发展开辟了不可估量的应用市场。然而互联网在快速发展的同时,面临着用户价值信息被窃取、服务器资源被控制等行为

的威胁,据国家互联网应急中心(CNCERT)监测发现,网页仿冒、拒绝服务攻击等干扰现象呈现显著增长的趋势,这些攻击、信息窃取行为导致市场需求发生变化,影响信息产品的正常销售,损害了制造商、零售商和消费者的利益,从而严重影响信息产品供应链的正常运行。

目前,已有许多学者关注了信息产品定价及盗版问题。Bakos等<sup>[1]</sup>应用大数定律预测了大量捆绑信息产品价值,实现了经济效益的最大化;Wu等<sup>[2]</sup>应用非线性混合整数规划方法研究了信息产品定制捆绑价格问题,发现不完全信息市场下,定制捆绑的

收稿日期:2017-06-20;修订日期:2017-08-28。Received 20 June 2017; accepted 28 Aug. 2017.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71301036,71171069)。**Foundation items:** Project supported by the National Natural Science Foundation, China(No. 71301036,71171069).

定价方案比其他定价方案简单;Khouja等<sup>[3]</sup>考虑了租赁信息产品供应链,发现垂直整合能够使制造商和零售商获得最大收益;Wang等<sup>[4]</sup>应用贝叶斯方法,研究了基于订阅不确定需求的信息产品定价策略;Jeong等<sup>[5]</sup>则分析了盗版行为存在时不同收费合同的差别,发现收费合同无法实现供应链协调;Danaher等<sup>[6]</sup>通过实验方法分析了盗版行为存在时,数字产品对实体产品销售的影响,说明DVD产品的销售总是和盗版行为显著相关,而实体产品和数字产品的销售相关性不显著;刘志勇等<sup>[7]</sup>研究了不同网络外部因素影响下不同版本信息产品的销售策略。以上文献研究了不同情形下信息产品的定价问题。由于信息产品在流动过程中产权分离,其复制和扩散的成本极低,而且信息产品的流通具有双介质性,加快信息产品传播,将导致信息产品供应链易受扰动行为影响。例如,2014年3月22日,携程网因为安全支付漏洞导致大量用户银行卡信息外泄,从而使携程股价跌幅高达9.48%,严重损伤了携程的品牌声誉,导致顾客大量流失。

由于扰动事件对供应链生产运营的影响,许多学者对物质产品供应链的扰动协调进行了深入研究,例如Qi等<sup>[8]</sup>在成本偏离的基础上,应用批发价格折扣契约,获得了供应链协调的潜在最优条件;何波等<sup>[9]</sup>研究了成本扰动情形下,双渠道竞争的供应链系统定价和订货策略;吴海燕等<sup>[10]</sup>研究了两制造商竞争环境下3种成本扰动情形的最优生产决策;雷东等<sup>[11]</sup>研究了需求和成本扰动同时发生时对供应链生产计划的影响;Xiao等<sup>[12-13]</sup>研究了传统供应链的需求扰动问题,分析了单位数量折扣和大批量数量折扣两种契约协调机制,建立并扩展了成本和需求扰动模型;王传涛等<sup>[14]</sup>在需求是价格的线性函数假设条件下,研究了需求和成本同时扰动发生的供应链问题;Lei等<sup>[15]</sup>研究了信息不对称时,需求和扰动同时发生对供应链的影响;Cao等<sup>[16]</sup>研究了需求和扰动同时发生时,由一个制造商和 $n$ 个Bertrand竞争的零售商构成的供应链协调问题;吴晓志等<sup>[17-18]</sup>研究了不同因素扰动下,易逝品双渠道供应链的应急协调问题。

以上文献均研究了物质产品供应链的扰动问题,而现代生活中的信息产品与人们生产和生活的联系越来越紧密,信息产品供应链的扰动管理问题日益显著。因此,本文以信息产品供应链为研究对象,在需求和成本扰动同时发生时,建立了双渠道信

息产品供应链的定价决策模型;研究扰动发生时信息产品供应链的变化情况,比较分析了信息产品供应链价格、需求和利润变化;最后通过数值算例对本文的主要研究结论进行了验证和解释。

## 1 问题描述和模型假设

### 1.1 问题描述

在信息产品市场中,当扰动发生时,信息产品供应链的销售计划将受到影响,使信息产品供应链收益波动,甚至使信息产品供应链产生沉没成本,导致信息产品退出市场。本文考虑由单一制造商和单一零售商组成的双渠道信息产品供应链,其中制造商生产信息产品,并通过直销或零售两种方式进行销售;由于制造商具有技术垄断性,假定制造商作为信息产品供应链的主导者,零售商作为信息产品供应链的跟随者;制造商根据市场预测给定批发价格与直销价格,零售商根据制造商给出的批发价格制定零售价格,制造商和零售商之间属于Stackelberg博弈。本文的相关符号说明如下:

$\omega$  表示制造商批发价格; $Q$  表示市场需求; $p$  表示销售价格; $\alpha$  表示市场规模; $c$  表示信息产品固定成本; $c_d$  表示制造生产过程中的单位可变成本; $*_r$  表示零售变量; $*_d$  表示直销变量; $*^c$  表示集中式信息产品供应链; $*^d$  表示分散式信息产品供应链; $\pi_x$  表示信息产品供应链整体利润; $\pi_s$  表示制造商利润; $\pi_r$  表示零售商利润; $*^{cd}$  表示扰动后集中式信息产品供应链; $*^{dd}$  表示扰动后分散式信息产品供应链; $*^*$  表示扰动后信息产品供应链变量。

因为信息产品的巨大研发成本,趋于零的边际生产成本在很大程度上改变了市场的定价基础与供求结构,传统的边际价格理论不能完全适应信息产品定价,所以效用函数成为信息产品定价的核心因素,参考文献[19-21]等处理方法,本文应用消费者效用函数来确定信息产品的价格。假设消费者效用函数为

$$U = \sum_{i=r,d} \left( \alpha_i Q_i - \frac{Q_i^2}{2} \right) - \sum_{i=r,d} p_i Q_i \quad (1)$$

为了最大化消费者效用,无需求扰动时零售渠道需求和直销渠道需求及信息产品的总需求分别为:

$$\begin{aligned} Q_r &= \alpha_r - p_r; \\ Q_d &= \alpha_d - p_d; \\ Q_x &= \alpha_r + \alpha_d - p_r - p_d. \end{aligned} \quad (2)$$

由式(2)可知,信息产品供应链的渠道需求依赖于渠道自身的市场规模,与销售价格成反比,价格越高需求越小,当价格降低时,需求会增加。

### 1.2 无需求扰动时集中式信息产品供应链模型

无需求扰动发生时,不同渠道的需求依赖于其自身的市场规模。信息产品供应链的总需求则取决于整个市场的规模。为了弥补巨大的沉没成本,追求利益最大化,集中式双渠道信息产品供应链利润为

$$\pi_x^c = Q_r p_r^c + p_d^c Q_d - (Q_r + Q_d)c_d - c. \quad (3)$$

式中:第一项表示零售商利润,第二项表示直销渠道利润,第三项表示可变成本,第四项表示生产研发的固定成本。

在无扰动发生时,集中式信息产品供应链的利润是关于价格的凹函数,根据一阶条件,可求得最优直销价格和零售价格分别为:

$$\begin{aligned} p_d^c &= \frac{1}{2}(\alpha_d + c_d); \\ p_r^c &= \frac{1}{2}(\alpha_r + c_d). \end{aligned} \quad (4)$$

由式(4)可知,信息产品直销价格和零售价格除受各自渠道市场规模的影响外,还受信息产品制造生产可变成本的影响,可变成本越高售价越高,可变成本降低,销售价格也降低。

进一步,将最优直销价格和零售价格式(4)代入式(2),整理可求得直销渠道和零售渠道,以及信息产品供应链系统的最优需求分别为:

$$\begin{aligned} Q_d &= \frac{1}{2}(\alpha_r - c_d); \\ Q_r &= \frac{1}{2}(\alpha_r - c_d); \\ Q_x &= \frac{1}{2}(\alpha_r + \alpha_d - 2c_d). \end{aligned} \quad (5)$$

由式(5)可知,可变成本增加,需求降低;可变成本降低,需求增加。无需求扰动发生时,集中式信息产品供应链研发销售低质量信息产品有益于拓展信息产品市场的潜在需求。

无扰动发生时,将式(4)和式(5)带入式(3),经整理可得集中式信息产品供应链的利润为

$$\pi_x^c = \frac{1}{4}(\alpha_r - c_d)^2 + \frac{1}{4}(\alpha_d - c_d)^2 - c. \quad (6)$$

由式(6)可知,集中式信息产品供应链的利润与市场规模二次相关,与单位成本及固定成本负向相关。

### 1.3 无需求扰动时分散式信息产品供应链模型

无需求扰动时,分散式信息产品供应链制造商利润 $\pi_m^d$ 和零售商的利润 $\pi_r^d$ 分别为:

$$\pi_m^d = Q_d p_d^d + Q_r \omega - (Q_d + Q_r)c_d - c; \quad (7)$$

$$\pi_r^d = Q_r p_r^d - Q_r \omega. \quad (8)$$

其中:制造商利润为直销渠道利润与批发利润的和减去单位可变成本和固定成本,零售商利润为零售渠道利润和批发利润的差。

批发价格一定时,根据一阶条件,分别最大化制造商和零售商利润函数,求得最优直销价格和零售价格:

$$\begin{aligned} p_d^d &= p_r^d = \frac{1}{2}(\alpha_d + c_d); \\ p_r^d &= \frac{\alpha_r}{2}. \end{aligned} \quad (9)$$

此时,分散式信息产品供应链的直销价格与集中式信息产品供应链的直销价格相等。分散式信息产品供应链零售价格低于集中式信息产品供应链的零售价格,即 $p_r^d < p_r^c$ ,且分散式信息产品供应链的零售价格仅受零售渠道需求影响,不受可变成本的影响。

无需求扰动时,将式(9)代入式(2)计算整理,可求得分散式信息产品供应链零售需求和直销需求分别为:

$$\begin{aligned} Q_r^d &= \frac{\alpha_r}{2}; \\ Q_d^d &= \frac{1}{2}(\alpha_r - c_d). \end{aligned} \quad (10)$$

无需求扰动时,将式(9)和式(10)分别代入式(7)和式(8)计算整理得,分散式信息产品供应链制造商和零售商的利润分别为:

$$\begin{aligned} \pi_m^d &= \frac{1}{4}(\alpha_d^2 - c_d^2) + \frac{\alpha_r}{2}\omega - \frac{1}{2}(\alpha_r + \alpha_d - c_d)c_d - c; \\ \pi_r^d &= \frac{\alpha_r}{4}(\alpha_r - 2\omega). \end{aligned} \quad (11)$$

由式(11)可知,无需求扰动时,较多的需求量与高额的批发价格会促使分散式信息产品供应链制造商获取更多的利润,高额的成本会降低制造商的利润,高额的批发价格会降低零售商的利润。

## 2 需求和成本同时扰动时信息产品供应链模型

### 2.1 需求和成本同时扰动时集中式信息产品供应链模型

需求和成本扰动同时发生时,假设需求扰动导

致销售渠道的市场规模发生的变化为  $\bar{\alpha}_k = \alpha_k + \Delta\alpha_k \geq 0 (k=r, d)$ , 其中:  $\Delta\alpha_k$  表示需求扰动量,  $\bar{\alpha}_k$  表示扰动后总需求,  $\alpha_k$  表示扰动前的市场规模。假设发生扰动后双渠道依然存在, 即若销售渠道不适应新的环境则会被淘汰, 扰动发生后导致的成本变化为  $\bar{c}_d = c_d + \Delta c_d$ ,  $\Delta c_d$  表示扰动产生的成本的单位可变量。消费者的效用函数变为:

$$U = \sum_{k=r, d} \left( \bar{\alpha}_k \bar{Q}_k - \frac{\bar{Q}_k^2}{2} \right) - \sum_{k=r, d} \bar{p}_k \bar{Q}_k. \quad (12)$$

扰动发生后最大化消费者效用函数, 信息产品供应链的零售渠道需求和直销渠道需求变为

$$\begin{aligned} \bar{Q}_r &= \frac{\alpha_r - \Delta\alpha_r + \bar{p}_r^d}{\alpha^2 - 1}; \\ \bar{Q}_d &= \frac{\alpha_d - \Delta\alpha_d - \bar{p}_d^d}{\alpha^2 - 1}. \end{aligned} \quad (13)$$

此时, 信息产品供应链的总需求为

$$\bar{Q}_x = \bar{Q}_r + \bar{Q}_d - \Delta Q_r - \Delta Q_d - \bar{P}_d + \bar{P}_r. \quad (14)$$

扰动发生后, 集中式信息产品的供应链利润为

$$\bar{\pi}_x = \bar{Q}_r \bar{p}_r + \bar{Q}_d \bar{p}_d - (\bar{Q}_r + \bar{Q}_d)(c_d + \Delta c_d) - c_o. \quad (15)$$

需求和成本扰动同时发生时, 集中式信息产品供应链的利润是关于价格的凹函数, 根据一阶条件, 求得最优的零售价格和直销价格分别为:

$$\begin{aligned} \bar{p}_d^{ad} &= \frac{1}{2}(\alpha_d - \Delta\alpha_d - c_d - \Delta c_d); \\ \bar{p}_r^{ad} &= \frac{1}{2}(\alpha_r - \Delta\alpha_r - c_d - \Delta c_d). \end{aligned} \quad (16)$$

需求和成本扰动发生时, 将式(16)代入式(13)计算整理, 可得直销渠道需求和零售渠道需求分别为:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_d^{ad} &= \frac{1}{2}(\alpha_d - \Delta\alpha_d + c_d + \Delta c_d); \\ \bar{Q}_r^{ad} &= \frac{1}{2}(\alpha_r - \Delta\alpha_r + c_d + \Delta c_d). \end{aligned} \quad (17)$$

需求和成本扰动同时发生时, 将式(16)和式(17)代入式(15)计算整理可得, 集中式信息产品供应链的总利润为

$$\bar{\pi}_x^{ad} = \frac{1}{4}(\alpha_r - \Delta\alpha_r - c_d - \Delta c_d)^2 + \frac{1}{4}(\alpha_d - \Delta\alpha_d - c_d - \Delta c_d)^2 - (c_d + \Delta c_d)^2 - c_o. \quad (18)$$

由式(18)可知, 成本扰动会降低集中式信息产品供应链的利润, 说明成本扰动时, 集中式信息产品供应链会产生沉没成本。因此, 成本扰动发生时, 可通过价格调整、折扣等方法及时应对成本扰动, 避免出现沉没成本。

## 2.2 需求和成本同时扰动时分散式信息产品供应链模型

需求和成本扰动同时发生时, 分散式信息产品供应链的制造商和零售商都从自身利润最大化来做决策, 制造商的利润和零售商的利润分别为:

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_s^{dd} &= \bar{Q}_d \bar{\omega} + \bar{Q}_d \bar{p}_d - (\bar{Q}_r + \bar{Q}_d)(c_d + \Delta c_d) - c; \\ \bar{\pi}_r^{dd} &= \bar{Q}_r \bar{p}_r - \bar{Q}_r \bar{\omega}. \end{aligned} \quad (19)$$

$$\bar{\pi}_r^{dd} = \bar{Q}_r \bar{p}_r - \bar{Q}_r \bar{\omega}. \quad (20)$$

根据一阶条件, 分别最大化分散式信息产品供应链的制造商和零售商利润, 得到最优的直销价格和零售价格分别为:

$$\begin{aligned} \bar{p}_d^{dd} &= \frac{1}{2}(\alpha_d + \Delta\alpha_d - c_d - \Delta c_d) \\ \bar{p}_r^{dd} &= \frac{1}{2}(\alpha_r + \Delta\alpha_r + \bar{\omega}). \end{aligned} \quad (21)$$

需求和成本同时扰动时, 将式(21)代入式(13)计算整理可得, 分散式信息产品供应链直销渠道和零售渠道的需求分别为:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_d^{dd} &= \frac{1}{2}(\alpha_d - \Delta\alpha_d + c_d + \Delta c_d); \\ \bar{Q}_r^{dd} &= \frac{1}{2}(\alpha_r - \Delta\alpha_r - \bar{\omega}). \end{aligned} \quad (22)$$

需求和成本扰动同时发生时, 将式(21)和式(22)分别代入式(19)和式(20)计算整理可得, 分散式信息产品供应链制造商和零售商的利润分别为:

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_s^{dd} &= \frac{1}{2}[(\alpha_r - \Delta\alpha_r)\bar{\omega} + \alpha_d - \Delta\alpha_d + (c_d + \Delta c_d)(1 - 2\alpha_r - 2\Delta\alpha_r) - \bar{\omega}^2 - 2c]; \\ \bar{\pi}_r^{dd} &= \frac{1}{4}(\alpha_r - \Delta\alpha_r - \bar{\omega})^2 + \bar{\omega}^2. \end{aligned} \quad (23)$$

由式(23)可知, 需求和成本扰动同时发生时, 分散式信息产品供应链制造商与零售商均与批发价格二次相关, 即一定范围内批发价格的增长将给制造商带来利润, 而过高地增加批发价格, 会使零售商降低信息产品订货量, 导致制造商利润降低。说明需求和成本扰动同时发生时, 一定的批发价格能够有效协调分散式信息产品供应链。

## 2.3 需求和成本扰动分析

需求和成本同时发生时, 当  $\alpha_r = \alpha_d = \alpha$  时, 集中式信息产品供应链需求差额为

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \alpha - \Delta\alpha + c_d + \Delta c_d - \alpha + c_d \\ &= 2\alpha + 2c_d - \Delta\alpha + \Delta c_d. \end{aligned} \quad (24)$$

**命题 1**  $\frac{\partial \Delta Q}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial \Delta Q}{\partial \Delta \alpha} < 0, \frac{\partial \Delta Q}{\partial c_d} > 0, \frac{\partial \Delta Q}{\partial \Delta c_d}$

>0。

**证明** 由式(24)可知  $\frac{\partial \Delta Q^c}{\partial \alpha} = 2 > 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q^c}{\partial \Delta \alpha} = -1 < 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q^c}{\partial c_d} = 2 > 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q^c}{\partial \Delta c_d} = 1 > 0$ 。证毕。

由命题1可知,集中式信息产品供应链中,需求随着市场规模单调变化,即市场规模增加,扰动后的需求增加。因此,无论扰动前后,信息产品制造商和零售商都应通过各种方式扩大市场规模。扰动发生时会降低集中式信息产品供应链的需求,而高质量产品能够刺激市场需求增长,此时制造商可以向信息产品市场适当投放高质量信息产品。由此可知,扩大市场规模有益于集中式信息产品销售,集中式信息产品供应链适合销售高质量信息产品。

需求和成本同时发生时,分散式信息产品供应链制造商和零售商的需求差额分别为:

$$\begin{aligned} \Delta Q_d^d &= \frac{1}{2}(2c_d + \Delta c_d - \Delta \alpha); \\ \Delta Q_r^d &= -\frac{1}{2}(\Delta \alpha + \bar{\omega}). \end{aligned} \quad (25)$$

**命题2**  $\frac{\partial \Delta Q_d^d}{\partial \Delta \alpha} < 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q_r^d}{\partial \Delta \alpha} < 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q_d^d}{\partial \Delta c_d} > 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q_r^d}{\partial \omega} < 0$ 。

**证明** 由式(25)可知,  $\frac{\partial \Delta Q_d^d}{\partial \Delta \alpha} = -\frac{1}{2} < 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q_r^d}{\partial \Delta \alpha} = -\frac{1}{2} < 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q_d^d}{\partial \Delta c_d} = \frac{1}{2} > 0$ ,  $\frac{\partial \Delta Q_r^d}{\partial \omega} = -\frac{1}{2} < 0$ 。证毕。

由命题2可知,分散式信息产品供应链中,需求扰动导致需求降低;成本扰动发生时,分散式信息产品供应链直销渠道销售高质量信息产品能够刺激消费者需求,即分散式信息产品供应链直销渠道适合销售高质量信息产品;制造商提高批发价格会导致零售渠道需求降低。

**命题3**  $\frac{\partial \bar{p}_d^{dd}}{\partial \Delta \alpha_d} < 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_d^{dd}}{\partial \Delta c_d} < 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_r^{dd}}{\partial \Delta \alpha_r} < 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_r^{dd}}{\partial \Delta c_r} < 0$ 。

**证明** 由式(16)可知,  $\frac{\partial \bar{p}_d^{dd}}{\partial \Delta \alpha_d} = -\frac{1}{2} < 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_d^{dd}}{\partial \Delta c_d} = -\frac{1}{2} < 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_r^{dd}}{\partial \Delta \alpha_r} = -\frac{1}{2} < 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_r^{dd}}{\partial \Delta c_r} = -\frac{1}{2} < 0$ 。证毕。

由命题3可知,扰动会导致集中式信息产品供应链的销售价格降低;集中式信息产品供应链可以通过降低价格吸引消费者,扩大潜在市场规模,稳定集中式信息产品供应链。

**命题4**  $\frac{\partial \bar{p}_d^{dd}}{\partial \Delta \alpha_d} = \frac{\partial \bar{p}_r^{dd}}{\partial \Delta \alpha_r} > 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_d^{dd}}{\partial \Delta c_d} < 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_r^{dd}}{\partial \omega} > 0$ 。

**证明** 由式(21)可知,  $\frac{\partial \bar{p}_d^{dd}}{\partial \Delta \alpha_d} = \frac{\partial \bar{p}_r^{dd}}{\partial \Delta \alpha_r} = \frac{1}{2} > 0$ ,

$\frac{\partial \bar{p}_d^{dd}}{\partial \Delta c_d} = -\frac{1}{2} < 0$ ,  $\frac{\partial \bar{p}_r^{dd}}{\partial \omega} = \frac{1}{2} > 0$ 。证毕。

由命题4可知,需求扰动促进分散式信息产品供应链价格增长;成本扰动发生时,为吸引消费者,制造商会降低直销价格;制造商提高批发价格会间接导致零售价格增长。

比较需求和成本扰动前后,集中式信息产品供应链的利润差额为

$$\begin{aligned} \Delta \pi^c &= \frac{1}{2}(2\alpha - \Delta \alpha - 2c_d - \Delta c_d) \\ &\quad (2\alpha - \Delta \alpha - \Delta c_d) - (c_d + \Delta c_d)^2. \end{aligned} \quad (26)$$

**命题5** 当  $\Delta \alpha < 2\alpha - c_d - \Delta c_d$  时,  $\frac{\partial \Delta \pi^c}{\partial \Delta \alpha} < 0$ ; 当  $\Delta \alpha > 2\alpha - c_d - \Delta c_d$  时,  $\frac{\partial \Delta \pi^c}{\partial \Delta \alpha} > 0$ ; 当  $\Delta c_d < \Delta \alpha - c_d - 2\alpha$  时,  $\frac{\partial \Delta \pi^c}{\partial \Delta c_d} > 0$ ; 当  $\Delta c_d > \Delta \alpha - c_d - 2\alpha$  时,  $\frac{\partial \Delta \pi^c}{\partial \Delta c_d} < 0$ 。

**证明** 由式(26)可知,

当  $\Delta \alpha < 2\alpha - c_d - \Delta c_d$  时,  $\frac{\partial \Delta \pi^c}{\partial \Delta \alpha} = -2\alpha + \Delta \alpha + c_d + \Delta c_d < 0$ ; 当  $\Delta \alpha > 2\alpha - c_d - \Delta c_d$  时,  $\frac{\partial \Delta \pi^c}{\partial \Delta \alpha} = -2\alpha + \Delta \alpha + c_d + \Delta c_d > 0$ ; 当  $\Delta c_d < \Delta \alpha - 2\alpha - c_d$  时,  $\frac{\partial \Delta \pi^c}{\partial \Delta c_d} = -2\alpha + \Delta \alpha - c_d - \Delta c_d > 0$ ; 当  $\Delta c_d > \Delta \alpha - 2\alpha - c_d$  时,  $\frac{\partial \Delta \pi^c}{\partial \Delta c_d} = 2\alpha + \Delta \alpha - c_d - \Delta c_d < 0$ 。证毕。

由命题5可知,扰动促进集中式信息产品供应链的利润增加;当需求扰动较小时,一定范围内扰动所产生的利润低于应对扰动所需的费用,导致集中式信息产品供应链利润降低;当成本扰动较小时,制造商适合向市场投放高质量信息产品,集中式信息产品供应链利润增加;当成本扰动较高时,如不及时应对扰动,集中式信息产品供应链将产生沉没成本,此时集中式信息产品供应链可以考虑提高价格或进行技术转让。

需求和成本扰动发生前后,分散式信息产品供应链的零售渠道和直销渠道利润差额分别为:

$$\begin{aligned} \Delta \pi_d^d &= \frac{1}{4}(\alpha_r - \Delta \alpha_r - \bar{\omega})^2 + \\ &\quad \bar{\omega}^2 - \frac{\alpha_r}{4}(\alpha_r - 2\omega); \end{aligned} \quad (27)$$

$$\Delta \pi_r^d = \frac{1}{2}[(\alpha - \Delta \alpha)(\bar{\omega} + 1) + (c_d + \Delta c_d)]$$

$$(1 - 2\alpha - 2\Delta\alpha) - \bar{\omega}^2] - \frac{1}{4}(\alpha^2 - c_d^2) - \frac{\alpha}{2}\omega + \frac{1}{2}(2\alpha - c_d)c_d. \quad (28)$$

**命题6** 当  $\Delta\alpha > \alpha - \bar{\omega}$  时,  $\frac{\partial \Delta\pi_r^d}{\partial \Delta\alpha} > 0$ ; 当  $\Delta\alpha < \alpha - \bar{\omega}$  时,  $\frac{\partial \Delta\pi_r^d}{\partial \Delta\alpha} < 0$ ; 当  $\bar{\omega} < \frac{\alpha - \Delta\alpha}{5}$  时,  $\frac{\partial \Delta\pi_r^d}{\partial \omega} < 0$ 。

**证明** 由式(27)可知,

$$\text{当 } \Delta\alpha > \alpha - \bar{\omega} \text{ 时, } \frac{\partial \Delta\pi_r^d}{\partial \Delta\alpha} = -\frac{1}{2}(\alpha - \Delta\alpha - \bar{\omega}) > 0;$$

$$\text{当 } \Delta\alpha < \alpha - \bar{\omega} \text{ 时, } \frac{\partial \Delta\pi_r^d}{\partial \Delta\alpha} = -\frac{1}{2}(\alpha - \Delta\alpha - \bar{\omega}) < 0;$$

$$\text{当 } \bar{\omega} < \frac{\alpha - \Delta\alpha}{5} \text{ 时, } \frac{\partial \Delta\pi_r^d}{\partial \omega} = \frac{\alpha - \Delta\alpha}{5} < 0. \text{ 证毕。}$$

由命题6可知,因为需求扰动促进分散式信息产品供应链零售商整体利润增长,所以建议需求扰动发生时,制造商放宽零售商信息产品版权限制,适当降低批发价格,增加零售渠道信息产品投放量;制造商制定批发价格时需要考虑零售商的接受程度,当批发价格  $\bar{\omega} < \frac{\alpha - \Delta\alpha}{5}$  时零售商能够获得收益,当制造商为了获取更多收益而制定过高的批发价格导致零售商利润受损时,零售商考虑更换新的制造商或者放弃销售该信息产品。

**命题7** 当  $\Delta\alpha < \frac{1}{2} - \alpha$  时,  $\frac{\partial \Delta\pi_d^d}{\partial \Delta c_d} > 0$ ; 当  $\Delta\alpha > \frac{1}{2} - \alpha$  时,  $\frac{\partial \Delta\pi_d^d}{\partial \Delta c_d} < 0$ ; 当  $\bar{\omega} < \frac{\alpha - \Delta\alpha}{2}$  时,  $\frac{\partial \Delta\pi_d^d}{\partial \omega} > 0$ 。

**证明** 由式(28)可知,

$$\text{当 } \Delta\alpha < \frac{1}{2} - \alpha \text{ 时, } \frac{\partial \Delta\pi_d^d}{\partial \Delta c_d} = \frac{1}{2} - \alpha - \Delta\alpha > 0,$$

$$\text{当 } \Delta\alpha > \frac{1}{2} - \alpha \text{ 时, } \frac{\partial \Delta\pi_d^d}{\partial \Delta c_d} = \frac{1}{2} - \alpha - \Delta\alpha < 0,$$

$$\text{当 } \bar{\omega} < \frac{\alpha - \Delta\alpha}{2} \text{ 时, } \frac{\partial \Delta\pi_d^d}{\partial \omega} = \frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\Delta\alpha - \bar{\omega} > 0.$$

证毕。

由命题7可知,需求扰动减少时,高质量的信息产品能够刺激部分消费者购买,激活部分潜在市场需求,增加分散式信息产品供应链直销渠道的利润;需求和成本扰动同时增加时,虽然直销渠道需求增加,但是成本过度增长仍然导致直销渠道的利润下降;制造商在一定范围内提高批发价格会使零售商减少订货量,间接导致零售价格增长,零售渠道的部分消费者会转向直销渠道,从而使直销渠道利润增加。

### 3 数值算例

为了更加直观地反映信息产品供应链需求和成本同时扰动下,不同结构双渠道信息产品供应链决策的变化,对以上研究结论进行数值分析。令相关参数  $\alpha_r = \alpha_d = 50, c = 20, c_d = 5$ , 得到不同结构双渠道信息产品供应链扰动前后利润、批发价格、最优需求和成本的变化情况,如图1~图3所示。

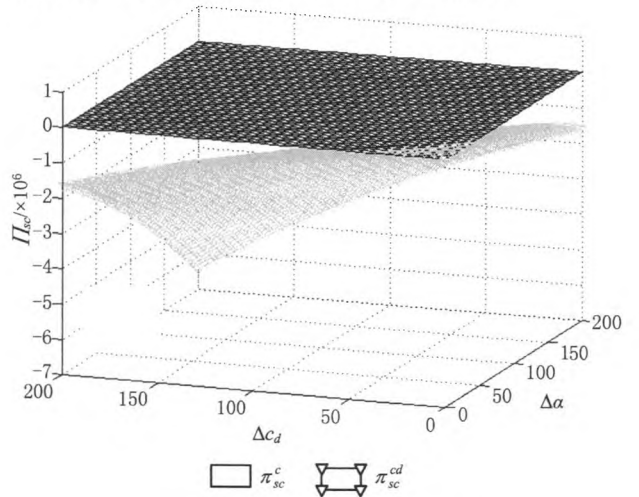


图1 集中式信息产品供应链利润比较

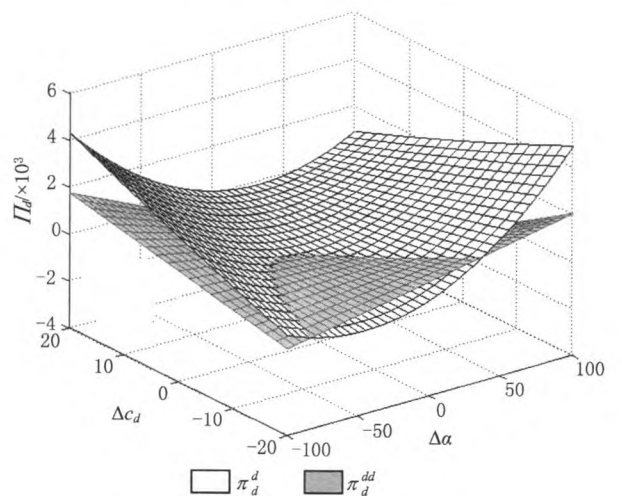


图2 分散式直销渠道利润关于成本和需求扰动变化的情况

由图1可知,当无扰动发生时,集中式信息产品供应链的利润受成本与需求的影响不大,相对稳定;当成本扰动增加或减少时,只要信息产品供应链发生成本扰动,如果不能及时挽救,则将降低集中式信息产品供应链的利润,甚至亏损 ( $\pi_{sc}^d < 0$ ),此时供应链决策者可以通过降低产品销售价格刺激消费者需求,弥补成本扰动带来的损失。

由图2可知,无扰动时,分散式信息产品供应链

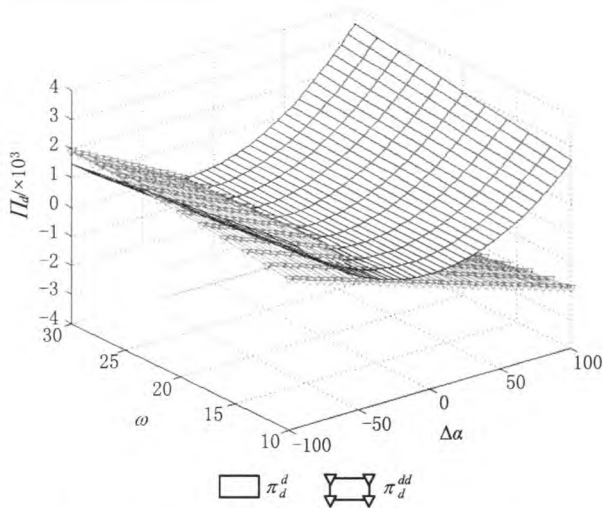


图3 分散式直销渠道利润关于需求和批发价格变化的情况

直销渠道利润随着市场需求的增加而增加,随着成本的增加而增加,说明直销渠道销售高质量信息产品能够获得较高的收益,因此建议向直销渠道多提供高质量的信息产品。扰动发生时,分散式信息产品供应链直销渠道需求增加初期的利润高于无需求扰动时;扰动持续增加时,直销渠道利润趋于稳定。成本扰动增加时,直销渠道利润增加;只有成本扰动降低时,直销渠道利润才会降低。

由图3可知,分散式信息产品供应链直销渠道利润随着批发价格单调变化。原因是,制造商提高批发价格会增加零售商的成本,零售商会通过提高零售价格将这部分成本转嫁给消费者,导致更多消费者选择直销渠道购买信息产品,促使直销渠道利润随着批发价格的上涨而增加;而当批发价格降低时,零售商利润空间扩大,可以降低零售价格来刺激消费者选择零售渠道购买信息产品,促使零售需求增加,导致一定市场范围内的直销需求降低,此时直销渠道利润随着批发价格的降低而减少。

#### 4 结束语

本文以信息产品供应链为研究对象,研究了需求和成本扰动同时发生时,双渠道信息产品供应链的定价问题。建立了扰动前后不同结构的双渠道信息产品供应链模型,并求解分析了信息产品供应链定价、需求和最优利润。研究发现:①无需求扰动时,集中式和分散式信息产品供应链的利润相对稳定;②扰动发生时,集中式信息产品供应链及分散式直销渠道适合销售高质量产品,集中式信息产品供应链可以通过价格应对扰动;③需求扰动及小范围

内的成本扰动有益于集中式信息产品供应链的发展,当出现长期成本扰动时,制造商可以考虑进行技术转让来避免沉没成本;④需求扰动发生能够提升分散式信息产品供应链零售商的积极性,扰动发生时在一定范围内提升批发价格不会损伤零售商的利润。

本文重点分析了需求和成本同时扰动对信息产品供应链的影响,进一步可以考虑契约应对需求和成本同时扰动的协调问题。

#### 参考文献:

- [1] BAKOS Y, BRYNJOLFSSON E. Bundling information goods: pricing, profits, and efficiency [J]. *Management Science*, 1999, 45(12):1613-1630.
- [2] WU S, HITT L M, CHEN P, et al. Customized bundle pricing for information goods: a nonlinear mixed-integer programming approach [J]. *Management Science*, 2008, 54(3): 608-622.
- [3] KHOUJA M, RAJAGOPALAN H K, SHARER E. Coordination and incentives in a supplier-retailer rental information goods supply chain[J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 123(2): 279-289.
- [4] WANG Z, MUKHOPADHYAY S K, YAO D Q. Bayesian pricing strategy for information goods[J]. *International Journal of Operational Research*, 2013, 17(4): 399-416.
- [5] JEONG B K, KHOUJA M, ZHAO K. The impacts of piracy and supply chain contracts on digital music channel performance[J]. *Decision Support Systems*, 2012, 52(3): 590-603.
- [6] DANAHER B, DHANASOBHON S S, MITH M D, et al. Converting pirates without cannibalizing purchasers: the impact of digital distribution on physical sales and Internet piracy[J]. *Marketing Science*, 2010, 29(6): 1138-1151.
- [7] LIU Zhiyong, LI Minqiang, KOU Jisong. Versioning information products in the presence of network externality[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(7): 13-24 (in Chinese). [刘志勇, 李敏强, 寇纪淞. 网络外部性因素影响下信息产品版本化策略研究[J]. *管理科学学报*, 2015, 18(7): 13-24.]
- [8] QI X, BARD J F, YU G. Supply chain coordination with demand disruptions[J]. *Omega*, 2004, 32(4): 301-312.
- [9] HE Bo, ZHANG Xia, WANG Juan. Pricing and production in chain-to-chain competition under production costs disruption [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2015, 21(12): 3310-3318 (in Chinese). [何波, 张霞, 王娟. 制造成本扰动下链与链竞争的定价和生产决策[J]. *计算机集成制造系统*, 2015, 21(12): 3310-3318.]
- [10] WU Haiyan, HAN Xianhua. Production decisions in manufacturer competing closed-loop supply chains under remanufacturing costs disruptions scenarios[J]. *Computer Integrat-*

- ed Manufacturing Systems, 2016, 22(4): 1129-1138 (in Chinese). [吴海燕, 韩小花. 再制造成本扰动情景下制造商竞争型闭环供应链的生产决策[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(4): 1129-1138.]
- [11] LEI Dong, GAO Chengxiu, LI Jianbin. Supply chain coordination with demand and production cost disruptions[J]. Systems Engineering—Theory&Practice, 2006, 9(9): 51-59 (in Chinese). [雷东, 高成修, 李建斌. 需求和生产成本同时发生扰动时的供应链协调[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 9(9): 51-59.]
- [12] XIAO Tiaojun, QI Xiangtong, YU Gang. Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete [J]. International Journal of Production Economics, 2007, 109(1): 162-179.
- [13] XIAO Tiaojun, QI Xiangtong. Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailers[J]. Omega, 2008, 36(5): 741-753.
- [14] WANG Chuantao, SHEN Shouwen, JI Shouwen. Supply chain coordination under production cost and demand disruptions [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(6): 1307-1312 (in Chinese). [王传涛, 申金升, 纪寿文. 生产成本和需求同时扰动下供应链的协调[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(6): 1307-1312.]
- [15] LEI Dong, LI Jianbin, LIU Zhixue. Supply chain contracts under demand and cost disruptions with asymmetric information[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 139(1): 116-126.
- [16] CAO Erbao, ZHOU Xiushuai, LI K. Coordinating a supply chain under demand and cost disruptions[J]. International Journal of Production Research, 2015, 53(12): 3735-3752.
- [17] WU Xiaozhi, CHEN Hong, ZHANG Jun, et al. Coordinating a dual-channel perishable product supply chain under two factor disruptions[J]. Systems Engineering, 2015, 33(7): 37-42 (in Chinese). [吴晓志, 陈宏, 张俊, 等. 双因素扰动时易逝品双渠道供应链应急协调[J]. 系统工程, 2015, 33(7): 37-42.]
- [18] WU Xiaozhi, CHEN Hong, ZHANG Jun, et al. Coordinating a dual-channel supply chain under multi-factorial disruptions[J]. Systems Engineering, 2015, 33(9): 52-57 (in Chinese). [吴晓志, 陈宏, 张俊, 等. 多因素同时扰动下双渠道供应链应急协调[J]. 系统工程, 2015, 33(9): 52-57.]
- [19] CAI Gangshu. Channel selection and coordination in dual-channel supply chains[J]. Journal of Retailing, 2010, 86(1): 22-36.
- [20] INGENE C A, PARRY M E. Bilateral monopoly, identical distributors, and game-theoretic analyses of distribution channels[J]. Journal of the Academy of Marketing Science, 2007, 35(4): 586-602.
- [21] JING Bing. Network externalities and market segmentation in a monopoly[J]. Economics Letters, 2007, 95(1): 7-13.

### 作者简介:

- 于艳娜(1982—),女,山东乳山人,博士研究生,研究方向:供应链扰动管理、信息产品供应链,E-mail: yyna5815@163.com;
- 姚锋敏(1981—),男,陕西长安人,副教授,博士,硕士生导师,研究方向:供应链竞争、闭环供应链管理,通信作者,E-mail: fengmin\_yao@hrbust.edu.cn;
- 滕春贤(1947—),男,山东莱州人,教授,博士生导师,研究方向:系统分析与优化、供应链管理、评价理论与方法等。