

非对称信息下双渠道供应链应对突发事件协调模型

李业凤, 李芳

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 针对由制造商主导的双渠道供应链, 引入双渠道价格敏感系数及竞争系数两个变量, 假设零售商的成本信息为私有条件, 研究在非对称信息下发生突发事件的双渠道供应链最优应对。研究表明, 供应链的最优生产量、最优直销价格、批发价格和最优零售价格具有一定的鲁棒性。在非对称情形下, 突发事件导致零售商成本在一定范围内扰动时, 双渠道供应链的最优生产计划、销售计划可以保持不变。但当零售商的成本扰动超出了一定范围时, 则需要通过协调才能使供应链重新达到平衡, 实现对突发事件的有效应对。最后, 通过数值仿真验证了研究结果。

关键词: 双渠道; 非对称信息; 供应链协调; 突发事件

中图分类号: F 273.7

文献标志码: A

Emergency Coordination Model for Dual Channel Supply Chain Under Asymmetric Information

LI Yefeng, LI Fang

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The coordination problem of the manufacturer dual channel supply chain was analyzed. Introducing two variables of the dual channel price sensitive coefficient and the competition coefficient, and assuming that the retailer's cost information is the private condition, the optimal response of a dual channel supply chain on unexpected events under asymmetric information was studied. The results show that the supply chain optimal production quantity, optimal selling price, wholesale price and optimal retail price have certain robustness. In the asymmetric information situation, the emergency causes the cost of the retailer to be disturbed in a certain range, and the optimal production plan of the double channel supply chain can be kept unchanged. But when the cost disturbance of the retailer exceeds a certain range, coordination is needed in order to make the supply chain rebalance and realize the effective response on the emergency. The conclusions in the paper were verified by numerical simulations.

Keywords: dual channel; asymmetric information; supply chain coordination; emergencies

收稿日期: 2018-01-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71271138)

第一作者: 李业凤(1992-), 女, 硕士研究生. 研究方向: 供应链管理. E-mail: 401009175@qq.com

通信作者: 李芳(1966-), 女, 副教授. 研究方向: 供应链管理、云制造. E-mail: lifang2502@126.com

在这个互联网科技和物流技术快速发展的时代，为了适应并满足消费者新的购物需求，越来越多的制造商倾向对传统销售渠道和电子直销渠道进行整合，例如 HP，DELL，IPHONE，LENOVO 等众多全球知名企业都采用了多渠道营销策略^[1]。然而，制造商增加电子直销渠道的同时，虽然给自身带来了巨大的利润，但也损害了零售商的市场份额，从而导致传统渠道和电子直销渠道之间的利益冲突。渠道冲突指供应链成员之间因利益关系产生的各种矛盾和不协调状态。协调并优化双渠道供应链，可以有效地缓解渠道利益冲突问题^[2-3]。然而，在当下这个信息不对称且突发事件频发的社会环境中，众多不确定因素使得原有的供应链协调失灵，如特大地震、恐怖袭击、经济危机、工人罢工等，严重影响整个供应链的生产和销售计划。因此，研究双渠道供应链如何有效应对突发事件，具有深刻的经济价值和理论意义。

1 双渠道供应链问题研究现状

近年来，国内外众多学者对双渠道供应链进行了大量的研究。针对对称信息下的供应链协调问题，Tsay 等^[4]和 Boyaci^[5]通过对批发价格条款的修订，实现了双渠道供应链协调优化问题；Yan^[6]和 Cai^[7]研究了收益共享契约在双渠道供应链中的作用，并提出协调渠道冲突对供应链各成员的影响；肖剑等^[8]研究了双渠道供应链的特点，构建价格折扣模型，并验证其有效性；Park 等^[9]建立数量折扣模型，研究数量折扣契约可以协调双渠道供应链；李海等^[10]研究了双渠道供应链中，制造商不同谈判能力下的定价模式；许明星等^[11]研究了集中式决策和基于 Stackelberg 博弈这两种情况下的双渠道供应链的定价、服务及需求的关系；陈云等^[12]研究了双渠道供应链中直销渠道和传统渠道的协调优化问题。

针对非对称信息下的供应链协调问题，Xiao 等^[13]研究了供应链演进思想和需求扰动下的供应链协调问题；Lauaba 等^[14]研究了供应商成本信息为私有条件下，以零售商主导的供应链协调问题；盛方正等^[15]研究了非对称信息下突发事件的协调应对；庄品等^[16]研究了由一个供应商和两个竞争零售商组成的二级供应链，在非对称信息下运用批发价格契约应对突发事件问题；曹细玉等^[17]探

讨了突发事件导致市场需求和零售商边际成本同时扰动时，且变化后零售商的边际成本为非对称信息时回购契约对供应链的协调作用；Zhang 等^[18]研究了在突发事件下，市场需求和生产成本分别扰动下的双渠道供应链协调；徐浩等^[19]、彭静等^[20]研究了成本和需求同时扰动时，双渠道供应链的最优协调机制。

通过上述相关文献的回顾不难发现，大多数研究集中于稳定状态下的供应链协调，基于信息结构不对称的突发事件应急问题鲜有涉及。而双渠道供应链随着计算机科学的快速发展和电子商务平台的逐步成熟，成为一个非常重要的供应链结构，区别于传统单渠道供应链，其研究对象和方法都有新的含义。因此，研究非对称信息下的双渠道供应链应对突发事件协调问题，突破了以往供应链应急管理中市场信息对称的假设限制，更加贴合现实社会中企业供应链的实际情况。

本文针对一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链，假设需求函数为零售价格和直销价格的一次函数。在零售商成本信息为非对称信息条件下，当发生突发事件导致零售商的成本在一定范围内扰动时，研究此双渠道供应链的最优应对策略。本研究中，在渠道协调和利润最大化的双重约束下，由于发生突发事件，制造商及零售商可能会偏离原来的生产计划和销售计划，导致额外的成本费用。考虑在增加收益和额外成本之间进行衡量，制造商和零售商的决策将会更加复杂，从而使非对称信息下双渠道供应链应对突发事件协调难度加倍。因此，需要重新设计约束条件，才能有效应对突发事件。

2 问题描述和基本模型

首先考虑由一个制造商和一个零售商组成的风险中性的双渠道供应链。制造商生产产品并向零售商和客户直接销售。最终客户可以通过传统零售渠道和电子直销渠道购买产品，其结构示意图如图 1 所示。

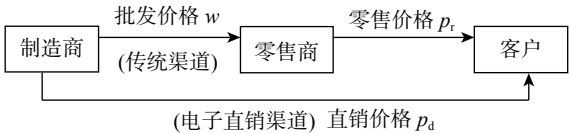


图 1 双渠道供应链结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the dual channel supply chain

下标 d 和 r 分别表示电子直销渠道和传统零售渠道。假设 a 表示市场的需求规模(市场的最大规模, $a > 0$); θ ($0 < \theta < 1$) 表示传统零售渠道的客户忠诚度, 相应地, $(1-\theta)$ 则表示电子直销渠道的客户忠诚度; b_1, b_2 分别表示直销渠道和传统渠道的价格弹性系数; k_1, k_2 分别表示渠道间的竞争系数。为了方便计算, 令 $k_1 = k_2 = k$, 且有 $b_i > k_i$, 即产品自身价格对渠道需求的影响要大于渠道间价格的影响。制造商的单位生产成本为 c_s ; 零售商的单位购买成本为 c_r ; 电子直销渠道的销售价格为 p_d ; 传统零售渠道的零售价格为 p_r 。假设渠道市场需求函数为直销价格和零售价格的一次函数, 制造商以批发价格 w 将产品销售给零售商, q_d, q_r 分别为电子直销渠道和传统零售渠道的需求量, 则传统渠道和电子直销渠道的市场价格需求函数可分别表示为

$$q_r = \theta a - b_2 p_r + k_2 p_d \quad (1)$$

$$q_d = (1-\theta)a - b_1 p_d + k_1 p_r \quad (2)$$

因此, 零售商、制造商以及整个供应链的利

$$\pi^* = \frac{[b_2(c_r + c_s) - c_s k - a\theta][b_1(b_2(c_r + c_s) - a\theta - k(a + (c_r + c_s)k - a\theta))] - [b_1 c_s - (c_r + c_s)k + a(\theta - 1)][c_s(k^2 - b_1 b_2) + a(b_2 - b_2\theta + k\theta)]}{(4b_1 b_2 - 4k^2)} \quad (3)$$

3 非对称信息下双渠道供应链协调机制

上述分析建立在对称信息情况之下, 但是在现今的社会经济发展环境中, 供应链中各成员为了追求自身利益最大化, 很难做到所有信息都与各方共享。对于零售商而言, 其成本信息包括采购成本、损耗成本(商品的损耗——偷盗、过期、破损等)、未满足消费者需求而带来的缺货成本及对剩余产品的处理成本。靠近消费者市场的零售商对市场信息的掌握程度远远高于制造商, 对市场变化的判断也更加准确。为了实现自身收益最优, 拥有信息优势的零售商选择隐瞒自身成本的真实信息并作出对自己有利的决策。因此, 实际生活中的双渠道供应链协调模型其实与非对称信息的博弈过程更为相近, 并且需求和成本为不完全信息的情形在供应链的协调优化问题中更为常见。假设零售商的成本信息 c_r 为其私有信息, 而制造商无法得知确切的 c_r 值, 仅知道 c_r 在区间 $[c_r, \bar{c}_r]$ 之间分布。设零售商的成本分布函数为 $F(c_r)$, $0 \leq c_r \leq \bar{c}_r \leq \infty$ 。该函数是可微的并且严格增加, 其概率密度函数为 $f(c_r)$, 期望为 μ 。 $F(0) = 0$,

润函数分别为

$$\begin{cases} \pi_r = (p_r - w - c_r)q_r, & p_r > w \\ \pi_s = (w - c_s)q_r + (p_d - c_s)q_d, & p_d > w \\ \pi = (p_r - c_s - c_r)q_r + (p_d - c_s)q_d \end{cases} \quad (4)$$

首先考虑集权供应链时的情形。此时双渠道供应链只有一个中央决策者进行统一决策, 以寻求供应链整体的利润最大化。因此, 在式(3)中, 双渠道供应链的总体利润可表示为

$$\pi = (p_r - c_s - c_r)(\theta a - b_2 p_r + k p_d) + (p_d - c_s)[(1-\theta)a - b_1 p_d + k p_r] \quad (5)$$

对式(4)分别求变量 p_r, p_d 的一阶偏导数, 并令其等于 0, 联立方程可得集权决策下的最优零售价格, 以及最优电子直销价格 p_d^* 为

$$\begin{cases} p_r^* = -\frac{-b_1 b_2 c_r - b_1 b_2 c_s - ak + c_r k^2 + c_s k^2 - ab_1 \theta + ak\theta}{2(b_1 b_2 - k^2)} \\ p_d^* = -\frac{ab_2 + b_1 b_2 c_s - c_s k^2 - ab_2 \theta + ak\theta}{2(-b_1 b_2 + k^2)} \end{cases} \quad (6)$$

将式(5)代入式(4), 可得集权双渠道供应链的最优利润为

$\bar{F}(c_r) = 1 - F(c_r)$ 。除零售商的成本信息为非对称信息之外, 其他信息均为双方共有。

3.1 集权式控制情形

集权式控制供应链是指制造商和零售商均属于同一集团, 由同一管理者统一进行决策, 目标是实现整个供应链系统的利润最大化。在集权式控制情形下(用上标 c 表示), 双渠道供应链系统的期望利润模型为

$$\Pi^c = E[q_r(p_r - c_s - c_r) + q_d(p_d - c_s)] \quad (7)$$

由于零售商成本 c_r 在区间 $[c_r, \bar{c}_r]$ 分布, 且其概率密度为 $f(c_r)$, 因此, 式(7)可写成:

$$\begin{aligned} \Pi^c &= \int_{c_r}^{\bar{c}_r} [q_r(p_r - c_s - c_r) + q_d(p_d - c_s)] f(c_r) d(c_r) = \\ &= \int_{c_r}^{\bar{c}_r} [(\theta a - b_2 p_r + k p_d)(p_r - c_s - c_r) + \\ &\quad ((1-\theta)a - b_1 p_d + k p_r)(p_d - c_s)] f(c_r) d(c_r) \end{aligned} \quad (8)$$

由一阶最优性可得集权式的双渠道供应链在零售商成本信息为私有条件时, 系统的最优零售价格 p_r 、电子直销价格 p_d , 以及最优渠道需求量 q_r, q_d 分别为

$$\begin{cases} p_r^c = -\frac{-b_1b_2c_s - ak + c_s k^2 - b_1a\theta + ak\theta - b_1b_2\mu + k^2\mu}{2(b_1b_2 - k^2)} \\ p_d^c = -\frac{ab_2 + b_1b_2c_s - c_s k^2 - ab_2\theta + ak\theta}{2(k^2 - b_1b_2)} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} q_r^c = \frac{1}{2}[c_s k + a\theta - b_2(c_s + \mu)] \\ q_d^c = \frac{1}{2}[a - b_1c_s - a\theta + k(c_s + \mu)] \end{cases} \quad (10)$$

供应链的总期望利润为

$$\begin{aligned} \Pi^c = & \frac{a^2(b_2(\theta - 1)^2 - b_1\theta^2)}{(4b_1b_2 - 4k^2)} + \\ & \frac{2a[-k(\theta - 1)(c_s k + a\theta) + b_1(b_2c_s(\theta - 1) + \theta^2a)]}{(4b_1b_2 - 4k^2)} + \\ & \frac{(b_1b_2 - k^2)[b_1c_s^2 + (c_s + \mu)(-2(c_s k + \theta a) + b_2(c_s + \mu))]}{(4b_1b_2 - 4k^2)} \end{aligned} \quad (11)$$

3.2 分权式控制情形

在分权式供应链中，供应链中的各成员相互独立且追求自身利益的最大化。在此情形下，由制造商主导的双渠道供应链组成了一个 Stackelberg 博弈模型。根据委托—代理理论，制造商作为委托人，零售商作为代理人。制造商首先根据自身收集到的市场需求信息制定面向零售商的传统批发价格以及面向最终客户的电子直销价格，而零售商则根据制造商提出的批发价格来决定是否接受。如果接受由制造商提出的批发价格，零售商则根据市场需求信息以及自身的采购成本选择订购数量和制定零售价格，以期最大化自身利润。

于制造商而言，其协调优化问题就是寻求利润最大化。此时，制造商的期望函数可表示为

$$\begin{cases} \max_{w, p_d} E[\Pi^c_s(w, p_d)] = \max_{w, p_d} \int_{c_r}^{\bar{c}_r} \Pi^c_s(w, p_d) f(c_r) d(c_r) \\ \text{s.t. IC: } q_r = \arg \max_{q_r} \Pi^c_r(q_r) \end{cases} \quad (12)$$

由渠道的市场价格需求函数可知，制造商的期望利润受到零售商的订购量 q_r 的约束，即制造商的最大利润在零售商的最优订购量 q_r 下取得。因此，这是一个逆向选择的问题，可采用逆序倒推法进行求解。

于零售商而言，其利润函数可表示为

$$\begin{cases} \Pi_r^N = \frac{[c_s k + a\theta - b_2(c_s + \mu)]^2}{16b_2} \\ \Pi_s^N = \frac{2b_1^2b_2c_s^2}{8(b_1b_2 - k^2)} + \frac{b_1[b_2^2(c_s + \mu)^2 - 2b_2c_s k(c_s + \mu) - 3c_s^2k^2]}{8(b_1b_2 - k^2)} + \frac{k^2[-b_2^2(c_s + \mu)^2 + 2b_2c_s k(c_s + \mu) + c_s^2k^2]}{8b_2(b_1b_2 - k^2)} + \\ \frac{2a(b_1b_2 - k^2)[-c_s k\theta + b_2(c_s(\theta - 2) - \theta\mu)]}{8b_2(b_1b_2 - k^2)} + \frac{a^2[2b_2^2(\theta - 1)^2 + k^2\theta^2 + b_2\theta(-4k(\theta - 1) + b_1\theta)]}{8b_2(b_1b_2 - k^2)} \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \Pi_r(p_r) = & q_r(p_r - w - c_r) = \\ & (\theta a - b_2p_r + kp_d)(p_r - w - c_r) \end{aligned} \quad (13)$$

由一阶最优性条件 $\partial \Pi_r(p_r) / \partial p_r = 0$ ，可得传统零售渠道的最优零售价格为

$$p_r(w) = \frac{b_2c_r + a\theta + kp_d + b_2w}{2b_2} \quad (14)$$

将式(14)代入式(1)和式(2)中，可得双渠道供应链中电子直销渠道和传统零售渠道的需求量为

$$\begin{cases} q_r^N = \frac{1}{2}[a\theta + kp_d - b_2(c_r + w)] \\ q_d^N = a - a\theta - b_1p_d + \frac{k[a\theta + kp_d + b_2(c_r + w)]}{2b_2} \end{cases} \quad (15)$$

式中，上标 N 表示没有发生突发事件。

将式(15)代入式(12)，即代入制造商的期望利润函数中，再分别对 w 和 p_d 求一阶偏导数，并令其均等于 0，联立两方程求解，可得分权式的双渠道供应链在零售商成本信息为私有条件时，供应链关于最优批发价格和最优电子直销价格的贝叶斯均衡解为

$$\begin{cases} w^N = -\frac{-b_1b_2c_s - ak + c_s k^2 - ab_1\theta + ak\theta + b_1b_2\mu - k^2\mu}{2(b_1b_2 - k^2)} \\ p_d^N = -\frac{ab_2 + b_1b_2c_s - c_s k^2 - ab_2\theta + ak\theta}{2(-b_1b_2 + k^2)} \end{cases} \quad (16)$$

将式(16)代入式(14)中，得双渠道供应链的传统零售价格为

$$\begin{aligned} p_r^N = & \frac{b_1[c_s k + 3a\theta + b_2(c_s + \mu)]}{4(b_1b_2 - k^2)} - \\ & \frac{k[a(2b_2(\theta - 1) + k\theta) + k(c_s k + b_2(c_s + \mu))]}{4b_2(b_1b_2 - k^2)} \end{aligned} \quad (17)$$

将式(16)代入式(15)，可得双渠道供应链的最优渠道需求量分别为

$$\begin{cases} q_r^N = \frac{1}{4}[c_s k + a\theta - b_2(c_s + \mu)] \\ q_d^N = \frac{-2b_1b_2c_s + a[-2b_2(\theta - 1) + k\theta] + k[c_s k + b_2(c_s + \mu)]}{4b_2} \end{cases} \quad (18)$$

综上，可解得非对称信息分权控制情形下双渠道供应链中零售商和制造商的最优期望利润分别为

4 突发事件下非对称信息双渠道供应链协调机制

近年来发生的突发事件如2003年的非典、2008年的汶川大地震、南方特大雪灾以及2011年的日本9级地震及海啸,严重破坏原有稳定供应链的平衡供给状态,造成不可估量的经济损失。本节考虑当发生突发事件时,零售商与制造商构成的双渠道供应链的协调问题。当制造商根据传统零售渠道的最优订购量以及电子直销渠道的需求量安排好生产之后,发生了突发事件。而突发事件的不可抗因素打破了原有的供应链平衡状态,使得零售商的成本发生扰动,其他参数不变。由于突发事件,零售商的成本分布函数由原来的 $F(c_r)$ 变为 $G(c_r)$,与此同时,其概率密度也由原来的 $f(c_r)$ 变为 $g(c_r)$,且改变后零售商的期望 μ 变为 μ_G 。和 $F(c_r)$ 一样, $G(c_r)$ 可微并且严格增加。 $G(0)=0$, $\bar{G}(c_r)=1-G(c_r)$ 。

零售商成本为其隐匿信息且因发生突发事件而受到扰动。此时,双渠道供应链系统需要重新对原有信息进行协调,才能使供应链系统重新获得平衡。在调整生产计划这个过程中,因增加或者缩减生产必然会给供应链中各个成员带来额外的偏差费用。设 λ_1, λ_2 分别为制造商增加或减少生产而带来的单位惩罚成本,且 $\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$,则有在突发事件下,制造商协调优化的目标函数为

$$\begin{cases} \max_{w, p_d} E \left[\prod_s^D(w, p_d) \right] = \max_{w, p_d} \int_{c_r}^{\bar{c}_r} \prod_s^D(w, p_d) g(c_r) d(c_r) \\ \text{s.t. IC: } q_r = \arg \max_{q_r} \prod_r^D(p_r) \end{cases} \quad (20)$$

式中,上标D表示发生突发事件。

由于发生突发事件,制造商需对原有计划进行相关调整,考虑偏差费用带来的惩罚成本,则制造商的利润函数可表示为

$$\prod_s^D = [q_r(w - c_s) + q_d(p_d - c_s)] - \lambda_1(q_d + q_r - q_d^N - q_r^N)^+ - \lambda_2(q_d^N + q_r^N - q_d - q_r)^+ \quad (21)$$

式中: $(x)^+ = \max\{x, 0\}$;式(21)的第一项为没有发生突发事件时制造商的总利润;第二项为因增加生产而带来的偏差费用;第三项为因减少生产而带来的偏差费用。

假设发生突发事件之后,零售商的最优订购量为 q_r^D 。突发事件打破了原有供应链的平衡,造成零售商成本增加或减少。当 $c_r \geq 0$ 时,若零售商

成本增加,则有 $\bar{G}(c_r) \geq \bar{F}(c_r)$,反之若突发事件造成零售商成本减少,则有 $\bar{G}(c_r) \leq \bar{F}(c_r)$ 。

引理1 当突发事件导致零售商成本增加时,即 $\bar{G}(c_r) \geq \bar{F}(c_r)$,对任意的 $c_r \geq 0$,有 $q_r^D \leq q_r^N$, $q_r^D + q_d^D \leq q_r^N + q_d^N$;反之,如果突发事件造成零售商成本减少,即 $\bar{G}(c_r) \leq \bar{F}(c_r)$,对任意的 $c_r \geq 0$,有 $q_r^D \geq q_r^N$, $q_r^D + q_d^D \geq q_r^N + q_d^N$ 。

证明 假设突发事件造成零售商成本增加时,即 $\bar{G}(c_r) \geq \bar{F}(c_r)$,对任意的 $c_r \geq 0$,零售商的订购量增加,且整个供应量的需求量增加,即 $q_r^D \geq q_r^N$, $q_r^D + q_d^D \geq q_r^N + q_d^N$ 。此时,制造商的期望利润函数为

$$\prod_s^D = [q_r(w - c_s) + q_d(p_d - c_s)] - \lambda_1(q_d + q_r - q_d^N - q_r^N)^+ \quad (22)$$

零售商的期望利润函数为

$$\prod_r^D(p_r) = (\theta a - b_2 p_r + k p_d)(p_r - w - c_r) \quad (23)$$

由一阶最优性条件 $\partial \prod_r(p_r) / \partial p_r = 0$,可得传统零售渠道的最优零售价格为

$$p_r^D(w) = \frac{b_2 c_r + a\theta + k p_d + b_2 w}{2b_2} \quad (24)$$

将 $p_r^D(w)$ 代入市场价格需求函数,得

$$\begin{cases} q_r^D = \frac{1}{2}[a\theta + k p_d^D - b_2(c_r + w^D)] \\ q_d^D = a - a\theta - b_1 p_d^D + \frac{k[a\theta + k p_d^D + b_2(c_r + w^D)]}{2b_2} \end{cases} \quad (25)$$

将式(25)代入式(20),由一阶最优性 $\partial \prod_s^D(w, p_d) / \partial w = 0$ 以及 $\partial \prod_s^D(w, p_d) / \partial p_d = 0$ 可得

$$\begin{cases} w^D = \frac{k[a - a\theta + k(\mu_G - c_s - \lambda_1)] + b_1(a\theta + b_2(-\mu_G + c_s + \lambda_1))}{2(b_1 b_2 - k^2)} \\ p_d^D = \frac{a(b_2 - b_2\theta + k\theta) + (b_1 b_2 - k^2)(c_s + \lambda_1)}{2(b_1 b_2 - k^2)} \end{cases} \quad (26)$$

将式(26)代入式(25),可得传统零售渠道及电子直销渠道的需求量分别为

$$\begin{cases} q_r^D = \frac{1}{4}[c_s k + a\theta + k\lambda_1 - b_2(\mu_G + c_s + \lambda_1)] \\ q_d^D = \frac{a[-2b_2(\theta - 1) + k\theta]}{4b_2} - \frac{1}{2}b_1(c_s + \lambda_1) + \frac{k^2(c_s + \lambda_1)}{4b_2} + \frac{k(c_s + \lambda_1 + \mu_G)}{4} \end{cases} \quad (27)$$

又因为

$$\begin{cases} q_r^D - q_r^N = \frac{1}{4}\lambda_1(k - b_2) < 0 \\ q_d^D + q_r^D - q_d^N - q_r^N = \frac{(-2b_1 b_2 - b_2^2 + 2b_2 k + k^2)\lambda_1}{4b_2} < 0 \end{cases} \quad (28)$$

这与假设相矛盾。

因此，当突发事件造成零售商成本增加，即 $\bar{G}(c_r) \geq \bar{F}(c_r)$ 时，对任意的 $c_r \geq 0$ ，有 $q_r^D \leq q_r^N$ ， $q_r^D + q_d^D \leq q_r^N + q_d^N$ 。同理可证，当突发事件造成零售商成本减少，即 $\bar{G}(c_r) \leq \bar{F}(c_r)$ 时，对任意的 $c_r \geq 0$ ，有 $q_r^D \geq q_r^N$ ， $q_r^D + q_d^D \geq q_r^N + q_d^N$ 。

以下考虑在零售商成本为私有信息条件时发生突发事件，导致零售商成本发生扰动的双渠道供应链的协调机制。

情形 1 当突发事件造成零售商成本减少时，即 $\bar{G}(c_r) \leq \bar{F}(c_r)$ ，此时 $q_r^D \geq q_r^N$ ， $q_r^D + q_d^D \geq q_r^N + q_d^N$ 。在此情形下，制造商的利润函数为

$$\prod_s^{D1} = [q_r(w - c_s) + q_d(p_d - c_s)] - \lambda_1(q_d + q_r - q_d^N - q_r^N)^+ \tag{29}$$

其协调优化的目标函数为

$$\begin{cases} q_r^{D1} = \frac{1}{4}[c_s k + a\theta + k\lambda_1 - b_2(\mu_G + c_s + \lambda_1)] \\ q_d^{D1} = \frac{a[-2b_2(\theta - 1) + k\theta]}{4b_2} - \frac{1}{2}b_1(c_s + \lambda_1) + \frac{k^2(c_s + \lambda_1)}{4b_2} + \frac{k(c_s + \lambda_1 + \mu_G)}{4} \\ p_r^{D1} = \frac{b_1 b_2 [c_s k + 3a\theta + k\lambda_1 + b_2(c_s + \mu_G + \lambda_1)] - k[a(2b_2(\theta - 1) + k\theta) + k(c_s + \lambda_1) + b_2(c_s + \mu_G + \lambda_1)]}{4b_2(b_1 b_2 - k^2)} \end{cases} \tag{33}$$

零售商的期望利润为

$$\prod_r^{D1} = \frac{[c_s k + a\theta + k\lambda_1 - b_2(c_s + \mu_G + \lambda_1)]^2}{16b_2} \tag{34}$$

制造商的利润函数为

$$\prod_s^{D1} = \frac{a^2(2b_2^2(\theta - 1)^2 + k^2\theta^2 + b_2\theta[b_1\theta - 4k(\theta - 1)])}{8b_2(b_1 b_2 - k^2)} + \frac{2a(b_1 b_2 - k^2)(-k\theta(c_s + \lambda_1) + b_2(c_s(\theta - 2) - \mu_G\theta + (\theta - 2)\lambda_1))}{8b_2(b_1 b_2 - k^2)} + \frac{-k^2(c_s + \lambda_1)^2 + b_2^2(c_s + \mu_G + \lambda_1)^2 + 2b_2(-c_s^2 k - 2c_s k\lambda_1 + 4q_d^N\lambda_1 + 4q_r^N\lambda_1 - k\lambda_1^2 - \mu_G k(c_s + \lambda_1) + b_1(c_s + \lambda_1)^2)}{8b_2} \tag{35}$$

情形 2 当突发事件造成零售商成本增加时，即 $\bar{G}(c_r) \geq \bar{F}(c_r)$ ，此时 $q_r^D \leq q_r^N$ ， $q_r^D + q_d^D \leq q_r^N + q_d^N$ 。在此情形下，制造商的利润函数为

$$\prod_s^{D2} = [q_r(w - c_s) + q_d(p_d - c_s)] - \lambda_2(q_d^N + q_r^N - q_d - q_r)^+ \tag{36}$$

其协调优化的目标函数为

$$\begin{cases} \max_{w, p_d} E \left[\prod_s^{D2}(w, p_d) \right] = \\ \max_{w, p_d} \int_{c_r}^{\bar{c}_r} \prod_s^{D2}(w, p_d) g(c_r) d(c_r) \\ \text{s.t. IC : } q_r = \arg \max_{q_r} \prod_r^{D2}(p_r) \end{cases} \tag{37}$$

$$\begin{cases} \max_{w, p_d} E \left[\prod_s^{D1}(w, p_d) \right] = \\ \max_{w, p_d} \int_{c_r}^{\bar{c}_r} \prod_s^{D1}(w, p_d) g(c_r) d(c_r) \\ \text{s.t. IC : } q_r = \arg \max_{q_r} \prod_r^{D1}(p_r) \end{cases} \tag{30}$$

零售商的优化问题可表示为

$$\prod_r^{D1}(p_r) = q_r(p_r - w - c_r) = (\theta a - b_2 p_r + k p_d)(p_r - w - c_r) \tag{31}$$

求解过程均使用逆序倒推法求解。经计算得出突发事件下的最优批发价格、最优直销价格分别为

$$\begin{cases} w^{D1} = \frac{k[a - a\theta + k(\mu_G - c_s - \lambda_1)]}{2(b_1 b_2 - k^2)} + \frac{b_1(a\theta + b_2(-\mu_G + c_s + \lambda_1))}{2(b_1 b_2 - k^2)} \\ p_d^{D1} = \frac{a(b_2 - b_2\theta + k\theta) + (b_1 b_2 - k^2)(c_s + \lambda_1)}{2(b_1 b_2 - k^2)} \end{cases} \tag{32}$$

相应的，最优传统零售渠道需求量、电子直销渠道需求量、最优零售价格分别为

零售商的优化问题可表示为

$$\prod_r^{D2}(p_r) = q_r(p_r - w - c_r) = (\theta a - b_2 p_r + k p_d)(p_r - w - c_r) \tag{38}$$

由一阶最优性条件 $\partial \prod_r^{D2}(p_r) / \partial p_r = 0$ ，可得传统零售渠道的最优零售价格为

$$p_r^{D2}(w) = \frac{b_2 c_r + a\theta + k p_d + b_2 w}{2b_2} \tag{39}$$

相应的，最优批发价格、最优直销价格分别为

$$\begin{cases} w^{D2} = -\frac{b_1b_2\mu_G - b_1b_2c_s - ak - \mu_Gk^2 + c_s k^2 - ab_1\theta + ak\theta + b_1b_2\lambda_2 - k^2\lambda_2}{2(b_1b_2 - k^2)} \\ p_d^{D2} = \frac{ab_2 + b_1b_2c_s - c_s k^2 - ab_2\theta + ak\theta - b_1b_2\lambda_2 + k^2\lambda_2}{2(b_1b_2 - k^2)} \end{cases} \quad (40)$$

最优传统零售渠道需求量、电子直销渠道需求量、最优零售价格分别为

$$\begin{cases} q_r^{D2} = \frac{1}{4}[c_s k + a\theta - k\lambda_2 - b_2(\mu_G + c_s - \lambda_2)] \\ q_d^{D2} = \frac{a(-2b_2(\theta - 1) + k\theta) + k(k(c_s - \lambda_2) + b_2(\mu_G + c_s - \lambda_2)) + 2b_1b_2(-c_s + \lambda_2)}{4b_2} \\ p_r^{D2} = \frac{b_1b_2[c_s k + 3a\theta - k\lambda_2 + b_2(c_s + \mu_G - \lambda_2)] - k[a(2b_2(\theta - 1) + k\theta) + k(k(c_s - \lambda_2) + b_2(c_s + \mu_G - \lambda_2))]}{4b_2(b_1b_2 - k^2)} \end{cases} \quad (41)$$

零售商的期望利润为

$$\prod_r^{D2} = \frac{[c_s k + a\theta - k\lambda_2 - b_2(c_s + \mu_G - \lambda_2)]^2}{16b_2} \quad (42)$$

制造商的利润函数为

$$\begin{aligned} \prod_s^{D2} = & \frac{a^2(2b_2^2(\theta - 1)^2 + k^2\theta^2 + b_2\theta[b_1\theta - 4k(\theta - 1)])}{8b_2(b_1b_2 - k^2)} + \frac{2a(b_1b_2 - k^2)(k\theta(-c_s + \lambda_2) + b_2(c_s(\theta - 2) - \mu_G\theta + (2 - \theta)\lambda_2))}{8b_2(b_1b_2 - k^2)} + \\ & \frac{-k^2(c_s - \lambda_2)^2 + b_2^2(c_s + \mu_G - \lambda_2)^2}{8b_2} + \frac{2b_2(-c_s^2k + 2c_s k\lambda_2 - 4q_d^N\lambda_2 - 4q_r^N\lambda_2 - k\lambda_2^2 + \mu_G k(-c_s + \lambda_2) + b_1(c_s - \lambda_2)^2)}{8b_2} \end{aligned} \quad (43)$$

综上，可得在突发事件下，非对称信息双渠道供应链协调机制的最优订货量为

$$q_r^D = \begin{cases} q_r^{D1}, & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ q_r^N, & \mu - \lambda_1 \leq \mu_G \leq \mu + \lambda_2 \\ q_r^{D2}, & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$
$$q_d^D = \begin{cases} q_d^{D1}, & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ q_d^N, & \mu - \lambda_1 \leq \mu_G \leq \mu + \lambda_2 \\ q_d^{D2}, & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$

最优零售价格、直销价格以及批发价格为

$$p_r^D = \begin{cases} p_r^{D1}, & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ p_r^N, & \mu - \lambda_1 \leq \mu_G \leq \mu + \lambda_2 \\ p_r^{D2}, & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$
$$p_d^D = \begin{cases} p_d^{D1}, & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ p_d^N, & \mu - \lambda_1 \leq \mu_G \leq \mu + \lambda_2 \\ p_d^{D2}, & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$
$$w^D = \begin{cases} w^{D1}, & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ w^N, & \mu - \lambda_1 \leq \mu_G \leq \mu + \lambda_2 \\ w^{D2}, & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$

零售商的期望利润为

$$\prod_r^D = \begin{cases} \prod_r^{D1}, & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ \prod_r^N, & \mu - \lambda_1 \leq \mu_G \leq \mu + \lambda_2 \\ \prod_r^{D2}, & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$

制造商的期望利润为

$$\prod_s^D = \begin{cases} \prod_s^{D1}, & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ \prod_s^N, & \mu - \lambda_1 \leq \mu_G \leq \mu + \lambda_2 \\ \prod_s^{D2}, & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$

在非对称信息下发生突发事件使零售商的成
本发生一定范围的扰动，假设制造商仍然按照原
有的生产计划进行生产和销售，虽在一定范围之
内影响不大，但当零售商在突发事件情形下对其
成本信息进行谎报，并利用突发事件做出对其有
利的应对措施，增加或减少订购量，使自身利润
最大化，而制造商则会因没有及时作出应对而出
现直销渠道滞销或临时增加生产造成额外成本过
大的情形。因此，制造商必须根据零售商的成本
变动，作出相应的调整，才能获取突发事件情形
下的最优应对。

因此，可得出如下结论：

a. 突发事件发生后引入惩罚成本的情形下，
原生产计划具有很强的鲁棒性；

b. 当突发事件造成零售商成本变化不大时, 原有的生产计划不需要变动, 但是当零售商成本的变化超过一定的范围时, 就必须对原有的生产计划以及销售计划进行调整才能使双渠道供应链重新达到平衡状态。

5 数值仿真

在零售商成本为其隐匿信息时, 发生突发事件将会导致零售商成本发生一定范围内的扰动, 从而影响双渠道供应链的渠道生产数量以及渠道定价问题, 并且对供应链中各方成员的收益也造成一定干扰。为了使双渠道供应链在非对称信息条件下发生突发事件之时保证供应链中各方成员自身的利润最优, 并且验证本结论的有效性, 下面将通过具体的数值对文中所建立的双渠道供应链模型进行验证。本文考虑一个由制造商主导的

双渠道供应链, 供应链的渠道价格需求函数为一次函数, 其相关参数如下:

假设 $a = 1\,000, b_1 = 5, b_2 = 8, \theta = 0.4, c_s = 12, k = 3$, 且单位惩罚成本 $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2$, 没有发生扰动时零售商单位成本为 $\mu = 12$, 突发事件导致零售商的成本增加或者减少, 设其扰动范围为 $[3, 20]$ 。以下分析零售商的成本扰动对批发价格、订货量、零售价格、零售商期望利润以及供应商期望利润的影响。

由图 2~8 可知, 在非对称性信息下发生突发事件后:

a. 除去零售商成本扰动的中间区域之外, 双渠道的最优电子直销量、最优零售价格均随着零售商成本的增大而线性递增, 而传统零售渠道的最优生产量(零售商的订购量)、制造商对零售商的最优批发价随着零售商成本的增大而递减。最优电子直销价格也随着零售商成本增加而递减,

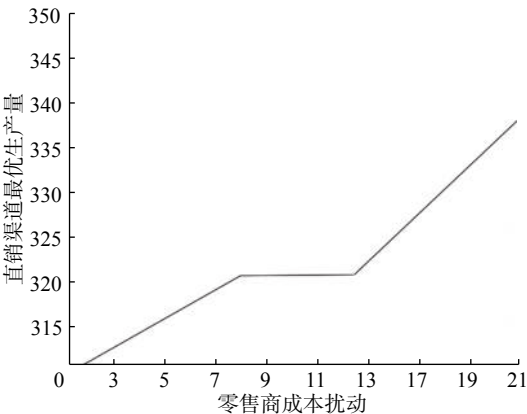


图 2 μ_G 与直销渠道最优生产量 q_d 关系

Fig. 2 Relation between μ_G and the optimal output of direct selling channels

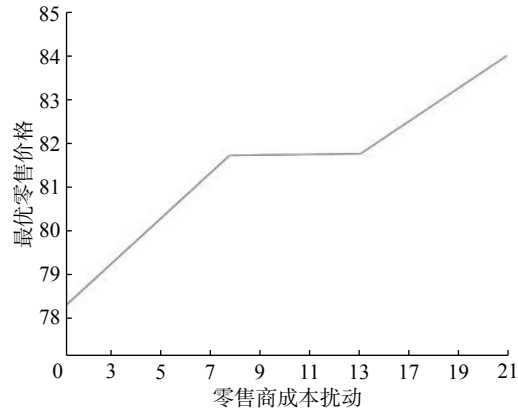


图 4 μ_G 与最优零售价格 p_r 关系

Fig. 4 Relation between μ_G and the optimal retail prices

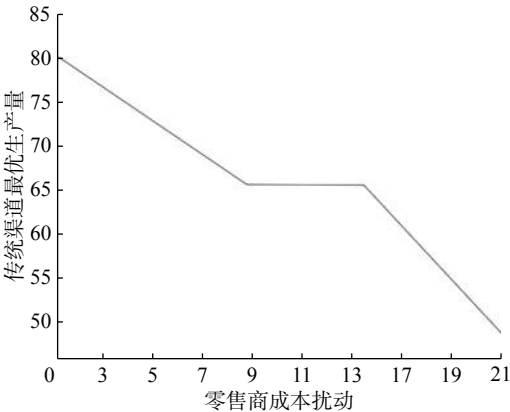


图 3 μ_G 与传统渠道最优生产量 q_r 关系

Fig. 3 Relation between μ_G and the optimal yield of traditional channels

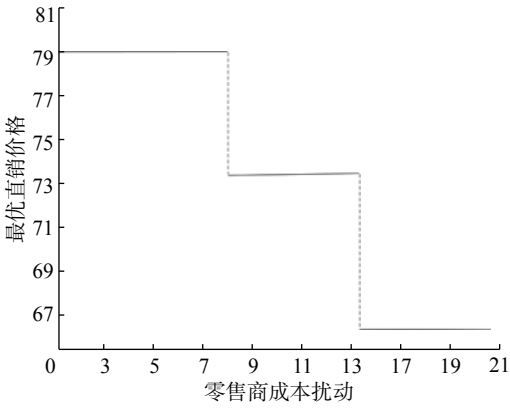


图 5 μ_G 与最优直销价格 p_d 关系

Fig. 5 Relation between μ_G and the optimal direct selling prices

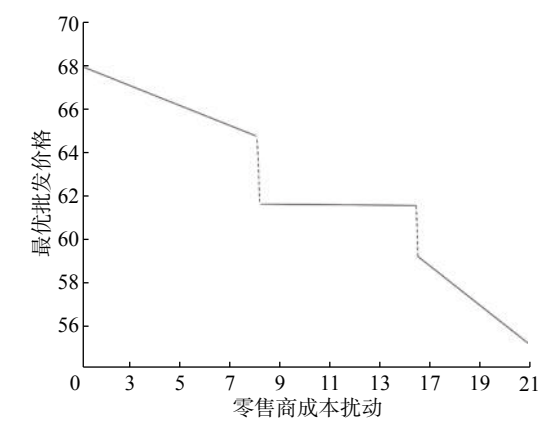


图 6 μ_G 与最优批发价 w 关系

Fig. 6 Relation between μ_G and the optimal direct wholesale prices

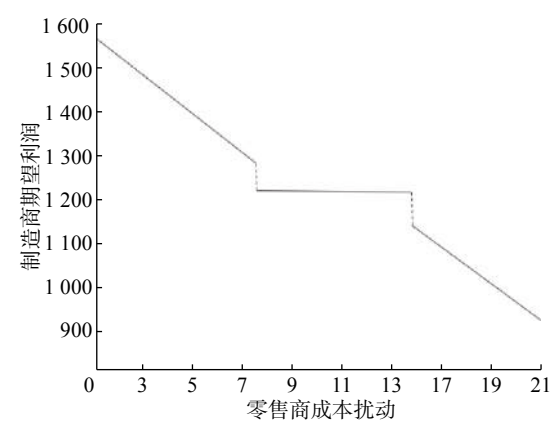


图 8 μ_G 与制造商最优期望利润关系

Fig. 8 Relation between μ_G and the manufacturer's optimal expected profit

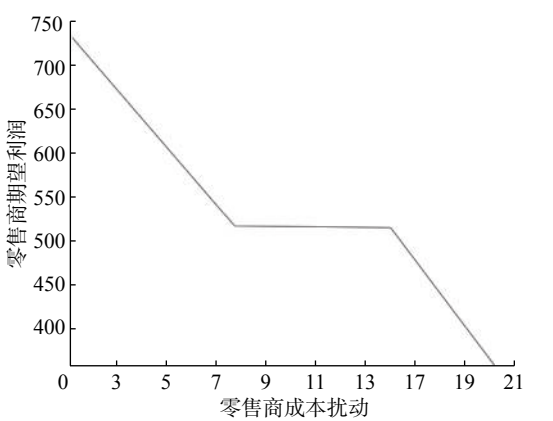


图 7 μ_G 与零售商最优期望利润关系

Fig. 7 Relation between μ_G and the retailer's optimal expected profit

有一定的鲁棒性。

d. 当 $\mu_G > \mu + \lambda_2$ 时, 发生突发事件之后, $p_r^D > p_r^N, q_r^D > q_r^N$, 即传统渠道最优零售价格、最优电子直销量均大于没有发生突发事件时的情形; 而传统渠道的最优生产量(零售商的最优订购量)、制造商对零售商的最优批发价格、电子直销渠道的最优直销价格以及零售商、制造商的最优期望利润均小于没有发生突发事件时的情形, 即 $q_r^D < q_r^N, w^D < w^N, p_d^D < p_d^N, \prod_r^D < \prod_r^N, \prod_s^D < \prod_s^N$ 。

6 结 论

基于零售商成本信息为非对称信息, 针对由一个制造商主导的双渠道供应链, 研究渠道价格需求函数为一次函数情形下, 制造商与零售商之间进行的 Stacklberg 博弈, 以及零售商成本发生扰动时, 双渠道供应链应对突发事件的协调问题, 研究结果表明:

- a. 当突发事件造成零售商成本的扰动范围较小时, 原双渠道供应链具有一定的鲁棒性。即在此范围之内, 不论是集权决策还是分权决策, 制造商可保持原有的生产计划和电子直销计划就是最优决策, 零售商的订购及销售计划也可与原计划保持一致, 即可使双渠道供应链系统正常运行。
- b. 当零售商成本扰动的范围较大, 超出了极限值之时, 则原来的供应链协调面临失灵。此时, 就必须对原有的生产计划、批发价格、传统零售价格以及电子直销价格进行相应的调整, 才能使双渠道供应链在突发事件的情形下取得最优应对。

但在一定范围之内是一个定值。零售商以及制造商的最优期望利润也随着零售商的成本增大而呈现递减状态。

b. 当 $\mu_G < \mu - \lambda_1$ 时, 发生突发事件之后, $p_r^D < p_r^N, q_r^D < q_r^N$, 即传统渠道最优零售价格、最优电子直销量均小于没有发生突发事件时的情形; 而传统渠道的最优生产量(零售商的最优订购量)、制造商对零售商的最优批发价格、电子直销渠道的最优直销价格以及零售商、制造商的最优期望利润均大于没有发生突发事件时的情形, 即

$$q_r^D > q_r^N, w^D > w^N, p_d^D > p_d^N, \prod_r^D > \prod_r^N, \prod_s^D > \prod_s^N$$

c. 当 $\mu - \lambda_1 \leq \mu_G \leq \mu + \lambda_2$ 时, 各参数均没发生变化, 即 $p_r^D = p_r^N, q_r^D = q_r^N, w^D = w^N, p_d^D = p_d^N, \prod_r^D = \prod_r^N, \prod_s^D = \prod_s^N$ 。说明在非对称信息下, 零售商成本在一定范围之内扰动时, 原双渠道供应链具

本研究仅考虑了为摆脱下游传统零售寡头的垄断,以制造商为主导的双渠道供应链的应急协调问题。但是除了制造商自建电子渠道,传统零售商诸如沃尔玛、苏宁等也在开拓线上的潜在市场。并且,在现实社会中,三级或三级以上的多成员供应链更为常见。因此,考虑在非对称信息条件下,由零售商主导的双渠道供应链和复杂供应链的多因素同时扰动的应急协调问题将是进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] MCWILLIAMS G, ZIMMERMAN A. Dell plans to peddle PCs insider sears other ladger chain[J]. *The Wall Street Journal*, 2003, 11(2): 30–32.
- [2] CACHON G P. Supply chain coordination with contracts[J]. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 2003, 11: 227–339.
- [3] XU G Y, DAN B, ZHANG X M, 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: 171–179.
- [4] TSAY A A, AGRAWAL N. Channel conflict and coordination in the e-commerce age[J]. *Production and Operations Management*, 2004, 13(1): 93–110.
- [5] BOYACI T. Competitive stocking and coordination in a multiple-channel distribution system[J]. *IIE Transactions*, 2005, 37(5): 407–427.
- [6] YAN R L. Managing channel coordination in a multi-channel manufacturer-retailer supply chain[J]. *Industrial Marketing Management*, 2011, 40(4): 636–642.
- [7] CAI G. Channel selection and coordination in dual-channel supply chains[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2010, 86(1): 22–36.
- [8] 肖剑, 但斌, 张旭梅. 双渠道供应链中制造商与零售商的服务合作定价策略[J]. *系统工程理论与实践*, 2010, 30(12): 2203–2211.
- [9] PARK S Y, KEH H T. Modelling hybrid distribution channels: a game-theoretic analysis[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2003, 10(3): 155–167.
- [10] 李海, 崔南方. 基于讨价还价能力的双渠道供应链定价模式选择[J]. *计算机应用研究*, 2013, 30(8): 2323–2326.
- [11] 许明星, 王健. 双渠道供应链中服务对定价和需求的影响研究[J]. *计算机应用研究*, 2014, 31(4): 1043–1046.
- [12] 陈云, 王浣尘, 沈惠璋. 电子商务零售商与传统零售商的价格竞争研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(1): 35–41.
- [13] XIAO T J, YU G. Supply chain disruption management and evolutionarily stable strategies of retailers in the quantity-setting duopoly situation with homogeneous goods[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 173(2): 648–668.
- [14] LAUABA A H L, LAU H S, WANG J C. Pricing and volume discounting for a dominant retailer with uncertain manufacturing cost information[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 183(2): 848–870.
- [15] 盛方正, 季建华, 周娜. 信息不对称时发生突发事件供应链的协调[J]. *工业工程与管理*, 2008(4): 6–10.
- [16] 庄品, 赵林度. 应急环境和非对称信息下两个竞争零售商的供应链批发价契约[J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2007, 37(S2): 413–419.
- [17] 曹细玉, 覃艳华. 突发事件且非对称信息下的供应链回购契约模型[J]. *工业工程*, 2012, 15(5): 99–104.
- [18] ZHANG P, XIONG Y, XIONG Z K. Coordination of a dual-channel supply chain after demand or production cost disruptions[J]. *International Journal of Production Research*, 2015, 53(10): 3141–3160.
- [19] 徐浩, 李佳川. 成本和需求扰动时双渠道供应链的协调机制研究[J]. *预测*, 2014, 33(4): 70–75.
- [20] 彭静, 林杰, 林正. 双渠道供应链应对突发事件双扰动的调整策略[J]. *系统工程*, 2016, 34(5): 60–66.

(编辑: 丁红艺)