

陈文涛, 刘浪. 收益共享契约应对非常突发事件的三级供应链协调[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 23-28. [Chen Wentao and Liu Lang. Three-Stage Supply Chain Coordination Response to Unconventional Emergencies by Revenue Sharing Contract [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 23-28.]

## 收益共享契约应对非常突发事件的三级供应链协调\*

陈文涛<sup>1,2</sup>, 刘浪<sup>3</sup>

(1. 北京城市系统工程研究中心, 北京 100089; 2. 中国职业安全健康协会, 北京 100013;  
3. 华东交通大学 经济管理学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:** 研究最简单的三级供应链在收益共享契约下是否能协调应对非常规突发事件。将需求分布函数发生剧烈变化、零售价格作内生变量并随供求关系呈线性变化, 作为非常规突发事件的本质特征, 建立相应的三级供应链的收益共享契约模型, 对模型各种情况进行了分析, 并通过算例进行了验证。研究表明: 非常规突发事件引起市场规模发生剧烈变化, 基准收益共享契约不能够协调供应链; 若供应链上的成员通过谈判确定一个恰当的比例分摊额外增加的生产成本或处理费用, 调整后的收益共享契约下能协调供应链。

**关键词:** 收益共享契约; 非常规突发事件; 三级供应链; 协调

**中图分类号:** F224; F406; X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)04-0023-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.04.005

随着信息化与经济全球化的发展, 供应链所跨地域范围越来越广, 企业在更多地强调“精益制造”、“准时制”或“零库存”的同时, 而各种自然灾害、突发疫情、恐怖袭击和贸易冲突等天灾人祸的骤然降临会突然对供应链进行攻击, 使原本协调的供应链不再协调。突发事件破坏力大小, 直接影响供应链上的各种参数, 小的突发事件只会使供应链上的生产成本、产品需求量、零售价发生小的扰动。若是暴发时间特别短、破坏力特别大或历史上罕见的独一无二的突发事件, 则可能会导致生产成本、产品需求量和零售价发生剧烈波动, 也可能在短时间内不会导致供应链上的生产成本发生变化, 但会使产品需求量和零售价格发生剧烈波动, 如2003年SARS的爆发导致对主要消毒剂之一的三氯异氰尿酸的需求激增, 同时, 一个谣言导致板蓝根价格飞涨; 2011年日本核泄漏, 中国谣言顿起, 由香港起转而席卷内地, 一周之内许多城市盐价飞涨, 诱发抢购, 有些城市甚至断货; 2008年汶川大地震同样导致灾区在重建过程中对重建所需物资的需求激增, 同年发生的中国三鹿奶粉事件使得市场对奶粉的需求急减, 国产奶粉价格暴跌; 2013年禽流感事件使得全国对家禽需求下降, 家禽交易价格暴跌。如何使供应链在遭受突发事件之后抓住机遇、规避风险,

让受到攻击的供应链再次实现协调, 供应链上节点企业实现收益最大化或损失最小化, 这是摆在国内外学者面前的突出问题。已有许多学者证明, 在发生小的突发事件时, 对传统的批发价契约、收益共享契约、回购契约、数量弹性契约、数量折扣契约或几种组合而成的契约作适当的调整, 改造后的契约在应对突发事件时也能实现供应链协调。若发生导致需求量、零售价格急剧变化的罕见或特大突发事件, 上述传统的供应链契约是否还能使供应链协调, 却鲜有学者涉及。为了与以前学者的研究作区别, 本文将只会导致供应链中的生产成本、产品需求量(随机需求分布函数)和零售价格发生小的扰动的突发事件称之为常规突发事件。将在短时间内引起生产成本、随机需求分布函数及零售价格发生急剧变化的突发事件称之为非常规突发事件。从其内涵来讲, 能引起生产成本、随机需求分布函数及零售价格都发生急剧变化, 或生产成本不发生变化, 而随机需求分布函数及零售价格发生急剧变化的突发事件均属非常规突发事件。乘着“合抱之木, 生于毫末; 九层之台, 起于垒土”原理, 依据“先易后难”的原则, 本文只研究生产成本不发生变化, 而随机需求分布函数发生剧烈变化, 零售价随产品需求量变化而变化这种最简单的非常规突发事件作为研

\* 收稿日期: 2014-04-11 修回日期: 2014-06-30

基金项目: 国家自然科学基金研究项目(71162024, 71362019); 江西省教育厅科技项目(GJJ14354)

作者简介: 陈文涛(1983-), 男, 安徽宿松人, 博士, 助理研究员, 研究方向为应急管理、社区安全管理。

E-mail: Cwt123@vip.sina.com

通讯作者: 刘浪(1973-), 男, 江西南昌人, 博士后, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为应急管理、供应链应急管理、应急物流。E-mail: Liulang@ecjtu.edu.cn

研究对象,探讨在收益共享契约下供应链是否能实现协调,协调时需要满足哪些约束条件,本研究的结论将对这些问题做出回答。在以往的研究文献中,多以二级供应链为研究主体,但在现实中,更多是三级供应链或更多级供应链。从理论研究的角度来说,多于三级的供应链可简化为三级供应链,因此,研究三级供应链应对非常规突发事件的供应链协调,更符合客观现实世界的情境,具有更强的现实意义和理论意义。

收益共享契约(revenue sharing contract)是指供应链占领导地位的一方控制批发价,供应链下游节点企业留一定比例的销售收益给自己,将剩下的销售收益分给供应链上游节点企业。在几种典型的供应链契约中,研究成果最多的是收益共享契约,它最早由 Cachon G 和 Lariviere MA<sup>[1]</sup>提出。之后,于辉等<sup>[2]</sup>指出需求依赖于价格的收益共享契约能协调应对突发事件。曹二保等<sup>[3]</sup>研究了突发事件导致随机需求分布发生变化后,收益共享契约下供应链协调应对突发事件。孙亮等<sup>[4]</sup>研究了利用收益共享契约,协调一个短生命周期商品的供应链应对突发事件的问题。Junyan Wang<sup>[5]</sup>等探讨了在等价格弹性需求和线性需求两种模糊需求条件下,运用收益分享契约协调集中决策的供应链与分散决策的供应链问题。对一个供应商和一个面临指数需求的零售商组成两级供应链,当需求与成本同时发生扰动时,曹二保等证明了收益共享契约可协调供应链<sup>[6]</sup>。还有许多学者研究了决策主体存在风险偏好的情况下的收益共享契约协调供应链,如林志炳等<sup>[7]</sup>研究了零售商风险厌恶、杨道箭等<sup>[8]</sup>研究了顾客存在风险偏好下的收益共享契约下的供应链协调。以上研究对象都是单供应商与单零售商组成的两级供应链。Z Yao等<sup>[9]</sup>研究了由一个占主导地位的制造商和两个相互竞争的零售商组成的供应链,面对随机需求与利润不确定的收益共享契约的协调问题。Cao To Linh等<sup>[10]</sup>探讨了在两期报童问题中运用收益共享契约协调渠道的问题。曹二保<sup>[11]</sup>等证明了单供应商和双 Cournot 竞争零售商组成的供应链也能实现协调。傅俊辉等<sup>[12]</sup>研究了一个制造商和两个相互竞争的零售商组成的供应链,在面临单需求突变和双需求突变两种情况下,使用收益共享契约进行协调的问题。发现当发生需求突变时,通过调整收益共享契约的参数可以使分权供应链达到集权供应链的效率。同时,当零售商的决策次序不同时,收益共享契约协调效果不一样。吴献金<sup>[13]</sup>则进一步证明了单供应商和多零售商组成的两级供应链,当需求与成本同时发生扰动时,收益共享契约也可协调供应链。这些研究都是针对单供应商与两个以上零售商组成的供应链。也有少数学者研究了三级供应链的协调情况,如牛春阳<sup>[14]</sup>,庞庆华<sup>[15]</sup>,林略<sup>[16]</sup>等针对不同的具体对象,均证明了在收益共享契约下三级供应链能协调应对突发事件。张欢等<sup>[17]</sup>则另辟蹊径,提出引入虚拟第三方对供应链进行集中控制,对供应商和零售商

进行激励。分析了虚拟第三方控制下供应链的需求突变时,对第三方的产品定价以及分配份额的影响。研究发现需求突变不会影响分配份额,但定价却随需求突变程度不同而有所增加或降低。莫降涛等<sup>[18]</sup>则研究了信息更新后调整订货量的收益共享契约下的供应链协调。

从上述文献来看,国内外学者运用收益共享契约应对突发事件的供应链协调研究已相当深入。但从其研究对象来看,仅停留在常规突发事件的层面,也就是从变化的参数来看,大多是以市场需求(或需求分布函数)与生产成本作为内生变量。还没进入非常规突发事件的层面,没有把零售价格作为内生变量。

## 1 基准三级供应链的收益共享契约模型

本文考虑单供应商、单分销商与单零售商构成的三级供应链模型,模型中的商品为短生命周期产品,零售商面临随机市场需求分布,并作相关假设如下:

(1) 供应商、分销商与零售商均为风险中性和完全理性,即各自根据自身利润最大化原则进行决策。

(2) 供应商、分销商与零售商三者之间信息是完全的,供应商、分销商与零售商都知道自己与其它两方的成本结构、收益函数等。

(3) 供应商、分销商与零售商都能准确预测零售商所面临的需求分布。

为了建立三级供应链的基准收益共享契约模型,设  $p_0$  为单位产品零售价,在基准模型中,它是外生变量,即为固定常数,由市场竞争决定。 $c_s$  为供应商单位生产成本,  $c_d$  为分销商边际单位成本,  $c_r$  为零售商边际单位成本,记  $c = c_r + c_d = c_s$ ;  $g_r$  为零售商缺货而导致的商誉单位惩罚成本,  $g_d$  为分销商缺货的商誉单位惩罚成本,  $g_s$  为供应商缺货的商誉单位惩罚成本,记  $g = g_r + g_d + g_s$ ;  $v$  为单位产品残值;  $w_s$  为供应商向分销商提供的批发价格,  $w_d$  为分销商向零售商提供的批发价格;  $\eta_r$  ( $0 < \eta_r < 1$ ) 是零售商共享销售收益的比例,  $\eta_d$  ( $0 < \eta_d < 1$ ) 是分销商共享收益的比例;  $D$  为零售商面临的随机需求,设其分布函数为  $F(x)$ , 密度函数为  $f(x)$ , 且  $F(x)$  是可微和严格递增的, 并有  $F(0) = 0$ ,  $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$ , 且  $u = E(D) = \int_0^{\infty} xf(x) dx$  为期望需求;  $S(q)$  为给定订货量  $q$  下零售商的期望销售量, 则  $S(q) = \int_0^q xf(x) dx + \int_q^{\infty} qf(x) dx = q - \int_0^q F(x) dx$ ;  $I(q)$  为期末期望库存量,  $I(q) = q - S(q)$ ;  $L(q)$  为期末期望缺货量,  $L(q) = u - S(q)$ 。

供应链是按下面方式进行运作: 首先由供应链上三方成员联合对零售商面临的需求  $D(x)$  进行预测, 获得其分布为  $F(x)$ , 然后供应商根据预测的需求分布和收益共享契约获得最优的订货量  $q^*$ ,

进而安排生产计划进行生产; 销售季节来临, 零售商面临的需求分布为  $F(x)$ , 供应商提出采用收益共享契约进行合作, 分销商接受契约确定订货量  $q^*$ , 转手卖给零售商, 分销商没有库存, 在销售季节末, 零售商处理剩余产品, 最后通过谈判零售商留一定比例  $\eta_r$  的销售收益给自己, 将比例  $1 - \eta_r$  的销售收益分给分销商, 分销商将比例为  $\eta_d$  的收益留给自己, 将比例为  $1 - \eta_d$  的收益分给供应商。

根据三级供应链的收益共享契约定义, 可得零售商的期望收益函数为:

$$\pi_r = \int_0^q \eta_r [p_0 x + v(q-x)] f(x) dx + \int_q^\infty [\eta_r p_0 q - g_r(x-q)] f(x) dx - c_r q - w_d q = [\eta_r(p_0 - v) + g_r] S(q) - (w_d + c_r - \eta_r v) q - g_r u_0 \quad (1)$$

分销商的期望收益函数为:

$$\pi_d = \eta_d \{ w_d q + \int_0^q (1 - \eta_r) [p_0 x + v(q-x)] f(x) dx + (1 - \eta_r) \int_q^\infty p_0 q f(x) q dx \} - \int_q^\infty g_d(x-q) f(x) dx - c_d q - w_s q = [\eta_d(1 - \eta_r)(p_0 - v) + g_d] S(q) - (w_s + c_d - \eta_d(1 - \eta_r)v - \eta_d w_d) q - u_g u_0 \quad (2)$$

供应商的期望收益函数为:

$$\pi_s = (1 - \eta_d) \{ w_d q + \int_0^q (1 - \eta_r) [p_0 x + v(q-x)] f(x) dx + (1 - \eta_r) \int_q^\infty p_0 q f(x) q dx \} + w_s q - \int_q^\infty g_s(x-q) f(x) dx - c_s q = [(1 - \eta_d)(1 - \eta_r)(p_0 - v) + g_s] S(q) - [c_s - (1 - \eta_d)(1 - \eta_r)v - w_s - (1 - \eta_d)w_d] q - u_g u_0 \quad (3)$$

供应链的期望收益函数为:

$$\pi_h = \pi_r + \pi_d + \pi_s = (p_0 - v + g) S(q) - (c - v) q - g u_0 \quad (4)$$

**命题 1** 若没有发生突发事件时, 当公式(5)、(6)中的等式成立时, 收益共享契约能实现三级供应链协调。

$$\begin{cases} \eta_r(p_0 - v) + g_r = k_r(p_0 - v + g), \\ w_d + c_r - \eta_r v = k_r(c - v). \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \eta_d(1 - \eta_r)(p_0 - v) + g_d = k_d(p_0 - v + g), \\ w_s + c_d - \eta_d(1 - \eta_r)v - \eta_d w_d = k_d(c - v). \end{cases} \quad (6)$$

将式(5)代入式(1), 将式(6)代入式(2), 很容得

$$\pi_r = k_r \pi_h + u(k_r g - g_r), \quad (7)$$

$$\pi_d = k_d \pi_h + u(k_d g - g_d), \quad (8)$$

$$\pi_s = (1 - k_r - k_d) \pi_h + u[(1 - k_r - k_d)g - g_s]. \quad (9)$$

式(7)、(8)和(9)表明供应链上所有成员的期望收益函数均为整个供应链期望收益函数的仿射函数, 说明收益共享契约可以实现三级供应链的协调, 并可得系统最优订货量

$$q^* = q_h^* = \bar{F}^{-1}\left(\frac{c - v}{p_0 - v + g}\right).$$

## 2 突发事件情况下收益共享契约对供应链的协调

在供应链系统中, 将突发事件分为常规突发事件和非常规突发事件。本文假设产品生产成本与零售价格不发生变化, 需求分布函数发生变化作为常规突发事件区别正常状态下的本质特征;

生产成本不发生变化, 需求分布函数与零售价格发生变化, 且零售价格由外生变量转化为内生变量作为非常规突发事件的本质特征。同时, 在本文中, 发生非常规突发事件时的产品零售价格是由市场供求关系决定, 即  $p = p_0 + a(x - q)$ , 其中  $p_0$  表示市场均衡的价格,  $x$  表示市场随机需求,  $q$  表示零售商的订货量,  $a$  表示大于零的系数。基于上述假设, 在三级供应链的收益共享契约应对常规突发事件的基础上, 研究三级供应链的收益共享契约是否能协调应对非常规突发事件。

### 2.1 常规突发事件情况下收益共享契约对供应链的协调

当常规突发事件发生时, 零售商面临的市场需求的分布函数  $F(x)$  与密度函数  $f(x)$  将发生变化, 变为  $G(x)$  和  $g(x)$ ,  $G(x)$  同样是可微和严格增加的, 且  $G(0) = 0$ ,  $\bar{G}(x) = 1 - G(x)$ ; 期望需求  $u_G = E_G(D) = \int_0^+ x g(x) dx$ ; 期望销售量  $S_G(q) = q - \int_0^q G(x) dx$ ; 期末期望库存量  $I_G(q) = q - S_G(q)$ ; 期末期望缺货量  $L_G(q) = u_G - S_G(q)$ 。当常规突发事件发生后, 如果供应链新订货量不再是原有最佳订货量  $q^*$ , 将产生额外的成本。当新的订货量  $q > q^*$ , 将增加单位生产成本  $\lambda_1$ , 当新的订货量  $q < q^*$ , 将增加在二级市场处理费用, 设单位处理费用为  $\lambda_2$ , 此处假设增加生产成本与处理费用均发生在供应商生产的环节。设  $\pi_i^c$ , ( $i = r, d, s, h$ ) 分别表示在常规突发事件状态下的零售商、分销商、供应商和整个供应链的期望收益函数。此时, 零售商的期望收益函数为:

$$\pi_r^c = \int_0^q \eta_r [p_0 x + v(q-x)] g(x) dx + \int_q^\infty [\eta_r p_0 q - g_r(x-q)] g(x) dx - c_r q - w_d q = [\eta_r(p_0 - v) + g_r] S_G(q) - (w_d + c_r - \eta_r v) q - g_r u_{G0} \quad (10)$$

分销商的期望收益函数为:

$$\pi_d^c = \eta_d \{ w_d q + \int_0^q (1 - \eta_r) [p_0 x + v(q-x)] g(x) dx + (1 - \eta_r) \int_q^\infty p_0 q g(x) dx \} - \int_q^\infty g_d(x-q) g(x) dx - c_d q - w_s q = [\eta_d(1 - \eta_r)(p_0 - v) + g_d] S_G(q) - (w_s + c_d - \eta_d(1 - \eta_r)v - \eta_d w_d) q - u_{G0} g_d \quad (11)$$

供应商的期望收益函数为:

$$\pi_s^c = (1 - \eta_d) \{ w_d q + \int_0^q (1 - \eta_r) [p_0 x + v(q-x)] g(x) dx + (1 - \eta_r) \int_q^\infty p_0 q g(x) dx \} + w_s q - \int_q^\infty g_s(x-q) g(x) dx - c_s q - \lambda_1(q - q^*)^+ - \lambda_2(q^* - q)^+ = [(1 - \eta_d)(1 - \eta_r)(p_0 - v) + g_s] S_G(q) - [c_s - (1 - \eta_d)(1 - \eta_r)v - w_s - (1 - \eta_d)w_d] q - u_{G0} g_s - \lambda_1(q - q^*)^+ - \lambda_2(q^* - q)^+ \quad (12)$$

供应链的期望收益函数为:

$$\pi_h^c = \pi_r^c + \pi_d^c + \pi_s^c = (p_0 - v + g) S_G(q) - (c - v) q - g u_{G0} - \lambda_1(q - q^*)^+ - \lambda_2(q^* - q)^+ \quad (13)$$

**命题 2** 当发生常规突发事件后, 市场规模发生变化, 若仍用基准三级供应链的收益共享契约, 即满足公式(5)和(6)时, 收益共享契约不能实现三级供应链协调。

证明: 将式(5)和(6)分别代入式(10)与(11)可得

$$\pi_r^c = k_r \pi_h^c + k' [\lambda_1(q - q^*)^+ + \lambda_2(q^* - q)^+], \quad (14)$$

$$\pi_d^c = k_d \pi_h^c + k_d [\lambda_1(q - q^*)^+ + \lambda_2(q^* - q)^+]. \quad (15)$$

将式(14)和(15)代入式(13), 可得

$$\pi_s^c = (1 - k_r - k_d)\pi_h^c + (1 - k_r - k_d)[\lambda_1(q - q^*)^+ + \lambda_2(q^* - q)^+] \quad (16)$$

当常规突发事件使得市场规模发生变化时, 即  $q > q^*$  或  $q < q^*$  时, 此时供应链上所有成员的期望收益函数不再是整个供应链期望收益函数的仿射函数, 收益共享契约不能实现三级供应链协调。

**命题3** 常规突发事件发生后, 市场规模发生变化, 即  $q > q^*$  或  $q < q^*$ , 在满足式(5)和(6)的前提下, 零售商、分销商和供应商分别按  $k_r$ 、 $k_d$  和  $1 - k_r - k_d$  的比例分摊额外增加的生产成本或处理费用时, 收益共享契约能实现三级供应链协调。

证明: 根据命题3的定义, 设  $\hat{\pi}_i^c$  ( $i = r, d, s, h$ ) 分别表示在常规突发事件状态下调整后的零售商、分销商、供应商和整个供应链的期望收益函数, 可得调整后的零售商的收益函数、分销商的收益和供应商的收益函数分别为:

$$\hat{\pi}_r^c = \pi_r^c - k_r[\lambda_1(q - q^*)^+ + \lambda_2(q^* - q)^+] = k_r\pi_h^c, \quad (17)$$

$$\hat{\pi}_d^c = \pi_d^c - k_d[\lambda_1(q - q^*)^+ + \lambda_2(q^* - q)^+] = k_d\pi_h^c, \quad (18)$$

$$\hat{\pi}_s^c = \pi_s^c - (1 - k_r - k_d)[\lambda_1(q - q^*)^+ + \lambda_2(q^* - q)^+] = (1 - k_r - k_d)\pi_h^c. \quad (19)$$

由式(17)、(18)和(19)可知, 经过调整后的供应链上所有成员的期望收益函数均是整个供应链期望收益函数的仿射函数(此时  $\hat{\pi}_h^c = \pi_h^c$ ), 说明此时收益共享契约能协调供应链, 并可得到此时系统最优定货量:  $q_{c1}^* = \bar{F}\left(\frac{c-v-\lambda_1}{p_0-v+g}\right)$  (当  $q > q^*$

时),  $q_{c2}^* = \bar{F}\left(\frac{c-v+\lambda_2}{p_0-v+g}\right)$  (当  $q < q^*$  时)。

## 2.2 非常规突发事件情况下收益共享契约对供应链的协调

当非常规突发事件发生后, 零售商面临的市场需求的分布函数  $F(x)$  与密度函数  $f(x)$  变为  $H(x)$  和  $h(x)$ ,  $H(x)$  同样是可微和严格增加的, 且  $H(0) = 0$ ,  $\bar{H} = 1 - H(x)$ ; 期望需求  $u_H = E_H(D) = \int_0^{+\infty} xh(x)dx$ ; 期望销售量  $S_H(q) = q - \int_0^q H(x)dx$ ; 期末期望库存量  $I_H(q) = q - S_H(q)$ ; 期末期望缺货量  $L_H(q) = u_H - S_H(q)$ 。除此之外, 零售价将由外生变量转为内生变量, 设  $p = a(x - q) + p_0$ 。当非常规突发事件发生后, 供应链新订货量不可能是原来的最佳定货量  $q^*$ 。同样假设当新的订货量  $q > q^*$ , 增加的单位生产成本为  $\lambda_1$ , 当新的订货量  $q < q^*$ , 增加的单位处理费用为  $\lambda_2$ , 设  $\pi u_i$  ( $i = r, d, s, h$ ) 分别表示在非常规突发事件状态下的零售商、分销商、供应商和整个供应链的期望收益函数, 据此可得非常规突发事件发生后, 零售商的期望收益函数为:

$$\pi_r^u = \int_0^q \eta_r \{ [p_0 + a(x - q)]x + v(q - x) \} h(x) dx + \int_q^{+\infty} \{ \eta_r [p_0 + a(x - q)]q - g_r(x - q) \} h(x) dx - c_s q - w_d q_0 \quad (20)$$

分销商的期望收益函数为:

$$\pi_d^u = \eta_d [w_d q + \int_0^q (1 - \eta_r) [p_0 x + v(q - x)] h(x) dx + (1 - \eta_r) \int_q^{+\infty} p_0 q h(x) dx] - \int_q^{+\infty} g_d(x - q) h(x) dx - c_d q - w_s q = [\eta_d (1 - \eta_r) (p_0 - v) + g_d] S_H(q) - [w_s + c_d - \eta_d (1 - \eta_r) v - \eta_d w_d] q - u_H g_d \quad (21)$$

供应商的期望收益函数为:

$$\pi_s^u = (1 - \eta_d) \{ w_d q + \int_0^q (1 - \eta_r) [p_0 x + v(q - x)] h(x) dx + (1 - \eta_r) \int_q^{+\infty} p_0 q h(x) dx \} + w_s q - \int_q^{+\infty} g_s(x - q) h(x) dx - c_s q - \lambda_1 (q - q^*)^+ - \lambda_2 (q^* - q)^+ = [(1 - \eta_d) (1 - \eta_r) (p_0 - v) + g_s] S_H(q) - [c_s - (1 - \eta_d) (1 - \eta_r) v - w_s - (1 - \eta_d) w_d] q - u_H g_s - \lambda_1 (q - q^*)^+ - \lambda_2 (q^* - q)^+ \quad (22)$$

供应链的期望收益函数为:

$$\pi_h^u - \pi_r^u + \pi_d^u + \pi_s^u = (p_0 - v + g) S_H(q) - (c - v) q - g u_H - \lambda_1 (q - q^*)^+ - \lambda_2 (q^* - q)^+ + \int_0^q a x^2 h(x) dx - \int_q^{+\infty} a q x h(x) dx + \int_q^{+\infty} a q x h(x) dx - \int_q^{+\infty} a q^2 h(x) dx \quad (23)$$

为了表达方便, 令:

$$A(q) = \int_0^q a x^2 h(x) dx - \int_0^q a q x h(x) dx + \int_q^{+\infty} a q x h(x) dx - \int_q^{+\infty} a q^2 h(x) dx,$$

$$B(q) = \lambda_1 (q - q^*)^+ + \lambda_2 (q^* - q)^+.$$

则式(23)可化为:

$$\pi_h^u = (p_0 - v + g) S_H(q) - (c - v) q - g u_H + A(q) - B(q). \quad (24)$$

**命题4** 非常规突发事件发生之后, 市场规模发生剧烈变化, 若仍用三级供应链的基准收益共享契约, 即满足式(5)和(6)约束条件时, 收益共享契约不能实现供应链协调。

证明: 将式(5)和(6)分别代入式(20)和(21), 可得:

$$\pi_r^u = k_r \pi_h^u + k_r B(q) + (k_r g - g^r) u_H, \quad (25)$$

$$\pi_d^u = k_d \pi_h^u + k_d B(q) + (k_d g - g^d) u_H, \quad (26)$$

根据式(25)和(26), 可得:

$$\pi_s^u = (1 - k_r - k_d) \pi_h^u + (1 - k_r - k_d) B(q) + [(1 - k_r - k_d) g - g_s] u_H \quad (27)$$

当非常规突发事件使得市场规模变化比较大时, 即  $q > q^*$  或  $q < q^*$  时, 此时供应链上所有成员的期望收益函数不再是整个供应链期望收益函数的仿射函数, 收益共享契约不能实现供应链协调。

**命题5** 非常规突发事件发生后, 市场规模发生剧烈变化, 在满足式(5)和(6)前提下, 零售商、分销商和供应商分别按  $k_r$ 、 $k_d$  和  $1 - k_r - k_d$  的比例分摊额外增加的生产成本或处理费用时, 收益共享契约能实现三级供应链协调。

证明: 当零售商、分销商和供应商分别按  $k_r$ 、 $k_d$  和  $1 - k_r - k_d$  的比例分摊额外增加的生产成本或处理费用时, 设  $\hat{\pi}_i^u$  ( $i = r, d, s, h$ ) 分别表示在非常规突发事件状态下调整后的零售商、分销商、供应商和整个供应链的利润函数, 由式(25)、(26)和(27)可得新的零售商、分销商和供应商的期望收益函数:

$$\hat{\pi}_r^u = \pi_r^u - k_r B(q) = k_r \pi_h^u + (k_r g - g^r) u_H, \quad (28)$$

$$\hat{\pi}_d^u = \pi_d^u - k_d B(q) = k_d \pi_h^u + (k_d g - g^d) u_H, \quad (29)$$

$$\hat{\pi}_s^u = \pi_s^u - (1 - k_r - k_d) B(q) = (1 - k_r - k_d) \pi_h^u + [(1 - k_r - k_d) g - g_s] u_H \quad (30)$$

可见, 此时供应链上所有成员的期望收益函数是整个供应链期望收益函数的映射函数(此时  $\hat{\pi}_h^u = \pi_h^u$ ), 收益共享契约能实现供应链协调。

## 2.3 收益共享契约下非常突发事件时的最优定货量的表达式

(1) 当  $q > q^*$ , 式(23)简化为:

$$\int_0^q ax^2h(x)dx - \int_0^q aqxh(x)dx + \int_q^\infty aqxh(x)dx - \int_q^\infty aq^2h(x)dx - \lambda_1(q - q^*) \quad (31)$$

对式(31)分别一、二阶导数, 可得:

$$\frac{\partial \pi_h^u}{\partial q} = (p_0 - v + g)[1 - H(q)] - (c - v + \lambda_1 - au_H + 2ap) + 2a \int_0^q H(x)dx, \quad \frac{\partial^2 \pi_h^u}{\partial q^2} = -(p_0 - v + g)h(q) - 2a[1 - H(q)] < 0.$$

由此可见, 式(31)是凹函数, 存在唯一的一个最大值, 即存在唯一的最优定货量  $\hat{q}_1^*$ , 并满足下面的方程:

$$(p_0 - v + g)[1 - H(q)] - (c - v + \lambda_1 - au_H + 2aq) + 2a \int_0^q H(x)dx = 0. \quad (32)$$

(2) 当  $q < q^*$ , 同理可得最优定货量  $\hat{q}_2^*$  满足下面的方程:

$$(p_0 - v + g)[1 - H(q)] - (c - v - \lambda_2 - au_H) - 2a \int_0^q xh(x)dx = 0. \quad (33)$$

由此可得,  $\hat{q}_1^*$  与  $\hat{q}_2^*$  分别为方程(32)和(33)的解。由此可知, 当发生非常规突发事件时, 尽管在采用一定的政策后, 可实现三级供应链协调, 也知道此时供应链系统存在一个最佳定货量, 但此时的最佳定货量很难用简洁的表现式表达出来。只有当契约中的相关参数确定后, 才可能得具体的定货量。

### 3 算例分析

某公司销售羽绒服, 在正常情况下每件羽绒服的销售价格  $p_0 = 300$  元, 生产成本  $c_s = 130$  元, 分销商边际单位成本  $c_d = 10$  元, 零售商边际单位成本  $c_r = 10$  元, 零售商缺货成本  $g_r = 6 \frac{2}{3}$  元, 分销商缺货成本  $g_d = 6 \frac{2}{3}$  元, 供应商缺货成本  $g_s = 6 \frac{2}{3}$  元, 设零售商留给自己销售收益的比例  $\eta_r = 0.41$ , 分销商留给自己的销售收益比例  $\eta_d = 0.32$ , 单位产品残值  $v = 80$  元, 批发价格  $w = 25$  元。当发生突发事件后, 额外的单位生产成本  $\lambda_1 = 10$  元, 处理费用  $\lambda_2 = 20$  元, 在非常规突发事件下的系数  $a = 0.004$ 。在面临实际销售时, 可能面临以下几种情况: ①在正常的情况下, 市场需求服从  $X \sim N(100\ 000, 100^2)$  的正态分布; ②若遇寒冬天气, 市场需求服从  $X \sim N(120\ 000, 100^2)$ , 对应  $q > q^*$  的常规突发事件下的情况; ③若遇小暖冬天气, 市场需求服从  $X \sim N(80\ 000, 100^2)$ , 这对应  $q <$

$q^*$  的常规突发事件下的情况; ④若遇酷寒天气, 市场需求服从  $X \sim N(200\ 000, 100^2)$ , 这对应  $q > q^*$  的非常规突发事件下的情况; ⑤若遇大暖冬天气, 市场需求服从  $X \sim N(5\ 000, 100^2)$ , 这对应  $q > q^*$  的常规突发事件下的情况。根据上述假设数据, 依据式(5)和(6), 可得  $k_r = 0.4$ ,  $k_d = 0.2$ 。下面以 Wolfram Mathematic 为工具, 分别计算无突发事件发生的 1 种情况, 常规突发事件和非常规突发事件发生后, 当定货量发生改变后分别采取基准收益共享契约和采用调整后的收益共享契约下的各 4 种情况, 共 9 种情况下最优定货量、零售商收益、分销商收益和供应链收益。并对 9 种情况下的供应链是否协调进行判断, 相关数据计算结果见表 1。

案例数据分析:

①案例中零售商留给自己销售收益的比例  $\eta_r$ , 分销商留给自己的销售收益比例  $\eta_d$  是通过零售商与分销商, 分销商与供应商通过谈判决定的, 本案例是预先假设他们已通过谈判确定了各自分配的比例, 在此基础上, 结合案例中给出的其他数据, 通过公式(5)和(6)可得出  $k_r$ ,  $k_d$  和  $1 - k_r - k_d$  的值, 这三个值是固定的, 零售商、分销商与供应商按这三个值分摊额外增加的生产成本或处理费用, 才能实现供应链在常规突发事件与非常规突发事件下的协调。

②根据公式(5)和(6), 在没有突发事件发生时, 可以计算出, 供应商向分销商提供的批发价格  $w_s = 35.4$ , 分销商向零售商提供的批发价格  $w_d = 50.8$ ; 还可计算出在常规突发事件发生后, 当  $q > q^*$  时, 这两个值分别为:  $w_s = 32.8$ ,  $w_d = 51.5$ ; 当  $q < q^*$  时, 这两个值分别为:  $w_s = 36.6$ ,  $w_d = 56.2$ ; 但非常规突发事件发生后, 这两个值随市场价格波动而波动, 得不到确定的值。

③无论是常规突发事件还是非常规突发事件发生后, 若采用基准收益共享契约, 零售商的收益和分销商的收益与供应链的总收益均不成仿射关系, 即不能实现供应链协调; 若采用调整后的收益共享契约, 则零售商的收益和分销商的收益与供应链的总收益均成仿射关系, 即能实现供应链协调。

### 4 结论与展望

通过收益共享契约应对非常规突发事件的三级供应链协调研究, 可以得出以下几点结论:

表 1 一致性检验及均一性检验结果

|         | 采用基准收益共享契约<br>最优定货量 | 采用基准收益共享契约 |          |          | 是否协调     | 采用调整后的收益共享契约 |        |          |          | 是否协调     |   |
|---------|---------------------|------------|----------|----------|----------|--------------|--------|----------|----------|----------|---|
|         |                     | 零售商收益      | 分销商收益    | 供应链收益    |          | 最优定货量        | 零售商收益  | 分销商收益    | 供应链收益    |          |   |
| 无突发事件   | $q = q^*$           | 100055     | 6003644  | 3001822  | 15009110 | 是            |        |          |          |          |   |
| 常规突发事件  | $q > q^*$           | 120043     | 7282876  | 3681414  | 18007310 | 否            | 120043 | 7202924  | 3601462  | 18007310 | 是 |
|         | $q < q^*$           | 80055      | 4403768  | 2241882  | 10809420 | 否            | 80055  | 4323768  | 2161884  | 10809420 | 是 |
| 非常规突发事件 | $q > q^*$           | 120000     | 21920020 | 10999900 | 54600600 | 否            | 120000 | 21840240 | 10920120 | 54600600 | 是 |
|         | $q < q^*$           | 51475      | 2787900  | 1491110  | 6483950  | 否            | 51475  | 2593580  | 1296790  | 6483950  | 是 |

①非常规突发事件发生时,像常规突发事件发生时一样,在基准收益共享契约下不能实现三级供应链协调。在满足三级供应链的基准收益共享契约约束前提下,当零售商、分销商与供应商按谈判确定的比例( $k_r$ ,  $k_d$ ,  $1 - k_r - k_d$ )分摊额外增加的生产成本或处理费用,此时,非常规突发事件与常规突发事件一样,在收益共享契约下的三级供应链均能实现协调。这个谈判确定的比例受零售商和分销商留给自己销售收益的比例( $\eta_r$ ,  $\eta_d$ )制约,零售商和分销商留给自己销售收益的比例由供应链的三方谈判确定。

②非常规突发事件发生后,在利用收益共享契约协调供应链时,只要按一定的比例分摊额外增加的生产成本或处理费用,零售价格和批发价格随供应关系的变化而发生波动,就能实现供应链协调,没有必要人为对零售价格和批发价格进行干预。

当然,本文还有许多不足之处:

①非常规突发事件可能同时导致供应链上的生产成本、市场需求量(需求分布函数)和产品零售价格发生剧烈波动,零售价格可能以多种形式发生变化,但本文为了简化,研究了生产成本不发生变化,市场需求量(产品需求分布函数)发生剧烈波动,零售价格仅以供求成简单的线性关系发生变化的情况,这仅是非常规突发事件中最简单的一种描述。

②本文是在假设信息对称的前提下开展的研究,在现实中,当供应链遭遇非常规突发事件时,有时会出现信息“孤岛”,信息不对称往往更符合客观现实,在信息不对称的前提下,收益共享契约是否还能协调非常规突发事件,这将成为本研究的后续命题。

③本文假设供应链上节点企业都是无风险偏好的参与者,现实中,当人们面对非常规突发事件时,往往具有强烈的风险偏好,此时,供应链是否还能协调应对非常规突发事件,也是未来研究的方向之一。

## 参考文献:

- [1] Cachon G. Lariviere, M. A. Supply chain coordination with revenue sharing contracts; strengths and limitations[R]. Working Paper, The Wharton School of Business, University of Pennsylvania, Philadelphia, 2000.
- [2] 于辉,陈剑. 需求依赖于价格的供应链应对突发事件[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 3(3): 36-41.
- [3] 曹二保,赖明勇. 利益共享契约下供应链对突发事件的协调应对[J]. 武汉科技大学学报:自然科学版, 2007, 30(5): 557-560.
- [4] 孙亮,马永红. 收益共享契约下供应链应对突发事件的协调研究[J]. 北京化工大学学报, 2008, 35(3): 97-99.
- [5] Junyan Wang, Ruiqing Zhao, Wansheng Tang. Supply chain coordination by revenue-sharing contract with fuzzy demand [J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2008, 19: 409-420.
- [6] 曹二保,赖明勇. 成本和需求同时扰动时供应链协调合约研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(7): 9-15.
- [7] 林志炳,蔡晨,许保光. 损失厌恶下的供应链收益共享契约研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(8): 33-41.
- [8] 杨道箭,齐二石,魏峰. 顾客策略行为与风险偏好下供应链利润分享[J]. 管理科学学报, 2011, 14(12): 50-59.
- [9] Z Yao, Stephen CH Leung, KK Lai. Manufacturer's revenue-sharing contract and retail competition [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 186: 637-651.
- [10] Cao To Linh, Hong Yushin. Channel coordination through a revenue sharing contract in a two-period newsboy problem [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 198: 822-829.
- [11] 曹二保,赖明勇. 基于需求和生产成本偏差的 Cournot 竞争供应链协调 [J]. 系统科学与数学, 2010, 30(10): 1313-1322.
- [12] 傅俊辉,张卫国,梅琴,等. 零售商竞争的供应链对突发事件的协调应对 [J]. 工业工程与管理, 2010, 15(5): 29-34.
- [13] 吴献金,杨泽寰. 成本和需求同时扰动的多零售商供应链协调 [J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2010, 37(5): 88-92.
- [14] 牛春阳,刘三阳. 基于收益共享契约的三级供应链如何应对突发事件 [J]. 中大管理研究, 2008, 3(4): 127-129.
- [15] 庞庆华. 收益共享契约下三级供应链应对突发事件的协调研究 [J]. 中国管理科学, 2010, 18(4): 101-106.
- [16] 林略,梁华丽,于辉. 突发公共卫生事件下医疗防护用品供应链协调 [J]. 工业工程, 2011, 14(3): 34-38.
- [17] 张欢,汪贤裕. 虚拟第三方控制下供应链对突发事件的协调研究 [J]. 中国管理科学, 2010, 18(1): 66-71.
- [18] 莫降涛,毛宏,范婷,等. 需求信息更新后允许调整订货量的供应链协调策略 [J]. 广西科学, 2012, 19(1): 1-6.

## Three-Stage Supply Chain Coordination Response to Unconventional Emergencies by Revenue Sharing Contract

Chen Wentao<sup>1,2</sup> and Liu Lang<sup>3</sup>

(1. Beijing Research Center of Urban System Engineering, Beijing 100089, China; 2. China Occupation Safety and Health Association, Beijing 100013, China; 3. School of Management and Economics, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** It is researched in the paper whether the simplest three-stage supply chain by revenue sharing contract can coordinate a response to unconventional emergency. The revenue sharing contract model of three-stage supply chain is established under the unconventional emergencies, taking the severe change of the demand distribution function, and the retail price which is endogenous variables and changes linearly according to the supply and demand relationship as essential characteristics. The model is analyzed and verified by some examples. The result indicates the three-stage supply chain cannot coordinate to deal with unconventional disruptions by the benchmark revenue sharing contract when the market scale changes largely. If the members of supply chain can share additional cost of production or treatment according to a proportion by negotiation, then three-stage supply chain can coordinate a response to unconventional emergencies by revenue sharing contract.

**Key words:** revenue sharing contract; unconventional emergencies; three-stage supply chain; coordination