第 13卷第 7期
2010年 7月
管 理 科 学 学 报
JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCES IN CHINA
Vol 13 No 7
Jul 2010

成本和需求同时扰动时供应链协调合约研究①

曹二保[1,2], 赖明勇[1,2]
(1. 湖南大学经济与贸易学院, 长沙 410079;
2. 湖南省物流信息与仿真技术重点实验室, 长沙 410079)

摘要: 研究一个供应商和一个面临指数需求的零售商组成的供应链系统的协调问题. 首先证明收益共享合约在稳定条件下能实现该供应链协调; 当突发事件导致零售商面临的需求规模和供应商的生产成本同时发生扰动时, 供应链的协调被打破, 提出了一体化决策时调整生产计划和零售价格的协调策略; 进一步证明了改进的收益共享合约可协调需求和成本同时扰动的分权供应链; 数值实验表明了模型的有效性.

关键词: 收益共享; 供应链管理; 突发事件; 协调机制; 博弈
中图分类号: F273; F224.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2010)07-0009-07

0 引 言

信息技术的发展和经济全球化的提高, 使企业面临更加复杂多变的市场环境和日益激烈的竞争, 传统的单个企业以产品质量、功能和分销渠道为焦点得竞争已经扩展为供应链之间的竞争, 供应链协调成为了供应链管理的热点研究问题, 其中收益共享合约 (revenue sharing) 是应用较为广泛的一种协调机制[1-7]. 与一般合同相比, 收益合约能使供应链成员较好地实现利润共享和风险共担. Pasternack[1]指出, 在单周期、随机需求的情况下, 合适的收益共享合约能使整个供应链达到协调状态; Dana和 Spier[2]运用收益共享合约协调了一个供应商面临的下游市场是由完全竞争的销售商组成, 且最终消费需求是随机变化的供应链; Giannoccaro和 Pontrandolfo[3]运用收益共享合约协调了三级供应链; Gerchak 和 Wang[4]则在具有随机需求的装配系统中研究了收益共享合约; Cachon[5]对收益共享合约的优缺点进行了全面的总结; 郑惠莉和达庆利[6]运用收益共享合约实现了移动互联网供应链的协调; 陈菊红[7]运用收益共享合约协调了需求具有价格敏性的供应链. 上述收益共享合约的研究都是假设供应链系统处稳定环境中, 然而在供应链管理的实践中, 企业通常会遇到各种突发事件, 如何快速找到最优的方案来应对各种突发事件, 仍然是一个亟待解决的问题.

突发事件 (如 911恐怖事件、重大公共卫生事件"非典"、2008年初中国南方的冰冻灾害和 5.12四川大地震) 可能会对协调的运作稳定、良好的供应链系统造成不同层面的巨大影响, 它可能造成需求的巨大波动、供应商不能及时或中断原材料供应、交通设施不可用或延迟使用、工厂、仓库以及办公设备不可用以及信息通道堵塞, 当然可能更直接的对商品或服务进行破坏. 这些影响将直接导致供应链不再协调或者原有计划不再可行. 故对于协调供应链系统如何应对突发事件的研究就显得格外重要[8].

供应链突发事件应急管理 (supply chain dis-

① 收稿日期: 2008-10-17; 修订日期: 2010-03-15.
基金项目: 国家杰出青年基金资助项目 (70925006); 湖南省重大科技专项基金资助项目 (2008FJ1006, 2009FJ1003); 博士后基金资助项目 (20090451098).
作者简介: 曹二保 (1980—), 男, 湖南益阳人, 副教授. Email: czp9491@163.com

ruption management)概念首先由 Clausen[9]等人提出. 其首先在解决航空公司应对突发事件的领域中得到很好的应用; Qi[10]等人对突发事件造成确定型需求变化进行了研究,并运用数量折扣的契约来协调突发事件下的供应链; Xiao[11]运用价格补偿合约协调了促销投资敏感系数发生扰动的供应链; Xu[12]等人运用数量折扣合约研究了突发事件导致成本发生变化的二级供应链; Xiao和Qi[13]运用数量折扣合约研究了成本和市场规模发生变化的供应链; Xiao[14]运用数量折扣协调了需求发生扰动的一个供应商和两个竞争零售商组成的供应链; Chen[15]运用数量折扣合约研究了需求扰动时一个供应商和一个占主导地位及多个附加的零售商组成的供应链. 国内对供应链突发事件应急管理的研究还刚起步,其相关研究相对零散. Huang[16]运用数量折扣合约研究了需求发生变化的具有指数需求函数的供应链; 于辉等人分别运用数量折扣合约[8]和回购合约[17]研究了突发事件导致需求发生变化的供应链的协调应对; 张菊亮和陈剑[18]采用未售货物补偿合约协调了生产成本扰动的供应链; 刘春林[19]等人研究了供应链需求突然增加时供应点间的协作问题, 并提出了多个供应点协作的数学模型及算法; 孙亮和马永红[20]运用收益共享合约研究了市场需求分布扰动的供应链; 冯花平[21]等人研究了最大需求和价格敏感系数同时发生变化的情形, 并运用数量折扣合约协调该供应链. 考虑非线性需求的突发事件协调应对相对较少[12,16],且都只考虑突发事件引起需求或成本单方面的变化, 国内外还没有见到考虑成本和需求同时发生扰动时非线性需求供应链的协调应对. 在实际中,恐怖活动、自然灾害、新的产业政策等原因会导致市场需求发生扰动[14];原材料价格变化,新技术的使用等原因也会导致生产成本发生不同程度的扰动[12]. 本文研究突发事件造成市场需求和生产成本同时发生变化的供应链协调应对,不失一般性,考虑在市场及运筹管理[22]和突发事应急管理[12]被广泛采用的指数需求函数,类似于文献[16],采用指数需求函数 $d = D \cdot e^{-kp}$, 分析突发事件对供应链的影响, 并设计一种改进的收益共享合约应对该突发事件. 同时研究收益共享合约的另一种性质 —— 抗突发事件性.

1 基准的收益共享合约协调模型

考虑由一个供应商和一个零售商所组成的供应链,供应商控制着批发价格 w 和零售商的收益占渠道总收益的比例 ϕ; 而零售商若接受供应商提出的收益合约 (w, ϕ), 则以每单位产品 w 的价格订购 Q 件产品,供应商必须满足零售商所有的订货量. 同时, 我们假设所有信息是对称的, 供应商与零售商都知道自己与对方的成本结构、收益函数等, 并且双方都能对需求作准确的预测[10,13]. 假设市场需求 d是零售价格的指数函数,且有 $d = D \cdot e^{-kp}$, 其中 D 表示市场规模 (最大可能需求), $k > 0$为价格敏感系数[16], 显然零售价格为 $p = \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{D}{Q}$; 供应商的单位产品成本为 c, 供应链、供应商和零售商的利润分别为 $\bar{f}, \bar{f}_s, \bar{f}_r$; 显然 $\bar{f}(Q) = Q \cdot (\frac{1}{k} \ln \frac{D}{Q} - c)$, 由一阶最优性条件可知, 当零售商的订购数量为 $\bar{Q} = D \cdot e^{-(1+kc)}$, 零售价格 $\bar{p} = c + \frac{1}{k}$时, 此时供应链渠道利润达到最大值 $\overline{f_{\max}} = \frac{1}{k} D e^{-(1+kc)}$.

引理 1 由一个供应商和一个零售商组成的供应链在收益共享合约 (w, ϕ) 下能达到协调,如果对于任意的 $\phi(0 < \phi < 1)$, 使得 $f_r(Q) = \phi \times f(Q)$ (或 $f_s(Q) = (1 - \phi) \times f(Q)$) 即零售商的利润 (或供应商的利润) 是供应链渠道总利润的仿射函数[5].

由文献[5]可知, 在上述假设下, 当 $w = \phi \cdot c$ 时收益共享合约 (w, ϕ) 能实现供应链的协调.

2 一体化供应链在突发事件下的最优应对

一体化供应链 (或集权供应链) 是供应商和零售商属于同一集团, 由同一管理者统一决策, 以供应链渠道利润最大化为目标的情形. 考虑突发事件导致供应商的生产成本和零售商面临的市场需求的市场规模同时发生变化时一体化供应链的

协调应对策略. 假设突发事件导致生产成本 c变为 $c+\Delta c$; 市场规模 D 变为 $D+\Delta D$; 从而相对于零售价格 p, 零售商所面临的市场需求变为 $d=(D+\Delta D)e^{-kp}$, 显然要求 $D+\Delta D>0$, $c+\Delta c>0$才有意义, 突发事件下零售价格变为 $p=\frac{1}{k}\times\ln\frac{D+\Delta D}{Q}$. 若突发事件发生后实际的市场需求为 Q, 相比突发事件之前的最有生产量 $\bar{Q}$, 相应的生产量的变化为 $\Delta Q=Q-\bar{Q}$. 当 $\Delta Q=Q-\bar{Q}>0$时, 供应商必须增加生产以满足增加的订货量; 当 $\Delta Q=Q-\bar{Q}<0$时, 将有 $-\Delta Q$的产品不会变成最终产品在市场上销售, 供应商会有过剩的原材料, 他可以在二级市场上以低于购买价格将其卖掉[10,12], 故突发事件发生后, 供应链的渠道总利润为

$$f(Q)=Q\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q}-c-\Delta c\right)-\lambda_1(Q-\bar{Q})^+-\lambda_2(\bar{Q}-Q)^+ \tag{1}$$

其中 $(x)^+=\max\{0,x\}$, $\lambda_1>0$, 表示当 $\Delta Q>0$时, 必须重新购买新材料来增加产量所发生的单位额外成本; $\lambda_2>0$表示当 $\Delta Q<0$时, 必须将多余材料以低于成本价格来减少产量而遭致的单位额外成本, 且有 $\lambda_2<c+\Delta c$. 设突发事件下供应链系统利润 $f(Q)$ 最大时的最优生产量是 Q^*, 在 $D+\Delta D>0$, $c+\Delta c>0$条件下, 通过比较突发事件前后的生产量, 有如下定理 1.

定理 1　当突发事件导致零售商面临的市场需求和供应商的生产成本发生扰动时, 在一体化条件下, 若 $\Delta D>0$且 $\Delta c<0$, 则 $Q^*\geqslant\bar{Q}$; 若 $\Delta D<0$且有 $\Delta c>0$, 则 $Q^*\leqslant\bar{Q}$.

证明　下面利用反证法证明当 $\Delta D>0$且 $\Delta c<0$, 则 $Q^*\geqslant\bar{Q}$成立, 第 2个结论可以类似证明. 假设当 $\Delta D>0$且 $\Delta c<0$, 有 $Q^*<\bar{Q}$成立. 在突发事件发生之前, 供应链的渠道最优生产量为 $\bar{Q}$, 对任意的生产量 Q, 有 $\bar{f}(\bar{Q})=\bar{Q}\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D}{\bar{Q}}-c\right)\geqslant\bar{f}(Q)=Q\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D}{Q}-c\right)$ 成立, 显然会有 $\bar{f}(\bar{Q})\geqslant\bar{f}(Q^*)$ 成立. 当突发事件导致零售商面临的市场需求的市场规模和供应商的生产成本发生扰动后, 根据假设有 $Q^*<\bar{Q}$成立, 在生产量为突发事件后供应链渠道最优量 Q^* 时, 供应链的渠道总利润函数变为

$$\begin{aligned}
f(Q^*)&=Q^*\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q^*}-c-\Delta c\right)-\lambda_2(\bar{Q}-Q^*)\\
&=Q^*\left[\frac{1}{k}\ln\left(\frac{D}{Q^*}\frac{D+\Delta D}{Q}\right)-c\right]-\Delta cQ^*-\lambda_2(\bar{Q}-Q^*)\\
&=Q^*\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D}{Q^*}-c\right)+\frac{Q^*}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q}-\Delta cQ^*-\lambda_2(\bar{Q}-Q^*)\leqslant\\
&\bar{Q}\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D}{\bar{Q}}-c\right)+\frac{Q^*}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q}-\Delta cQ^*-\lambda_2(\bar{Q}-Q^*)\leqslant\\
&\bar{Q}\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D}{\bar{Q}}-c\right)+\frac{\bar{Q}}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q}-\Delta c\bar{Q}-\lambda_2(\bar{Q}-Q^*)<\\
&\bar{Q}\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{\bar{Q}}-c-\Delta c\right)=f(\bar{Q}),
\end{aligned}$$

这与 Q^*为 $f(Q)$的最优值矛盾, 故当 $\Delta D>0$且 $\Delta c<0$, 则 $Q^*\geqslant\bar{Q}$成立.

定理 1表明当突发事件导致供应链的需求增加而生产成本减少时, 供应商必须通过增加生产来应对扩大了的市场需求; 当突发事件导致供应链的市场需求减少而生产成本增加时, 供应商必须通过减少生产来应对缩减了的市场需求.

从定理 1可知, 当 $\Delta D>0$且 $\Delta c<0$, 则 $Q^*\geqslant\bar{Q}$成立, 于是最优化供应链渠道总利润 $f(Q)$ 等价于最优化严格凹函数 $f_1(Q)=Q\left(\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q}-c-\Delta c\right)-\lambda_1(Q-\bar{Q})$ 且满足约束条件 $Q\geqslant\bar{Q}$.

由一阶最优性条件 $\frac{\partial f_1(Q)}{\partial Q}=0$ 可知, $Q_1=(D+\Delta D)e^{-[1+k(\lambda_1+c+\Delta c)]}$ 时 $f_1(Q)$ 有最大值. 下面分两种情形考虑约束条件 $Q\geqslant\bar{Q}$.

情形 1　当 $Q_1\geqslant\bar{Q}$, 有 $(D+\Delta D)e^{-[1+k(\lambda_1+c+\Delta c)]}\geqslant De^{-(1+kc)}$ 即 $\Delta D\geqslant D[e^{k(\lambda_1+\Delta c)}-1]$, 有 Q_1满足约束条件 $Q\geqslant\bar{Q}$, 即 $Q_1\geqslant\bar{Q}$成立, 此时 $f_1(Q)$ 在 Q_1时达到最大值. 令 $Q^*_{case1}=Q_1=(D+\Delta D)e^{-[1+k(\lambda_1+c+\Delta c)]}$, 相对于最优订货量 Q^*_{case1}的最优零售价格为 $p^*_{case1}=\frac{1}{k}+\lambda_1+c+\Delta c=\bar{p}+\lambda_1+\Delta c$, 其最优的收益为 $f^*_{case1}=\frac{1}{k}(D+$

$\Delta D)\mathrm{e}^{-[1+k(\lambda_1+c+\Delta c)]}+\lambda_1 D\mathrm{e}^{-[1+k(c+\Delta c)]}$

情形 2 当 $Q_1<\bar{Q}$ 即 $0<\Delta D<D[\mathrm{e}^{k(\lambda_1+\Delta c)}-1]$ 时, Q_1 不满足约束条件 $Q\geqslant\bar{Q}$. 由于 $f_1(Q)$ 在区间 $[\bar{Q},+\infty)$ 上单调下降, 故 $f_1(Q)$ 在 $\bar{Q}=D\cdot\mathrm{e}^{-(1+kc)}$ 达到最大值, 令 $Q^*_{\mathrm{case2}}=\bar{Q}=D\cdot\mathrm{e}^{-(1+kc)}$, 此时相应的最优零售价格为 $p^*_{case2}=\frac{1}{k}+c+\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{D}=\bar{p}+\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q}$, 供应链的最优利润为

$$\begin{aligned}f^*_{\mathrm{case2}}&=Q^*_{\mathrm{case2}}(P^*_{\mathrm{case2}}-c-\Delta c)\\&=D\mathrm{e}^{-(1+kc)}\left(\frac{1}{k}+\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{D}-\Delta c\right)\end{aligned}$$

同理, $\Delta D<0$ 且 $\Delta c>0$ 有, 则 $Q^*\leqslant\bar{Q}$ 成立, 于是最优化供应链渠道总利润 $f(Q)$ 等价于最优化严格凹函数 $f_2(Q)=Q(\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q}-c-\Delta c)-\lambda_2(\bar{Q}-Q)$ 且满足约束条件 $Q\leqslant\bar{Q}$. 由一阶最优性条件 $\frac{\partial f_2(Q)}{\partial Q}=0$ 可知, $Q_2=(D+\Delta D)\mathrm{e}^{-[1+k(c+\Delta c-\lambda_2)]}$ 时 $f_2(Q)$ 有最大值. 下面分两种情形考虑约束条件 $Q\leqslant\bar{Q}$.

情形 3 当 $(D+\Delta D)\mathrm{e}^{-[1+k(c+\Delta c-\lambda_2)]}\leqslant D\mathrm{e}^{-(1+kc)}$, 即 $\Delta D\leqslant D[\mathrm{e}^{k(\Delta c-\lambda_2)}-1]$ 时, 有 $Q_2\leqslant\bar{Q}$ 成立. 此时 $f_2(Q)$ 在 Q_2 时达到最大值, 令 $Q^*_{\mathrm{case3}}=Q_2=(D+\Delta D)\mathrm{e}^{-[1+k(c+\Delta c-\lambda_2)]}$ 相应的最优零售价格为 $p^*_{\mathrm{case3}}=\frac{1}{k}+c+\Delta c-\lambda_2=\bar{p}+\Delta c-\lambda_2$, 最优利润为

$$\begin{aligned}f^*_{\mathrm{case3}}&=Q^*_{\mathrm{case3}}(p^*_{\mathrm{case3}}-c-\Delta c)-\lambda_2(\bar{Q}-Q)\\&=\frac{1}{k}(D+\Delta D)\mathrm{e}^{-[1+k(c+\Delta c-\lambda_2)]}-\lambda_2 D\mathrm{e}^{-(1+kc)}\end{aligned}$$

情形 4 当 $(D+\Delta D)\mathrm{e}^{-[1+k(c+\Delta c-\lambda_2)]}\geqslant D\mathrm{e}^{-(1+kc)}$, 即 $D[\mathrm{e}^{k(\Delta c-\lambda_2)}-1]\leqslant\Delta D\leqslant0$ 时, 有 $Q_2>\bar{Q}$ 成立, 此时 Q_2 为不可行解. 由于 $f_2(Q)$ 在区间 $(-\infty,\bar{Q}]$ 上单调递增, 故 $f_2(Q)$ 在 $\bar{Q}=\frac{D-kc}{2}$ 达到最大值. 令 $Q^*_{\mathrm{case4}}=\bar{Q}=D\mathrm{e}^{-(1+kc)}$, 此时相应的最优零售价格为 $p^*_{\mathrm{case4}}=\frac{1}{k}+c+\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{D}=\bar{p}+\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{D}$, 供应链的最优利润为

$$\begin{aligned}f^*_{\mathrm{case4}}&=Q^*_{\mathrm{case4}}(p^*_{\mathrm{case4}}-c-\Delta c)\\&=D\mathrm{e}^{-(1+kc)}\left(\frac{1}{k}+\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{D}-\Delta c\right)\end{aligned}$$

总结上面的结果, 得到如下定理.

定理 2 突发事件导致价格需求函数的市场规模 D 发生变化 ΔD, 生产成本 c 变化 Δc, 当零售商的零售价格为 p^*, 订货量为 Q^* 时, 整个供应链系统的利润达到最优, 从而实现了一体化供应链在该突发事件下的最优应对.

$$p^*=\begin{cases}\bar{p}+\lambda_1+\Delta c & \text{若 } \Delta D\geqslant D[\mathrm{e}^{k(\lambda_1+\Delta c)}-1]\\ \bar{p}+\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{D} & \text{若 } D[\mathrm{e}^{k(\Delta c-\lambda_2)}-1]<\Delta D<D[\mathrm{e}^{k(\lambda_1+\Delta c)}-1]\\ \bar{p}+\Delta c-\lambda_2 & \text{若 } \Delta D\leqslant D[\mathrm{e}^{k(\Delta c-\lambda_2)}-1]\end{cases}\tag{2}$$

$$Q^*=\begin{cases}(D+\Delta D)\mathrm{e}^{-[1+k(\lambda_1+c+\Delta c)]} & \text{若 } \Delta D\geqslant D[\mathrm{e}^{k(\lambda_1+\Delta c)}-1]\\ D\cdot\mathrm{e}^{-(1+kc)} & \text{若 } D[\mathrm{e}^{k(\Delta c-\lambda_2)}-1]<\Delta D<D[\mathrm{e}^{k(\lambda_1+\Delta c)}-1]\\ (D+\Delta D)\mathrm{e}^{-[1+k(c+\Delta c-\lambda_2)]} & \text{若 } \Delta D\leqslant D[\mathrm{e}^{k(\Delta c-\lambda_2)}-1]\end{cases}\tag{3}$$

定理 2表明, 当市场需求的变化较小时, 只需保持原有的生产数量和调整零售价格就能使供应链达到最优利润, 零售价格的调整量只与市场需求有关, 与生产成本的变化无关, 原有的生产数量在突发事件下仍然具有一定得鲁棒性, 需求变化和成本变化之间存在着一种相互抗衡和制约的作用, 也就是说一种扰动带来的不利影响被另一种扰动带来的有利影响抵消. 当市场需求的变化较大时, 需同时调整生产数量和零售价格才能使供应链达到最优利润, 此时最优的生产数量与市场需求的改变成正比, 而最优零售价格只与生产成本及违背成本有关, 与市场需求的变化无关.

3 分散化供应链在突发事件下的协调机制

分散化决策是供应链成员属于不同的企业, 以各自利润最大化为目标的情形. 一体化决策时, 供应链对于突发事件引起的价格需求函数的市场规模和生产成本同时发生变化时的最优应对策略是零售商选取零售价格 p^* 及订购量 Q^*, 如果分散化决策时供应链成员间签订适当的合约使零售商选取 p^* 及 Q^*, 则分散化供应链达到了一体化时供应链最优的应对突发事件的能力, 此时分散

化的供应链在突发事件下达到了协调, 本文考虑运用收益共享合约协调突发事件下的供应链系统.

令 $S(Q) = \lambda_1(Q-\bar{Q})^+ + \lambda_2(\bar{Q}-Q)^+$, 对于任意的收益分配比例 $\phi(0<\phi<1)$, 零售商支付给供应商的批发价格为 $w(Q) = \phi(c+\Delta c+\frac{S(Q)}{Q})$.

定理 3　由突发事件引起分散化决策供应链的市场规模和生产成本同时发生变化时, 通过收益共享合约 (w, ϕ, Q^*) 能实现供应链的协调, 并且能任意分配供应链的最优利润.

证明　在收益共享合约 (w, ϕ, Q^*) 下, 对任意的收益分配比例 $\phi(0<\phi<1)$, 零售商的利润函数为

$$f_r(Q) = \phi Q\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q} - wQ$$

$$= \phi Q\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q} - \phi(c+\Delta c+\frac{S(Q)}{Q})Q$$

$$= \phi[Q(\frac{1}{k}\ln\frac{D+\Delta D}{Q} - c - \Delta c) - \lambda_1(Q-\bar{Q})^+ - \lambda_2(\bar{Q}-Q)^+] = \phi f(Q)$$

因此, 零售商的利润函数为供应链渠道总利润的仿射函数, 从而对于零售商而言最优的订货量也为系统的最优订货量 Q^*, 并且可以通过调整系统合约参数 ϕ 来任意分配整个供应链的利润, 故改进的收益共享合约 (w, ϕ, Q^*) 能实现突发事件下需求和生产成本同时发生变化时的供应链的协调. 并且当 $\Delta D = 0$且 $\Delta c = 0$时, 有 $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$, 此时供应链系统的利润函数为 $f(Q) = Q\cdot(\frac{D-Q}{k} - c)$, $w = \phi c$, 故收益共享合约 $(w, \phi, \bar{Q})$ 也能实现供应链的协调, 即改进后的收益共享合约协调机制在突发事件前后都能实现供应链的协调, 该收益共享合约具有抗突发事件性[8]; 当突发事件只导致需求函数的市场规模发生变化时, $\Delta c = 0$, 上述研究得到了文献 [16] 相似的结论.

4　数值实验

当突发事件导致市场需求和生产成本发生变化时, 突发事件将会影响供应链的最优生产数量及定价, 从而影响供应链系统的最优利润以及该利润在成员间的分配, 下面通过数值实验检验突发事件对供应链的影响. 相关参数假设如下: $D = 100$, $c = 2$, $k = 0.2$, $\Delta D = \{-20, 20\}$, $\Delta c = \{-0.4, 0.4\}$, $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$, 零售商和供应商谈判的结果是按四六分成的比例分配所在渠道的销售收益, 即 $\phi = 0.6$. 在稳定条件下, 由价格需求关系可以得出零售商的最优订货量为 $\bar{Q} = 24.66$, 相应的最优零售价格为 $\bar{p} = 7$, 系统最优利润为 $f_{\max} = 123.30$. 当突发事件导致需求和生产成本同时扰动时, 共有 4种扰动情形, 各种不同扰动水平发生后, 分原策略和新策略两种情形考虑突发事件下供应链的应对策略, 若没有意识到突发事件对供应链造成的影响, 不能及时做出调整零售价格的决策, 则继续采用原有的零售价格策略 (称为原策略)[10, 16, 21], 比较供应链系统采用改进的收益共享合约 (新策略) 和原有策略所得到的利润, 结果如表 1所示.

表 1　不同扰动水平对供应链的参数及总利润的影响

Table 1 The effect of different disruptions on the parameters and total profit of supply chain

情形	ΔD	Δc	零售价格		生产数量		批发价格		供应链利润	
			原策略 $\hat{p}$	新策略 p^*	原策略 $\hat{q}$	新策略 q^*	原策略 w	新策略 w^*	原策略 $\hat{f}$	新策略 f^*
1	20	-0.4	7	7.6	29.60	26.25	0.96	1.0	154.90	**155.91**
2	-20	-0.4	7	5.88	19.73	24.66	0.96	0.96	101.61	**105.54**
3	20	0.4	7	7.91	29.60	24.66	1.44	1.44	131.22	**135.88**
4	-20	0.4	7	6.4	19.73	22.24	1.44	1.51	85.83	**86.54**

从表 1的第二种扰动情形和第三种扰动情形可以看出, 当突发事件导致需求和生产成本同时减小或增大时, 在一定的条件下, 并不会对原有的生产计划产生影响, 两者之间存在着一种相互抗衡和制约的作用, 原始的最优生产数量可以保持不变, 只需零售价格发生变化, 以平衡市场需求量的变化, 也就是说一种扰动带来的不利影响被另一种扰动带来的有利影响抵消, 这说明突发事件下收益共享合约具有一定的鲁棒性. 当突发事件导致需求和生产成本同时发生不同方向的扰动, 并且两者之间的关系超过一定的条件时, 从表 1的从第一种情形可以看出, 当突发事件导致生

产成本减少和市场需求都增加时, 突发事件下的最优生产数量比稳定条件下的最优生产数量要大, 供应商通过增加生产来应对突发事件; 从第四种情形可以看出, 当突发事件导致供应链生产成本增加和市场需求减少时, 突发事件下的最优生产数量比稳定条件下的最优生产数量要小, 供应商通过减少生产来应对突发事件, 此时, 供应商的生产计划和协调策略都要随之进行调整, 从而使得供应链能够获得最大的利润. 从表 1还可以看出, 突发事件导致生产成本和需求同时发生变化时, 采用改进的收益共享合约得到利润比保持原有的价格策略得到的利润要高, 这充分说明了用收益共享合约应对突发事件的有效性和意义.

5 结 论

考虑非线性需求供应链应对突发事件的协调机制的研究并不多见. 本文在一体化情形下和分散化情形下, 考虑当零售商面临指数需求函数情形, 在稳定条件下, 收益共享合约能实现供应链协调; 当突发事件导致需求函数和生产成本同时发生变化时, 当突发事件导致生产成本增加和需求减少时, 供应商会通过减少生产来应对需求的减少, 当突发事件导致生产成本减少和需求增加时, 供应商会同增加生产来应对增加的需求 (定理 1). 当市场需求的变化较小时, 并不会对原有的生产数量产生影响, 只需调整零售价格就能使供应链达到最优利润; 当市场需求变化较大时, 需同时调整生产数量和零售价格才能使供应链达到最优利润 (定理 2). 改进的收益共享合约在突发事件前后都能实现供应链的完美协调, 并能在供应链成员间任意分配利润, 改进的收益共享合约具有抗突发事件性 (定理 3). 数值实验说明了供应链突发事件应急管理的重要性以及改进的收益共享合约的有效性. 在信息不对称条件下, 考虑更加复杂的供应链对突发事件的协调应对将是我们下一步研究的方向.

参 考 文 献:

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

[2] Dana J D, Spier K. Revenue sharing, demand and uncertainty, and vertical control of competing firms[Z]. Northwest University Working Paper, Evanston, IL, 1999.

[3] Giannoccaro I, Pontrandolfo P. Supply chain coordination by revenue sharing contracts[J]. International Journal of Production Economics, 2004, 89(2): 131-139.

[4] Gerchak Y, Wang Y. Revenue-sharing vs wholesale-price contracts in assembly systems with random demand[J]. Production and Operation Management, 2004, 13(1): 23-33.

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

[6]郑惠莉, 达庆利. 移动互联网供应链协调机制研究[J]. 管理科学学报, 2005, 8(5): 31-37.
Zheng Hui-li, Da Qing-li. Supply chain coordination mechanism of mobile internet[J]. Journal of Management Sciences in China, 2005, 8(5): 31-37. (in Chinese)

[7]陈菊红, 郭福利, 史成东. 需求具有价格敏感性的供应链收益共享契约设计研究[J]. 中国管理科学, 2008, 16(3): 78-83.
Chen Ju-hong, Guo Fu-li, Shi Cheng-dong. On supply chain revenue-sharing contract design under price-sensitive demand[J]. Chinese Journal of Management Science, 2008, 16(3): 78-83. (in Chinese)

[8]于 辉, 陈 剑, 于 刚. 协调供应链如何应对突发事件[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 12(7): 9-16.
Yu Hui, Chen Jian, Yu Gang. How to coordinate supply chain under disruptions[J]. System Engineering Theory & Practice, 2005, 12(7): 9-16. (in Chinese)

[9] Clausen J, Hansen J, Larsen J. Disruption management[J]. OR/MS Today, 2001, 28(5): 40-43.

[10] Qi X T, Bard J, Yu G. Supply chain coordination with demand disruptions[J]. Omega, 2004, 32(4): 301-312.

[11] Xiao T J, Yu G, Sheng Z H, Xia Y S. Coordination of a supply chain with one-manufacturer and two-retailers under demand promotion and disruption management decisions[J]. Annals of Operations Research, 2005, 135(1): 87-109.

[12]Xu M H, Qi X T, Yu G, et al. Coordinating dyadic supply chains when production costs are disrupted[J]. IIE Transaction, 2006, 38(9): 765-775.

[13]Tiaojun Xiao, Xiangtong Qi. Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailers[J]. The International Journal of Management Science, 2008, 36(5): 741-753.

[14]Xiao T J, Qi X, Yu G. Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete[J]. International Journal of Production Economics, 2007, 109(1): 162-179.

[15]Kebing Chen, Tiaojun Xiao. Demand disruption and coordination of the supply chain with a dominant retailer[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 197(1): 225-234.

[16]Huang Chongchao, Yu Gang, Wang Song, et al. Disruption management for supply chain coordination with exponential demand function[J]. Acta Mathematica Scientia, 2006, 26B(4): 655-669.

[17]于 辉, 陈 剑, 于 刚. 回购契约下供应链对突发事件的协调应对[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 12(8): 38-43.
Yu Hui, Chen Jian, Yu Gang. Supply chain coordination under disruptions with buy back contract[J]. System Engineering Theory & Practice, 2005, 12(8): 38-43. (in Chinese)

[18]张菊亮, 陈 剑. 供应商管理库存应对突发事件[J]. 中国管理科学, 2008, 16(5): 71-76.
Zhang Ju-liang, Chen Jian. Vender manage inventory under disruption[J]. Chinese Journal of Management Science, 2008, 16(5): 71-76. (in Chinese)

[19]刘春林, 何健敏, 施建军. 供应链的协作供应问题研究[J]. 管理科学学报, 2002, 5(2): 29-33.
Liu Chun-lin, He Jian-min, Shi Jian-jun. Study of collaboration supply in supply chain[J]. Journal of Management Sciences in China, 2002, 5(2): 29-33. (in Chinese)

[20]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.
Sun Liang, Ma Yong-hong. Supply chain coordination in emergent events using a revenue-sharing contract[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2008, 35(3): 97-99. (in Chinese)

[21]冯花平, 吕廷杰. 基于需求偏差的供应链协调问题[J]. 控制与决策, 2008, 23(5): 487-491.
Feng Hua-ping, Lv Ting-jie. Problem of supply chain coordination based on demand disruption[J]. Control and Decision, 2008, 23(5): 487-491. (in Chinese)

[22]Weng Z. Channel coordination and quantity discounts[J]. Management Science, 1995, 41(9): 1509-1522.

Research on coordination mechanism of supply chains when demand and cost are disrupted

CAO Er-bao[1,2], *LAI Ming-yong*[1,2]

1. College of Economics and Trade, Hunan University, Changsha 410079, China;
2. Hunan Province Laboratory of Logistics Information and Simulation Technology, Changsha 410079, China

Abstract The coordination problem of a supply chain with one supplier and one retailer who is confronted with exponential demand was studied. It is proved that a revenue sharing contract can be used to coordinate the supply chain under normal environment. But the coordination may be broken off when demand and scale of retailers and production costs were disrupted simultaneously, and the optimal strategies about adjusting price and production quantity replied to the disruptions is proposed under the centralized decision-making. It is also proved that the improved revenue sharing contract can coordinate the decentralized decision-making supply chain when demands and costs are disrupted simultaneously. Finally, a numerical example is presented to illustrate the efficiency of the proposed model.

Key words revenue sharing; supply chain management; disruption management; coordination mechanism; game theory