第 26 卷 第 9 期
Vol. 26 No. 9

控 制 与 决 策
Control and Decision

2011 年 9 月
Sep. 2011

文章编号: 1001-0920 (2011) 09-1363-04

需求和价格时间敏感下供应链应对突发事件

高 波, 石书生, 韦诗韵

(重庆大学 经济与工商管理学院，重庆 400044)

摘 要: 在市场需求和价格同时对响应时间敏感的情况下, 研究收入共享契约如何协调供应链应对突发事件. 首先, 给出了常规情况下供应链协调模型; 然后, 在突发事件引起需求扰动因子分布函数变化的前提下, 详细讨论了突发事件对供应链的影响, 并给出了供应链最优应对策略; 最后, 对原有收入共享契约进行了改进, 并证明新契约能够协调供应链, 实现突发事件的最优应对.

关键词: 供应链；时间价格敏感型需求；突发事件管理；收入共享契约

中图分类号: F406.7 **文献标识码:** A

Supply chain disruptions management when both demand and price are response time sensitive

GAO Bo, *SHI Shu-sheng*, *WEI Shi-yun*

(School of Economy and Business Administration，Chongqing University，Chongqing 400044，China. Correspondent：GAO Bo，E-mail：gaobo@cqu.edu.cn)

Abstract: This paper researches the problem of optimal response to disruptions under revenue-sharing contract when both demand and price are response time sensitive. Firstly, the coordination model under normal conditions are given. Then, the influence of disruptions to the supply chain is discussed when demand perturbation factor distribution is fluctuated by disruptions, and the optimal react strategy is given. Finally, an adjusted revenue-sharing contract is proposed, and it is proved that the new contract can coordinate the supply chain and achieve optimal reaction.

Key words: supply chain；time- and price-sensitive demand；disruptions management；revenue-sharing contract

1 引 言

快速响应顾客需求, 缩短产品市场响应时间是近年来企业家们关注的一个热点问题. 同时, 优化响应时间, 最大化供应链期望收益, 并努力形成供应链整体竞争优势也是管理学者们研究和追求的目标[1-2]. 文献 [3] 指出供应链在追求缩短响应时间的同时, 必须平衡成本的增加, 才能实现收益的最优化. 即快速响应市场并不意味着响应时间无限制的缩短, 企业必须考虑到投入的增加, 才能达到收益优化的目的, 这为企业家们提供了重要的管理启示.

收入共享契约被广泛地应用于供应链的协调研究中, 是协调供应链最主要的契约形式之一. 它最早由 DANA 等人[4]成功地运用于影碟租赁行业, 后被广泛使用. 经过多年的研究发展已取得了丰硕的研究成果[5-6].

供应链应对突发事件的研究起步较晚, 目前尚属于比较新的研究领域. 突发事件的发生, 使供应链的方方面面都将受到严重影响. 如原材料供应的中断 (如禽流感造成餐饮行业对禽肉的短缺)、交通设施的不可用 (如 2008 年末的大雪灾导致南北交通大面积堵塞) 等等. 诸如此类突发事件, 很容易造成响应时间的延迟, 对企业而言如何实现突发事件的最优应对至关重要. 举例说明: 20 世纪 90 年代, 诺基亚和爱立信都依靠飞利浦公司为他们的移动电话提供芯片. 但是 2000 年 3 月, 一次意外的闪电引起了火灾使得飞利浦公司在几周内停止了芯片的供应. 由于两家公司采取了不同的响应策略, 导致了迥然不同的结果. 在这几周里爱立信公司只是选择了等待飞利浦公司恢复供应, 短时间内造成了市场响应的延迟. 而诺基亚公司则改进了芯片的设计, 努力寻求新的供应商, 实现了快速响应. 到 2001 年初诺基亚公司的全球移动电话市场份额增加了 3%, 而爱立信公司光移动电话部

收稿日期: 2010-06-13；**修回日期:** 2010-11-03.

基金项目: 重庆市自然科学基金项目(CSTC2006BB2187).

作者简介: 高波(1972−),男, 副教授, 博士, 从事供应链管理、决策支持系统等研究；石书生(1985−), 男, 硕士生, 从事供应链管理的研究.

门就亏损了 16.8 亿美元, 其手机在全球的市场占有率也下降了 3%[7].

既然突发事件管理对企业如此重要, 就应加强对它的研究, 尤其是当市场需求对时间敏感时更应如此. 文献 [8] 就批发价契约下供应链如何实现突发事件的最优应对作了详细的分析和讨论. [9] 探讨了在价格折扣契约下, 供应链对突发事件的协调应对方法. 本文借鉴 [8,9] 对供应链应对突发事件的经验, 研究在市场需求和价格同时响应时间敏感的情况下, 突发事件导致市场需求扰动因子分布发生变化, 供应链如何实现突发事件的最优应对.

2 基准的收入共享契约模型

本文讨论一个易逝品供应链, 它由一个供应商和一个零售商组成, 零售商面临时间价格敏感需求函数. 首先, 供应商和零售商联合对市场需求规模进行预测; 然后供应商确定出在批发价格为 w 的情况下零售商的订货量 Q, 并按此组织生产; 最后零售商根据自身成本结构和市场需求规模下达订单并确定零售价格 p. 如下假设:

1) 信息是完全的, 即供应商和零售商都知道自己与对方的成本结构、收益函数等等;

2) 供应商和零售商都能准确地预测市场需求扰动因子 ε 的分布函数;

3) 零售商的响应成本随响应时间单调递减, 即如果顾客要求缩短响应时间, 则零售商响应成本增加 (如在进行网络购物时, 若需要较短的响应时间, 则可以选择以快递的方式取代平邮, 当然成本也会随之增加).

设供应商单位生产成本为 c_s, 零售商定货量为 Q, 产品单位残值为 v, 零售商面临价格和响应时间同为敏感型需求. 假设市场需求函数为 $D(p,l,\varepsilon)=y(p,l)\varepsilon$, 其中 $y(p,l)=\theta-\alpha p-\beta l$, θ 为市场容量, α 为价格需求弹性, p 为市场零售价格, β 为时间需求弹性, l 为响应时间; ε 为随机变量, 其密度函数为 f, 分布函数为 F, F 是可微和严格增加的, 且 $F(0)=0$. 不失一般性, 假定 $E\varepsilon=1$, 并令 $\overline{F}=1-F$.

假设顾客愿意支付一个较高 (或者较低) 的价格以获得一个较短 (或者较长) 的等待时间, 即价格对响应时间敏感, 设 $p=p_0-el, p_0, l>0$, 则市场需求函数可重写为 $y(l)=a-kl$, 式中 $a=\theta-\alpha p_0$, $k=\beta-\alpha e$.

根据文献 [10] 假设零售商响应成本为 $c(l)=b_0-b_1 l$, $b_0, b_1>0$, 则 b_1 和 e 须满足 $b_1\geqslant e$, 即在顾客没有要求的情况下零售商不存在缩短响应时间的动机.

为了对模型进行优化分析, 引入库存因子[11] $z=Q/y(l)$. 借鉴文献 [6] 的经验, 有期望销量 $s(l,z)=\min\{D,Q\}=y(l)\min\{z,\varepsilon\}=y(l)\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x$; 期末期望库存 $I(l,z)=y(l)\Big[z-\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x\Big]$. 所以零售商期望收入为 $ps(l,z)+vI(l,z)$, 若假设零售商与供应商之间的收入分享比例为 ϕ, 则零售商期望收益可表示为

$$\begin{aligned}&\pi_r(l,z)=\\&\phi y(l)\Big\{(p_0-el)\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x+\\&v\Big[z-\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x\Big]\Big\}-y(l)z[w+c(l)];\end{aligned}\tag{1}$$

供应商的期望收益为

$$\begin{aligned}\pi_s(l,z)=(1-\phi)y(l)\Big\{(p_0-el)\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x+\\v\Big[z-\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x\Big]\Big\}+y(l)z[w-c_s];\end{aligned}\tag{2}$$

供应链期望收益为

$$\begin{aligned}\pi_c(l,z)=y(l)\Big\{(p_0-el)\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x+\\v\Big[z-\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x\Big]-[c_s+c(l)]z\Big\}.\end{aligned}\tag{3}$$

对于供应链期望收益函数 π_c, 因 $\partial^2\pi_c/\partial l^2=-k\Big[(b_1-e)z+e\int_0^zF(x)\mathrm{d}x\Big]<0$, 所以 π_c 是关于响应时间 l 严格凹的, 存在最优的响应时间 l^*, 且满足

$$l^*=\frac{a}{2k}-\frac{(p_0-v)\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x-(b_0+c_s-v)z}{2\Big[b_1z-e\int_0^z\overline{F}(x)\mathrm{d}x\Big]}.\tag{4}$$

同理, 因 $\partial^2\pi_c/\partial z^2=-y(l)f(x)(p_0-el-v)<0$, 所以 π_c 是关于库存因子 z 严格凹的, 存在最优的库存因子 z^*, 且满足

$$\overline{F}(z^*)=\frac{c_s+b_0-b_1l-v}{p_0-el-v}.\tag{5}$$

如果能够准确地预测 F 的分布函数, 联立式 (4) 和 (5) 即可求得 l^* 和 z^* 的解析解, 并最终解得最优零售价格 p^*, 最优订货量 Q^* 和系统最大收益 π_c^*.

如果零售商制定的收入共享契约形式为 $w=\phi c_s+(\phi-1)c(l)$, 将其带入式 (1) 有 $\pi_r(l,z)=\phi\pi_c(l,z)$. 即在收入共享契约下, 零售商收益函数是供应链系统收益函数的仿射函数, 则对零售商而言, 供应链系统最优响应策略 (l^*,z^*), 亦是零售商的最优响应策略 (l^*,z^*). 并且通过调整契约参数 ϕ, 可实现供应链收益的任意分配, 所以在该收入共享契约下供应链系统实现了协调.

3 突发事件对供应链的影响

在正常情况下, 供应链系统会按照原有生产、销售计划出售产品并获得相应收益. 但突发事件的发生, 使得扰动因子 ε 的分布函数由 F 变为 G, 则供应链系统原有的生产销售计划将被打乱, 供应链将产生新的额外成本.

设分布函数 G 是满足可微和严格增加的, 且 $G(0)=0$. 在新的分布函数下, 期望销量为 $S_G(l,z)=y(l)\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x$, 期末期望库存为 $I_G(l,z)=y(l)\Big[z-$

$\int_0^z \overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]$. 由于零售商是直接响应市场的, 当市场规模发生变化后, 零售商只需按新的市场规模下达订单, 制定零售价格, 所以零售商对突发事件的应对成本相对较低 (可忽略不计). 但对于供应商而言, 新的市场规模必定会打乱其原有的生产计划, 并招致额外运营成本. 此时零售商的期望收益为

$$\Pi_r(l,z)=\phi y(l)\Big\{(p_0-el)\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x+v\Big[z-\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]\Big\}-y(l)z[w+c(l)]; \tag{6}$$

供应商的期望收益为

$$\begin{aligned}&\Pi_s(l,z)=\\&(1-\phi)y(l)\Big\{(p_0-el)\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x+v\Big[z-\\&\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]-[c_s+c(l)]z\Big\}+y(l)z(w-c_s)-\\&\lambda_1(Q-Q^*)^+-\lambda_2(Q^*-Q)^+;\end{aligned} \tag{7}$$

供应链期望收益为

$$\begin{aligned}&\Pi_c(l,z)=\\&y(l)\Big\{(p_0-el)\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x-[c_s+c(l)]z+v\Big[z-\\&\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]\Big\}-\lambda_1(Q-Q^*)^+-\lambda_2(Q^*-Q)^+.\end{aligned} \tag{8}$$

其中: λ_1 表示零售商订货量超过 Q^* 导致的单位额外生产成本, λ_2 表示零售商订货量低于 Q^* 导致的单位额外处理成本, x^+ 表示 $\max\{0,x\}$.

定义 1 市场规模增大 (减小) 是指: 对 $\forall z\geqslant 0$, 有 $\overline{G}(z)\geqslant\overline{F}(z)$ ($\overline{G}(z)\leqslant\overline{F}(z)$) 成立.

突发事件的发生, 可能导致市场规模的减小或增大, 零售商的最优策略也将随之发生变化. 设 $(l^{**},z^{**})=\arg\max\limits_{l,z\geqslant 0}\Pi_c$, 即 (l^{**},z^{**}) 是突发事件后供应链的最优应对策略.

引理 1 如果突发事件造成了市场规模增大, 即 $\overline{G}(z)\geqslant\overline{F}(z)$, 则对于任意确定的响应时间 l, $z^{**}\geqslant z^*$, $z>0$; 反之, 如果突发事件造成市场规模减小, 即 $\overline{G}(z)\leqslant\overline{F}(z)$, 则对于任意确定的响应时间 l, $z^{**}\leqslant z^*$, $z>0$.

证明 采用反证法. 在市场规模增大, l 确定的情况下, 反设 $z^{**}<z^*$, 则 z^{**} 须满足条件 $z^{**}=\arg\max\limits_{z>0}\Pi_c^t$. 其中

$$\Pi_c^t(z)=y(l)\Big\{(p_0-el)\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x-[c_s+c(l)]z+v\Big[z-\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]\Big\}-\lambda_2(Q^*-Q). \tag{9}$$

因为 $\partial^2\Pi_c^t/\partial z^2=-y(l)(p_0-el-v)f(x)<0$, 所以存在最优的 z 使得 Π_c^t 最大, 且满足

$$\overline{G}(z^{**})=\frac{c_s+b_0-b_1l-v-\lambda_2}{p_0-el-v}. \tag{10}$$

因突发事件造成市场规模增大, 对于任意的 $z>0$, 有 $\overline{G}(z)\geqslant\overline{F}(z)$ 成立, 所以 $\overline{G}(z^*)\geqslant\overline{F}(z^*)$. 又因函数 $\overline{G}(z)$ 是关于 z 的严格减函数, 并且由假设 $z^{**}<z^*$, 有 $\overline{G}(z^{**})>\overline{G}(z^*)$, 所以 $\overline{G}(z^{**})>\overline{F}(z^*)$, 即

$$\frac{c_s+b_0-b_1l-v-\lambda_2}{p_0-el-v}>\frac{c_s+b_0-b_1l-v}{p_0-el-v}.$$

这是一个矛盾的结论, 所以 $z^{**}\geqslant z^*$. 同理可证明另一结论. □

引理 2 如果突发事件造成市场规模增大, 即 $\overline{G}(z)\geqslant\overline{F}(z)$, 则对于任意确定的库存因子 z, $l^{**}\leqslant l^*$; 反之, 如果突发事件造成市场规模减小, 即 $\overline{G}(z)\leqslant\overline{F}(z)$, 则对于任意确定的库存因子 z, $l^{**}\geqslant l^*$, $l>0$.

证明 同样采用反证法, 在市场规模增大, z 确定的情况下, 反设 $l^{**}>l^*$, 则 l^{**} 满足条件 $l^{**}=\arg\max\limits_{l>0}\Pi_c^t$, 又因为

$$\frac{\partial^2\Pi_c^t}{\partial l^2}=-k\Big[(b_1-e)z+e\int_0^z G(x)\mathrm{d}x\Big]<0,$$

所以由一阶最优化条件可知

$$l^{**}=\frac{a}{2k}-\frac{(p_0-v)\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x-(b_0+c_s-v)z+\lambda_2 z}{2\Big[b_1z-e\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]}. \tag{11}$$

比较式 (4) 和 (11), 易知 $l^{**}<l^*$. 又由假设 $l^{**}>l^*$, 显然这也是一个矛盾的结论, 所以 $l^{**}\leqslant l^*$. 类似可证明另一结论. □

4 突发事件协调应对

突发事件的发生, 造成扰动因子 ε 的分布发生改变, 导致供应链不得不增加新的成本以应对市场需求的变化, 使供应链最优响应策略发生了改变. 接下来将讨论如何应对突发事件的发生.

定理 1 当突发事件造成市场规模变化时, 供应链最优响应策略 (l^{**},z^{**}) 满足

$$(l^{**},z^{**})=\begin{cases}(l_1,z_1),\ Q>Q^*;\\(l^*,z^*),\ \text{other};\\(l_2,z_2),\ Q<Q^*.\end{cases}$$

其中 (l_1,z_1) 是联立方程组

$$\begin{cases}l_1=\dfrac{a}{2k}-\dfrac{(p_0-v)\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x-(b_0+c_s-v)z-\lambda_1 z}{2\Big[b_1z-e\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]},\\[2ex]\overline{G}(z_1)=\dfrac{c_s+b_0-b_1l-v+\lambda_1}{p_0-el-v}\end{cases}$$

求得的解; (l_2,z_2) 是联立方程组

$$\begin{cases}l_2=\dfrac{a}{2k}-\dfrac{(p_0-v)\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x-(b_0+c_s-v)z+\lambda_2 z}{2\Big[b_1z-e\int_0^z\overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]},\\[2ex]\overline{G}(z_2)=\dfrac{c_s+b_0-b_1l-v-\lambda_2}{p_0-el-v}\end{cases}$$

求得的解.

证明 当 $Q > Q^*$ 时, (l_1, z_1) 满足条件 $(l_1, z_1) = \arg\max\limits_{l,z>0} \Pi_c^d$, 其中

$$\Pi_c^d(l,z) = y(l)\Big\{(p_0 - el)\int_0^z \overline{G}(x)\mathrm{d}x - [c_s + c(l)]z + v\Big[z - \int_0^z \overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]\Big\} - \lambda_1(Q - Q^*). \quad (12)$$

由于 $\dfrac{\partial^2 \Pi_c^d}{\partial l^2} = -k\Big[(b_1 - e)z + e\int_0^z G(x)\mathrm{d}x\Big] < 0$, 存在最优的 l 使得收益函数 Π_c^d 最大, 且

$$l_1 = \frac{a}{2k} - \frac{(p_0 - v)\int_0^z \overline{G}(x)\mathrm{d}x - (b_0 + c_s - v)z - \lambda_1 z}{2\Big[b_1 z - e\int_0^z \overline{G}(x)\mathrm{d}x\Big]}. \quad (13)$$

同理, 由于 $\dfrac{\partial^2 \Pi_c^d}{\partial z^2} = -y(l)(p_0 - el - v)f(x) < 0$, 所以收益函数 Π_c^d 是关于 z 严格凹的, 并由一阶最优化条件得

$$\overline{G}(z_1) = \frac{c_s + b_0 - b_1 l - v + \lambda_1}{p_0 - el - v}. \quad (14)$$

联立式 (13) 和 (14), 可解得 l_1 和 z_1. 同理可得另外两个结论. □

定理 2 突发事件发生后, 在原有收入共享契约 $w = \phi c_s + (\phi - 1)c(l)$ 下, 供应链系统将不再协调.

证明 突发事件发生后, 在原有收入共享契约下, 零售商收益为

$$\Pi_r(l,z) = \phi\Pi_c(l,z) + \lambda_1(Q - Q^*)^+ + \lambda_2(Q^* - Q)^+.$$

所以, 零售商收益函数在原有收入共享契约下不再是供应链系统收益函数的仿射函数, 供应链此时不再协调. □

定理 3 通过调整契约参数, 可以使收入共享契约具备抗突发性, 仍然能够实现供应链协调. 抗突发性的收入共享契约为

$$w_{\text{new}} = \phi c_s + (\phi - 1)c(l) + \frac{\phi}{y(p)z}[\lambda_1(Q - Q^*)^+ + \lambda_2(Q^* - Q)^+]. \quad (15)$$

证明 将式 (15) 代入 (6), 易知在新的收入共享契约下有 $\Pi_r(l,z) = \phi\Pi_c(l,z)$ 成立, 所以零售商期望收益是供应链系统期望收益的仿射函数, 故供应链实现协调. □

5 结 论

本文针对市场需求时间和价格同时敏感且受随机因素干扰的情况下, 研究了供应链对突发事件的最优应对. 总结文中讨论要点可以得出如下结论:

当突发事件使得市场规模增大或减小时, 如果零售商维持库存因子不变, 则响应时间应相应缩短或延长 (引理 1); 如果零售商保持响应时间不变, 则库存因子会相应增大或减小 (引理 2).

由于对 l 和 z 的计算都是建立在对分布函数 F 和 G 的准确预测之上的, 要实现突发事件协调应对, 需要供应链各成员企业对扰动变量分布作出准确的预测, 如此一来将会增加供应链运营成本.

收入共享契约具有很强的鲁棒性, 通过调整契约参数始终能够实现供应链协调 (定理 3).

总之, 突发事件的发生使得市场需求规模发生了改变, 企业响应策略也会随之发生变化 (定理 1), 供应链企业应该提高对突发事件的认识, 实现突发事件最优应对.

参考文献(References)

[1] Heydari J, Reza B K, Chaharsooghi S K. A study of lead time variation impact on supply chain performance[J]. Int J Adv Manuf Technol, 2009, 40(11): 1206-1215.

[2] Liu L M, Parlar M, Zhu S X. Pricing and lead time decisions in decentralized supply chains[J]. Management Science, 2007, 53(5): 713-725.

[3] Ray S, Jewkes E M. Customer lead time management when both demand and price are lead time sensitive[J]. European J of Operational Research, 2004, 153(3): 769-781.

[4] Dana J, Spier K. Revenue sharing and vertical control in the video rental industry[J]. The J of Industrial Economics, 2001, 49(3): 223-245.

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

[6] 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 J H, Guo F L, Shi C D. On supply chain revenue-sharing contract design under price-sensitive demand[J]. Chinese J of Management, 2008, 16(3): 78-83.)

[7] 史正军. 爱立信, 为何失去三甲地位 [EB/OL]. (2005-08-17)[2005-08-17]. http://es oftbank.com.cn/wz/47_5222.html.
(Shi Z J. Ericsson, why lose the top three position [EB/OL]. (2005-8-17)[2005-8-17]. http://es oftbank.com.cn/wz/47_5222.html.)

[8] 于辉, 陈剑, 于刚. 批发价契约下的供应链应对突发事件[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(8): 33-41.
(Yu H, Chen J, Yu G. Managing wholesale price contract in the supply chain under disruptions[J]. Systems Engineering Theory & Applications, 2006, 26(8): 33-41.)

(下转第1372页)