第 31 卷 第 12 期
Vol. 31 No. 12

控 制 与 决 策
Control and Decision

2016 年 12 月
Dec. 2016

文章编号: 1001-0920 (2016) 12-2200-11 **DOI:** 10.13195/j.kzyjc.2015.1249

需求和价格同时波动零售商损失厌恶的应急数量弹性契约

刘 浪[1,2], 史文强[3], 石 岩[3]

(1. 华东交通大学 经济管理学院，南昌 330013；2. 航空经济发展河南省协同创新中心，郑州 450046；3. 南昌航空大学 经济管理学院，南昌 330063)

摘 要: 针对零售商为损失厌恶者的二级供应链, 考虑突发事件导致商品市场需求和市场价格均随机波动, 分别构建应急数量弹性契约的集中和分散决策模型, 得出突发事件下供应链系统实现协调的最优决策, 并探讨契约弹性幅度、批发价和损失厌恶程度的变化对于零售商最优订货策略和供应链上各成员利润的影响. 研究结果表明, 在合理的区间范围内调整契约弹性幅度和批发价均能使得突发事件下的供应链协调发展. 最后通过算例验证了所得结论的正确性.

关键词: 需求随机；价格随机；损失厌恶；应急数量弹性契约；供应链优化

中图分类号: F406.7 **文献标志码:** A

Emergency quantity flexibility contract under random demand and price considering the retailer is loss-averse

LIU Lang[1,2], *SHI Wen-qiang*[3], *SHI Yan*[3]

(1. School of Economic and Management，East China Jiaotong University，Nanchang 330013，China；2. Collaborative Innovation Center For Aviation Economy Development of He’nan Province，Zhengzhou 450046，China；3. School of Economy and Management，Nanchang Hangkong University，Nanchang 330063，China. Correspondent：SHI Wen-qiang，E-mail：smilewenqiang@126.com)

Abstract: This paper considers a two-stage supply chain with the loss-adverse retailer, among which the demand and market price fluctuate randomly with emergencies. Then the models of centralized and decentralized systems are constructed under the emergency quantity flexibility contract, and the equilibrium solutions of supply chain under emergencies are obtained. Also, the influence of flexibility range, wholesale price and loss aversion extent on retailers’ optimal ordering decision and supply chain members’ profits is discussed . The results show that the supply chain can be coordinated if the flexibility range and the wholesale price are adjusted within the reasonable section. Finally, the numerical examples verifies the correctness of the conclusion.

Keywords: random market demand；random price；loss-averse；emergency quantity flexibility contract；optimization of supply chain

0 引 言

供应链管理的市场环境存在许多不确定性因素, 如市场需求不稳定、供应商供货不及时以及供应链上信息不对称等, 这些不确定性因素给供应链上的企业正常运行带来了一定的风险, 会给供应链上各级企业带来难以估量的损失. 因此, 面对各种难以预测的风险, 供应链的决策者往往会为了规避损失而采取不同的措施. 以往有关供应链管理的研究多假设供应链上成员的风险态度为风险中性, 但越来越多的学者发现风险中性假设存在许多局限性, 进而开始研究供应链上成员在损失厌恶下的决策问题. 如 Kahneman 等[1]率先将前景理论中的损失厌恶模型应用于供应链管理中. Schweitzer 等[2]发现损失厌恶报童模型下的供应链订货量严格小于风险中性报童模型下的订货量. Wang 等[3]则在报童模型中加入缺货损失, 发现风险中性时报童的订货量将优于损失厌恶的情况. 其后, Wang[4]进一步研究了两个损失厌恶的零售商和单个风险中性的供应商所组成供应链的博弈问题. Shi

收稿日期: 2015-10-12；**修回日期:** 2016-01-18.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71562013, 71162024)；江西省教育厅科技项目 (GJJ14354).

作者简介: 刘浪 (1973−), 男, 教授, 从事应急供应链管理、应急物流等研究；史文强 (1991−), 男, 硕士生, 从事应急供应链管理的研究.

等[5]对比分析了回购契约与价格折扣契约下零售商损失厌恶的二级供应链协调问题. 刘珩等[6-7]分别以零售商为损失厌恶者、零售商和供应商皆为损失厌恶为背景, 运用价格补贴契约研究了供应链协调问题. 林志炳等[8]研究了收益共享契约下零售商和供应商皆为损失厌恶者的供应链协调问题. 刘咏梅等[9]研究了零售商为损失厌恶者的二级数量弹性契约供应链实现协调的最优条件. 李绩才等[10]考虑供应链由多个损失厌恶型的零售商组成, 构建了二级收益共享契约供应链协调模型, 探索了零售商数量及风险厌恶程度对供应链决策的影响. Deng 等[11]证明了当零售商损失厌恶程度为非对称信息时, 恰当调整之后的损益共享契约能够实现供应链的协调. Shen 等[12]研究了市场需求、现货价格的不确定性和损失厌恶程度对制造商订货决策的影响. Liu 等[13]研究了两个损失厌恶的零售商销售两种可替代产品下的博弈情况, 探索了损失厌恶程度及产品替代率对零售商最优订单的影响. 胡劲松等[14]考虑零售商具有损失规避的特征, 构建了模糊需求条件下的供应链网络均衡模型, 并探讨了需求模糊性及损失规避系数对于网络成员最优行为的影响. 张桂涛等[15]在决策时间离散化为多个规划期的前提下, 考虑零售商为损失规避者, 分析了随机需求条件下的多周期、多产品供应链网络均衡, 并分析了损失厌恶程度对网络均衡最优决策的影响.

上述学者都是以无突发事件为前提假设进行的研究, 但是由于市场环境的不稳定性及供应链的复杂性, 恐怖袭击、突发疫情、金融危机和自然灾害等突发事件的发生将会给供应链带来更大的冲击, 严重影响整个供应链的正常运行. 已有许多学者在供应链参与者为风险中性的前提下研究了突发事件下的供应链协调问题, 如文献 [16-22]. 其中, 文献 [20] 考虑市场需求随机变化且依赖价格, 证明了运用基于数量折扣契约下的收益共享契约和改进的收益共享契约皆能实现突发事件下三级供应链的协调. 文献 [21-22] 针对突发事件造成市场需求和市场价格同时波动的特征, 分别以二级和三级供应链为研究对象, 探索了运用回购契约实现供应链协调的内在约束条件.

从现有的成果可以看出, 国内外学者在研究损失厌恶的供应链时, 大多是以市场需求随机和市场价格稳定的无突发事件为研究背景. 虽然已有学者针对突发事件造成的市场需求和市场价格同时波动进行供应链协调的研究, 但却是以供应链参与者风险中性为前提, 而关于市场需求和价格同时波动、零售商为损失厌恶的应急供应链协调研究还尚未有学者涉及.

本文在前人的基础上以由损失厌恶的单零售商和风险中性的单供应商组成的供应链为研究对象, 假设突发事件造成市场需求和市场价格同时随机波动, 探讨运用数量弹性契约能否实现二级供应链的协调, 并研究在不同突发事件下, 批发价、弹性幅度及损失厌恶程度对于供应链最优决策的影响.

1　模型参数假设

数量弹性契约的主要优点是, 允许零售商在一定的比例范围内根据市场预测的变化调整实际的采购量, 确保零售商可以更加准确地采购. 其运作方式如下: 突发事件暴发后, 零售商对变化后的市场需求函数 $H(x)$ 进行推断, 得出一个初始的订货量 q 报给供应商, 但是由于零售商技术的进步或者市场需求的波动, 零售商可能会对市场需求产生新的预测, 并对原始的订货量进行修正; 供应商则根据零售商初次报出的 q, 制定数量弹性契约. 契约中规定零售商可以在比例范围 $[1-\beta, 1+\alpha]$ 内重新提出新的订货量, 且供应商保证供货量

$$Q = (1+\alpha)q.$$

其中: α 和 $\beta\,(0\leqslant\alpha\leqslant 1\,, 0\leqslant\beta\leqslant 1\,)$ 分别为契约中的弹性系数, $\theta=(1+\alpha)/(1-\beta)\geqslant 1$, θ 表示契约的弹性幅度.

在无突发事件时, 零售商所面临的市场需求变量 X 满足连续非负的性质, 且市场需求的概率分布函数和概率密度函数分别为 $F(x)$ 和 $f(x)$, 市场需求的均值为

$$\mu = \int_0^{+\infty} x f(x)\mathrm{d}x.$$

其中: 分布函数的逆函数满足等式 $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$, 且当市场需求大于零时, $F(x) > 0$ 且连续; 当市场需求小于等于零时, $F(x) > 0$. 零售商预测市场需求后, 向供应商订货 Q, 供应商按单位批发价 w 向零售商销售产品, 且供应商的生产成本为 c_s, 零售商则以零售价格 p_0 向顾客售货, 销售期末若产品还有剩余, 则供销双方按 v 计提残值; 若期末产品无法满足市场需求, 则供销双方分别按每单位 g_s、g_r 计算缺货损失.

若暴发突发事件, 则市场需求分布函数、密度函数由原本的 $F(x)$、$f(x)$ 变为 $H(x)$、$h(x)$, 但基本性质维持不变, $H(x)$ 的逆函数表达式仍为 $\bar{H}(x) = 1 - H(x)$, 且市场需求小于零时, $H(x) = 0$; 市场需求大于零时, 市场需求分布函数满足 $H(x) > 0$, 均值为

$$\mu_H = \int_0^{+\infty} x h(x)\mathrm{d}x.$$

市场价格波动后的函数表达式规律满足[21-22]

$$\mathrm{d}p = [a(\,x-(1+\alpha)q) + p_0]\mathrm{d}x,$$

其中 a 为市场规模系数. 突发事件暴发后, 由于市场需求规模及市场价格的波动, 原本制定的订货及定价策略将被打破. 当原本的最优订货量无法满足市

场需求时, 供应商为了进一步赚取利润将增加生产, 每生产一单位产品将付出 η_1 的成本; 而当初始生产的产品量大于市场所需时, 供应商为了减少过量损失, 将多余的产品在二级市场进行处理, 每单位处理成本为 η_2. 根据理性假设, 供销双方的参数应当满足 $c_s < w < p_0, g < c_s, v < c_s$, 并用符号 Π 表示各节点企业的利润, π 表示期望利润, U 表示期望效用, W 表示期望损失,下标 r、s、sc 分别代表零售商、供应商和供应链系统, 上标 $*$ 表示取得最优的量, 下标 H 表示突发事件情形, $\bar{q}$ 表示盈亏平衡点, $\hat{q}$ 表示损失厌恶点, 损失厌恶点系数为 γ.

模型的前提假设如下:

1) 供应商和零售商皆为完全理性的人, 以自身的效用最大化为决策的准则.

2) 供应商和零售商之间共享信息, 即双方不隐藏私有信息.

3) 供应链中零售商为损失厌恶者, 而供应商却是风险中性者, 参照文献 [2] 中的分段损失厌恶函数对零售商的损失厌恶程度进行描述, 并对其进行改进.

零售商的期望效用函数表达形式如下:

$$U(\pi_r) = \begin{cases} \pi_r,\ \pi_r > \pi_r^{\min}; \\ \eta\pi_r,\ \pi_r \leqslant \pi_r^{\min}. \end{cases}$$

其中: $U(\pi_r)$ 表示零售商的期望效用, π_r 表示零售商实际获得的期望利润. 假设当所获得的期望利润小于临界值 $\pi_r^{\min}$ 时, 零售商将产生一个损失厌恶程度 η. η 为大于等于 1 的实数时, η 越大, 意味着零售商对于损失的厌恶程度越高; 当 $\eta = 1$ 时, 表示零售商风险中性, 目标利润 $\pi_r^{\min}$ 是损失厌恶者心理的止损位, 当真实利润低于这个值时, 参与者的风险态度由中性转为厌恶.

2 突发事件下供应链的集中决策模型分析

首先求解出在无突发事件下的供应链的订货决策. 在无突发事件下, 市场需求稳定, 供应链系统采取集中化决策时, 供销双方在系统中均被视为风险中性. 由于集中决策下, 只考虑供应链整体决策, 无需考虑契约类型, 供应商的生产量 Q 与零售商的订货量 q 相等, 在本部分订货量由 Q 表示. 此时供应链系统的利润可表达为

$$\Pi_{sc} = \begin{cases} p_0x + v(Q-x) - c_sQ,\ x < Q; \\ p_0Q - c_sQ - g(x-Q),\ x \geqslant Q. \end{cases} \tag{1}$$

供应链集中决策下的期望利润可表示为

$$\pi_{sc} = \int_0^Q [p_0x + v(Q-x)]f(x)\mathrm{d}x + \int_Q^\infty [p_0Q - g(x-Q)]f(x)\mathrm{d}x - c_sQ. \tag{2}$$

根据供应链利润最大化的一阶最优条件, 令式 (1) 关于 Q 的一阶导数为零, 即可得到无突发事件下的供应链最优订货决策

$$Q^* = \bar{F}^{-1}\Big(\frac{c_s - v}{p_0 - v + g}\Big).$$

而突发事件一旦暴发, 将造成市场需求及市场价格同时波动, 而此时需求的分布函数及密度函数将变为 $H(x)$ 和 $h(x)$, 市场价格的函数变化为

$$\mathrm{d}p = [a(x-Q) + p_0]\mathrm{d}x.$$

无论市场需求的规模是增大还是减小, 供应商需要对初始的产量 Q^* 进行调整以满足市场的需求. 故突发事件下集中决策的系统利润函数可表示为

$$\Pi_{scH} = \begin{cases} [p_0 + a(x-Q)]x + v(Q-x) - c_sQ - \\ \eta_1(Q-Q^*) - \eta_2(Q^*-Q),\ x < Q; \\ [p_0 + a(x-Q)]Q - c_sQ - g(x-Q) - \\ \eta_1(Q-Q^*) - \eta_2(Q^*-Q),\ x \geqslant Q. \end{cases} \tag{3}$$

由此可见, 供应链系统的利润主要分为市场需求低于订货量、市场需求大于订货量两种情况. 突发事件下集中决策的供应链系统期望利润表达式可表示为

$$\begin{aligned} &\pi_{scH} = \\ &\int_0^Q \{[p_0 + a(x-Q)]x + v(Q-x)\}f(x)\mathrm{d}x + \\ &\int_Q^\infty \{[p_0 + a(x-Q)]Q + g(x-Q)\}f(x)\mathrm{d}x - \\ &c_sQ - \eta_1(Q-Q^*)^+ - \eta_2(Q^*-Q)^+ = \\ &(p_0 + g + v)\int_0^Q \bar{H}(x)\mathrm{d}x - c_sQ + vQ - \\ &\eta_1(Q-Q^*)^+ - \eta_2(Q^*-Q)^+ + \\ &\int_0^Q ax^2h(x)\,\mathrm{d}x - \int_0^Q aQxh(x)\,\mathrm{d}x + \\ &\int_Q^\infty aQxh(x)\mathrm{d}x - \int_Q^\infty aQ^2h(x)\mathrm{d}x. \end{aligned} \tag{4}$$

对式 (4) 分别求 Q 的一阶、二阶偏导数, 可得

$$\begin{aligned} &\frac{\partial\pi_{scH}}{\partial Q} = \\ &(p_0 + g - v)(1 - H(Q)) - c_s + v - \eta_1 + \\ &\eta_2 + a\mu_h - 2aQ + 2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x, \end{aligned} \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2\pi_{scH}}{\partial Q^2} = -(p_0 + g - v)h(Q) - 2a\bar{H}(Q) < 0. \tag{6}$$

由式 (6) 的二阶导数小于零可知, 供应链系统的期望利润 π_{scH} 是关于 Q 的凹函数, 故存在唯一的最优订货量 Q_H^* 使得供应链系统的期望利润达到最优, 此时的系统最优订货量与系统最优供货量相等, 且 Q_H^* 为下式的解:

$$(p_0 + g - v)(1 - H(Q)) - c_s + v - \eta_1 +$$

$$\eta_2 + a\mu_h - 2aQ + 2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x = 0. \tag{7}$$

此时, 市场需求增大和减小两种情况下的最优订货量 Q_{H1}^*、Q_{H2}^* 可由下列两个式子分别求出:

$$(p_0 + g - v)(1 - H(Q)) - c_s + v - \eta_1 + a\mu_h - 2aQ + 2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x = 0, \tag{8}$$

$$(p_0 + g - v)(1 - H(Q)) - c_s + v + \eta_2 + a\mu_h - 2aQ + 2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x = 0. \tag{9}$$

由于式 (8) 和 (9) 都是越超方程, 无法将最优订货量用具体式子表达出来, 只能在具体的算例中求出.

3 突发事件下供应链数量弹性契约分散决策模型分析

假设突发事件暴发后供销双方都以自身效用最大化为目标进行分散决策, 且供应链上的企业采取数量弹性契约进行运作, 可求得突发事件下采用数量弹性契约的零售商利润表达结构

$$\Pi_{rH} = \begin{cases} [p_0 + a(x - (1+\alpha)q)]x - \\ w(1-\beta)q + v[(1-\beta)q - x], \\ \qquad 0 < x \leqslant (1-\beta)q; \\ [p_0 + a(x - (1+\alpha)q)]x - wx, \\ \qquad (1-\beta)q < x < (1+\alpha)q; \\ [p_0 + a(x - (1+\alpha)q)](1+\alpha)q - \\ w(1+\alpha)q - g_r[x - (1+\alpha)q], \\ \qquad x \geqslant (1+\alpha)q. \end{cases} \tag{10}$$

由式 (10) 可知, 在数量弹性契约的影响下, 零售商的订货情况有 3 个阶段, 分别为市场需求小于零售商最低订货量、市场需求介于零售商最低订货量与供应商生产量之间、市场需求大于供应商生产量. 仅有在第 1 阶段, 市场需求小于零售商的最低订货量, 零售商可能由于过量的订货造成损失. 令式 (10) 第 1 个阶段的结果等于零, 即

$$[p_0 + a(x - (1+\alpha)q)]x - w(1-\beta)q + v[(1-\beta)q - x] = 0, \tag{11}$$

可求得零售商出现损失的需求盈亏平衡点的表达式为

$$\bar{q} = [-p_0 + a(1+\alpha)q + v + ((p_0 - a(1+\alpha)q - v)^2 + 4a(w - v)(1-\beta)q)^{1/2}]/2a. \tag{12}$$

在供应链的运作中, 供应链上成员企业每个企业都有一个心理的止损位, 并不是一出现损失就立即产生损失厌恶行为, 而是当期望收益低于这个心理止损位时, 损失厌恶行为才发生作用.

假设存在损失厌恶点 $\hat{q} = (1+\alpha)q/\gamma$, 当市场需求低于 $\hat{q}$ 时才会出现损失厌恶, 此时相对应的零售商的期望利润为 $\pi_{rH}^{\min}$. 因为零售商的损失出现在 $[0, (1-\beta)q]$ 范围内, 且损失厌恶点的系数 γ 满足

$$\frac{(1+\alpha)q}{\gamma} < \frac{-p_0 + a(1+\alpha)q + v}{2a} + \frac{\sqrt{(p_0 - a(1+\alpha)q - v)^2 + 4a(w - v)\frac{(1+\alpha)q}{\theta}}}{2a},$$

且 $\dfrac{1}{\gamma} < \dfrac{1-\beta}{1+\alpha}$, 此时可得零售商期望销售量为

$$S_H^b(q) = \int_0^{(1+\alpha)q} xh(x)\mathrm{d}x + \int_{(1+\alpha)q}^{\infty} (1+\alpha)qh(x)\mathrm{d}x = (1+\alpha)q - \int_0^{(1+\alpha)q} H(x)\mathrm{d}x = \int_0^{(1+\alpha)q} \bar{H}(x)\mathrm{d}x. \tag{13}$$

零售商从供应商处进货的期望购买量为

$$N_H^b(q) = \int_0^{(1-\beta)q} (1-\beta)qh(x)\mathrm{d}x + \int_{(1-\beta)q}^{(1+\alpha)q} xh(x)\mathrm{d}x + \int_{(1+\alpha)q}^{\infty} (1+\alpha)qh(x)\mathrm{d}x = S_H^b(q) + \int_0^{q(1-\beta)} H(x)\mathrm{d}x. \tag{14}$$

供应商在第 1 阶段和第 2 阶段均存在过量生产现象, 故供应商的期望余货量为

$$Z_H^b = \int_{(1-\beta)q}^{(1+\alpha)q} [(1+\alpha)q - x]h(x)\mathrm{d}x + \int_0^{(1-\beta)q} [(1+\alpha)q - (1-\beta)q]h(x)\mathrm{d}x = \int_{(1-\beta)q}^{(1+\alpha)q} H(x)\mathrm{d}x. \tag{15}$$

零售商仅在第 1 阶段会出现订货过量的现象, 故零售商的期望余货量为

$$I_H^b(q) = \int_0^{(1-\beta)q} [(1-\beta)q - x]h(x)\mathrm{d}x = \int_0^{(1-\beta)q} H(x)\mathrm{d}x. \tag{16}$$

供应链仅在第 3 阶段才会出现缺货, 故供应链的期望缺货量为

$$L_H^b(q) = \int_0^{(1+\alpha)q} xh(x)\mathrm{d}x = \mu_H - S_H^b(q). \tag{17}$$

此时可求得零售商的期望利润为

$$\pi_{rH} = \int_0^{(1-\beta)q} \{[p_0 + a(x - (1+\alpha)q)]x - w(1-\beta)q + v[(1-\beta)q - x]\}h(x)\mathrm{d}x +$$

$$\int_{(1-\beta)q}^{(1+\alpha)q}\{[p_0+a(x-(1+\alpha)q)]x-wx\}h(x)\mathrm{d}x+ \int_{(1+\alpha)q}^{\infty}\{[p_0+a(x-(1+\alpha)q)](1+\alpha)q- w(1+\alpha)q-g_r[x-(1+\alpha)q]\}h(x)\mathrm{d}x. \tag{18}$$

当市场需求低于盈亏平衡点$\bar{q}$时, 零售商会产生损失, 仅市场需求低于损失厌恶点$\hat{q}$时, 零售商才会出现损失厌恶, 在此将市场需求低于$\hat{q}$的这一部分期望效用称为零售商期望损失, 即

$$W_{rH}= \int_0^{\hat{q}}\{[p_0+a(x-(1+\alpha)q)]x- w(1-\beta)q+v[(1-\beta)q-x]\}h(x)\mathrm{d}x. \tag{19}$$

根据前提假设可知数量弹性契约下的零售商的期望效用函数为

$$U(\pi_{rH})=\pi_{rH}+(\eta-1)W_{rH}. \tag{20}$$

由于供应商为风险中性, 无需考虑供应商的期望损失, 仅需直接计算供应商的期望利润

$$\begin{aligned}&\pi_{sH}=\\&\int_0^{(1-\beta)q}[w(1-\beta)q+\\&v(1+\alpha-1+\beta)q]h(x)\mathrm{d}x-c_s(1+\alpha)q+\\&\int_{(1-\beta)q}^{(1+\alpha)q}\{wx+v[(1+\alpha)q-x]\}h(x)\mathrm{d}x+\\&\int_{(1+\alpha)q}^{\infty}\{[w(1+\alpha)q]-g_s[x-(1+\alpha)q]\}h(x)\mathrm{d}x-\\&\eta_1(N_H^b(q)-(1+\alpha)q^*)^+-\\&\eta_2((1+\alpha)q^*-N_H^b(q))^+=\\&wN_H^b(q)+vZ_H^b(q)-c_s(1+\alpha)q-\\&g_sL_H^b(q)-\eta_1(N_H^b(q)-(1+\alpha)q^*)^+-\\&\eta_2((1+\alpha)q^*-N_H^b(q))^+=\\&(w-c_s-\eta_1+\eta_2)(1+\alpha)q-\\&(w-v-\eta_1+\eta_2)\int_{(1-\beta)q}^{(1+\alpha)q}H(x)\mathrm{d}x+\\&g_s\int_0^{(1+\alpha)q}\bar{H}(x)\mathrm{d}x-g_s\mu_H+(\eta_1-\eta_2)Q^*.\end{aligned} \tag{21}$$

采用数量弹性契约的供应链的订货量q与生产量Q不相等, 一旦零售商选择接受数量弹性契约, 则零售商的初始订货量将直接决定供应商的生产量, 且生产量满足关系式$Q=(1+\alpha)q$, 数量弹性契约的弹性幅度满足$\theta=(1+\alpha)/(1-\beta)$, 此处$Q$既为供应商的供货量, 又为零售商决策下的实际取货量, 且与初始订货量q成一定的比例关系, 零售商最低的订货量形式可表示为

$$(1-\beta)q=\frac{Q}{\theta}.$$

此时零售商的盈亏平衡点可表示为

$$\bar{q}=\frac{-p_0+aQ+v}{2a}+\frac{\sqrt{(p_0-aQ-v)^2+4a(w-v)\dfrac{Q}{\theta}}}{2a}. \tag{22}$$

损失厌恶点为$\hat{q}=Q/\gamma$时所对应的零售商期望利润由$\pi_{rH}^{\min}$表示. 其中$1/\gamma<1/\theta$且$Q/\gamma<(-p_0+aQ+v+\sqrt{(p_0-aQ-v)^2+4a(w-v)Q/\theta})/2a$, 仅当市场需求$\hat{q}\leqslant Q/\gamma$时零售商才出现损失厌恶.

损失厌恶的零售商的期望利润、期望损失和期望效用分别可转换为

$$\begin{aligned}&\pi_{rH}=\\&\int_0^{Q/\theta}\Big\{[p_0+a(x-Q)]x-w\frac{Q}{\theta}+\\&v\Big[\frac{Q}{\theta}-x\Big]\Big\}h(x)\mathrm{d}x+\int_{Q/\theta}^{Q}\{[p_0+a(x-Q)]x-\\&wx\}h(x)\mathrm{d}x+\int_Q^{\infty}\{[p_0+a(x-Q)]Q-\\&wQ-g_r(x-Q)\}h(x)\mathrm{d}x=\\&(p_0-w+g_r)\int_0^Q\bar{H}(x)\mathrm{d}x-\\&(w-v)\int_0^{Q/\theta}H(x)\mathrm{d}x-g_r\mu_H+\\&\int_0^Q ax^2h(x)\mathrm{d}x-\int_0^Q aQxh(x)\mathrm{d}x+\\&\int_Q^{\infty}aQxh(x)\mathrm{d}x-\int_Q^{\infty}aQ^2h(x)\mathrm{d}x,\end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}&W_{rH}=\\&\int_0^{\hat{q}}\Big[(p_0-v+ax-aQ)x-(w-v)\frac{Q}{\theta}\Big]h(x)\mathrm{d}x,\end{aligned} \tag{24}$$

$$\begin{aligned}&U(\pi_{rH})=\\&(p_0-w+g_r)\int_0^Q\bar{H}(x)\mathrm{d}x-\\&(w-v)\int_0^{Q/\theta}H(x)\mathrm{d}x+\int_0^Q ax^2h(x)\mathrm{d}x-\\&\int_0^Q aQxh(x)\mathrm{d}x+\int_Q^{\infty}aQxh(x)\mathrm{d}x-\\&\int_Q^{\infty}aQ^2h(x)\mathrm{d}x-g_r\mu_H+\\&(\eta-1)\int_0^{\hat{q}}\Big[(p_0-v+ax-aQ)x-\\&(w-v)\frac{Q}{\theta}\Big]h(x)\mathrm{d}x=\\&(p_0-w+g_r)\int_0^Q\bar{H}(x)\mathrm{d}x-\\&(w-v)\int_0^{Q/\theta}H(x)\mathrm{d}x-g_r\mu_H+\\&\int_0^Q ax^2h(x)\mathrm{d}x-\int_0^Q aQxh(x)\mathrm{d}x+\\&\int_Q^{\infty}aQxh(x)\mathrm{d}x-\int_Q^{\infty}aQ^2h(x)\mathrm{d}x+\\&(\eta-1)\Big[(p_0-v+a\hat{q}-aQ)\hat{q}H(\hat{q})-\\&(w-v)\frac{Q}{\theta}H(\hat{q})-a\int_0^{\hat{q}}2xH(x)\mathrm{d}x-\\&\int_0^{\hat{q}}(p_0-v-aQ)H(x)\mathrm{d}x\Big].\end{aligned} \tag{25}$$

供应商的期望利润可转换为

$$\pi_{sH}=\\(w-c_s-\eta_1+\eta_2)Q-\\(w-v-\eta_1+\eta_2)\int_{Q/\theta}^{Q}H(x)\mathrm{d}x+\\g_s\Big(\int_0^Q\bar{H}(x)\mathrm{d}x-\mu_H\Big)+(\eta_1-\eta_2)Q^*.\tag{26}$$

对式 (25) 求 Q 的导数, 判断零售商决策时是否存在唯一的最优实际取货量使得自身效用最大, 即

$$\frac{\partial U(\pi_{rH})}{\partial Q}=\\(p_0-w+g_r)\bar{H}(Q)-\frac{w-v}{\theta}H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+\\a\mu_H-2aQ+2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x+(\eta-1)\cdot\\\Big[-\frac{1}{\gamma}aQH(\hat{q})+\frac{1}{\gamma}(p_0\hat{q}-v\hat{q}+a\hat{q}^2-aQ\hat{q})h(\hat{q})-\\\frac{w-v}{\theta}\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big)+a\int_0^{\hat{q}}H(x)\mathrm{d}x\Big].\tag{27}$$

并且求式 (25) 关于 Q 的二阶偏导数

$$\frac{\partial^2 U(\pi_{r_H})}{\partial Q^2}=\\-(p_0-w+g_r)h(Q)-2a\bar{H}(x)-\\\frac{w-v}{\theta^2}h\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+(\eta-1)\Big[\frac{1}{\gamma^2}(p_0-v+\\2a\hat{q}-3aQ)h(\hat{q})-2\frac{(w-v)}{\theta}\frac{h(\hat{q})}{\gamma}\Big].\tag{28}$$

由此可知, 当式 (28) 的中括号内的数小于零时, 式 (28) 小于零, 零售商的期望效用为 Q 的凹函数, 故存在唯一的最优实际取货量, 使得零售商期望效用最大化.

根据一阶最优条件, 即令式 (27) 等于零, 可求得零售商最优实际取货量, 即 Q_H^{**} 为下式的解:

$$(p_0-w+g_r)\bar{H}(Q)-\frac{w-v}{\theta}H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+a\mu_H-\\2aQ+2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x+(\eta-1)\Big[-\frac{1}{\gamma}aQH(\hat{q})-\\\frac{w-v}{\theta}\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big)+a\int_0^{\hat{q}}H(x)\mathrm{d}x+\\\frac{1}{\gamma}(p_0\hat{q}-v\hat{q}+a\hat{q}^2-aQ\hat{q})h(\hat{q})\Big]=0.\tag{29}$$

由于式 (29) 是超越方程, 无法得出 Q_H^{**} 的解析值, 只有当等式中的参数赋值之后才能算出具体的 Q_H^{**} 值. 为方便计算及表达, 令 $K(Q^{**},\eta)=\partial U(\pi_{r_H})/\partial Q$ 表示最优实际取货量的函数, 即零售商期望效用对于实际取货量的一阶导数式 (27). 其中当集中决策下的系统最优供货量与分散决策下的零售商最优实际取货量相等时, 即 $Q_H^{*}=Q_H^{**}$ 时, 供应链能够实现协调.

命题 1　当突发事件暴发时, 无论市场需求规模增大还是减小, 分散决策下零售商决策的最优实际取货量将随批发价单调递减, 而零售商的期望效用函数也将呈现同样的趋势变化.

证明　首先, 对式 (29) 求 w 的一阶导数, 可得

$$\frac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial w}=\\-\bar{H}(Q)-\frac{1}{\theta}H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)-(\eta-1)\frac{1}{\theta}\Big(\frac{1}{\gamma}Qh(\hat{q})+H(\hat{q})\Big)<0.\tag{30}$$

再将式 (28) 和 (30) 代入关系式

$$\frac{\partial Q}{\partial w}=-\frac{\dfrac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial w}}{\dfrac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial Q}},$$

即可得到

$$\frac{\partial Q}{\partial w}<0.\tag{31}$$

其次, 对式 (25) 求关于 w 的一阶导数, 可得

$$\frac{\partial U(\pi_{rH})}{\partial w}=\\\Big[(p_0-w+g_r)\bar{H}(Q)-\frac{w-v}{\theta}H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+\\a\mu_h-2aQ+2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x\Big]\frac{\partial Q}{\partial w}+\\(\eta-1)\Big[-\frac{1}{\gamma}aQH(\hat{q})+\\\frac{1}{\gamma}(p_0\hat{q}-v\hat{q}+a\hat{q}^2-aQ\hat{q})h(\hat{q})+\\a\int_0^{\hat{q}}H(x)\mathrm{d}x-\frac{w-v}{\theta}\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big)\Big]\frac{\partial Q}{\partial w}-\\\int_0^{Q/\theta}H(x)\mathrm{d}x-(\eta-1)\frac{Q}{\theta}H(\hat{q})=\\-\int_0^{Q/\theta}H(x)\mathrm{d}x-(\eta-1)\frac{Q}{\theta}H(\hat{q})<0.\tag{32}$$

由式 (31)、(32) 可知命题 1 成立. □

由上可知, 突发事件造成市场需求和市场价格同时波动时, 批发价的增加将会直接影响到零售商的最优实际取货决策, 批发价增加则零售商选择的实际取货量减小. 在零售商订购量维持不变的前提下, 批发价的增加表示零售商每订购一单位的商品要多付出相应的费用, 零售商整体效用减少. 在其他条件相同的情况下, 仅有零售商选择较大的实际取货量才能实现效用的增加. 但是, 由于突发事件造成市场需求的不稳定性, 盲目地增加产品量很有可能造成零售商期末库存过多, 增加零售商所面临的风险. 因此, 在批发价增加的情况下, 零售商应适当地下调采购的数量以控制风险, 此时零售商的期望效用将在批发价的增加和实际取货数量减小的双重作用下, 呈现下降趋势.

命题 2　当市场需求和市场价格同时波动的突发事件暴发时, 采用数量弹性契约下的零售商分散决策下的最优实际取货量和零售商的期望效用将随着契约的弹性幅度增大而增大.

证明 首先对式 (29) 求弹性幅度 θ 的一阶导数

$$\frac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial \theta}=\frac{w-v}{\theta^2}\Big(H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+\frac{Q}{\theta}h\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)\Big)+(\eta-1)(w-v)\frac{1}{\theta^2}\Big(\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big)\Big)>0, \tag{33}$$

并求得

$$\frac{\partial Q}{\partial \theta}=-\frac{\dfrac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial \theta}}{\dfrac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial Q}}>0. \tag{34}$$

同理可得

$$\frac{\partial U(\pi_{rH})}{\partial \theta}=\Big[(p_0-w+g_r)\bar{H}(Q)-\frac{w-v}{\theta}H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+a\mu_h-2aQ+2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x\Big]\frac{\partial Q}{\partial \theta}+(\eta-1)\Big[\frac{1}{\gamma}(p_0\hat{q}-v\hat{q}+a\hat{q}^2-aQ\hat{q})h(\hat{q})-\frac{1}{\gamma}aQH(\hat{q})-\frac{w-v}{\theta}\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big)+a\int_0^{\hat{q}}H(x)\mathrm{d}x\Big]\frac{\partial Q}{\partial \theta}+(w-v)\frac{Q}{\theta^2}H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+(\eta-1)\frac{(w-v)Q}{\theta^2}H(\hat{q})=(w-v)\frac{Q}{\theta^2}H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+(\eta-1)\frac{(w-v)Q}{\theta^2}H(\hat{q})>0. \tag{35}$$

由式 (34) 和 (35) 可知, 命题 2 成立. □

综上可知, 当市场需求和市场价格同时波动的突发事件发生时, 零售商决策下的实际最优取货量将随着数量弹性契约的弹性幅度同增同减. 在突发事件市场需求不稳定的情况下, 弹性幅度的增大意味着零售商可以在更大的比例区间内调整初始的订货量, 即采取更加趋近于实际的订货决策, 进而降低缺货或者过量订货的损失, 此时零售商的期望效用将随着弹性幅度的增大而增大.

命题 3 当市场需求和市场价格同时波动的突发事件发生时, 参数满足

$$\frac{1}{\gamma}aQH(\hat{q})+\frac{w-v}{\theta}\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big)>\frac{1}{\gamma}(p_0\hat{q}-v\hat{q}+a\hat{q}^2-aQ\hat{q})h(\hat{q})+a\int_0^{\hat{q}}H(x)\mathrm{d}x,$$

采用数量弹性契约零售商决策下的最优实际取货量将随着零售商对损失厌恶的程度的增大而呈现递减趋势, 而分散决策下的零售商期望效用也具有同样的规律.

证明 对式 (29) 求 η 的一阶偏导数, 可得

$$\frac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial \eta}=\frac{1}{\gamma}(p_0\hat{q}-v\hat{q}+a\hat{q}^2-aQ\hat{q})h(\hat{q})-\frac{1}{\gamma}aQH(\hat{q})+a\int_0^{\hat{q}}H(x)\mathrm{d}x-\frac{w-v}{\theta}\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big). \tag{36}$$

仅当参数满足

$$\frac{1}{\gamma}aQH(\hat{q})+\frac{w-v}{\theta}\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big)>\frac{1}{\gamma}(p_0\hat{q}-v\hat{q}+a\hat{q}^2-aQ\hat{q})h(\hat{q})+a\int_0^{\hat{q}}H(x)\mathrm{d}x$$

时, 式 (36) 小于零. 前文已根据式 (28) 求得

$$\frac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial Q}<0,$$

故将式 (28) 和 (36) 代入 $\partial Q/\partial \eta$ 的式子, 可得

$$\frac{\partial Q}{\partial \eta}=-\frac{\dfrac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial \eta}}{\dfrac{\partial K(Q^{**},\eta)}{\partial Q}}<0. \tag{37}$$

同理, 对式 (25) 求对 η 的一阶偏导数, 可得

$$\frac{\partial U(\pi_{rH})}{\partial \eta}=\Big[(p_0-w+g_r)\bar{H}(Q)-\frac{w-v}{\theta}H\Big(\frac{Q}{\theta}\Big)+a\mu_h-2aQ+2a\int_0^Q H(x)\mathrm{d}x\Big]\frac{\partial Q}{\partial \eta}+(\eta-1)\Big[-\frac{1}{\gamma}aQH(\hat{q})+\frac{1}{\gamma}(p_0\hat{q}-v\hat{q}+a\hat{q}^2-aQ\hat{q})h(\hat{q})-\frac{w-v}{\theta}\Big(H(\hat{q})+\frac{Qh(\hat{q})}{\gamma}\Big)+a\int_0^{\hat{q}}H(x)\mathrm{d}x\Big]\frac{\partial Q}{\partial \eta}+\int_0^{\hat{q}}\Big[(p_0-v+a\,x-aQ)x-\frac{w-v}{\theta}\Big]h(x)\mathrm{d}x=\int_0^{\hat{q}}\Big[(p_0-v+a\,x-aQ)x-(w-v)\frac{Q}{\theta}\Big]h(x)\mathrm{d}x<0. \tag{38}$$

式 (28) 中可分为零售商期望效用 $U(\pi_{rH})$ 关于 Q 的一阶偏导数与最优实际取货量 Q 关于 η 的一阶导数的乘积、零售商的期望损失两部分, 其中第 1 部分在零售商取到最优实际取货量时是恒为零的, 而期望损失必定是一个负数, 故两者之和必定小于零. □

综上所述, 随着零售商的损失厌恶程度的增加, 零售商所选择的实际取货量将减小. 即表明在风险中性情况下零售商所选择的最优实际取货量将优于具有损失偏好特性的零售商. 同时也发现, 损失厌恶程度对盈亏平衡点和损失厌恶点的大小也将造成间接影响, 当损失厌恶程度增大时, 零售商决策下的实际取货量减小, 盈亏平衡点和损失厌恶点也将随之减小. 这可解释为, 损失程度越大, 零售商在订货时越小心谨慎, 此时订货量的减少将使得零售商的盈亏平衡点降低, 进而减小零售商过量库存的风险. 损失厌恶程度直接体现了供应链节点企业对于损失的敏感程度, 在面临相同损失情况下, 损失厌恶程度较大的决策者, 将产生更强大的抵触心理, 造成期望效用的降低.

4 算例分析

假设供应链以一种电子产品进行交易, 在无突发事件情形下, 市场需求函数满足 $U\sim[50,150]$ 的均匀分布, 在稳定情况下的市场初始价格为 $p_0=20$, 供应商按边际成本 $c_s=8$ 组织生产, 期末残值为 $v=2$, 期末零售商和供应商的单位缺货成本为 $g_r=2$, $g_s=1$, 损失厌恶点系数为 $\gamma=3$.

4.1 当批发价为常量时弹性幅度对于供应链决策的影响

当突发事件造成市场需求和市场价格同时波动时, 原有的生产决策将无法满足供应链的稳定运作, 当市场需求增大时, 需求函数变为 $U\sim[80,300]$, 供应商的增产成本为 $\eta_1=2$; 当市场需求减小时, 需求函数变为 $U\sim[20,100]$, 供应商的处理成本为 $\eta_2=1$. 假设市场规模系数 $a=0.004$, 批发价 $w=16$, 零售商的损失厌恶程度分别为 $\eta=1.3$, $\eta=1.8$.

由表 1 可知, 当弹性幅度和批发价均为固定值时, 无论突发事件导致市场需求增大还是减小, 损失厌恶程度越大则实现供应链协调的最优弹性幅度越大; 同时协调状态下零售商所面临的期望损失、零售商的期望效用及供应链的期望利润却随着损失厌恶程度的增大而降低; 但供应链协调时的零售商的最优实际取货量及供应链系统的期望利润却不因损失厌恶程度的不同而发生改变. 市场需求缩小的突发事件暴发时, 将造成系统最优供货量的急剧萎缩, 加大了零售商出现损失的可能性, 最优的弹性幅度将远大于市场需求增大的情况.

表 1　$w=16$ 时供应链协调最优决策分析

	损失厌恶程度	协调时最优实际取货量	协调时最优弹性幅度	零售商期望利润	零售商期望损失	零售商期望效用	供应商期望利润	集中决策供应链期望利润
突发事件造成市场需求增大	$\eta=1.3$	208	1.68	851.06	356.67	744.05	1 090.82	2 446.12
	$\eta=1.8$	208	1.73	860.63	340.89	587.91	1 082.62	2 446.12
突发事件造成市场需求减小	$\eta=1.3$	80	2.31	252.01	82.72	227.8	281.57	734.73
	$\eta=1.8$	80	2.44	256.43	74.11	197.14	276.82	734.73

由图 1 和图 2 可知, 以批发价维持恒定为前提, 当突发事件导致市场需求和市场价格同时随机波动时, 无论市场需求是增大或减小, 在一定区间内增大弹性幅度将导致零售商选择的实际取货量的增加, 必然存在一个最优的弹性幅度使得零售商的最优实际取货量和供应链集中决策下的最优供货量相等, 且此时供应链系统的期望利润实现最大化.

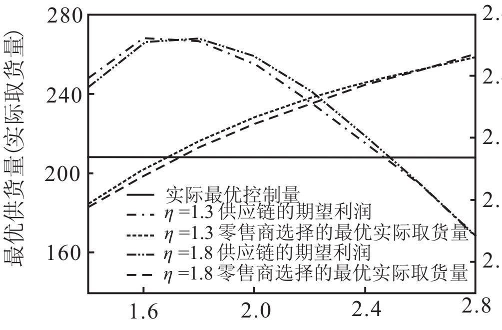

图 1　$w=16$ 需求增大时弹性幅度对最优供货量 (实际取货量) 和系统期望利润的影响

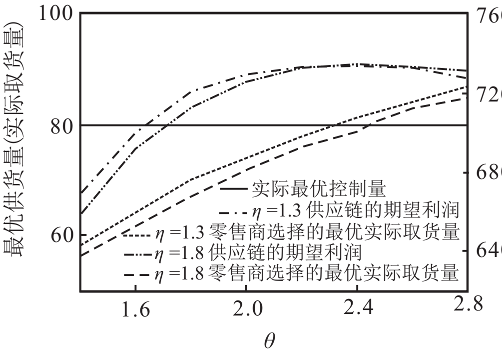

图 2　$w=16$ 需求减小时弹性幅度对最优供货量 (实际取货量) 和系统期望利润的影响

零售商选择的实际取货量随着损失厌恶系数的增加而减少, 符合命题 3 所证, 损失厌恶程度的增大将使得零售商采取保守的订货行为, 而此时需要给出更大的弹性幅度, 给零售商提供 1 个更为宽泛的更改初始订货的区间, 降低零售商的过量订货风险, 才能使得供应链尽快恢复协调. 当市场需求增大时, 无论损失厌恶程度是增大或减小, 达到协调所需要的弹性幅度将远小于市场需求减小的情况. 其原因是突发事件导致市场需求的增大, 零售商过量订货的概率减少, 出现损失的风险较低, 零售商只需要较小的弹性幅度即可实现协调; 若突发事件造成市场需求减小, 则市场需求极有可能低于供应商的供货量, 出现过量损失的概率大增, 此时调高弹性幅度可以降低零售商的最低订货量及盈亏平衡点, 降低零售商出现损失的可能性, 保证供应链的协调.

由表 2 可知, 当突发事件暴发造成市场需求和价格同时随机波动时, 在市场需求增大和市场需求减小两种情况下, 零售商期望利润和期望效用都将随着弹性幅度的增加而递增; 在市场需求增大时, 供应商的期望利润随弹性幅度增加而递减, 在市场需求减小时, 供应商的期望利润将随着弹性幅度的增加先小幅增加后递减. 其原因是当弹性幅度的增大, 零售商订货的范围更为灵活广泛, 可以依据市场需求将损失的概

表 2 $w = 16$ 突发事件下弹性幅度对供应链各节点期望利润和效用的影响

	市场需求增大								市场需求减小							
η	1.3				1.8				1.3				1.8			
θ	1.6	1.8	2	2.2	1.6	1.8	2	2.2	1.6	1.8	2	2.2	1.6	1.8	2	2.2
π_{rH}	832.79	874.53	904.88	926.83	832.14	873.92	904.49	926.43	205.64	223.04	236.49	247.16	204.72	221.85	235.78	246.56
$U(\pi_{rH})$	724.20	750.21	808.43	837.05	551.18	605.1	651.88	693.12	176.03	193.56	208.85	221.27	130.63	149.84	166.02	181.04
π_{sH}	1 099.13	1 075.71	1 047.7	1 016.63	1 094.86	1 074.99	1 049.16	1 021.33	304.4	304.94	296.99	287.49	298.05	298.4	295.1	287.73

率降到最低, 零售商的期望效用和期望利润必然增加. 增加弹性幅度将导致供应商的最大生产量增大、零售商的灵活订货空间增大, 供应商较易产生库存积压的风险, 但弹性幅度的增加却将导致零售商有动力增加订货量以获取利润. 当订货量增大的作用较大时, 供应商利润将出现小幅增加的现象, 而当供应商的过量损失作用较大时, 供应链的利润将呈现随弹性幅度递减的趋势.

同时, 零售商期望利润和期望效用将随着损失厌恶程度的增加而递减, 其中零售商的期望利润在不同损失厌恶程度下的区分度不大, 但零售商期望效用的区分度比较明显. 当损失厌恶程度较大时, 零售商面对风险采取少量的购买决策, 进而保证企业在低风险的环境下运营, 故在订货量减少而批发价不变的双重作用下, 具有较高损失厌恶程度决策者的期望利润都将小于较低损失厌恶程度决策者的期望利润; 在面临同等程度的期望损失时, 具有较高损失厌恶程度的决策者会有更大的抵触心理, 从而导致期望效用的低下.

4.2 当弹性幅度为常量时批发价对于供应链决策的影响

当突发事件造成市场需求和市场价格同时波动时, 原有的生产决策将无法满足供应链的稳定运作. 当市场需求增大时, 需求函数变为 $U \sim [80, 300]$, 供应商的增产成本为 $\eta_1 = 2$; 当市场需求减小时, 需求函数变为 $U \sim [20, 100]$, 供应商的处理成本为 $\eta_2 = 1$, 其中市场规模系数 $a = 0.004$. 假设在这一部分数量, 弹性契约的弹性幅度和弹性系数恒定不变, $\alpha = 0.4$, $\beta = 0.3$, $\theta = 1.4/0.7 = 2$. 零售商的损失厌恶程度分别为 $\eta = 1.3$, $\eta = 1.8$.

本节假设 $\theta = 2$, 满足不同情境下弹性幅度的最低要求. 由表 3 可知, 市场需求增大和减小两类情况下, 损失厌恶程度越大, 实现供应链协调的最优批发价越小. 其中: 市场需求增大时, 在面临损失厌恶程度为 1.3 和 1.8 时, 供应链协调的最优批发价分别为 17.95 和 17.66; 需求减小时, 在 1.3 和 1.8 两种损失厌恶程度下, 供应链协调的批发价需分别满足 14.22 和 13.68. 而随着损失厌恶程度的增大, 协调状态下零售商所面临的期望损失、零售商的期望效用及供应链的期望利润将降低, 但供应链协调时的零售商最优实际取货量及供应链系统的期望利润却维持不变, 需求增大时的实际取货量和供应链期望利润依然为 208 和 2 446.12, 需求减小时的供货量和供应链期望利润为 80 和 734.73.

表 3 $\theta = 2$ 时供应链协调最优决策分析

	损失厌恶程度	协调时最优实际取货量	协调时最优批发价	零售商期望利润	零售商期望损失	零售商期望效用	供应商期望利润	集中决策供应链期望利润
突发事件造成市场需求增大	$\eta = 1.3$	208	17.95	558.26	333.19	458.29	1 389.72	2 446.12
	$\eta = 1.8$	208	17.66	608.16	323.68	349.21	1 339.82	2 446.12
突发事件造成市场需求减小	$\eta = 1.3$	80	14.22	342.53	84.04	317.32	192.21	734.73
	$\eta = 1.8$	80	13.68	374.93	76.84	313.46	159.82	734.73

由图 3 和图 4 可知, 当保持弹性幅度固定时, 突发事件暴发后, 无论市场需求是增大或减小, 增加批发价都将导致零售商实际取货量的减小, 且存在最优的批发价使得零售商选择的实际最优取货量和供应链系统的最优供货量相等, 即达到供应链的协调. 而当损失厌恶程度增大时, 零售商的实际取货量将呈减小的趋势, 同时实现供应链协调的最优批发价也将降低. 主要是因为具有较高损失厌恶程度的零售商为了规避风险而下调订货量, 在弹性幅度恒定时, 供应商供货将减小, 而供应商的利润也将受到影响, 此时供应商将适当地下调批发价以促使零售商提高订货

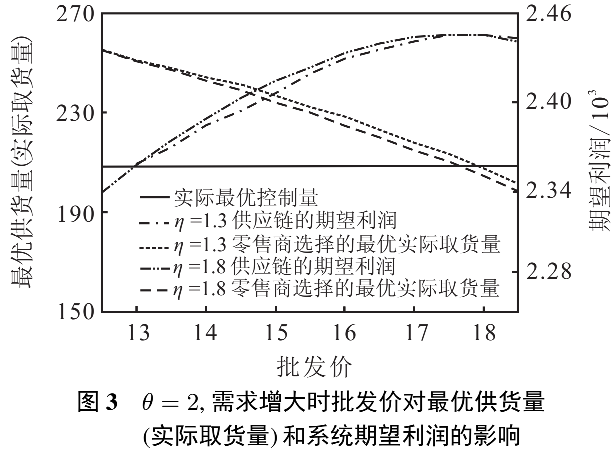

图 3 $\theta = 2$, 需求增大时批发价对最优供货量 (实际取货量) 和系统期望利润的影响

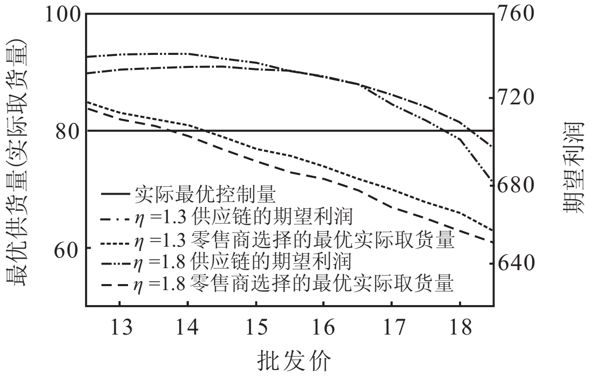

图 4　$\theta = 2$, 需求减小时批发价对最优供货量(实际取货量)和系统期望利润的影响

量. 市场需求减小时协调供应链所需的最优批发价将远小于市场需求增大的情况. 主要原因是市场需求减小时零售商所面临的过量订货风险远大于市场需求增大的情况, 零售商将采取更为谨慎的订货决策, 供应商将作出更大的牺牲以促使零售商增加订货.

由表 4 可知, 当突发事件发生后, 在需求增大和减小两种情况下, 供应商期望利润则将随着批发价的增加而递增, 零售商期望利润、零售商期望效用都将随着批发价的增加而减少. 主要原因是因为弹性幅度维持不变时, 批发价的增加将导致零售商订货量和供应商供货量的减少, 批发价的增加意味着零售商销售单位产品的利润将减小, 二者的双重作用使得零售商期望利润和期望效用降低; 供应商利润也受到订货量和批发价的双重作用, 批发价增大带来的收益将大于零售商减少订货量造成的损失. 无论何种突发事件暴发, 当损失厌恶程度较低时, 各个决策主体的期望利润将高于损失厌恶程度较高的情况, 但区分度并不明显; 但随着零售商损失厌恶程度的增大, 零售商的期望效用却显著减小. 其原因是损失厌恶程度越大, 零售商采取的订货量将越小, 其利润也将受到影响; 尽管供应商采取下调批发价的措施以促进零售商增加订货, 但其换来增加订货量的收益却低于其付出的代价.

表 4　$\theta = 2$, 突发事件下批发价对供应链各节点期望利润和效用的影响

	市场需求增大								市场需求减小							
η	1.3				1.8				1.3				1.8			
w	14	15	16	17	14	15	16	17	14	15	16	17	14	15	16	17
π_{rH}	1 274.52	1 088.39	904.88	725.08	1 274.42	1 087.99	904.49	724.52	355.92	295.49	236.49	178.79	355.4	294.68	235.78	177.53
$U(\pi_{rH})$	1 189.91	995.89	808.43	652.43	1 050.68	847.64	651.88	468.49	330.98	269.26	208.85	151.01	292.14	228.33	166.02	109.68
π_{sH}	654.23	853.37	1 047.7	1 229.45	656.46	857.97	1 049.16	1 229	178.06	239.85	296.99	348.38	179.81	239.7	295.1	342.02

5　结　论

本文以突发事件造成市场需求及市场价格随机波动为背景, 运用前景理论构建了零售商为损失厌恶者时不同类型突发事件下的二级数量弹性契约协调模型, 得出了实现供应链协调时的最优决策, 并对比分析了弹性幅度、批发价和损失厌恶程度对不同突发事件下供应链决策的影响.

研究结果表明: 当突发事件造成市场需求和市场价格同时随机波动时, 无论市场需求增大或是减小, 零售商的最优实际取货量和零售商的期望效用将随着数量弹性契约的弹性幅度增加而递增, 随着批发价及损失厌恶程度的增加而减小. 在合理的区间范围内调整契约弹性幅度和批发价均能使得零售商决策下的最优实际取货量与集中决策下的供应链供货量相等, 进而实现供应链协调; 且当突发事件造成市场需求增大时, 实现了供应链协调所需的弹性幅度低于市场需求减小的情况, 以及批发价高于市场需求减小的情况.

当然, 本文还存在一些不足:

1) 没有考虑供应链上参与者违约是否要作出惩罚的情形;

2) 仅以零售商一方损失厌恶的供应链为研究对象, 但在现实生活中, 突发事件暴发下的供应链上各节点企业都将可能成为损失厌恶者;

3) 只考虑在信息对称的背景下的情况, 信息不对称且供应链上节点企业均为损失厌恶的应急供应链将成为进一步研究的方向.

参考文献(References)

[1] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk[J]. Econometrica, 1979, 47(2): 263-291.

[2] Schweitzer M E, Cachon G P. Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence[J]. Management Science, 2000, 46(3): 404-420.

[3] Wang C X, Webster S. The loss-averse newsvendor problem[J]. Omega, 2009, 37(1): 93-105.

[4] Wang C X. The loss-averse newsvendor game[J]. Int J of Production Economics, 2010, 124(2): 448-452.

[5] Shi K, Xiao T. Coordination of a supply chain with a loss-averse retailer under two types of contracts[J]. Int J of Information and Decision Sciences, 2008, 1(1): 5-25.

[6] 刘珩, 潘景铭, 唐小我. 基于损失厌恶型零售商的易逝品供应链价格补贴契约研究[J]. 控制与决策, 2010, 25(8): 1149-1154.

(Liu H, Pan J M, Tang X W. Research on perishable product supply chain markdown money contract with a loss-averse retailer[J]. Control and Decision, 2010, 25(8): 1149-1154.)

[7] 刘珩, 潘景铭, 唐小我. 基于损失厌恶型参与者的易逝品供应链价格补贴契约研究[J]. 管理工程学报, 2011, 25(3): 24-30.
(Liu H, Pan J M, Tang X W. Perishable supply chain markdown money contract with a loss-averse retailer and a loss-averse supplier[J]. J of Industrial Engineering and Engineering Management, 2011, 25(3): 24-30.)

[8] 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(18): 33-41.
(Lin Z B, Cai C, Xu B G. Revenue sharing analysis of supply chain with loss aversion[J]. J of Management Sciences in China, 2010, 13(18): 33-41.)

[9] 刘咏梅, 成尚汶, 谢虎. 具有损失厌恶偏好零售商的供应链弹性数量契约[J]. 控制与决策, 2012, 27(7): 975-982.
(Liu Y M, Cheng S W, Xie H. Research on supply chain quantity flexibility contract with a loss-averse preference retailer[J]. Control and Decision, 2012, 27(7): 975-982.)

[10] 李绩才, 周永务, 肖旦, 等. 考虑损失厌恶一对多型供应链的收益共享契约[J]. 管理科学学报, 2013, 16(2): 71-82.
(Li J C, Zhou Y W, Xiao D, et al. Revenue-sharing contract in supply chains with single supplier and multiple loss-averse retailers[J]. J of Management Sciences in China, 2013, 16(2): 71-82.)

[11] Deng X, Xie J, Xiong H. Manufacturer–retailer contracting with asymmetric information on retailer's degree of loss aversion[J]. Int J of Production Economics, 2013, 142(2): 372-380.

[12] Shen H, Pang Z, Cheng T. The component procurement problem for the loss-averse manufacturer with spot purchase[J]. Int J of Production Economics, 2011, 132(1): 146-153.

[13] Liu W, Song S, Wu C, et al. Impact of loss aversion on the newsvendor game with product substitution[J]. Int J of Production Economics, 2013, 141(1): 352-359.

[14] 胡劲松, 赵光丽. 具有损失规避零售商的模糊供应链网络均衡[J]. 控制与决策, 2014, 29(10): 1899-1906.
(Hu J S, Zhao G L. Supply chain network equilibrium with loss-averse retailers under fuzzy demand[J]. Control and Decision, 2014, 29(10): 1899-1906.)

[15] 张桂涛, 胡劲松, 孙浩, 等. 考虑损失规避零售商的多期多产品供应链网络均衡[J]. 中国管理科学, 2015, 23(6): 73-82.
(Zhang G T, Hu J S, Sun H, et al. Multi-period supply chain network equilibrium with loss-averse retailer and multi-products flow[J]. Chinese J of Management Science, 2015, 23(6): 73-82.)

[16] 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.
(Pang Q H. Three-level supply chain coordination under disruption with revenue-sharing contract[J]. Chinese J of Management Science, 2010, 18(4): 101-106.)

[17] Huang S, Yang C, Liu H. Pricing and production decisions in a dual-channel supply chain when production costs are disrupted[J]. Economic Modelling, 2013, 30(1): 521-538.

[18] Cao E, Wan C, Lai M. Coordination of a supply chain with one manufacturer and multiple competing retailers under simultaneous demand and cost disruptions[J]. Int J of Production Economics, 2013, 141(1): 425-433.

[19] Zhang W, Fu J, Li H, et al. Coordination of supply chain with a revenue-sharing contract under demand disruptions when retailers compete[J]. Original Research Article Int J of Production Economics, 2012, 138(1): 68-75.

[20] 庞庆华, 张月, 胡玉露, 等. 突发事件下需求依赖价格的三级供应链收益共享契约[J]. 系统管理学报, 2015, 24(6): 887-896.
(Pang Q H, Zhang Y, Hu Y L, et al. Three-level supply chain coordination under disruption based on revenue-sharing contract with price-depended demand[J]. J of Systems & Management, 2015, 24(6): 887-896.)

[21] 刘浪, 石岩. 回购契约下供应链协调应对非常规突发事件[J]. 北京理工大学学报: 社会科学版, 2014, 16(5): 108-113.
(Liu L, Shi Y. Supply chain coordination response to unconventional emergencies under buy back contract[J]. J of Beijing Institute of Technology: Social Sciences Edition, 2014, 16(5): 108-113.)

[22] 刘浪, 石岩. 回购契约应对非常规突发事件的三级供应链协调[J]. 系统管理学报, 2015, 24(2): 296-303.
(Liu L, Shi Y. Coordination of three-stage supply chain with unconventional disruptions through buy-back contract[J]. J of Systems & Management, 2015, 24(2): 296-303.)

(责任编辑：孙艺红)