文章编号:1005-0523(2018)06-0055-10

价格随机条件下基于双边拍卖的应急回购契约研究

贾茜如[1],刘崇光[1],刘 浪[1,2]

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

摘要:考虑到突发事件导致市场需求和市场价格随机波动、供应链成员信息不对称。在此条件下,通过双边拍卖确定线性均衡批发价,并运用应急回购契约协调二级供应链,得到契约参数的约束条件,最后通过算例验证突发事件对整个供应链系统利润分配的影响。结果表明:需求增大的突发事件发生时,线性均衡批发价及零售商期望利润均会增加,但零售商占整个供应链系统利润的权重会降低;需求减少的突发事件发生时,线性均衡批发价及零售商期望利润均降低,但零售商占整个供应链系统利润的权重会提升。价格随机的突发事件下,对线性均衡批发价做出调整,供应链能够实现协调。此外,在满足一定约束条件下,零售商对商品估价越低,其利润占整个供应链利润的权重越大。

关键词:市场价格随机;信息不对称;双边拍卖;回购契约;供应链协调

中图分类号:F406.7 **文献标志码**:A

突发事件会造成供应链外部环境动荡,影响供应链系统的稳定,引起市场需求和市场价格随机波动。这些因素的改变导致供应链中个体决策和集体决策出现偏差,产生双重边际效应,为避免此现象产生,通常采用契约来约束供应链成员,实现供应链上所有成员的收益同时达到最大化,即实现帕累托最优。回购契约广泛运用于供应链协调研究[1-4]。文献[1]首先提出回购契约,指出回购契约协调下,供应链成员和整体均能达到利益最大化,即实现供应链协调。文献[2]研究价格敏感下的回购契约模型,解决商品滞销的问题。文献[3]考虑到供应商风险中性、零售商风险厌恶,对不同信用状况下的回购契约协调供应链进行了研究。文献[4]基于供应商主导下的回购契约,建立 Stackelberg 博弈模型。分析供需不均衡、风险因子大小对供应链协调的影响。随着研究的深入,刘浪等[5-7]考虑到突发事件发生导致市场需求和市场价格随机波动的情形,建立应急回购契约模型协调二级、三级供应链。得出对批发价进行适当调整后,回购契约和数量弹性契约均能够使供应链协调应对突发事件。

上述研究大多基于对称信息的情形,在现实生活中零售商通常比供应商、第三方更接近市场,因而拥有更多的市场信息。与此同时,出于自身利益考虑,供应链成员间可能存在相互隐瞒私有信息的情况,供应链协调会受到信息不对称的干扰,将拍卖机制引入供应链以解决信息不对称下的批发价定价问题,逐渐成为国内外研究的热点。

现有拍卖相关文献均基于市场价格稳定的前提,根据拍卖对象不同可以将拍卖分为普通商品拍卖和特殊商品拍卖。石岩等考虑到技术作为特殊商品,设计技术拍卖的最优机制[7-8]。文献[7]考虑到技术作为商品的特殊性,将技术拍卖的报价与其产出相联系,提出两部拍卖机制。与固定费拍卖比较,得出两部拍卖能够给参与拍卖双方带来更高的期望收益和更高的拍卖成交率。文献[8]研究通过股份支付实现的技术拍卖。基于对称独立私有价值模型,比较分析股份拍卖和现金拍卖的期望收益和成交率。

根据供应链上参与拍卖的组成不同,可以将拍卖划分为多种类型。最简单就是单零售商和单供应商组

收稿日期:2018-06-07
基金项目:国家自然科学基金项目(71562013);江西省研究生创新专项基金项目(YC2017-S263)
作者简介:贾茜如(1995—),女,硕士研究生,研究方向为应急供应链管理。
通讯作者:刘浪(1973—),男,教授,研究员,博士,研究方向为应急供应链管理,应急物流。

成的一对一拍卖[9-12]。文献[9]最早将单向拍卖和双向拍卖引进双向贸易领域。文献[10]在市场价格固定的情况下研究了双向拍卖机制的供应链回购契约。文献[11]考虑到供应链信息不对称情形,引入 Vickery Clarke Groves(VCG)拍卖模型分析寡头市场双向竞争环境下的采购策略。文献[12]同时考虑到生产成本和运输成本,引入多阶段 Vickrey 拍卖确定交易价格以实现供应链总成本最小化。

还有学者研究了一个零售商多个供应商组成的供应链采用拍卖机制来解决信息不称的问题。一对多拍卖情形中,密封价格拍卖是常用的拍卖策略[13-16]。文献[13]通过一级密封价格拍卖研究供应商竞争报价得到供应商最优报价策略,定量地解决了报价中信息不对称的问题。文献[14]引入密封价格采购拍卖确定批发价,比较分析信息不对称和信息共享环境下供应链成员的利润分配状况。文献[15]基于多个买方和两件替代品的序贯二价拍卖,引入数量折扣削弱物品间的替代性,得到买方的均衡报价策略并确定其最优折扣额度。文献[16]考虑零售商面临多个供应商、供应商的生产成本信息私有且存在供应风险的情形下,通过双源采购批发价拍卖机制,能够有效增加零售商和供应商的期望利润。此外,一对多情形下多属性拍卖成为近年来拍卖机制研究的热点[17-20]。文献[17]针对多属性逆向拍卖环境下的利润分配问题,构建合作及非合作博弈模型分析影响利润分配的因素。文献[18]研究资源商品在多源采购下的供应商选择问题,考虑到风险属性和商品特征,设计出基于多属性拍卖和供应链风险管理的两阶段复合机制。文献[19]基于报童模型,研究供应链的多属性拍卖策略。发现当评分规则可以揭示买家真实效用时,采购方通过竞标能确定生产成本最低的供应商以达到供应链协调。文献[20]建立非合作博弈模型分析单个采购商和多个供应商间单轮多属性逆向拍卖,得出拥有最高投标质量和最短交货期的供应商能够实现利润最大化,同时采购商可以获得最大剩余。少数学者研究了多维拍卖的情形,如文献[21]基于多维拍卖博弈,建立连接供应链各层之间的复杂交易模型。

上述研究均为市场价格固定情况下采用拍卖机制来应对信息不对称,未考虑到突发事件发生导致商品市场价格发生变化的情形。本研究在文献[5]和文献[10]基础上,考虑突发事件造成市场价格随机和供应链成员信息不对称,通过双边拍卖确定批发价,并运用回购契约协调二级供应链。本文有两点创新:① 在市场价格随机的背景下,通过双边拍卖确定批发价,以解决供应商和零售商之间的信息不对称问题;② 以往供应链契约的相关研究,通常假设市场需求变动不影响批发价。本研究在文献[10]基础之上,考虑到突发事件发生后零售商对商品的估价做出调整这一情形,引入了估价调整系数,线性均衡批发价随之发生改变,从而影响供应链整体利润在成员之间的分配,这种调整更符合客观现实。

1 二级供应链双边拍卖定价策略

针对最简单的二级供应链,假设供需双方风险态度均为中性,只销售一季,市场需求随机,零售商订货机会只有一次。供应商和零售商对产品的估值均为私有信息, 且没有共享, 从而导致双方对市场预期存在偏差,直接影响双方的交易决策(见文献[10])。为减少预期偏差对双方决策的影响,采取双边拍卖确定批发价,并给出双方的交易策略。

批发价制定过程中,卖方寻求高于生产成本 c_s 且低于批发价的价值,买方则寻求高于批发价且低于商品估价 v_r 的价值(见文献[13])。生产成本和商品估价为供应商和零售商私有信息,假设均服从均匀分布,供销双方的出价策略分别为成本和估价的线性函数。

博弈规则如下:供应商同零售商的交易中,供应商提供一个卖价 w_s,它依赖于生产成本 c_s,零售商提供一个买价 w_r,它依赖于估价 v_r。若 $w_r \geqslant w_s$,则双方交易价格 $w=\dfrac{w_s+w_r}{2}$;若 $w_r<w_s$,双方不发生交易。以 w 达成交易时,供应商单位收益为 $w-c_s$,零售商单位收益为 v_r-w,否则,双方获得收益均为 0。

如果满足下面 2 个条件,则策略组合 $\{w_s(v_s),w_r(v_r)\}$ 为此博弈的贝叶斯纳什均衡。

1) 对于供应商生产成本 c_s,其出价策略应当满足

$$\max_{w_s}\left[\frac{w_s+E[w_r(v_r)|w_r(v_r)\geqslant w_s]}{2}-v_s\right]p(w_r(v_r)\geqslant w_s) \tag{1}$$

2）对于零售商商品估价 v_r，其出价策略应当满足

$$\max_{w_r}\left[v_r-\frac{w_s+E[w_s(c_s)|w_r\geqslant w_s(c_s)]}{2}\right]p(w_r\geqslant w_s(c_s)) \tag{2}$$

依据博弈规则，式中 $p(w_r(v_r)\geqslant w_s)$，$p(w_r\geqslant w_s(c_s))$ 分别表示供应商，零售商交易成功的概率。$E[w_r(v_r)|w_r(v_r)\geqslant w_s]$ 表示零售商出价高于供应商的前提下，供应商期望零售商的出价。$E[w_s(c_s)|w_r\geqslant w_s(c_s)]$ 表示零售商出价高于供应商的前提下，零售商期望供应商的出价。

此不完全信息静态博弈拥有许多贝叶斯纳什均衡，根据前文假定可以将 $w_s(c_s)$，$w_r(v_r)$ 表示为

$$w_s(c_s)=a_s+b_sc_s\quad(b_s>0,a_s\geqslant 0) \tag{3}$$

$$w_r(v_r)=a_r+b_rv_r\quad(b_r>0,a_r\geqslant 0) \tag{4}$$

上式中 $b_i>0$ $(i=\mathrm{s,r})$ 表示供应商、零售商的出价策略同其成本和估价成正比，$a_i\geqslant 0$ $(i=\mathrm{s,r})$ 表示双方对商品出价的底线。

根据式(3)式(4)，可以计算出式(1)式(2)中的概率和数学期望值。

供应商交易成功的概率

$$p(w_r(v_r)\geqslant w_s)=p(a_r+b_rv_r\geqslant w_s)=p\left(v_r\geqslant\frac{w_s-a_r}{b_r}\right)=\frac{a_r+b_r-w_s}{b_r} \tag{5}$$

零售商交易成功的概率

$$p(w_r\geqslant w_s(c_s))=p(w_r\geqslant a_s+b_sv_s)=p\left(c_s\leqslant\frac{w_r-a_s}{b_s}\right)=\frac{w_r-a_s}{b_s} \tag{6}$$

零售商出价高于供应商时，供应商出价的期望值

$$\begin{aligned}E[w_s(c_s)|w_r\geqslant w_s(c_s)]&=E\left[a_s+b_sc_s|c_s\leqslant\frac{w_r-a_s}{b_s}\right]=\frac{E\left[a_s+b_sv_s,c_s\leqslant\frac{w_r-a_s}{b_s}\right]}{p\left(c_s\leqslant\frac{w_r-a_s}{b_s}\right)}\\&=\frac{1}{(w_r-a_s)/b_s}\int_0^{(w_r-a_s)/b_s}(a_s+b_sc_s)dc_s=\frac{w_r+a_s}{2}\end{aligned} \tag{7}$$

零售商出价高于供应商时，零售商出价的期望值

$$\begin{aligned}E[w_r(v_r)|w_r(v_r)\geqslant w_s]&=E\left[a_r+b_rv_r|v_r\geqslant\frac{w_s-a_r}{b_r}\right]=\frac{E\left[a_r+b_rv_r,v_r\geqslant\frac{w_s-a_r}{b_r}\right]}{p\left(v_r\geqslant\frac{w_s-a_r}{b_r}\right)}\\&=\frac{1}{(a_r+b_r-w_s)/b_r}\int_{(w_s-a_r)/b_r}^{1}(a_r+b_rv_r)dv_r=\frac{a_r+b_r+w_s}{2}\end{aligned} \tag{8}$$

将式(5)~式(8)分别代入式(1)式(2)有

$$\max_{w_s}\left[\frac{1}{2}\left(w_s+\frac{a_r+b_r+w_s}{2}\right)-c_s\right]\frac{a_r+b_r-w_s}{2} \tag{9}$$

$$\max_{w_r}\left[v_r-\frac{1}{2}\left(w_r+\frac{w_r+a_s}{2}\right)\right]\frac{w_r-a_s}{2} \tag{10}$$

根据上文假定 $b_i>0$ $(i=\mathrm{s,r})$，可以得到式(9)式(10)中关于 w_s、w_r 的二次项系数均小于 0，存在极大值。分别求式(9)式(10)中关于 w_s、w_r 的一阶导数，令一阶导数等于 0，得到的极值点即为最值点

$$w_s=\frac{1}{3}(a_r+b_r)+\frac{2}{3}c_s \tag{11}$$

$$w_r=\frac{1}{3}a_s+\frac{2}{3}v_r \tag{12}$$

比较式(11)式(12)和式(3)式(4)的系数可得

$$w_s(c_s)=a_s+b_sc_s=\frac{1}{4}+\frac{2}{3}c_s \tag{13}$$

$$w_{\mathrm{r}}(v_{\mathrm{r}})=a_{\mathrm{r}}+b_{\mathrm{r}}v_{\mathrm{r}}=\frac{1}{12}+\frac{2}{3}v_{\mathrm{r}} \tag{14}$$

式(13)式(14)即为本博弈的线性贝叶斯纳什均衡,Myerson 和 Satterthwaite[21]证明估价为标准分布前提下,双边拍卖博弈中,线性均衡能够产生比其他任何贝叶斯纳什均衡更高的期望收益。双边拍卖中,仅当 $w_{\mathrm{r}}\geqslant w_{\mathrm{s}}$ 时双方才会发生交易,成交需满足

$$\frac{1}{12}+\frac{2}{3}v_{\mathrm{r}}\geqslant\frac{1}{4}+\frac{2}{3}c_{\mathrm{s}} \tag{15}$$

成交时的线性均衡批发价

$$w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})=\frac{w_{\mathrm{s}}+w_{\mathrm{r}}}{2}=\frac{1}{6}+\frac{1}{3}c_{\mathrm{s}}+\frac{1}{3}v_{\mathrm{r}} \tag{16}$$

2 价格随机条件下应急回购契约模型与假设

设 p_0 为市场环境稳定时单位商品市场价格,由竞争所决定;突发事件导致市场价格随机波动,p 为商品的随机市场价格,满足 $\mathrm{d}p=[p_0+a(x-q)]\mathrm{d}x$(见文献[5-6]),$q$ 为零售商确定的订货量,x 为市场随机需求,a 为市场规模系数;$w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})$为供应商和零售商通过双边拍卖确定的线性均衡批发价;b 为供应商向零售商提供的单位商品回购价格;v 为剩余商品边际残值;c_{s} 为供应商边际生产成本,c_{r} 为零售商边际销售成本, 记 $c=c_{\mathrm{s}}+c_{\mathrm{r}}$;$g_{\mathrm{s}}$ 为供应商因缺货导致的单位商誉惩罚成本,g_{r} 为零售商因缺货导致的单位惩罚成本,记 $g=g_{\mathrm{s}}+g_{\mathrm{r}}$。设 $D(x)$为市场的随机需求,为大于零的随机变量,未发生突发事件时其分布函数和密度函数分别为 $F(x)$,$f(x)$。$F(x)$,$f(x)$是可微和严格递增的,$F(0)=0$。期望需求 $\mu=E(D)=\int_0^\infty xf(x)\mathrm{d}x$;给定订货量 q 下零售商的期望销售量 $S(q)=\int_0^q xf(x)\mathrm{d}x+\int_q^\infty qf(x)\mathrm{d}x=q-\int_0^q F(x)\mathrm{d}x$;期末期望库存量 $I(q)=q-S(q)$;期末期望缺货量 $L(q)=\mu-S(q)$。回购契约的实质是供应链上游企业对下游企业的一种激励性补贴,因此回购价格应大于商品残值,但零售商不能从未售出的商品中获利,上述参数要满足以下关系:$v<b<w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})<p_0,v+b\leqslant w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})$。

2.1 基准二级供应链回购契约模型

根据上述假设,未发生突发事件下,依据报童模型基准而二级供应链回购契约的供应商、零售商和供应链整体期望收益函数分别为

$$\begin{aligned}E\pi_{\mathrm{s}}&=w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})q-\int_0^q b(q-x)f(x)\mathrm{d}x-\int_q^\infty g_{\mathrm{s}}(x-q)f(x)\mathrm{d}x-c_{\mathrm{s}}q\\&=w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})q-bI(q)-g_{\mathrm{s}}L(q)-c_{\mathrm{s}}q\\&=(b+g_{\mathrm{s}})S(q)-[b-w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})+c_{\mathrm{s}}]q-g_{\mathrm{s}}\mu\end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}E\pi_{\mathrm{r}}&=\int_0^q[p_0x+(b+v)(q-x)]f(x)\mathrm{d}x+\int_q^\infty[p_0q-g_{\mathrm{r}}(x-q)]f(x)\mathrm{d}x-c_{\mathrm{r}}q-w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})q\\&=p_0(q)+(b+v)I(q)-g_{\mathrm{r}}L(q)-c_{\mathrm{r}}q-w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})q\\&=(p_0-b-v-g_{\mathrm{r}})S(q)-[w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}})+c_{\mathrm{r}}-b-v]q-g_{\mathrm{r}}\mu\end{aligned} \tag{18}$$

$$E\pi_{\mathrm{h}}=E\pi_{\mathrm{s}}+E\pi_{\mathrm{r}}=(p_0-v+g)S(q)-(c-v)q-g\mu \tag{19}$$

2.2 价格稳定的二级供应链回购契约模型

若突发事件只造成市场需求发生变化,但市场价格保持稳定。市场需求分布函数和密度函数变为 $G(x)$ 和 $g(x)$,$G(x)$和 $g(x)$满足可微和单调递增,且 $G(0)=0$。期望需求 $\mu_{\mathrm{G}}=E_{\mathrm{G}}(D)=\int_0^\infty xg(x)\mathrm{d}x$;期望销售量 $S_{\mathrm{G}}(q)=q-\int_0^q G(x)\mathrm{d}x$;$\lambda_1$ 代表市场需求增大时,供应商扩大生产规模增加的边际生产成本;λ_2 代表市场需求缩小时,供应商处理过剩产品增加的边际处理费用。市场需求发生变化时,零售商根据市场需求情况将估价调整为 θv_{r},$\theta=\frac{q}{q^*}$为估价调整系数,市场需求增加时:$\theta>1$,市场需求减少时:$0<\theta<1$。零售商对估价做出调整后,突发

事件下的线性均衡批发价 $w(c_s,v_r,\theta)=\frac{1}{6}\theta+\frac{1}{3}c_s+\frac{1}{3}v_r$，此时供应商、零售商和供应链整体期望收益函数为

$$E\pi_s^c=w(c_s,v_r,\theta)q-\int_0^q b(q-x)g(x)\mathrm{d}x-\int_q^\infty g_s(x-q)g(x)\mathrm{d}x-c_sq-\lambda_1(q-q^*)^+-\lambda_2(q^*-q)^+$$
$$=(b+g_s)S_G(q)-[b-w(c_s,v_r,\theta)+c_s]q-g_s\mu_G-\lambda_1(q-q^*)^+-\lambda_2(q^*-q)^+ \tag{20}$$

$$E\pi_r^c=\int_0^q[p_0x+(b+v)(q-x)]g(x)\mathrm{d}x+\int_q^\infty[p_0q-g_r(x-q)]g(x)\mathrm{d}x-c_rq-w(c_s,v_r,\theta)q$$
$$=(p_0-b-v+g_r)S_G(q)-[w(c_s,v_r,\theta)+c_r-b-v]q-g_r\mu_G \tag{21}$$

$$E\pi_h=E\pi_s+E\pi_r=(p_0-v+g)S_G(q)-(c-v)q-g\mu_G-\lambda_1(q-q^*)^+-\lambda_2(q^*-q)^+ \tag{22}$$

2.3　价格随机的二级供应链回购契约模型

若突发事件不仅造成市场需求随机变化，还造成市场价格随机变化，市场需求分布函数和密度函数变为 $H(x)$ 和 $h(x)$，$H(x)$ 和 $h(x)$ 满足可微和单调递增，且 $H(0)=0$。期望需求 $\mu H=E_H(D)\int_0^\infty xh(x)\mathrm{d}x$，期望销售量 $S_H(q)=q-\int_0^q H(x)\mathrm{d}x$。突发事件发生引起市场需求发生变化，供应商依然需要增加扩大生产规模的边际生产成本 λ_1 或处理过剩产品的费用 λ_2，线性均衡批发价 $w(c_s,v_r,\theta)=\frac{1}{6}\theta+\frac{1}{3}c_s+\frac{1}{3}v_r$。需求发生变化的同时，市场价格也随供求关系的变化随机波动，即满足 $dp=[p_0+a(x-q)]\mathrm{d}x$。此时供应商、零售商和供应链期望收益函数为

$$E\pi_s^\mu=w(c_s,v_r,\theta)q-\int_0^q b(q-x)h(x)\mathrm{d}x-\int_q^\infty g_s(x-q)h(x)\mathrm{d}x-c_sq-B(q)$$
$$=(b-g_s)S_H(q)-[b-w(c_s,v_r,\theta)+c_s]q-g_s\mu_H-B(q) \tag{23}$$

$$E\pi_r^\mu=\int_0^q\{[p_0+a(x-q)]x+(b+v)(q-x)\}h(x)\mathrm{d}x+\int_q^\infty\{[p_0+a(x-q)]q-g_r(x-q)\}h(x)\mathrm{d}x-c_rq-w(c_s,v_r,\theta)q$$
$$=(p_0-b-v+g_r)S_H(q)-[w(c_s,v_r,\theta)+c_r-b-v]q-g_r\mu_H+A(q) \tag{24}$$

$$E\pi_h^\mu=E\pi_s^\mu+E\pi_r^\mu=(p_0-v+g)S_H(q)-(c-v)q-g\mu_G+A(q)-B(q) \tag{25}$$

其中：

$$A(q)=\int_0^q ax^2h(x)\mathrm{d}x-\int_0^q aqxh(x)\mathrm{d}x+\int_q^\infty aqxh(x)\mathrm{d}x-\int_q^\infty aq^2h(x)\mathrm{d}x$$
$$B(q)=\lambda_1(q-q^*)^++\lambda_2(q^*-q)^+$$

3　价格随机条件下基于双边拍卖的应急回购契约

本部分探讨当供应链外部遭遇市场价格发生随机波动的突发事件，并且供应链成员之间相互隐瞒私有信息时，通过双边拍卖确定线性均衡批发价，在此基础上采用回购契约协调二级供应链。

命题 1　价格随机的突发事件发生后，零售商调整对商品的估价，同时线性均衡批发价 $w(c_s,v_r,\theta)$ 调整为 $w^*(c_s,v_r,\theta)$。$w^*(c_s,v_r,\theta)$ 满足式(26)时，回购契约下二级供应链能够实现协调。

$$\begin{cases}w^*(c_s,v_r,\theta)=w(c_s,v_r,\theta)+\frac{1}{q}[(1-\eta)A(q)+\eta B(q)]\\ \eta(p_0-v+g)=p_0-b-v+g\\ \eta(c-v)=w(c_s,v_r,\theta)+c_r-b-v\\ 0<\eta<1\end{cases} \tag{26}$$

证明　将线性均衡批发价 $w(c_s,v_r,\theta)$ 调整为 $w^*(c_s,v_r,\theta)$，设 $\widetilde{E\pi_i^\mu}$ $(i=\mathrm{r},\mathrm{h})$ 分别代表价格随机的突发事件发生状态下，经调整后的零售商和供应链整体期望收益函数，根据式(24)可知零售商新的期望收益函数为

$$\widetilde{E\pi_r^\mu}=(p_0-b-v+g_r)S_H(q)-[w^*(c_s,v_r)+c_r-b-v]q-g_r\mu_H+A(q)$$
$$=(p_0-b-v+g_r)S_H(q)-[w(c_s,v_r)+c_r-b-v]q-[w^*(c_s,v_r)-w(c_s,v_r)]q-g_r\mu_H+A(q) \tag{27}$$

将式(26)条件代入式(27),可得

$$\widetilde{E\pi_{\mathrm{r}}^{\mu}}=\eta E\pi_{\mathrm{h}}^{\mu}+(\eta g-g_{\mathrm{r}})\mu_{\mathrm{H}} \tag{28}$$

由式(28)知,此时零售商期望收益函数为供应链整体期望收益函数的仿射函数($\widetilde{E\pi_{\mathrm{h}}^{\mu}}=E\pi_{\mathrm{h}}^{\mu}$),二级供应链能够实现协调。

命题2 发生价格随机的突发事件后,零售商的最优订货量 q_{r}^{*} 受其估价 v_{r} 影响。在供应链协调的约束条件下,供应链系统存在唯一的最优订货量 q^{*},q^{*} 不受零售商估价影响。

证明 对式(24)求一阶、二阶导数可得

$$\frac{\partial E\pi_{\mathrm{r}}^{\mu}}{\partial q}=(p_0-b-v+g_{\mathrm{r}})[1-H(q)]-[w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}},\theta)+c_{\mathrm{r}}-b-v-a\mu_{\mathrm{H}}+2aq]+2a\int_0^q H(x)\mathrm{d}x \tag{29}$$

$$\frac{\partial^2 E\pi_{\mathrm{r}}^{\mu}}{\partial q^2}=-(p_0-b-v+g_{\mathrm{r}})h(q)-2a[1-H(q)]<0 \tag{30}$$

由式(30)可知式(24)为严格凹函数,存在唯一的最大值,即存在唯一的最优订货量 q_{r}^{*},并满足下列方程:

$$(p_0-b-v+g_{\mathrm{r}})[1-H(q)]-[w(c_{\mathrm{s}},v_{\mathrm{r}},\theta)+c_{\mathrm{r}}-b-v-a\mu_{\mathrm{H}}+2aq]+2a\int_0^q H(x)\mathrm{d}x=0 \tag{31}$$

发生价格随机的突发事件后,由式(31)可知,零售商的最优订货量 q_{r}^{*} 为方程的解,受其估价 v_{r} 影响。

当 $q>q^{*}$ 时,式(25)简化为

$$E\pi_{\mathrm{h}}^{\mu}=(p_0-v+g)S_{\mathrm{H}}-(c-v)q-g\,\mu_{\mathrm{H}}-\lambda_1(q-q^{*})A(q) \tag{32}$$

对式(32)分别求一阶、二阶导可得

$$\frac{\partial E\pi_{\mathrm{h}}^{\mu}}{\partial q}=(p_0-v+g)[1-H(q)]-[c-v+\lambda_1-a\mu_{\mathrm{H}}+2aq]+2a\int_0^q H(x)\mathrm{d}x \tag{33}$$

$$\frac{\partial^2 E\pi_{\mathrm{h}}^{\mu}}{\partial q^2}=-(p_0-v+g)h(q)-2a[1-H(q)]<0 \tag{34}$$

由式(34)可得,式(32)为严格凹函数,存在唯一的最大值即最优订货量 q_{h}^{*},满足下列方程

$$(p_0-v+g)[1-H(q)]-[c-v+\lambda_1-a\mu_{\mathrm{H}}+2aq]+2a\int_0^q H(x)\mathrm{d}x=0 \tag{35}$$

当 $q<q_{\mathrm{h}}^{*}$ 时,同理可以得到最优订货量 q_{h}^{*} 满足下列方程

$$(p_0-v+g)[1-H(q)]-[c-v+\lambda_2-a\mu_{\mathrm{H}}+2aq]+2a\int_0^q H(x)\mathrm{d}x=0 \tag{36}$$

当发生价格随机的突发事件时,通过对批发价进行调整及式(26)约束可以实现供应链协调,此时供应链系统存在一个最优订货量。由式(35)和式(36)知最优订货量不受零售商估价影响,确定契约中相关参数后可以得到具体的订货量。

4 算例分析

进一步讨论价格随机的突发事件下零售商估价对契约参数的影响。假设生产和销售某商品的各项参数如下:$p_0=2$,$c_{\mathrm{r}}=0.1$,$c_{\mathrm{s}}=0.2$,$g_{\mathrm{r}}=0.1$,$g_{\mathrm{s}}=0.1$,$v=0.1$,$a=0.001\,1$,$\lambda_1=0.5$,$\lambda_2=0.3$(字母含义见前文)。考虑以下几种销售情形:① 未发生突发事件时,市场需求分布服从 $X\sim N(10\,000,100^2)$;② 需求增加、价格稳定的突发事件下,市场需求的分布服从 $X\sim N(12\,000,100^2)$;③ 需求减少、价格稳定的突发事件下市场需求的分布服从 $X\sim N(8\,000,100^2)$;④ 需求大幅增加、价格随机的突发事件下,市场需求分布服从正态分布 $X\sim N(15\,000,100^2)$;⑤ 需求大幅减少、价格随机的突发事件下,市场需求分布服从正态分布 $X\sim N(5\,000,100^2)$。根据双边拍卖的假定,零售商估价经规范化处理后服从[0,1]均匀分布,线性定价决策下 $v_{\mathrm{r}}\geq\frac{1}{4}+c_{\mathrm{s}}$ 时双方才能发生交易,$v_{\mathrm{r}}\in[0.5,1]$。结合双边拍卖特征及市场需求分布情况,以0.1为步长分别讨论五种情形下零售商估价 v_r 对批发价、零售商利润、供应链整体利润及零售商占整个供应链系统利润的权重的影响。计算结果如表1~表5所示。

表 1　未发生突发事件时零售商估价和契约参数

Tab.1　Retailer valuation and contract parameters in case of no emergency

零售商估价 v_{r}	线性均衡批发价 $w(v_{\mathrm{r}})$	零售商利润 $E\pi_{\mathrm{r}}$	供应链整体利润 $E\pi_{\mathrm{h}}$	$\eta=E\pi_{\mathrm{r}}/E\pi_{\mathrm{h}}$
0.5	0.400 0	14 965.38	16 960.74	0.897 4
0.6	0.433 3	14 632.74	16 960.74	0.877 2
0.7	0.466 7	14 300.10	16 960.74	0.859 6
0.8	0.500 0	13 967.45	16 960.74	0.842 1
0.9	0.533 3	13 634.81	16 960.74	0.824 6
1.0	0.566 7	13 302.17	16 960.74	0.807 0

表 2　需求增大、价格稳定的突发事件下零售商估价和契约参数

Tab.2　Retailer valuation and contract parameters with increased demand and stable prices emergencies

零售商估价 v_{r}	线性均衡批发价 $w(v_{\mathrm{r}},\theta)$	零售商利润 $E\pi_{\mathrm{r}}^{\mathrm{c}}$	供应链整体利润 $E\pi_{\mathrm{h}}^{\mathrm{c}}$	$\eta=E\pi_{\mathrm{r}}^{\mathrm{c}}/E\pi_{\mathrm{h}}^{\mathrm{c}}$
0.5	0.431 5	17 586.34	20 575.76	0.878 2
0.6	0.464 8	17 187.08	20 575.76	0.860 6
0.7	0.498 1	16 787.81	20 575.76	0.843 1
0.8	0.531 5	16 388.54	20 575.76	0.825 6
0.9	0.564 7	15 989.29	20 575.76	0.808 0
1.0	0.598 1	15 590.02	20 575.76	0.790 4

表 3　需求减少、价格稳定的突发事件下零售商估价和契约参数

Tab.3　Retailer valuation and contract parameters with reduced demand and stable prices emergencies

零售商估价 v_{r}	线性均衡批发价 $w(v_{\mathrm{r}},\theta)$	零售商利润 $E\pi_{\mathrm{r}}^{\mathrm{c}}$	供应链整体利润 $E\pi_{\mathrm{h}}^{\mathrm{c}}$	$\eta=E\pi_{\mathrm{r}}^{\mathrm{c}}/E\pi_{\mathrm{h}}^{\mathrm{c}}$
0.5	0.366 1	12 237.36	13 917.37	0.912 6
0.6	0.399 5	11 971.35	13 917.37	0.895 0
0.7	0.432 8	11 705.34	13 917.37	0.877 5
0.8	0.466 1	11 439.33	13 917.37	0.859 9
0.9	0.499 5	11 173.32	13 917.37	0.842 4
1.0	0.532 8	10 907.32	13 917.37	0.824 9

表 4　需求增大、价格随机的突发事件下零售商估价和契约参数

Tab.4　Retailer valuation and contract parameters with increased demand and random prices emergencies

零售商估价 v_{r}	线性均衡批发价 $w^{*}(v_{\mathrm{r}},\theta)$	零售商利润 $E\pi_{\mathrm{r}}^{\mu}$	供应链整体利润 $E\pi_{\mathrm{h}}^{\mu}$	$\eta=E\pi_{\mathrm{r}}^{\mu}/E\pi_{\mathrm{h}}^{\mu}$
0.5	0.612 0	18 626.00	21 804.00	0.856 9
0.6	0.643 5	18 169.25	21 804.00	0.839 4
0.7	0.675 0	17 712.50	21 804.00	0.821 8
0.8	0.706 4	17 257.20	21 804.00	0.804 3
0.9	0.738 0	16 799.00	21 804.00	0.786 7
1.0	0.769 4	16 343.70	21 804.00	0.769 2

表 5 需求减少、价格随机的突发事件下零售商估价和契约参数
Tab.5 Retailer valuation and contract parameters with reduced demand and random price emergencies

零售商估价 v_r	线性均衡批发价 $w^*(v_r,\theta)$	零售商利润 $E\pi_r^\mu$	供应链整体利润 $E\pi_h^\mu$	$\eta=E\pi_r^\mu / E\pi_h^\mu$
0.5	0.545 7	8 178.08	8 850.42	0.929 8
0.6	0.582 8	7 956.28	8 850.42	0.912 3
0.7	0.619 9	7 733.02	8 850.42	0.894 7
0.8	0.657 0	7 511.22	8 850.42	0.877 2
0.9	0.694 1	7 289.42	8 850.42	0.859 6
1.0	0.731 2	7 069.09	8 850.42	0.842 1

数据分析：

1) 由表 1~表 5 可知：不同市场条件下，当零售商对商品估价 v_r 在[0.5，1]区间内增大时，供应链整体利润不变，线性均衡批发价均随之增大，零售商利润和零售商占整个供应链系统利润的权重均随之减少。

2) 由表 1 可知，未发生突发事件时，供应链整体利润 $E\pi_h$=16 960.74、均衡批发价变动范围为[0.400 0，0.566 7]、零售商期望利润变动范围为[13 302.17，14 965.38]、零售商占整个供应链系统利润的权重变动范围为[0.807 0，0.897 4]。

3) 比较表 1~表 3，市场需求变动、价格稳定的突发事件发生时，不论需求增大还是减少线性均衡批发价格均会改变，进而影响零售商期望利润。需求增大时，供应链整体利润 $E\pi_h^c$=20 575.76，批发价、零售商期望利润和零售商占整个供应链系统利润的权重变动范围分别为 [0.431 5，0.598 1]、[15 590.02，17 586.34]、[0.790 4，0.878 2]，同未发生突发事件相比，线性均衡批发价及零售商期望利润都有所提高，但零售商占整个供应链系统利润的权重会降低。需求减少时，供应链整体利润 $E\pi_h^c$=13 917.37，批发价、零售商期望利润和零售商占整个供应链系统利润的权重变动范围分别为 [0.366 1，0.528]、[10 907.32，12 237.36]、[0.824 9，0.912 6]，同未发生突发事件相比，线性均衡批发价及零售商期望利润都会降低，但零售商占整个供应链系统利润的权重会提高。

4) 由表 4、表 5 可知：价格随机的突发事件下，市场需求增大时批发价变动范围为[0.612 0，0.769 4]，需求减少时批发价变动范围为[0.545 7，0.731 2]。对比表 2、表 3 中批发价可得：不论需求量增加还是减少，线性均衡批发价均呈正向增加，即价格随机的突发事件发生时，不论市场需求增大或是减少，零售商只有正向调整线性均衡批发价，才能实现供应链协调。

5 结 论

考虑到突发事件导致市场价格随机波动条件、供应链成员间信息不对称的情形。通过双边拍卖确定线性均衡批发价，并用回购契约协调二级供应链，得出以下几点结论。

1) 信息不对称下批发价的制定过程实际上是不完全信息博弈过程，通过双边拍卖确定的线性均衡批发价同时考虑到了供应商生产成本和零售商估价，能够降低信息不对称对批发价定价决策的影响。相比单边拍卖均衡价格，双边拍卖线性均衡定价策略下买卖双方拥有更高的交易效率，更高的交易效率有利于商品在供应商和零售商之间的流转(见文献[9])。

2) 双边拍卖定价策略下，供应链最优订货量和供应链整体利润不受零售商估价的影响，估价高低只决定供应链整体利润在供应链成员间的分配。结合算例分析结果可知：突发事件导致市场需求发生变动时，零售商会根据市场需求情况调整对商品的估价。线性均衡批发价由供应商生产成本和零售商估价共同决定，因此零售商对批发价的估值会受突发事件的影响，估值大小影响零售商占整个供应链系统利润的权重，估价越低零售商占整个供应链利润越高。管理实践中，在满足一定约束条件下，零售商应尽量低估商品的价格，这样可提高零售商占整个供应链系统利润的权重。

3) 发生价格随机的突发事件时,运用回购契约协调二级供应链时,合理设置线性均衡批发价能够实现供应链协调。针对突发事件致使价格随机的情况,管理者通过对批发价作出恰当的调整,能够使供应链再次恢复协调。

本研究基于简单的二级供应链,考虑突发事件造成市场需求和市场价格波动的情形,在此基础上,可以进一步将供应链系统拓展为一对多或多对多的复杂供应链系统。此条件下,如何通过博弈方法对批发价进行定价并实现供应链协调,值得进一步深究。

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] KANDEL E. The right to return[J]. Journal of Law and Economics,1999,39(3):329-356.

[3] GUANG X,DENG X,QIN Y,et al. Buyback contract coordinating supply chain incorporated risk aversion[J]. Research Journal of Applied Sciences Engineering & Technology,2013,5(5):1744-1749.

[4] WEI J,TANG J. Analysis on the Stackelberg game model and risk sharing based on buyback contract[J]. Journal of Theoretical & Applied Information Technology,2013,48(2):1025-1031.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 吴双胜,刘浪,穆昌兵. 价格随机条件下参与者均风险厌恶的应急数量弹性契约研究[J]. 华东交通大学学报,2017,34(4):75-83.

[8] 石岩,谢富纪,刘浪. 技术拍卖的最优机制[J]. 管理科学学报,2016,19(5):28-40.

[9] 石岩,谢富纪,刘浪. 基于股份支付的技术拍卖[J]. 系统工程理论与实践,2016,36(2):326-334.

[10] ROGER B M,MARK A S. Efficient mechanisms for bilateral trading[J]. Journal of Economic Theory,1983,29(2):265-281.

[11] 姚珣,唐小我,潘景铭. 基于双向拍卖机制的供应链回购契约研究[J]. 管理学报,2009,6(11):1444-1448.

[12] CHEN R R,ROUNDY R O,ZHANG,R Q,et al. Efficient auction mechanisms for supply chain procurement[J]. Management Science,2005,51(3):467-482.

[13] VIPUL J,GAJANAN B P,SAMEER K. Universal supplier selection via multi-dimensional auction mechanisms for two-way competition in oligopoly market of supply chain[J]. Omega,2014,47:127-137.

[14] 卓翔芝,王旭. 供应商一级密封报价博弈模型研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(15):213-215.

[15] LORENTZIADIS P L. Pricing in a supply chain for auction bidding under information asymmetry[J]. European Journal of Operational Research,2014,237(3):871-886.

[16] 杨森,王先甲,方德斌. 基于序贯拍卖的最优折扣机制设计[J]. 系统工程学报,2017,32(4):454-460.

[17] 李志鹏,黄河,徐鸿雁. 供应风险下双源采购批发单价拍卖最优设计[J]. 管理科学学报,2017,20(8):39-49.

[18] 田剑,陈曲. 多属性逆向拍卖环境下采供双方利润分配研究[J]. 系统工程学报,2013,28(1):55-65.

[19] CONGJUN R,XINPING X,MARK G,et al. Compound mechanism design of supplier selection based on multi-attribute auction and risk management of supply chain[J]. Computers & Industrial Engineering,2017,105:63-75.

[20] 吴江华,翟昕. 基于回购合同的多属性拍卖模型[J]. 中国管理科学,2012,20(S1):380-384.

[21] 周学广,张坚,梅强,等. 基于多属性逆向拍卖的博弈分析[J]. 管理工程学报,2011,25(2):200-205.

[22] PETR F. Supply chain coordination with auctions[J]. Journal of Business Economics,2016(86):1-2.

Emergency Repurchase Contract of Two-Way Auction Under the Condition of Random Price

Jia Xiru[1], Liu Chongguang[1], Liu Lang[1,2]

(1. School of Economics and Management, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;
2. Collaborative Innovation Center for Aviation Economy Development of Henan Province, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: The unexpected events can lead to the random fluctuation of the market demand and price, and the information asymmetry of supply chain members as well. Under this condition, the linear equilibrium wholesale price was determined through two-way auction. Then, emergency repurchase contract was used to coordinate the two-level supply chain and obtain the constraints of contract parameters. Finally, an example was given to analyze the impact of emergencies on the overall profit distribution in the supply chain. The research results show that when an emergency with increasing demand occurs, the linear equilibrium wholesale price and the expected profits of retailers will increase, but the weight of the retailers' expected profits in the entire supply chain will be reduced. However, when an emergency with decreasing demand occurs, the linear equilibrium wholesale price and the expected profits of retailers will be reduced, but the weight of the retailers' expected profits in the entire supply chain will increase. In addition, under certain constraints, the lower the retailer´s valuation of goods is, the higher the weight of its profits in the entire supply chain is.

Key words: random market price; information asymmetry; two-way auction; repurchase contract; supply chain coordination