基于期权和 B2B 电子交易的供应链均衡策略①

尤晓岚[1,3]，冯耕中[1,3]，徐金鹏[1,3]，汪寿阳[2]
(1. 西安交通大学管理学院，西安 710049; 2. 中国科学院数学与系统科学研究院，北京 100190;
3. 过程控制与效率工程教育部重点实验室，西安 710049)

摘要: 在电子交易市场具有流动性约束的限制下,研究了供应链企业基于运作和投机的目的,签订期权合约和电子市场现货交易的最优策略.设计了由一个生产商、一个零售商和一个第三方 B2B 电子交易市场组成的供应链,以生产商为供应链主导,在产能不限和产能较小两种情况下,研究了生产商和零售商的均衡策略,并对现货价格和零售需求服从均匀分布情形做了进一步探讨.最后通过模型和算例,讨论了电子市场现货流动性对参与者行为和供应链均衡结果的影响.

关键词: B2B 电子交易市场; 期权合约; 市场流动性; 供应链均衡
中图分类号: F253.2　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1007－9807(2014)06－0001－12

0 引　言

近年来,第三方 B2B 电子交易市场在中国发展迅速,交易品种涉及工业原材料、能源以及农副产品等诸多领域,2009 年国内 56 家规模较大的电子交易市场的交易总金额达到 1.8 万亿元,而 2011 年全国电子交易市场仅前 10 个月的交易额已突破 10 万亿元. 随着市场所提供的现货交易逐渐成为供应链上众多企业的重要采购与销售渠道,第三方电子交易市场功能越发完善,并依靠其强大的流通功能在供应链中占据一席之地,改变了供应链传统的线性结构,形成了新的网络状结构. 另外,电子交易市场的价格发现功能也在实践中逐渐得以体现,市场为供应链企业提供了公开、透明的价格信号,促使传统企业不得不参考市场的供需信息,来调整自身的定价策略,供应链的定价主导权发生了转移. 例如上海大宗钢铁电子交易市场提供的价格信息,目前已成为钢铁行业的价格风向标. 电子交易市场不仅给供应链带来了新的变化,同时也给供应链中的企业带来了新的决策问题. 特别是在供应链渠道研究中,电子交易市场发挥的作用及其在整个供应链中的地位不容忽视,传统的供应链均衡被打破,生产商在作出定价决策时必须参考电子现货交易的价格信息,而零售商需要综合考虑线下与线上渠道,以作出最符合自身利益的采购策略.

因此,电子交易与供应链中其他采购渠道的整合问题成为管理科学领域的研究热点. 一些学者从整合电子交易市场现货采购与传统长期合约的角度,研究了新环境下的企业行为[1-8]. 其中文献[3]认为当电子交易市场和传统合约同时作为采购渠道时,零售商的利润和服务水平都会得到提高,但利润波动的风险也会增加; 文献[6-8]在考虑企业投机性和风险态度的基础上,研究了电子交易市场与传统合约同时存在时零售商的采购策略和供应链均衡问题. 还有学者研究了电子

① 收稿日期: 2012－04－10; 修订日期: 2012－11－03.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71072131); 国家科技支撑计划资助项目(2012BAH21F01).
作者简介: 尤晓岚(1987—),女,安徽霍邱人,博士生. Email: xiaolanyouyou@foxmail.com

交易市场与期权合约同时存在时的供应链决策问题[9-19]. 其中文献[10-12]用市场准入程度来衡量现货市场的流动性风险,研究了供应链中企业的策略选择. 文献[14-16]沿着这一框架继续了进一步的研究. 还有极少数学者研究了电子现货采购、期权合约、传统长期合约三种采购渠道同时存在时的零售商采购决策问题[20-21].

而中国的第三方 B2B 电子交易市场在实践中有其特殊性,这些特殊性也是现有研究中容易被忽视的. 一方面,与国外电子交易市场以一对多竞价模式为主不同,中国的第三方 B2B 电子交易市场以多对多动态撮合交易为主,这种交易模式导致市场中的买卖双方都会面临一定的市场流动性风险,即只能以一定的概率在一段时间内以市价买入或卖出产品,这一点在文献[21]对零售商采购策略的研究中有所涉及. 而在其他考虑了市场流动性的国内供应链合约整合研究中,沿用的均是 Wu 与 Kleindorfer 在文献[10-12]中对市场流动性的定义,只考虑拍卖方的市场准入程度. 另一方面,中国的第三方 B2B 电子交易市场也吸引了一部分的投机需求,即市场同时兼备了流通渠道和投机渠道两种功能,这点在文献[6-8]中有所涉及. 在已有的供应链均衡研究中,综合考虑国内 B2B 电子交易市场两点特殊性的文献尚未见到. 因此本文在综合考虑中国第三方 B2B 电子交易市场实践特殊性的基础上,研究了电子交易市场现货交易和期权合约同时存在下供应链均衡决策问题.

1　问题描述及模型建立

本文以 B2B 电子交易市场下的单周期两阶段供应链模型为背景,如图 1 所示. 供应链中存在一个生产标准化产品的生产商(记为“Seller”)、一个风险中立的零售商(记为“Buyer”)和一个第三方 B2B 电子交易市场. 在销售期到来之前,生产商作为供应链主导者,通过决定期权合约的预定价格和执行价格来最大化自身的预期利润,零售商作为跟随者,通过决定是否购买期权合约以及购买数量来最大化自身的预期利润. 当销售期到来时,为了保证产品的市场占有率,零售商必须首先满足零售渠道发生的需求,这时零售商可以选择全部或者部分执行已购买的期权,也可以选择放弃期权而从电子交易市场中购买现货. 在零售渠道需求已满足的情况下,甚至可以将多余的期权执行后再转手到电子交易市场上投机卖掉. 而生产商此时除了要交付零售商所执行的期权数量外,剩余的产能也可以在电子交易市场上卖掉. 当然电子交易市场中发生的一切交易均受市场流动性影响. 本文假设电子交易市场的现货价格和零售市场的需求均为公开信息,并且其分布函数均可以通过市场的历史数据预先推断出来. 表 1 总结了供应链模型中所涉及到的变量和参数. 本文不考虑产品的残值和零售市场的缺货惩罚. 同时,由于市场的交易费用相比较产品价值来说较小,本文也不考虑.

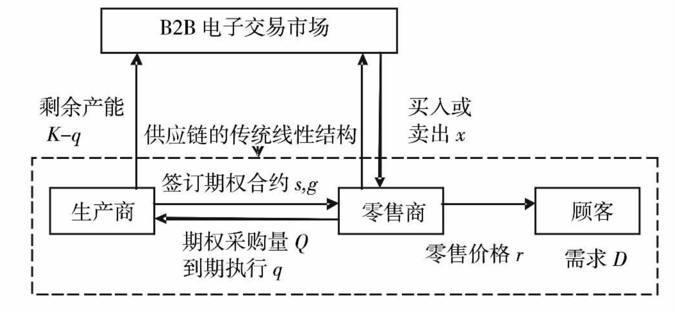

图 1　B2B 电子交易市场下供应链模型的网络结构

Fig. 1 The supply chain structure in the presence of B2B online spot market

表 1　变量及参数的含义

Table 1 Notation

来源	符号	定义
生产商	s	期权合约的预定价格
	g	期权合约的执行价格
	b	每单位产品的生产成本
	K	生产商的最大产能
零售商	Q	零售商向生产商购买的期权数量
	q	期权到期后,零售商执行的期权数量
	x	零售商在电子交易市场上买卖现货的数量
零售市场	r	产品的零售价格,为外生变量
	D	产品在零售市场的需求,为随机变量,概率密度函数为 $f_D(D)$,累积密度函数为 $F_D(D)$,均值为 $\bar{D}$,其中 $F_D(D)$ 在分布区间 $[D_L, D_H]$ 内连续、可导且严格递增.
电子交易市场	P_e	电子交易市场的现货价格,为随机变量,概率密度函数为 $f_P(P_e)$,累积密度函数为 $F_P(P_e)$,均值为 $\bar{P}_e$,其中 $F_P(P_e)$ 在分布区间 $[P_L, P_H]$ 内连续、可导且严格递增.
	m	在电子交易市场进行现货交易时的市场流动性,即在一段时间内能够以市价买入或卖出产品的概率,$0 \leqslant m \leqslant 1$.

1.1　零售商的决策

零售商作为跟随者,签订了数量为 Q 的期权合约. 在销售期到来后,电子交易市场的现货价格 P_e 和零售市场的需求 D 实现,并且均可以被供应链企业观察到. 面对执行价格为 g 的期权合约,对比电子交易市场中当前观察到的现货价格 P_e,理性的零售商会优先选择对自己有利的价格进行交易:

如果期权执行价格 g 低于当前市价 P_e,零售商会先执行期权: 如果 Q 超出零售需求 D 的部分可以转手到电子交易市场里投机卖掉,则执行全部期权,否则只执行能够满足 D 的期权; 若是 Q 不够满足 D,则需要再从电子交易市场中购买. 无论买卖,由于市场流动性限制,都是仅有 m 的可能性能够在短期内达成交易.

如果期权执行价格 g 高于当前市价 P_e,零售商会先去电子交易市场购买现货,由于市场流动性影响,仅有 m 的概率能够在短期内成交; 当然也有 $1-m$ 的概率不能及时达成交易,那就必须执行期权来满足零售需求,期权的执行量为 $\min[D,Q]$.

销售期到来之后,零售商的利润可以表示为

$$\pi_b = -sQ - gq + mP_e x + r(q - mx) \tag{1}$$

令指示函数为 $\chi(z) = \{1, \text{if } z > 0;\ 0, \text{if } z \leqslant 0\}$, 则有 $x = Q\chi(P_e - g) - D$, $q = [Q-(1-m)(Q-D)^+]\chi(P_e-g) + (1-m)\min[D,Q]\chi(g-P_e)$.

式(1) 可整理为

$$\begin{aligned}\pi_b = & -sQ + \{m(r-P_e)D + (1-m)(r-g) \times \\ & \min[D,Q]\}\chi(g-P_e) + \{-g[Q-(1-m) \times \\ & (Q-D)^+] + P_e m(Q-D) + r[D-(1-m) \times \\ & (D-Q)^+]\}\chi(P_e - g)\end{aligned} \tag{2}$$

由于电子交易市场现货价格 P_e 和零售市场需求 D 的分布函数已知,销售期到来之前,零售商的预期利润函数可以写作

$$\begin{aligned}E_D E_{P_e}(\pi_b) = & [-s-g+mE(g-P_e)^+]E\min[D,Q] + \\ & [s+mE(P_e-g)^+]E(Q-D)^+ + \\ & m(r-P_e)E(D-Q)^+\end{aligned} \tag{3}$$

上式等号后的第一行表示零售商在两种渠道都参与时采购 $\min[D,Q]$ 的收益; 第二行表示当 $Q > D$ 时为了在电子交易市场上投机而执行了超出需求的期权,第三行表示当 $D > Q$ 时需要另外从电子交易市场购买现货以满足超出订购量的需求.

对于零售商来说,不管是期权价格还是电子交

易市场的价格，都必须小于零售价格，即，$s+g<r$，$b\leqslant g<r$.

为了保证当电子交易市场存在时，零售商仍会去购买期权，需满足零售商在两种渠道都参与时的收益不小于只从电子交易市场购买的收益. 因此采购 $\min[D,Q]$ 单位的产品时，零售商的单位收益应满足 $r-s-g+mE(g-P_e)^+\geqslant m(r-P_e)$，整理可得

$$s\leqslant(1-m)(r-g)+mE(P_e-g)^+ \tag{4}$$

在销售期里，零售商的投机收益为正时，投机行为才会存在，即 $mE(P_e-g)^+\geqslant 0$.

1.2 生产商的决策

销售期到来后，生产商在交付零售商的期权执行量 q 以后，在有利可图的情况下，即当电子交易市场的现货价格大于其生产成本时，生产商可以将没有交付的产品以及多余的产能在电子交易市场上卖掉. 由于市场流动性的影响，生产商只有 m 的概率可以及时卖掉产品；如果产品无法及时以当前现货价格卖掉，则按照生产成本将产品计入库存价值中，即这部分收入与成本相抵，因此不计入模型的计算过程. 这种假设也可以与现实生产活动中的某些现象呼应. 例如在钢材制品行业中，由于生产过程中设备的安置费用和启动成本较高，中小型生产商(特别是标准件生产企业)无法承受设备闲置带来的资金损失，因此一旦开启生产线，生产商就要尽可能按照最大产能来安排生产，杜绝设备空闲的状态发生.

因此销售期到来之前，生产商的预期利润函数可以写为

$$E_DE_{p_e}(\pi_s)=E_DE_{p_e}[sQ+(g-b)q+m(P_e-b)^+(K-q)] \tag{5}$$

上式等号后的第一部分 sQ 表示在销售期到来之前，生产商通过与零售商签订期权合约所得到的预定款；第二部分 $(g-b)q$ 表示销售期到来之后，生产商通过交付给零售商 q 单位产品所得到的纯利润；第三部分 $m(P_e-b)^+(K-q)$ 表示在生产商交付完产品之后，如果此时电子交易市场的现货价格大于生产成本，生产商可以将剩余的产品都投入到电子交易市场上卖掉，m 表示能够及时卖掉的概率，如果没有及时卖掉，剩余的产品回收价值与生产成本相抵，不计入模型计算中.

对于生产商来说，期权的执行价格不应该小于生产成本，否则期权到期后生产商没有动力去交付产品以完成合作，即 $g\geqslant b$. 同时由于电子交易市场的价格波动一般比较剧烈，本文规定 $P_L\leqslant b\leqslant\overline{P}_e$，只有当电子交易市场的现货价格大于生产成本时，生产商在销售期才会在市场上销售剩余产能.

由于生产商在供应链中处于主导地位，为保证在电子交易市场存在的情况下，生产商仍愿意提前给出期权合约，模型假设生产商在销售期到来之前卖掉一单位期权所得到的收益，大于生产商在销售期到来之后直接从电子交易市场卖掉一单位产品得到的预期收益[11].

$$s\geqslant mE(P_e-b)^+ \tag{6}$$

2 均衡策略求解

2.1 电子交易市场没有流动性约束($m=1$)

当 $m=1$ 时，电子交易市场是完全自由的市场，在市场中参与交易的双方均可及时地以市价完成交易，不受流动性的限制，此时交易双方的预期利润函数为

$$\begin{aligned}E_DE_{p_e}(\pi_b)&=E_DE_{p_e}\{-sQ+(r-P_e)D\chi(g-P_e)+\\&\quad[D+P_e(Q-D)^+-gQ-P_e(D-Q)^+]\chi(P_e-g)\}\\&=(r-\overline{P}_e)\overline{D}-[s-E(P_e-g)^+]Q\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}E_DE_{p_e}(\pi_s)&=E_DE_{p_e}\{sQ+(g-b)D\chi(P_e-g)+\\&\quad(P_e-b)^+[K-Q\chi(P_e-g)]\}\\&=E(P_e-b)^+K+[s-E(\overline{P}_e-g)^+]Q\end{aligned} \tag{8}$$

分析可得生产商和零售商的最优策略，如命题 1.

命题 1 在完全自由的电子交易市场下，生产商提供的期权合约最优预定价格和执行价格分别为 $s^*=E(P_e-b)^+$，$g^*=b$. 此时双方利润均与期权订购量 Q 无关，零售商预期利润为 $\pi_{b1}=(r-\overline{P}_e)\overline{D}$，而生产商预期利润为 $\pi_{s1}=E(P_e-b)^+K$.

证明　当 $s > E(P_e - g)^+$ 时,零售商不会去购买期权,而是完全在电子交易市场下进行采购. 当 $s < E(P_e - g)^+$ 时,生产商不会提供期权合约,而是将自己的产能全部在电子交易市场中卖出. 因此,只有当 $s = E(P_e - g)^+$ 时,供应链中企业才有可能达成期权合约,而零售商和生产商的利润均与期权订购量无关.

此时,对于生产商来说,将一单位产品卖给零售商的预期收益应该不小于直接卖给电子交易市场的预期收益,即 $E[s + (g - b)\chi(P_e - g)] = \int_{P_e>g}(P_e - b)f_P\mathrm{d}P_e \geqslant \int_{P_e>b}(P_e - b)f_P\mathrm{d}P_e$,推知 $g \leqslant b$. 又由于模型假设存在 $g \geqslant b$,因此对于生产商来说期权的最优执行价格有 $g^* = b$,而最优预定价格应该为 $s^* = E(P_e - b)^+$.　　证毕.

2.2　电子交易市场受限于流动性约束($0 \leqslant m < 1$)

2.2.1　零售商的最优决策问题

在销售期到来之前,零售商需要根据生产商提供的期权合约价格,来决定期权的预定购买数量,以最大化自身的预期收益,因此零售商的最优决策问题为

$$\begin{aligned}\max_{Q\geqslant 0} E_D E_{p_e}(\pi_b) = \max_{Q\geqslant 0}\Big\{ & \Big[-s - g + m\int_{P_e<g}(g - P_e)f_P\mathrm{d}P_e\Big] \times \\ & \Big(\int_{D>Q} Qf_D\mathrm{d}D + \int_{D<Q} Df_D\mathrm{d}D\Big) + \\ & \Big[-s + \int_{P_e>g} m(P_e - g)f_P\mathrm{d}P_e\Big] \times \\ & \int_{D<Q}(Q-D)f_D\mathrm{d}D + m(r - \bar{P}_e) \times \\ & \int_{D>Q}(Q - D)f_D\mathrm{d}D\Big\}\end{aligned} \tag{9}$$

s.t.　　$Q \leqslant K$

通过求解,可以得出零售商的最优反应函数,如命题 2.

命题 2　$E_D E_{p_e}(\pi_b)$ 是 Q 的凹函数; 零售商的最优期权订购量为 $Q^* = \min\left\{F_D^{-1}\left[1 - \frac{s - mE(P_e - g)^+}{(1 - m)(r - g)}\right], K\right\}$,其中 $F_D^{-1}(\cdot)$ 表示逆函数,$0 \leqslant m < 1$.

1) 当 $s \leqslant (1 - m)(r - g)[1 - F_D(K)] + mE(P_e - g)^+$ 时,$Q^* = K$;

2) 当 $Q^* = F_D^{-1}\left[1 - \frac{s - mE(P_e - g)^+}{(1 - m)(r - g)}\right] < K$ 时,有以下各式存在:

$$\frac{\partial Q^*}{\partial s} = -\frac{1}{(1 - m)(r - g)f_D(Q^*)} < 0,$$

$$\frac{\partial Q^*}{\partial g} = -\frac{s + m\int_{P_e>g}(r - P_e)f_P\mathrm{d}P_e}{(1 - m)(r - g)^2 f_D(Q^*)} < 0,$$

$$\left|\frac{\partial Q^*}{\partial s}\right| \geqslant \left|\frac{\partial Q^*}{\partial g}\right|;$$

$$\frac{\partial q}{\partial s} = -\frac{s + m\int_{P_e>g}(r - P_e)f_P\mathrm{d}P_e}{(1 - m)(r - g)^2 f_D(Q^*)} < 0,$$

$$\frac{\partial q}{\partial g} = -\frac{\left(s + m\int_{P_e>g}(r - P_e)f_P\mathrm{d}P_e\right)^2}{(1 - m)(r - g)^3 f_D(Q^*)} - mQ^* f_P(g) < 0,$$

$$\left|\frac{\partial q}{\partial s}\right| < \left|\frac{\partial q}{\partial g}\right|.$$

证明　1) 由零售商的预期利润函数为

$$\begin{aligned}E_D E_{p_e}(\pi_b) = & [(1-m)(r-g) - s + mE(P_e - g)^+] \times \\ & Q - (1-m)(r-g)\int_{D<Q}(Q-D) \times \\ & f_D(D)\mathrm{d}D + m\bar{D}(r - \bar{P}_e)\end{aligned}$$

对 Q 求导可得,$\frac{\partial^2 \pi_b}{\partial Q^2} = -(1 - m)(r - g)f_D(Q) < 0$,因此 $E_D E_{p_e}(\pi_b)$ 是 Q 的凹函数,令 $\frac{\partial E_D E_{p_e}(\pi_b)}{\partial Q} = 0$,可使得 $E_D E_{p_e}(\pi_b)$ 达到最大值点的 Q^*,即 $F_D(Q^*) = 1 - \frac{s - mE(P_e - g)^+}{(1 - m)(r - g)}$.

又由于 $Q \leqslant K$,可知 $Q^* = F_D^{-1}\left[1 - \frac{s - mE(P_e - g)^+}{(1 - m)(r - g)}\right] < K$.

2) 对 $F_D(Q^*)$ 求导可得 $\frac{\partial Q^*}{\partial s} = -\frac{1}{(1-m)(r-g)f_D(Q^*)}$,$\frac{\partial Q^*}{\partial g} = -\frac{s + m\int_{P_e>g}(r-P_e)f_P\mathrm{d}P_e}{(1-m)(r-g)^2 f_D(Q^*)}$,由于 $f_D(Q^*) \geqslant 0$,则 $\frac{\partial Q^*}{\partial s} < 0$,$\frac{\partial Q^*}{\partial g} < 0$. 又由于 $s \leqslant$

$(1-m)(r-g)+mE(P_e-g)^+$，可得

$$s+m\int_{P_e>g}(r-P_e)f_P\mathrm{d}P_e\leqslant(1-m)(r-g)+$$
$$m\int_{P_e>g}(P_e-g)f_P\mathrm{d}P_e+m\int_{P_e>g}(r-P_e)f_P\mathrm{d}P_e$$
$$=(1-m)(r-g)+m\int_{P_e>g}(r-g)f_P\mathrm{d}P_e\leqslant$$
$$(1-m)(r-g)+m(r-g)=r-g$$

因此 $\left|\frac{\partial Q^*}{\partial g}\right|=\frac{s+m\int_{P_e>g}(r-P_e)f_P\mathrm{d}P_e}{(1-m)(r-g)^2f_D(Q^*)}=$

$$\left|\frac{\partial Q^*}{\partial s}\right|\frac{s+m\int_{P_e>g}(r-P_e)f_P\mathrm{d}P_e}{r-g}\leqslant\left|\frac{\partial Q^*}{\partial s}\right|$$

同理，$q=[1-mF_P(g)]Q^*-(1-m)(Q^*-D)^+$，对 q 分别求 s 和 g 的导数，可得结论. 证毕.

根据命题 2 中的结论，可知期权执行价格上涨一单位引起的期权订购量下降值，不大于由期权预定价格上涨一单位而引起的期权订购量下降值. 相反的，由期权执行价格降低一单位而引起的期权执行量增加值，大于由期权预定价格降低一单位而引起的期权执行量增加值. 因此，生产商若是想促进零售商增加订购量，那么降低预定价格要比降低执行价格效果更好；若是想刺激零售商多执行期权，那么降低执行价格要比降低预定价格效果更好.

2.2.2 产能较大($K>Q^*$)时生产商的最优决策问题

生产商需要在销售期来临之前，决策出期权的最优合约价格 $[s,g]$，并提供给零售商，以最大化自身的预期收益

$$\max_{s,g\geqslant0}E_DE_{P_e}(\pi_s)=\max_{s,g\geqslant0}\{sQ^*+(g-b)\int_{P_e>g}f_P\mathrm{d}P_e\times$$
$$[Q^*-(1-m)\int_{D<Q^*}(Q^*-D)f_D\mathrm{d}D]+$$
$$(g-b)(1-m)\int_{P_e<g}f_P\mathrm{d}P_e\times$$
$$[\int_{D<Q^*}Df_D\mathrm{d}D+\int_{D>Q^*}Q^*f_D\mathrm{d}D]+$$
$$m[K\int_{P_e>b}(P_e-b)f_P\mathrm{d}P_e-\int_{P_e>g}(P_e-b)\times$$
$$f_P\mathrm{d}P_e(Q^*-(1-m)\int_{D<Q^*}(Q^*-D)\times$$
$$f_D\mathrm{d}D)-\int_{b<P_e<g}(P_e-b)(1-m)\times$$
$$f_P\mathrm{d}P_e(\int_{D<Q^*}Df_D\mathrm{d}D+\int_{D>Q^*}Q^*f_D\mathrm{d}D)]\tag{10}$$

上式前两行是生产商与零售商进行期权交易所得到的预期收益. 后两行是生产商将剩余产能直接在电子交易市场上出售的预期收益. 分析生产商的最优决策行为，可得命题 3.

命题 3 在不考虑生产商产能限制的情况下：

1）生产商提供的期权预定价格和执行价格需满足以下条件：

$mE(P_e-b)^+\leqslant s\leqslant(1-m)(r-g)+mE(P_e-g)^+$，

$b\leqslant g\leqslant g_{\max}$，其中 $g_{\max}$ 满足 $(1-m)(r-g_{\max})+mE(P_e-g_{\max})^+=mE(P_e-b)^+$；

2）由于 $E_DE_{P_e}[\pi_s(s,g)]$ 在有限的取值区间 U 内连续，因此 $E_DE_{P_e}(\pi_s)$ 在该闭域内一定存在最大值点 (s^*,g^*)，其中

$U=\{(s,g)\mid mE(P_e-b)^+\leqslant s\leqslant(1-m)(r-g)+mE(P_e-g)^+,b\leqslant g\leqslant g_{\max},s+g<r\}$；

3）$g_{\max}$ 与 P_H 有如下关系：当 $0\leqslant m<\frac{r-P_H}{r-P_H+(P_e-b)^+}$ 时，$g_{\max}=r-\frac{m}{1-m}(P_e-b)^+>P_H$；当 $\frac{r-P_H}{r-P_H+(P_e-b)^+}\leqslant m<1$ 时，$g_{\max}\leqslant P_H$.

根据命题 3 可知，如果预定价格 s 太小，生产商不会提供对自己不利的期权合约，而是直接在电子交易市场上卖产品. 如果 s 太大，零售商不会接受对自己不利的期权合约，而是只从电子交易市场上购买产品. 考虑到 s 与 g 的关系，执行价格越大时，预定价格的取值范围就越小.

考虑一种简单情况，当管理人员对零售市场的需求分布情况并没有足够的信息，仅能确定市场的最大容量时，可以将其近似处理为均匀分布. 因此假设零售市场的需求 D 服从均匀分布 $U(0,D_H)$，分析生产商的最优决策行为，可得推论 1.

推论 1 在 $0<m<1,D\sim U(0,D_H)$ 的情况下，不考虑生产商的产能限制，生产商的定价策略有以下三种情况存在：

1) 当 $s_0 > mE(P_e - b)^+$ 时,

$$s^* = s_0 = \Big[(1-m)(r-g_0)^2 + m(r-g_0) \times E(P_e-b)^+ - m(g_0-b)\int_{P_e>g_0}(r-P_e) \times f_P \mathrm{d}P_e + mE(P_e-b)^+\int_{P_e>g_0}(r-P_e) \times f_P \mathrm{d}P_e\Big] \Big/ \big[r-g_0-b-mE(P_e-b)^+\big]$$

$g^* = g_0 = \arg\max\{E_D E_{P_e}[\pi_s(g)] \mid s = s_0, b \leqslant g \leqslant g_{\max}\}$;

2) 当 $s_0 \leqslant mE(P_e-b)^+$ 时,

$s^* = mE(P_e-b)^+$, $g^* = \arg\max\{E_D E_{P_e}[\pi_s(g)] \mid s = mE(P_e-b)^+, b \leqslant g \leqslant g_{\max}\}$;

3) 当 $s_0 > (1-m)(r-g_0) + mE(P_e-g_0)^+$ 时,双方无法达成期权合约,均只在电子交易市场上进行现货交易,生产商和零售商的预期利润分别为 $E_D E_{P_e}(\pi_s) = mE(P_e-b)^+ K$, $E_D E_{P_e}(\pi_b) = m(r-\overline{P}_e)\overline{D}$.

证明　均匀分布下,零售商的最优期权订购量为 $Q^* = \min\left\{\left[1 - \frac{s-mE(P_H-g)^+}{(1-m)(r-g)}\right]D_H, K\right\}$.

当 $Q^* < K$ 时,对 Q^* 求导,可推出 $\frac{\partial Q^*}{\partial s} = -\frac{D_H}{(1-m)(r-g)}$, $\frac{\partial^2 Q^*}{\partial s^2} = 0$.

首先假设 g 不变,只分析 s 与 $E_D E_{P_e}(\pi_s)$ 的关系,对 $E_D E_{P_e}[\pi_s(s)]$ 求 s 的导数,又由于 $f_D(Q^*) = \frac{1}{D_H}$, $\frac{\partial^2 Q^*}{\partial s^2} = 0$,因此

$$\frac{\partial^2 E_D E_{P_e}[\pi_s(s)]}{\partial s^2} = \frac{2r-g-b-mE(P_e-b)^+}{r-g}\,\frac{\partial Q^*}{\partial s}.$$

由 $r > s+g \geqslant mE(P_e-b)^+ + g$, $r > b$, $\frac{\partial Q^*}{\partial s} < 0$ 可知, $\frac{\partial^2 E_D E_{P_e}[\pi_s(s)]}{\partial s^2} < 0$. 即此时 $E_D E_{P_e}[\pi_s(s)]$ 是 s 的凹函数. 因此当 $\frac{\partial E_D E_{P_e}[\pi_s(s)]}{\partial s} = 0$ 时, $E_D E_{P_e}[\pi_s(s)]$ 有极大值点,此时可求出 $s = s_0$. 将 s_0 代入生产商的利润函数,则可根据一元函数求极值的方法,求得 $g_0 = \arg\max\{E_D E_{P_e}[\pi_s(g)] \mid s = s_0, b \leqslant g \leqslant g_{\max}\}$. 如果不满足 $b \leqslant g_0 < r$,则提出的期权合约对生产商或者零售商不利,无法达成交易,有一方会放弃期权合约.

由于根据本文的模型设定,对期权的预定价格有所限制,如果满足 $mE(P_e-b)^+ \leqslant s_0 \leqslant (1-m)(r-g_0) + mE(P_e-g_0)^+$,此时求得的 (s_0, g_0) 即为模型的最优解. 如果 $s_0 < mE(P_e-b)^+$,则根据凹函数性质, $E_D E_{P_e}[\pi_s(s)]$ 会在 s 的下限取得最大值,因此 $s^* = mE(P_e-b)^+$,然后同样将 s^* 代入生产商的利润函数,根据一元函数求极值的方法,求得 $g^* = \arg\max\{E_D E_{P_e}[\pi_s(g)] \mid s = mE(P_e-b)^+, b \leqslant g \leqslant g_{\max}\}$; 如果 $s_0 > (1-m)(r-g) + mE(P_e-g_0)^+$,则 $E_D E_{P_e}[\pi_s(s)]$ 会在 s 的上限取得最大值,即 $s^* = (1-m)(r-g) + mE(P_e-g)^+$,此时零售商的期权订购量 $Q^* = 0$,双方无法达成期权合约,而是只在电子交易市场上进行现货交易.　证毕.

2.2.3　产能较小($Q^* \geqslant K$)时生产商的最优决策问题

由于生产商的产能是有限的,如果生产商的最大产能 K 小于市场的容量,那么零售商的订购量也会有可能超出生产商的产能. 当 $Q^* \geqslant K$ 时,为了保证零售商不要订购超出生产商产能的量,令 $F_D(Q^*) = 1 - \frac{s-mE(P_e-g)^+}{(1-m)(r-g)} = F_D(K)$,则期权预定价格与执行价格的关系可以写作 $s = (1-m)(1-F_D(K))(r-g) + mE(P_e-g)^+$.

此时生产商的预期利润可以表达为期权执行价格 g 的函数

$$E_D E_{P_e}[\pi_s(g)] = \Big\{(1-m)[1-F_D(K)](r-g) + mE(P_e-g)^+ + (g-b)\Big(1-m\int_{P_e<g} f_P \mathrm{d}P_e\Big) + m^2\int_b^g (P_e-b) f_P \mathrm{d}P_e\Big\}K - (1-m) \times \big[g-b-mE(P_e-b)^+\big]E(K-D)^+ \tag{11}$$

分情况讨论生产商的最优决策行为,可得命题 4.

命题 4　在生产商的产能较小,零售商的预期期权订购量超出生产商产能的情况下,零售商的最优期权订购量为 $Q^* = K$:

1) $m = 0$ 时，在其他参数给定的情况下，$E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]$ 是 g 的增函数；生产商的最优定价策略为 $s^* = [1 - F_D(K)]\varepsilon$，$g^* = r - \varepsilon$，其中 ε 为一个大于 0 的正数，是生产商和零售商协商得到的，双方通过对 ε 值的调节，来实现供应链利润的分配. 此时供应链的总预期利润为 $(r - b)E\min[D,K]$，生产商的预期利润为 $(r - b)E\min[D,K] - [F_D(K)K - E(K-D)^+]\varepsilon$，零售商的预期利润为 $[F_D(K)K - E(K-D)^+]\varepsilon$；

2) $0 < m < 1$ 时，在其他参数给定的情况下，$E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]$ 是 g 的凹函数；期权的最优定价为 $s^* = (1-m)[1 - F_D(K)](r - g_1) + mE(P_e - g_1)^+$，$g^* = g_1$，且 $m(g_1 - b)f_P(g_1)K = \int_{D<K} Df_D \mathrm{d}D$；

3) 特别地，当 $P_e \sim U(P_L, P_H)$，$D \sim U(0, D_H)$，$0 < m < 1$ 时，$g^* = b + \dfrac{(P_H - P_L)K}{2mD_H}$，$s^* = (1-m)(r - g^*)(D_H - K)/D_H + mE(P_e - g^*)^+$.

证明　对 $E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]$ 求导，有

$$\frac{\partial E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]}{\partial g} = (1-m)\int_{D<K} Df_D \mathrm{d}D - m(1-m)(g-b)f_P(g)K \times$$

$$\frac{\partial^2 E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]}{\partial g^2} = -m(1-m)[f_P(g) + (g-b)f_P'(g)]K$$

下面进行分情况讨论.

1) $m = 0$ 时，$\dfrac{\partial E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]}{\partial g} = \int_{D<K} Df_D \mathrm{d}D > 0$. 因此，$E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]$ 是 g 的增函数，$g^* = g_{\max}$. 根据模型的限制条件，有 $s^* = [1 - F_D(K)]\varepsilon$，$g^* = r - \varepsilon$，其中 ε 为一个大于 0 的正数，是生产商和零售商协商得到的，双方通过对 ε 值的调节，来实现供应链利润的分配. 在一对一的供应链中，这种情况下对于零售商是极为不利的，供应链的总利润绝大多数被生产商占去了，生产商处于绝对的主导地位，而零售商仅能依靠谈判等手段，来从生产商那里分得利润.

2) $0 < m < 1$ 时：令 $\dfrac{\partial E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]}{\partial g} = 0$，即可求得 g_1，满足 $m(g_1 - b)f_P(g_1)K = \int_{D<K} Df_D \mathrm{d}D$. 由概率密度函数的性质，可知 $g_1 > b$. 令 $L(g) = (g - b)f_P(g)$，则 $L'(g) = f_P(g) + (g-b)f_P'(g)$. 假设 $f_P(g) + (g-b)f_P'(g) \leqslant 0$，那么 $L(g)$ 是 g 的非增函数，由于 $L(g_1) = \dfrac{1}{mK}\int_{D<K} Df_D \mathrm{d}D > L(b) = 0$，推知 $g_1 < b$. 这与所知 $g_1 > b$ 相矛盾，因此必然存在 $f_P(g) + (g-b)f_P'(g) > 0$. 此时，$\dfrac{\partial^2 E\pi_s}{\partial g^2} < 0$，$E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]$ 是 g 的凹函数，则 g_1 为 $E_D E_{p_e}[\pi_s(g)]$ 的极大值点.

3) 将均匀分布的概率密度函数代入结论(2)，即可得出结论(3). 证毕.

3 电子市场现货流动性对供应链双方的影响分析

3.1 m 对 Q^* 的影响分析

性质 1 当其他参数不变且 $Q^* < K$ 时，

$$\frac{\partial Q^*}{\partial m} = -\frac{s - E(P_e - g)^+}{(1-m)^2(r-g)f_D(Q^*)}\begin{cases} > 0 & s < E(P_e - g)^+ \\ = 0 & s = E(P_e - g)^+ \\ < 0 & s > E(P_e - g)^+ \end{cases}.$$

特别的，如果电子交易市场的现货价格存在上限 P_H，当 $g \geqslant P_H$ 时，一定有 $\dfrac{\partial Q^*}{\partial m} = -\dfrac{s}{(1-m)^2(r-g)f_D(Q^*)} < 0$.

因此可以看出 Q^* 与 m 的导数关系不是固定的，市场流动性对期权订购量的影响与期权价格和现货价格有关. 当 $s < E(P_e - g)^+$ 时，即多预定一单位期权的成本要小于销售期将这一单位期权在电子交易市场转手卖掉的收益，那么电子交易市场的流动性越好，零售商越容易在电子交易市场上卖掉期权，因此随着 m 的增加，零售商一定倾向于多订购期权. 当 $s > E(P_e - g)^+$ 时，即 $s + g > \max[P_e, g]$，零售商每多执行一单位期权的总成本大于在销售期获得一单位产品的最大成本，那么电子交易市场的流动性越好，零售商越容易在

电子交易市场上直接购买到产品,因此随着 m 的增加,零售商一定倾向于少订购期权,多参与电子交易市场. 当 $s = E(P_e - g)^+$ 时,即多预定一单位期权的成本等于销售期将这一单位期权在电子交易市场转手卖掉的收益,此时 $Q^* = F_D^{-1}[1 - E(P_e - g)^+/(r - g)]$,电子交易市场的流动性对零售商的期权订购量没有影响.

3.2　m 对 g 的影响分析

性质2　如果生产商的产能很小,当 $Q^* = K$ 且 $0 < m < 1$ 时,电子交易市场的流动性越好,生产商的最优期权执行价格越低.

证明　根据命题4,可知生产商的最优期权执行价格满足 $m(g^* - b)f_P(g^*)K = \int_{D<K} DF_D \mathrm{d}D$. 对该式左右两边求 m 的导数,可得 $\frac{\partial g^*}{\partial m} = -\frac{(g^* - b)f_P(g^*)}{mL'(g^*)} < 0$,其中根据命题4(2)的证明可知 $L'(g) = f_P(g) + (g - b)f_P'(g) > 0$. 　证毕.

3.3　m 对期望利润的影响分析

性质3　电子交易市场的流动性越好,零售商的预期利润越大.

证明　当电子交易市场处于完全自由的状态下,零售商的预期利润为 $\pi_{b1} = (r - \bar{P}_e)\bar{D}$.

当电子交易市场的流动性 $0 < m < 1$ 时,零售商均衡状态下的预期利润为

$$E_D E_{p_e}(\pi_b) = [(1 - m)(r - g) - s + mE(P_e - g)^+]Q^* - (1 - m) \times (r - g)E(Q^* - D)^+ + m\bar{D}(r - \bar{P}_e)$$

因此零售商受电子交易市场流动性影响导致与完全自由电子交易市场下的利润偏差可以用下式表示

$$\Delta\pi_b = E_D E_{p_e}(\pi_b) - \pi_{b1} = [(1 - m)(r - g) - s + mE(P_e - g)^+]Q^* - (1 - m) \times (r - g)E(Q^* - D)^+$$

对 $\Delta\pi_b$ 求 m 的导数,存在

$$\frac{\partial\Delta\pi_b}{\partial m} = E(P_e - g)^+ Q^* - (r - g)E\min[D, Q^*] < [E(P_e - g)^+ - (r - g)]E\min[D, Q^*] < 0$$

即 $\Delta\pi_b$ 随着 m 的增大而减小,因此存在 $\Delta\pi_b(m) > \Delta\pi_b(m = 1) = 0$,当 $m = 0$ 时零售商的利润偏差达到最大,为 $\Delta\pi_b(0) = E(r - g^*)E\min[D, Q^*] - sQ^*$,当 $m = 1$ 时达到最小偏差为0. 　证毕.

通过性质3可知,如果供应链中存在一个完全自由、开放的第三方电子交易市场,对于零售商来说是一种极其理想的状态,零售商可以获得最大的收益. 结合命题1的结论可以发现,此时零售商的采购决策并不影响其运作管理的好坏,当期的采购量和库存量可以随时通过开放的电子交易市场进行调整,零售商的收益仅与零售价格、零售需求以及电子交易市场的现货价格分布函数有关. 同样的,此时生产商的收益也仅与最大产能、生产成本以及电子交易市场的现货价格分布函数有关.

3.4　算例分析

在现实的运作管理过程中,经常会遇到这种情况: 有些信息只能用随机变量表示,并且没有足够长的历史数据来判断其分布函数. 此时如果该变量的极大值极小值可以通过经验得出,那么企业在做决策时可以用均匀分布来对该随机变量做近似处理,这种处理方法在前人的研究中得到了广泛的应用[22]. 基于这种思想,本文以均匀分布下的一种简单情况为例,来对上文模型进行算例分析,以期得出更多可以用于指导实践的结论.

假设存在只有一个生产商和一个零售商的某产品供应链,第三方电子交易市场的现货价格和零售市场的需求分布服从均匀分布,$P_e \sim U(40, 140)$,$D \sim U(0, 100)$,产品零售价格为150,生产商的单位生产成本为50,最大产能100,则供应链达到均衡时生产商的期权最优预定价格、执行价格,生产商的最优期权订购量,以及供应链成员的收益,均随着电子交易市场流动性的变化而变化.

随着电子交易市场流动性的增加,生产商提供的期权预定价格平稳上涨,同时期权执行价格则显著下降(如图2(a)). 对于零售商而言,当市场流动性较差时,流动性的增加导致期权订购量显著下降; 在市场流动性较好的范围内,期权订购量则趋于平稳; 当市场接近于完全自由的市场时,期权订购量则有一个小小的回升(如图2(b)).

在电子交易市场流动性趋好的过程中，零售商明显获益更多，其预期收益随着流动性的增加而上升；而生产商的预期收益随着流动性的增加显现出先减后增的趋势，可以看出电子交易市场的存在明显地给生产商带来了一定的威胁（如图3（a））. 从整个供应链的角度来看，与不存在电子交易市场的情况相比，尽管当市场流动性非常小时，供应链总体收益略微下降，但是很快随着市场流动性的增加，整个供应链收益有了极大的提升（如图3（b））.

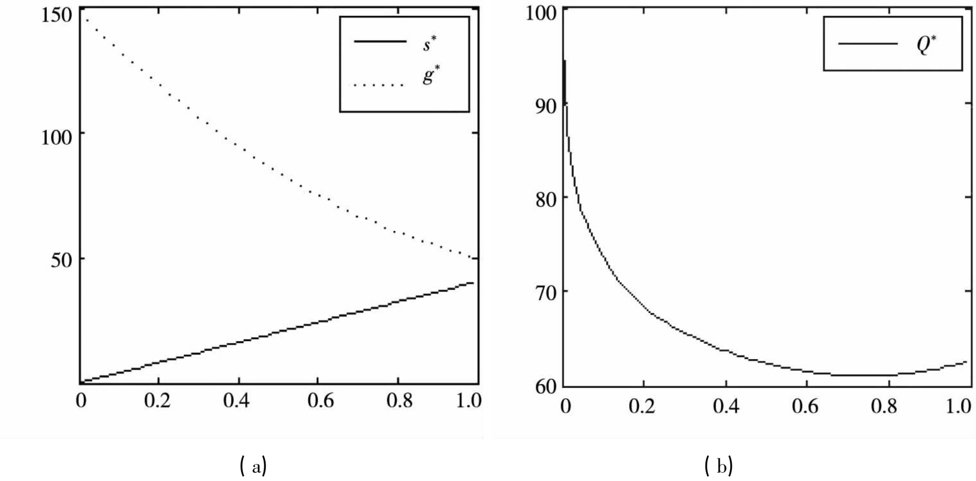

图2 最优期权价格、最优期权订购量随流动性的变动趋势

Fig. 2 The optimal option price and order quantity with respect to liquidity m

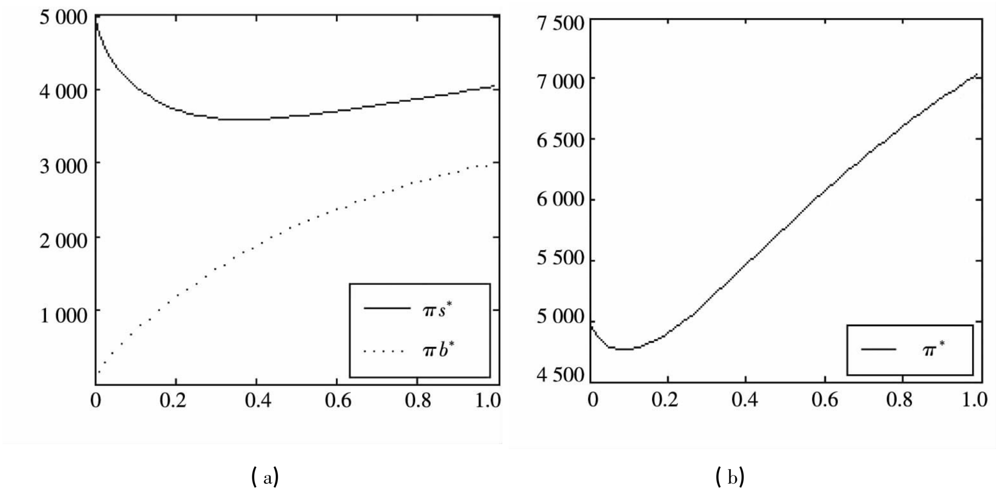

图3 供应链成员利润以及供应链总利润随流动性的变动趋势

Fig. 3 The profits of seller, buyer and suppler chain with respect to liquidity m

4 结束语

B2B 电子交易市场的出现，促使传统的线性供应链结构转变成为网络状的复杂供应链结构，同时改变了供应链中企业的行为. 在整合 B2B 电子交易市场的现货交易和企业间的期权合约的基础上，本文研究了供应链中生产商和零售商的最优决策行为. 在本文的模型中，所有的供应链参与者出于运作和投机的目的，都可以参与电子交易市场的交易. 本文重点分析了电子交易市场的流动性对参与者行为的影响. 对于零售商而言，市场流动性对期权订购量的影响与期权价格和现货价格相关. 通过算例分析可以看出，电子交易市场的存在必然会威胁生产商在传统供应链结构中的主导地位，并增加零售商在供应链利润分配中的话语权. 电子交易市场的出现促使零售商大幅度降低了线下

订单的数量; 随着市场运作经验的积累,市场流动性逐渐趋好,生产商需要通过提高期权预定价格,降低期权执行价格的方式,来促使供应链重新达到均衡. 当然流动性较好的电子交易市场能够为整个供应链带来效益的提升,供应链总体收益将大大增加.

参 考 文 献:

[1] Milner J M, Kouvelis P. Inventory, speculation, and sourcing strategies in the presence of online exchanges [J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2007, 9(3): 312 – 331.

[2] Peleg B, Lee H. Short-term e-procurement strategies versus long-term contracts [J]. Production Operation and Management, 2002, 11(4): 458 – 479.

[3] Seifert R W, Thonemann U W, Hausman W H. Optimal procurement strategies for online spot markets [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 152(3): 781 – 799.

[4] Mendelson H, Tunca T. Strategic spot trading in supply chains [J]. Management Science, 2007, 53(5): 742 – 759.

[5] 李培勤, 黄培清. 电子市场与合约市场并存下的供应商产能优化 [J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(3): 340 – 344.
Li Peiqin, Huang Peiqing. Supplier's capacity optimization decisions in both contract markets and electronic markets [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2010, 44(3): 340 – 344. (in Chinese)

[6] 邢 伟, 汪寿阳, 冯耕中. B2B 电子市场对零售商最优策略影响研究 [J]. 管理科学学报, 2008, 11(5): 1 – 6.
Xing Wei, Wang Shouyang, Feng Gengzhong. Effect of B2B electronic marketplace on reseller's strategies [J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(5): 1 – 6. (in Chinese)

[7] 邢 伟, 汪寿阳, 冯耕中. B2B 电子市场下供需双方博弈分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(7): 56 – 60.
Xing Wei, Wang Shouyang, Feng Gengzhong. Game analysis on supply chain with B2B electronic marketplace [J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2008, 28(7): 56 – 60. (in Chinese)

[8] 邢 伟, 汪寿阳, 冯耕中. 欺压与风险分担: B2B 电子交易市场环境下均衡策略分析 [J]. 管理科学学报, 2010, 13(1): 1 – 9.
Xing Wei, Wang Shouyang, Feng Gengzhong. Bully and risk sharing: Analysis on equilibrium strategies with B2B online exchange [J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(1): 1 – 9. (in Chinese)

[9] Spinler S, Huchzermeier A, Kleindoerfer P. Risk hedging via options contracts for physical delivery [J]. OR Spectrum, 2003, 25(3): 379 – 395.

[10] Kleindorfer P R, Wu D J. Integrating long- and short-term contracting via business-to-business exchanges for capital-intensive industries [J]. Management Science, 2003, 49(11): 1597 – 1615.

[11] Wu D J, Kleindorder P, Zang J E. Optimal bidding and contracting strategies for capital-intensive goods [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 137(3): 657 – 676.

[12] Wu D J, Kleindorder P. Competitive options, supply contracting, and electronic markets [J]. Management Science, 2005, 51(3): 452 – 466.

[13] Ganeshan R, Boone T, Aggarwal P. Optimal procurement portfolios when using B2Bs: A model and Anaylsis [J]. International Journal of Production Economics, 2009, 118: 146 – 151.

[14] 常志平, 蒋 馥. 供应链中电子市场与合约市场的协调研究 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 111 – 113.
Chang Zhiping, Jiang Fu. Coordination mechanism between electronic markets and contract market in supply chain [J]. Journal of Huangzhong University of Science & Technology (Nature Science Edition), 2004, 32(1): 111 – 113. (in Chinese)

[15] 郭 琼, 杨德礼. 基于期权与现货市场的供应链契约式协调的研究 [J]. 控制与决策, 2006, 21(11): 1229 – 1233.
Guo Qiong, Yang Deli. On supply chain coordination with contract based on option and spot markets [J]. Control and Deci-

sion, 2006, 21(11): 1229 - 1233. (in Chinese)

[16] 晏妮娜, 黄小原. B2B 在线市场期权合同协调的鲁棒策略[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(1): 102 - 106.
Yan Nina, Huang Xiaoyuan. Robust strategies for option contract coordination in B2B e-markets[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2006, 26(1): 102 - 106. (in Chinese)

[17] 晏妮娜, 黄小原. B2B 电子市场下供应链期权合同协调模型与优化[J]. 控制与决策, 2007, 22(5): 535 - 539.
Yan Nina, Huang Xiaoyuan. Models and optimization of option contract coordination in supply chain with B2B E-market[J]. Control and Decision, 2007, 22(5): 535 - 539.

[18] Fu Q, Lee C Y, Teo C P. Procurement risk management using options: Random spot price and the portfolio effect[J]. IIE Transactions, 2010, 42(11): 793 - 811.

[19] Aggarwal P, Ganeshan R. Using risk-management tools on B2Bs: An exploratory investigation[J]. International Journal of Production Economics, 2007, 108(1 - 2): 2 - 7.

[20] Pei P P, Simchi-Levi D, Tunca T I. Sourcing flexibility, spot trading, and procurement contract structure[J]. Operations Research, 2011, 59(3): 578 - 601.

[21] 石晓梅, 冯耕中, 邢　伟, 等. 基于 B2B 电子交易市场的零售商最优订购策略[J]. 管理科学学报, 2011, 14(4): 12 - 23.
Shi Xiaomei, Feng Gengzhong, Xing Wei, et al. Optimal ordering strategies with B2B e-marketplaces[J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(4): 12 - 23. (in Chinese)

[22] Wanke P F. The uniform distribution as a first practical approach to new product inventory management[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 114(2): 811 - 819.

Integrating options with B2B online spot market for equilibrium strategies in supply chain

YOU Xiao-lan[1,3], *FENG Geng-zhong*[1,3], *XU Jin-peng*[1,3], *WANG Shou-yang*[2]

1. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2. Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
3. The Key Lab of the Ministry of Education for Process Control & Efficiency Engineering, Xi'an 710049, China

Abstract: Considering a supply chain consisting of a manufacturer, a retailer and a third-party B2B online spot market, we research the manufacturer's optimal bidding strategy for options and the retailer's optimal procurement strategy in a Stackelberg game with the manufacturer as the leader. In our model, we measure the liquidity of B2B online spot market by a parameter which means the probability of transaction success. We discuss two situations: manufacturer with adequate capacity and the manufacturer with limited capacity, and expand our conclusions to the special case of uniform distribution. Finally, we analyze the impacts of spot market liquidity on behaviors and profits of all participants in the supply chain through the numerical examples.

Key words: B2B online spot market; options; liquidity; supply chain equilibrium