

现货供应不确定下的优化采购策略研究^①

王丽梅, 姚 忠, 刘 鲁

(北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 在现货市场和传统契约市场共存时, 研究了现货供应的不确定性和销售商的风险规避态度对于销售商的采购策略的影响。首先, 在现货供应充足和供应不确定两种情况下分析了实现供应链协调的最优订购量和退货价格, 以及销售商的风险规避态度对于订购量的影响。然后, 通过数值计算进行了分析和验证。结果表明, 现货供应充足时的订购量总是低于现货供应不确定时的订购量; 但现货供应充足时供应链的期望利润高于现货供应不确定的情况。现货市场存在下, 风险厌恶因子对订购量的影响趋势与单纯契约市场下正好相反。

关键词: 供应链管理; 现货市场; 退货策略; 风险厌恶

中图分类号: F273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2011)04-0024-12

0 引言

随着信息技术和网络技术的迅速发展, 基于电子商务的现货市场因其低成本和敏捷性为越来越多的公司所采用^[1]。现货市场面向所有的供应链参与者, 是供应商和采购商双方长期契约的一个补充, 为提高供应链的有效性提供了很好的途径。与传统契约相比, 在线交易可以接触更广泛的竞争市场而降低采购成本, 另一个突出特点是可以即时交货, 并且由于掌握更准确的需求信息而能够实现需求与供应更好地匹配^[2]。但是需要为此付出的代价除了现货价格的不确定性风险, 还要支付较高的现货价格。传统契约采购需要的交货时间较长, 并且需要预先投入一定的成本和精力来创建和维护战略伙伴关系, 其好处是可变成本和交易成本低、质量可靠、保证交货等。因此, 现货市场与传统契约市场共存与协调的研究具有一定的理论意义和重要的实践价值。

本文在研究传统契约市场和现货市场并存下的最优采购策略时, 考虑了现货供应充足和供应

不确定两种情况, 并采用风险厌恶因子分析了风险厌恶程度对于最优合约订购量的影响。由于现货采购除了现货价格波动的风险, 现货供应不足即出现断货的情况也是普遍存在的问题, 因此本文的研究具有一定的现实意义。

1 文献回顾

近年来电子市场环境下的供应链采购策略引起了许多学者的普遍关注。Chen和Agrawa首先对价格和需求不确定情况下的长期和短期合约进行了比较分析, 但是没有考虑将两者结合使用的情况^[3]。Aramar等在现货交易仅用于满足合约预定之外的剩余需求的前提下, 对合约采购和现货交易相结合的采购策略进行了研究。结果表明对采购商而言合约市场和现货市场的结合是最优的^[4]。该研究是基于采购商的风险中性假设, 且现货市场是非流动的。Pele研究了长期合约、现货采购以及两者组合策略三种不同的采购方式, 结果证明了三种策略的优劣取决于在线搜索成

① 收稿日期: 2008-10-29; 修订日期: 2009-06-01。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70672020, 70521001); 教育部博士点基金资助项目(200800060005)。

作者简介: 王丽梅(1971-), 女, 山东潍坊人, 博士生。Email: linej.wang@126.com

本、供应商数量和供应商合约条款如价格折扣和数量限制等,但没有考虑采购商的风险偏好以及现货市场断货的风险^[5]。

Wu Spindle对不可储存的资金密集型产品,研究如何在合约市场与现货市场中寻找最优平衡,以及销售者的成本结构和现货市场的价格分布如何影响合约的设计^[6-7]。Spindle证明由于降低了产品成本,期权合约和现货市场的结合可以实现帕累托改进^[7]。Mendelson和 Tunca针对一个供应商和多个采购商之间长期契约交易,研究了供应链信息结构和供应链成员行为对供应链系统绩效及成员利润的影响^[8]。但是上述文章并没有考虑风险偏好对供应链利润及采购量的影响。Seifer研究了更为一般的情况,采购商既可在线现货市场上补充采购未满足的需求量,也可在线出售多余的订购量,针对不同情况推导了最优订购量的解析解,并与纯合约采购作了对比分析。结果证明通过现货市场采购适量的商品可以使供应链利润得到大大提高,但可能承受较高的风险^[9]。但是以上文献都是基于现货供应充足这一前提假设进行研究的。

本文研究现货市场与合约市场并存下的双源采购策略,考虑了现货市场出现断货的情况。Sere研究了不同库存控制策略下采购商的组合采购决策,采购商可以通过产能预定合约也可以以现货交易的方式采购^[10]。研究发现与单纯契约采购相比,结合现货市场的采购策略可以明显减少对长期供应商的产能预定量。在此基础上, Sere进一步研究了现货市场供应不确定情况下,一个制造商与一个长期供应商之间的多周期产能预定问题。通过对现货供应充足和不确定情况的对比分析发现不确定情况下会增加合约预定比例^[11]。这也是唯一考虑现货市场供应不确定情况的研究文献。本文与文献[11]区别在于,本文在分析现货供应充足及现货供应不确定情况下销售商的最优决策时,考虑供应商提供退货策略来激励销售商的行为,以及销售商的风险厌恶程度对于合约订购量及供应链利润的影响。

传统合约市场上退货策略被广泛用于生命周期较短的产品销售,其中 Yao对于需求与价格相关条件下的退货策略进行了较为深入的研究^[12-13]。这些传统合约同样可用于 B2B电子市

场来提高电子市场中的供应链绩效。Choi研究了供应商如何通过在线市场出售零售商退还的剩余商品,并通过均值方差分析,进一步结合最优回购策略研究了风险问题^[14]。但这里的假设条件与本文有很大不同,首先这些剩余商品在电子市场上的价格不高于当地市场的零售价,其次在线市场是供应商的二级市场。国内学者晏妮娜和黄小原研究了基于电子市场的供应链退货问题,制造商委托零售商直接在电子市场(二级市场)上出售传统区域性市场尚未售出的剩余退货^[15-16]。文中没有考虑直接由现货市场提供产品对零售商的采购决策的影响。常志平和蒋馥采用退货回购策略,对销售商和供应商参与电子市场的动机进行了研究^[17]。Xi和 Xi分析了采购方如何利用电子市场作为与长期供应商讨价还价以及迫使长期供应商增加渠道投资的工具^[18]。赵泉午等从供应商的角度研究了电子市场交易模式的影响,指出电子市场交易对供应商的影响取决于易逝品本身的特性和顾客的需求特征^[19]。郭琼和杨德礼通过期权机制研究了电子市场存在下的供应链协调状态下零售商的最优订购量、供应商的最优产能和定价策略^[20]。以上文献都基于销售商是风险中性的这一假设。沈厚才等讨论了考虑制造商风险厌恶条件下的最优采购决策,并分析了损失规避程度、需求不确定性等对采购策略的影响。结果显示损失规避型企业的采购行为与风险中性企业不同,也不同于直觉判断^[21]。姚忠研究指出零售商在风险约束下,零售商和供应商的期望利润都有所减少,退货合同的协调性较无风险约束情况下弱^[22]。Zhang研究证实回购契约和目标折扣契约均可协调由一个供应商和一个风险厌恶型零售商组成的供应链^[23]。以上文献针对销售商的风险规避进行了较为深入的研究,但是没有考虑现货市场和合约市场并存的情况。

2 模型描述

本文研究的是一个销售商和一个长期供应商的单周期两级供应链模型,长期供应商向销售商提供退货策略。对销售商而言,除了合约采购外,还可以从现货市场购买。本文假设现货价格是随机变量。经济学和金融学的相关研究表明,现货市

场的期望价格包括溢价, 即 $\mu > w$ 这部分溢价通常表示实际上的便利收益^[24]. 本文模型主要讨论这种现货价格高于合约价格的情况. 而当现货价格低于合约价格时, 销售商有可能会放弃合约而完全从现货市场上采购, 这还要取决于销售商不履行合约需支付的惩罚成本的高低, 情况较为复杂, 这里不考虑现货价格低于合约价格的情况. 另外, 假设现货市场属于完全竞争市场, 现货价格与市场需求和现货供应是独立的.

2.1 模型变量和符号说明

文中用到的变量和符号说明如下

- c : 供应商的单位产品成本;
- w : 供应商的单位产品批发价格;
- r : 销售商单位产品的市场销售价格;
- h : 销售周期结束后剩余产品的库存成本;
- b : 销售周期结束后未售出产品的单位退货价格;

y : 供应商处理退货商品的清货价格;

π : 单位产品的缺货成本;

s : 现货市场上的价格变量, 均值和方差分别为 μ_s 和 σ_s^2 ;

x : 最终产品的市场需求变量, 均值和方差分别为 μ_d 和 σ_d^2 , 其分布函数和密度函数分别为 $F(x)$ 和 $f(x)$;

Q : 现货供应充足时销售商的现货采购量;

Q_s : 现货供应不确定时销售商的现货采购量, 均值和方差分别为 μ_{Q_s} 和 $\sigma_{Q_s}^2$, 分布函数和密度函数分别为 $G(y)$ 和 $g(y)$;

Q_c, Q_s, Q_u : 分别表示单纯契约市场下、现货供应充足情况下、现货供应不确定情况下销售商对长期供应商的合约订购量 (以下称订购量); $H(Q), P(Q)$ 为销售商订购量的累积分布;

Π_s, Π_b, Π_i : 分别表示单纯契约市场上的供应商、销售商和供应链系统的利润;

$\Pi_s^E, \Pi_b^E, \Pi_i^E$: 分别表示现货市场供应充足情况下的供应商、销售商和供应链系统的利润;

$\Pi_s^U, \Pi_b^U, \Pi_i^U$: 分别表示现货市场供应不确定时的供应商、销售商和供应链系统的利润;

k_1, k_2 : 销售商的风险厌恶因子, $0 \leq k < 1$. $k=0$ 时表示风险中性, 值越大说明其风险厌恶程度越高.

2.2 模型的假设条件

为了避免供应链成员的某些投机行为, 本文作如下假设

第一, 供应商的清货价格低于销售商的退货价格, 且退货价格低于批发价格, 即 $y \leq b < w$ 这样供应商和销售商不会因大量清货和过量采购而获利;

第二, 供应商的生产成本高于清货价格, 即 $c > y$, 这样供应商不会因过量生产产品而获利.

基于此, 本文要研究的是, 1) 考察现货市场存在与否对于最优订购量和供应链绩效的影响; 2) 考察现货市场上供应充足和供应不确定时, 销售商的订购量和供应链系统利润有何变化; 3) 考虑销售商的风险厌恶程度时, 最优订购量如何变化.

2.3 基本模型

作为比较标杆, 这里首先研究单纯契约市场的情况. 在销售周期开始之前, 销售商从供应商手中以固定的批发价格订购一定数量的商品 Q . 由于最终消费者的需求是随机波动的, 销售商只能通过历史数据和销售经验对需求进行预测. 如果订购量大于需求量, 销售商可以将未出售的剩余商品以一定的退货价格退还给供应商, 但销售商需要为这些商品支付一定的存货成本 h . 如果订购量小于需求量, 则销售商承担相应的缺货损失.

1) 销售商和供应链系统的最优订购量

基于上述假设可得销售商、供应商及一体化供应链的利润函数

$$\Pi_b = r \min(x, Q) - wQ + (b - h)(Q - x)^+ - \pi(x - Q)^+ \quad (1)$$

$$\Pi_s = (w - y)Q - (b - y)(Q - x)^+ \quad (2)$$

$$\Pi_i = r \min(x, Q) - cQ + (v - h)(Q - x)^+ - \pi(x - Q)^+ \quad (3)$$

利润期望函数为

$$E(\Pi_b) = (r - w)Q - (r - b + h)H(Q) - \pi P(Q) \quad (4)$$

$$E(\Pi_s) = (w - y)Q - (b - y)H(Q) \quad (5)$$

$$E(\Pi_i) = (r - y)Q - (r - v + h)H(Q) - \pi P(Q) \quad (6)$$

其中, $H(Q) = \int_0^Q (Q - x) f(x) dx$; $P(Q) = \int_0^Q (x - Q) f(x) dx$; $H_1(Q) = \int_0^Q (Q - x)^2 f(x) dx$; $P_2(Q) =$

$$\int_0^{+\infty} (x - Q)^2 f(x) dx$$

这是典型的报童问题, 销售商根据供应商的报价 (w, b) 决定最优订购量 Q*, 由式 (4) 可得

$$Q^* = F^{-1} \left[\frac{r + \pi - w}{r + \pi - b + h} \right] \quad (7)$$

由式 (6) 可求得一体化供应链系统的最优订购量 Q*: $Q^* = F^{-1} \left[\frac{r + \pi - c}{r + \pi - v + h} \right]$ (8)

从 $Q^* = Q^*$ 可推导出当供应商的退货价格 $b^* = \frac{(r + \pi)(w + v - c) - hc + w(h - v)}{r + \pi - c}$ 时,

即可实现分散式供应链的合约订购量等于一体化供应链的销售量 / 产量。

2) 考虑销售商风险态度时的最优订购量

当考虑销售商对风险的态度时, 销售商在寻求期望利润最大化的同时一般都希望利润方差越小越好。本文模型采用证券投资理论中广泛使用的均值 - 方差效用函数来表示销售商的风险厌恶态度^[11], 即 $Max U = E[\Pi_b] - kVar[\Pi_b]$, $k > 0$ 关于均值 - 方差方法的深入分析详见文献 [25-26]。假设销售商的风险厌恶因子为 k 则销售商的效用函数可用 $U = E[\Pi_b] - kVar[\Pi_b]$ 表示, 可求得

$$U = (r - w)Q - (r - b + h)H(Q) - \pi P(Q) - k(r - b + h)^2 H_2(Q) + \pi^2 P_2(Q) + k(r - b + h)H(Q) + \pi P(Q)^2 \quad (9)$$

对上式求 Q 的一阶偏导数, 可以求出销售商的最优订购量 Q*。

$$Q^* = F^{-1} \left[\frac{\frac{r + \pi - w}{r + \pi - b + h} - 2k(r - b + h)H(Q)}{1 - 2k(r - b + h)H(Q) - 2kP(Q)} \right] \quad (10)$$

在现实经济活动中, 面对不确定的市场需求销售商不仅期望获得最佳利润, 也希望尽可能降低利润波动的风险。因此, 多数销售商都是风险规避型的。在单纯契约市场上, 与风险中性的销售商相比, 风险规避的销售商往往通过减少订购量来降低库存积压的风险。有下面的定理:

定理 1 单纯契约市场上, 销售商的最优订购量随风险厌恶程度的增加而减少。

证明 因为 $F^{-1}(\cdot)$ 是增函数, 要想证 Q* 是

的减函数, 只需证明括号中的表达式 (记为 Γ) 是 Q 的减函数即可。

$$\frac{dQ^*}{dk} = \frac{d\Gamma}{dk} = \frac{\left[\frac{r + \pi - w}{r + \pi - b + h} - 2k(r - b + h)H(Q) \right]}{1 - 2k(r - b + h)H(Q) - 2kP(Q)} = \frac{-2H(Q)(r - b + h)(w - b + h) + 2\pi P(Q)(r + \pi - w)}{(1 - 2k(r - b + h)H(Q) - 2kP(Q))^2 (r + \pi - b + h)} \quad (11)$$

要使式 (11) 小于零, 必有

$$\pi^2 + \pi(r - w) - (r - b + h)(w - b + h)H(Q)/P(Q) < 0 \quad (12)$$

解不等式 (12), 得

$$0 \leq \pi <$$

$$\frac{\sqrt{(r - w)^2 + 4H(Q)/P(Q)(r - b + h)(w - b + h)} - (r - w)}{2} = T \quad (13)$$

根据 2.2 的假设, 可知 $r - b + h > 0$, $w - b + h > 0$ 因此式 (13) 成立, 即只要缺货成本不大于阈值 T , Q* 就是关于 Q 的减函数。对于 π 的阈值 T 本文不作深入讨论, 因为这取决于具体的需求分布函数。第 5 节数值计算中分别对缺货成本取值 6 和 12 的情况进行了比较见表 1, 结果发现数据变化趋势完全一致, 且对数值影响不大。

经过理论分析及第 5 小节的数值验证发现, 只要缺货成本不大于阈值 T , Q* 就是关于 Q 的减函数。证毕。

3 现货市场供应充足时的采购策略

对于销售商而言, 除了通过契约形式从传统市场上订购, 也可以从现货市场采购, 采购量分别为 Q_{sf} 和 q 这里只考虑通过现货市场采购, 不考虑通过在线市场出售剩余的情况。市场需求量仍为 x 。

有两个假设

1) 假定现货市场是一个无限供应源, 销售商的现货采购总能实现, 即市场需求能够得到满足。如果契约订购量大于或等于市场需求, 就不进行现货采购; 当契约订购量小于市场需求, 现货采购量 $q = x - Q_{sf}$ 。

2) 假设供应商了解销售商的销售情况, 供应商的退货政策仅限于订购量大于需求的情况.

3.1 销售商和系统最优订购量

销售商、供应商和一体化供应链的利润函数分别为

$$\Pi_b^E = rx - wQ_E - \xi(x - Q_E)^+ + (b - h)(Q_E - x)^+ \quad (14)$$

$$\Pi_s^E = (w - v)Q_E - (b - v)(Q_E - x)^+ \quad (15)$$

$$\Pi_i^E = rx - Q_E + (v - h)(Q_E - x)^+ - \xi(x - Q_E)^+ \quad (16)$$

利润期望函数为

$$E[\Pi_b^E] = E_s \left\{ E_x \left[\Pi_b^E \right] \right\} = \mu_d - wQ_E - \mu_s P(Q_E) + (b - h)H(Q_E) \quad (17)$$

$$E[\Pi_s^E] = (w - v)Q_E - (b - v)H(Q_E) \quad (18)$$

$$E[\Pi_i^E] = E \left[E_x \left\{ \Pi_i^E \right\} \right] = \mu_d - Q_E + (v - h)H(Q_E) - \mu_s P(Q_E) \quad (19)$$

根据 Stackelberg 博弈, 零售商首先根据供应商的报价 (w, b) 决定最优订购量 Q_E^* , 由式 (17) 可得

$$Q_E^* = F^{-1} \left(\frac{\mu_s - w}{\mu_s + h - b} \right) \quad (20)$$

由式 (19) 可得一体化供应链系统的最优订购量 Q_E^*

$$Q_E^* = F^{-1} \left(\frac{\mu_s - c}{\mu_s + h - v} \right) \quad (21)$$

从 $Q_E^* = Q_E^*$ 可推导出当供应商的退货价格 $b^* = \frac{u(w + v - v) - hc + w(h - v)}{u - c}$ 时, 即分散

式供应链的合约订购量等于一体化供应链的销售量 / 产量.

$$\begin{aligned} \frac{dQ_E^*}{dk} &= \frac{d\Gamma}{dk} = \left[\frac{\mu_s - w - 2k(b - h)^2 H(Q_E) + 2k\sigma_s^2 P(Q_E)}{\mu_s + h - b - 2k((b - h)^2 H(Q_E) + \mu_s^2 P(Q_E))} \right]_k \\ &= \frac{4k\sigma_s^2 P(Q_E)((b - h)^2 H(Q_E) + \mu_s^2 P(Q_E)) + 2\mu_s(\mu_s - w)P(Q_E) - 2H(Q_E)(b - h)(w + h - b)}{(\mu_s + h - b - 2k((b - h)^2 H(Q_E) + \mu_s^2 P(Q_E)))^2} \quad (25) \end{aligned}$$

对于式 (25) 而言, 当 $b - h = 0$ 即存货成本等于退货价格时, 式 (25) 显然大于零, 即销售商的最优订购量是关于风险厌恶因子 k 的增函数. 当 $b - h \neq 0$ 时, 不好直接判断是否大于零. 根据销售商的效用函数, b 的大小会影响销售商的基础订

3.2 考虑销售商风险态度时的最优合约订购量

这与单纯契约市场的情况不同, 在现货市场存在下, 销售商面对市场需求波动和现货价格波动的双重风险, 假设销售商的对市场需求波动的风险厌恶因子为 k_1 , 对现货价格波动的风险厌恶因子为 k_2 , 则销售商的效用函数为

$$\begin{aligned} U^F &= \mu_d - wQ_E - \mu_s P(Q_E) + (b - h)H(Q_E) - \\ &k_1 \mu_s^2 [P_2(Q_E) - (P(Q_E))^2] - \\ &k_2 (b - h)^2 [H_2(Q_E) - (H(Q_E))^2] - \\ &k_2 \sigma_s^2 P_2(Q_E) \quad (22) \end{aligned}$$

考虑供应链系统优化, 对式 (22) 求 Q_E 的一阶偏导数, 求出销售商的最优订购量 Q_E^*

$$\begin{aligned} \frac{\partial U^F}{\partial Q_E} &= w + (b - h)F(Q_E) - \mu_s(F(Q_E) - 1) - \\ &2k_1 \mu_s^2 (-P(Q_E) - P(Q_E)(F(Q_E) - 1)) + \\ &2k_2 \sigma_s^2 P(Q_E) - 2k_2 (b - h)^2 (H(Q_E) - \\ &H(Q_E)F(Q_E)) \quad (23) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_E^* &= F^{-1} \left(\frac{\mu_s - w - 2k_2 (b - h)^2 H(Q_E) + 2k_2 \sigma_s^2 P(Q_E)}{\mu_s + h - b - 2k_2 ((b - h)^2 H(Q_E) + \mu_s^2 P(Q_E))} \right) \quad (24) \end{aligned}$$

通过下面的两个命题说明需求波动和现货价格波动对于销售商合约订购量的影响.

命题 1 Q_E^* 是 k 的增函数, 即销售商的合约订购量随其对需求风险厌恶程度的增加而增加.

证明 因为 $F^{-1}(\cdot)$ 是增函数, 要想证 Q_E^* 是 k 的增函数, 只需证括号中的表达式是 k 的增函数即可, 记为

$$\Gamma = \frac{\mu_s - w - 2k_2 (b - h)^2 H(Q_E) + 2k_2 \sigma_s^2 P(Q_E)}{\mu_s + h - b - 2k_2 ((b - h)^2 H(Q_E) + \mu_s^2 P(Q_E))}$$

购量以及考虑风险态度时订购量的变化幅度, 而不会影响其增减趋势. 根据 $b - h = 0$ 时订购量是风险厌恶因子 k 的增函数, $b - h \neq 0$ 时订购量仍然是风险厌恶因子 k 的增函数. 所以只要 k 的值在销售期内保持不变, 销售商的订购量就是关于

风险厌恶因子 k 的增函数. 证毕.

这里通过数值计算进行了验证. 参数 $r=10$, $w=4$, $h=0.8$, $c=2$, $v=0.5$, $\pi=12$, $b=\{0.8, 1.6, 2.4, 3.2\}$, 需求服从均匀分布 $U(0, 100)$, 分析了风险厌恶因子 k 对销售商订购量 Q_E^* 的影响, 如图 1 所示. 发现数值计算与上述分析一致, 即 k 的大小会影响销售商订购量的增减幅度, 而不会改变订购量的增减趋势.

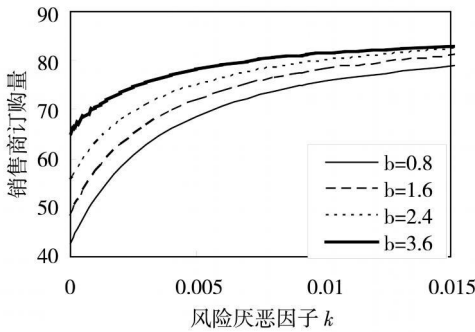


图 1 退货价格和风险厌恶因子对订购量的影响

Fig. 1 The effect of Return Price and risk-averse factor on order quantities

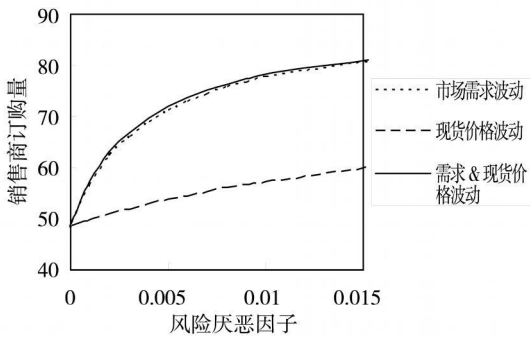


图 2 需求风险和现货价格风险厌恶因子对订购量的影响

Fig. 2 The effect of demand and spot-price risk-averse factor on order quantities

命题 2 是 k 的增函数, 即销售商的合约订购量随着他对现货价格风险厌恶程度的增加而增加.

证明 因为 $F^{-1}(\cdot)$ 是增函数, 要证 Q_E^* 是 k 的增函数, 只需证明表达式 I 是 k 的增函数即可.

$$\frac{dQ_E^*}{dk} = \frac{dI}{dk} = \frac{\left[\frac{\mu_s - w - 2k(b-h)^2 H(Q_E) + 2k\sigma_s^2 P(Q_E)}{\mu_s + h - b - 2k((b-h)^2 H(Q_E) + \mu_s^2 P(Q_E))} \right]'}{2\sigma_s^2 P(Q_E)}$$

$$= \frac{2\sigma_s^2 P(Q_E)}{\mu_s + h - b - 2k((b-h)^2 H(Q_E) + \mu_s^2 P(Q_E))}$$

$$> 0 \quad (26)$$

即销售商的订购量是风险厌恶因子 k 的增函数. 证毕.

图 2 分析了需求波动和现货价格波动对销售商订购量的影响, 可以看出销售商对于需求风险和现货价格波动风险的规避会使得其订购量增加, 证实命题 1 和 2 的正确性. 因此可知: 在现货市场存在下, 销售商的合约订购量随销售商风险厌恶程度的增加而增加.

4 现货市场供应不确定时销售商的采购策略

对于销售商而言, 可以通过契约从长期供应商那里订购, 也可以从现货市场上采购, 但是这里现货市场上的供应是不确定的, 也就是说, 销售商并不一定能够从现货市场即时取得商品供应. 假设契约市场订购量为 Q , 销售商在现货市场上的采购量为随机变量 y 已知均值和方差分别为 μ_y 和 σ_y^2 , 概率密度和分布函数分别为 $g(y)$ 和 $G(y)$. 最终产品市场需求仍为 x 概率密度和分布函数仍为 $f(x)$ 和 $F(x)$.

需要说明的是, 为了避免模型的解析表达式太过复杂, 对于现货供应不确定的情况, 假设现货价格固定, 等于其均值即 $s = \mu_s$, 然后我们在数值分析部分将首先对该情况下的现货价格 s 作灵敏度分析, 以分析现货价格的变动对于最优订购量和期望利润的影响程度.

4.1 销售商和系统最优订购量

基于上述假设, 可得销售商、供应商和一体化供应链的利润函数

$$\Pi_b^U = r \ln(\xi Q + y) - wQ + (b-h) * (Q-x)^+ - \pi(x-Q-y)^+ - \mu_s y \quad (27)$$

$$\Pi_s^U = (w-v)Q - (b-v)(Q-x)^+ \quad (28)$$

$$\Pi_i^U = r \ln(\xi Q + y) - cQ + (v-h)(Q-x)^+ - \pi(x-Q-y)^+ - \mu_s y \quad (29)$$

利润期望函数为

$$E(\Pi_b^U) = E_x \{ E_y \left[\Pi_b^U \right] \} = r \ln(\xi Q + \mu_y) - wQ +$$

$$(b-h)H(Q_U) - (r+\pi) \int_{Q_U}^{\infty} \xi(Q_U+y) f(x) dx - \mu_s \int_{Q_U}^{\infty} \psi(y) f(x) dx \quad (30)$$

$$E(\Pi_s^U) = (w - c)Q_U - (b - v)H(Q_U) \quad (31)$$

$$E(\Pi^U) = p - cQ_U + (v - h)H(Q_U) - (r+\pi) \int_{Q_U}^{\infty} \xi(Q_U+y) f(x) dx - \mu_s \int_{Q_U}^{\infty} \psi(y) f(x) dx \quad (32)$$

其中 $\xi(Q_U+y) = \int_0^{x-Q_U-y} (x-Q_U-y) g(y) dy$ $\psi(y) = \int_0^{x-Q_U} yg(y) dy$

根据 Stackelberg 博弈, 零售商根据供应商的

$$\frac{\partial E(\Pi_b^U)}{\partial Q_U} = -w + (b-h)F(Q_U) - \left[(r+\pi) \int_{Q_U}^{\infty} f(x) \int_0^{x-Q_U-y} (x-Q_U-y) g(y) dy dx + \mu_s \int_{Q_U}^{\infty} f(x) \int_0^{x-Q_U} yg(y) dy dx \right]_{Q_U} \quad (33)$$

$$= -w + (b-h)F(Q_U) + \left[\frac{(r+\pi)}{n-m} \int_{Q_U}^{\infty} (x-Q_U-m) f(x) dx + \frac{\mu_s}{n-m} \int_{Q_U}^{\infty} (x-Q_U-m) f(x) dx \right]$$

$$= -w + (b-h)F(Q_U) - \frac{m}{n-m} (r+\pi + \mu_s) (1 - F(Q_U)) + \frac{r+\pi + \mu_s}{n-m} P(Q_U)$$

$$\frac{\partial^2 E(\Pi_b^U)}{\partial Q_U^2} = -\frac{r+\pi + \mu_s}{n-m} (1 - F(Q_U)) + \left[\frac{m}{n-m} (r+\pi + \mu_s) + (b-h) \right] f(Q_U) < 0 \quad (34)$$

因为 Q_U 为连续型变量, 则具体在某一点的概率等于零, 因此公式 (34) 小于零. 所以销售商利润是 Q_U 的凹函数, 现货市场供应不确定时销售

$$U = E[\Pi_b^U] - kVar[\Pi_b^U]$$

$$= p_d - wQ_U + (b-h)H(Q_U) - (r+\pi) \int_{Q_U}^{\infty} \xi(Q_U+y) f(x) dx - \mu_s \int_{Q_U}^{\infty} \psi(y) f(x) dx - k^2 \sigma_d^2 - k(b-h)^2 [H_2(Q_U) - (H(Q_U))^2] - k(r+\pi)^2 \left\{ 2 \int_{Q_U}^{\infty} \xi[(Q_U+y)^2] f(x) dx - \left[\int_{Q_U}^{\infty} \xi(Q_U+y) f(x) dx \right]^2 - \int_{Q_U}^{\infty} [\xi(Q_U+y)]^2 f(x) dx \right\} - \mu_s^2 \left\{ 2 \int_{Q_U}^{\infty} \psi(y) f(x) dx - \left[\int_{Q_U}^{\infty} \psi(y) f(x) dx \right]^2 - \int_{Q_U}^{\infty} [\psi(y)]^2 f(x) dx \right\} \quad (35)$$

由于函数包含 x 和 y 两个随机变量, 无法得出最优订购量 Q_U 的解析表达式, 甚至无法求解效用函数对 Q_U 的导数. 根据现货市场充足下的采购策略以及 4.1 节最优订购量的存在性可知, 风

报价 (w, b) 决定最优订购量 Q_U^* , 由式 (30) 求 Q_U 的一阶偏导数, 就可以确定销售商的最优订购量 Q_U^* . 由于随机变量 x 和 y 的分布函数未知, 无法求解出 Q_U^* 的解析表达式, 这里只给出 Q_U^* 的存在性命题.

命题 3 销售商利润函数是关于 Q_U 的凹函数, 即 Q_U^* 存在.

因为 $E(\Pi_b^U)$ 中含有 x 和 y 两个随机变量, 无法直接对利润函数求 Q_U 的导数. 这里我们假设变量 $y \sim U(m, n)$ 给出理论上的证明, 而在第 5 节将分别对需求服从均匀分布和正态分布给出计算结果以验证该命题的正确性.

证明 由均匀分布性质可知, $g(y) = 1/(n-m)$, $G(y) = (y-m)/(n-m)$, 有

商的最优订购量也存在. 证毕.

4.2 考虑销售商风险态度时的最优订购量

销售商的效用函数为

险规避型销售商的最优订购量也应存在, 但是最优订购量是随风险厌恶程度的增加而增加还是减少无法给出理论证明. 在第 5 节将分别对需求服从均匀分布和正态分布的情况进行数值分析, 并

得出了完全一致的结论。

5 数值分析

虽然前面两节中假设随机变量 x 和 y 的分布函数和密度函数已知量, 但是分布函数的逆函数不可求, 所以很难求出解析解。在报童模型中通常假设市场需求服从均匀分布和正态分布^[27], 因此我们对市场需求服从均匀分布 $x \sim U(0, 100)$ 的情况作了分析。同时不失一般性, 这里还给出了正态分布 $x \sim N(50, 10^2)$ 的数据作为对比 (如表 1 所示)。现货供应不确定时的现货采购量 $y \sim U(0, 20)$ 的均匀分布, 则有 $g(y) = 1/20$, $G(y) = y/20$, $\mu_y = 10$, $\sigma_y^2 = 20^2/12$ 。另外, 这里采用与文献 [15] 相同的参数: 最终产品市场价格 $r = 10$, 批发价格 $w = 4$, 存货成本为 w 的函数 $h = w \times 20\%$, 供应商成本 $c = 2$, 周期末未出售产品退货价格 $b = 1$, 供应商回购产品的清货价格 $v = 0.5$, 现货市场上的供应价格 $s \sim U(4, 10)$ 的均匀分布, 均值 $\mu_s = 7$, 方差 $\sigma_s^2 = 62/12$ 。假设销售商的单位缺货成本较高, 这里给出了缺货成本分别取 6 和 12 的计算结果, 销售商风险厌恶因子 $0 \leq k = k_1 = k_2 \leq 0.01$ 。

正如第 4 节中所提到的, 先对现货供应不确定模型中的现货价格作灵敏度分析。

从图 3 和 4 可以看出, 当现货价格有较大的波动时, 对供应链期望利润和最优订购量的影响很小, 现货价格增加 15%, 最优订购量增加不到 1%, 因此本文在现货供应不确定的模型中假设现货价格固定是可行的。而随现货价格的增加, 供应

链利润减少, 而方差的波动增加。

下面对两种需求分布的计算结果进行分析。

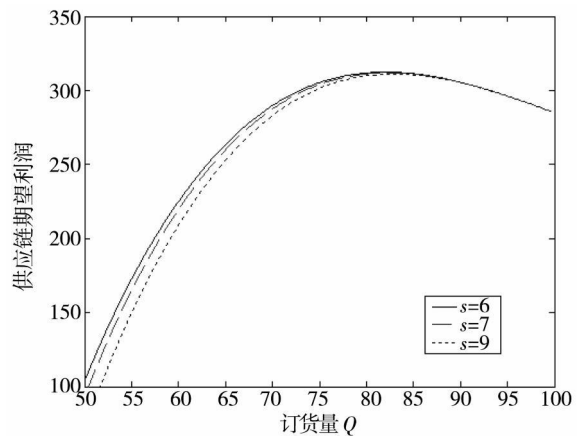


图 3 现货价格对订购量和期望利润的影响

Fig. 3 The effect of spot market prices on order quantities and expected profits

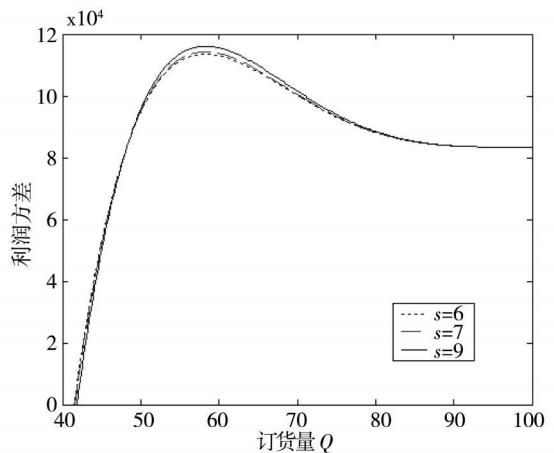


图 4 现货价格对供应链利润方差的影响

Fig. 4 The effect of spot market prices on the profit variance of supply chain

表 1 两种需求分布下风险厌恶因子对不同市场条件下销售商订购量的影响

Table 1 Effects of risk-averse factor on optimal order quantities on different market conditions under two demand distributions

风险厌恶因子 k	市场需求服从均匀分布 $U(0, 100)$ 时						市场需求服从正态分布 $N(50, 10^2)$ 时					
	传统契约市场		现货供应充足		现货供应不确定		传统契约市场		现货供应充足		现货供应不确定	
	$\pi = 6$	$\pi = 12$	$\pi = 6$	$\pi = 12$	$\pi = 6$	$\pi = 12$	$\pi = 6$	$\pi = 12$	$\pi = 6$	$\pi = 12$	$\pi = 6$	$\pi = 12$
0	75.949 4	82.568 8	44.117 6	44.117 6	74.118 1	76.967 6	57.046 8	59.372 6	48.520 1	48.520 1	51.602 1	53.223 6
0.001	66.010 7	74.509 9	53.419 2	53.419 2	76.421 0	79.675 4	56.211 5	58.758 5	49.360 1	49.360 1	52.760 8	54.651 8
0.002 5	57.285 1	67.591 4	61.890 6	61.890 6	78.971 9	82.266 5	55.094 4	57.964 5	50.490 6	50.490 6	54.136 0	56.226 3
0.005	50.741 2	62.807 1	69.465 7	69.465 7	81.706 4	84.770 1	53.599 2	56.944 2	52.068 8	52.068 8	55.816 6	58.031 2
0.007 5	47.575 0	60.660 9	73.766 9	73.766 9	83.458 0	86.294 1	52.476 3	56.207 8	53.342 9	53.342 9	57.048 0	59.298 1
0.01	45.692 0	59.437 8	76.622 5	76.622 5	84.701 9	87.353 4	51.615 8	55.662 4	54.392 0	54.392 0	58.009 3	60.265 9

从表 1 可以看出, 两种需求分布下的变化趋势完全一致.

首先, 当不考虑销售商的风险态度时, 单纯契约市场下的订购量最高, 其次是现货市场供应不确定的情况, 而现货供应充足时的订购量最少. 与单纯契约市场相比, 结合现货市场的采购策略可以明显减少对长期供应商的订购量. 这一点与 Sere 等 (2001) 的结论一致. 这是因为在现货市场存在下, 除了合约采购外, 销售商还可以从现货市场采购. 由于存货成本等销售商对于契约市场的订购量减少, 减少幅度取决于现货价格和库存成本的大小, 现货期望价格越高则合约订购量越高; 现货价格越低则销售商的合约订购量越少. 而现货价格不变时, 库存成本 h 越高则合约订购量越少, 销售商基于库存成本考虑会更多地从现货市场采购. 现货市场供应不确定时, 销售商出于对现货市场断货风险的考虑, 会从契约市场订购较多产品来规避断货风险. 但是, 当考虑销售商的风险态度时, 结果就不同了, 随着风险厌恶程度的增加, 现货不确定条件下的订货量首先超过单纯契约市场, 不同市场下的合约订购量顺序变为: 现货供应不确定 > 单纯契约市场 > 现货供应充足的情况. 而随着风险厌恶因子进一步增加现货充足条件下的合约订货量也会超过单纯契约市场下的订货量, 即不同市场下的合约订购量顺序又变成: 现货供应不确定 > 现货供应充足 > 单纯契约市场的情况. 也就是说, 当考虑到销售商的风险厌恶程度时, 现货市场的出现并没有减少反而会增加销售商对长期供应商的订购量, 而 Sere 等^[10] 显然没有考虑这一点.

其次, 在不同市场下销售商的风险厌恶因子对合约订购量的影响完全不同. 从表 1 可以看出, 单纯契约市场的订购量随风险厌恶程度的增加而迅速减少, 这与定理 1 的结论一致. 而当现货市场存在时, 订购量随风险厌恶程度的增加反而增加. 表面看起来这一结论有悖于常理, 可以这样考虑, 由于现货市场价格高且波动大, 如果大量地从现货市场上采购, 销售商和整个供应链的利润空间肯定大大减少, 因而风险规避的销售商权衡利弊可能会增加合约订购量, 并利用供应商的退货策略实现利润最优.

表 2 不考虑销售商的风险偏好时供应链达到协调时的退货价格
Table 2 Return Prices of supply chain coordination under different market conditions when retailer's risk neutral

退货价格	传统契约市场	现货供应充足	现货供应不确定
	2.73	3.42	2.927

再次, 不同市场条件下实现供应链协调时的退货价格不同. 从表 2 可以看出, 现货市场存在下的退货价格要高于单纯契约市场时的退货价格, 现货供应充足时的退货价格高于现货供应不确定下的退货价格. 这是因为由于现货市场的存在, 要想使销售商增加合约订购量, 供应商要提供更优惠的条件比如提高退货价格等来激励销售商增加订购量.

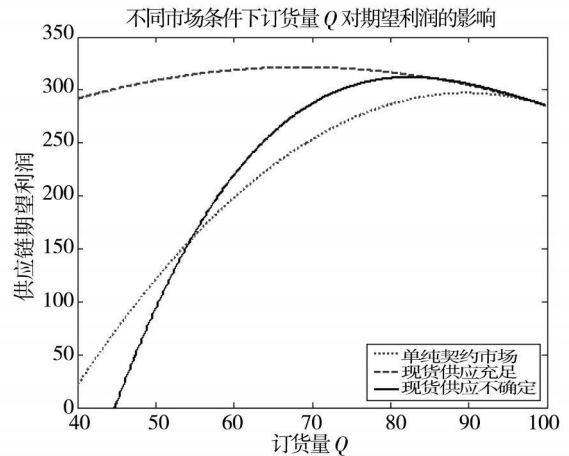


图 5 不同市场条件下期望利润的变化情况

Fig 5 Trends of expected profits with respect to the optimal order quantities in different market conditions

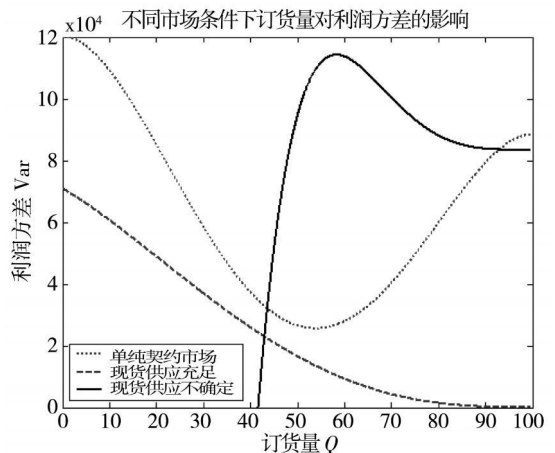


图 6 不同市场条件下利润方差的变动情况

Fig 6 Trends of profit variances with respect to the optimal order quantities in different market conditions

另外, 不同市场条件下供应链系统期望利润和方差有很大不同. 图 5 和图 6 显示的是, 不考虑销售商的风险厌恶偏好时合约订购量对供应链期望利润和方差的影响. 可以看出, 结合现货交易的期望利润要高于单纯契约市场的情况. 当订购量小于 83 时现货供应充足条件下的期望利润要高于现货供应不确定的情况; 而当超过这一数值时, 现货供应充足下的期望利润与现货供应不确定的情况几乎相同. 而从利润方差的变动情况来看, 现货供应充足情况下的方差变动最小, 而且随订购量的增加方差大大降低. 而现货供应不确定下在订购量 50 ~ 60 之间变动剧烈达到最大值, 之后趋于平缓但方差仍然非常大.

表 3 不同市场上供应链及其成员利润

Table 3 Profits of supply chain and its members in different market conditions

研究对象	传统市场	现货充足	现货不确定
销售商	143 119 3	202 564 1	167 533 1
供应商	153 741 7	114 303 4	143 863 7
供应链	296 861 0	316 867 5	311 396 8

表 4 剩余产量以现价出售时供应链及成员利润

Table 4 Profits of supply chain and its members when clearing left products at spot price

研究对象	传统市场	现货充足	现货不确定
销售商	143 119 3	202 564 1	167 533 1
供应商	153 741 7	302 024 2	175 134 5
供应链	296 861 0	504 588 3	342 667 6

最后, 分析一下供应链成员的各自利润是否因现货市场的出现而增加. 从表 3 中的数据可以看出, 结合现货市场交易的供应链期望利润要高于单纯契约市场下的期望利润; 同时现货供应充足时的供应链期望利润高于现货供应不确定的情况. 但是随着现货市场的出现虽然整个供应链和销售商的利润增加了, 而供应商的利润反而减少了. 这与 Wang 和 Benaroch² 的分析一致, Wang 和 Benaroch 文章中提出的解决方法可以是销售商向供应商支付一定的佣金, 从而促使供应商参与电子市场. 其实, 供应商参与现货市场后其利润未必减少, 因为供应商可以将剩余产能到现货市场上出售. 假设供应商还是按照传统市场上销售商的订购量生产 (假设总的市场需求不变, 在线

市场交易可以跨越地域限制) 除去销售商的订购量, 供应商剩余产量可以在现货市场上以现货价格全部卖出, 则供应商及供应链的利润如表 4 所示, 供应商、销售商和整个供应链的利润都增加了. 而增加的利润可能来源于更好地满足市场需求、减少单纯契约市场下的缺货损失、降低退货清货和库存成本等.

6 结束语

本文综合考虑了随机市场需求和现货市场供应不确定、现货价格的不确定性、风险厌恶程度等关键参数的影响. 通过模型求解和数值分析发现, 对风险中性的销售商而言, 结合现货交易的期望利润要高于单纯契约市场的情况, 现货供应充足时的供应链期望利润高于现货供应不确定的情况. 从最优订购量来看, 单纯契约市场下的订购量最高, 其次是现货市场供应不确定的情况, 而现货供应充足时的订购量最少. 当考虑销售商的风险厌恶态度时, 单纯契约市场的订购量随风险厌恶程度的增加而减少, 而现货市场存在下最优订购量随风险厌恶程度的增加反而增加; 三种市场条件下的合约订购量顺序也随之发生着变化: 由最初的单纯契约市场 > 现货供应不确定 > 现货供应充足的顺序变为现货供应不确定 > 单纯契约市场 > 现货供应充足的情况, 然后又变成现货供应不确定 > 现货供应充足 > 单纯契约市场的情况. 有一点是不变的, 那就是现货供应不确定下的合约订购量总是大于现货供应充足的情况.

本文中市场销售价格不变的假设对于销售周期较短的商品是可行的, 但长期来看市场销售价格是受市场需求影响的, 因此对于需求价格相关商品的情况可作为未来研究的方向. 本文有关现货供应市场不确定下的采购结论是基于均匀分布和正态分布的数值分析得出的, 缺乏理论证明, 对于其他分布类型结论是否相同尚需进一步验证. 另外本文假设现货价格与现货供应和市场需求是独立的. 而现实中往往是现货市场供应越多现货价格越低, 市场需求越大现货价格越高, 对于现货价格与现货供应和市场需求相关的情况可作为深入研究的问题.

参考文献:

- [1] Grey W, Olavson T, Shi D. The role of e-marketplaces in relationship-based supply chains: A survey [J]. *IBM Systems Journal* 2005, 44(1): 109—123
- [2] Wang C X, Benaroch M. Supply chain coordination in buyer-centric B2B electronic markets [J]. *International Journal of Production Economics* 2004, 92(2): 113—124
- [3] Cohen M A, Agrawal N. An analytical comparison of long and short term contracts [J]. *IEE Transactions* 1999, 31: 783—96
- [4] Araman V, Kleinknecht J, Akella R. Seller and procurement risk management in ebusiness: Optimal long term and spot market mix [R]. Stanford University Department of Management Science and Engineering Working Paper 2001
- [5] Peleg B, Lee H, Hausman W. Short term procurement strategies versus long term contracts [J]. *Production and Operations Management* 2002, 11(4): 458—479
- [6] Wu D J, Kleindorfer P R, Zhang J E. Optimal bidding and contracting strategies for capital intensive goods [J]. *European Journal of Operational Research* 2002, 137: 657—676
- [7] Spiller S, Huchzemeier A. The valuation of options on capacity with cost and demand uncertainty [J]. *European Journal of Operational Research* 2006, 171(3): 915—934
- [8] Mendelson H, Tunca T. Strategic spot trading in supply chains [J]. *Management Science* 2007, 53(5): 742—759
- [9] Seifert R W, Thommann U W, Hausman W H. Optimal procurement strategies for online spot markets [J]. *European Journal of Operational Research* 2004, 152: 781—799
- [10] Serel D A, Dada M, Moskowitiz H. Sourcing decisions with capacity reservation contracts [J]. *European Journal of Operational Research* 2001, 131: 635—648
- [11] Serel D A. Capacity reservation under supply uncertainty [J]. *Computers and Operations Research* 2007, 34: 1192—1220
- [12] Yao Zhong, Stephen Leung, Lai K K. Analysis of the impact of price sensitivity factors on the returns policy in coordinating supply chain [J]. *European Journal of Operational Research* 2008, 187(1): 275—282
- [13] Yao Zhong, Stephen Leung, Lai K K. Using returns policy to improve the supply chain performance under retailer's competition with price-dependent demand [J]. *Journal of Operations and Logistics* 2007.
- [14] Choi T, Li D, Yan H. Optimal returns policy for supply chain with e-marketplace [J]. *International Journal of Production Economics* 2004, 88(2): 205—227.
- [15] 晏妮娜, 黄小原. 基于电子市场的供应链退货问题模型 [J]. *系统工程理论方法应用*, 2005, 14(6): 492—496
Yan Ni-na, Huang Xiao-yuan. Returns policy model for supply chain with e-marketplace [J]. *System Engineering Theory Methodology Applications* 2005, 14(6): 492—496 (in Chinese)
- [16] 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 Ni-na, Huang Xiao-yuan. Models and optimization of option contract coordination in supply chain with B2B e-market [J]. *Control and Decision* 2007, 22(5): 535—539 (in Chinese)
- [17] 常志平, 蒋 馥. 偏向买方的 E化供应链的协调与激励 [J]. *工业工程与管理*, 2003, 8(6): 1—5
Chang Zhi-ping, Jiang Fu. Buyer-oriented electronic supply chain: Coordination and stimulation [J]. *Industrial Engineering and Management* 2003, 8(6): 1—5 (in Chinese)
- [18] Xia M, Xia N. The complementary impacts of e-markets on existing supplier-buyer relationships in a supply chain [J]. *Journal of Management Information Systems* 2009, 25(3): 9—64
- [19] 赵泉午, 熊中楷, 林 娅, 等. 基于电子市场的易逝品两级供应链供需博弈分析 [J]. *中国管理科学*, 2004, 12(3): 91—96
Zhao Quan-wu, Xiong Zhong-kai, Lin Ya, et al. Game analysis of two-stage supply chain for perishable goods under e-marketplace [J]. *Chinese Journal of Management Science* 2004, 12(3): 91—96 (in Chinese)

- [20] 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 De li On supply chain coordination with contract based on option and spot markets [J]. Control and Decision 2006 21(11): 1229—1233 (in Chinese)
- [21] 沈厚才, 徐进, 庞湛. 损失规避偏好下的定制件采购决策分析[J]. 管理科学学报, 2004 7(6): 37—45
Shen Hou cai Xu Jin Pang Zhan Decision analysis for order specific component procurement with loss-averse utility [J]. Journal of Management Sciences in China 2004 7(6): 37—45 (in Chinese)
- [22] 姚 忠. 风险约束下退货合同对供应链的协调性分析[J]. 管理科学学报, 2008 11(3): 96—105
Yao Zhong Returns policy for coordinating the single period supply chain under retailer downside risk constraints [J]. Journal of Management Sciences in China 2008 11(3): 96—105 (in Chinese)
- [23] Zhang Long Song Shiji Wu Cheng Supply chain coordination of loss-averse newsvendor with contract [J]. Tsinghua Science and Technology 2005 10(2): 133—140
- [24] Roulledge B R Seppi D J Spatt C S Equilibrium forward curves for commodities [J]. Journal of Finance 2000 55(3): 1294—1338
- [25] Lau H-S The newsboy problem under alternative optimization objectives [J]. Journal of the Operational Research Society 1980 31: 525—535
- [26] Bar-Shira Z Finkelstein J Two-moment decision models and utility representable preferences [J]. Journal of Economic Behavior and Organization 1999 38(2): 237—244
- [27] Wang C X Webster S The loss-averse newsvendor problem [J]. Omega 2009 37 93—105

Dual sourcing optimal procurement policy under spot market supply uncertainty

WANG Limei YAO Zhong LIU Lu

School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China

Abstract This paper analyzes the optimal procurement strategies when spot market supply is abundant or short with the coexistence of spot and contract market. First, we analytically derive buyer's optimal ordering and supplier's return price when spot market is abundant or short, as well as the effects of buyer's risk-averse attitude on optimal ordering policy. Numerical examples are used to explore the optimal ordering and expected profits both in abundant and short supply situations. Results show that short supply in spot markets always leads to an increase in order quantity than the case of abundant supply. However, short supply in spot markets leads to a decrease in buyer's expected profit than the case of abundant supply. When integrating the risk-averse attitude into the model, the optimal ordering policy in dual supply environments is exactly the opposite to that of the traditional contract case.

Key words supply chain management; spot market; returns policy; risk-averse