文章编号: 1001-0920 (2013) 03-0334-05

结合期权合约与现货市场的原材料采购风险管理

吴 桥[1], 刘 南[1], 庞海云[1,2]

(1. 浙江大学 管理学院，杭州 310058；2. 浙江科技学院 经管学院，杭州 310023)

摘 要: 通过建立一个两时点的采购模型, 研究在原材料价格波动下一个风险规避制造商的最优组合采购策略. 制造商可利用期权合约购买原材料, 或者从现货市场采购. 研究结果表明, 最优期权购买数量受到风险规避程度、期权费以及执行价格的影响. 最优购买数量与决策者风险规避程度之间的关系受到期权定价影响; 最优购买数量随着期权购买费或执行价格的增加而减少. 最后, 通过比较说明, 采用组合采购策略可以提高制造商的均值-方差效用水平.

关键词: 价格风险；现货市场；期权合约；原材料

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Procurement risk management of raw materials via combined use of option contracts and spot markets

WU Qiao[1], *LIU Nan*[1], *PANG Hai-yun*[1,2]

(1. School of Management，Zhejiang University，Hangzhou 310058，China；2. School of Economics and Management，Zhejiang University of Science and Technology，Hangzhou 310023，China. Correspondent：WU Qiao，E-mail：wupu7@163.com)

Abstract: A two-period model is proposed to investigate optimal combined purchasing strategies for a risk-averse manufacturer in an environment of uncertain raw material prices. The manufacturer can buy raw materials via option contracts, or from a spot market. The research results show that the optimal options purchasing quantity is influenced by the degree of risk aversion, the option premium and the exercise price. The relationship between the optimal purchasing quantity and the degree of risk aversion is affected by option prices. And the optimal purchase quantity decreases as the option premium or exercise price rises. Finally, it is demonstrated by comparison that the mean-variance utility of the manufacturer can be improved by using a combined purchasing strategy.

Key words: price risk；spot market；option contract；raw materials

0 引 言

在经济全球化背景下, 企业面临了越来越多的不确定因素. 市场瞬息万变, 由于受到各种因素的影响, 如成本、市场利率、汇率等, 原材料供需关系不断变化, 这导致市场价格经常剧烈波动, 给制造型企业造成了很大的困扰, 如在2009年市场上薄钢板材料比较紧缺, 其价格一度上涨了3000元 / 吨. 某制罐厂因为担心薄钢板再次大幅涨价, 于是大量进货, 囤积了约1万吨的薄钢板. 然而, 薄钢板市场价格并未如预期地那样涨价, 反而大幅下挫, 每吨价格跌了2 000元, 结果企业因高位买进1万吨货物损失了2 000万元.

一般而言, 生产制造业原材料的采购成本占销售额的60%~80%[1], 原材料价格的波动很大程度上会引起企业利润的波动, 以至于影响到企业的正常经营运作. 许多企业非常注重公司利润的稳定性, 因此需要采取适当策略控制采购与生产成本, 有效管理利润的不确定性, 以保证经营的稳定性. 采购人员认识到通过利用合约市场与现货市场能降低原材料采购风险. 目前一些公司已经采用组合管理的模式, 如惠普公司开始实施主动采购风险管理 (PRM) 方法, 每个项目基于不同的风险评价采用不同的灵活的采购方式来满足需求[2].

在结合现货市场的供应链采购研究领域, Ritchken等[3]做了开创性的工作, 研究表明现货市场

收稿日期: 2011-09-22；**修回日期:** 2011-11-24.

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划培养项目(90924023).

作者简介: 吴桥(1983−), 男, 博士生, 从事供应链风险管理的研究；刘南(1961−), 男, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理等研究.

的价格影响最优订货策略. 近年来, 关于组合使用合约市场与现货市场的采购策略的研究逐渐增多. 文献[4] 对现货市场下的供应链协调作了很好的概述; 文献[5] 考虑了价格和需求不确定下的库存控制, 分析了多阶段环境下采购决策在价格确定的长期契约与灵活的、价格不确定的短期契约之间的权衡; 文献[6] 分析了单周期下采购商的最优策略, 结果表明利用现货市场的混合策略优于从单个市场采购的方式; 文献[7] 对一个多周期的采购问题进行研究, 得到的混合策略要优于单一购买策略; 这些研究以结合远期合约与现货市场为主.

文献[8-11] 研究了使用期权合约时的组合采购问题, 在该领域作了较大贡献, 它利用长期合约与短期合约应对资本密集行业(如电力行业) 的不确定性因素, 结果得出的最优合约组合可提高协调的效果; 文献[12] 在供应链研究中引入期权机制, 但没有考虑现货市场存在的情况; 文献[13-14] 设计了应用期权合约协调在线市场与传统市场的机制; 文献[15] 通过期权机制, 建立了电子市场与传统契约市场共存下的供应链中各决策主体的决策模型. 另外, 在现货价格和客户端需求关联的情形下, 文献[16] 采用期权组合合约建立现货市场供应量有限时的两阶段采购风险管理模型. 这些研究都假定决策者是风险中性的, 但现实中决策者往往是风险规避的, 决策者的风险规避度对最优采购策略会产生影响.

本文研究在原材料价格波动环境下, 一个风险规避的制造商从市场购买原材料用于加工, 生产出成品向市场销售. 为了满足生产的需求, 制造商可以从供应商购买期权合约, 也可以在现货市场上购买原材料. 采购决策者的目标是权衡这两种不同的采购方式, 制定一个合理的采购策略, 以使决策者的总效用最大. 国内外对组合利用现货市场与合约市场的研究逐渐增多, 但没有同时考虑到购买者的风险规避性与期权定价问题. 因此, 本文在现有研究基础上的主要工作是: 1) 将采购决策者的风险规避因素引入组合期权合约与现货市场的采购策略中, 得到最优期权采购量的分析解可在实践中应用; 2) 分析期权价格对采购策略的影响, 提出期权费定价可高于公平价格; 3) 给出效率评价方法, 说明采用组合策略后效率得以提高.

1　问题与模型

在原材料现货市场波动情形下, 制造商需要购买一定量的原材料来满足生产需求. 制造商两时点采购模型如图 1 所示. 图中, 采购周期的期初用时点 1 表示, 期末用时点 2 表示. 期末原材料生产需求为 D, 不允许出现缺货的情况, 那么该制造商需要购买原材料的总量为 D. 购买原材料有两种方式: 一种是提前从供应商购买期权合约, 另一种是直接从现货市场购买. 期权合约采购的方式为: 制造商在期初付给供应商一定的费用(期权费), 制造商便获得权力在期末按照事先约定的价格(执行价格) 购买一定数量的原材料; 而现货购买是指在需要原材料当天直接从现货市场上购买.

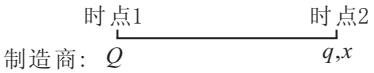

图 1　制造商两时点采购模型

在初始时点 1, 供应商制定原材料供应期权合约的价格参数为 (s, g). 其中: s 为单位期权费用, g 为时点 2 的单位期权执行价格. 为了规避原材料价格波动的风险, 制造商在初始时点 1 从供应商购买数量为 Q 的期权合约, 付出相应的预定费用 sQ; 在时点 2, 当观察到原材料价格后, 制造商确定执行期权合约的数量 q 以及现货市场的采购量 x 以满足生产需求.

假设原材料现货市场是完全竞争的, 现货价格是外生变量, 当供应商和制造商的交易份额占整个原材料市场很小时是合理的; 期末原材料价格 P 的分布函数为 $F(P)$, 密度函数为 $f(P)$, 现货市场的期望价格为 μ_s. 企业的最终产品的销售价 r 大于相应消耗的原料成本, 即 $r > \mu_s$.

1.1　期末时点 2 的最优采购决策

在时点 2 制造商的利润函数为

$$\pi_2(q,x) = rD - gq - Px;$$
$$\text{s.t.}\quad q \leqslant Q,\ q + x = D,\ \ x, q \geqslant 0. \tag{1}$$

其中: 利润函数 (1) 右边第 1 项为最终产品销售收入, 第 2 项为期权执行费用, 第 3 项为现货购买费用. 第 1 个约束条件表示期权合约执行数量不大于期权购买量, 第 2 个约束条件表示时点 2 可用原材料数量必须满足需求. 在时点 2 期末现货价格已知, 容易得到此时制造商的最优决策, 分为如下两种情况:

1) 当现货价格大于执行价格即 $P > g$ 时, 目标利润 $\pi_2(q,x)$ 最大, 容易得到时点 2 的最优决策 $q^* = Q$, $x^* = D - Q$. 也就是当原材料现货价格较高时, 全部执行期权合约, 其余部分从现货市场购买.

2) 现货价格小于等于执行价格即 $P \leqslant g$, 这时得到 $q^* = 0, x^* = D$. 当现货市场价格较低时, 放弃期权合约, 所需原材料全部从现货市场购买. 这两种情况说明, 通过购买期权合约制造商能以现货价格与执行价格两者间较低的价格购买原材料, 从而降低了采购的风险.

1.2　期初时点 1 最优采购决策

在时点 1 做采购决策时, 期末现货价格具有不确定性, 风险规避制造商的目标是, 决定期权采购数量

Q 的最大化均值-方差效用 (MV 效用). 时点 1 决策者的总利润为

$$\pi(q,x)=rD-sQ-gq^*-Px^*.$$

将时点 2 的最优采购量 q^* 和 x^* 带入上式, 得到时点 1 制造商的期望利润

$$\mathrm{E}(\pi)=rD-sQ-\mu_sD+Q\int_g^\infty(P-g)\mathrm{d}F(P). \quad (2)$$

其中: 右边第 2 项为购买期权费用, 第 3 项为从现货市场上采购所需原材料的期望成本, 第 4 项为由于执行期权而获得的期望收益. 该制造商利润的方差为

$$\begin{aligned}&\mathrm{Var}(\pi)=\\&Q^2\Big[\int_g^\infty(P-g)^2\mathrm{d}F-\Big(\int_g^\infty(P-g)\mathrm{d}F\Big)^2\Big]+\\&2DQ\int_g^\infty(\mu_s-P)(P-g)\mathrm{d}F(P)+\\&D^2\int_g^\infty P^2\mathrm{d}F(P)-(\mu_sD)^2,\end{aligned}$$

因此, 时点 1 制造商的 MV 效用水平为

$$\begin{aligned}&U(Q)=\mathrm{E}(\pi)-k\mathrm{Var}(\pi),\\&\text{s.t.}\quad 0\leqslant Q\leqslant D,\end{aligned}\quad (3)$$

其中 $k(k>0)$ 为制造商的风险回避因子, k 越大风险回避程度越强. 制造商购买期权合约数量大于等于 0, 且订购的数量不大于生产需求 D. 记

$$H(g)=\int_g^\infty(P-g)\mathrm{d}F,$$

其中 $H(g)$ 表示制造商因购买期权而得到的期望收益. 为了表达简洁, 引入 $J(g)$, $L(g)$ 与 $I(g)$, 记

$$J(g)=\int_g^\infty(\mu_s-P)(P-g)\mathrm{d}F,$$

$$L(g)=\int_g^\infty(P-g)^2\mathrm{d}F,\ I(g)=\int_g^\infty P(P-g)\mathrm{d}F.$$

命题 1 若 Q^* 在 [0, D] 之间, 制造商的最优期权购买数量为 Q^*; 若 Q^* 小于 0, 制造商的期权购买数量为 0; 若 Q^* 大于 D, 制造商的期权购买数量为 D. 这里

$$Q^*=\frac{H(g)-s-2DkJ(g)}{2k(L-H^2)}.$$

证明 由制造商的 MV 效用函数 (3) 的一阶条件

$$\frac{\partial U}{\partial Q}=\frac{\partial E(\pi)}{\partial Q}-k\frac{\partial\mathrm{Var}(\pi)}{\partial Q}=0,$$

可得

$$H(g)-s-2kQ^*(L-H^2)-2kDJ(g)=0.$$

经过变换, 可以得到制造商的最优期权采购数量

$$Q^*=\frac{H(g)-s-2DkJ(g)}{2k(L-H^2)}. \quad (4)$$

MV 效用函数 $U(Q)$ 的二阶导数为

$$\partial^2U/\partial Q^2=-2k(L-H^2),$$

由柯西不等式可以得到

$$L-H^2=\int_g^\infty(P-g)^2\mathrm{d}F-\Big(\int_g^\infty(P-g)\mathrm{d}F\Big)^2>0.$$

因此有

$$\partial^2U/\partial Q^2=-2k(L-H^2)<0,$$

MV 效用函数 $U(Q)$ 是关于 Q 的凹函数. 根据凹函数性质, 可以得到制造商的期权采购数量

$$Q(s,g)=\begin{cases}0,\ Q^*<0;\\Q^*,\ 0\leqslant Q^*\leqslant D;\\D,\ Q^*>D.\end{cases}$$ □

命题 1 说明制造商为了规避原材料价格波动的风险, 愿意支出相应的期权费用购买一定数量的期权合约, 从而将部分的价格风险转移给供应商; 而最优购买的数量与原材料生产需求、期权价格参数及决策者的风险规避度相关.

2 最优策略敏感性分析

本节将分析决策者风险规避程度、期权费以及执行价格对最优决策的影响, 并通过数值实验提供直观的说明. 在实际中, 人们常用几何布朗运动来描绘价格的变化过程, 因为几何布朗运动能刻画现货价格变化中的随机因素, 并且能满足现货价格始终为正. 现货价格服从几何布朗运动意味着价格服从对数正态分布, 其价格密度函数 $f(p)$ 为

$$f(p;\mu,\sigma)=\frac{1}{p\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\Big(\frac{-(\ln p-\mu)^2}{2\sigma^2}\Big).$$

数值分析中的参数设置为 $\mu=2$, $\sigma=1$, $D=10$, $r=20$; 风险规避系数 $k=0.001$.

命题 2 当 $H(g)<s$ 时, 随着风险规避度 k 的增加, 最优期权购买数量 Q^* 变大; 当 $H(g)=s$ 时, 风险规避度 k 不影响采购数量 Q^*; 当 $H(g)>s$ 时, 随着风险规避度 k 的增加, 采购数量 Q^* 变小.

证明 由式 (4) 可得

$$\frac{\partial Q^*}{\partial k}=\frac{-H(g)+s}{2k^2(L-H^2)}.$$

其中: $H(g)$ 表示制造商购买期权而得到的期望收益水平, s 为制造商购买期权付出的成本. 当 $s=H(g)$ 时最优期权购买数量 Q^* 与购买者的风险规避度 k 无关, 因此 $H(g)$ 可以看作是期权费 s 的公平价格 (或风险中性定价). 因为 $L-H^2>0$, 依据 $H(g)$ 和 s 的大小可确定 k 与 Q^* 之间关系, 由此命题 2 成立. □

$f(p)$ 是对数正态分布函数, 可以得到

$$\begin{aligned}&H(g)=\\&\exp(\mu+\sigma^2/2)\,\Phi\Big(\frac{\mu+\sigma^2-\ln g}{\sigma}\Big)-g\,\Phi\Big(\frac{\mu-\ln g}{\sigma}\Big),\\&I(g)=\exp(2\mu+2\sigma^2)\,\Phi\Big(\frac{\mu+2\sigma^2-\ln g}{\sigma}\Big)-\\&\qquad g\exp(\mu+\sigma^2)\,\Phi\Big(\frac{\mu+\sigma^2-\ln g}{\sigma}\Big),\\&J(g)=\exp(\mu+\sigma^2/2)H(g)-I(g),\end{aligned}$$

$$L(g) = I(g) - gH(g),$$

其中 $\Phi()$ 为标准正态累积分布函数.

在相关参数设置下, 将 $H(g)$, $J(g)$ 与 $L(g)$ 的计算结果代入式 (4) 可确定最优期权购买数量.

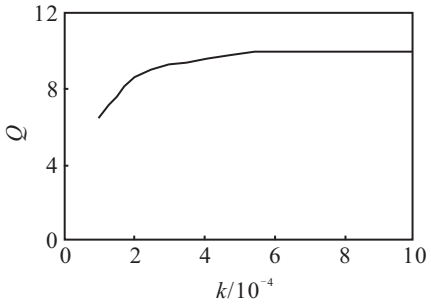

图 2　k 对购买数量$Q^*(s,g)$的影响$(s = 6.0, g = 9.0)$

最优购买数量受到风险规避 k 的影响如图 2 所示, 图中期权合约定价 $s = 6.0$, $g = 9.0$, 是 $s > H(g)$ $(H(g) = 5.81)$ 这种情况. Q^* 随风险规避系数 k 的增大而增加, 但增加的速度逐渐变慢, 在达到原材料需求量 $D = 10$ 后保持不变. 由此说明供应商可把期权费 s 的价格定为高于公平价格, 制造商仍会购买一定量的期权合约, 这是因为采购方风险规避.

命题 3　随着期权预定费 s 或期权执行价格 g 的增加, 制造商的最优期权采购数量 Q^* 减少.

证明　由式 (4) 可得

$$\frac{\partial Q^*}{\partial s} = \frac{-1}{2k(L - H^2)} < 0,$$

因此随着期权预定费 s 的增加, 制造商的最优期权采购数量 Q^* 减少. 在不同的执行价格 g 下, 最优期权采购数量受到期权费 s 的影响如图 3 所示. 由图 3 可见, s 较小时 Q^* 等于 10, 当 s 到某一阈值时, Q^* 随 s 的增加而线性减少.

由式 (4) 推导出期权执行价格 g 对制造商最优购买数量影响的解析式较繁琐, 通过下面的数值分析加以说明. 在不同的期权费 s 下, 最优期权采购数量受到执行价格 g 的影响如图 4 所示. 由图 4 可以看出, 购买数量 Q^* 随期权执行价格 g 的增加而减少, 但两者之间并不是线性关系.

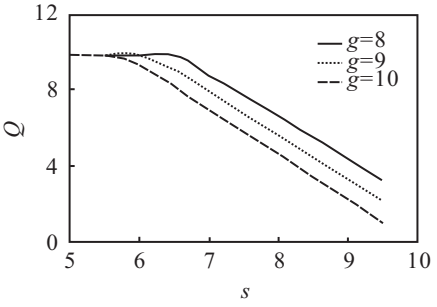

图 3　期权费 s 对购买数量 $Q^*(s,g)$ 的影响

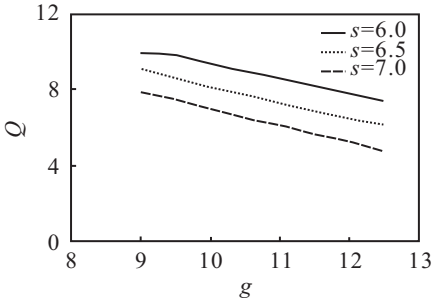

图 4　执行价格 g 对购买数量 $Q^*(s,g)$ 的影响

3　组合策略的效率分析

首先分析在不利用期权合约采购时制造商的 MV 效用水平, 然后将其与采用组合采购策略时的效用水平相比较, 得到效用水平的变化率. 在没有期权合约的情形下, 制造商完全利用现货市场采购原材料来满足生产的需求. 这时制造商的利润 $\pi_0 = rD - PD$, 因此制造商的期望利润 $\mathrm{E}(\pi_0) = rD - \mu_s D$, MV 效用水平为 $U_0 = rD - \mu_s D - kD^2\mathrm{Var}(P)$.

从制造商角度, 利用 MV 效用水平的变化率来表示组合采购策略的有效性, 记效用水平的变化率为

$$\theta = \frac{U(Q) - U_0}{U_0} \times 100\%.$$

采用组合策略后的期望利润 $\mathrm{E}(\pi)$ 与利用单一现货市场采购策略的利润 $\mathrm{E}(\pi_0)$ 随着期权费 s 的变化情况, 以及效率 θ 随着 s 的变化情况如图 5 所示. 由图 5 可以看出, 采用组合策略后的期望利润并不都高于利用现货市场采购策略的利润, 反而当 s 较大时 $\mathrm{E}(\pi)$ 往往小于 $\mathrm{E}(\pi_0)$. 然而 θ 都大于 0, 也就是采用组合策略后 MV 效用水平均有所提高, 只是随着期权费用的增加提高的程度逐渐减小. 这是因为制造商通过购买期权合约付出了一些成本导致期望利润出现下降; 而好处是降低原材料价格波动对企业的影响, 保持了利润的稳定性, 有利于企业的正常运营.

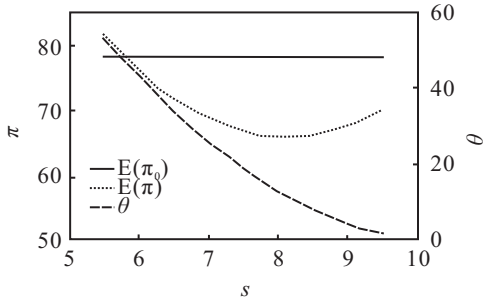

图 5　效率 θ 随 s 的变化 $(g = 9.0)$

4　结　　语

本文研究了在原材料价格波动下一个风险规避制造商的最优组合采购策略, 基于均值-方差效用准则得到了制造商的最优采购策略. 结合现货市场与合约市场来应对原材料供应风险, 不仅仅学术界正不断关注这方面研究, 而且业界实践中也十分重视这个问

题. 在进一步研究中, 可以将本文的实物期权合约拓展到金融合约, 并结合不同的合约方式比如远期合约、期货合约等. 对组合采购策略领域作深入的研究能为现实中风险管理问题提供一定的理论指导.

参考文献(References)

[1] 陈祥锋. 供应链采购合同组合管理策略研究[J]. 科技导报, 2006, 24(2): 78-81.
(Chen X F. Portfolio analysis in procurement contract management[J]. Science and Technology Review, 2006, 24(2): 78-81.)

[2] Nagali V, Hwang J, Sanghera D, et al. Procurement risk management(PRM) at Hewlett-Packard company[J]. Interface, 2008, 38(1): 51-60.

[3] Ritchken P, Tapiero C. Contingent claims contracting for purchasing decisions in inventory management[J]. Operations Research, 1986, 34(6): 864-870.

[4] 王丽梅, 姚忠, 刘鲁. 电子市场下供应链协调研究进展[J]. 系统工程, 2009, 27(3): 1-9.
(Wang L M, Yao Z, Liu L. A literature review of the research on supply chain coordination in E-marketplaces[J]. Systems Engineering, 2009, 27(3): 1-9.)

[5] Cohen M, Agrarwal N. An analytical comparison of long and short term contract[J]. IIE Trans, 1999, 31(8): 783-796.

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

[7] Inderfurth K, Kelle P. Capacity reservation under spot market price uncertainty[J]. Int J of Production Economics, 2011, 133(1): 272-279.

[8] Wu D J, Kleindorfer P R, Zhang J E. Optimal bidding and contracting strategies for capital-intensive goods[J]. European J of Operational Research, 2002, 137(3): 657-676.

[9] Kleindorfer P R, Wu D J. Competitive options, supply contracting, and electronic markets[J]. Management Science, 2005, 51(3): 452-466.

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

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

[12] 马士华, 胡剑阳, 林勇. 一种基于期权的供应商能力预订模型[J]. 管理工程学报, 2004, 18(1): 8-11.
(Ma S H, Hu J Y, Lin Y. A model for suppliers capacity ordering with options[J]. J of Industrial Engineering/Engineering Management, 2004, 18(1): 8-11.)

[13] 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 N N, Huang X Y. Robust strategies for option contract coordination in B2B E-markets[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2006, 26(1): 102-106.)

[14] 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 N N, Huang X Y. Models and optimization of option contract coordination in supply chain with B2B E-market[J]. Control and Decision, 2007, 22(5): 535-539.)

[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 Q, Yang D L. On supply chain coordination with contract based on option and spot markets[J]. Control and Decision, 2006, 21(11): 1229-1233.)

[16] 李建斌, 杨瑞娜. 现货价格和需求关联时期权组合合约模式下采购风险管理策略[J]. 中国管理科学, 2011, 19(1): 12-20.
(Li J B, Yang R N. Optimal strategies of procurement risk management with correlated demand and spot price[J]. Chinese J of Management Science, 2011, 19(1): 12-20.)