第 10 卷第 12 期
2013 年 12 月

管　理　学　报
Chinese Journal of Management

Vol. 10 No. 12
Dec. 2013

DOI 编码：10.3969/j.issn.1672-884x.2013.12.019

需求预测信息即时更新的供应链柔性期权协调契约

尚文芳[1]　祁　明[2]　陈　琴[2]
（1. 郑州大学商学院；2. 华南理工大学经济与贸易学院）

摘要：在两阶段生产和订购模型中，将需求预测信息更新时刻作为决策变量，引入期权订货并赋予其数量柔性：第 1 阶段初，销售商根据初始需求预测，购买一定数量的期权；第 2 阶段初，销售商根据第 1 阶段收集到最新市场信息更新需求预测并调整期权购买量。销售季节开始时，销售商执行期权获取预订产品以满足市场需求。柔性期权契约包含 3 个参数：风险共担系数、期权购买价格和执行价格。柔性期权契约可以实现供应链协调，还能够使系统期望利润在其成员间任意分配；有效的风险共担系数能够使供应链系统及其成员的收益均实现帕累托改进；系统利润增量在其成员间的分配与各成员的风险偏好特点和谈判地位密切相关。

关键词：供应链协调；需求预测信息；即时更新；柔性期权契约；系统利润增量分配

中图法分类号：F274　**文献标志码**：A　**文章编号**：1672-884X(2013)12-1847-08

Supply Chain Coordination by Flexible Option Contracts with Instant Demand Forecast Information Updating

SHANG Wenfang[1]　QI Ming[2]　CHEN Qin[2]
(1. Zhengzhou University, Zhengzhou, China;
2. South China University of Technology, Guangzhou, China)

Abstract: This paper considers the moment of demand forecast updating as a decision variable in a two-stage production and ordering mode, and introduces flexible option contracts to coordinate the supply chain. At the beginning of the first stage, the retailer buys some options according to the initial demand forecast. As soon as the second ordering time comes, the retailer adjusts the option quantities flexibly referring to updated demand forecast, which is based on the market information collected in the first stage. The retailer exercises some options as soon as possible when the sales season comes, and gets products reserved to satisfy the market demand. The option contract includes three parameters, which are risk-pooling coefficient, option price and exercise price. The risk-pooling coefficient is the ratio of the option price and the cost of production reservation, and the exercise price is a linear combination of the retail price, unit shortage cost, and unit salvage value. The option contract can coordinate the supply chain, and the system profit can be allocated arbitrarily between the two members. Given an efficient risk-pooling coefficient, the profits of the system and its two members can get Pareto improvements. The allocation of extra system profit closely depends on the magnitude of the member's risk aversion and its corresponding negotiation power.

Key words: supply chain coordination; demand forecast information; instant updating; flexible option contracts; allocation of extra system profit

随着人们生活水平的提高，顾客需求不断趋向多样化和个性化，促使市场需求呈现出高度的不确定性，于是许多学者提出：通过设计合理的供应链生产和订购方式以减轻甚至消除需求不确定性对供应链协作的影响。需求信息更新条件下的两阶段生产和订购方式就是在这种

收稿日期：2012-02-21
基金项目：国家自然科学基金资助项目(71301150,71101055)

背景下提出的：销售商发出初始订单后，供应商启动生产应对其订购需求；然后，销售商更新需求预测，并调整其初始订货量，供应商据此确定是否需要启动第 2 轮生产。由于需求信息更新能够有效弱化供给与需求之间的矛盾，所以引起众多学者的关注，特别是需求信息更新条件下的供应链协调契约，更是成了研究焦点，比如，FISHER 等[1]考虑精确反应策略；IYER 等[2]提出快速反应策略；DONOHUE[3]研究两阶段生产和订购系统中的退货策略；ÖZER 等[4]研究 2 次购买契约；丁利军等[5]研究退货和滞销补贴契约。期权契约由于能够提高销售商的订货弹性，同时能够降低供应商生产能力储备的风险，也被广泛地应用到需求信息更新型的供应链决策中，比如，文献[6～8]分别基于备货、数量柔性和生产能力预订讨论类期权契约；BARNES-SCHUSTER 等[9]在需求具有相关性的两阶段订货系统中研究期权契约；胡本勇等[10]讨论了供应链双向期权契约。

已有研究大都假设需求信息更新时刻是事先给定的，但在实践中，第 2 次订货点越靠近销售季节，收集到的市场信息越多，销售商的需求预测就越准确；但是第 2 次订货点距离销售季节越近，供应商交货期就越短，生产成本也越高，相应造成销售商第 2 次订货成本也更高。这意味着销售商需要在需求预测的准确性和第 2 次订货成本之间作出权衡，同时也说明需求预测更新时刻不是随意给定的，应是一个决策变量。因此，需求信息即时更新条件下的供应链协调研究具有实践应用价值，但目前唯有王圣东等[11]关于需求信息即时更新进行了建模讨论，通过改进收益共享契约，使两阶段生产和订购模式下的供应链得以协调。但在该模型中，销售季节一旦开始，订货量将无法修订，销售商需要承担订货过多的风险。然而，如果提前期内销售商采用期权形式预定产品，销售季节来临时，根据实际需求情况执行对应数量的期权，即可回避订货过多的风险。

随着科学技术的迅猛发展，创新型产品层出不穷，比如可以用来玩“愤怒的小鸟”的真实弹弓、能调节度数的眼镜等，其市场通常还处在介绍期，销售商面对不成熟的市场需求，在如何订货的问题上总是存在极为矛盾的心理：既怕订货后产品完全没有市场，又怕不订货会错失市场先机，也怕少订货无法满足预料之外的高需求，往往存在观望心态，希望延迟产品的实际购买。显然，在此种情形下，已有的两阶段提前生产和固定订购无法满足销售商的订货需求。倘若纯粹采用期权形式订货，并允许期权购买量在需求预测信息更新后进行调整，即可满足销售商订货的多面弹性需求。这正是本文与已有期权契约研究的不同之处，而且在本质上是将期权契约和数量柔性契约相结合，为与传统的期权契约区别开来，故将其称作柔性期权契约。

在协调后系统利润增量分配的问题上，已有需求信息更新型供应链协调研究往往假设供应链两成员均为风险中性，只用“系统利润增量的分配与各成员的谈判地位有关”对其简单概括，从未给出清晰、直观、详细的讨论；本文同时考虑了供应链成员的风险偏好类型和谈判地位，通过构造供应链系统效用函数并对其极大化分析，得到最优的期权契约参数和相应的系统利润增量分配方案，并且在算例中对相关结论进行了验证。

1　模型描述

期权契约要求销售商必须在提前期内购买一定数量的产品购买权，在实现对需求信息的观测后再部分或全部执行该期权，它使销售商有权在提前期内按照预定执行价格购买不超过其期权总量的产品，却无需承担额外义务；期权有看涨和看跌 2 种，本文主要针对补货策略研究看涨期权[12]。

考虑由供应商和销售商组成的二级供应链，生产和销售一种季节性产品（提前期较长、销售季节短、残值比较低、市场需求不确定性大）。在决策过程中，供应商是主导者，销售商是追随者，所有的产品信息都是对称的，供应商可以推测销售商的期权购买量，并据此制定最佳生产决策。

供应商和销售商的生产订购决策过程见图 1，在整个生产提前期$[0,T]$内，供应商为销售商提供 2 次期权购买机会：在提前期开始时刻 t_0，即第 1 阶段初，销售商根据其对市场的初步预测，确定期权的购买量 M_1；在第 2 次期权订购时刻 t，即第 2 阶段开始时，销售商根据在第 1 阶段收集到的市场信息更新对需求的初始预测，并以 M_2 对期权购买量进行调整。第 1 阶段，由于距离销售季节较远，供应商可以采用成本较低的普通模式进行生产，单位生产成本记作 c_0；在第 2 阶段，距离销售季节较近，生产提前期较短，供应商需要启动快速生产模式。销售季节开始前，销售商根据最新的市场信息，确

定期权执行的数量，供应商予以交付；销售季节开始后销售商满足实际市场需求。

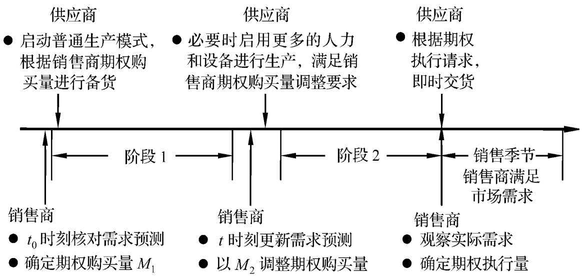

图 1　需求预测即时更新时销售商和供应商决策示意图

为了方便讨论，给出文中涉及的其他变量及其定义如下：p 为产品的市场零售价；k 为单位产品的缺货损失；v 为销售季末未售出产品的单位残值；e 为期权执行价格；(q_1,q_2) 为供应商提前期内 2 个阶段的生产数量；q 为供应商的生产总量；M 为销售商的期权购买总量；X 为在提前期开始时刻所预测的顾客需求，分别以 $F(x)$ 和 $f(x)$ 表示其概率分布和概率密度函数；$X_e(t)$ 为从提前期开始时到 t 时刻这段时间内收集到的新的市场需求信息；在提前期开始时刻，销售商并不了解 $X_e(t)$ 的真实取值，只知道其在某一范围内随机变动；到达 t 时刻后，可以观察到 $X_e(t)$ 的真实取值 $x_e(t)$，销售商据此更新后的需求信息来提高对未来顾客需求的预测精度；$G(x_e(t))$ 和 $g(x_e(t))$ 分别表示其概率分布和概率密度函数；$X|x_e(t)$ 为给定 $X_e(t)=x_e(t)$ 时 X 的条件需求变量，$F(x|x_e(t))$ 和 $f(x|x_e(t))$ 分别表示其条件概率分布和条件概率密度函数；$\Phi(x)$ 和 $\varphi(x)$ 分别为标准正态分布的概率分布和概率密度函数。

此外，模型的建立需要以如下假设为基础：

(1) $c'(t)=\mathrm{d}c(t)/\mathrm{d}t>0$，销售商第 2 次期权订购的时刻 t 越接近销售季节，供应商的交货备运期越短，这意味着供应商需要开动更多的机器、组织更多的劳动力进行生产，从而导致第 2 轮生产的单位成本 $c(t)$ 增加。

(2) $o'(t)=\mathrm{d}o(t)/\mathrm{d}t>0$；生产成本的增加，使得供应商会相应提高期权的出售价格 $o(t)$，即 $o(t)>o_0$；期权出售（购买）价格实质是对供应商进行生产能力储备的一个补偿。

(3) 与文献[2,7]类似，假定需求为

$$X=X_e(t)+\varepsilon,\tag{1}$$

式中，$\varepsilon\sim N(0,\sigma_\varepsilon^2)$，为随机干扰项，表示外部环境对市场需求的影响；$X_e(t)\sim N(\mu,\sigma_t^2)$，且 $\sigma_t=\sigma_0+(\sigma_T-\sigma_0)t/T$，$\sigma_0$ 为在提前期开始时刻对 $X_e(t)$ 估计的误差，σ_T 为在销售季节开始时刻对 $X_e(t)$ 估计的误差。假定 $\sigma_0>\sigma_T$，那么，随着第 2 次订购时刻越来越接近销售季节开始时刻 T，销售商获得的市场信息就越多，从而对 $X_e(t)$ 估计的误差就越小，因此预测的精度也就越高。此外，假设市场需求 X 的后验分布 $X|x_e(t)\sim N(x_e(t),\sigma_\varepsilon^2)$。

(4) 为不失一般性，参数间有如下关系：

(i) $p>c(t)>v$，保证供应商和销售商都能够获得利润；

(ii) $w(t)>o(t)+v$，激励销售商采用期权机制，其中，$w(t)$ 为没有协调契约情形下，供应商在 t 时刻设定的批发价，同样也满足 $w'(t)=\mathrm{d}w(t)/\mathrm{d}t>0$；

(iii) $p>o(t)+e$，保证相对于现货市场而言，期权对销售商更具有吸引力。

2　集中决策模型

在集中决策时，供应商和销售商视为一体，其目的是确定提前期内的两阶段最优生产数量 (q_1,q_2) 以最大化系统的期望利润。需要注意的是，在一体化决策下，销售商的订购总量等于供应商的生产总量。采用与王圣东等[11]类同的分析可知，集中决策下，可通过求解如下的两阶段优化问题来确定集中决策下供应链系统的最优策略：

$$\mathrm{S}_1\quad \max_{q_1\geqslant 0,t\geqslant 0}\Pi^c(q_1,t)=[c(t)-c_0]q_1+\int_0^\infty \Pi^c(q_1,x_e(t))g(x_e(t))\mathrm{d}x_e(t);$$

$$\mathrm{S}_2\quad \Pi^c(q_1,x_e(t))=\max_{q\geqslant q_1}\pi^c(q,x_e(t)),$$

式中，

$$\pi^c(q,x_e(t))=-c(t)q+\int_0^q[px+v(q-x)]f(x|x_e(t))\mathrm{d}x+\int_q^\infty[pq-k(x-q)]f(x|x_e(t))\mathrm{d}x,$$

记 (q^c,q_1^c) 为上述模型的最优解。

引理 1　$\Pi^c(q_1,x_e(t))$ 是 q_1 的下凹函数。最优生产总量 $q^c(x_e(t))$ 由如下表达式给出

$$F(q^c|x_e(t))=\theta^c(t)\text{ 或 }q^c(x_e(t))=x_e(t)+z^c(t),\tag{2}$$

式中，

$$\theta^c(t)=[p+k-c(t)]/(p+k-v),$$

$$z^c(t)=\sigma_\varepsilon\Phi^{-1}(\theta^c(t))。$$

第 1 阶段最优生产量 q_1^c 和第 2 次最优生产时刻 t^c 由 2 个一阶最优性条件给出：

$$c(t)-c_0+\int_0^{q_1-z^c(t)}[p+k-c(t)-(p+k-v)F(q_1|y)]g(y,t)\mathrm{d}y=0;\tag{3}$$

$$c'(t)q_1+\int_0^{q_1-z^c(t)}[\pi^c(q,q_1^c)\frac{\partial g(y,t)}{\partial t}-c'(t)q_1^c g(y,t)]\mathrm{d}y+$$

$$\int_{q_1-z^c(t)}^{\infty}\left[\pi^c(y,q^c)\frac{\partial g(y,t)}{\partial t}-c'(t)q^c g(y,t)\right]\mathrm{d}y=0。\quad(4)$$

第 2 阶段最优生产数量 q_2^c 应是最优生产总量与第 1 阶段最优生产总量的差值，满足：

$$q_2^c=\begin{cases}q^c(x_e(t^c))-q_1^c, & q^c(x_e(t^c))>q_1^c;\\ 0, & q^c(x_e(t^c))\leqslant q_1^c,\end{cases}\quad(5)$$

式中，$y=x_e(t)$，$g(y,t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_t}\exp\left[-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma_t^2}\right]$，$q^c(x_e(t^c))=x_e(t^c)+\sigma_\varepsilon\Phi^{-1}(\theta^c(t^c))$，表明最优生产数量与需求信息更新的最佳时刻有关。

由引理 1 中式(5)可以看出，第 2 阶段的生产计划依赖于在 t^c 时刻观察到的最新市场信息，也即 $X_e(t^c)$ 的揭示值 $x_e(t^c)$；若在 t^c 时刻的产品总量 $q^c(x_e(t^c))=x_e(t^c)+\sigma_\varepsilon\Phi^{-1}(\theta^c(t^c))$ 大于第 1 阶段生产的量 q_1^c，则供应链系统需要启动第 2 轮生产应对市场需求；否则，无需再次启动生产。

3 柔性期权契约下的分散决策模型

柔性期权协调契约下，供应商通过设定相应的价格参数激励销售商产生协作的愿望，使其决策接近甚至达到供应链系统集中决策时的情形，从而实现供应链的协调。

3.1 销售商的决策

在柔性期权机制下，销售商需要确定最优的期权购买量 (M_1, M_2)，以最大化自身的期望利润。类似地，可以通过求解如下的两阶段优化问题得到销售商的最优期权购买决策：

$$\mathrm{S}_1\quad \max_{M_1\geqslant 0,t\geqslant 0}\Pi_{\mathrm{r}}(M_1,t,o(t),e)=[o(t)-o_0]M_1+\int_0^{\infty}\Pi_{\mathrm{r}}(M_1,x_e(t))g(x_e(t))\mathrm{d}x_e(t);$$

$$\mathrm{S}_2\quad \Pi_{\mathrm{r}}(M_1,x_e(t))=\max_{M\geqslant M_1}\pi_{\mathrm{r}}(M,x_e(t)),$$

式中，

$$\pi_{\mathrm{r}}(M,x_e(t))=-o(t)M+\int_0^M(p-e)xf(x\mid x_e(t))\mathrm{d}x+\int_M^{\infty}[(p-e)M-k(x-M)]f(x\mid x_e(t))\mathrm{d}x,$$

记 (M^*, M_1^*) 为模型的最优解。

引理 2 $\Pi_{\mathrm{r}}(M,x_e(t))$ 是 M_1 的下凹函数。在期权契约下的分散决策系统中，销售商的最优期权购买总量 $M^*(x_e(t))$ 由下式给出，

$$F(M^*\mid x_e(t))=\theta^o(t)$$

或

$$M^*(x_e(t))=x_e(t)+z^o(t),\quad(6)$$

式中，

$$\theta^o(t)=[p+k-o(t)-e]/(p+k-e);$$

$$z^o(t)=\sigma_\varepsilon\Phi^{-1}(\theta^o(t))。$$

第 1 次最优期权购买量 M_1^* 和第 2 次最优购买时刻 t^* 需满足：

$$o(t^*)-o_0+\int_0^{M_1^*-z^o(t^*)}[p+k-o(t^*)-e-(p+k-e)F(M_1^*\mid y)]g(y,t^*)\mathrm{d}y=0;\quad(7)$$

$$o'(t^*)M_1^*+\int_0^{M_1^*-z^o(t^*)}\left[\pi_{\mathrm{r}}(y,M_1^*)\frac{\partial g(y,t)}{\partial t}-o'(t^*)M_1^*g(y,t^*)\right]\mathrm{d}y+\int_{M_1^*-z^o(t^*)}^{\infty}\left[\pi_{\mathrm{r}}(y,M^*)\frac{\partial g(y,t)}{\partial t}-o'(t^*)M^*g(y,t^*)\right]\mathrm{d}y=0。\quad(8)$$

第 2 次最优期权购买数量 M_2^* 应是销售商最优期权购买总量与第 1 阶段最优期权购买量的差值，具体为

$$M_2^*=\begin{cases}M^*(x_e(t^*))-M_1^*, & M^*(x_e(t^*))>M_1^*;\\ 0, & M^*(x_e(t^*))\leqslant M_1^*,\end{cases}\quad(9)$$

式中，$M^*(x_e(t^*))=x_e(t^*)+\sigma_\varepsilon\Phi^{-1}(\theta^o(t^*))$，表明最优期权购买总量与需求信息更新的最佳时刻相关。

由引理 2 中式(9)可以看出，销售商第 2 阶段是否调整期权购买量以及调整多少依赖于在 t^* 时刻观察到的最新市场信息，也即 $X_e(t^*)$ 的揭示值 $x_e(t^*)$；若在 t^* 时刻销售商需要购买的期权总量 $M^*(x_e(t^*))=x_e(t^*)+\sigma_\varepsilon\Phi^{-1}(\theta^o(t^*))$ 大于第 1 次购买的期权量 M_1^*，则销售商需要发出第 2 次期权购买请求；否则，无需调整期权购买量。

3.2 供应商的决策

在分散决策下，供应商需要确定两阶段的最优生产批量 (q_1, q_2)，以最大化自身的期望利润。由于供应商会满足销售商的生产能力预订总量 M^*，因此，期权契约下，供应商第 2 阶段的最优生产量满足 $q_2^*(M^*)=\max(M^*-q_1, 0)$；这里将 q_2^* 写作 M^* 的函数是强调供应商第 2 阶段的生产决策是在 M^* 的值揭示之后再进行的。此外，由于第 2 阶段的生产成本要大于第 1 阶段，因此，供应商第 1 阶段的生产量 q_1 至少为 M_1^*，即 $q_1\geqslant M_1^*$。由此，可得供应商的期望利润为

$$\max_{q_1\geqslant M_1^*}\Pi_{\mathrm{m}}(q_1,o(t),e)=o_0M_1^*-c_0q_1+\int_0^{M_1^*-z^o(t^*)}v(q_1-M_1^*)g(y,t^*)\mathrm{d}y+\int_{M_1^*-z^o(t^*)}^{q_1-z^o(t)}[o(t^*)(M^*-M_1^*)]+v(q_1-M^*)]g(y,t^*)\mathrm{d}y+\int_{q_1-z^o(t^*)}^{\infty}[o(t^*)(q_1-M_1^*)+(o(t^*)-c(t^*)(M^*-q_1)]g(y,t^*)\mathrm{d}y+\int_0^{\infty}\left\{\int_0^M[ex+v(M-x)]f(x\mid y)\mathrm{d}x+\int_M^q[eM+v(q-M)]f(x\mid y)\mathrm{d}x+\int_q^{\infty}eMf(x\mid y)\mathrm{d}x\right\}g(y,t^*)\mathrm{d}y。$$

引理 3 在期权契约下，供应商第 1 阶段的最优生产量为 $q_1^*=\max(M_1^*,q'_1)$，其中，q'_1 满足

$$G(q'_1-z^o(t^*),t^*)=\frac{c(t^*)-c_0}{c(t^*)-v}。\tag{10}$$

从引理 3 可知，供应商的第 1 阶段最优生产量为 $q_1^*=\max(M_1^*,q'_1)$，不仅依赖于其对未来市场需求的判断，而且还依赖于销售商第 1 阶段的期权购买量 M_1^*；而供应商的第 2 阶段最优生产量 $q_2^*(M^*)=\max(M^*-q_1^*,0)$ 则取决于其第 1 阶段的生产量 q_1^* 和销售商的期权购买总量 M^*。

根据销售商和供应商的期望利润，可以得到期权契约下的供应链系统期望利润为

$$\begin{aligned}&\Pi(M_1^*,q_1^*,t,o(t),e)=\\&\Pi_{\mathrm{r}}(M_1^*,t^*,o(t),e)+\Pi_{\mathrm{m}}(q_1^*,o(t),e)。\end{aligned}\tag{11}$$

4 柔性期权契约下的协调机制

为了使供应链实现协调，需要设计有效的期权契约。这里，将 $c(t)-v$ 记作 t 时刻供应商进行生产能力储备的成本，以参数 ρ 表示期权购买价格 $o(t)$ 与供应商生产能力储备成本 $c(t)-v$ 的比值，那么，期权购买价格 $o(t)=\rho(c(t)-v)$ 即表示销售商对供应商承担生产能力储备风险所给予的补偿，参数 ρ 即为销售商为供应商承担风险的比例。这也是期权契约的意义所在：共担风险以实现收益共享。因此，将参数 ρ 称作风险共担系数，对应的期权协调机制和协调效果如命题 1 和命题 2 所描述。

命题 1 柔性期权契约下，对于任意 $\rho\in[0,1]$，价格机制 $(o(t),e)=(\rho(c(t)-v),p+k-\rho(p+k-v))$ 可以实现供应链系统的协调，使供应商和销售商的最优生产和订购决策均与集中决策时完全一致，即 $M_1^*=q_1^*=q_1^c$ 和 $M_2^*=q_2^*=q_2^c$ 同时成立；其中，$t\in[0,T]$。

命题 2 柔性期权契约下，对于任意 $\rho\in[0,1]$，期权价格 $(o(t),e)=(\rho(c(t)-v),p+k-\rho(p+k-v))$ 能够使供应链系统利润在其成员间进行任意分配：

$$\Pi_{\mathrm{r}}(M_1^*,t^*,o(t),e)=\rho\,\Pi^c(q_1^c,t^c)；\tag{12}$$

$$\Pi_{\mathrm{m}}(q_1^*,o(t),e)=(1-\rho)\Pi^c(q_1^c,t^c)。\tag{13}$$

命题 2 说明，$\rho=0$ 时，供应商攫取了系统的全部利润；$\rho=1$ 时，销售商占有了系统的全部利润。

5 系统利润增量的分配

以没有协调契约下的两阶段生产和订购模型为标杆，将柔性期权契约下的供应链系统及其成员收益与之分别对应，分析协调后各成员收益的帕累托改进情况，可得到：

命题 3 风险共担系数 ρ 的有效取值范围为 $[\rho_{\min},\rho_{\max}]$，其中，$\rho_{\min}=\dfrac{\Pi_{wr}}{\Pi^c}$，$\rho_{\max}=\dfrac{\Pi^c-\Pi_{wm}}{\Pi^c}$；$\Pi_{wr}$ 和 Π_{wm} 分别为没有协调契约情形下销售商和供应商的期望利润；Π^c 为集中决策下的供应链系统利润。

根据命题 3，在区间 $[\rho_{\min},\rho_{\max}]$ 上变化的参数 ρ 可以称作是有效的风险共担系数。若分别以 $\Delta\Pi_{\mathrm{r}}$ 和 $\Delta\Pi_{\mathrm{m}}$ 表示期权契约下销售商和供应商的利润改进，根据式(12)和式(13)，容易得到：$\Delta\Pi_{\mathrm{r}}=\rho\Pi^c-\Pi_{wr}$，$\Delta\Pi_{\mathrm{m}}=(1-\rho)\Pi^c-\Pi_{wm}$。这说明，给定一个有效的风险共担系数，即可对应得到销售商和供应商各自的利润改进，即供应链系统利润增量 $\Delta\Pi$ 在其成员间的具体分配；反之，要得到一个最合理的利润增量分配方案，就需确定一个最优的风险共担系数。

为寻找最优的风险共担系数，需构造 VN-M效用函数[13]，并对其进行极大化分析。实践中，供应链系统效用函数 $U(\Delta\Pi_{\mathrm{r}},\Delta\Pi_{\mathrm{m}})$ 取决于各成员的效用函数和谈判地位，并且服从“线性加和”原则。因此，以 γ_1 和 γ_2 分别度量销售商和供应商的谈判地位(或地位)，供应链系统的VN-M效用函数可表示为

$$U(\Delta\Pi_{\mathrm{r}},\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=\gamma_1U_{\mathrm{r}}(\Delta\Pi_{\mathrm{r}})+\gamma_2U_{\mathrm{m}}(\Delta\Pi_{\mathrm{m}}),\tag{14}$$

式中，$\gamma_1+\gamma_2=1$；$U_{\mathrm{r}}(\Delta\Pi_{\mathrm{r}})$ 和 $U_{\mathrm{m}}(\Delta\Pi_{\mathrm{m}})$ 分别为销售商和供应商的效用函数，意味着供应链成员的效用取决于自身的利润改进。

在效用函数的引用上，目前较为经典的是纳什的议价模型[14]和 ELIASHBERG 模型[15]，但是前者采用幂函数乘积模型，无法引入供应链成员的谈判地位来讨论系统利润增量在成员间的分配；后者属于指数函数模型，ZHAO 等[16]将 ELIASHBERG 模型进行扩展，引入了谈判地位，但是所得结果显示：①系统利润增量分配与各成员自身的谈判地位无关，只与其风险规避程度相关；②在销售商和供应商的风险规避程度相同的情况下，或者二者均为风险中性时，供应链系统利润的增量将被销售商和供应商平分，与其谈判地位无关。这 2 个结论与诸多文献中[14,17]“供应链系统利润增量的分配取决于各成员的谈判地位”的结论不符，更与供应链管理实践不符。鉴于文献[16]中的模型和纳什议价模型的缺陷，本文采用对数函数刻画期权契约下的供应链系统及其成员的效用，比如，销售商效用函数以 $U_{\mathrm{r}}(\Delta\Pi_{\mathrm{r}})=\ln(1+\alpha\Delta\Pi_{\mathrm{r}})$ 表示，其中，$\alpha>0$。由 PRATT[18] 风险规避函数

可知，销售商绝对风险规避程度为

$$\frac{U''_{\mathrm{r}}(\Delta\Pi_{\mathrm{r}})}{U'_{\mathrm{r}}(\Delta\Pi_{\mathrm{r}})}=\frac{\alpha}{1+\alpha\Delta\Pi_{\mathrm{r}}}\text{。}\tag{15}$$

这说明，α 越大表示销售商对风险越厌恶。具体地，期权契约的最佳选择和系统利润增量的分配分为如下 3 种情况（引理 4～引理 6）：

引理 4 销售商和供应商均为风险规避者时，二者效用函数分别为 $U_{\mathrm{r}}(\Delta\Pi_{\mathrm{r}})=\ln(1+\alpha\Delta\Pi_{\mathrm{r}})$ 和 $U_{\mathrm{m}}(\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=\ln(1+\alpha\Delta\Pi_{\mathrm{m}})$，其最优的风险共担系数以及对应的系统利润增量分配方案为：

(i) 若 $\gamma_1/\gamma_2\leqslant\beta/[\alpha(1+\beta\Delta\Pi)]$，$\rho^*=\rho_{\min}$，两成员利润增量为 $(\Delta\Pi_{\mathrm{r}},\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=(0,\Delta\Pi)$。

(ii) 若 $\gamma_1/\gamma_2\geqslant\beta(1+\alpha\Delta\Pi)/\alpha$，$\rho^*=\rho_{\max}$，两成员利润增量为 $(\Delta\Pi_{\mathrm{r}},\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=(\Delta\Pi,0)$。

(iii) 当 $\gamma_1/\gamma_2\in(\beta/[\alpha(1+\beta\Delta\Pi)],\beta(1+\alpha\Delta\Pi)/\alpha)$ 时，$\rho^*=\gamma_1\rho_{\max}+\gamma_2\rho_{\min}-(\gamma_2\beta-\gamma_1\alpha)/(\alpha\beta\Pi^c)$，两成员利润增量为：

$$\Delta\Pi_{\mathrm{r}}=\gamma_1\Delta\Pi-(\gamma_2\beta-\gamma_1\alpha)/(\alpha\beta)\text{；}\tag{16}$$

$$\Delta\Pi_{\mathrm{m}}=\gamma_2\Delta\Pi+(\gamma_2\beta-\gamma_1\alpha)/(\alpha\beta)\text{。}\tag{17}$$

引理 4 表明，销售商和供应商占有系统利润增量 $\Delta\Pi$ 的份额分别为 γ_1 和 γ_2，二者之间存在转移支付。当 $\gamma_1/\gamma_2\leqslant\beta/\alpha$ 时，销售商需要支付给供应商补偿费用，具体为 $(\gamma_2\beta-\gamma_1\alpha)/(\alpha\beta)$。当 γ_1 减小（销售商的谈判地位下降）或者 γ_2 增加（供应商的谈判地位上升）时，该费用随之增加；当 γ_1 持续减小或者 γ_2 持续增加到满足条件 $\gamma_1/\gamma_2\leqslant\beta/[\alpha(1+\beta\Delta\Pi)]$ 时，销售商支付给供应商的补偿费用正好为 $\gamma_1\Delta\Pi$，此时，供应商占有全部的利润增量，销售商从供应链协调中一无所获。反之，当 $\gamma_1/\gamma_2>\beta/\alpha$ 时，可做类似的分析。当二者谈判地位相当时（这在实践中并不多见），将平分系统利润增量，参数 α 和 β 只决定转移支付的正负以及转移方向。

引理 5 销售商为风险规避者，供应商风险中性时，两者的效用函数分别为 $U_{\mathrm{r}}(\Delta\Pi_{\mathrm{r}})=\ln(1+\alpha\Delta\Pi_{\mathrm{r}})$ 和 $U_{\mathrm{m}}(\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=\Delta\Pi_{\mathrm{m}}$，最优风险共担系数以及对应的系统利润增量分配方案为：

(i) 若 $\gamma_1/\gamma_2\leqslant1/\alpha$，$\rho^*=\rho_{\min}$，两成员利润增量为 $(\Delta\Pi_{\mathrm{r}},\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=(0,\Delta\Pi)$。

(ii) 若 $\gamma_1/\gamma_2\geqslant(1+\alpha\Delta\Pi)/\alpha$，$\rho^*=\rho_{\max}$，两成员利润增量为 $(\Delta\Pi_{\mathrm{r}},\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=(\Delta\Pi,0)$。

(iii) 当 $\gamma_1/\gamma_2\in(1/\alpha,(1+\alpha\Delta\Pi)/\alpha)$ 时，最优参数值为 $\rho^*=\rho_{\min}+(\gamma_1\alpha-\gamma_2)/(\gamma_2\alpha\Pi^c)$，两成员利润增量分别为

$$\Delta\Pi_{\mathrm{r}}=(\gamma_1-\gamma_2)/\gamma_2\alpha\text{；}\tag{18}$$

$$\Delta\Pi_{\mathrm{m}}=\Delta\Pi-(\gamma_1\alpha-\gamma_2)/\gamma_2\alpha\text{。}\tag{19}$$

引理 5 表明，风险中性的供应商享有全部系统利润增量，与销售商之间存在转移支付。当 $\gamma_1/\gamma_2>1/\alpha$ 时，供应商为销售商支付一定费用，具体为 $(\gamma_1\alpha-\gamma_2)/\gamma_2\alpha$；当 γ_1 增加（销售商的谈判地位上升）或者 γ_2 减少（供应商的谈判地位下降）时，该费用随之增加；当 γ_1 持续增加或 γ_2 持续减少到 $\gamma_1/\gamma_2\geqslant(1+\alpha\Delta\Pi)/\alpha$ 时，供应商支付给销售商的补偿费用正好为 $\Delta\Pi$，此时，销售商占有全部的利润增量，供应商从供应链协调中一无所获。反之，$\gamma_1/\gamma_2\leqslant1/\alpha$ 时，供应商享有全部系统利润增量。

引理 6 销售商风险中性，供应商为风险规避者时，二者的效用函数分别表示为 $U_{\mathrm{r}}(\Delta\Pi_{\mathrm{r}})=\Delta\Pi_{\mathrm{r}}$ 和 $U_{\mathrm{m}}(\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=\ln(1+\alpha\Delta\Pi_{\mathrm{m}})$，最优的风险共担系数以及对应的系统利润增量分配方案为：

(i) 若 $\gamma_1/\gamma_2\leqslant\beta/(1+\beta\Delta\Pi)$，$\rho^*=\rho_{\min}$，两成员利润增量为 $(\Delta\Pi_{\mathrm{r}},\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=(0,\Delta\Pi)$。

(ii) 若 $\gamma_1/\gamma_2\geqslant\beta$，$\rho^*=\rho_{\max}$，两成员利润增量为 $(\Delta\Pi_{\mathrm{r}},\Delta\Pi_{\mathrm{m}})=(\Delta\Pi,0)$。

(iii) 当 $\gamma_1/\gamma_2\in(\beta/(1+\beta\Delta\Pi),\beta)$ 时，最优参数值为 $\rho^*=\rho_{\max}-(\gamma_2\beta-\gamma_1)/(\gamma_1\beta\Pi^c)$，两成员利润增量分别为：

$$\Delta\Pi_{\mathrm{r}}=\Delta\Pi-(\gamma_2\beta-\gamma_1)/(\gamma_1\beta)\text{；}\tag{20}$$

$$\Delta\Pi_{\mathrm{m}}=(\gamma_2\beta-\gamma_1)/(\gamma_1\beta)\text{。}\tag{21}$$

此时可参考引理 5 作类似分析，故此省略。

6 算例分析

为了说明模型的求解过程和相关结论，采用如下算例。模型中用到的参数分别为：$c_0=45$，$T=30$，$\sigma_0=1\ 000$，$\sigma_T=100$，$\sigma_\varepsilon=200$，$\mu=1\ 500$，$p=120$，$k=30$，$v=20$。利用文中提供的方法通过仿真可得到如下结果：

(1) 集中决策下，最优需求信息更新时刻为 $t^c=20.2$，第 1 阶段最优生产量为 $q_1^c=1\ 563.51$。$t^c=20.2$ 时，若观察到最新的市场信息值满足 $x_e(t^c)>1\ 360.68$，供应商将需启动第 2 轮生产，并且生产量为 $q_2^c=x_e(t^c)-1\ 360.68$；反之，无需启动第 2 轮生产。供应链系统的期望总利润为 $\Pi^c=147\ 625.36$。

(2) 分散决策时，如果不引入协调契约，且供应商的批发价为外生变量，双方将独立确定自己的最优策略。这里以 (d_1,d_2) 表示销售商在 2 个阶段的订购策略。假设供应商采用加成定价法确定自己的批发价，即 $w(t)=(1+\delta)c(t)$，其中，$\delta=0.15$，那么销售商的最优需求信息更新时刻为 $t^*=12.8$，第 1 次的最优订购量为 $d_1^*=1\ 269.63$。$t^*=12.8$ 时，如果观察到

的市场信息值 $x_e(t^*)>1\ 070.57$，那么销售商需要发出第 2 次订单，订购量具体为 $d_2^*=x_e(t^c)-1\ 070.57$，否则无须进行第 2 次订购。对于供应商来说，其第 1 次最优生产量为 $q_1^*=1\ 346.78$，明显高于销售商第 1 次的最优订购量，说明无协调契约时，供应商存在投机行为，欲将普通模式下生产的多余产品以昂贵模式下的批发价卖给销售商，以获取更多利润。当销售商总的订购量大于供应商第 1 阶段的生产数量时，供应商需要启动第 2 轮生产。分散决策下，二者的期望利润分别为 $\Pi_r=116\ 859.12$ 和 $\Pi_m=17\ 928.39$，供应链系统的期望利润为 $\Pi=144\ 787.5$。

(3) 柔性期权契约下，若期权价格和执行价格满足 $(o(t),e)=(\rho(c(t)-v),p+k-\rho(p+k-v))$，则供应链可以得到协调，协调后的系统期望利润为 $\Pi=\Pi^c=147\ 625.36$；与无协调契约时的情形相比，系统利润增量为 $\Delta\Pi=12\ 837.85$。为简化计算，假设 $\alpha=\beta=0.01$，并且销售商和供应商都是风险规避者，根据引理 4 提供的方法，得出期权契约的各参数以及系统利润增量在成员间的分配情况，具体见图 2～图 4(为清楚呈现图 2～图 4 中纵坐标的变化特点，横坐标采用了不等距形式，否则纵坐标的变化呈现出直线趋势，而不是符合引理 4～6 结论的折线形式)。当销售商谈判地位得到提升时，其风险共担能力也随之增强，期权执行价格 e 有所下降，分享到的系统利润增量 $\Delta\Pi_r$ 随之增加；只有当二者谈判地位相当时，即 $\gamma_1=\gamma_2=0.5$，系统利润增量才会被二者平分。

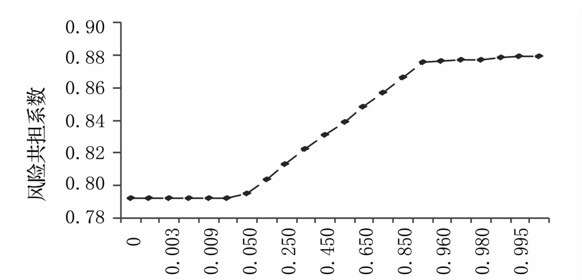

图 2　风险共担系数变化趋势

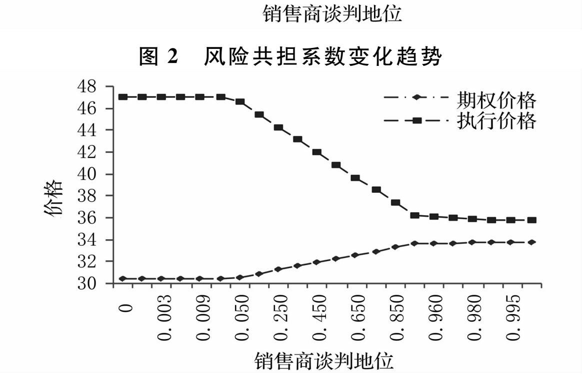

图 3　期权价格和执行价格变化趋势

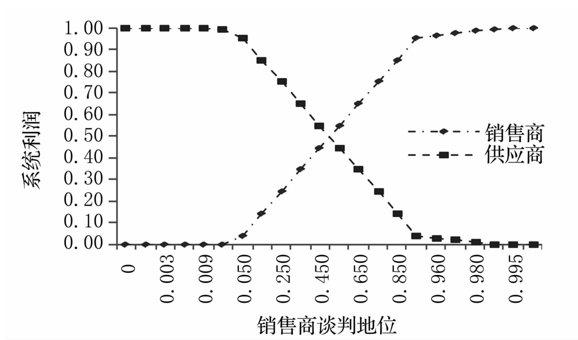

图 4　系统利润增量在两成员间的分配

7　结论

本文针对供应商和销售商组成的二级供应链，考虑在需求预测信息即时更新的两阶段生产和订购模式下研究期权策略与数量柔性契约组合的协调机制，为创新型产品供应链的生产和订购提供了运作模式：提前期内购买期权并在预测更新后对其进行调整；在销售季节开始时，按照预定价格购买产品，以满足市场需求。组合型的柔性期权契约既提高了销售商的订货弹性，使其无须在销售季节开始后承担订货过多的风险，也降低了供应商进行生产能力储备的风险；由于期权购买价格小于产品的边际生产成本，从而消除了双重边际效应。柔性期权契约可以使供应链达到协调，还能够使系统期望利润在其成员间任意分配；风险共担系数在其有效区间上任意取值，都能够使供应链系统及其成员的利润实现帕累托改进。

系统利润增量在其成员间的分配与其谈判地位和风险规避程度密切相关：①两成员均为风险规避者时，二者分享到的系统利润增量份额等于其对应的谈判地位度量值，谈判地位的相对变化决定转移支付的变化趋势，风险规避程度决定转移支付的方向。一方谈判地位的不断攀升，将促使另一方不断增加转移支付的费用。②两成员中一方为风险规避者、另一方为风险中性时，风险中性者享有全部的系统利润增量，但需要转移给风险规避者一定费用；风险规避者谈判地位的不断攀升促使风险中性者不断增加转移支付的费用。

需要说明的是，本文虽然是在市场需求服从正态分布的假设下研究期权契约，但去掉这一假设，并不影响期权契约协调供应链。但是，本文对于销售季末需要退货或者补货的情况均没有考虑，因此，在后续研究中将对此问题进行建模分析和讨论。

参 考 文 献

[1] FISHER M, RAMAN A. Reducing the Cost of Demand Uncertainty Through Accurate Response to Early Sales[J]. Operation Research, Special Issue on New Directions for Operation Management Research, 1996, 44(1): 87～99

[2] IYER A, BERGEN M. Quick Response in Manufacturer Retailer Channels [J]. Management Science, 1997, 43(2): 559～570

[3] DONOHUE K. Efficient Supply Contracts for Fashion Goods with Forecast Updating and Two Production Modes [J]. Management Science, 2000, 46 (11): 1 397～1 411

[4] ÖZALP Ö, ONUR U, WEI W. Selling to the "Newsvendor" with a Forecast Update: Analysis of a Dual Purchase Contract [J]. European Journal of Operational Research, 2007(182): 1 150～1 176

[5] 丁利军,夏国平,葛健. 2 次生产和订货模式下的供应链契约式协调[J]. 管理科学学报,2004, 7(4): 24～32

[6] EPPEN G, IYER A. Backup Agreements in Fashion Buying: The Value of Upstream Flexibility [J]. Management Science, 1997, 43(11): 1 469～1 484

[7] TSAY A. The Quantity Flexibility Contract and Supplier-Customer Incentives [J]. Management Science, 1999, 45(10): 1 339～1 358

[8] BROWN A O, LEE H L. Optimal Pay-To-Delay Capacity Reservation with Application to the Semiconductor Industry[R]. Stanford, CA: Department of Industrial Engineering and Engineering Management, Stanford University, 1997

[9] BARNES-SCHUSTER D, BASSOK Y, ANUPINDI R. Coordination and Flexibility in Supply Contracts with Options [J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2002, 4(3): 171～207

[10] 胡本勇,王性玉,彭其渊. 基于双向期权的供应链柔性契约模型[J]. 管理工程学报, 2008, 22(4): 79～84

[11] 王圣东, 周永务, 汪峻萍. 带有需求信息更新点决策的供应链协调模型[J]. 系统工程学报, 2012, 27 (3): 351～358

[12] 尚文芳, 祁明, 张智勇. 基于需求信息更新和短缺量延期供给的易逝品供应链期权契约研究[J]. 管理学报, 2012, 9(6): 908～912

[13] 平新乔. 微观经济学十八讲[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001

[14] 谢识予. 经济博弈论[M]. 第 3 版. 上海: 复旦大学出版社, 2008

[15] ELIASHBERG J. Arbitrating a Dispute: A Decision Analytic Approach [J]. Management Science, 1986,32(8): 963～974

[16] ZHAO Y X, WANG S Y, CHENG TCE, et al. Coordination of Supply Chains by Option Contracts: A Cooperative Game Theory Approach [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207 (2): 668～675

[17] 胡本勇, 彭其渊. 基于广告-研发的供应链合作博弈分析[J]. 管理科学学报, 2008, 11(2): 61～70

[18] 平新乔. 微观经济学十八讲[M]. 第 1 版. 北京: 北京大学出版社,2001

(编辑　刘继宁)

通讯作者: 尚文芳(1980～),女,河南南阳人。郑州大学(郑州市　450001)商学院讲师。研究方向为生产运作管理、供应链协调与优化等。E-mail: wenfangshang@126.com