价格柔性契约下需求依赖价格的供应链策略研究

李小美 [1]，刘人境 [1,2]，张 琦 [1]
（1. 西安交通大学 管理学院，陕西 西安 710049；
2. 过程控制与效率工程教育部重点实验室，陕西 西安 710049）

利用 Stackelberg 博弈模型研究价格柔性
签订价格柔性契约来应对市场价格波动带来的利
契约的参数。首先，零售商根据价格对需求的影
零售商的零售价格决定柔性契约的价格风险分担
契约下零售商的最优定价以及供应商的最优价格
员决策提供理论和方法指导。

价格柔性契约；需求依赖价格；供应链

Research on Supply Chain Str

LI Xiao
(1. School of Mana
2. Key Laboratory of Process Control & Efficiency Engineering (Xi’an Jiaotong University),Ministry of Education, Xi’an 710049, China)

Abstract：The Stackelberg game model was used to study the strategy of retailer and supplier under the price flexible contract. Due to the fluctuation of the product’s market prices, price flexible contract was signed by the retailer and supplier to deal with the profit risk. The market demand faced by the retailer depended on his/her retail price, and the contract parameter was decided by the supplier. Firstly, the retailer determined the retail price according to the price dependent demand and the parameters of the price flexible contract. Then the supplier determined the price risk sharing coefficient of the price flexible contract according to the retailer's retail price. The additive and multiplicative type of price dependent demand was considered, the retailer's optimal pricing and the supplier's optimal price risk sharing coefficient under the price flexible contract was calculated. The results can provide theoretical and methodological guidance for supply chain members’ decisions with price dependent demand and price flexible contract.

Keywords：price flexible contract; price dependent demand; supply chain strategy

引言

在当今复杂多变的市场环境中，产品的价格并非一成不变，而是经常发生波动。价格波动的原因是多样的，例如市场汇率的不确定性、政治变化、技术进步、社会文化变化和环境波动。以美元对人民币的汇率为例，每日都会发生变化，从 2019 年 7 月 2 日的 6.87 上涨至 2019 年 9 月 3 日的 7.18，此后又下跌至 2019 年 11 月 8 日的 6.99。因此，对于进行交易的供需双方，其交易价格和利润都会受到市场汇率的影响。[1]此外，产品的市场需求往往受到产品价格的影响。例如，有调查数据显示，由于汇率影响出游成本，超九成网民表示出游计划受到影响。其中，45.7%的网民表示将转战国内游，47.8%的网民则表示将减少海外旅游购物支出。[2]

学术界已有较多文献对价格影响需求的供应链进行研究。Whitin T M[3]首先将价格作为外生变量，研究需求依赖价格的零售商的最优定价和库存策略，其中需求与价格线性相关。Karlin 和 Carr[4]进一步考虑了加和型需求和乘积型需求两种形式。而 Young[5]将乘积型和加和型两种需求函数统一起来，考虑了更为一般化的需求函数。Petruzzi 和 Dada[6]对需求依赖价格的报童问题进行了综述和扩展。但是，在这些研究中，零售商的采购价格都是固定不变的，

收稿日期：2019-12-16；修回日期：2020-02-25
基金项目：国家社科基金资助项目（15BGL082）；国家社科重大基金资助项目（18ZDA104）
作者简介：李小美（1991-

这一点与实际情况不符。

实际上，零售商的采购价格会随着环境的变化而变化。在需求依赖销售价格且交易市场价格随机波动的条件下，供应商和零售商可以通过签订价格柔性契约来分担由于价格波动带来的供应链利润风险。国内外关于价格柔性契约的研究尚且比较少。Li 等[7]首先对供应链的价格波动问题进行研究。在价格不确定情况下，描述了时间柔性契约、数量柔性契约、供应商数量以及价格风险分担契约等因素对零售商最小采购成本的影响，但该文假设市场需求是确定性的，与产品价格无关。Fotopoulos S B 等人[8]研究了采购价格波动条件下的最优采购时间，从而最小化采购成本。同样，本文假设市场需求是确定性的，与产品价格无关。Qi Feng 和 Suresh P. Sethi[9]探讨了价格和需求同时不确定性条件下，制造商的最优采购策略和容量分配问题，其中制造商有三种不同的采购契约选择：长期的批发价格合同、短期的价格柔性合同和短期的现货市场合同。Zhang W 等[10]建立了原材料价格不确定性和信息不对称条件下，包含风险中性的零售商和风险厌恶的供应商的两阶段契约模型，并对比分析了五种供应链契约类型（固定价格契约、成本补偿契约、采购控制契约、指数关联支付契约、关系型契约）下买方的最优契约选择。Mahapatra S 等[11]关注需求确定条件下风险规避型零售商的采购决策问题，其中采购来源包括价格波动的现货市场和价格确定的契约市场。Hu X 和 Motwani J G[12]探索了已知供应商体系、供应商容量、订货数量、订货时间、销售价格变动时最小化零售商下跌风险的方法，文章考虑了加和型的需求依赖价格的形式。Hu X 和 Su P[13]研究了采购价格波动的报童采购量和定价决策问题，其中产品的需求依赖于市场价格且随机变化。Xing W[14]等研究了两个制造商和一个零售商组成的供应链，其中两个制造商可以选择采用固定价格契约或者价格柔性契约。论文分析了两个制造商在不同现货价格相关系数下的契约选择及其不同契约组合下的供应链成员利润。Ullah M 等人[15]研究了考虑随机价格依赖需求的产品的联合库存和动态定价策略。杨庆定和黄培清[16-18]关注汇率波动条件下国际制造商的最优订货策略。

然而，上述研究都是站在采购方的角度研究价格波动条件下采购方的最低采购成本、最佳采购时间、最优采购量、最优定价决策或者最优契约选择，并没有涉及整个供应链的成员博弈关系。慕银平和刘利明[19-20]利用 Stackelberg 主从博弈模型研究了由一个供应商和一个制造商组成的采购系统的最优采购策略及原材料价格波动风险的分担机制。研究表明，通过实施价格柔性合同可以降低供需双方的风险，且通过设置合理的价格柔性系数可以提高双方的收益。但是他们假定市场需求是随机的并且与产品销售价格无关。

综上，国内外关于价格波动条件下的供应链管理问题的研究可以概况为两部分：一部分是价格波动条件下的报童问题研究，这类研究关注零售商在采购价格波动情况下如何制定最优的采购策略；另一部分研究聚焦在价格波动条件下供需双方的最优采购策略及风险分担情况，但是在这类研究中，市场需求与销售价格无关。不同于以上研究，本文在以上两类研究的基础之上考虑供应商和零售商之间的博弈关系，利用 Stackberg 博弈模型研究价格波动条件下零售商和供应商的最优策略。零售商和供应商通过签订价格柔性契约来分担由于价格波动带来的利润风险，且产品的市场需求依赖于销售价格。零售商的决策变量为产品销售价格，供应商的决策变量为价格风险分担系数。本文的研究结果丰富了价格波动且市场需求依赖价格的供应链问题，并且可以为面对价格波动的零售商和采购商的决策制定和契约签订提供指导，具有重要的理论和现实意义。

本文考虑由一个零售商和一个供应商组成的两级供应链。零售商首先根据市场需求信息和采购成本制定采购计划，决定产品的销售价格；然后供应商根据零售商的零售价格和采购量决定价格风险分担系数。本文的基本假设如下：

（1）供应商和零售商均是风险中性的，以最大化期望利润为目标；

（2）信息是完全的，即供需双方都事先知晓双方的所有信息。

与慕银平和刘利明[19]的价格柔性契约一致，由于产品交易价格风险的存在，供应商和零售商签订如下价格风险分担契约：

$$w = p_c + \lambda(p - p_c) \tag{1}$$

其中w为实际的产品交易价格，p_c为合同基准价格，p为产品实时市场价格，λ为价格风险分担系数，且$0 \leq \lambda \leq 1$。当$\lambda = 0$时，$w = p_c$，此时的价格风险分担契约退化为固定价格契约，供应商和零售商按照固定价格交易，供应商完全承担价格波动的风险。当$\lambda = 1$时，$w = p$，此时的价格风险分担契约变成完全按照产品市场价格进行交易的契约，零售商完全承担价格波动的风险。当$0 < \lambda < 1$时，如果市场价格大于合同基准价格，那么供应商帮助零售商承担部分价格上涨的风险；如果市场价格小于合同基准价格，那么零售商帮助供应商承担部分价格下跌的风险，λ的大小代表了供应商和零售商之间价格风险分担的程度。

零售商面对的市场需求受销售价格的影响，参考 Karlin 和 Carr[4]关于销售价格影响市场需求的函数形式，考虑加和型和乘积型两种形式：$D_1 = y(r) + \varepsilon$以及$D_2 = y(r)\varepsilon$。其中D为市场需求，$y(r)$是零售商产品销售价格的递减函

问题描述和基本模型构建

数，ε表示不考虑价格影响下的基准市场需求。本文使用下标 1 和 2 分别表示加和型和乘积型价格影响市场需求的情形，使用上标R和S分别表示零售商和供应商的利润，使用上表$*$表示零售商或者供应商的最优决策。

本节考虑加和型价格影响市场需求的情形，即$D_1 = y(r) + \varepsilon$条件下零售商和供应商的博弈过程。

3.1

加和型价格影响市场需求的情形下，零售商定价为r时的利润函数为：

$$\pi_1^R(r) = r[y(r) + \varepsilon] - w[y(r) + \varepsilon] \tag{2}$$

（2）式中第一项表示零售商的销售收入，第二项表示零售商的采购成本。将（1）式带入（2）式，可得：

$$\pi_1^R(r) = r[y(r) + \varepsilon] - [p_c + \lambda(p - p_c)][y(r) + \varepsilon] \tag{3}$$

对（3）式求期望，可得零售商的利润的期望值为：

$$E[\pi_1^R(r)] = r[y(r) + \varepsilon] - [p_c + \lambda(\mu_p - p_c)][y(r) + \varepsilon] \tag{4}$$

其中，$\mu_p = E(p)$表示1产品实时市场价格的期望。 $\boldsymbol{r}$

$$\boldsymbol{{}_1^* = \frac{A + \varepsilon}{2k} + \frac{[p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]}{2}}$$

利润函数的期望值最大化。

$$\begin{cases} \dfrac{\partial E[\pi_1^R(r)]}{\partial r} = [y(r) + \varepsilon + ry'(r)] - [p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]y'(r) \\ \dfrac{\partial^2 E[\pi_1^R(r)]}{\partial r^2} = [2y'(r) + ry''(r)] - [p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]\, y''(r) \end{cases} \tag{5}$$

考虑价格对需求的影响函数$y(r)$为线性函数，令

$$y(r) = A - kr \tag{6}$$

其中A表示销售价格为零时的线性市场需求的截距部分，代表着一种极限情形，实际上零售商的销售价格不可能为零，因而本文用比较大的常数A来表示价格为零的时候的市场需求上限。k表示增加单位价格引起的市场需求的减少量，k越大，市场价格对需求的影响越大。对（6）式求一阶和二阶导数可得：

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y(r)}{\partial r} = -k \\ \dfrac{\partial^2 y(r)}{\partial r^2} = 0 \end{cases} \tag{7}$$

将（7）式带入（5）式可得：

$$\begin{cases} \dfrac{\partial E\left(\pi_1^R(r)\right)}{\partial r} = (A - 2kr + \varepsilon) + [p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]\, k \\ \dfrac{\partial^2 E\left(\pi_1^R(r)\right)}{\partial r^2} = -2k < 0 \end{cases} \tag{8}$$

零售商利润函数的期望值对其销售价格的二阶导数小于零，因此零售商利润函数的期望值是其销售价格的凹函数，令零售商利润函数的期望值对销售价格的一阶导数等于零，可得零售商的最优定价：

$$r_1^* = \frac{A + \varepsilon}{2k} + \frac{[p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]}{2} \tag{9}$$

命题 1 得证。

3.2

加和型价格影响市场需求的情形下，供应商的利润函数为：

$$\pi_1^S(\lambda) = w[y(r) + \varepsilon] - c[y(r) + \varepsilon] \tag{10}$$

将实际交易价格（1）式、价格对需求的线性影响函数（6）式以及零售商的最优销售定价（9）式带入（10）式可得：

加和型决策分析

在加和型价格影响市场需求的供应链中，存在最优的销售定价格，，使得零售商的

$$\pi_1^S(\lambda)=\frac{\{A+\varepsilon-[p_c+\lambda(\mu_p-p_c)]k\}}{2}[p_c+\lambda(p-p_c)-c] \tag{11}$$

对（11）式求期望，可得：

$$E[\pi_1^S(\lambda)]=\frac{\{A+\varepsilon-[p_c+\lambda(\mu_p-p_c)]k\}}{2}[p_c+\lambda(\mu_p-p_c)-c] \tag{12}$$

2

$$\boldsymbol{\frac{A+\varepsilon+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)}<1} \qquad \boldsymbol{\lambda_1^*}$$

使得供应商的利润函数的期望值最大化。

$$\begin{cases}\dfrac{dE[\pi_1^S(\lambda)]}{d\lambda}=-\dfrac{(\mu_p-p_c)k}{2}[p_c+\lambda(\mu_p-p_c)-c]+\dfrac{\{A+\varepsilon-[p_c+\lambda(\mu_p-p_c)]k\}}{2}(\mu_p-p_c)\\ \dfrac{d^2E\left(\pi_1^S(\lambda)\right)}{d\lambda^2}=-(\mu_p-p_c)^2k<0\end{cases}$$

供应商的期望利润对价格风险分担系数λ的二阶导数小于零，因此供应商的期望利润是价格风险分担系数λ的凹函数，存在最优的价格风险分担系数λ_1^*，使得供应商的利润函数的期望值最大化。

令供应商的期望利润对价格风险分担系数λ的一阶导数等于零，可得：

$$\lambda_1^*=\frac{A+\varepsilon+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)} \tag{13}$$

已知$0\le\lambda\le1$，当$0<\frac{A+\varepsilon+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)}<1$时，供应商的最优价格风险分担系数为$\lambda_1^*=\frac{A+\varepsilon+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)}$；当$\frac{A+\varepsilon+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)}\le0$时，供应商的期望利润随着价格风险分担系数$\lambda$的增加而减少，供应商倾向于选择固定价格的契约，$\lambda_1^*=0$；当$\frac{A+\varepsilon+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)}\ge1$时，供应商的期望利润随着价格风险分担系数λ的增加而增加，供应商倾向于选择完全按照产品市场价格销售，$\lambda_1^*=1$；当$\mu_p=p_c$时，$E[\pi_1^S(\lambda)]=\frac{(A+\varepsilon-p_ck)}{2}(p_c-c)$，此时，供应商的利润函数的期望值与$\lambda$无关，不存在最优的$\lambda_1^*$。命题2得证。

4

$$_2=y(r)\varepsilon$$

4.1

乘积型价格影响市场需求的情形下，零售商的定价为r时的利润函数为：

$$\pi\quad{}_2^R(r)=ry(r)\varepsilon-wy(r)\varepsilon \tag{14}$$

将（1）式带入（14）式，可得：

$$\pi_2^R(r)=ry(r)\varepsilon-[p_c+\lambda(p-p_c)]y(r)\varepsilon \tag{15}$$

对（15）式求期望：

$$E[\pi_2^R(r)]=ry(r)\varepsilon-[p_c+\lambda(\mu_p-p_c)]y(r)\varepsilon \tag{16}$$

3

$$\boldsymbol{{}_2^*=\frac{p_c+\lambda(\mu_p-p_c)}{2}+\frac{A}{2k}}$$

润函数的期望值最大化。

$$\begin{cases}\dfrac{\partial E[\pi_2^R(r)]}{\partial r}=[y(r)+ry'(r)]\varepsilon-[p_c+\lambda(\mu_p-p_c)]y'(r)\varepsilon\\ \dfrac{\partial^2E[\pi_2^R(r)]}{\partial r^2}=[2y'(r)+ry''(r)]\varepsilon-[p_c+\lambda(\mu_p-p_c)]y''(r)\varepsilon\end{cases} \tag{17}$$

同样，考虑价格对需求的影响服从线性关系，令$y(r)=A-kr$，将（7）式带入（17）式可得：

乘积型决策分析 ……供应链中，当存在最优的销售定价格， 时，存在最优的价格风险分担系数的利

$$\begin{cases} \dfrac{\partial E[\pi_2^R(r)]}{\partial r} = (A-2kr)\varepsilon + [p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]\, k\varepsilon \\ \dfrac{\partial^2 E[\pi_2^R(r)]}{\partial r^2} = -2k\varepsilon < 0 \end{cases}$$

零售商利润函数的期望值对其销售价格的二阶导数小于零，因此零售商利润函数的期望值是其销售价格的凹函数，令零售商利润函数的期望值对销售价格的一阶导数等于零，可得零售商的最优定价：

$$r_2^* = \frac{A}{2k} + \frac{[p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]}{2} \tag{18}$$

命题 3 得证。

4.2

乘积型价格影响需求条件下，供应商的利润函数为：

$$\pi_2^S(\lambda) = y(r)\varepsilon(w-c) \tag{19}$$

将实际交易价格（1）式、价格对需求的线性影响函数（6）式以及零售商的最优销售定价（18）式带入（19）式可得：

$$\pi_2^S(\lambda) = \frac{A - k[p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]}{2}[p_c + \lambda(p - p_c) - c]\varepsilon \tag{20}$$

对供应商的利润函数（20）式求期望，可得：

$$E[\pi_2^S(\lambda)] = \frac{A - k[p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]}{2}[p_c + \lambda(\mu_p - p_c) - c]\varepsilon \tag{21}$$ **4**

$\boldsymbol{\frac{A + ck - 2p_ck}{2(\mu_p - p_c)k}} \lambda < 1$

$_2^*$

证明：对供应商的利润函数的期望值（21）式分别求一阶和二阶导数：

$$\begin{cases} \dfrac{dE[\pi_2^S(\lambda)]}{d\lambda} = -\dfrac{(\mu_p - p_c)k\varepsilon}{2}[p_c + \lambda(\mu_p - p_c) - c] + \dfrac{\{A - k[p_c + \lambda(\mu_p - p_c)]\}\varepsilon}{2}(\mu_p - p_c) \\ \dfrac{d^2E[\pi_2^S(\lambda)]}{d\lambda^2} = -(\mu_p - p_c)^2 k\varepsilon < 0 \end{cases}$$

令供应商利润函数的期望值对价格风险分担系数λ的一阶导数为零，可得：

$$\lambda_2^* = \frac{A + ck - 2p_ck}{2(\mu_p - p_c)k} \tag{22}$$

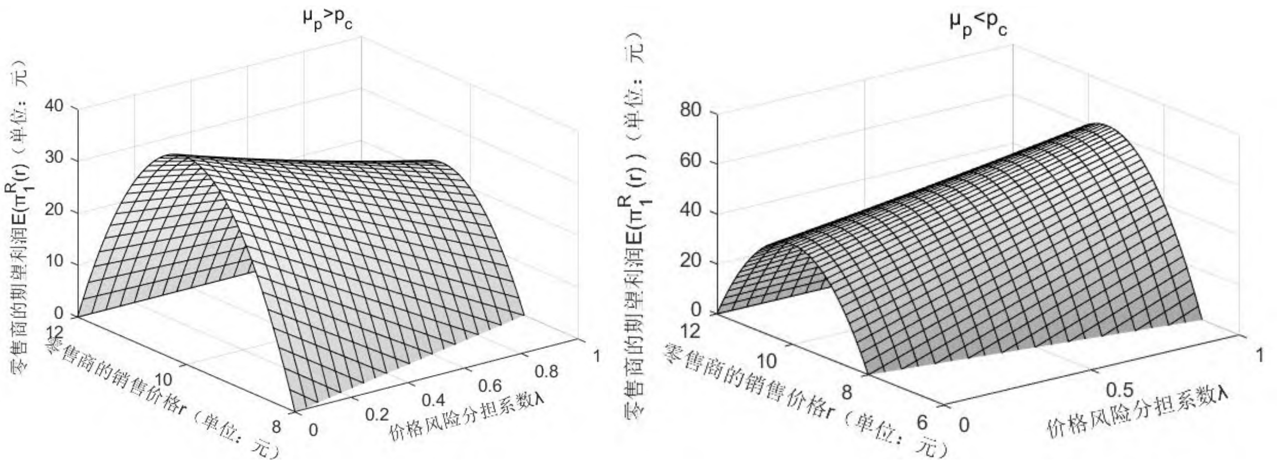
已知$0 \le \lambda \le 1$，当$0 < \frac{A + ck - 2p_ck}{2(\mu_p - p_c)k} < 1$时，供应商的最优价格风险分担系数为$\lambda_2^* = \frac{A + ck - 2p_ck}{2k(\mu_p - p_c)}$；当$\frac{A + ck - 2p_ck}{2(\mu_p - p_c)k} \le 0$时，供应商的期望利润随着价格风险分担系数λ的增加而减少，供应商倾向于选择固定价格的契约，$\lambda_2^* = 0$；当$\frac{A + ck - 2p_ck}{2(\mu_p - p_c)k} \ge 1$时，供应商的期望利润随着价格风险分担系数λ的增加而增加，供应商倾向于选择完全按照产品市场价格销售，$\lambda_2^* = 1$。当$\mu_p = p_c$时，$E[\pi_2^S(\lambda)] = \frac{(A - p_ck)}{2}(p_c - c)\varepsilon$，此时，供应商的利润函数的期望值与$\lambda$无关，不存在最优的$\lambda_2^*$。命题 4 得证。

5

$_p > p_c \quad \mu_p < p_c$

令$A = 100$，$k = 10$，$\varepsilon = 20$，$c = 5$，$p_c = 8$，将参数值带入加和型价格影响需求情形下的零售商期望利润（4）式，可得：$\mu_p = 9$时，$E[\pi_1^R(r)] = (r - 8 - \lambda)(120 - 10r)$；$\mu_p = 7$时，$E[\pi_1^R(r)] = (r - 8 + \lambda)(120 - 10r)$。$\mu_p > p_c$和$\mu_p < p_c$时零售商的期望利润随着产品销售价格$r$和风险分担系数$\lambda$的变化情况分别如图 1-a 和 1-b 所示。

数值分析 **影响需求的供应链中，当且仅当　　时，存在最优的价格风险分担系数**



1 －a　　　　1 －b

图 1 加和型价格影响需求情形下零售商的期望利润随着销售价格r和价格风险分担系数λ的变化情况

从图 1 可以看到：当零售商的销售价格r和价格风险分担系数满足一定的线性关系式，即$r = 10 + \frac{(\mu_p - p_c)}{2}\lambda$ 时，零售商的期望利润取得最大值。价格风险分担系数λ一定时，零售商的期望利润随着零售价格的增加先增加后减少，存在一个最优的零售价格使得零售商的期望利润最大化。

（2）加和型价格影响需求情形下供应商的利润变化情况

本节讨论加和型价格影响需求情形下供应商的期望利润随着价格风险分担系数λ的变化情况。令$A = 100$，$k = 10$，$\varepsilon = 20$，$c = 5$，$p_c = 8$，将参数值带入加和型价格影响需求情形下的供应商期望利润（12）式，可得：$\mu_p = 9$时，$E[\pi_1^S(\lambda)] = \frac{120 - 10 * (8 + \lambda)}{2}(3 + \lambda)$；$\mu_p = 8.5$时，$E[\pi_1^S(\lambda)] = \frac{120 - 10 * (8 + 0.5 * \lambda)}{2}(3 + 0.5 * \lambda)$；$\mu_p = 7$时，$E[\pi_1^S(\lambda)] = \frac{120 - 10 * (8 - \lambda)}{2}(3 - \lambda)$；$\mu_p = p_c = 8$时，$E[\pi_1^S(\lambda)] = 60$。$\mu_p = 9$、$\mu_p = 8.5$、$\mu_p = 7$以及$\mu_p = p_c$时，供应商的期望利润随着价格风险分担系数$\lambda$的变化情况如图 2 所示：

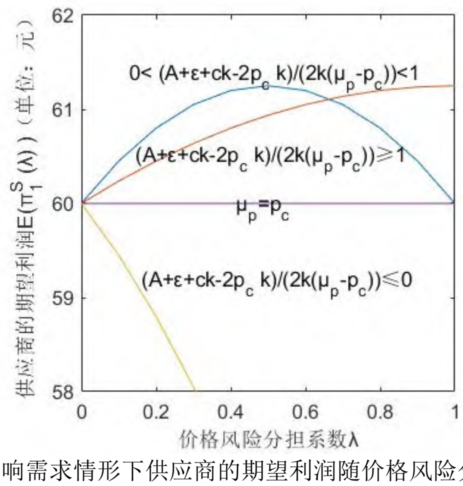


图 2 加和型价格影响需求情形下供应商的期望利润随价格风险分担系数λ的变化情况

从图 2 可以看出，$\mu_p = 9$时，$0 < \frac{A + \varepsilon + ck - 2p_c k}{2k(\mu_p - p_c)} < 1$，供应商的期望利润随着价格风险分担系数$\lambda$的增加现增加后减少，存在最优的价格风险分担系数$\lambda_1^* = 0.5$，使得供应商的期望利润最大化；$\mu_p = 8.5$时，$\frac{A + \varepsilon + ck - 2p_c k}{2k(\mu_p - p_c)} \geq 1$，$\lambda_1^* = 1$，供应商选择按照市场价格进行交易；$\mu_p = 7$时，$\frac{A + \varepsilon + ck - 2p_c k}{2k(\mu_p - p_c)} \leq 0$，$\lambda_1^* = 0$，供应商选择固定价格的契约；$\mu_p = p_c$时，供应商的利润函数的期望值与$\lambda$无关，不存在最优的$\lambda_1^*$。总之，供应商会根据交易参数的取值范围来确定契约类型和契约参数，以最大化其期望利润。

5.2

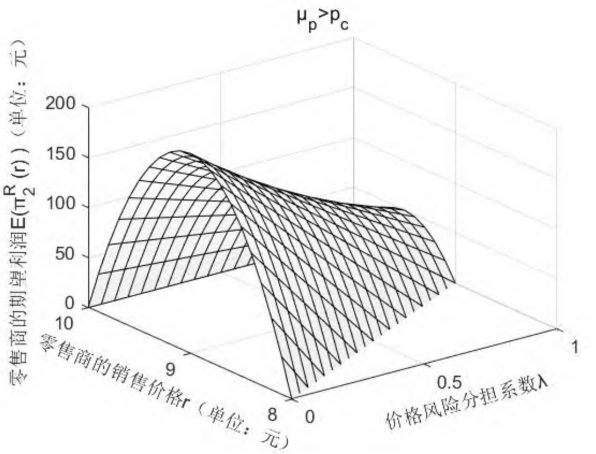
（1）乘积型价格影响需求情形下零售商的利润分析

本节讨论$\mu_p > p_c$和$\mu_p < p_c$两种情况下零售商的期望利润随着其销售价格和价格风险分担系数的变化情况。

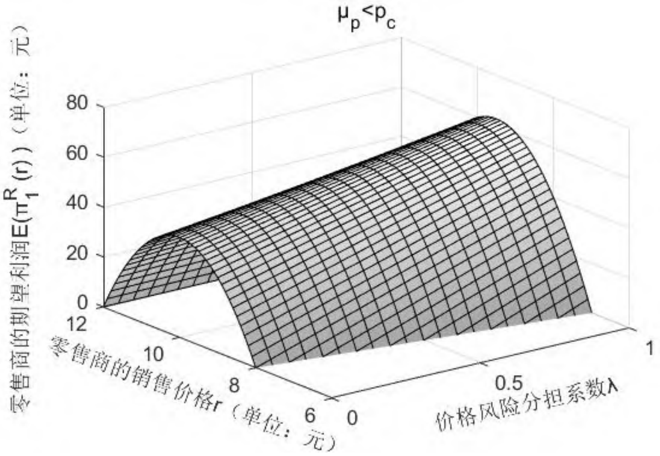
令$A = 100$，$k = 10$，$\varepsilon = 20$，$c = 5$，$p_c = 8$，将参数值带入乘积型价格影响需求情形下的零售商期望利润

乘积型数值分析

（17）式，可得：$\mu_p=9$时，$E[\pi_2^R(r)]=(r-8-\lambda)*(100-10r)*20$；$\mu_p=7$时，$E[\pi_2^R(r)]=(r-8+\lambda)*(100-10r)*20$。$\mu_p>p_c$和$\mu_p<p_c$时零售商的期望利润随着产品销售价格$r$和风险分担系数$\lambda$的变化情况分别如图3-a和3-b所示。



3－a



3－b

图3 乘积型价格影响需求情形下零售商的期望利润随着销售价格r和价格风险分担系数λ的变化情况

从图3可以看出，与加和型情形一样，乘积型情形下当零售商的销售价格r和价格风险分担系数满足一定的线性关系式，即$r=9+\frac{(\mu_p-p_c)}{2}\lambda$时，零售商的期望利润取得最大值。与加和型价格情形不同的是，在其他交易参数相同时，乘积型情形下零售商的最优销售价格较小，利润较大。究其原因，在乘积型价格影响需求的情况下，零售商销售价格的变化对需求的影响作用被放大ε倍，因此零售商的最优定价小幅度减少，市场需求大幅度增加，从而导致利润大幅度增加。

（2）乘积型价格影响需求情形下供应商的利润分析

本节讨论乘积型价格影响需求情形下供应商的期望利润随着价格风险分担系数λ的变化情况。令$A=100$，$k=10$，$\varepsilon=20$，$c=5$，$p_c=8$，将参数值带入乘积型价格影响需求情形下的供应商期望利润（21）式，可得：$\mu_p=9$时，$E[\pi_2^S(\lambda)]=\frac{100-10(8+\lambda)}{2}(3+\lambda)*20$；$\mu_p=7$时，$E[\pi_2^S(\lambda)]=\frac{100-10(8-\lambda)}{2}(3-\lambda)*20$；$\mu_p=7.5$时，$E[\pi_2^S(\lambda)]=\frac{100-10*(8-0.5*\lambda)}{2}(3-0.5*\lambda)*20$；$\mu_p=p_c=8$时，$E[\pi_2^S(\lambda)]=600$。$\mu_p=9$、$\mu_p=8.5$、$\mu_p=7$以及$\mu_p=p_c=8$时，供应商的期望利润随着价格风险分担系数$\lambda$的变化情况如图4所示：

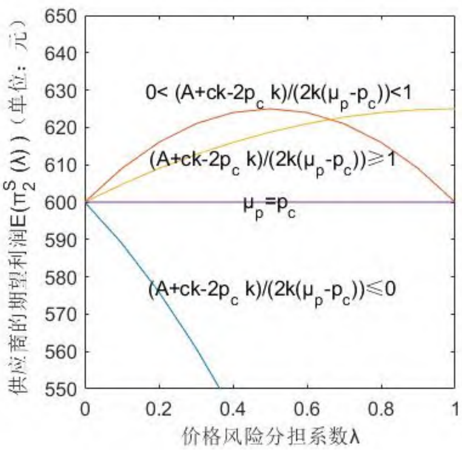


图4 乘积型价格影响需求情形下供应商的期望利润随价格风险分担系数λ的变化情况

从图4可以看出，$\mu_p=9$时，$\frac{A+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)}<0$，$\lambda_2^*=0$，供应商选择固定价格的契约；供应商的期望利润随着价格风险分担系数λ的增加现增加后减少，存在最优的价格风险分担系数$\lambda_2^*=0.5$，使得供应商的期望利润最大化；$\mu_p=7.5$时，$\frac{A+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)}\geq1$，$\lambda_2^*=1$，供应商选择按照市场价格进行交易；$\mu_p=7$时，$0<\frac{A+ck-2p_ck}{2k(\mu_p-p_c)}<1$，供应商的期望利润随着价格风险分担系数$\lambda$的增加现增加后减少，存在最优的价格风险分担系数$\lambda_2^*=0.5$，使得供应商的期望利润最大化；$\mu_p=p_c$时，供应商的利润函数的期望值与λ无关，不存在最优的λ_2^*。

[2] 薛松. 人民币汇率波动对于我们的日常生活有何影响[J/OL]. 广州日报, 2015, 8(15):1 [2015-8-15]. http://finance.people.com.cn/n/2015/0815/c1004-27467041.html
[3] Whitin T M. Inventory control and price theory[J]. Management science, 1955, 2(1): 61-68.
[4] Karlin S, Carr C R. Prices and optimal inventory policy[J]. Studies in applied probability and management science, 1962, 4(1): 159-172.
[5] Young L. Price, inventory and the structure of uncertain demand[J]. New Zealand Operations Research, 1978, 6(2): 157-177.
[6] Petruzzi N C, Dada M. Pricing and the newsvendor problem: a review with extensions[J]. Operations Research, 1999, 47(2):183-194.
[7] Li C L, Kouvelis P. Flexible and risk-sharing supply contracts under price uncertainty[J]. Management Science, 1999, 45(10):1378-1398.
[8] Fotopoulos S B, Hu X, Munson C L. Flexible supply contracts under price uncertainty[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 191(1):253-263.
[9] Feng Q, Sethi S P. Procurement flexibility under price uncertainty[J]. Innovative Quick Response Programs in Logistics and Supply Chain Management, 2010, 8(3):63-90.
[10] Zhang W, Zhou D, Liu L. Contracts for changing times: sourcing with raw material price volatility and information asymmetry[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2013, 16(1): 133-148.
[11] Mahapatra S, Levental S, Narasimhan R. Market price uncertainty, risk aversion and procurement: combining contracts and open market sourcing alternatives[J]. International Journal of Production Economics, 2017, 185(3): 34-51.
[12] Hu X, Motwani J G. Minimizing downside risks for global sourcing under price-sensitive stochastic demand, exchange rate uncertainties, and supplier capacity constraints[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 147(1):398-409.
[13] Hu X, Su P. The newsvendor's joint procurement and pricing problem under price-sensitive stochastic demand and purchase price uncertainty[J]. Omega, 2018, 79(9): 81-90.
[14] Xing W, Zhu Q, Zhao X. Supply contract design under price volatility and competition[J]. International Journal of Production Research, 2019, 57(24):7536-7551.
[15] Ullah M, Khan I, Sarkar B. Dynamic Pricing in a Multi-Period Newsvendor Under Stochastic Price-Dependent Demand[J]. Mathematics, 2019, 7(6): 520.
[16] 杨庆定, 黄培清. 不确定价格下制造商的多阶段最优订购策略[J].西南交通大学学报,2005, 40(5):700-704.
[17] 杨庆定, 黄培清. 不确定价格下制造商的双边国际订购策略分析[J].西安理工大学学报,2005, 21(3):327-330.
[18] 杨庆定, 黄培清. 随机价格下制造商的多边国际订购决策[J].控制与决策,2006, 21(1):60-63.

研究结论

[19] 慕银平, 刘利明. 采购价格柔性策略与供应链利润风险分析[J]. 中国管理科学, 2015, 23(11):80-87.
[20] 慕银平, 刘利明. 价格柔性合同下的原材料采购策略及风险分析[J]. 中国管理科学, 2015, 23(3):108-117.