控制与决策
Control and Decision

动态背景下考虑顾客退货影响的供应链协调问题

武志辉，陈东彦

引用本文:
武志辉, 陈东彦. 动态背景下考虑顾客退货影响的供应链协调问题[J]. 控制与决策, 2020, 35(1): 250-256.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0495

文章编号: 1001-0920(2020)01-0250-07 DOI: 10.13195/j.kzyjc.2018.0495

动态背景下考虑顾客退货影响的供应链协调问题

武志辉†, 陈东彦

(哈尔滨理工大学 理学院，哈尔滨 150080)

摘 要: 在考虑店铺辅助服务降低顾客退货率的基础上,构建微分博弈模型并研究供应链的店铺辅助策略和供应链的协调问题. 首先,利用微分对策理论,给出集中和分散两种决策模式下定价和店铺辅助的最优策略,并对两种决策模式下最优策略进行比较分析;然后,为了提升分散决策下供应链的利润,设计二部收费制契约,实现动态背景下供应链的协调;最后,通过数值算例分析店铺辅助努力和店铺辅助水平效率对供应链最优解及协调的影响. 研究发现:集中决策下店铺辅助努力高于分散决策下的相应值,具有较高的店铺服务水平,但两种决策结构下的价格高低依赖于系统参数;契约的协调能力会随着店铺辅助努力或服务水平效率的增加而变强.

关键词: 顾客退货；微分对策；协调；二部收费制；店铺辅助；供应链

中图分类号: TP272 **文献标志码:** A

Coordinating a supply chain with consumer returns in dynamic setting

WU Zhi-hui†，*CHEN Dong-yan*

(School of Science, Harbin University of Science and Technology，Harbin 150080，China)

Abstract: By considering the store-assistance service on reducing the rate of consumer return, the differential game model is established, and the problems of the store assistance decision and channel coordination are studied. Firstly, the optimal strategies of the retail price and store assistance are given in the decentralized and centralized decisions by applying the differential game theory. Also, the comparison analysis concerning on the optimal strategies is given in two decision patterns. Then, a two-part tariff contract is designed to increase the profit under the decentralized decision, and coordinate the supply chain in the dynamic setting. Finally, a numerical example is given to analyze the effects of the efficiency of the store assistance effort and store-assistance level on the optimal solutions and coordination. It is shown that the store assistance effort under the centralized decision is higher than the one under the decentralized decision, and the relationship of retail prices under two decision patterns depends on the system parameters. In addition, the coordination capability of the two-part tariff contract is improved by increasing the store-assistance effort effectiveness or the store-assistance level effectiveness.

Keywords: consumer return；differential game；coordination；two-part tariff；store-assistance；supply chain

0 引 言

随着市场竞争的不断加剧,允许顾客退货成为零售商广泛采取的一种竞争手段,如京东、天猫等均允许顾客将不满意产品退回[1]. 退货将会产生物流、检查以及再包装等费用. 据估计,2007年美国电子产业用于处理退货的费用为138亿美元,其中退货的主要原因是产品不能匹配顾客需求[2]. 因此,如何减少产品退货率是零售商面临需要解决的重要问题. 目前,降低产品退货的方法包括改善产品的设计质量、收取重置费用及缩短产品的投递时间等[3-5]. 此外,提供店铺辅助服务也能有效降低产品退货率,如Best Buy集团推出了名为“Geek Squad”的服务,通过反应快速的上门服务削减了近10％～40％的产品退货率,确保公司收益的稳定增长.

有关顾客退货的研究是较为丰富的[6-8]. Chen等[7]在不同渠道结构下研究了受退货影响的供应链决策问题,并给出了链中成员对渠道结构选择的偏好. Liu等[8]假定退款额影响需求,解决了供应链的库存决策及退货策略的制定问题. 这些文献侧重顾客退货的影响分析,未考虑退货率削减问题. Ofek等[9]认为店铺辅助服务能降低产品的无理由退货率,改善退货率对市场需求的影响,并给出了竞争企业的

收稿日期: 2018-04-19；**修回日期:** 2018-07-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目(11271103)；黑龙江省杰出青年科学基金项目(JC2018001)；黑龙江省自然科学基金项目(A2018007).

责任编委: 刘士新.

†通讯作者. E-mail: w-z-h-451@163.com.

产品定价及双渠道策略. 陈敬贤等[10] 进一步研究了企业对店铺辅助服务战略的选择问题,结果表明,退货率的差异强度影响企业的战略选择. Xiao等[11] 构建了顾客退货信息不对称情景下的店铺辅助决策模型; Shi等[12] 将店铺辅助决策问题推广至VMI情景.

近年来,从动态视角研究受退货影响的供应链优化决策与协调问题也取得了一定成果[13-14]. 汪峻萍等[13] 建立两周期的动态规划模型分析了零售商的订购行为,并借助价格保护思想设计契约来实现供应链协调. Wu等[14] 刻画了店铺辅助服务水平的动态演化过程以及店铺辅助服务水平对产品退回率的影响,通过建立微分对策模型及求解给出了寄售背景下供应链的最优定价及店铺辅助策略,并设计动态的寄售价格契约实现供应链协调. 然而,该研究并未充分考虑产品退货带来的退货处理费用以及退货对需求的影响,这与实际情况并不完全相符合[12].

本文综合考虑产品退货率对市场需求的影响,在动态背景下研究供应链的定价和店铺辅助决策问题. 以店铺辅助水平的动态变化特征为出发点构建微分对策模型,利用微分对策理论分别给出在分散和集中两种决策下的定价和店铺辅助策略,设计了契约实现该背景下的供应链协调.

1　问题描述及模型建立

考虑由一个制造商和一个零售商组成的供应链,其中制造商生产产品并通过零售商将产品销售给终端的消费者. 为了鼓励消费者购买,零售商允许消费者在购买产品后将不满意的产品退回,被退回的产品可以再次销售但会对零售商产生处置费用[2]. 另外,零售商可以通过投资提升店铺辅助水平减少产品的退货率以提升产品销售及利润.

1.1　符号说明

c_M 为制造商的单位生产费用; c_R 为零售商的退货处置费用; $w(t)$ 为产品的批发价格; $p(t)$ 为产品的零售价格; $A(t)$ 为 t 时刻零售商投入的店铺辅助努力; $S(t)$ 为 t 时刻的店铺辅助水平; $Q(t)$ 为 t 时刻的产品的退货率; $J_i(i=M,R\text{或}C)$ 为制造商、零售商或整个供应链的利润函数.

1.2　模型假设

假设1　文献[14]指出店铺辅助水平的变化具有动态变化特征,在本文研究背景下,它与零售商投入的店铺辅助努力相关,并由如下微分方程描述:

$$\dot{S}(t)=\rho A(t)-\delta S(t). \tag{1}$$

其中: $S(0)=S_0$,表示初始的店铺辅助水平; ρ 表示店铺辅助努力提升服务水平的效率; δ 表示店铺辅助水平的衰减率.

假设2　产品的退货率 $Q(t)\geqslant 0$ 依赖于店铺辅助水平,借鉴文献[2]的模型,本文采用线性形式,即

$$Q(t)=Q_{\max}-\lambda S(t). \tag{2}$$

其中: $Q_{\max}\in(0,1)$ 为常数,表示该类产品可能达到的最大退货率; $\lambda>0$ 表示店铺辅助水平在降低产品退货率方面的效率. 另外,市场需求同时受产品价格和退货率影响[14],即 $D(t)=\phi-\beta p(t)-\theta Q(t)$. 其中: ϕ 表示产品的市场容量, β 表示零售价格对市场需求的影响, θ 表示产品退货率对市场需求的影响.

假设3　类似于文献[14],店铺辅助成本为店铺辅助努力的二次函数,即 $C(A(t))=kA^2(t)/2$, k 为努力成本系数.

假设4　假设供应链可以无限期地运作下去,并考虑制造商和零售商拥有相同的贴现率 $r>0$,因此,制造商、零售商以及整个供应链的利润函数分别为

$$J_M=\int_0^{+\infty}\mathrm{e}^{-rt}(w(t)-c_M)D(t)\mathrm{d}t, \tag{3}$$

$$J_R=\int_0^{+\infty}\mathrm{e}^{-rt}[(p(t)-w(t)-c_RQ(t))D(t)-C(A(t))]\mathrm{d}t, \tag{4}$$

$$J_C=\int_0^{+\infty}\mathrm{e}^{-rt}[(p(t)-c_M-c_RQ(t))D(t)-C(A(t))]\mathrm{d}t. \tag{5}$$

2　集中决策

在集中决策下,供应链中的所有成员作为一个整体来决策产品的价格以及店铺辅助策略,即决策 $p(t)$ 和 $A(t)$.

定理1　在集中决策下,供应链的最优策略为

$$p_C^*(t)=-\frac{\lambda(\beta c_R-\theta)}{2\beta}(S_0-S^C)\mathrm{e}^{-r_Ct}+p_C^S, \tag{6}$$

$$A_C^*(t)=\frac{\beta k(r+2\delta)-\psi_C}{2\beta k\rho}(S_0-S_C^S)\mathrm{e}^{-r_Ct}+A_C^S, \tag{7}$$

店铺辅助水平的最优路径为

$$S_C^*(t)=(S_0-S_C^S)\mathrm{e}^{-r_Ct}+S_C^S. \tag{8}$$

其中

$$\psi_C=\sqrt{\beta k[\beta k(r+2\delta)^2-2\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2]},$$

$$r_C=\frac{\psi_C-\beta kr}{2\beta k},$$

$$S_C^S=\frac{\lambda\rho^2(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})}{2\beta k\delta(r+\delta)-\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2},$$

$$p_C^S=\frac{\phi+\beta c_M+(\beta c_R-\theta)Q_{\max}}{2\beta}-\frac{\lambda(\beta c_R-\theta)}{2\beta}S_C^S,$$

$$A_C^S=\frac{\lambda\delta\rho(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})}{2\beta k\delta(r+\delta)-\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2},$$

且 S_C^S,p_C^S,A_C^S 为集中决策下各个量的稳定状态.

证明　集中决策时需要求解以下最优控制问题:

$$\max J_C;\ \text{s.t. 式}(1).$$

为求解该最优控制问题,引入与$S(t)$相关的共态变量$\mu_C(t)$来构建现值Hamiltonian函数

$$H_C=(p(t)-c_M-c_RQ_{\max}+\lambda c_RS(t))(\phi-\beta p(t)-\theta Q_{\max}+\theta\lambda S(t))-\frac{1}{2}kA^2(t)+\mu_C(t)(\rho A(t)-\delta S(t)). \tag{9}$$

应用极大值原理,最优决策应满足以下条件[15]:

$$\frac{\partial H_C}{\partial p}=-2\beta p+\phi+\beta c_M+(\beta c_R-\theta)Q_{\max}-\lambda(\beta c_R-\theta)S=0, \tag{10}$$

$$\frac{\partial H_C}{\partial A}=-kA+\rho\mu_C=0, \tag{11}$$

$$\dot{\mu}_C=r\mu_C-\frac{\partial H_C}{\partial S}. \tag{12}$$

由方程(10)和方程(11)可得

$$p(t)=\frac{\phi+\beta c_M+(\beta c_R-\theta)Q_{\max}-\lambda(\beta c_R-\theta)S}{2\beta}, \tag{13}$$

$$A(t)=\frac{\rho}{k}\mu_C. \tag{14}$$

将式(13)和(14)代入(1)和(12),可得

$$\begin{bmatrix}\dot{\mu}_C\\ \dot{S}\end{bmatrix}=B\begin{bmatrix}\mu_C\\ S\end{bmatrix}+b. \tag{15}$$

其中

$$B=\begin{bmatrix}r+\delta & -\dfrac{\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2}{2\beta}\\ \dfrac{\rho^2}{k} & -\delta\end{bmatrix},$$

$$b=\begin{bmatrix}-\dfrac{\lambda(\beta c_R+\theta)}{2\beta}(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})\\ 0\end{bmatrix}.$$

矩阵B的两个特征根分别为

$$m_1=\frac{\beta kr-\psi_C}{2\beta k},\ m_2=\frac{\beta kr+\psi_C}{2\beta k},$$

其中

$$\psi_C=\sqrt{\beta k[\beta k(r+2\delta)^2-2\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2]}.$$

矩阵B的特征根对应的特征向量矩阵

$$H=\begin{bmatrix}\dfrac{\beta k(r+2\delta)-\psi_C}{2\beta\rho^2} & \dfrac{\beta k(r+2\delta)+\psi_C}{2\beta\rho^2}\\ 1 & 1\end{bmatrix}, \tag{16}$$

则微分方程组的解可以表示为

$$\begin{bmatrix}\mu_C\\ S\end{bmatrix}=H\begin{bmatrix}e^{m_1t} & 0\\ 0 & e^{m_2t}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}c_1\\ c_2\end{bmatrix}-B^{-1}b=$$

$$\begin{bmatrix}\dfrac{\beta k(r+2\delta)-\psi_D}{2\beta\rho^2}e^{m_1t} & \dfrac{\beta k(r+2\delta)+\psi_D}{2\beta\rho^2}e^{m_2t}\\ e^{m_1t} & e^{m_2t}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}c_1\\ c_2\end{bmatrix}+$$

$$\frac{1}{2\beta k\delta(r+\delta)-\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2}\times\begin{bmatrix}\lambda\delta k(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})\\ \lambda\rho^2(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})\end{bmatrix}. \tag{17}$$

下面根据条件$S(0)=S_0$以及$\lim\limits_{t\to\infty}e^{-rt}\mu_C(t)=0$确定常数$c_1$和$c_2$. 为了保证解的存在性,这里需要假定特征根$m_1<0$,即假定

$$2\beta k\delta(r+\delta)>\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2.$$

于是可得

$$c_1=S_0-\frac{\lambda\rho^2(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})}{2\beta k\delta(r+\delta)-\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2},$$

$$c_2=0.$$

进而得到S和μ_C,将其分别代入式(13)和(14),可以得到集中决策下的最优策略,对应的最优利润记为J_C^*. □

注意$S_C^*(t)$可以改写为$S_C^*(t)=S_0e^{-r_Ct}+(1-e^{-r_Ct})S_C^S$. 为了保证$Q(t)\geqslant 0$,需要假定$\lambda$不能过高,即$\lambda\leqslant Q_{\max}/\max\{S_0,S_C^S\}$,这与文献[15]中的假设是类似的.

推论1 对于集中决策下的最优策略,有$\partial S_D^S/\partial\lambda>0,\partial p_D^S/\partial\lambda<0,\partial A_D^S/\partial\lambda>0,\partial S_D^S/\partial\rho>0,\partial p_D^S/\partial\rho<0,\partial A_D^S/\partial\rho>0$.

推论1说明,店铺辅助水平降低产品退货率的效率越高,投入的店铺辅助努力越多,店铺辅助水平也会相应变高,但价格则会变低; 店铺辅助努力提升店铺辅助水平效率的提升也会产生类似的结果.

3 分散决策

在分散决策下,事件的发生顺序如下:首先,作为Stackelberg领导者的制造商宣布产品的批发价;其次,作为追随者的零售商在已知制造商的批发价信息基础上决策产品的零售价格和店铺辅助策略.

定理2 在分散决策下,供应链的最优策略为

$$w_D^*(t)=\frac{\lambda(\beta c_R+\theta)}{2\beta}S_0e^{-\delta t}+w_D^S, \tag{18}$$

$$p_D^*(t)=-\frac{\lambda(\beta c_R+\theta)}{2\beta}\Big(\frac{S_0}{2}-S_D^S\Big)e^{-r_Dt}+p_D^S, \tag{19}$$

$$A_D^*(t)=\frac{\beta k(r+2\delta)-\psi_D}{2\beta k\rho}\Big(\frac{S_0}{2}-S_D^S\Big)e^{-r_Dt}+A_D^S. \tag{20}$$

店铺辅助水平的最优路径为

$$S_D^*(t)=\frac{S_0}{2}e^{-\delta t}+\Big(\frac{S_0}{2}-S_D^S\Big)e^{-r_Dt}+S_D^S. \tag{21}$$

其中

$$w_D^S=\frac{\phi+\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max}}{2\beta},$$
$$r_D=\frac{\psi_D-\beta kr}{2\beta k},$$
$$\psi_D=\sqrt{\beta k[\beta k(r+2\delta)^2-2\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2]},$$
$$S_D^S=\frac{\lambda\rho^2(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})}{2[2\beta k\delta(r+\delta)-\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2]},$$
$$p_D^S=\frac{3\phi+\beta c_M+(\beta c_R-3\theta)Q_{\max}}{4\beta}-\frac{\lambda(\beta c_R+\theta)}{2\beta}S_D^S,$$
$$A_D^S=\frac{\lambda\delta\rho(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})}{2[2\beta k\delta(r+\delta)-\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2]},$$

且w_D^S,S_D^S,p_D^S,A_D^S为分散决策下各个量的稳定状态.

证明　利用逆向归纳法,首先推导零售商的最优决策,即求解如下的优化模型:

$$\max J_R;\ \text{s.t. 式}(1).$$

类似于定理1中的证明,引入与$S(t)$相关的共态变量$\mu_R(t)$来构造零售商的现值Hamiltonian函数

$$H_R=(p(t)-w(t)-c_RQ_{\max}+\lambda c_RS(t))(\phi-\beta p(t)-\theta Q_{\max}+\theta\lambda S(t))-\frac{1}{2}kA^2(t)+\mu_R(t)(\rho A(t)-\delta S(t)).\tag{22}$$

由极大值原理,零售商的最优决策满足如下条件:

$$\frac{\partial H_R}{\partial p}=-2\beta p+\phi+\beta w+(\beta c_R-\theta)Q_{\max}-(\beta c_R-\theta)\lambda S=0,\tag{23}$$
$$\frac{\partial H_R}{\partial A}=-kA+\rho\mu_R=0,\tag{24}$$
$$\dot\mu_R=r\mu_R-\frac{\partial H_R}{\partial S}.\tag{25}$$

由方程(23)和(24)可得

$$p(t)=\frac{\phi+\beta w+(\beta c_R-\theta)Q_{\max}-(\beta c_R-\theta)\lambda S}{2\beta},\tag{26}$$
$$A(t)=\frac{\rho}{k}\mu_R.\tag{27}$$

将式(26)和(27)代入(1)和(25),可得

$$\dot S=\frac{\rho^2}{k}\mu_R-\delta S,\tag{28}$$
$$\dot\mu_R=(r+\delta)\mu_R-\frac{\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2}{2\beta}S-\frac{\lambda(\beta c_R+\theta)}{2\beta}(\phi-\beta w-(\beta c_R+\theta)Q_{\max}).\tag{29}$$

给定零售商的决策$p(t),A(t)$,制造商的决策模型如下:

$$\max J_M;\ \text{s.t. 式}(28)\text{和}(29).$$

构造制造商的现值Hamiltonian函数

$$H_M=(w(t)-c_M)(\phi-\beta p(t)-\theta Q_{\max}+\theta\lambda S(t))+\mu_M(t)(\rho A(t)-\delta S(t))+\mu\dot\mu_R(t),\tag{30}$$

其中$\mu_M(t)$和$\mu(t)$分别为与$S(t)$和$\mu_R(t)$相关的共态变量. 此时,制造商的最优策略满足

$$\frac{\partial H_M}{\partial w}=0,\tag{31}$$
$$\dot\mu_M=r\mu_M-\frac{\partial H_M}{\partial S},\ \dot\mu=r\mu-\frac{\partial H_M}{\partial\mu_R}.\tag{32}$$

由方程(31)可得

$$w(t)=\frac{\phi+\beta c_M-(\beta c_R+\theta)(Q_{\max}-\lambda(S+\mu))}{2\beta}.\tag{33}$$

将方程(33)代入(29)和(32),综合方程(28),有

$$\begin{bmatrix}\dot\mu_R\\\dot\mu_M\\\dot S\\\dot\mu\end{bmatrix}=B\begin{bmatrix}\mu_R\\\mu_M\\S\\\mu\end{bmatrix}+b.\tag{34}$$

其中

$$B=\begin{bmatrix}r+\delta&0&-\frac{\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2}{4\beta}&\frac{\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2}{4\beta}\\0&r+\delta&-\frac{\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2}{4\beta}&\frac{\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2}{4\beta}\\\frac{\rho^2}{k}&0&-\delta&0\\0&-\frac{\rho^2}{k}&0&-\delta\end{bmatrix},$$

$$b=\begin{bmatrix}-\frac{\lambda(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})}{4\beta}\\-\frac{\lambda(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})}{4\beta}\\0\\0\end{bmatrix}.$$

矩阵B的特征根为

$$\begin{bmatrix}r_1\\r_2\\r_3\\r_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-\delta\\r+\delta\\\frac{\beta kr+\psi_D}{2\beta k}\\\frac{\beta kr-\psi_D}{2\beta k}\end{bmatrix},\tag{35}$$

其中

$$\psi_D=\sqrt{\beta k[\beta k(r+2\delta)^2-2\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2]}.$$

矩阵B的特征根对应的特征向量矩阵

$$H=\begin{bmatrix}0 & \dfrac{k(r+2\delta)}{\rho^2} & -\dfrac{\psi_D+\beta k(r+2\delta)}{2\beta\rho^2} & \dfrac{\psi_D-\beta k(r+2\delta)}{2\beta\rho^2}\\ 0 & -\dfrac{k(r+2\delta)}{\rho^2} & -\dfrac{\psi_D+\beta k(r+2\delta)}{2\beta\rho^2} & \dfrac{\psi_D-\beta k(r+2\delta)}{2\beta\rho^2}\\ 1 & 1 & -1 & -1\\ 1 & 1 & 1 & 1\end{bmatrix}. \tag{36}$$

式(34)中的微分方程组的解为

$$\begin{bmatrix}\mu_R\\ \mu_M\\ S\\ \mu\end{bmatrix}=H\begin{bmatrix}\mathrm{e}^{r_1t} & 0 & 0 & 0\\ 0 & \mathrm{e}^{r_2t} & 0 & 0\\ 0 & 0 & \mathrm{e}^{r_3t} & 0\\ 0 & 0 & 0 & \mathrm{e}^{r_4t}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}k_1\\ k_2\\ k_3\\ k_4\end{bmatrix}-B^{-1}b. \tag{37}$$

根据条件$S(0)=S_0,\mu(0)=0,\lim\limits_{t\to\infty}\mathrm{e}^{-rt}\mu_R(t)=0$以及$\lim\limits_{t\to\infty}\mathrm{e}^{-rt}\mu_M(t)=0$,可得

$$k_1=\frac{S_0}{2},\ k_2=k_3=0,$$

$$k_4=\frac{\lambda\rho^2(\beta c_R+\theta)(\phi-\beta c_M-(\beta c_R+\theta)Q_{\max})}{2[2\beta k\delta(r+\delta)-\rho^2\lambda^2(\beta c_R+\theta)^2]}-\frac{S_0}{2}.$$

由此可得S,μ,μ_R,将它们代入式(26),(27)和(33),可得分散决策下最优的均衡策略. 此时,制造商和零售商的最优利润分别记为$J_M^{D^*},J_R^{D^*}$. □

推论2 对比集中和分散决策下各决策变量的稳定状态,有 $A_D^S<A_C^S$, $S_D^S<S_C^S$;当参数满足$\beta k\delta(r+\delta)>2\theta\rho^2\lambda^2$时,$p_D^S>p_C^S$.

推论2说明,集中决策会导致零售商投入较多的店铺辅助服务,这使得集中决策下具有较高的店铺辅助水平; 但集中决策并不意味着零售商应该设置较低的零售价格,也就是说,双边际化效应不总是导致高的零售价格,这与文献[16]的研究结论是一致的.

4 协 调

本节主要设计二部收费制契约实现供应链的协调. 在该契约中,批发价的形式为$w^E=c_M+K/D(t)$,其中K为常数,用于调节制造商和零售商之间的利润分配. 批发价w^E由两部分构成:一部分为固定的生产费用c_M,保证批发价不低于生产费用;另一部分为可变费用$K/D(t)$,其依赖于需求量,即零售商的订购量. 此外,可变费用借用文献[16]的处理方法,采用反比例形式,保证零售商订购量越多,制造商收取的批发价越低,这是符合现实经济活动规律的.

该契约的执行过程为: 首先,制造商向零售商承诺按照批发价的收取方式,即$w^E=c_M+K/D(t)$;然后,零售商接受该契约,并最大化自身利润来决策产品的零售价格和店铺辅助服务努力.

定理3 二部收费制契约可以实现供应链协调.

证明 在该契约下,零售商的目标函数为

$$J_R^E=\int_0^{+\infty}\mathrm{e}^{-rt}\Big[(p(t)-c_M-c_RQ(t))\times (\phi-\beta p(t)-\theta Q(t))-K-\frac{1}{2}kA^2(t)\Big]\mathrm{d}t.$$

引入与$S(t)$相关的共态变量$\mu_R^E(t)$来构造该契约下零售商的现值Hamiltonian函数

$$H_R^E=(p(t)-c_M-c_RQ_{\max}+\lambda c_RS(t))(\phi-\beta p(t)-\theta Q_{\max}+\theta\lambda S(t))-\frac{1}{2}kA^2(t)-K+\mu_R^E(t)(\rho A(t)-\delta S(t)).$$

类似于定理1中的证明,可得该契约下的最优决策

$$p_R^{E*}(t)=p_C^*(t),\ A_R^{E*}(t)=A_C^*(t).$$

即该契约下的最优决策与集中决策下的最优决策相同,故供应链可由二部收费制契约实现协调. □

该契约下,零售商和制造商的最优利润为

$$J_R^E=\frac{K}{r},\ J_M^E=J_C^*-\frac{K}{r}. \tag{38}$$

为了确保两个成员接受该契约,契约中参数需要满足条件$J_R^E>J_R^{D^*}$, $J_M^E>J_M^{D^*}$.

推论3 当$k_1<K<k_2$时,供应链中的两个成员均愿意参与二部收费制契约的实施,其中$k_1=rJ_R^{D^*},k_2=r(J_C^*-J_M^{D^*})$,区间$(k_1,k_2)$为二部收费制契约的可行域.

以上结论是基于假设2成立得到的,即假设店铺辅助水平对产品退货率的影响以及产品零售价和退货率对市场需求的影响是线性的. 这种线性刻画能很好反映这些量之间的关系,并在现有研究中被广泛采用[2,15]. 当然,采用非线性结构刻画是更加精确的,但在模型的求解和管理意义的挖掘方面较为困难,这值得我们进一步去研究.

5 数值算例

本节主要通过数值算例讨论系统参数变化对产品定价、店铺辅助努力和店铺辅助水平三者的稳定值以及协调契约的影响. 假设参数$\phi=20,r=0.1,\delta=0.2,S_0=3,Q_{\max}=0.3,k=1,\rho=0.3,\lambda=0.3,\beta=1.5,\theta=1$. 保持基本参数的设置不变,分别令店铺辅

助水平效率和店铺辅助努力效率在区间 [0, 0.5] 内变化,并分别绘制最优策略和店铺辅助水平随着两个参数的变化情况(见图1和图2),以及契约可行域(双赢区域)随参数变化的情况(见图3和图4).

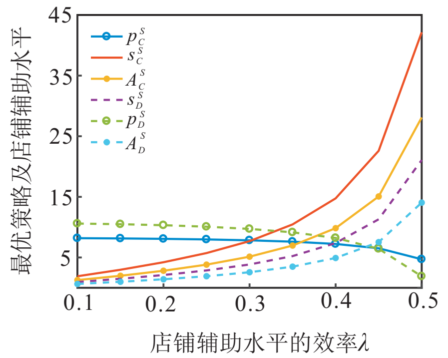

图 1　店铺辅助水平效率对最优策略及店铺辅助水平的影响

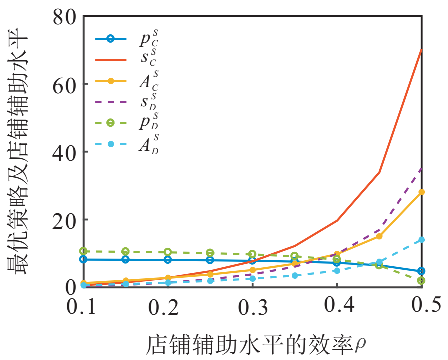

图 2　店铺辅助努力效率对最优策略及店铺辅助水平的影响

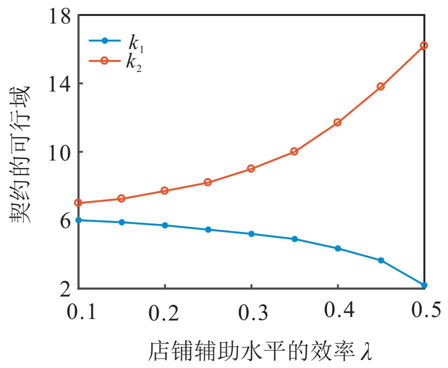

图 3　店铺辅助水平的效率对契约可行域的影响

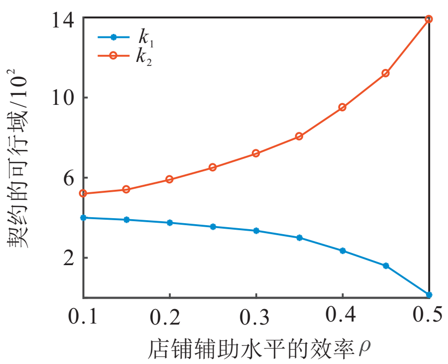

图 4　店铺辅助努力的效率对契约可行域的影响

由图1和图2可知,集中式决策下最优的店铺辅助水平和店铺辅助努力均高于分散式决策下的相应值,说明集中式决策更有利于提升店铺辅助水平. 此外,无论是集中还是分散决策,店铺辅助水平和店铺辅助努力均随着店铺辅助效率或店铺辅助努力效率的增加而增加. 相反,产品的零售价格随之变小,但当参数增加到一定值以后,集中式决策下最优的产品零售价格会高于分散式决策下的相应值. 由图3和图4可知,当 K 落在 k_1 和 k_2 之间时,供应链可被协调,且每个成员的收益都要好于分散决策情形. 另外,随着参数的不断增加,双赢区域会不断地变大.

6　结　论

本文充分考虑了产品退货对需求的影响,利用微分对策理论研究供应链定价和店铺辅助策略问题,并在动态环境下设计契约实现供应链协调. 研究表明,集中决策有利于促进供应链提升店铺辅助努力,但集中决策并不总意味着供应链应该设置较低的零售价格,本文设计的二部收费制契约可实现供应链协调.

参考文献(References)

[1] 陈崇萍, 陈志祥. 网络销售中退货担保与定价决策[J]. 中国管理科学,2016, 24(6): 52-60.
(Chen C P, Chen Z X. Rerurn guarantee and pricing decision in online sales[J]. Chinese J of Management Science, 2014, 24(6): 52-60.)

[2] Shi J, Xiao T J. Store assistance and coordination of supply chains facing consumer's return[J]. J of Industrial and Management Optimization, 2016, 12(3): 991-1007.

[3] Li Y J, Xu L, Li D H. Examining relationships between the return policy, product quality, and pricing strategy in online direct selling[J], Int J of Production Economics, 2013, 144(2): 451-460.

[4] Shulman J D, Coughlan A T, Savaskan R C. Managing consumer returns in a competitive environment[J]. Management Science, 2011, 57(2): 347-362.

[5] Xu L, Li Y J, Govindan K, et al. Consumer returns policies with endogenous deadline and supply chain coordination[J]. European J of Operational Research, 2015, 242(1): 88-99.

[6] 娄山佐, 田新诚, 吕文. 随机退货环境下最优补货和处理控制策略[J]. 控制与决策, 2013, 28(5): 675-663.
(Lou S Z, Tian X C, lv W. Optimal replenishment-disposal control policy under stochastic returns[J]. Control and Decision, 2013, 28(5): 675-663.)

[7] Chen J, Bell P C. The impact of customer returns on supply chain decisions under various interactions[J]. Annals of Operations Research, 2013, 206(1): 59-74.

[8] Liu J, Benny M, Wang H Y. Supply chain coordination with customer returns and refund-dependent demand[J]. Int J of Production Economics, 2014, 148: 81-89.
[9] Ofek E, Katona Z, Sarvary M. "Bricks and clicks": The impact of product on the strategies of multichannel retailers[J]. Marketing Science, 2011, 30(1): 42-60.
[10] 陈敬贤, 杨锋, 梁樑. 降低顾客退货的店铺辅助服务战略的均衡分析[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(1): 374-383.
(Chen J X, Yang F, Liang L. Equilibrium analysis of store assistance strategy for reducing consumer returns[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2015, 35(1): 374-383.)
[11] Xiao T J, Shi J. Consumer returns reduction and information revelation mechanism for a supply chain[J] . Annals of Operations Research, 2016, 240(2): 661-681.
[12] Shi J, Xiao T J. Service investment and consumer returns policy in a vendor-managed inventory supply chain[J]. J of Industrial and Management Optimization, 2015, 11(2): 439-459.
[13] 汪峻萍, 杨剑波, 贾兆丽. 基于无缺陷退货的网上销售易逝品供应链协调模型[J]. 中国管理科学, 2013, 21(6): 47-56.
(Wang J P, Yang J B, Jia Z L. Supply chain coordination model for perishable product through online sales with false failure returns[J]. Chinese J of Management Science, 2013, 21(6): 47-56.)
[14] Wu Z H, Chen D Y, Yu H. Store-assistance management for a supply chain with consumer return under consignment contract[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2017, DOI: 10.1155/2017/4937217.
[15] Lu F X, Liu G W, Zhang J X. Benefits of partial myopia product supply chain considering pricing and advertising[J]. J of the Operational Research Society, 2016, 67(10): 1309-1324.
[16] Zhang Q, Zhang J X, Tang W S. Coordinating a supply chain with green innovation in a dynamic setting[J]. 4OR: A Quarterly J of Operations Research, 2017, 15(2): 133-162.

作者简介

武志辉 (1982−), 男, 讲师, 博士, 系统优化与供应链管理的研究, E-mail: w-z-h-451@163.com;

陈东彦 (1964−), 女, 教授, 博士生导师, 从事时滞系统鲁棒控制、系统优化与供应链管理等研究, E-mail: dychen_2004@hotmail.com.

(责任编辑：孙艺红)

下 期 要 目