第 15 卷第 5 期
2012 年 10 月

工 业 工 程
Industrial Engineering Journal

Vol. 15 No. 5
October 2012

doi:10.3969/j.issn.1007-7375.2012.05.016

信息不对称下多供应商与单零售商的退货策略

朱琳琳，肖人彬

（华中科技大学 系统工程研究所，湖北 武汉 430074）

摘要：研究由多个提供互补组件的供应商和一个组装商组成的报童型供应链中，零售商将需求信息私有化时，供应商如何制定克服信息不对称的退货策略，使得零售商订货量和信息对称情况下供应链最优订货量相等。假设需求分高需求和低需求两种状态，供应商在需求状态未知的情况下给出针对不同需求状态的两个子契约，使得零售商按照实际需求状态而确定相应订货量。首先分析集权型供应链中整个供应链的最优订货量，再分析分权型供应链中零售商的订货决策，进一步分析信息不对称情况下供应商间的博弈及批发价和回收价契约参数的确定方法。通过算例，说明激励零售商按照真实需求状态选择子契约的合理性，供应商制定的退货策略可以克服信息不对称。

关键词：报童模型；信息不对称；供应链协调

中图分类号：F272.3　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1007-7375(2012)05-0092-07

Research on Return Policy of Multi-Suppliers and Single-Retailer under Asymmetric Information

Zhu Lin-lin, Xiao Ren-bin

(Institute of Systems Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A study is conducted on a newsvendor supply chain composed of multi-suppliers and one assembler who also acts as retailer and possesses private demand information. The suppliers provide return policies to overcome information asymmetry so as to make the retailer's order equal to the optimal order obtained by a supply chain with symmetric information. It is assumed that demands can be described by two states: high and low demand ones. Thus, the suppliers should offer two sub-contracts with respect to the two different demand states without knowing demand information, while the retailer should make order decision based on the actual demand state. Then, the optimal order is analyzed under both centralized and decentralized supply chain. Further, the game behavior between different suppliers is also analyzed for the setting of the wholesale price and buyback price. Numerical example shows that incentive is a reasonable way to make the retailer choose a sub-contract based on actual demand state and the suppliers' return polices can overcome the information asymmetry.

Key words: Newsvendor model; information asymmetry; supply chain coordination

许多产品由多个零部件组装而成，组装商（通常也充当零售商）通常要面临多个提供互补组件的供应商，在分权型供应链中，供应链成员各自相互冲突的目的会造成供应链效率低下，而协调契约可以减少供应链的成本、增加供应链总利润[1]。对于具有较长的生产周期、较短的销售期和需求不确定等特征的产品，供应商通常提供退货策略，以鼓励零售商增加订货量。Pasternack[2] 最早研究随机市场需求

收稿日期：2011-11-30
基金项目：国家自然科学基金资助项目（71171089）
作者简介：朱琳琳（1987-），女，河北省人，硕士研究生，主要研究方向为供应链管理、决策分析.

下的退货策略，以协调供应链。最近关于提供互补组件的多个供应商和单个零售商组成的装配系统的退货策略的研究如下。Ding 和 Chen[3]研究由多个供应商和一个零售商组成的装配系统的退货策略。Leng 和 Parlar[4]在装配系统中将退货策略和其他策略结合协调供应链。Yang 等[5]研究在供应商订货提前期不同的装配系统中，随需求信息更新零售商调整订货量的退货策略。上述研究前提都是供应链各个成员信息对称。在分权型供应链中，很容易产生信息不对称，信息不对称是造成整个供应链效率低下的两大主要原因之一[6]。而信息不对称的研究包括供应商可靠性类型不对称[7-8]、成本信息不对称[9-10]、需求信息不对称[11-14]等方面。

关于需求信息不对称，是指零售商掌握市场需求状态，并把该信息作为私有信息，而供应商对市场需求未知。近年来一些研究者开始关注需求信息不对称情况下的退货策略。Hsieh 等研究带数量折扣性质的退货策略，分析得出信息共享时供应链利润大于信息不共享时的利润。Yue 和 Raghunathan 研究需求分高低两个状态的需求模式和连续模式下的退货策略，供应商在信息不对称情况下根据以往的需求情况做决策。Hsieh 等[12]及 Yue 和 Raghunathan[13]的退货策略虽然在信息不对称时可以协调供应链，但是供应商的决策都是在不完全需求信息下制定的，未达到和信息对称时同样的效果。Babich 等[14]从供应商的角度制定菜单式退货契约，使得零售商通过契约的选择间接透露出真实的需求信息，但是此退货策略不满足最先研究退货策略的 Pasternack[2]的协调整个供应链的条件。而本文的退货策略使得零售商通过契约的选择间接透露出真实的需求信息的同时，使供应商的批发价和回收价决策在一定范围内不受信息不对称的影响，使得供应链利润等于信息对称时集权供应链最优利润。

上述关于需求信息不对称下退货策略均是针对单个供应商和单个零售商组成的供应链，关于装配系统退货策略的文献也均未考虑需求信息不对称的情况。本文将单供应商扩展到提供互补组件的多供应商的情况。研究在需求信息不对称情况下，供应商间博弈所提供的契约能否使供应链利润达到最优，供应商间如何制定退货策略以克服信息不对称，使得零售商通过契约的选择间接透露出真实的需求信息，使得供应链利润等于集权供应链最优利润。

1　问题描述

研究提供互补组件的多个供应商和一个零售商组成的供应链系统。为方便描述，假定有 2 个供应商，零售商将供应商提供的部件组装成产品并售出，供应商提供的部件和零售商组装成的产品比例为 1∶1∶1，即单个产品由所有供应商的单个部件组成。产品为报童型，具有较短的销售周期，零售价格由外部市场决定，但是需求不确定，产品可回收，供应商为激励零售商增加订货量，采用退货策略，两供应商首先提供退货契约，零售商根据供应商提供的契约决定订货量，供应商根据零售商的订货量进行生产。销售季末，若产品有剩余，供应商将未售出的零件收回；若需求未满足，零售商独自承担缺货损失。类似的研究背景可见文献[12]，文献[12]研究的是一个供应商和一个零售商需求信息不对称下的退货策略。

假设未来的需求有 2 种需求状态，一种为高需求 D_H，另一种为低需求 D_L。在信息不对称情况下，零售商知道市场需求类型，供应商不知道需求类型，但是知道各需求类型所服从的分布。供应商分别制定高需求情况下的回收价及批发价和低需求情况下的回收价及批发价，所设定的批发价及回收价使零售商订货量等于供应商最优订货量，且使零售商按照实际需求类型选择子契约所得利润总是大于谎报需求类型所得利润。各参数定义如下。

P 为产品的市场价格；

c_i 为部件 i 生产成本，$i=1,2$；

c_A 为零售商的单位产品装配成本；

w_i 为部件 i 批发价，$i=1,2$；

b_i 为部件 i 的回收价，$i=1,2$；

s_i 为部件 i 的残值，$i=1,2$；

Q 为零售商订货量；

g 为单位产品的缺货损失；

Π 为供应商、零售商或者整个供应链利润，以其下标来区分；

F_j 为需求 D_j 的概率分布函数，$j=\mathrm{H,L}$，H 和 L 分别表示高需求和低需求的情况；

f_j 为需求 D_j 的概率密度函数，$j=\mathrm{H,L}$；

其中，P、c_i、c_A、s_i、g 都为固定值，且是供应商和零售商的共同信息。

Cachon[15]给出一个供应商一个零售商的报童模型，给出期末销量 $S(Q)$，销售期末期望产品剩余量

$I(Q)$,销售期末期望未满足的需求量 $L(Q)$。由于本文中两供应商为零售商提供同一产品的不同组件,可将所有提供不同组件的供应商看成一个提供成品的供应商,有:

销售期末期望销量

$$S(Q)=\int_0^Q xf(x)\mathrm{d}x+\int_Q^{+\infty}Qf(x)\mathrm{d}x=Q-\int_0^Q F(x)\mathrm{d}x\ , \tag{1}$$

销售期末期望产品剩余量

$$I(Q)=\int_0^Q (Q-x)f(x)\mathrm{d}x=Q-S(Q)\ , \tag{2}$$

销售期末期望未满足的需求量

$$L(Q)=\int_Q^{+\infty}(x-Q)f(x)\mathrm{d}x=\mu-S(Q)\ , \tag{3}$$

其中,$F(x)$为可微的和严格递增的,且 $F(0)=0$;μ 为需求的期望值。

由于退货策略是为了激励零售商增加订货量,所以回收价 b_i 大于零件残值 s_i,而批发价 w_i 又大于回收价 b_i,零部件生产成本 c_i 要小于回收价 b_i 且大于零件残值 s_i,即满足关系式 $w_i>b_i>c_i>s_i$。

2 模型建立

首先分析供应链为集权型供应链时,整个供应链的最优订货量,为后面分权型供应链信息不对称情况做衡量标准。再分析分权型供应链中零售商在给定契约下的最优订货量决策,最后分析供应商在信息不对称情况下契约的制定。

2.1 集权供应链最优订货量分析

集权供应链中,只有一个决策主体,对于整个供应链,销售季末,若有未售出的产品,可回收其残值;若需求未满足,会造成缺货损失,所以供应链的期望利润为

$$\Pi_{C|j}=PS(Q_j)+(s_1+s_2)I(Q_j)-gL(Q_j)-(c_1+c_2+c_A)Q_j,j=\mathrm{H},\mathrm{L}。 \tag{4}$$

式(4)中利润 $\Pi_{C|j}$的下标 j 表示市场需求类型。式右边第1项表示期望收益,第2项表示剩余产品残值,第3项表示缺货造成的损失,第4项表示产品的成本之和。将式(2)和式(3)代入式(4)有

$$\Pi_{C|j}=(P+g-s_1-s_2)S(Q_j)-(c_1+c_2+c_A-s_1-s_2)Q_j-g\mu_j,j=\mathrm{H},\mathrm{L}。 \tag{5}$$

命题1 供应链利润函数 $\Pi_{C|j}$是关于订货量 Q_j 的凹函数。

证明 对式(5)求关于 Q_j 的一阶导数和二阶导数,分别得到

$$\frac{\mathrm{d}\Pi_{C|j}}{\mathrm{d}Q_j}=(P+g-s_1-s_2)S'(Q_j)-(c_1+c_2+c_A-s_1-s_2), \tag{6}$$

$$\frac{\mathrm{d}^2\Pi_{C|j}}{\mathrm{d}Q_j^2}=-(P+g-s_1-s_2)f_j(Q_j)。$$

由于 $P+g>s_1+s_2$,且 $f_j(Q_j)>0$,所以 $\mathrm{d}^2\Pi_{C|j}/\mathrm{d}Q_j^2<0$,零售商利润函数 $\Pi_{C|j}$是关于订货量 Q 的凹函数。

根据命题1可知供应链有最优订货量,根据式(6)可得集权供应链的最优订货量 $Q^*_{C|j}$满足

$$S'(Q^*_{C|j})=\frac{c_1+c_2+c_A-s_1-s_2}{P+g-s_1-s_2}。 \tag{7}$$

2.2 分权供应链零售商最优订货量分析

分权供应链中,零售商和供应商各自追求自身利润最大化。下面分析供应商不提供退货策略时零售商的订货量,用以和集权供应链的最优订货量相比,以说明退货策略的优越性。再分析供应商提供退货策略的情况。

2.2.1 批发价契约下零售商最优订货量分析

供应商提供批发价契约时,不接受零售商的退货,零售商自己承担产品剩余和缺货损失,无论信息对称与否,零售商的期望利润为

$$\Pi_{R\_N|j}=PS(Q_j)+(s_1+s_2)I(Q_j)-gL(Q_j)-(w_1+w_2+c_A)Q_j,j=\mathrm{H},\mathrm{L}。 \tag{8}$$

式(8)中各项的定义与式(4)相同。将式(2)和式(3)代入式(8),有

$$\Pi_{R\_N|j}=(P+g-s_1-s_2)S(Q_j)-(w_1+w_2+c_A-s_1-s_2)Q_j-g\mu_j,j=\mathrm{H},\mathrm{L}。 \tag{9}$$

同理命题1可得零售商利润函数也是关于 Q_j 的凹函数,根据式(9)得到无退货策略下零售商的最优订货量 $Q^*_{R_N|j}$满足:

$$S'(Q^*_{R\_N|j})=\frac{w_1+w_2+c_A-s_1-s_2}{P+g-s_1-s_2}。 \tag{10}$$

命题2 批发价契约下零售商的订货量不能使供应链利润最优。

证明 根据式(1)得 $S'(Q)=1-F(Q)$,结合式(7)和式(10)得集权供应链最优订货量和分权供应链批发价契约下最优订货量分别为:

$$Q^*_{C|j}=F^{-1}\left(\frac{P+g-c_1-c_2-c_A}{P+g-s_1-s_2}\right),$$

$$Q^*_{R\_N|j}=F^{-1}\left(\frac{P+g-w_1-w_2-c_A}{P+g-s_1-s_2}\right)。$$

因为 $c_1+c_2<w_1+w_2$，且 $F(x)$ 是关于 x 的增函数，所以 $Q^*_{C1j}>Q^*_{R\_N1j}$，所以在供应商不提供退货策略的情况下，零售商最优订货量小于使供应链利润最优的订货量，供应链利润达不到最优值。

2.2.2　退货策略下零售商最优订货量分析

在供应商提供退货策略的情况下，若销售季末产品有剩余，零售商将剩余零部件退给两供应商，若需求未满足，则零售商自己承担缺货损失，所以零售商的期望利润表达式如下：

$$\Pi_{R1j}=PS(Q_j)+(b_1+b_2)I(Q_j)-gL(Q_j)-(w_1+w_2+c_A)Q_j,j=\mathrm{H},\mathrm{L}。\quad(11)$$

式(11)中第 2 项表示剩余产品退货所得，其余各项的定义与式(8)相同。将式(2)和式(3)代入式(11)有：

$$\Pi_{R1j}=(P+g-b_1-b_2)S(Q_j)-(w_1+w_2+c_A-b_1-b_2)Q_j-g\mu_j,j=\mathrm{H},\mathrm{L}。\quad(12)$$

同理命题 1 可得零售商利润函数也是关于 Q_j 的凹函数，根据式(12)得零售商的最优订货量 Q^*_{R1j} 满足：

$$S'(Q^*_{R1j})=\frac{w_1+w_2+c_A-b_1-b_2}{P+g-b_1-b_2}。\quad(13)$$

供应商提供的批发价和回收价参数只要令 $S'(Q^*_{R1j})$ 等于 $S'(Q^*_{C1j})$，便可使供应链利润达到最优。

2.3　供应商契约设计

供应商 i 不知道市场需求类型，通过制定包含两个子契约的退货契约 $[(Q_H,w_i^H,b_i^H),(Q_L,w_i^L,b_i^L)]$，使零售商按照实际的需求类型选择子契约，供应商因此获取真实的需求信息。高需求时，零售商选择契约 (Q_H,w_i^H,b_i^H) 比选择契约 (Q_L,w_i^L,b_i^L) 获得更多利润；低需求时零售商选择契约 (Q_L,w_i^L,b_i^L) 比选择契约 (Q_H,w_i^H,b_i^H) 获得更多利润，且零售商利润始终为正。上述条件可表示为：

$$\Pi^H_{R1H}>\Pi^L_{R1H},\Pi^L_{R1L}>\Pi^H_{R1L};\quad(14)$$

$$\Pi^H_{R1H}>0,\Pi^L_{R1L}>0。\quad(15)$$

零售商利润函数的上标 H 和 L 表示零售商申报给供应商的市场需求类型。下标 R 代表零售商，下标 H 和 L 分别表示真实的市场需求类型。

2.3.1　供应商间的博弈

供应商 1 和供应商 2 都向零售商提供退货策略。先假设供应商 2 在需求为某种状态下的批发价为 w_2，回收价为 b_2，该需求状态下批发价回收价参数表示为 (w_2,b_2)，为表述简便，先不标注需求状态类型。继而考虑供应商 1 如何制定退货契约。供应商 1 和零售商总利润函数表示为

$$\Pi_{R+S_11j}=PS(Q_j)+(s_1+b_2)I(Q_j)-gL(Q_j)-(c_1+w_2+c_A)Q_j。\quad(16)$$

得供应商 1 和零售商的最佳订货量 $Q^*_{R+S_11j}$ 满足

$$S'(Q^*_{R+S_11j})=\frac{c_1+w_2+c_A-s_1-b_2}{P+g-s_1-b_2}。\quad(17)$$

在供应商 2 提供契约参数 (w_2,b_2) 的前提下，供应商 1 的最优反应契约参数 $[w_1(w_2,b_2),b_1(w_2,b_2)]$ 满足式(14)和式(15)，且使零售商最优订货量 Q_j^* 和供应商 1 与零售商的联合最优订货量 $Q^*_{R+S_11j}$ 相等，由式(13)和式(17)可表述为

$$S'(Q^*_{R1j})=S'(Q^*_{R+S_11j})。\quad(18)$$

由式(18)可知，供应商虽不知市场需求类型 j，但是可以决定最优订货量须满足的条件：

$$\frac{w_1(w_2,b_2)+w_2+c_A-b_1(w_2,b_2)-b_2}{P+g-b_1(w_2,b_2)-b_2}=\frac{c_1+w_2+c_A-s_1-b_2}{P+g-s_1-b_2}=1-\frac{w_1(w_2,b_2)-c_1}{b_1(w_2,b_2)-s_1}。\quad(19)$$

相应地，若供应商 1 的批发价为 w_1，回收价为 b_1，表示为 (w_1,b_1)。供应商 2 的最优反应契约参数 $(w_2(w_1,b_1),b_2(w_1,b_1))$ 满足

$$\frac{w_1+w_2(w_1,b_1)+c_A-b_1-b_2(w_1,b_1)}{P+g-b_1-b_2(w_1,b_1)}=\frac{w_1+c_2+c_A-b_1-s_2}{P+g-b_1-s_2}=1-\frac{w_2(w_1,b_1)-c_2}{b_2(w_1,b_1)-s_2}。\quad(20)$$

命题 3　契约参数 $[w_1(w_2,b_2),b_1(w_2,b_2)]$ 和契约参数 $[w_2(w_1,b_1),b_2(w_1,b_1)]$ 互相反应的均衡状态使零售商的订货量等于集权型供应链最优订货量，从而使供应链利润最优。批发价和回收价满足关系式：$\frac{w_1^*-c_1}{b_1^*-s_1}=\frac{w_2^*-c_2}{b_2^*-s_2}=N$，

$N=1-\frac{c_1+c_2+c_A-s_1-s_2}{P+g-s_1-s_2}$，$N$ 为常数。

证明　将 $[w_1(w_2,b_2),b_1(w_2,b_2)]$ 和 $[w_2(w_1,b_1),b_2(w_1,b_1)]$ 化简写为 (w_1,b_1) 和 (w_2,b_2)，由式(19)和式(20)得

$$\frac{w_1+w_2+c_A-b_1-b_2}{P+g-b_1-b_2}=\frac{c_1+w_2+c_A-s_1-b_2}{P+g-s_1-b_2}=\frac{w_1+c_2+c_A-b_1-s_2}{P+g-b_1-s_2},$$

且$\frac{(w_1+w_2+c_A-b_1-b_2)-(c_1+w_2+c_A-s_1-b_2)-(w_1+c_2+c_A-b_1-s_2)}{(P+g-b_1-b_2)-(P+g-s_1-b_2)-(P+g-b_1-s_2)}=\frac{c_1+c_2+c_A-s_1-s_2}{P+g-s_1-s_2}$。

由于P、g、c_1、c_2、c_A、s_1、s_2为常数，所以上述等式等于常数。

由上述推导可得$\frac{w_1+w_2+c_A-b_1-b_2}{P+g-b_1-b_2}=\frac{c_1+c_2+c_A-s_1-s_2}{P+g-s_1-s_2}$，即$S'(Q^*_{R|j})=S'(Q^*_{C|j})$，即零售商的最优订货量和集权供应链情况下的最优订货量相等，均衡状态下的契约使供应链利润最优。

2.3.2 供应商和零售商利润分配

供应商i在需求状态j下的利润表达式为

$$\Pi_{S_i|j}=(w_i-c_i)Q_j-(b_i-s_i)I(Q_j)。\quad(21)$$

命题4 供应商利润是关于w_i和b_i的增函数，零售商利润是关于w_i和b_i的减函数。

证明 根据式(2)、式(21)和命题3得供应商i利润$\Pi_{S_i|j}$关于w_i的表达式为

$$\Pi_{S_i|j}=(w_i-c_i)\left(Q_j-\frac{\int_0^{Q_j}F(x)\mathrm{d}x}{N}\right)。$$

因为$N=1-S'(Q^*_{C|j})=F(Q_j)$，且$\frac{\int_0^{Q_j}F(x)\mathrm{d}x}{F(Q_j)}<Q_j$，故$Q_j-\frac{\int_0^{Q_j}F(x)\mathrm{d}x}{N}>0$，故$\Pi_{S_i|j}$是关于$w_i$的增函数。

根据式(2)、式(21)和命题3得$\Pi_{S_i|j}$关于b_i的表达式为

$$\Pi_{S_i|j}=(b_i-s_i)\left(NQ_j-\int_0^{Q_j}F(x)\mathrm{d}x\right)。$$

同上述证明$NQ_j-\int_0^{Q_j}F(x)\mathrm{d}x>0$，故$\Pi_{S_i|j}$是关于$b_i$的增函数。

因为$S'(Q^*_{C|j})$等于常数，所以集权供应链的最优订货量为恒定值，所以供应链总利润$\Pi_{C|j}$在需求状态为j时的最优利润为定值，供应商所得利润越多则零售商所得利润越少，因为供应商利润是关于w_i和b_i的增函数，所以零售商利润是关于w_i和b_i的减函数。按常理而言，回收价b_i对于供应商越低越好，但文中的契约机制使得回收价b_i越低供应商所得利润越少，这是因为回收价降低的同时批发价也随之降低。此结论和文献[12]得出的结论相同。

2.3.3 激励零售商按真实需求选择子契约

由式(12)和式(14)可得

$$(P+g-b_1^H-b_2^H)\left[Q_H-\int_0^{Q_H}F_H(x)\mathrm{d}x\right]-(w_1^H+w_2^H+c_A-b_1^H-b_2^H)Q_H-g\mu_H>(P+g-b_1^L-b_2^L)\left[Q_L-\int_0^{Q_L}F_H(x)\mathrm{d}x\right]-(w_1^L+w_2^L+c_A-b_1^L-b_2^L)Q_L-g\mu_H;\quad(22)$$

$$(P+g-b_1^L-b_2^L)\left[Q_L-\int_0^{Q_L}F_L(x)\mathrm{d}x\right]-[w_1^L+w_2^L+c_A-b_1^L-b_2^L]Q_L-g\mu_L>(P+g-b_1^H-b_2^H)\left[Q_H-\int_0^{Q_H}F_L(x)\mathrm{d}x\right]-(w_1^H+w_2^H+c_A-b_1^H-b_2^H)Q_H-g\mu_L。\quad(23)$$

由命题3可知批发价和回收价始终满足关系式$\frac{w_1^*-c_1}{b_1^*-s_1}=\frac{w_2^*-c_2}{b_2^*-s_2}=N$。满足条件的$(w_1^*,b_1^*)$和$(w_2^*,b_2^*)$有无数多对，且$w_1^*$和$b_1^*$一一对应，$w_2^*$和$b_2^*$一一对应。所以只分析回收价的取值范围，便可得出批发价的取值范围。化简式(22)和式(23)分别得

$$(P+g+Ns_1+Ns_2-c_A-c_1-c_2)(Q_H-Q_L)-(P+g)\int_{Q_L}^{Q_H}F_H(x)\mathrm{d}x>(b_1^H+b_2^H)\left(NQ_H-\int_0^{Q_H}F_H(x)\mathrm{d}x\right)-(b_1^L+b_2^L)\left(NQ_L-\int_0^{Q_L}F_H(x)\mathrm{d}x\right);\quad(24)$$

$$(P+g+Ns_1+Ns_2-c_A-c_1-c_2)(Q_H-Q_L)-(P+g)\int_{Q_L}^{Q_H}F_L(x)\mathrm{d}x<(b_1^H+b_2^H)\left(NQ_H-\int_0^{Q_H}F_L(x)\mathrm{d}x\right)-(b_1^L+b_2^L)\left(NQ_L-\int_0^{Q_L}F_L(x)\mathrm{d}x\right)。\quad(25)$$

式(24)和式(25)中只有不等式右边的$(b_1^H+b_2^H)$和$(b_1^L+b_2^L)$两项为变量，由不等式可以得出不同需求情况下批发价的定价范围。

另外$(b_1^H+b_2^H)$和$(b_1^L+b_2^L)$还需满足式(15)，且满足$c_1+c_2<b_1+b_2<w_1+w_2<P$。由于不能直接得出结论，下面通过算例进行分析。

3 算例分析

假设需求D_j服从正态分布$D_j\sim N(\mu_j,\sigma^2)$，且有$c_1=30$，$c_2=40$，$c_A=5$，$s_1=10$，$s_2=15$，$g=15$，$P=140$，参数选取参照文献[3]。下面分析激励零售商按照真实需求状态选择子契约的合理性。由上述模

型可知批发价 b_1^H、b_2^H、b_1^L 和 b_2^L 满足式(24)、式(25)和式(15)，且满足 $c_1+c_2<b_1+b_2<w_1+w_2<P$。由于回收价的取值范围不能从公式中直观观察，所以下面用数值算例分析。为说明此策略的普遍适用性，先比较不同数量级的需求下，批发价选取范围是否有差异，再比较相同数量级的需求下，标准差 σ 不同对批发价选择范围的影响。

3.1　不同数量级需求间契约参数选取的比较

需求情况取两组值：(a) $\mu_H=1\ 500,\mu_L=900,\sigma=300$；(b) $\mu_H=15\ 000,\mu_L=9\ 000,\sigma=3\ 000$。其中，$\mu_H$ 为高需求下的期望，μ_L 为低需求下的期望。

由(a)组值得到如下约束条件

$$\begin{cases}808.44(b_1^H+b_2^H)-38.02(b_1^L+b_2^L)-119\ 410.0<0,\\ 881.66(b_1^H+b_2^H)-439.32(b_1^L+b_1^L)-68\ 563.0>0,\\ (b_1^H+b_2^H)<127.17,\\ (b_1^L+b_2^L)<124.27,\\ 70<(b_1^H+b_2^H)<138.75,\\ 70<(b_1^L+b_2^L)<138.75。\end{cases}\tag{26}$$

由(b)组值得到如下约束条件

$$\begin{cases}8\ 084.4(b_1^H+b_2^H)-380.2(b_1^L+b_2^L)-1\ 194\ 100.0<0,\\ 8\ 816.6(b_1^H+b_2^H)-4\ 393.2(b_1^L+b_2^L)-685\ 630.0>0,\\ (b_1^H+b_2^H)<127.17,\\ (b_1^L+b_2^L)<124.27,\\ 70<(b_1^H+b_2^H)<138.75,\\ 70<(b_1^L+b_2^L)<138.75。\end{cases}\tag{27}$$

式(26)的前2式分别为高需求和低需求状态下激励零售商诚实申报需求信息需满足的条件；式(26)的第3式和第4式满足式(15)，即满足使零售商利润为正，式(26)的第5式和第6式满足 $c_1+c_2<b_1+b_2<w_1+w_2<P$。同理式(27)中各式也满足上述条件。

由式(26)和式(27)可知(a)和(b)两组值虽然数量级别不同，但是最后得出同样的约束条件，不影响回收价的有效范围。所以由式(26)或(27)得出的高需求和低需求类型下两供应商回收价格之和的取值范围相同，如图1阴影部分所示。

如图1所示，直线A左边的取值满足式(24)，直线B右下方的取值满足式(25)，直线C上方的取值使 $b_1^L+b_2^L>c_1+c_2$，直线D下方的取值使零售商利润在高需求时总为正，直线E左边的取值使零售商在低需求时利润为正。最后得出[$(b_1^H+b_2^H)$，$(b_1^L+b_2^L)$]取值在如图1所示阴影范围内。

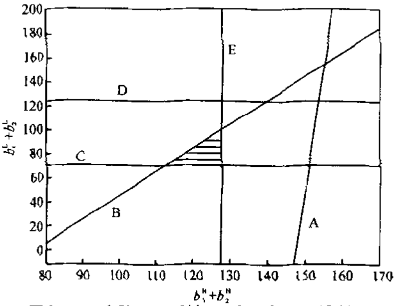

图1　$\mu_H=1\ 500,\mu_L=900,\sigma=300$ 或 $\mu_H=15\ 000,\mu_L=9\ 000,\sigma=3\ 000$ 时回收价取值范围

Fig. 1　The buyback price range when $\mu_H=1\ 500,\mu_L=900,\sigma=300$ or $\mu_H=15\ 000,\mu_L=9\ 000,\sigma=3\ 000$

3.2　不同 σ 对批发价格取值的影响

高需求状态和低需求状态下需求的期望固定为 $\mu_H=1\ 500,\mu_L=900$，由于3.1.1节中标准差 σ 取值为300，在此令标准差 σ 等于100和600。得到如下批发价格取值范围图。

如图2和图3阴影部分为回收价格取值范围图，综合图1～图3可知，σ 从低到高都可以得出回收价的取值范围，且 σ 越小，回收价取值范围越广。同一组[$(b_1^H+b_2^H)$，$(b_1^L+b_2^L)$]的取值，$b_1^H+b_2^H$ 始终大于 $b_1^L+b_2^L$，所以在回收价和批发价可满足的条件内，零售商可以和供应商进行讨价还价，两个供应商在确定契约参数时为了克服信息不对称，要相互约定使得两者的回收价之和在相应的范围内。供应链各成员之间可通过谈判来最终确定契约参数。

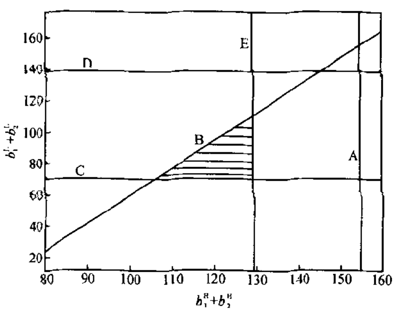

图2　$\mu_H=1\ 500,\mu_L=900,\sigma=100$ 时回收价取值范围

Fig. 2　The buyback price range when $\mu_H=1\ 500,\mu_L=900,\sigma=100$

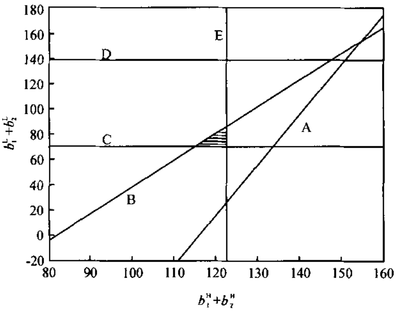

图3 $\mu_H=1\ 500,\mu_L=900,\sigma=600$ 时回收价取值范围

Fig. 3 The buyback price range when $\mu_H=1\ 500$, $\mu_L=900,\sigma=600$

4 结论

本文针对含有多供应商和单组装商的报童型产品装配系统供应链,供应商为克服信息不对称,分别提供针对高需求和低需求的批发价和回收价子契约,契约机制使零售商按照真实市场需求选择子契约,供应商从而间接获取需求信息。证明了分权供应链中供应商博弈均衡状态可以使零售商订货量等于供应链最优订货量,从而达到整个供应链的协调。契约中批发价和回收价越高,供应商利润越大,而零售商利润越小。假设高需求和低需求服从不同期望值的正态分布,验证了此契约在不同数量级需求下均适用,且标准差 σ 越小,契约参数取值范围越广。此契约使供应商在一定的批发价和回收价取值范围内克服了信息不对称的影响,使供应链利润达到最优,且等于集权供应链的最优利润。契约的最终参数关系到供应链成员的利润分配,可以通过供应链成员在约定的范围内进行讨价还价而确定,进一步的研究可以考虑该退货策略下供应链各成员之间的利润分配问题。

参考文献:

[1] Arshinder, Kanda A, Deshmukh S G. Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions [J]. International Journal of Production Economics, 2008, 115(2):316-335.

[2] Pasternack B A. Optimal pricing and return policies for perishable commodities [J]. Marketing Science, 1985, 4 (2): 166-176.

[3] Ding D, Chen J. Supply chain coordination with contracts game between complementary suppliers [J]. International Journal of Information Technology and Decision Making, 2007, 6(1):163-175.

[4] Leng M, Parlar M. Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains: non-cooperative equilibria vs. coordination with cost-sharing contracts [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 204(1):96-104.

[5] Yang D, Choi T M, Xiao T, et al. Coordinating a two-supplier and one-retailer supply chain with forecast updating [J]. Automatica, 2011, 47(7):1317-1329.

[6] Ding D, Chen J. Coordinating a three level supply chain with flexible return policies [J]. The International Journal of Management Science, 2008, 36(5):865-876.

[7] Yang Z B, Aydin G, Babich V, et al. Supply disruptions, asymmetric information, and a backup production option [J]. Management Science, 2009, 55(2):192-209.

[8] Tomlin B. Impact of supply learning when suppliers are unreliable [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2009, 11(2):192-209.

[9] 吴燕,田大钢. Bertrand竞争下二级供应链信息共享的价值分析[J]. 工业工程,2010, 13(3):34-38.
Wu Yan, Tian Da-gang. The value analysis of information sharing in a two-stage supply chain with Bertrand competition [J]. Industrial Engineering, 2010, 13(3):34-38.

[10] Ha A Y, Tong S. Contracting and information sharing under supply chain competition[J]. Management Science, 2008, 54(4):701-715.

[11] 杨道箭,齐二石. 供应链竞争下的产品差异性与信息共享[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(9):2141-2145.
Yang Da-jian, Qi Er-shi, Product differentiation and information sharing under supply chain competition[J]. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(9):2141-2145.

[12] Hsieh C C, Wu C H, Huang Y J. Ordering and pricing decisions in a two-echelon supply chain with asymmetric demand information [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 190(2):509-525.

[13] Yue X, Raghunathan S. The impacts of the full returns policy on a supply chain with information asymmetry [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 180(2): 630-647.

[14] Babich V, Li H T, Ritchken P, et al. Contracting with asymmetric demand information in supply chains [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 217(2): 333-341.

[15] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts // Craves S, Kok A. Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management, Design, Coordination and Operation [M]. North Holland: Elsevier Publishing Company,2003:229-339.