

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.01.018

VMI下需求受库存影响的供应链协调

沈启超, 罗定提, 鲁芳

(湖南工业大学 财经学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对由风险中性的供应商和零售商组成的供应商管理库存(VMI)二级供应链, 考虑市场需求随库存展示影响, 系统中存在过期成本, 建立VMI分散式供应链和集成式供应链决策模型。通过分析得出分散决策下VMI供应链存在双边际效应。设计了一个成本分摊契约协调供应链, 让零售商分摊一部分供应商的产品获取成本。结果表明: 该契约能提高供应商参与VMI机制的积极性, 实现供应商和零售商的双赢。

关键词: 供应商管理库存; 成本分摊契约; 过期成本

中图分类号: F224

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)01-0081-05

Coordination of VMI Supply Chain with Inventory-Dependent Demand

Shen Qichao, Luo Dingti, Lu Fang

(School of Finance and Economics, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In view of a two-level vendor management inventory supply chain composed of the risk neutral suppliers and retailers and with considering the inventory-dependent demand and expired cost exist in the system, establishes the model of VMI supply chain under centralized control and decentralized control. Proves that VMI supply chain exists double marginalization under decentralized control. Designs a cost-sharing contract to coordinate the supply chain with retailers sharing the suppliers' cost. The results show that the contract increases the enthusiasm of the suppliers involved in the mechanism of VMI and achieves win-win between the suppliers and retailers.

Keywords: vendor management inventory; cost-sharing contract; expired cost

0 引言

供应商管理库存(vendor management inventory, VMI)最早由J. F. Magee于1958年提出, 是供应商等上游企业基于其下游客户的生产经营、库存信息, 对下游客户的库存进行管理与控制的一种供应链管

理机制^[1]。随着其在沃尔玛和宝洁公司得以成功应用, VMI成为理论界的研究热点, 并逐渐在商业界得以实施和推广。采用VMI模式, 零售商摆脱了沉重的库存负担, 能将主要精力放在销售上。同时通过企业间的信息共享, 供应商可直接面对消费市场, 根据市场需求的变化来调整订货策略或者生产计划,

收稿日期: 2011-10-03

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目(11C0394), 湖南工业大学研究生创新基金资助项目(CX1115), 湖南工业大学社会科学研究基金资助项目(2011HSX06)

作者简介: 沈启超(1985-), 男, 安徽安庆人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为物流与供应链管理,

E-mail: shenqc@126.com

通信作者: 罗定提(1963-), 男, 湖南浏阳人, 湖南工业大学教授, 主要从事供应链管理和企业间关系研究,

E-mail: zzldt@21cn.com

从而缓解牛鞭效应,降低成本。

但从供应链的角度看,单纯的VMI策略并不能消除“双边效应”,不能使供应链达到合作。B. A. Pasternack^[2]提出通过引入回购契约来协调供应链,此时供应商对零售商未售出的产品提供一定补贴。G. P. Cachon 等人^[3]提出通过收益共享契约以协调供应链。T. A. Taylor 等人^[4-5]分析了一种通道回扣契约,供应商在一定数量范围内向零售商收取常规批发价,但当零售商的订购量超过一个定值时,对于超额部分,供应商向零售商支付奖励性质的回扣,结论表明,引入通道回扣契约可以协调供应链。张菊亮等人^[6]在报童模型的基础上,从协调供应链角度出发,建立了一个使供应链达到合作的一般模型,并提出了一个需求受零售商努力影响变化情形下使供应链达到协调的回收契约。G. P. Cachon^[7]归纳总结了常见的用于协调供应链的契约。S. Panda 等人^[8]从零售商的角度出发,研究了需求受时间变化较大、易变质的季节性产品库存模型,并提出了一种近似求解算法。肖玉明等人^[9]从资源投入的角度出发,在节点企业生产能力有限的情形下,根据批发价格,结合资源投入契约,对边际成本随产品递增情形下的供应链协调问题进行了探讨。陈菊红等人^[10]研究了在季节性产品供应链中,制造商边际成本在资源限制时随产量递增,而市场缺货时销售商面临缺货惩罚,并建立了基于退货策略的协调模型。

本文在文献[6-10]的基础上,研究VMI下供应链的协调与管理问题,针对占主导地位的零售商,从协调供应链的角度,提出了带成本分摊的批发价格契约,探讨双方在激励契约下的决策行为,以及供应链利润在各成员间的分享问题。

1 模型假设描述及相关参数

考虑单供应商和单零售商组成的二级供应链,双方仅经营需求受库存影响的产品,忽略补货提前期,未满足需求的部分不存在缺货损失。供应商对库存拥有供应链库存的管理权,且有完全生产能力。零售商拥有批发价格的制定权,且零售商分摊部分供应商的产品获取成本,其分摊系数由双方的谈判能力决定。

符号和假设如下:

Q 为供应商决定的库存供货量。

w 为供应商决定的单位产品批发价。

m 为成本分摊系数,具体为零售商分摊供应商成本的份额。

p 为单位产品的销售价格,是由市场决定的外生变量。

c 为供应商的产品获取成本,包括原料成本以及生产费用等, $c = \lambda Q^{(1)}$, λ 为单位产品获取成本。

$R(Q)$ 为零售商的销售成本, $R(Q) = rQ$, 其一阶导数大于 0, r 为单位产品销售成本。

v 为未售产品的单位残值,归供应商所有,假设 $p > w > \lambda$, 产品残值小于其边际成本。

$D(Q, \varepsilon)$ 为需求受库存影响产品的消费者需求函数,关于需求受库存影响产品的需求模型,在各类管理学和经济学的文献中被大量应用, N. C. Petruzzi 等人^[12]对此有较完备的总结,仿照此建立一般需求模型 $D(Q, \varepsilon) = \kappa Q^\tau \varepsilon$, κ 表示需求市场系数, $\kappa > 0$, τ 可以看成需求弹性系数, $0 < \tau < 1$, ε 服从 $[0, x]$ 上的均匀分布。

$E\Pi_{sd}$ 为非合作博弈决策下供应商的利润期望。

$E\Pi_{rd}$ 为非合作博弈决策下零售商的利润期望。

$E\Pi_c$ 为集中决策下整个供应链的利润期望。

$E\Pi_{sc}$ 为带成本分摊的批发价格契约下供应商的利润期望。

$E\Pi_{rc}$ 为带成本分摊的批发价格契约下零售商的利润期望。

2 非合作博弈决策分析

占主导地位的零售商在期初决策时考虑供应商会观察其决策,还知道供应商将来的决策范围,所以在决定自己的决策时会充分考虑供应商可能的决策,然后将这种反应和自己的收益联系起来,最终作出一个利己的决策,这是一个零售商先行的 Stackelberg 博弈过程^[13]。

期望销售数量

$$S(Q) = E \min(D, Q) = \int_0^Q \kappa Q^\tau \varepsilon f(\varepsilon) d\varepsilon + \int_Q^{+\infty} \kappa Q^\tau f(\varepsilon) d\varepsilon = S(Q) = Q - Q^{2-\tau} / 2x\kappa \quad (1)$$

期末期望产品剩余量

$$I(Q) = E[(Q - D)^+] = Q - S(Q) \quad (2)$$

假设初始库存为 0, 分散决策时供应商和零售商的利润期望分别为:

$$\begin{aligned} E\Pi_{sd} &= wS(Q) - \lambda Q + vI(Q) = \\ &= (w - v)S(Q) - \lambda Q + vQ = \\ &= (w - v)(Q - Q^{2-\tau} / 2x\kappa) - \lambda Q + vQ = \\ &= (w - \lambda)Q - (w - v)Q^{2-\tau} / 2x\kappa \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} E\Pi_{rd} &= (p - w)S(Q) - rQ = \\ &= (p - w - r)Q - (p - w)Q^{2-\tau} / 2x\kappa \end{aligned} \quad (4)$$

命题 1 在外部参数确定的情况下, 供应商愿意提供的产品供应量与零售商决定的价格成正比。

证 先假定零售商已经提出一个批发价格 w , 这时供应商会根据这些信息确定一个合适的供货量 Q , 二者的决策目的都是使其自身的期望利润最大化。此时供应商面临的问题为

$$\max(E\Pi_{sd}) = \max\left[(w-\lambda)Q - \frac{(w-v)Q^{2-\tau}}{2x\kappa}\right]. \quad (5)$$

由于 $E\Pi_{sd}' = -(w-v)(2-\tau)(1-\tau)Q^{-\tau}/2x\kappa$, 且 $w > v$, $0 < \tau < 1, \kappa > 0$, 故 $E\Pi_{sd}' < 0$ 。供应商期望利润函数存在唯一的最优解, 可令 $E\Pi_{sd}' = 0$, 算出最优供货量以及最优供货量关于最优批发价格的导数

$$Q_d^* = \left(\frac{2x\kappa(w-\lambda)}{(w-v)(2-\tau)}\right)^{\frac{1}{1-\tau}}, \quad (6)$$

$$Q_d^{s'} = \frac{1}{1-\tau} \left(\frac{2x\kappa(w-\lambda)}{(w-v)(2-\tau)}\right)^{\frac{\tau}{1-\tau}} \left(\frac{2x\kappa(2-\tau)(\lambda-v)}{(w-v)^2(2-\tau)^2}\right). \quad (7)$$

由假设 $p > w > \lambda > v$, $0 < \tau < 1$, 可知式 (7) 大于 0, 即在外部参数确定的条件下, 供应商愿意提供的产品数量与零售商决定的批发价格成正比。命题 1 得证。

在零售商确定供应商的决策行为后, 占主导地位的零售商期望利润函数可写为仅关于其决定的批发价格 w 的一元函数:

$$E\Pi_{rd} = (p-w-r) \left(\frac{2x\kappa(w-\lambda)}{(w-v)(2-\tau)}\right)^{\frac{1}{1-\tau}} - \frac{(p-w) \left(\frac{2x\kappa(w-\lambda)}{(w-v)(2-\tau)}\right)^{\frac{2-\tau}{1-\tau}}}{2x\kappa}. \quad (8)$$

令 $E\Pi_{rd}' = 0$, 求出在约束条件 $\lambda < w_d^* < p-r$ 下, 零售商确定的最优批发价格 w_d^* 。

(w_d^*, Q_d^*) 即为 Stackelberg 博弈均衡解, 也是分散决策下的最优解。

3 集中决策分析

集中决策下供应链整体的期望利润函数为

$$E\Pi_c = (p-v)S(Q) + vQ - \lambda Q - rQ = (p-\lambda-r)Q - (p-v)Q^{2-\tau}/2x\kappa. \quad (9)$$

$$E\Pi_c' = -(2-\tau)(1-\tau)(p-v)Q^{-\tau}/2x\kappa,$$

因 $p > v$, $0 < \tau < 1, \kappa > 0$, 故 $E\Pi_c' < 0$, 供应链整体期望利润函数存在唯一的最优解, 可以令 $E\Pi_c' = 0$, 算出最优供货量

$$Q_c^* = \left(\frac{2x\kappa(p-\lambda-r)}{(p-v)(2-\tau)}\right)^{\frac{1}{1-\tau}}. \quad (10)$$

此时供应链渠道的利润为

$$E\Pi_c = (p-\lambda-r) \left(\frac{2x\kappa(p-\lambda-r)}{(p-v)(2-\tau)}\right)^{\frac{1}{1-\tau}} - \frac{(p-v) \left(\frac{2x\kappa(p-\lambda-r)}{(p-v)(2-\tau)}\right)^{\frac{2-\tau}{1-\tau}}}{2x\kappa}. \quad (11)$$

分析式 (10) 可知, 当 x, τ, κ 上升时, Q_c^* 会上升, 即当随机需求参数上升时, 供应链增加供货量以提高整体利润; 当 λ 上升时, Q_c^* 会下降, 即当生产成本上升时, 供应链降低供货量以降低库存风险; 当 r 上升时, Q_c^* 会下降, 即当销售成本上升时, 零售商愿意提供的批发价格会降低, 间接导致供应链供货量降低; 当 v 上升时, Q_c^* 会上升, 即当未售产品的残值上升时, 此时供应链能够忍受更多的积压存货, 使供应链供货量维持在一个较高的水平。

4 带成本分摊的批发价格契约

由于决策权的分离, 产生双边际效应, 使供应链在非合作博弈决策下的利润小于集中决策下的利润。一般的批发合同不能使供应商的供货量达到集中决策时的水平, 不能使供应链达到合作。本节提出了带成本分摊的批发价格契约, 该契约能够使供应商多供货, 并且使供应商和零售商的利润都不小于在一般的批发合同下的利润, 使供应链达到协调。

在销售期开始时, 零售商针对该产品提出一个订货价格 w , 并分摊部分供应商产品的获取成本, 分摊份额为 m 。然后供应商根据零售商所提出的订货价格 w 和成本分摊系数 m 决定自己的订购量 Q , 使自己的利润在契约协调的情形下不低于单纯批发价格契约下的利润, 此时零售商的利润也会增加, 从而完成一次交易过程。零售商承担一部分供应商的产品获取成本, 具体承担部分为 $m\lambda$, 假设初始库存为零, 供应商和零售商的期望利润函数分别为:

$$E\Pi_{sc} = [w - (1-m)\lambda]Q - (w-v)Q^{2-\tau}/2x\kappa, \quad (12)$$

$$E\Pi_{rc} = (p-w-r-m\lambda)Q - (p-w)Q^{2-\tau}/2x\kappa. \quad (13)$$

假定零售商已提出一个批发价 w , 确定的成本分摊系数 m , 这时供应商会根据这些信息确定一个合适的供货量 Q , 二者的决策目的都是使自身的期望利润最大化。此时供应商面临的问题为

$$\begin{cases} \max(E\Pi_{sc}) = \max[(w - (1-m)\lambda)Q - (w-v)Q^{2-\tau}/2x\kappa, \\ E\Pi_{sc} \geq E\Pi_{sd}. \end{cases} \quad (14)$$

同理, 可以计算出在带成本分摊的批发价格契约下, 供应商的最优供货量应满足

$$Q_{sc}^* = \left(\frac{2\kappa(w - (1-m)\lambda)}{(w-v)(2-\tau)} \right)^{\frac{1}{1-\tau}} \quad (15)$$

命题 2 在带成本分摊的批发价格契约下, 供应商愿意提供的产品数量会比单纯的批发价格下多, 即 $Q_{sc}^* > Q_d^*$, 且零售商决定的订货价格 w 和成本分摊系数 m 成反比。

证 比较式 (14) 和式 (6), 当 $0 < m < 1$ 时, 易知, $Q_{sc}^* > Q_d^*$; 当零售商决定的成本分摊系数 m 增大时, 零售商为了保证其利润, 会降低订货价格 w , 此时供应商的利润会通过少承担部分产品获取成本得到补偿。

当供应链协调时, 供应商的最优供货量等于整个供应链系统在集中决策分析下的最优供货量, 即

$$Q_{sc}^* = Q_c^* \quad (16)$$

由式 (10)、(14) 和 (15) 得

$$m = 1 + \frac{(p-\lambda-r)(w-v)}{(p-v)\lambda} - \frac{w}{\lambda} \quad (17)$$

由式 (16) 可知, 在外部参数给定的条件下, 可求得供应链系统在协调时的最优供货量 Q_{sc}^* , 此时占主导地位的供应商为了协调供应链, 其决定的订货价格 w 和成本分摊系数 m 应满足式 (16)。

供应商在考虑供应链协调的同时也会考虑自身利润, 设置契约参数成为供应商要考虑的问题, 此时供应商的利润函数可以写成:

$$\begin{cases} E\Pi_{sc} = (p-w-r-m\lambda)Q_{sc}^* - \frac{(p-w)Q_{sc}^{*2-\tau}}{2\kappa}, \\ m = 1 + \frac{(p-\lambda-r)(w-v)}{(p-v)\lambda} - \frac{w}{\lambda}, \\ E\Pi_{rc} \geq E\Pi_{rd} \end{cases} \quad (18)$$

由上述分析可知, 当批发价格 w 降低时, 零售商的利润期望会上升, 供应链参与方首先考虑自己的利润, 只有在满足自身利益的前提下才会考虑整个供应链系统的利润最大化, 零售商实施带成本分摊的批发价格契约, 激励供应商应满足:

$$\begin{cases} E\Pi_{sc}(Q_c^*, w_c^*) \geq E\Pi_{sd}(Q_d^*, w_d^*), \\ E\Pi_{rc}(Q_c^*, w_c^*) \geq E\Pi_{rd}(Q_d^*, w_d^*). \end{cases}$$

双方在此契约下达到了帕累托改进。供应商受到激励接受合作契约后, 其自身获得的利润不小于分散决策下的利润。零售商在实施激励后, 自身利润不小于分散决策下的利润。从系统全局最优来看, 实施契约后系统的总利润等于集中控制下系统的总利润, 此时整个 VMI 供应链系统达到了帕累托最优。

在新契约下, 零售商前期承担部分供应商的产品获取成本, 使供应商生产的积极性上升, 有利于

提高系统的供货量, 从而提高销售和供应链的利润。零售商前期会承担较大的风险, 但在后期随着批发价格的降低和供应量的上升, 会获得更大的利润。因此, 本文的供应链协调契约是可以被零售商接受的, 最终能使供应链达到合作。

5 算例研究

可通过数字算例来说明本契约的具体应用。某需求受库存影响的产品市场价格 $p=150$, 供应商的成本参数 $\lambda=40$, 零售商的销售成本参数 $r=20$, 未售完产品的单位残值 $v=20$ 归供应商所得, 需求市场系数 $\kappa=2$, 需求弹性系数 $\tau=0.5$, 随机变量 ε 服从 $[0, 10]$ 上的均匀分布, 则其密度函数 $f(\varepsilon)=1/10$, 分布函数 $\Phi(\varepsilon)=\varepsilon/10$, 期望值 $\eta=5$ 。

由式 (6) 和 (8) 可知, 分散决策下零售商决定的最优批发价格 $w_d^*=64.9$, 供应商决定的最优供货量 $Q_d^*=219$, 此时零售商的利润期望 $E\Pi_{rd}=7\ 356.5$, 供应商的利润期望为 $E\Pi_{sd}=1\ 820.5$ 。

集中决策下, 由式 (10) 可知, 整个供应链渠道的最优供货量 $Q_c^*=340$, 整个供应链渠道的最大利润 $E\Pi_c=10\ 225.2$ 。

易知一般的批发合同应用在 VMI 供应链中存在双边际效应, 通过引入带成本分摊的批发价格契约, 可增加供应链上双方的利润期望, 实现了供应链双赢的结果。引入新契约后系统应满足:

$$\begin{cases} E\Pi_{sc}(Q_c^*, w_c^*) \geq E\Pi_{sd}(Q_d^*, w_d^*) = 1\ 820.5, \\ E\Pi_{rc}(Q_c^*, w_c^*) \geq E\Pi_{rd}(Q_d^*, w_d^*) = 7\ 356.5, \\ E\Pi_{sc}(Q_c^*, w_c^*) + E\Pi_{rc}(Q_c^*, w_c^*) \leq \\ E\Pi_c(Q^*) = 10\ 225.2 \end{cases}$$

由式 (16)、(17) 和上式可得 $43.4 < w_c^* < 56.4$, $0.22 < m < 0.32$ 。在新契约的策略下, 契约参数 m 与 w_c^* 在上述范围内, 且 m 与 w_c^* 成反比, 供应商和零售商都会接受该契约。

零售商在契约可被双方接受的范围内制定较低的批发价格, 但同时提供较高的成本分摊系数, 以期获得更多利润。零售商的利润随成本分摊系数的增大而增大, 供应商利润随成本分摊系数的增大而减少, 但均大于分散决策下的最优期望利润。契约参数 m 与 w_c^* 的大小由供应商和零售商双方的谈判能力来决定, 且由于带成本分摊的批发价格契约参数在能够协调供应链的基础上, 实现了对供应链利润的任意分配, 这为双方在供应链中处于不同地位时获取相应的利润提供了柔性。

本文的研究假设为单供应商和单零售商构成的二级供应链, 他们均是风险中性的, 且两者之间信息是完全公开的。如果考虑多级供应链, 供应链成员存在风险偏好, 或成员之间的信息不对称, 会使研究更复杂, 这需要更深入的研究。

参考文献:

- [1] Magee J F. Production Planning and Inventory Control[M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1958: 80-83.
- [2] Pasternack B A. Optimal Pricing and Returns Policies for Perishable Commodities[J]. Marketing Science, 1985, 4(2): 166-176.
- [3] Cachon G P, Lariviere M A. Supply Chain Coordination with Revenue-Sharing Contracts: Strengths and Limitations [J]. Management Science, 2005, 51(1): 30-44.
- [4] Taylor T A. Supply Chain Coordination Under Channel Rebates with Sales Effort Effects[J]. Management Science, 2002, 48(8): 992-1007.
- [5] Krishnan H, Kapuscinski R, Butz D A. Coordinating Contracts for Decentralized Supply Chains with Retailer Promotional Effort[J]. Management Science, 2004, 50(1): 48-63.
- [6] 张菊亮, 陈 剑. 销售商的努力影响需求变化的供应链的合约[J]. 中国管理科学, 2004, 12(4): 50-56.
Zhang Juliang, Chen Jian. A Coordinating Contract of Supply Chain with Sale-Effort Dependent Demand[J]. Chinese Journal of Management Science, 2004, 12(4): 50-56.
- [7] Cachon G P. The Allocation of Inventory Risk in a Supply Chain: Push, Pull, and Advance Purchase Discount Contracts [J]. Management Science, 2004, 50(2): 222-238.
- [8] Panda S, Senapati S, Basu M. Optimal Replenishment Policy for Perishable Seasonal Products in a Season with Ramp-Type Time Dependent Demand[J]. Computers and Industrial Engineering, 2008, 54(2): 301-314.
- [9] 肖玉明, 汪贤裕. 边际成本递增情况下供应链的协调研究[J]. 系统工程学报, 2009, 24(1): 94-98.
Xiao Yuming, Wang Xianyu. Research on Coordination of Supply Chain with Increasing Marginal Costs[J]. Journal of Systems Engineering, 2009, 24(1): 94-98.
- [10] 陈菊红, 郭福利, 史成东. 受资源限制且带有缺货惩罚的季节性产品供应链协调[J]. 中国管理科学, 2010, 18(5): 76-81.
Chen Juhong, Guo Fuli, Shi Chengdong. Seasonal Product Supply Chain Coordination with Resource Constraints and Lost Sale Penalty Cost[J]. Chinese Journal of Management Science, 2010, 18(5): 76-81.
- [11] Webster S, Weng Z K. Ordering and Pricing Policies in a Manufacturing and Distribution Supply Chain for Fashion Products[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 114(2): 476-486.
- [12] Petruzzi N C, Dada M. Pricing and the Newsvendor Problem: A Review with Extensions[J]. Operations Research, 1999, 47(2): 183-194.
- [13] Myerson R B. Game Theory-Analysis of Conflict[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1991: 97-101.

(责任编辑: 邓光辉)