供应商库存博弈对装配系统的绩效影响研究[①]

马士华，唐 尧，关 旭
(华中科技大学管理学院，武汉 430074)

摘要: 鉴于供应管理对装配系统的重要意义，本文以 VMI 管理策略和成本共担机制为背景，研究了信息封闭和信息共享两种环境中多供应商对单制造商的库存博弈问题，以及供应商决策对于零部件库存量和供应链利润分配的影响. 此外，通过对比集中模式，给出了提高分散模式绩效的两种途径. 研究结果表明: 在信息封闭时，供应商对较小库存者的不合理预期会导致决策失误，从而同时损害到制造商和供应商的收益. 在保证各参与方期望利润不减和博弈均衡解存在的前提下，信息共享和成本共担比例的调节可以提高分散模式的绩效. 如果分散决策能够协同为集中决策，那么在延误成本较高时，集中模式应该采取等量的零部件库存策略，而在延误成本较低时，非等量库存策略会更优，这一结论细分了分散模式向集中模式的改进方向.

关键词: 装配系统; 信息共享; 博弈理论; 系统绩效
中图分类号: F253.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1007 - 9807(2013) 11 - 0030 - 12

0 引 言

随着市场环境的改变，纵向一体化的生产方式已经无法满足企业竞争的需要. 为了集中资源打造自身的核心优势，制造商开始将更多业务外包给供应商. 这一策略从某些方面提高了供应链的竞争力，比如: 整体成本更低、供应链响应性更好. 然而，外包的不断深入也给供应链管理带来了两个挑战: 如何保证供应链成员之间有效的信息沟通、怎样激励参与方的行为决策以实现利益最大化. 对于拥有成百上千家供应商的加工—装配行业(如汽车、电脑) 而言，这两个问题显得尤为突出. 一方面，供应商担心自身利益受损往往不愿意进行信息共享; 另一方面，供应商的分散决策也使得装配系统的协同运作变得十分困难. 基于以上现实，本文考虑信息封闭和信息共享两种情况下供应商和制造商的决策问题，进而探讨信息共享的必要性和可行性，并给出分散模式绩效提高的不同途径. 供应管理对于装配系统来说至关重要，因为产品的制造时间相对于零部件的供应时间可以忽略不计[1]. 由于供应环节存在诸多的不确定因素，所以合理的零部件库存策略就是装配系统绩效的保障. VMI 管理模式在实践中应用较为广泛，在这种供应链模式下，供应商需要在制造商附近设立仓库以管理零部件库存. 基于 VMI 的运作模式从一定程度上缓解了制造商与供应商之间的协同问题，但供应商之间的相互独立导致了系统最优决策仍然难以达到. 理论界一致呼吁通过共享库存信息以提高装配系统的协同运作能力，然而，在实践中信息共享的模式往往令供应商难以接受. 针对这些问题，论文将探讨: 供应商在信息封闭时到底会如何决策，这种决策又将对供应链产生何种危害. 对于制造商而言，供应商信息共享是否有助于提高供应链绩效，如果是，制造商又应该怎样激励供应商进行信息共享.

① 收稿日期: 2012 - 03 - 07; 修订日期: 2012 - 06 - 06.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71072035) .
作者简介: 马士华(1956 —) ，男，天津人，博士生导师. Email: shihuama@ mail. hust. edu

除了进行信息共享外,分散决策转变为集中决策也能够提高系统绩效,而传统的集中模式往往采取等量的零部件库存策略以保证零部件的齐套供应,论文会证明这种模式并不一定总是装配系统的最优决策,在订单延误成本较低时,非等量库存策略会更优.

具体而言: 本文将建立信息封闭和信息共享两种环境中的供应商库存模型,并利用博弈理论求解不同情况下供应商和制造商的最优决策,以及其决策对供应链绩效的影响. 最后,通过对比集中模式,给出分散模式进行信息共享和分散模式向集中模式转变两种绩效提高的途径.

1　文献综述

信息共享的研究一直是供应链管理中的重要内容之一. 对于装配系统而言,纵向信息共享(制造商与供应商之间或者制造商与零售商之间的信息共享) 的研究较多[2-6]. 横向信息共享(供应商与供应商之间或者零售商与零售商之间的信息共享) 的研究相对较少. Bernstein 和 DeCroix[7] 探讨了供应商库存信息共享对装配系统绩效的影响,结果表明: 信息共享所产生的效果会因库存策略的改变而不同. Zhang[8] 定义了库存状态共享和不共享两种信息结构,并证明分散决策在这两种信息结构下都无法实现系统最优,但制造商总倾向于进行信息共享.

文献 [7,8] 所指的信息均为库存信息,在实际运作中,即使供应商知道了对方的库存信息也还需要时间作出反应,这样就有可能贻误商机. 本文从供应商成本信息共享这个角度出发,做到让供应商能够清楚彼此的最优库存决策,而不仅仅是库存结果. 此外,本文与文献 [7,8] 相比,供应链所面对的市场需求随机并依赖于产品的销售价格.

分散决策在装配系统运作中的普遍性决定了基于集中决策的相关研究[9-12] 应该转变为对各参与方博弈问题的研究,这正是本文的出发点之一. Wang 和 Gerchak[13] 在需求不确定情况下,求解了制造商决定零部件价格和供应商决定零部件价格两种模式中的博弈问题,他们发现: 制造商确定零部件价格时,系统收益随着制造商所承担产能成本的增加而升高,而在供应商定价时,制造商承担产能成本和供应商数量的增加会降低系统收益. Gurnani 和 Gerchak[14] 研究了供应商产能不确定下的博弈,制造商会对零部件产能最小的供应商进行额外的惩罚,从而达到整体协调的作用. Leng 和 Parlar[15] 对分散式装配系统中多供应商的博弈问题进行了分析,他们设定制造商只能进行一次零部件采购,所以供应商生产等量的零部件是均衡解,文献还证明同时采取回购契约和缺货共担契约能够将分散决策协同为集中决策. 关旭等[16] 针对延迟付款和及时付款方式建立了两供应商对单制造商的准时供货模型,考虑零部件供货提前期不确定情况下,制造商与供应商生产时间和要货时间的博弈问题. Fang 等[17] 采取了基于 VMI 模式的零部件供应管理,设定产品价格与交货时间有关,因此制造商会对供应商实施价格激励契约,而由于装配活动只能以最晚齐套的零部件为主,所以供应商之间存在着关于零部件供应的博弈,文章给出了供应商之间的帕累托均衡解以及制造商的最优价格激励契约.

文献 [13 - 16] 假定供应商的成本信息透明以及制造商只有一次零部件采购机会,Fang 等[17] 虽然允许供应商补货,但供应商两次供货的成本保持一致. 在实践运作中,制造商在零部件短缺时一般会向供应商再次订货,而且由于零部件生产赶工、运输加急或者直接外包等原因,第二次供货成本往往会更高.

综上所述,本文的研究主要存在如下三个方面的特点: 1) 在分散决策模式中,存在着供应商成本信息封闭和共享两种情况; 2) 需求实现后,如果零部件库存不足以满足市场需求,制造商会进行零部件补货,但供应商两次供货的单位零部件成本不同; 3) 作为对比分析的集中决策模式没有限定零部件必须等量库存.

2　问题描述与符号说明

论文研究两个供应商、两个 VMI 仓库和单个制造商所组成的单周期装配系统,零部件按照 1 : 1 的比例装配. 需求随机并依赖于产品价格,符合

相加形式: $D(p,\xi) = y(p) + \xi$. 其中 $y(p) = a - bp(a > 0, b > 0)$,p 为产品销售价格,ξ 为随机需求,均值为 μ,上下限分别是 A 和 B,并且服从一定的概率密度 $f(\xi)$ 和分布函数 $F(\xi)$. 装配系统中的时间因素: 产品的装配时间忽略不计; 供应商的补货提前期用订单延误成本的高低来衡量,零部件补货时间越长,订单延误成本就越高. 因此,系统中不会出现与时间有关的因素.

需求实现前: 首先,由制造商选择产品销售价格 p 以最大化期望利润. 供应商在获得制造商产品价格决策后,决定 VMI 仓库中的零部件库存量 Q_i,产生的单位零部件成本为 c_i(备货成本). 需求实现后: 如果零部件库存量不足以满足市场需求,制造商先进行第一次产品装配,因为装配时间忽略不计,而供应商补货会耗费一定的时间,所以第一次装配的产品数量 $Q = \min(Q_1, Q_2)$. 同时,制造商会要求供应商补齐所缺零部件数量,产生的单位零部件成本为 v_i(补货成本). 零部件库存量不足会产生延误成本,这种成本可以解释为客户等待所需要的补偿或者客户对产品信誉的下降,单位产品的延误成本为 β. 在成本共担机制下,供应商 i 的成本共担比例为 ϕ_i,制造商的成本共担比例为 $(1 - \phi_1 - \phi_2)$. 如果零部件库存量大于市场需求,由供应商进行残值处理,不失一般性,设定残值为零.

背景假设: 1) $v_i \geqslant c_i$,当零部件库存不足以满足市场需求时,为了尽快完成客户订单,制造商会要求供应商进行生产赶工、运输加急或者直接外包,这样就很可能增加零部件成本. 2) 因为论文的重点是在成本共担机制下研究供应商的库存决策,所以将 w_i 作为外生变量: w_i 固定,并且 $w_i > v_i$,从而保证供应商始终有利可图. 3) 供应商和制造商所承担的延误成本的总比例不变,即 $(\phi_1 + \phi_2)$ 和 $(1 - \phi_1 - \phi_2)$ 固定,但制造商有权在供应商之间进行比例分配. 4) 因为是单周期系统,所以不考虑库存成本. 由于需求是随机型以及供应商可以进行第二次补货,所以供应商并不会冒风险以储存过量零部件.

装配系统的整个决策过程可以理解为制造商与供应商之间的“主从博弈”问题,其中嵌套着供应商之间关于零部件库存的“静态博弈”. 具体的决策过程用以下步骤表示:

步骤 1　制造商确定产品价格 p

步骤 2
- 成本信息封闭: 供应商基于对较小库存者的预期进行最优库存决策 Q_i
- 成本信息共享: 供应商基于纳什均衡解进行最优库存决策 Q_i

步骤 3
- 需求大于存量: 制造商第一次装配数量为 $Q = \min(Q_1, Q_2)$ 的产品,供应商补齐所缺零部件数量,制造商进行第二次装配,完成订单
- 需求小于库存量: 供应商进行零部件残值处理

3　集中决策

求解集中决策模型中的最优产品价格和零部件库存量,讨论最优解的性质,为分散决策模式协同为集中决策模式提供依据. 集中决策模式的期望利润可以表示为

$$\begin{aligned}
\pi_C(p, Q_1, Q_2) &= p\mathrm{E}(D) - (c_1 Q_1 + c_2 Q_2) - \\
&\quad (v_1 \mathrm{E}[D - Q_1]^+ + v_2 \mathrm{E}[D - Q_2]^+) - \beta \mathrm{E}[D - Q]^+ \\
&= p(y(p) + \mu) - (c_1 Q_1 + c_2 Q_2) - \\
&\quad \left(v_1 \int_{Q_1 - y(p)}^{B} (y(p) + \xi - Q_1) f(\xi)\, \mathrm{d}\xi + \right. \\
&\quad \left. v_2 \int_{Q_2 - y(p)}^{B} (y(p) + \xi - Q_2) f(\xi)\, \mathrm{d}\xi \right) - \\
&\quad \beta \int_{Q - y(p)}^{B} (y(p) + \xi - Q) f(\xi)\, \mathrm{d}\xi
\end{aligned} \tag{1}$$

上式中第一项表示产品的销售收入,第二项表示两种零部件的备货总成本,第三项表示两种零部件的补货总成本,第四项代表延误成本.

命题 1　给定市场需求函数和系统成本参数,集中决策模式的期望利润是关于 p, Q_1, Q_2 的联合凹函数,最优决策存在如下情况:(命题 1 – 3 的证明见附录)

1) 若 $\dfrac{c_1}{v_1} > \dfrac{c_2}{v_2}$

I: 如果 $\beta < \dfrac{c_1 v_2 - c_2 v_1}{c_2}$,则 $p^* = \dfrac{a + bc + \mu}{2b}$,

$Q_1^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \dfrac{c_1}{v_1 + \beta}\right]$, $Q_2^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \dfrac{c_2}{v_2}\right]$

Ⅱ: 如果$\beta \geqslant \frac{c_1 v_2 - c_2 v_1}{c_2}$,则$p^* = \frac{a + bc + \mu}{2b}$,

$Q_1^* = Q_2^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c}{v + \beta}\right]$

2) 若$\frac{c_2}{v_2} > \frac{c_1}{v_1}$

Ⅲ: 如果$\beta < \frac{c_2 v_1 - c_1 v_2}{c_1}$,则$p^* = \frac{a + bc + \mu}{2b}$,

$Q_1^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1}\right]$, $Q_2^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2 + \beta}\right]$

Ⅳ: 如果,$\beta \geqslant \frac{c_2 v_1 - c_1 v_2}{c_1}$,则$p^* = \frac{a + bc + \mu}{2b}$,

$Q_1^* = Q_2^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c}{v + \beta}\right]$

不同供应商的成本结构往往不尽相同,所以命题 1 假设了$\frac{c_1}{v_1} \neq \frac{c_2}{v_2}$. 1) 和 2) 中 $c = c_1 + c_2$ 代表单位产品的零部件备货总成本. $v = v_1 + v_2$ 代表单位产品的零部件补货总成本. 为了后文表述方便,令 $\alpha_1 = \frac{c_1}{v_1}$,$\alpha_2 = \frac{c_2}{v_2}$,$\delta_1 = \frac{c_1 v_2 - c_2 v_1}{c_2}$,$\delta_2 = \frac{c_2 v_1 - c_1 v_2}{c_1}$.

推论 1　给定$\frac{c_i}{v_i} > \frac{c_j}{v_j}$($i,j = 1,2; i \neq j$)(确定供应商之间备货成本与补货成本比例的大小),则供应商 i 一定是集中决策下最优库存量的较少者($Q_i^* \leqslant Q_j^*$).

证明推论 1: 不妨设$\frac{c_1}{v_1} > \frac{c_2}{v_2}$,对于(1) 中的Ⅰ: 由 $\beta < \frac{c_1 v_2 - c_2 v_1}{c_2} \Rightarrow \frac{c_1}{v_1 + \beta} > \frac{c_2}{v_2} \Rightarrow F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1 + \beta}\right] < F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2}\right] \Rightarrow Q_1^* < Q_2^*$; 对于 1) 中的Ⅱ: $Q_1^* = Q_2^* = Q$. 所以供应商 1 是集中决策模式下最优库存量的较少者,即 $Q_1^* \leqslant Q_2^*$, $\frac{c_2}{v_2} > \frac{c_1}{v_1}$ 的情况同证,推论 1 证毕.

对命题 1 的解释: 集中决策模式的最优价格决策比较简单,只与需求函数参数以及零部件的备货总成本有关. 零部件最优库存量决策相对复杂,当延误成本β大于等于阈值δ_1 或δ_2 时,两种零部件的最优库存量相等,称这种策略为等量集中模式. 而当延误成本 β 小于阈值 δ_1 或 δ_2 时,两种零部件的最优库存量并不相等,称这种策略为不等量集中模式. 从 Q^* 的表达式可以看出,α 越大则系统的最优库存量越小. 较大的 α 意味着零部件备货成本和补货成本更接近,此时供应商就愿意等到需求实现后通过补货来弥补未满足的需求,而不是通过库存以应对不确定的需求,所以库存量会有所下降. 例如,若 Ⅰ 中 $\alpha_2 = \frac{c_2}{v_2} = 1$(供应商 2 的备货成本和补货成本相同),此时供应商 2 没必要冒任何风险存储过多零部件,所以最优库存量与确定需求相等 $Q_2^* = y(p^*)$.

对推论 1 的解释: α 值较大的供应商将会是最优库存量的较小者. 因此,确定供应商之间备货成本与补货成本比例的大小,不仅可以求解装配系统的最优决策,而且能够明确最优决策下库存量较少的供应商.

4　分散决策

出于自身利益的考虑,供应商往往不愿意共享成本信息. 本章分析分散模式中成本信息封闭下供应商的决策问题,进而说明信息共享对于供应商和制造商的必要性以及可行性,并总结分散模式绩效提高的途径.

4.1　供应商的决策问题

1) 成本信息封闭

供应商 i 的期望利润可以表示为

$$\pi_{S_i}(Q_i) = w_i \mathrm{E}(D) - c_i Q_i - v_i \mathrm{E}[D - Q_i]^+ - \phi_i \beta \mathrm{E}[D - Q]^+ = w_i(y(p) + \mu) - \left(c_i Q_i + v_i \int_{Q_i - y(p)}^{B} (y(p) + \xi - Q_i) f(\xi)\,\mathrm{d}\xi\right) - \phi_i \beta \int_{Q - y(p)}^{B} (y(p) + \xi - Q) f(\xi)\,\mathrm{d}\xi \tag{2}$$

式 2 中,第 1 项为零部件的销售收入,第 2 项为零部件的总成本,第 3 项为供应商所承担的延误成本.

信息封闭时,供应商决策需要对库存量较小者进行预期,本文用“自信度”体现供应商的这种预期. 具体而言: $\theta_1 \in [0,1]$ 为供应商 1 的自信

度，代表供应商 1 预期自己不是库存量较小者的概率. 若 $\theta_1 = 0$ 则供应商 1 完全不自信，它认为自己一定是库存量的较小者. 若 $\theta_1 = 1$ 则供应商 1 充分自信，它认为自己一定不是库存量的较小者. 同样，$\theta_2 \in [0,1]$ 为供应商 2 的自信度，代表供应商 2 预期自己不是库存量较小者的概率.

命题 2　供应商成本信息封闭情况下，基于对库存量较小者的预期，供应商 i 最优库存量决策有两种情形

$$Q_i^* = y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_i}{v_i + \phi_i\beta}\right] \tag{3}$$

或 $$Q_i^* = y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_i}{v_i}\right] \tag{4}$$

式(3) 表示: 如果供应商 i 预期自己是库存量较小者，因为能够影响到延误成本，所以它的最优决策与 ϕ_i 和 β 有关. 式(4) 表示: 若供应商 i 预期自己不是库存量较小者，则它的最优决策就会与 ϕ_i 和 β 无关.

由命题 2，供应商基于对库存量较小者预期的决策可能产生四种结果，如表 1 所示. 表格第一行与第一列分别表示供应商 1 和 2 对库存量较小者的预期及其概率，表中的四种组合给出了供应商在不同的预期下所采取的最优库存量决策.

表 1　供应商信息封闭时基于对库存量较小者预期的库存决策

Table 1 Inventory decisions based on the expectation of minimum inventory under information-isolating

S_2	S_1	
	$p(Q = Q_1) = 1 - \theta_1$	$p(Q = Q_2) = \theta_1$
$p(Q = Q_1) = \theta_2$	$\underline{\left(y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1 + \phi_1\beta}\right], y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2}\right]\right)}$	$\left(y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1}\right], y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2}\right]\right)$
$p(Q = Q_2) = 1 - \theta_2$	$\left(y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1 + \phi_1\beta}\right], y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2 + \phi_2\beta}\right]\right)$	$\underline{\left(y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1}\right], y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2 + \phi_2\beta}\right]\right)}$

在供应商成本具有差异的前提下，$\frac{c_1}{v_1} = \frac{c_2}{v_2}$ 和 $\frac{c_1}{v_1 + \phi_1\beta} = \frac{c_2}{v_2 + \phi_2\beta}$ 的可能性忽略不计. 所以论文设定分散决策模式中两供应商不可能同时成为库存量的较小者，因此表 1 中只有下划线的组合可能是最优决策组合. 这意味在成本信息封闭时，供应商之间的不合理预期至少会以((1 − θ_1)(1 − θ_2) + $\theta_1\theta_2$) 的概率偏离最优决策组合，即没有实现利润最大化，从而损害到供应商自身的利润. 这一结论说明了成本信息共享对于供应商的必要性.

推论 2　给定 $\frac{c_i}{v_i} > \frac{c_j}{v_j}(i,j = 1,2; i \neq j)$(确定供应商之间备货成本与补货成本比例的大小)，则只有供应商 i 可能是最优库存量的较少者.

证明推论 2: 不妨设 $\frac{c_1}{v_1} > \frac{c_2}{v_2} \Rightarrow \frac{c_1}{v_1} < \frac{c_2}{v_2 + \phi_2\beta}$ 不可能成立，所以表 1 右下方的情形不可能出现，即供应商 2 不会是此时最优库存量的较少者，因此只有供应商 1 可能是最优库存量的较少者. $\frac{c_2}{v_2} > \frac{c_1}{v_1}$ 的情况同证，推论 2 证毕. 推论 3 将给出供应商 1 一定是最优库存量较小者的条件.

推论 2 说明: 供应商之间备货成本与补货成本比例大小给定后，最优库存决策组合就会唯一确定. 所以成本信息封闭下，供应商基于预期所做的决策只有(1 − θ_1)θ_2 或 θ_1(1 − θ_2) 的概率是最优决策组合. 比如: 给定 $\frac{c_1}{v_1} > \frac{c_2}{v_2}$，则只有可能 $(Q_1^*, Q_2^*) = \left(y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1 + \phi_1\beta}\right], y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2}\right]\right)$ 是最优库存决策，而由于供应商成本信息封闭，所以基于预期的决策为 (Q_1^*, Q_2^*) 的概率只有(1 − θ_1)θ_2.

成本信息封闭会导致供应商的库存决策失误，从而降低供应商利润，所以供应商有必要进行成本信息共享. 同时，由推论 2 可以从表 1 中看到: 信息封闭时的决策会以 θ_1 或者 θ_2 的概率降低

较小库存量.

2) **成本信息共享**

前文说明了供应商进行成本信息共享的必要性,下面分析信息共享的可行性,即供应商在信息共享时的静态博弈是否一定具有最优库存量的较小者.

推论3　给定$\frac{c_i}{v_i} > \frac{c_j}{v_j}(i,j = 1,2; i \neq j)$(确定供应商之间备货成本与补货成本比例的大小),如果进行信息共享,则制造商能保证供应商 i 是最优库存量的较小者,即

$$Q = y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_i}{v_i + \phi_i\beta}\right] \tag{5}$$

证明推论3: 不妨设$\frac{c_1}{v_1} > \frac{c_2}{v_2}$,由推论2,供应商 2 不可能是最优库存量较小者,只有供应商 1 可能是最优库存量的较小者. 如果满足$\frac{c_1}{v_1 + \phi_1\beta} > \frac{c_2}{v_2}$,由表 1 则供应商 1 一定是最优库存量的较小者. 成本信息共享时,为了掌握供应商的库存状态(4.2 节将说明制造商掌握库存状态的好处),制造商能保证博弈具有均衡解,因为调整 $\phi \in [0,1]$ 总可以使得 $\beta < \frac{c_1v_2 - c_2v_1}{\phi_1 c_2}$ 成立,即满足 $\frac{c_1}{v_1 + \phi_1\beta} > \frac{c_2}{v_2} \cdot \frac{c_2}{v_2} > \frac{c_1}{v_1}$ 的情况同证. 推论 3 证毕.

论文的重点是在博弈具有均衡解的前提下,分析提高系统绩效的途径,而不是讨论系统实现均衡的过程. 所以本文设定信息封闭下若$\frac{c_i}{v_i} > \frac{c_j}{v_j}(i,j = 1,2; i \neq j)$,则$\frac{c_i}{v_i + \phi_i\beta} > \frac{c_j}{v_j}$成立. 从而保证信息封闭和信息共享下的供应商决策过程都具有均衡解.

本节说明了成本信息共享对于供应商的必要性和成本信息共享的可行性,下文分析成本信息共享对于制造商的必要性以及成本信息共享后对系统绩效的影响.

4.2　制造商的决策问题

本节所述制造商决策问题基于供应商成本信息共享,制造商的期望利润函数可以表示为

$$\begin{aligned}\pi_M(p) &= (p - w)\mathrm{E}(D) - (1 - \phi)\beta\mathrm{E}[D - Q]^+ \\ &= (p - w)(y(p) + \mu) - (1 - \phi)\beta \\ &\int_{Q-y(p)}^{B}(y(p) + \xi - Q)f(\xi)\mathrm{d}\xi\end{aligned} \tag{6}$$

式中,第 1 项表示制造商的销售利润,第 2 项表示制造商承担的延误成本. $w = w_1 + w_2$ 代表单位产品的零部件采购成本. 假设供应商 i 是成本信息共享下库存量的较少者,所以将式(5) $Q = y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_i}{v_i + \phi_i\beta}\right]$ 带入式(6) 中,经化简,制造商的期望利润可以改写为

$$\pi_M(p) = (p - w)(y(p) + \mu) - (1-\phi)\beta\int_{F^{-1}\left[1-\frac{c_i}{v_i+\phi_i\beta}\right]}^{B}\left(\xi - F^{-1}\left[1 - \frac{c_i}{v_i + \phi_i\beta}\right]\right)f(\xi)\mathrm{d}\xi \tag{7}$$

命题 3　给定需求函数、系统成本参数,制造商的期望利润是关于价格的凹函数,最优价格 $p^* = \frac{a + bw + \mu}{2b}$; 制造商的期望利润是较小库存量 Q 的增函数,也是库存量较小供应商的成本共担比例 ϕ_i 的增函数.

命题 3 的前半部分说明: 分散决策模式中的最优价格只与需求函数的参数和零部件采购成本有关. 后半部分说明: 信息共享以后制造商能够明确库存量较小的供应商,并通过对成本共担比例的调节获得更高的期望利润,这一结论说明了成本信息共享对于制造商的必要性.

结合4.1 节和4.2 节的分析: 供应商成本信息共享对于分散决策模式是必要和可行的. 因为,通过成本共享供应商可以避免决策失误而造成的利润损失. 此外,因为较小库存量的增加和对成本共担比例的调节,制造商也能够获得更高的期望利润. 但是,制造商对成本共担比例的调节必须满足两个条件: 保证各参与方的利润始终大于信息封闭下的期望利润、保证博弈具有纳什均衡解.

信息共享和成本共担比例的调节是分散决策模式绩效提高的一种途径. 下面通过分散模式与集中模式的对比,将分散模式向集中模式的改进方向进行细分,从而提出分散模式绩效改进的另一种途径.

4.3 集中模式与分散模式的对比

本节的分散模式假设供应商已经进行了成本信息共享，为了简化分析过程，不妨假设 $\frac{c_1}{v_1} > \frac{c_2}{v_2}$（$\frac{c_2}{v_2} > \frac{c_1}{v_1}$ 的情况类似）．则集中决策模式和分散决策模式的最优决策分别为：

1）集中决策模式

Ⅰ：如果 $\beta < \frac{c_1v_2 - c_2v_1}{c_2}$，则 $p^* = \frac{a + bc + \mu}{2b}$，$Q_1^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1 + \beta}\right]$，$Q_2^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2}\right]$

Ⅱ：如果 $\beta \geqslant \frac{c_1v_2 - c_2v_1}{c_2}$，则 $p^* = \frac{a + bc + \mu}{2b}$，$Q_1^* = Q_2^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c}{v + \beta}\right]$

2）分散决策模式

$p^* = \frac{a + bw + \mu}{2b}$，$Q_1^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_1}{v_1 + \phi_1\beta}\right]$，$Q_2^* = y(p^*) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_2}{v_2}\right]$（保证博弈均衡解存在，即 $\beta < \frac{c_1v_2 - c_2v_1}{\phi_1c_2}$）

由以上分析：如果分散模式能够协同为集中决策模式，则在 $\beta < \delta_1$ 时应以不等量集中模式为改进方向，在 $\beta > \delta_1$ 时应以等量集中模式为改进方向．

综合 4.2 节和 4.3 节，分散决策模式有两种绩效提高的途径，如图 1 所示：

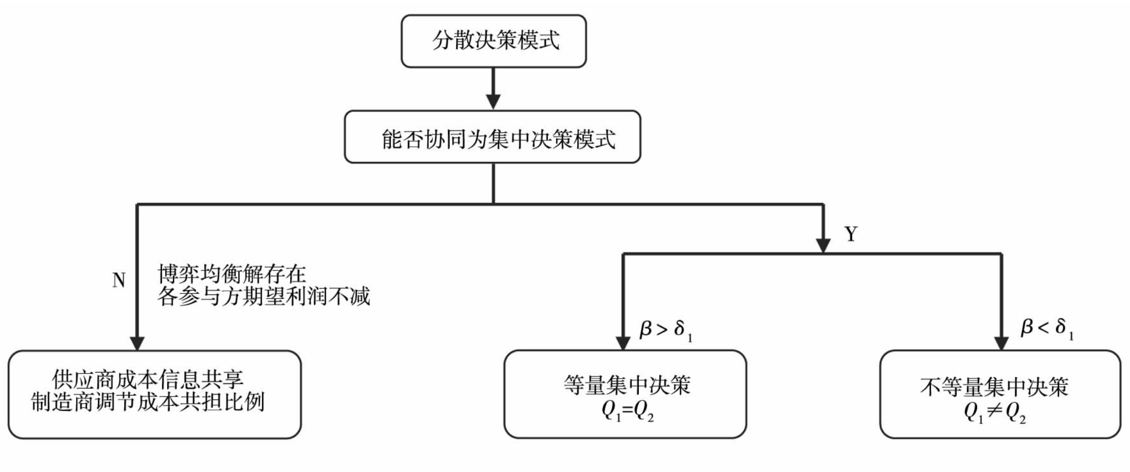

图 1 分散决策模式绩效提高的两种途径

Fig. 1 Two ways for performance improvement in decentralized system

5 数值分析

将从供应商成本信息封闭对装配系统绩效的危害、信息共享下成本共担比例变化对供应链利润分配的影响以及分散模式与集中模式绩效的比较三个方面进行数值分析，并给出相应的管理启示．

5.1 参数设定

供应商的自信度为 $\theta_1 = \theta_2 = 0.5$．

5.2 节和 5.3 节对分散模式进行数值分析，说明信息封闭对供应链的危害以及信息共享后供应链的利润分配．参数设定为：$\phi_1 = 0.1$，$\phi_2 = 0.4$，$\beta = 8$，$c_1 = 5$，$v_1 = 7$，$c_2 = 5$，$v_2 = 9$，$w_1 = 20$，$w_2 = 20$；$a = 140$，$b = 2$，$\xi \sim U(20, 80)$．

5.4 节将在 $\beta_1 = 4$ 和 $\beta_2 = 8$ 两种情况下，对比分散决策模式和集中决策模式的绩效指标．参数设定为：$c_1 = 7$，$v_1 = 10$，$c_2 = 4$，$v_2 = 9$，$w_1 = 20$，$w_2 = 20$；$a = 140$，$b = 2$，$\xi \sim U(20, 80)$，$\phi_1 = 0.25$，$\phi_2 = 0.25$．

5.2 供应商成本信息封闭的危害

在 $\frac{c_1}{v_1 + \phi_1\beta} > \frac{c_2}{v_2}$ 的前提下，根据推论 2，最优库存组合应该为：$(Q_1^*, Q_2^*) = \Big(y(p) + F^{-1}\Big[1 -$

$\left.\frac{c_1}{v_1+\phi_1\beta}\right]$, $y(p)+F^{-1}\left[1-\frac{c_2}{v_2}\right]\Big)$. 成本信息封闭下，供应商基于预期的决策会产生表 1 中的四种结果，表 2 给出了这四种结果的不同绩效指标. 表格第一行表示供应商对库存量较小者的预期组合及其概率.

表 2　供应商信息封闭下基于预期决策的系统绩效

Table 2 System performance based on the expectation of minimum inventory under information-isolating

绩效指标	预期组合			
	$0.25:(Q_1,Q_1)$	$0.25:(Q_2,Q_1)$	$0.25:(Q_1,Q_2)$	$0.25:(Q_2,Q_2)$
库存量	(46.5*, 51.7*)	(42.2, 51.7)	(46.5, 60.4)	(42.1, 60.4)
较小库存量	46.5*	42.2	46.5	42.1
供应商利润	(771.2*, 718.9*)	(769.9, 709.4)	(771.2, 713.2)	(769.9, 703.6)
制造商利润	1 463.2*	1 451.3	1 463.2	1 451.3
利润损失	(0, 0, 0)	(1.3, 9.5, 11.9)	(0, 5.7, 0)	(1.3, 15.3, 11.9)

正如 4.1 节中所揭示，在成本信息封闭时，供应商的分散决策会以 0.75 的概率偏离最优决策组合 (Q_1,Q_1). (Q_2,Q_1) 和 (Q_2,Q_2) 这两种决策组合的利润损失较大，此时的供应商 1 认为供应商 2 将会是最优库存量的较小者，这种预期刚好与实际情况相反. 从表 2 中还可以看出: 供应商的最优较小库存量为 46.5，而在信息封闭下库存组合 (Q_2,Q_1) 和 (Q_2,Q_2) 都会以 0.25 的概率出现，这两种组合的较小库存量均 < 46.5. 因此，供应商会以 0.5 的概率降低较小库存量. 这意味着会产生更多的订单延误，从而降低装配系统的服务水平.

5.3　信息共享下成本共担比例变化对供应链利润分配的影响

根据 5.2 节的数据，信息封闭下供应商 1 和 2 以及制造商的期望利润是: 770.6、711.3 和 1 457.3，由均衡解存在的条件 $\frac{c_1}{v_1+\phi_1\beta}>\frac{c_2}{v_2}$，得到 $\phi_1\in[0,0.25]$.

制造商在调整成本共担比例 $\phi_1\in[0,0.25]$ 的过程中，必须要保证各方利润不能低于信息封闭下的期望利润. 表 3 给出了分散决策模式中 ϕ_1 变化对供应商利润、制造商利润以及装配系统利润的影响.

表 3　ϕ_1 变化对分散供应链利润分配的影响

Table 3 How ϕ_1 impacts on the profit allocation of supply chain in decentralized system

ϕ_1	0	0.01	0.02	0.03	0.04	**0.05**	0.06	**0.07**	0.08	0.09	**0.10**	0.11	0.12
$E(\pi_{s_1})$	782.1	780.9	779.7	778.6	777.5	776.4	775.3	774.2	773.2	772.2	**771.2**	770.2	769.2
$E(\pi_{s_2})$	697.1	699.7	702.2	704.5	706.8	709.0	711.1	**713.2**	715.2	717.1	718.9	720.7	722.4
$E(\pi_M)$	1 451.3	1 452.7	1 454.0	1 455.3	1 456.5	**1 457.7**	1 458.9	1 460.0	1 461.1	1 462.2	1 463.2	1 464.2	1 465.2
$E(\pi_D)$	2 930.5	2 933.3	2 935.9	2 938.4	2 940.8	2 943.1	2 945.3	2 947.4	2 949.5	2 951.5	2 953.3	2 955.1	2 956.8
ϕ_1	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
$E(\pi_{s_1})$	768.3	767.4	766.5	765.6	764.7	763.9	763.1	762.2	761.4	760.6	759.8	759.1	758.3
$E(\pi_{s_2})$	724.0	725.6	727.1	728.6	730.0	731.4	732.7	734.0	735.2	736.4	737.6	738.7	739.8
$E(\pi_M)$	1 466.1	1 467.0	1 467.9	1 468.7	1 469.6	1 470.4	1 471.2	1 471.9	1 472.7	1 473.4	1 474.1	1 474.8	1 475.5
$E(\pi_D)$	2 958.4	2 960	2 961.5	2 962.9	2 964.3	2 965.7	2 967	2 968.1	2 969.3	2 970.4	2 971.5	2 972.6	2 973.6

注: 黑体数字代表各参与方在信息共享下的利润大于信息封闭下期望利润的临界值.

供应商 2、制造商和装配系统的利润都随着 ϕ_1 的上升而增加，供应商 1 的利润随着 ϕ_1 的上升而降低. 保证各方利润不低于信息封闭时的期望利润，对于供应商 1 而言 $\phi_1\leqslant 0.1$，对于供应商 2 而言 $\phi_1\geqslant 0.07$，对于制造商而言 $\phi_1\geqslant 0.05$. 所以 ϕ_1 的可控区间为 $[0.07,0.1]$，在 $\phi_1=0.1$ 时供应商和制造商实现了信息封闭下出现概率只有 0.25 的最优利润. 信息共享后，供应商 1 希望降

低 ϕ_1，供应商 2 以及制造商都希望升高 ϕ_1. 到底应该如何选择 ϕ_1，这要看供应商和制造商之间的相互谈判. 总之，供应商信息共享的价值体现在于将不确定性的库存状态转换为确定性的库存状态，并且保证了各方能够获得更高的利润.

5.4 分散模式与集中模式的绩效对比

运用5.1节所给出的参数，结合4.3节的理论分析，分别计算分散模式和两种集中模式下的绩效指标，从而给出不同延误成本下的最优决策模式. 如表 4 所示.

表 4 分散模式和集中模式的绩效对比

Table 4 The comparision of the performance between decentralized and centralized system

绩效指标	决策模式					
	$\beta_1 = 4$			$\beta_2 = 8$		
	分散式决策	等量集中决策	不等量集中决策	分散式决策	等量集中决策	不等量集中决策
产品价格	67.5	53	53	67.5	53	53
库存组合	(46.8, 58.3)	85.3	(84, 87.3)	(50, 58.3)	89.6	(90.7, 87.3)
总利润	2 928.0	3 355.8	**3 356.3***	2 892.1	**3 332.4***	3 321.9
最优模式	不等量集中决策			等量集中决策		

注: 黑色数字代表两种不同情形下的最优利润.

总利润方面: 分散决策的总利润始终最小. 在 $\beta_1 = 4$ 时，不等量集中决策的利润最大，所以此时的最优模式是不等量集中决策. 在 $\beta_2 = 8$ 时，等量集中决策的利润最高，此时的最优模式为等量集中决策. 之所以会出现这种情况是因为: 与传统的等量集中决策相比，不等量集中决策降低了供货成本相对较小零部件的库存量，而增大了供货成本相对较大零部件的库存量，通过降低一定的供货成本以创造更好的绩效. 在延误成本较低时，这种策略的确可以增加利润，而在延误成本较大时，不等量集中决策就会得不偿失. 在实际的运作中，供应商的成本结构难免会具有差异，因此，这一结论说明: 零部件的齐套供应并不是在任何情况下都是系统的最优决策. 在分散模式向集中模式转变的过程中，有必要根据系统的参数将集中模式进一步细分.

产品价格和零部件库存方面: 在 $\beta_1 = 4$ 和 $\beta_2 = 8$ 两种情况下，集中决策模式的产品价格相等而且比分散模式要低. 集中模式消除了中间交易成本，降低了产品价格，从而有效的刺激了市场需求，所以需要更多零部件库存以保证客户服务水平.

6 结束语

市场竞争因素的转变促进了横向一体化的不断深入. 在这一趋势下，装配行业的供应商数量越来越多，地理位置分布更加广泛，这就使得供应链的信息共享和利益协调更加困难. 本文以这一实际背景为出发点，主要解决了以下三个问题: 1) 成本信息封闭下，供应商应该如何决策，这种决策方式会对供应链产生何种危害; 2) 供应商成本信息共享是否具有必要性和可行性，信息共享后各参与方的相互博弈又会对供应链绩效产生什么影响; 3) 等量库存和不等量库存集中决策模式作为分散决策模式的改进方向，各有什么适用环境.

具体而言，论文研究了两供应商、两 VMI 仓库和单制造商所组成的装配系统. 首先，求解了集中模式中等量和不等量两种库存模型. 然后，针对信息封闭和信息共享的情形，给出了各自的库存决策方式及其对供应链绩效的影响. 通过数学证明和数值分析，本文得到了如下结论: 供应商有必要进行成本信息共享，因为信息封闭时，供应商对较小库存者的不合理预期很有可能导致决策失误，同时损害到制造商和供应商的收益，而且这种损害程度会和供应商的“自信度”相关. 在保证各参与方期望利润不减和纳什均衡解存在的前提下，信息共享和成本共担比例的调节可以提高分散模式的绩效，这一结论不仅确保了成本信息共享的可行性，而且也是分散模式进行绩效改进的一种途径. 延误成本较高时，集中模式应该采取

等量零部件库存策略; 而在延误成本较低时,非等量库存策略会更优. 这表明在供应商成本具有差异的情况下,零部件的齐套供应并不一定是装配系统的最优决策. 因此,分散模式向集中模式的改进方向应该被进一步的细分.

今后的研究可以从两个方面展开: 将两供应商博弈拓展为多供应商博弈,考虑供应商之间的竞争性,纳入零部件采购价格决策,从而更好的反应装配系统的实际运作. 加入时间因素和库存成本,考虑多周期装配系统中的相关问题.

参 考 文 献:

[1] Song J S, Zipkin P. Supply Chain Operations: Assemble-to-Order Systems [M]. Handbooks in Operations Research and Management Science, Amsterdam: North-Holland, 2003, 561 – 596.

[2] Gavirneni S, Kapuscinski R, Tayur S. Value of information in capacitated supply chains [J]. Management Science, 1999, 45(1): 16 – 24.

[3] Cachon G P, Marshall F. Supply chain inventory management and the value of shared information [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2000, 46(8): 1032 – 1048.

[4] Lee H L, So K C, Tang C S. The value of information sharing in a two-level supply chain [J]. Management Science, 2000, 46(5): 626 – 643.

[5] Li L. Information sharing in a supply chain with horizontal competition [J]. Management Science, 2002, 48(9): 1196 – 1212.

[6] **鲁其辉, 朱道立. 含交付时间不确定性的供应链协调策略研究 [J]. 管理科学学报**, 2008, 11(2): 50 – 60.
Lu Qihui, Zhu Daoli. Research on coordination contracts in supply chains with uncertainty of delivery Lead-Time [J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(2): 50 – 60. (in Chinese)

[7] Bernstein F, DeCroix G A. Inventory policies in a decentralized assembly system [J]. Operations Research, 2006, 54(2): 324 – 336.

[8] Zhang F. Competition, cooperation, and information sharing in a Two-Echelon assembly system [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2006, 8(3): 273 – 291.

[9] Song J, Yano C A, Lerssrisuriya P. Contract assembly: Dealing with combined supply lead time and demand quantity uncertainty [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2000, 2(3): 287 – 296.

[10] Fu K, Hsu V N, Lee C Y. Inventory and production decisions for an Assemble-To-Order system with uncertain demand and limited assembly capacity [J]. Operations Research, 2006, 54(6): 1137 – 1150.

[11] Hsu V N, Lee C Y, So K C. Optimal component stocking policy for Assemble-To-Order systems with Lead-Time-Dependent component and product pricing [J]. Management Science, 2006, 52(3): 337 – 351.

[12] Hsu V N, Lee C Y, So K C. Managing components for Assemble-To-Order products with Lead-Time-dependent pricing: The Full-Shipment model [J]. Naval Research Logistics, 2007, 54(5): 510 – 523.

[13] Wang Y, Gerchak Y. Capacity games in assembly systems with uncertain demand [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2003, 5(3): 252 – 267.

[14] Gurnani H, Gerchak Y. Coordination in decentralized assembly systems with uncertain component yields [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 176(3): 1559 – 1576.

[15] 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.

[16] **关　旭, 马士华, 应丹丰. 基于多重结算方式的装配系统协同问题研究 [J]. 管理科学学报**, 2011, 14(6): 35 – 46.
Guan Xu, Ma Shihua, Ying Danfeng. Coordination in assembly systems under multiple payment contracts [J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(6): 35 – 46. (in Chinese)

[17] Fang X, So K C, Wang Y. Component procurement strategies in decentralized Assemble-To-Order systems with Time-Dependent pricing [J]. Management Science, 2008, 54(12): 1997 – 2011.

The effects of inventory game on the performance of assembly system

MA Shi-hua, *TANG Yao*, *GUAN Xu*

School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: Considering the importance of supply management to assembly system, we model inventory games between suppliers in the setting of VMI policy and cost-sharing. This paper seeks to shed light on the impacts of such games on the less inventory and profit allocation in decentralized systems with information-isolating and information-sharing. The centralized system is demonstrated for comparison. Further, two strategies are presented for system performance improving. Our results show that: 1) In the case of information-isolating, the inaccurate guesses for less-inventory holder between the suppliers can lead to wrong decision making, thus damaging the expected profit of gamers. The degree of this damage relates to the suppliers' confidence. 2) With the existence of Nash equilibrium guaranteed, information sharing and the modulation of the cost-sharing ratio can help improve the entire performance. This conclusion illustrates the possibility of information sharing between suppliers. 3) If the penalty of the ordering delay is high, the inventory of two parts should be equal, otherwise, the inventory of two parts should be unequal. Hence, whether a decentralized system should be altered for symmetric system or unsymmetric system depends.

Key words: assembly system; information sharing; game theory; system performance

附录

命题 1 证明:

由于命题 1 中的情况(1) $\frac{c_1}{v_1} > \frac{c_2}{v_2}$ 和情况(2) $\frac{c_2}{v_2} > \frac{c_1}{v_1}$ 具有对称性,不妨对情况(1) 进行证明,令算子 $\nabla(\cdot) = -\partial(\pi_c)/\partial(\cdot)$.

假设 $Q = \min(Q_1, Q_2) = Q_1$ 对 $-\pi_C$ 求一阶导数

$$\nabla(p) = 2bp - a - bv_1\int_{Q_1-y(p)}^{B} f(\xi)\,\mathrm{d}\xi - b(v_2+\beta)\int_{Q_1-y(p)}^{B} f(\xi)\,\mathrm{d}\xi - c$$

$$\nabla(Q_1) = -v_2\int_{Q_1-y(p)}^{B} f(\xi)\,\mathrm{d}\xi + c_1,\quad \nabla(Q_2) = -(v_2+\beta)\int_{Q_2-y(p)}^{B} f(\xi)\,\mathrm{d}\xi + c_2$$

进一步求二阶导数

$$\nabla^2(p) = 2b + b^2v_1f(Q_1-y(p)) + b^2(v_2+\beta)f(Q_2-y(p)) > 0$$

$$\nabla^2(Q_1) = v_1f(Q_1-y(p)) > 0,\quad \nabla^2(Q_2) = (v_2+\beta)f(Q_2-y(p)) > 0$$

$$\nabla(p,Q_1) = \nabla(Q_1,p) = bv_1f(Q_1-y(p)) > 0,\quad \nabla(p,Q_2) = \nabla(Q_2,p) = b(v_2+\beta)f(Q_2-y(p)) > 0$$

$$\nabla(Q_1,Q_2) = \nabla(Q_2,Q_1) = 0$$

由以上求导,定义海赛矩阵 $\boldsymbol{H} = \begin{pmatrix} \nabla^2(p) & \nabla(p,Q_1) & \nabla(p,Q_2) \\ \nabla(Q_1,p) & \nabla^2(Q_1) & \nabla(Q_1,Q_2) \\ \nabla(Q_2,p) & \nabla(Q_2,Q_1) & \nabla^2(Q_2) \end{pmatrix}$,下面推导海赛矩阵的正定性.

再令 $f_1 = f(Q_1-y(p)) > 0, f_2 = f(Q_2-y(p)) > 0 \Rightarrow \boldsymbol{H}$ 的一阶主子式 $\boldsymbol{H}_1 = \nabla^2(p) > 0$,

二阶主子式 $\boldsymbol{H}_2 = \begin{pmatrix} \nabla^2(p) & \nabla(p,Q_1) \\ \nabla(Q_1,p) & \nabla^2(Q_1) \end{pmatrix} = (2b + b^2(v_2+\beta)f_2)v_1f_2 > 0$

H 的三阶主子式以 H 的第二行进行展开,可得

$$\boldsymbol{H}_3 = -\nabla(Q_1,p)\begin{pmatrix}\nabla(p,Q_1) & \nabla(p,Q_2)\\ \nabla(Q_2,Q_1) & \nabla^2(Q_2)\end{pmatrix}+\nabla^2(Q_1)\begin{pmatrix}\nabla^2(p) & \nabla(p,Q_2)\\ \nabla(Q_2,p) & \nabla^2(Q_2)\end{pmatrix}$$

$$=-(bv_1f_1)^2((v_2+\beta)f_2)+(v_1f_1)(2b+b^2v_1f_1)((v_2+\beta)f_2)=2bv_1f_1>0$$

因此,$-\pi_C$ 是关于 p,Q_1,Q_2 的联合严格凸函数,集中决策中供应链期望利润 π_C 是关于 p,Q_1,Q_2 的联合严格凹函数.

求解方程组 $\nabla(p)=\nabla(Q_1)=\nabla(Q_2)=0\Rightarrow p^*=\frac{a+bc+\mu}{2b}$,$Q_1^*=y(p^*)+F^{-1}\left[1-\frac{c_1}{v_1+\beta}\right]$,$Q_2^*=y(p^*)+F^{-1}\left[1-\frac{c_2}{v_2}\right]$

因为假设 $Q=Q_1$,所以 $Q_1^*<Q_2^*\Rightarrow\frac{c_1}{v_1+\beta}>\frac{c_2}{v_2}\Rightarrow\beta<\frac{c_1v_2-c_2v_1}{c_2}$

假设 $Q=\min(Q_1,Q_2)=Q_2$

由于对称性,所以集中决策供应链期望利润 π_C 仍然是关于 p,Q_1,Q_2 的联合严格凹函数

$$\Rightarrow p^*=\frac{a+bc+\mu}{2b},Q_1^*=y(p^*)+F^{-1}\left(1-\frac{c_1}{v_1}\right),Q_2^*=y(p^*)+F^{-1}\left(1-\frac{c_2}{v_2+\beta}\right)$$

因为假设 $Q=Q_2$,所以 $Q_1^*>Q_2^*\Rightarrow\frac{c_1}{v_1}<\frac{c_2}{v_2+\beta}$,这与 $\frac{c_1}{v_1}>\frac{c_2}{v_2}$ 矛盾. 所以 $Q=\min(Q_1,Q_2)=Q_2$ 不成立.

假设 $Q_1=Q_2=Q$

则集中决策问题被转化的相对简单,重复以上的步骤,可得:$p^*=\frac{a+bc+\mu}{2b}$,$Q_1^*=Q_2^*=Q^*=y(p^*)+F^{-1}\left(1-\frac{c}{v+\beta}\right)$,考虑到 β 取值的完整性,所以此时 $\beta\geqslant\frac{c_1v_2-c_2v_1}{c_2}$.

对于命题 1 中的情况(2),即 $\frac{c_2}{v_2}>\frac{c_1}{v_1}$,可以同样的思路进行证明.　　证毕.

命题 2 证明:

不妨先对供应商 1 进行分析,对于供应商 1 而言他对较小库存者有两种预期.

(1) 供应商 1 认为自己是初始库存量较小者,即 $Q=Q_1$,令算子 $\nabla(\cdot)=\partial(\pi_{S_1})/\partial(\cdot)$. $\Rightarrow\nabla(Q_1)=(v_1+\phi_1\beta)\int_{Q_1-y(p)}^{B}f(\xi)\,\mathrm{d}\xi-c_1$,$\nabla^2(Q_1)=(-v_1-\phi_1\beta)f(Q_1-y(p))<0$

所以 π_{S_1} 是关于 Q_1 的严格凹函数,存在唯一的最优解.

供应商 1 的最优初始库存量 $Q_1^*=y(p)+F^{-1}\left[1-\frac{c_1}{v_1+\phi_1\beta}\right]$

(2) 供应商 1 认为供应商 2 是初始库存量较小者,即 $Q=Q_2$,令算子 $\nabla(\cdot)=\partial(\pi_{S_1})/\partial(\cdot)$. $\Rightarrow\nabla(Q_1)=v_1\int_{Q_1-y(p)}^{B}f(\xi)\,\mathrm{d}\xi-c_1$,

$\nabla^2(Q_1)=-v_1f(Q_1-y(p))<0$,所以 π_{S_1} 是关于 Q_1 的严格凹函数,存在唯一的最优解.

供应商 1 的最优初始库存量 $Q_1^*=y(p)+F^{-1}\left[1-\frac{c_1}{v_1}\right]$. 对供应商 2 采取相同的分析思路,可以得到供应商 2 的最优库存决策为

$$Q_2^*=y(p)+F^{-1}\left[1-\frac{c_2}{v_2+\phi_2\beta}\right]\text{或}\ Q_2^*=y(p)+F^{-1}\left[1-\frac{c_2}{v_2}\right]$$

(下转第 80 页)

Impact of information flow on returns and return volatility in Chinese stock market

WEN Feng-hua[1], *GONG Xu*[1], *HUANG Chuang-xia*[2,3], *CHEN Xiao-hong*[1], *YANG Xiao-guang*[2,3]

1. School of Business, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
3. School of Economics and Management, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China

Abstract: This paper constructed, based on the value function theory, a econometric model which can explain the impact of information flow on stock market return and return volatility. Then we applied the Shangzheng Index and Shenzheng Index to our empirical analysis. The empirical results show that the value function form can explain well the impact of information flow on return. Information flow and the investor's behavior bias, which is described by value function, can explain the return volatility and its persistence feature in the Chinese stock market. Furthermore, investors' loss aversion behavior can give a good explanation to the asymmetric impacts of good information and bad information on the stock market return and its volatility. Meanwhile, the empirical research reveals that the graph of the value function displays a reverse S-shaped in Chinese stock market.

Key words: information flow; value function; price-volume relation; GARCH-V model

(上接第 41 页)

结合(1)、(2),供应商 i 有最优初始库存量决策 $Q_i^* = y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_i}{v_i + \phi_i\beta}\right]$或 $Q_i^* = y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_i}{v_i}\right]$.

从证明的分类过程可知:较小初始库存量 $Q = y(p) + F^{-1}\left[1 - \frac{c_i}{v_i + \phi_1\beta}\right]$　　证毕.

命题 3 证明:

令算子 $\nabla(\cdot) = \partial(\pi_M)/\partial(\cdot)$,由 $\pi_M = (p-w)(y(p)+\mu) - (1-\phi)\beta\int_{F^{-1}\left[1-\frac{c_i}{v_i+\phi_i\beta}\right]}^{B}\left(\xi - F^{-1}\left[1-\frac{c_i}{v_i+\phi_i\beta}\right]\right)f(\xi)\,\mathrm{d}\xi \Rightarrow$ $\nabla(p) = y(p) - b(p-w) = a - 2bp + w$, $\nabla^2(p) = -2b < 0$. 所以,制造商期望利润 π_M 在给定的条件下,是关于 p 的严格凹函数,最优价格为 $p^* = \frac{a+bw}{2b}$. 再令 $F^{-1}\left[1-\frac{c_i}{v_i+\phi_i\beta}\right] = \gamma \Rightarrow \nabla(\gamma) = (1-\phi)\beta\gamma\int_{\gamma}^{B} f(\xi)\,\mathrm{d}\xi > 0$. 所以 π_M 是关于 γ 的严格单调增函数,$\Rightarrow \pi_M$是关于 $F^{-1}\left[1-\frac{c_i}{v_i+\phi_i\beta}\right]$ 的严格单调增函数,而 π_M 是关于较小库存量 $Q = y(p) + F^{-1}\left[1-\frac{c_i}{v_i+\phi_i\beta}\right]$ 的严格单调增函数. 又 $F^{-1}\left[1-\frac{c_i}{v_i+\phi_i\beta}\right]$ 是 ϕ_i 的严格单调增函数,所以 π_M 也是关于 ϕ_i 的严格单调增函数.

证毕.

命题 3 说明:π_M 可以看成是关于产品价格 p 的凹函数和关于库存量较小供应商 i 的成本分担比例 ϕ_i 的增函数组成,并且这两个函数相互独立.