

# 基于交货期库存协调的供应链转移定价研究<sup>①</sup>

冯 华<sup>1</sup>, 崔元锋<sup>2</sup>, 马士华<sup>3</sup>

(1. 武汉大学经济与管理学院, 武汉 430072; 2. 中南财经政法大学工商学院, 武汉 430074;  
3. 华中科技大学管理学院, 武汉 430070)

**摘要:** 在将缺货成本和延期惩罚成本纳入决策模型的前提下, 对供应商—制造商两阶供应链在转移定价、安全库存, 以及总成本之间的相互作用进行了探讨: 首先探讨基于 Stackelberg 收益共享定价机制的最优决策; 然后, 以一体化供应链为参照系, 探讨对供应链各成员的行为进行优化的两部制 (two-part scheme) 收益共享转移定价决策在实践中的运用; 最后, 探讨模型中部分变量变化对最优决策所产生的影响. 通过分析发现, 承诺的交货期、延期惩罚成本与缺货成本将会影响供应链的总成本和转移定价决策, 进而影响供应商的最优库存决策, 而制造商则可以通过适当的激励机制设计, 激励供应商按照供应链整体最优的方式进行转移定价、安全库存及相关决策.

**关键词:** 转移定价; 交货期; 安全库存; 平均库存

**中图分类号:** F403.8      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2008)02-0071-09

## 0 引 言

MTO (make-to-order) 或 ATO (assemble-to-order) 供应链是适应品种少、数量大生产系统的需要而出现的一种供应链运作模式 (如汽车制造). 由于零部件由供应商储存要便宜得多<sup>[1]</sup>, MTO 供应链往往需要供应商保有零部件库存, 零部件库存水平越高, 交货期则相应缩短. 在传统模型中, 供应商为了减少平均库存持有成本, 往往不愿意过多地保有安全库存; 而另一方面, 当市场需求对交货期高度敏感时, 供应商为了避免因延迟交货而产生过高的延期惩罚成本, 宁愿多持有库存, 其结果则是: 要么库存 (成本) 过高, 要么交货期延长 (降低收益). 在综合考虑因延迟交货而产生的延期惩罚成本和缺货成本的基础上, 本文拟建立一种两部制 (two-part) 收益共享转移定价机制, 探讨如何通过库存协调确定一个面向 MTO 供应链的整体优化库存策略.

众多企业从供应链协调与合作中获得了丰厚的回报, 如惠普公司通过供应链库存的协调与合作使库存水平下降了 25%<sup>[2]</sup>. 与本文所欲讨论的问题相关的文献有: Waessara 将交货期对库存和收益所产生的影响引入模型, 就订货批量对安全库存、收益与交货期的影响进行了研究<sup>[3]</sup>; Cachon 和 Zipkin 的模型中, 两方合作者在实行基本的库存政策之后又各自确定其库存水平, 并承担库存持有成本, 但是缺货成本由双方共同承担<sup>[4]</sup>; 而 Caldentey 和 Wein 则相反, 他们认为供应商是一个 M/M/1 的排队者, 分销商根据基本库存政策补充自己的库存, 并支付费用, 缺货成本由双方共同承担<sup>[5]</sup>; Gerchak 和 Wang 对单分销商、多供应商的供应链进行探讨, 收益共享策略被用以激励供应商按系统最优的决策行事<sup>[6]</sup>. 近来, 国内也有学者对需求和供应都不确定情形下的两阶供应链库存协调及其价值作了一些有益探讨, 引入了

① 收稿日期: 2005-09-20; 修订日期: 2006-08-17.

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (70332001).

作者简介: 冯 华 (1978—), 女, 湖北荆门人, 博士, 讲师. Email: fengqidi123@163.com.

有效库存水平的概念,拟通过整体优化降低供应链库存成本<sup>[7]</sup>.

不过,上述研究只考虑交货期对收益和安全库存所产生的影响,而延期交货惩罚成本和缺货成本则不在其考虑之列.事实上,当实际交货期超过承诺的交货期时,顾客将产生等待成本,如果顾客不愿等待,那么将产生缺货成本,同时,企业也会产生赶工成本/延期惩罚成本,并将最终影响供应链的最优化决策.有大量学者直接(或间接)对顾客延迟成本进行过探讨,将需求描述为价格和承诺提前期的函数<sup>[8]</sup>或假设价格和实际提前期是需求的决定因素<sup>[9]</sup>;同时,一些学者也开始注意到订货到达和生产环境中的随机性所导致的库存持有成本问题,如 Kondalarao 等将提前期、库存成本和等待成本均纳入模型,并在考虑能力利用率和服务水平的前提下,对最优决策进行探讨<sup>[10]</sup>,不过,该研究不考虑供应链节点企业间的合作问题.最近,国内学者开始就不确定响应时间和时间敏感需求建模,在考虑延期惩罚成本和缺货成本的基础上,进行供应链契约协同分析<sup>[11]</sup>,不过,这些研究不考虑库存协调问题.

基于此,本文以两阶 MTO 供应链库存协调为目标,以转移定价决策为切入点,将转移定价与供应链交货期、总成本间的交互影响纳入模型,并建立供应商—制造商合作契约,对当前运用较为普遍的基于 Stackelberg 主从对策的收益共享转移定价策略进行探讨,并以供应链最优化决策作为参照系,就对主从对策转移定价策略进行优化的两部制(two-part tariff)收益共享转移定价决策在 MTO 供应链库存协调实践中的运用进行探讨.

## 1 MTO 供应链及相关模型概述

### 1.1 模型中的前提与假设条件

本文以一个由单个上游零部件供应商(CS)和单个下游装配制造商(AM)组成的二级供应链为研究对象,该供应链按照 MTO(make-to-order)或 ATO(assemble-to-order)模式运作,两个节点企业通过转移定价来合作.市场需求对交货期很敏感,对于供应链生产的某一特定产品,AM 根据客户需求到达率  $\lambda$  确定产品的最终交货期  $T$  和价格

$P$ ,并向 CS 下订单;CS 根据订单组织生产,其生产能力(率)为  $\mu_s$ ,并按承诺的交货期  $T_s$  和转移价格  $tp$  向 AM 交货;AM 最后按照生产能力(率)  $\mu_m$  进行组装并提交给客户, $T$  由 CS 承诺的交货期  $T_s$ 、AM 的生产/运作流程时间  $T_m$  组成.由于大型装配制造商一般采用流水线作业,其生产/运作节拍相对固定,故可假定 AM 生产/运作流程时间为  $T_m = \frac{\rho_m}{\lambda(1-\rho_m)}$ ,其中  $\rho_i = \frac{\lambda}{\mu_i}$  ( $i = s, m$ ) 为能力利用率,这样 AM 的交货时间可以表示为  $T = T_s + T_m$ .为了降低交货期,在签定合作契约时,AM 往往需要 CS 持有安全库存为  $b$  的可供随时装运交付的零部件,假设  $b$  为连续变量,在分散决策情况下,CS 根据基本库存补货政策确定最佳的安全库存  $b$ ,并为其支付库存费用;当需求确定后,AM 从 CS 库存中获取需要的材料,并进行装配或定制化生产;如果 CS 库存不足,那么需求就会被延误,此时,CS 将承担延期惩罚成本,而 AM 则面临缺货成本;除此之外,假设需求到达率  $\lambda$  服从 Poisson 分布,CS 实际交货期服从指数分布<sup>[9]</sup>.

一般而言,CS 的短期成本结构包括 3 个组成部分:1) 生产成本,包括与生产相关的直接材料、劳动力和在制品成本等;2) 库存成本,由于持有库存而产生的相关成本;3) 延期惩罚成本,由于未能在交货期之前完成订单而产生的赶工成本或延期惩罚成本.假设 CS 的目标是使其单位时间内的期望收益  $\Pi_s$  最大化<sup>[10]</sup>

$$\Pi_s = \lambda(tp - C_s) - hH - \lambda K_s Y_{pl} \quad (1)$$

其中: $\lambda(tp - C_s)$  是期望的收益; $C_s$  是其单位变动成本; $tp$  是单位产品的转移价格; $h$  是单位产品在单位时间内的库存持有成本; $H$  是 CS 的平均库存持有量, $H = b - \frac{\rho_s(1-\rho_s^b)}{1-\rho_s}$ ,从而  $hH$  是平均库存持有成本; $K_s$  是单位产品单位时间的延期惩罚成本; $Y_{pl}$  是 CS 实际交货期  $t$  超过承诺交货期的概率, $\lambda K_s Y_{pl}$  是 CS 期望的延期惩罚成本

$$Y_{pl} = \text{prob}\{t > T_s\} = e^{-(\mu_2-\lambda)T_s} + \rho_s^b Y \quad (2)$$

其中, $Y = \begin{cases} (e^{(\mu_2-\lambda)T_s} - e^{(\mu_1-\lambda)T_s}) \frac{(\mu_2 - \lambda)}{\mu_1 - \mu_2} & \mu_1 \neq \mu_2 \\ T_s(\mu - \lambda)e^{-(\mu-\lambda)T_s} & \mu_1 = \mu_2 = \mu \end{cases}$

同样,假设 AM 的短期成本结构包括 3 个部分:1) 从 CS 购买产品的转移支付;2) 生产成本;3) 缺货

成本,即 CS 延期交货而产生的成本,该成本与缺货数量成正比,单位产品单位时间内的缺货成本是一个常量. AM 的目标是使其单位时间内的期望收益  $\Pi_m$  最大化

$$\Pi_m = \lambda(P - \beta T - tp - C_m) - \lambda K_m Y_{pl} \quad (3)$$

其中:  $P - \beta T$  是单位产品的收益,为 AM 承诺交货期  $T$  的线性减函数<sup>[12]</sup>;  $\beta$  为单位收益的时间弹性;  $C_m$  是 AM 的单位变动成本;  $K_m$  是单位产品单位时间的缺货成本;  $\lambda K_m Y_{pl}$  是 AM 的期望缺货成本.

### 1.2 供应链一体化(最优)决策模型

令  $\Pi_c$  表示供应链一体化决策下的期望收益,从而可将其表示如下

$$\Pi_c = \lambda(P - \beta T - C_s - C_m) - hH - \lambda(K_s + K_m)Y_{pl} \quad (4)$$

上式对安全库存  $b$  的一阶导数为

$$\frac{\partial \Pi_c}{\partial b} = -h \frac{\partial H}{\partial b} - \lambda(K_s + K_m) \frac{\partial Y_{pl}}{\partial b}$$

如果期望收益  $\Pi_c$  对安全库存  $b$  的二阶导数满足条件

$$h \left( \frac{\partial^2 H}{\partial b^2} \right) \geq -\lambda(K_s + K_m) \frac{\partial^2 Y_{pl}}{\partial b^2}$$

那么,  $\Pi_c$  是  $b$  的凹函数. 根据连续函数的一阶最大化原则<sup>[3,7-10]</sup>, 可得供应链一体化决策下最优的安全库存  $b_c^*$

$$b_c^* = \ln(\Gamma_1) / \ln(\rho_s) \quad (5)$$

对于任意  $\alpha > 0$

$$\Gamma_1 = \frac{-h(1 - \rho_s)}{[\alpha h \rho_s + \lambda(1 - \rho_s)(K_s + K_m)Y] \ln \rho_s} \quad (6)$$

将  $b_c^*$  代入式(4), 有

$$\Pi_c^* = \lambda(P - \beta T - C_s - C_m) - hH(b_c^*) - \lambda(K_s + K_m)Y_{pl}(b_c^*) \quad (7)$$

$$H(b_c^*) = \frac{\ln \Gamma_1}{\ln \rho_s} - \frac{\rho_s(1 - \Gamma_1)}{1 - \rho_s} \quad (8)$$

本文以供应链一体化决策为参照系,对后续部分进行探讨. 需要说明的是,如果式(7)是 CS 承诺的交货期的凹函数,那么,根据一阶最大化条件可以求得 CS 最优的交货期. 另外,为了研究的方便,上述表达式不考虑安全库存的整数约束. 在实践中,选用不同的方法将会得到不同的整数安全库存,但是其区别不大: 例如, Gurdal<sup>[13]</sup> 认为, 如果  $\lceil b \rceil (\lceil b \rceil - 1) < 0$ , 那么取值  $b^* = \lceil b \rceil$ ; 否

则,取值  $b^* = \lfloor b \rfloor$ ; 而 Waressara<sup>[3]</sup> 则建议所选择的整数  $b$  应该是使 CS 或 AM 的期望收益最大化.

## 2 基于收益共享机制的转移定价决策模型

在假设双方对对方的成本、收益和需求拥有完全信息的前提下,下面对分散决策下基于 Stackelberg 和两部制(two-part)收益共享契约的转移定价机制及其相应的 CS 与 AM 间的交互作用分别进行探讨. 不同决策机制下最优的决策分别用标号 d 和 t 加以区分.

### 2.1 基于 Stackelberg 收益共享机制的转移定价决策

在基于 Stackelberg 收益共享机制的转移定价决策中,作为先行者,AM 首先确定其分配给 CS 的收益分配比例  $\alpha_d$ , 对此,CS 确定相应的安全库存  $b_d$  和转移价格  $tp_d$ . 对于  $(\alpha_d, b_d)$  的一个特定组合,CS 和 AM 的期望收益可以表示如下

$$\Pi_s^d = \alpha_d [\lambda(P - \beta T - C_s - C_m) - hH(b_d)] - \lambda K_s Y_{pl}(b_d) \quad (9)$$

$$\Pi_m^d = (1 - \alpha_d) [\lambda(P - \beta T - C_s - C_m) - hH(b_d)] - \lambda K_m Y_{pl}(b_d) \quad (10)$$

在上式中,由于 CS 延期交货而产生的惩罚成本和缺货成本分别由 CS 和 AM 单独承担,而平均库存持有成本则由双方共同承担. 在分散决策前提下,CS 和 AM 作为理性经济人,分别根据各自的期望收益最大化单独行事. 对于任意  $\alpha_d$ ,  $\Pi_s^d$  是  $b_d$  的凹函数,这样,存在着唯一的,使得 CS 的期望收益  $\Pi_s^d$  最大的安全库存  $b_d^*$

$$b_d^*(\alpha_d) = \frac{\ln \Gamma_{\alpha_d}}{\ln \rho_s} \quad (11)$$

对于任意  $\alpha > 0$

$$\Gamma_{\alpha_d} = \frac{-h(1 - \rho_s)\alpha_d}{[\alpha_d h \rho_s + \lambda(1 - \rho_s)K_s Y] \ln \rho_s} \quad (12)$$

将式(11)代入式(10),AM 的期望收益  $\Pi_m^d$  转化成收益分配比例  $\alpha_d$  的函数,而  $\Pi_m^d$  是  $\alpha_d$  的凹函数,对  $\Pi_m^d$  求  $\alpha_d$  的偏导,可以得到最优的收益分配比例  $\alpha_d^*$ . 由于公式非常复杂,算例部分将通过给变量赋值的方式给出具体的  $\alpha_d^*$  值. 需要说明的是,此处的  $(\alpha_d^*, b_d^*)$  是当 AM 为主方,CS 为从

方假设下所得出的最优解,当 CS 和 AM 的主从方地位发生改变时,最优解也将相应变化<sup>[14]</sup>.

令式(10)与式(1)相等,转移价格  $tp_d$  可以表述如下

$$tp_d = \alpha_d^* (P - \beta T - C_m) + (1 - \alpha_d^*) \times (C_s + hH \frac{b_d^*}{\lambda}) \quad (13)$$

Waressara<sup>[3]</sup>在其研究中不考虑惩罚成本和缺货成本,而只是考虑库存持有成本,认为供应链一体化决策下的安全库存应该尽可能大,即  $b_c^* > b_d^*$  一定成立,这样对分散决策进行优化就应该激励 CS 尽可能地增加安全库存.事实上,通过式(12)和式(6)之比

$$\frac{\Gamma_{\alpha_d}}{\Gamma_1} = 1 + \frac{\lambda(1 - \rho_s)Y[\alpha_d(K_s + K_m) - K_s]}{\alpha_d h \rho_s + \lambda(1 - \rho_s)K_s Y} \quad (14)$$

可以发现,由于 CS 实际交货期与承诺交货期不一致而产生的惩罚和缺货成本对安全库存有着一定影响,因此,受单位惩罚成本  $K_s$  和单位缺货成本  $K_m$  之间相对大小的影响,供应链一体化(或最优化)决策下的安全库存  $b_c^*$  和分散决策下的安全库存  $b_d^*$  之间存在如下关系.

**定理 1** 当  $\frac{K_s}{K_m} < \frac{\alpha_d}{1 - \alpha_d}$  时,  $b_c^* > b_d^*$ , 此时应该激励 CS 增加安全库存.

**定理 2** 当  $\frac{K_s}{K_m} = \frac{\alpha_d}{1 - \alpha_d}$  时,  $b_c^* = b_d^*$ , 此时不需要对 CS 进行激励.

**定理 3** 当  $\frac{K_s}{K_m} > \frac{\alpha_d}{1 - \alpha_d}$  时,  $b_c^* < b_d^*$ , 此时应该激励 CS 减少安全库存.

通过上述分析可知,分散决策下,  $b_c^*$  与  $b_d^*$  相等只在特定的场合下成立,而  $b_c^*$  与  $b_d^*$  不相等则是普遍情形.在 CS 和 AM 通过安全库存进行合作前提下,笔者假定平均库存持有成本由双方共同承担,由于 CS 延期交货而导致的延期惩罚成本和缺货成本则分别由 CS 和 AM 各自承担.当单位延期惩罚成本相对于单位缺货成本较大时,理性的 CS 就会尽可能多的保有安全库存,从而使得分散决策偏离最优化决策,因此为使分散决策尽可能接近最优化决策,AM 应该从全局出发,采取措施激励 CS 降低安全库存;反之,AM 则不得不采取措

施激励 CS 增加安全库存.

## 2.2 基于两部制 (two-part) 收益共享机制的转移定价决策

当  $b_c^*$  与  $b_d^*$  不相等时,供应链决策就并非全局最优,即  $\Pi_c^* > \Pi_s^d + \Pi_m^d$ , 而  $\Pi_c^d = \Pi_s^d + \Pi_m^d$ , 如果 AM 和 CS 按照(或接近)供应链整体最优的决策调整自己的决策行为,那么供应链整体的收益将增加.适当的激励机制其实就是将因调整决策行为而产生的额外收益在 AM 和 CS 之间进行合理分配的机制,该机制可以激励 AM 和 CS 按照(或接近)供应链整体最优的决策调整自己的决策行为,并保证 AM 和 CS 各自的所得至少应该比基于 Stackelberg 收益共享情况下的收益大,否则,双方不会有合作的意愿.假设当采取某种激励机制时,AM 和 CS 的期望收益分别为  $\Pi_i^i, i = s, m$ , 且  $\Pi_i^i \geq \Pi_i^d, i = s, m$ , 由于  $\Pi_c$  是安全库存  $b$  的凹函数,且  $\Pi_c^* > \Pi_s^d + \Pi_m^d$ , 这样,水平线  $\Pi_s^d + \Pi_m^d$  与  $\Pi_c$  关于安全库存  $b$  的图形相交,当定理 1 和 / 或定理 3 成立时,有两个交点;当定理 2 成立时,有一个交点  $b_d^*$  (见图 1).

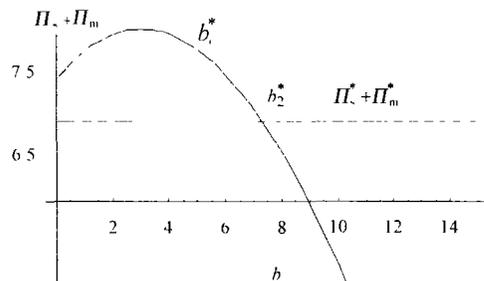


图 1  $\Pi_c = \Pi_s + \Pi_m = \Pi_s^s + \Pi_m^m$  关于  $b$  的趋势图 ( $b_c^* < b_d^*$ ):  $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2, C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15, K_m = 0.2$ .

Fig. 1  $\Pi_c = \Pi_s + \Pi_m = \Pi_s^s + \Pi_m^m$  is shown as a function of  $b$  (where,  $b_c^* < b_d^*$ ). Data:  $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2, C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15, K_m = 0.2$ .

可见,分散决策下相应的激励机制设计应该使得最优的安全库存  $b \in (b_c^*, b_d^*)$ , 从  $b = b_d^*$  出发,考虑单位增量  $\Delta$  (当  $b_c^* < b_d^*$  时,  $\Delta < 0$ ; 反之当  $b_c^* > b_d^*$  时,  $\Delta > 0$ ), 直到  $b = b_c^*$ , 这样,对于每一个安全库存  $b$ , 对应于满足  $\Pi_i^i > \Pi_i^d$  的 CS 和 AM 的平均收益函数都可求得分配比例  $\alpha$  的最小值和最大值.其中,最小的分配比例是 CS 可以接受的最小收益比例,而最大的分配比例则是 AM 为了让 CS 尽可能按供应链整体最优的安全库存

要求持有库存而可以放弃的最大收益比例,最小和最大的收益分配比例分别用  $\alpha_s(b)$  和  $\alpha_m(b)$  表示

$$\alpha_s(b) = \frac{\Pi_s^d + \lambda K_s Y_{pl}(b)}{\lambda(P - \beta T - C_s - C_m) - hH(b)} \quad (15)$$

$$\alpha_m(b) = 1 - \frac{\Pi_m^d + \lambda K_m Y_{pl}(b)}{\lambda(P - \beta T - C_s - C_m) - hH(b)} \quad (16)$$

现在以由 AM 对 CS 所提出的收益分配比例和安全库存所构成的合作契约为研究对象(以  $b_c^* < b_d^*$  为例). 令  $\bar{\alpha} = \alpha_d^*$  是当 CS 选择的安全库存  $b$  在  $[b_s^*, \infty)$  范围变动时 AM 所提出的收益分配比例;而  $\bar{\alpha}$  满足  $\alpha_s(b_c^*) < \bar{\alpha} < \alpha_m(b_c^*)$ , 则是当 CS 选择的安全库存  $b$  在  $[b_c^*, b_d^*)$  范围变动时 AM 所提出的收益分配比例. 当 AM 所提出的收益分配比例为  $\alpha_d^*$  时, 如果 CS 考虑将其安全库存  $b$  设在  $[b_d^*, \infty)$  范围, 那么 CS 会选择  $b = b_d^*$ , 其期望收益为  $\Pi_s^d$ ; 反之, 如果 CS 考虑将其安全库存  $b$  设在  $[b_c^*, b_d^*)$  范围, 那么 CS 会选择  $b = b_c^*$ , 此时其期望收益为  $\Pi_s^d(b_c^*)$ . 这样, 只要所制定的  $\bar{\alpha}$  满足  $\alpha_s(b_c^*) < \bar{\alpha} < \alpha_m(b_c^*)$ , 那么  $\Pi_s^d(b_c^*) > \Pi_s^d$ . 如果 AM 势力较为强大, 那么, AM 可以通过让  $\bar{\alpha}$  稍微大于  $\alpha_s(b_c^*)$  而将所有额外收益纳入囊中; 反之, 如果 CS 势力更为强大, 那么, CS 可以通过让  $\bar{\alpha}$  稍微小于  $\alpha_m(b_c^*)$  而将所有额外收益据为己有. 在现实生活中, 具体的分配比例  $\bar{\alpha}$  受双方讨价还价能力的限制.

### 3 参数对决策的影响分析

现在拟通过实例来对上面的理论分析进行论证, 并探讨模型中的参数对基于 MTO 供应链库存协调的转移定价及其相关决策所产生的影响.

#### 3.1 承诺交货期 $T_s$ 对决策的影响

假设需求到达率  $\lambda$ 、CS 和 AM 的能力利用率  $\rho_s$  和  $\rho_m$ 、单位延期惩罚成本和单位缺货成本  $K_s$  和  $K_m$  不变, 探讨 CS 承诺交货期  $T_s$  对基于 Stackelberg 主从对策和两部制收益共享转移定价及其相关决策所产生的影响(见图 2 和表 1). 首先, 探讨 CS 承诺的交货期波动与供应链转移定价和供应链总成本(包括平均库存持有成本、延迟交货导致的惩罚成本和缺货成本, 既定的 CS 和

AM 单位变动成本则不在考虑之列) 之间存在着的此销彼长的关系; 其次, 探讨 CS 承诺的交货期对其安全库存所产生的影响; 最后比较该供应链在两种决策方式下的整体收益大小.

令  $\lambda = 3, p = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2, C_s, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15, K_m = 0.2$ , 而 CS 承诺的交货期  $T_s$  则在 2 到 10 之间变动, 得到图 2 和表 1. 为了防止 CS 承诺不切实际的交货期, 本文假设 CS 有最小的承诺提前期限制, 该限制保证安全库存是  $T_s$  的减函数(由式(5)可知, 此时 CS 最小的承诺交货期为 2). 由图 2 可知, 在本文所设定的情形下, CS 的安全库存随着其承诺交货期的延长而减少, 而供应链整体收益则随着其承诺交货期的延长先上升后下降, 呈现典型的凹函数特点, 这与前面的假设一致.

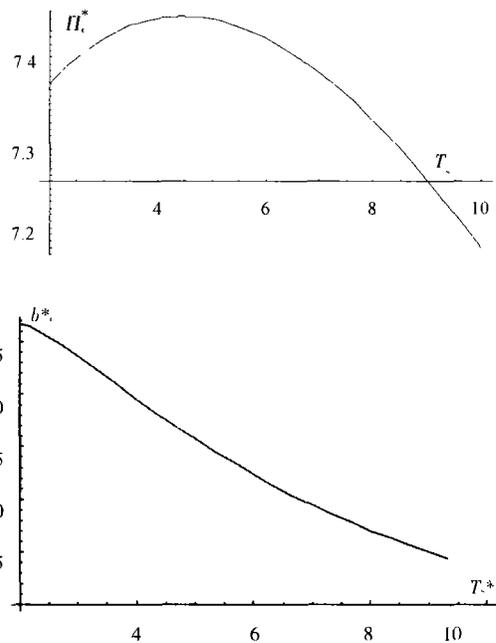


图 2 供应链收益  $\Pi_s^*$  和安全库存  $b_c^*$  随  $T_s$  变动的趋势:  $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2, C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15, K_m = 0.2$ .

Fig. 2  $\Pi_s^*$  and  $b_c^*$  are shown as functions of  $T_s$ . Data:  $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2, C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15, K_m = 0.2$ .

由表 1 可知, 两种决策方式下的安全库存  $b_c^*$  和  $b_d^*$ , 随着 CS 承诺交货期  $T_s$  的延长都呈明显的下降趋势, 即 CS 承诺的交货期越长, AM 所要求的安全库存就越小; 同时 CS 的期望收益  $\Pi_s^d$  也越小, AM 的期望收益  $\Pi_m^d$  则越大, 而供应链整体的期望收益  $\Pi_s^d$  则是先上升后下降, 呈现明显的凹函数特

点;除此之外,AM和供应链整体的期望收益  $\Pi_m^d$ 、 $\Pi_c^d$ ,转移价格  $tp_d$ 、 $tp_c^*$ ,分配比例  $\alpha_d^*$ 、 $\alpha_c^*$ ,和供应链总成本  $TC_c^*$ 、 $TC_c^d$  则随着CS承诺的交货期的延长而持续下降。

总而言之,CS期望承诺的交货期越短越好,而AM则期望CS承诺的交货期越长越好,出现此现象的原因在于CS的单位延期惩罚成本  $K_s$  相对

过大,而AM的单位缺货成本  $K_m$  则相对过小。对于供应链整体而言,当CS承诺的交货期  $T_s = 4.45$  时,供应链整体期望收益达到最大  $\Pi_{c-max}^* \approx 7.43$  (根据一阶最大化条件对式(7)求导得到)。这样,通过适当设置转移价格,可以让CS和AM均按照供应链整体最优的决策进行各自的相关决策,从而让CS和AM双方都达到更为满意的结果。

表1 CS承诺的交货期与MTO供应链转移定价及相关决策数值结果表

Table 1 Optimal solution under two different decision models

$T_s$	两部制收益共享							Stackelberg 收益共享						
	$tp_{min}$	$tp_{max}$	$b_c^*$	$\Pi_c^*$	$Min \alpha$	$Max \alpha$	$TC_c^*$	$tp_d$	$b_d^*$	$\Pi_s^d$	$\Pi_m^d$	$\alpha_d^*$	$TC_c^d$	$\Pi_c^d$
2	1.39	1.51	2.67	7.37	0.10	0.15	0.78	1.56	10.69	0.50	6.51	0.09	1.15	7.00
3	1.37	1.49	2.36	7.41	0.09	0.14	0.65	1.53	10.18	0.50	6.56	0.09	1.01	7.05
4	1.34	1.45	1.96	7.43	0.09	0.13	0.55	1.49	9.49	0.47	6.62	0.08	0.88	7.09
5	1.32	1.42	1.57	7.42	0.08	0.12	0.46	1.45	8.78	0.44	6.68	0.08	0.76	7.12
6	1.29	1.39	1.23	7.41	0.07	0.11	0.38	1.41	8.11	0.41	6.72	0.07	0.66	7.13
7	1.27	1.36	0.94	7.38	0.07	0.10	0.32	1.38	7.48	0.37	6.76	0.06	0.57	7.13

注:  $TC = hH + \lambda(K_s + K_m)Y_{pl}$ ; 最小、最大转移价格分别根据最小、最大收益分配比例由式(13)计算得出。

### 3.2 参数变化对决策的影响分析

随着模型中不同参数的变化,CS和AM各自的行为也会发生相应变化,从而需要管理者的最优决策也相机改变。模型中不同参数变化所引起的决策变化如表2所示,通过将延期惩罚成本和失销成本纳入模型,表2就不同参数变化对最优

的安全库存、最小和最大收益分配比例及其相应的转移价格、渠道总成本,以及供应链整体和各个成员的期望收益所产生的影响进行了定性描述。需要强调的是,表2中的结论只有当安全库存不受整数约束时才成立。

表2 转移价格及其相关决策随着模型参数增长而变化的趋势

Table 2 Effect of increasing parameter values under two different decision models

参数 增长	两部制收益共享							Stackelberg 收益共享						
	$tp_{min}$	$tp_{max}$	$b_c^*$	$\Pi_c^*$	$Min \alpha$	$Max \alpha$	$TC_c^*$	$tp_d$	$b_d^*$	$\Pi_s^d$	$\Pi_m^d$	$\alpha_d^*$	$TC_c^d$	$\Pi_c^d$
$\rho_s$	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓
$\rho_m$	↓	↑↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑↓	↑↓	↓	↓↑	↓	↑	↓
$T_s$	↓	↓	↓	↑↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑
$K_s$	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑↓	↓	↑	↑	↓
$K_m$	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓
$\beta$	↓	↓	—	↓	—	↑	—	↓	↓	↓	↓	—	↓	↓
$h$	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑↓	↓	↑	↑↓	↓

注:符号 ↑ 和 ↓ 分别表示上升和下降;符号 ↑↓ (或 ↓↑) 表示先上升(或下降)后下降(或上升);最后, -- 表示参数增长不对供应链绩效产生影响。

通过表2可知,随着CS能力利用率  $\rho_s$  的增高,供应链渠道期望收益逐渐下降,而安全库存和转移价格则随之增加(见图3);而随着AM能力利用率  $\rho_m$  的增高,供应链渠道期望收益也降低,

但是分散决策下的安全库存和转移价格则先上升后下降(见图4);随着CS承诺的交货期延长,转移价格和安全库存都相应降低,而分散决策下的期望收益则相应增加;而随着单位延期惩罚成本

和缺货成本的增加,转移价格和安全库存则随之增加,供应链期望收益则随之减少;平均库存持有成本的增加会降低安全库存和供应链期望收益,并抬高转移价格。

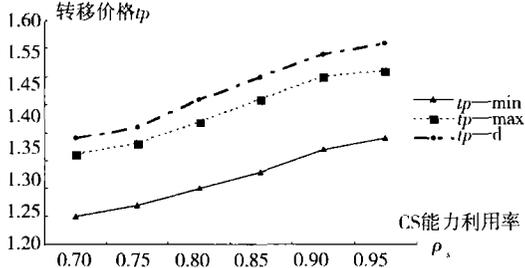


图3 CS能力利用率效果图: $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2C_s, T_s = 2, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15, K_m = 0.2, \rho_s$ 从0.72变动到0.94。

Fig. 3 Effect of the CS' capacity utilization, Data:  $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2C_s, T_s = 2, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15, K_m = 0.2$ , where  $\rho_s$  is varied from 0.72 to 0.94.

由图3和图4可知,CS能力利用率与转移价格正相关,AM能力利用率与转移价格负相关,即能力利用率变化对转移价格的影响很直观.但是对于单位延期惩罚成本和缺货成本( $K_s, K_m$ )来说,其对最优转移价格的影响却比较复杂(见图5、6)。

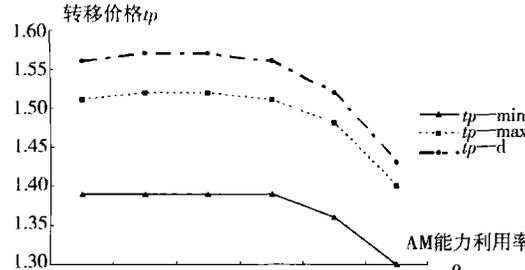


图4 AM能力利用率变化效果图: $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, K_s = 0.15, K_m = 0.2, \rho_m$ 从0.4变动到0.9。

Fig. 4 Effect of the AM's capacity utilization, Data:  $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, K_s = 0.15, K_m = 0.2$ , where  $\rho_m$  is varied from 0.40 to 0.90.

当单位延期惩罚成本相对较小,即当  $\frac{K_s}{K_m} < \frac{\alpha_d}{1 - \alpha_d}$  时,  $b_c^* > b_d^*$ ,CS由于延期交货而导致的成本相对较低,这样CS更为关注如何通过降低安全库存来降低平均库存持有成本,这样,单位产品延期的可能性不会降低.然而,如果单位延期惩罚成本相对较高,即当  $\frac{K_s}{K_m} > \frac{\alpha_d}{1 - \alpha_d}$  时,  $b_c^* < b_d^*$ ,延期

惩罚成本太高,这样CS会通过增加安全库存而尽可能地避免交货延期,从而转移价格也相应抬高.不言而喻的是,基于Stackelberg主从对策收益共享机制下的转移价格要高于基于两部制(two-part)收益共享机制下的转移价格.这样,AM可以通过激励CS降低转移价格,并按整体最优的方式保留安全库存而使双方都获利(见图5)。

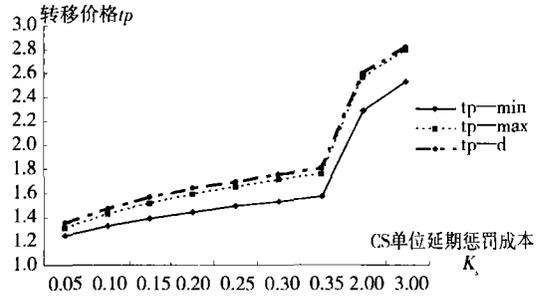


图5 CS单位延期惩罚成本变化效果图: $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_m = 0.2, K_s$ 从0.05变动到3。

Fig. 5 Effect of the CS' unit lateness penalty, Data:  $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_m = 0.2$ , where  $K_s$  is varied from 0.05 to 3.

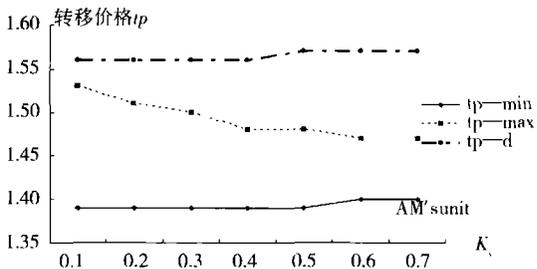


图6 AM单位缺货成本变化效果图: $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15, K_m$ 从0.1变动到0.7。

Fig. 6 Effect of the AM's unit out-of-stock cost, Data:  $\lambda = 3, P = 5, \beta = 0.03, C_s = C_m = 1.1, h = 0.2C_s, T_s = 2, \rho_s = 0.94, \rho_m = 0.7, K_s = 0.15$ , where  $K_m$  is varied from 0.1 to 0.7.

最后,就单位缺货成本 $K_m$ 对最优转移价格决策所产生的影响进行探讨.由于分散决策条件下,缺货成本由AM承担,而最优安全库存则由CS根据其期望收益最大化进行决策,这样,单位缺货成本变化对安全库存的影响相对较小,从而基于Stackelberg主从对策的转移价格也不会发生大的变化.但是对于供应链整体来说,最大转移价格随单位缺货成本的增加而降低,而最小转移价格则呈缓慢上升趋势,那么,为了赢得与AM之间的合作,CS不得不大大降低其转移价格(见图6)。

## 4 结束语

通过对两部制和基于 Stackelberg 收益共享决策机制下的数值结论进行比较可以发现,由于 CS 延期交货将会产生惩罚成本和缺货成本,受单位惩罚成本和单位缺货成本相对大小的影响,分散决策与供应链一体化方式下的安全库存孰大孰小并非既定:当单位惩罚成本相对较大,而单位缺货成本相对较小时,即使没有 AM 的强制性要求,CS 也希望尽可能多的保留库存,因此,为达到供应链整体最优,AM 应该激励 CS 减少安全库存;反之,当单位惩罚成本相对较小,AM 则应该激励 CS 增加安全库存。

本文的研究存在 3 个突出之处:1)以 MTO 供

应链库存协调为切入点,将价格、交货期和总成本之间的相互作用纳入决策模型,对其中的转移定价及其相关决策进行了探讨;2)除了库存持有成本之外,也将与 CS 延迟交货相关的延期惩罚成本和缺货成本纳入考虑,探讨其对供应链一体化和分散决策下的转移价格及其最优安全库存,从而为对分散决策进行优化的两部制决策机制提供借鉴思路;3)通过赋值考察 CS 和 AM,以及供应链整体的期望收益,从供应链整体最优的角度出发,对 CS 最优的承诺交货期及其相应的安全库存进行了探讨。需要说明的是,在研究过程中,本文假设平均库存持有量只受安全库存的影响,而与 CS 承诺的交货期无关,这是本文的不足之处,有兴趣的学者可以进行深入研究。

## 参 考 文 献:

- [1] Aviv Y, Federgruen A. The Benefits of Design for Postponement. In Quantitative Models for Supply Chain Management[C]. Tayur S, Ganeshan R, Magazine M. Editors. Kluwer Academic Publishers, 1999. 553—584.
- [2] Lee H L, Billington C. The evolution of supply chain management models and practice at Hewlett Packard[J]. Interfaces, 1995, 25(5): 42—63.
- [3] Waessara W. Coordination of Inventory Decision in Two-stage Capacitated Supply Chains with Lead-time Sensitive Revenues [D]. The University of Minnesota, 2003.
- [4] Cachon G, Zipkin P. Competitive and cooperative inventory policy in a two-stage supply chain[J]. Management Science, 1999, 45: 936—953.
- [5] Caldentey R, Wein L. Analysis of a decentralized production-inventory system[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2003, 5(1): 1—17.
- [6] Gerchak, Y, Wang Y, Coordination in Decentralized Assembly Systems with Random Demand[R]. INFORMS Salt Lake City, 2000.
- [7] 柳 键, 马士华. 供应链库存协调与优化模型研究[J]. 管理科学学报, 2004, 7(4): 1—8.  
Liu Jian, Ma Shi-hua. Research on model of supply chain inventory coordination and optimization[J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(4): 1—8. (in Chinese)
- [8] So K C, Song J S. Optimal Pricing, Lead Time and Capacity Expansion Decisions[R]. Working Paper. Graduate School of Management, University of California at Irvine, 1994.
- [9] Hill A, Khosla I. Models for optimal leadtime reduction[J]. Production and Operations Management, 1992, 1(2): 185—197.
- [10] Kondal Rao P, Steven E, Dean H K. Lead-time setting, capacity utilization, and pricing decisions under lead-time dependent demand[J]. IIE Transactions, 1998, 30: 151—163.
- [11] 杨文胜, 李 莉. 基于响应时间的供应链契约协同分析[J]. 系统工程学报, 2006, 21(1): 24—32.  
Yang Wen-sheng, Li Li. Response time based supply chain contract coordination[J]. Journal of Systems Engineering, 2006, 21(1): 24—32. (in Chinese)
- [12] Tsay A, Nahmias S, Agrawal N. A Review of Literature on Contracts in Supply Chain Management, in Quantitative Models for Supply Chain Management[C]. Tayur S, Magazine M, Ganeshan R, Editors. Kluwer Academic Publishers, 1999.

- [13] Gurdal E. Pricing Models for Two-Stage Supply Chains[D]. Georgia Institute of Technology, 2001.  
[14] Myerson R B. Game Theory: Analysis of Conflict[M]. Cambridge: Harvard University Press. 1991.

## Study on transfer pricing in supply chain based on delivery lead-time inventory optimization

FENG Hua<sup>1</sup>, CUI Yuan-feng<sup>2</sup>, MA Shi-hua<sup>3</sup>

1. Economics and Management School, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. School of Business Management, Zhongnan University of Economics and Laws, Wuhan 430074, China;
3. College of Management, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430070, China

**Abstract:** A delivery time sensitive two-player channel that operates in a make-to-order or assemble-to-order fashion has been studied by this article. Based on the Stackelberg and the two-part profit sharing pricing mechanisms, it analyzes the relatively optimal buffer size, transfer price, and the quoted delivery time that maximize revenues less total variable production costs, inventory holding costs, and the lateness penalty (or out-of-stock) costs. Further, the robustness of optimal decision contributions when the model parameters are mis-estimated has also been investigated. It is shown that the deviation of quoted delivery time, the lateness penalty and the out-of-stock cost may influence the channel total cost and the appropriate transfer pricing decisions, and further affect the supplier's optimal buffer size decision. However, the manufacturer can induce the supplier to choose channel optimal decisions by adopting a certain two-part profit sharing pricing mechanism.

~~~~~  
(上接第 34 页)

rules of knowledge energy under different gauges; the measurement gauge of knowledge space-time is used to analyze the quantitative features of the structural features of knowledge space-time in the techno-innovation network when a transfer occurs to knowledge as a vector and energy respectively. The result shows that the diversity of knowledge structure is a pre-condition for the presence of innovation network, and its characteristics can be illustrated by the corresponding curvatures of knowledge space-time. Moreover, the more an enterprise knows about the structural relations between the transferred knowledge and its counterpart's knowledge (and vice versa), or the greater the measurement gauge the transferred knowledge may internally have, the more the information flow in the process of knowledge transfer. On the other hand, the greater the difference enterprises may have from each other in the structural features of the transferred knowledge, the more difficulty there will be in information flow between them.

**Key words:** techno-innovation network; knowledge space-time; information; structure of measurement gauge; curvature of space-time