

文章编号: 1001-0920(2007)12-1421-04

基于信号传递博弈的供应链需求信息共享机制

侯琳琳, 邱菀华

(北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 在随机需求信息不对称情况下, 研究掌握市场需求信息的制造商如何设计契约以实现信息共享的问题. 运用信号传递博弈理论, 设计一种分离均衡的利润共享契约机制, 利润共享参数起到了传递信息的信号作用. 分析表明, 此契约机制不仅可以实现信息共享, 而且克服了以往研究中存在的不足, 同时实现了供应链系统绩效的最优化. 最后通过实例验证了所提出契约机制的有效性.

关键词: 供应链契约; 不对称信息; 信息共享; 信号传递模型

中图分类号: F22; TP14 **文献标识码:** A

Supply chain demand information sharing mechanism based on signaling game

HOU Lin-lin, QIU Wan-hua

(School of Economic and Management, Beihang University, Beijing 100083, China. Correspondent: HOU Lin-lin, E-mail: houlin_2008@163.com)

Abstract: How the manufacturer designs the contract to share information with the supplier under asymmetric demand information is studied. Based on signaling game theory, a profit-sharing contract of separating equilibrium is designed, where the profit-sharing parameter works as a signal to convey information. The analysis shows that the contract can not only achieve information sharing, but also overcome the lack in the disclosure literature and optimize the chain-wide performance. Finally, an example shows the validity of the proposed contract mechanism.

Key words: Supply chain contract; Asymmetric information; Information sharing; Signaling model

1 引言

供应链成员之间既需要紧密合作, 又是相互独立的经济实体. 这些经济实体追求自身利益, 各自为政的决策方式使得供应链失调, 产生双重边际化问题, 使系统收益受损. 为协调各企业行为和有效利用资源, 需采取一定的措施和机制, 对供应链成员间的交易进行安排, 实现供应链的协调.

对于供应链的协调问题, 人们普遍采用供应链契约来解决. 关于如何设计供应链契约以协调供应链的问题, 迄今已取得了大量研究成果. 有关供应链契约的研究^[1, 2], 大多数是基于对称信息假设的, 而实际中信息经常是不对称的. 有些文献在研究信息共享时, 直接假设得到信息的一方总是相信对方传达的信息, 这与实际并不符合. 近几年, 此问题开始受到人们越来越多的关注, 已成为供应链契约研究领域的一个发展方向.

文献[3]研究了零售商的成本为私有信息时, 供应商的最优退货策略; 文献[4]研究了制造商生产成本为私有信息时, 零售商契约菜单设计问题; 文献[5]研究了分销商存贮费为私有信息时, 供应商如何设计数量折扣契约菜单; 文献[6]研究了买方库存成本为私有信息时, 卖方如何设计退货契约菜单; 文献[7]研究了需求信息为买方私有信息时, 卖方如何设计数量折扣契约; 文献[8]研究了买方的边际成本为私有信息时, 卖方如何设计契约菜单的问题.

以上文献研究的契约都是由不拥有信息方提供的, 根据直接揭示原理提供契约菜单, 供信息拥有方选择, 诱使其对号入座, 实现信息共享, 这些契约模型属于信息甄别模型. 另一类解决信息不对称问题的模型属于信号传递模型, 契约由信息拥有方提供, 通过契约向不拥有信息方传达真实信息, 并使之相信, 达到信息共享的目的. 实际中经常会遇到拥有信

收稿日期: 2006-09-13; 修回日期: 2006-11-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70372011); 高校博士点专项科研基金项目(20030006009).

作者简介: 侯琳琳(1979—), 女, 河北衡水人, 博士生, 从事物流及供应链等研究; 邱菀华(1946—), 女, 江西临川人, 教授, 博士生导师, 从事决策理论、项目管理理论等研究.

息方制定契约的情况,而目前研究供应链契约信号传递模型的文献还很少见.文献[9]分别讨论了在强制服从和自愿服从两种机制下,拥有市场需求信息的制造商如何设计契约,实现需求信息的共享,以保证供应商进行足量的生产,构建的契约机制类似于期权契约.文献[10]研究了制造商生产成本为私有信息时,如何利用批发价契约达到信息共享的目的.文献[11]运用信号博弈理论设计相应的期权契约,拥有市场需求信息的零售商可通过期权购买量,向供应商传递真实的市场需求信息,实现信息的共享.上述文献在构建契约机制的过程中只考虑了如何实现信息共享,并没有考虑到供应链系统收益,其结果虽实现了信息共享的目的,但系统收益未达到最优.

本文在自愿服从机制假设下,基于信号传递博弈理论建立一个信号传递模型,设计了一种新的交纳预订金的利润共享契约机制.研究表明,此契约机制不仅可以达到共享信息的目的,而且可以使供应链系统的绩效达到最优.这也是与其他文献最大的不同,已有的契约设计虽然实现了共享信息的目的,但系统的绩效却不是最优的.

2 问题描述

本文讨论由一个供应商与一个制造商组成的单一产品的两级供应链系统.某制造商开发出一种新产品,产品价格外生,产品具有生产提前期长而销售周期相对比较短的特点.制造商无法自行生产产品所需的某种关键零部件,只能选择一家潜在的供应商,通过制定契约实现交易.这里假设制造商属于优势企业,供应商没有讨价还价的能力,对于制造商提供的契约要么接受,要么不接受.供应商的保留收益为 \bar{v} ,如果收益不小于 \bar{v} 则接受.

市场需求 $D > 0$ 为随参数 θ 递增的随机变量,服从密度函数为 $f(x)$ 和分布函数为 $F(x)$ 的分布,其中 θ 是参数. $F(x)$ 递增、可微,且一阶随机占优,即当 $\theta < \theta'$ 时,满足 $F(x) > F'(x)$.制造商距离市场更近,知道分布参数 θ ,而供应商并不知道确切的参数.本文假设除市场需求预测信息外,其他相关信息均为对称信息,属于共同知识.为讨论方便,假设市场需求存在高需求和低需求两种状态,即

$\theta \in \{h, l\}$, $h > l$, 市场需求高时 $\theta = h$, 需求低时 $\theta = l$. 制造商知道参数 θ 的真实值,故 θ 值代表着制造商的类型, h 型制造商面临的需求为 D_h , l 型制造商面临的需求为 D_l . 在制造商提供契约之前,供应商对市场需求有自己的预测,认为市场需求为 D_h 的概率为 $\alpha \in (0, 1)$, 市场需求为 D_l 的概率为 $1 - \alpha$, 是共同知识.

如果供应商接受契约,则系统的交易过程可分

为2个阶段:第1阶段,制造商提供契约,宣布需求预测信息,预订货 q , 每单位支付订金 w_0 . 在自愿服从机制下,供应商修订对需求的认识,决定生产量 K , 其单位生产成本为 c_s ; 第2阶段,制造商观察到需求 D 后,根据实际需求确定最终订货并取货,规定最终订货量不能超过最初订货量,制造商的单位生产成本为 c_M , 供应商剩余产品的残值为0.

一般契约下,制造商的收益随供应商修订的值的增加而增加.因为 q 越大,供应商决定生产的量越大,制造商满足实际市场需求的可能性越大,收益也越大,所以低需求型制造商可能会受利益诱惑,谎称市场是高需求的.理性的供应商对制造商的乐观预测是持有怀疑态度的,除非制造商传达的预测信息的可信度得到其提供的契约条款的支持.因此,高需求的制造商的契约设计更加复杂.

为使供应商相信其传达的高需求的预测信息是真实的,实现信息的共享,高需求型制造商提供的契约条款必须排除低需求型制造商撒谎而提供同样契约的可能性;同时为使供应商接受契约,还必须在满足自己利益的同时不损害供应商的利益.最终结果应该是:高需求型制造商设计的契约条款是低需求型制造商不愿意提供的,只有真正面临高需求的制造商才会提供这样的契约.在设计这样的契约前,为了建立比较的基准,本文先分析对称信息时集中决策下的供应链系统.

3 对称信息下集中式供应链模型

在对称信息下,供应商和制造商均知道 θ 的真实值.集中控制下,供应链系统的决策变量只是供应商的生产量 $K \geq 0$. 由于制造商观察到真实需求后才最终订货,市场的期望销售量可表示为

$$S(K) = K - E[(K - D)^+] = K - \int_0^K F(x) dx, \quad (1)$$

其中符号 $(x)^+ = \max\{x, 0\}$.

供应链系统的期望总收益可表示为

$$\pi(K) = (p - c_M)S(K) - c_s K. \quad (2)$$

其一阶条件和二阶导数分别为

$$\frac{d\pi(K)}{dK} = (p - c_M)(1 - F(K)) - c_s = 0, \quad (3)$$

$$\frac{d^2\pi(K)}{dK^2} = -f(K)(p - c_M) < 0. \quad (4)$$

由式(4)可知, $\pi(K)$ 是关于 K 的凹函数,则最优的生产量 K^* 满足式(3),得

$$K^* = \bar{F}^{-1}\left(\frac{c_s}{p - c_M}\right),$$

其中 $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$. 此时供应链系统收益最

大. 最优的供应链系统期望收益为

$$(K^*) = (p - c_M) S(K^*) - c_s K^* .$$

4 非对称信息下的信息共享机制设计

非对称信息下, 契约的设计过程可看成是供应商与制造商之间的信号博弈过程, 契约中的参数便是正确传达需求预测信息的信号, 最终可以形成两种类型的信号均衡: 混合均衡和分离均衡. 混合均衡下, 契约要么由低需求型的制造商提供, 要么由两种类型的制造商任何一个提供; 分离均衡下, 不同需求类型的制造商提供不同的契约. 在混合均衡下, 供应商从制造商提供的契约内得不到任何有用的需求信息, 而在分离均衡下, 供应商可通过观测制造商提供的契约而获得真实的需求预测信息, 从而将先验概率升级到 1 或 0, 达到信息共享的目的.

本文设计了一种存在分离均衡的利润共享契约, 其中利润共享系数是传达信息的信号. 此契约不仅可实现共享需求信息的目的, 而且克服了以往研究中的不足, 实现了系统的最优协调, 即达到了对称信息下的最优系统收益.

4.1 利润共享契约描述

在此契约机制下, 供应链系统交易过程如下:

第 1 阶段: 制造商提供契约, 宣布需求类型并预订货 q , 支付订金 $q w_0$; 供应商观察到契约后, 调整其对市场需求的预测, 并据此安排生产量 K .

第 2 阶段: 制造商观察到实际需求 D 后, 根据实际需求量最终订货 $\min\{D, q\}$, 最终能取到出货量 $q_f = \min\{D, K\}$.

契约规定, 如果供应商未按预订量生产, 在销售季节过后退回未生产量的订货款(这里假设在销售期末供应商的实际生产量可以被制造商证实. 比如, 如果 $K < q$, 当实际需求 $D > q_f$ 时, 供应商无法提供 q_f , 只能提供 K , 此时直接得到证实, 或要求供应商出示最后剩余产品量为 $q - D$ 的证据, 或由制造商去核实. 在该契约下, 实际交易过程中并不需要验证供应商的生产量, 原因见下文分析). 最后, 供应商和制造商共享销售利润, 制造商返还其所得利润的 $(1 - \alpha)$ 比例给供应商.

4.2 利润共享契约模型分析

在自愿服从机制下, 供应商可以不按制造商的最初订货量安排生产, 而是追求自身利益最大化安排生产量 $K < q$. 假设在契约安排下供应商的生产量为 K , 则 l 类型制造商的期望收益表示为

$$M = (p - c_M) S(K) - w_0 K, \tag{5}$$

供应商的期望收益表示为

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}(K) = & \\ (1 - \alpha) & (p - c_M) S(K) - c_s K + w_0 K = \end{aligned}$$

$$(1 - \alpha) (p - c_M) S(K) - (1 - \frac{w_0}{c_s}) c_s K. \tag{6}$$

其中: $\hat{\lambda}$ 是供应商观察契约后确定的需求类型, $\hat{\lambda} \in \{l, h, A\}$, A 值由 α 值确定.

供应商的保留收益 $\hat{\lambda}$ 为共同知识, 只要供应商的收益不小于 $\hat{\lambda}$ 就接受契约. 显然, 供应链内占优势地位的制造商肯定试图通过契约条款的规定, 使供应商接受契约并只得到 $\hat{\lambda}$ 的份额, 从而占有供应链系统收益的较大份额 $(K) - \hat{\lambda}$. 由上文分析可知, 只有当供应商的生产量 $K = K^*$ 时, (K) 达到最大值, 制造商的收益达到最大. 因此, 其制定的契约参数, 应诱使供应商相信市场类型为 l , 并相应提供产品量为 K^* . 通过观察, 当规定每单位预订货支付的订金 $w_0 = c_s$ 时, 式(5)和(6)分别变形为

$$\begin{aligned} M(K) = & \\ (p - c_M) S(K) - & c_s K = \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}(K) = & \\ (1 - \alpha) (p - c_M) S(K) - & (1 - \alpha) c_s K = \\ (1 - \alpha) & \hat{\lambda}(K). \end{aligned} \tag{8}$$

由此可以看出, 如此规定预订货订金可使供应商的利益与系统利益保持一致. 在 α 给定后, 制造商和供应商的期望收益是由系统的期望收益决定的. 由上节对供应链系统收益的分析可知, 如果 $\hat{\lambda} = l$, 理性供应商的最佳生产量决策为 $K = K^*$; 否则 $K_l^* < K < K_h^*$, 具体数值由修订后的 α 值确定. 制造商要想获得最大的收益, 必须如实宣布需求类型, 并使供应商相信其是真的.

本文设计了分离均衡的利润共享契约机制, 可实现信息共享. 契约参数即信号 α 设计如下:

l 型制造商提供参数为

$$\alpha_l = 1 - \frac{\hat{\lambda}}{l(K_l^*)} .$$

h 型制造商提供参数为

$$\alpha_h = \min\{\alpha_l, \alpha_h\} .$$

其中

$$\alpha_h = 1 - \frac{\hat{\lambda}}{h(K_h^*)} , \alpha_l = \frac{l(K_l^*) - \hat{\lambda}}{l(K_h^*)} .$$

高需求型制造商选择参数 α_h , 低需求型制造商选择参数 α_l , 以此向供应商传达信息. 由于 $l(K_l^*) < l(K_h^*) < h(K_h^*)$, 显然 $\alpha_h > \alpha_l$.

制造商上述契约机制的安排会使供应商相信其传达的信息是真实的. 因为在这样的契约安排下, 供应商分析可知制造商如实宣布需求信息才能获得最大的收益. 否则, 如果 h 型制造商谎称为 l 型, 选择参数 α_l , 由于 $\alpha_h > \alpha_l$ 和 $h(K_l^*) < h(K_h^*)$, 此时其期望收益为 $\alpha_l h(K_l^*)$, 肯定小于其如实宣布信息时

可获得的期望收益 $S_h(K_h^*)$; 如果 l 型制造商谎称为 h 型, 选择参数 h , 则其期望收益为 $S_h(K_h^*)$, 当 $h = h < h$ 时, 其期望收益为 $S_h(K_h^*) = S_l(K_l^*) - \Delta$, 恰好是其如实宣布自己类型时所能获得的最大收益, 当 $h = h < h$ 时, 则其收益为 $S_h(K_h^*) < S_l(K_l^*) - \Delta$. 分析可见, 制造商没有撒谎的动机.

从以上分析可知, 此契约是分离均衡的, 供应商接受契约情况下, 制造商会如实宣布市场的需求类型, 供应商相信其说的是真话, 其最佳生产量为 K^* . 因此, 当 l 型制造商最初订量 $q = K^*$ 时, 供应商便会自觉按照订货量进行生产. 这样, 在销售季节末则无需验证供应商的生产量, 无预付款返还.

在此契约机制下, 供应商在市场需求低时生产 K_l^* 获得最大期望收益为 Δ , 高需求时生产 K_h^* ; 当 $h < h$ 时获得最大收益仍为 Δ ; 而当 $h < h$ 时, 获得的期望收益大于 Δ , 这也是高需求制造商为共享信息并使供应商接受契约而付出的代价.

综上所述, 本文设计的支付订金的利润共享契约机制能起到共享需求信息的作用, 解决了信息不对称所产生的问题, 并能够实现供应链的协调.

5 实例分析

某由供应商与制造商组成的两级供应链系统内, 已知产品价格 $p = 3$, 供应商单位成本 $c_s = 1.0$, 制造商单位成本 $c_m = 0.5$, 供应商的保留收益 $\Delta = 20$. 市场需求在区间 $[0, J]$ 服从均匀分布, 市场需求低时 $l = 100$, 市场需求高时 $h = 150$.

利用相应公式, 可计算出下列各量, 见表 1.

表 1 计算所得各量的值

K_l^*	K_h^*	$S_l(K_l^*)$	$S_l(K_h^*)$	$S_h(K_h^*)$
60.0	90.0	42.0	49.5	63.0
$S_h(K_l^*)$	$S_l(K_l^*)$	$S_l(K_h^*)$	$S_h(K_h^*)$	$S_h(K_l^*)$
48.0	45.0	33.75	135.0	75.0

按本文设计的契约机制, 低需求型制造商规定利润分享系数 $\alpha_l = 0.56$, 预订货量为 60, 支付每单位预订货的订金为 $w_0 = \alpha_l c_s = 0.56$. 高需求型制造商则规定利润分享系数为 $\alpha_h = \min\{\alpha_l, \alpha_h\} = \min\{0.85, 0.74\} = 0.74$, 预订货量为 90, 支付每单位预订货的订金 $w_0 = 0.74$. 当市场低需求时, 供应商的期望收益为 $S_l^s = (1 - \alpha_l) S_l(K_l^*) = 20 = \Delta$, 制造商占有除供应商保留收益外的全部系统收益为 25. 若谎称市场是高需求的, 则制造商获得的期望收益为 $33.75 \times 0.74 - 24.98 < 25$, 高需求时供应商的收益 $S_h^s = (1 - \alpha_h) S_h(K_h^*) = 35.1 > 20$, 制造商的期望收益为 $135 - 35.1 = 99.9$. 若谎称市场低需

求, 则获得的利润为 $75.0 \times 0.56 = 42.0 < 99.9$.

以上数据例证了本文的分析, 在该契约下制造商没有撒谎的动机, 供应商相信其说的是真话, 并会按照最初订货量生产, 系统的收益实现最优. 但在这个信号博弈过程中, 高需求型制造商为传递信号实现信息共享付出了代价, 代价为 15.1, 从而供应商除保留收益 20 外还将获得 15.1 的收益.

6 结 语

需求信息不对称往往导致供应链系统效率低下, 因而研究实现信息共享的方法具有重要意义. 本文讨论了由一个供应商与一个制造商组成的两级单周期供应链系统, 运用信号传递博弈理论, 研究了自愿服从机制下由拥有信息方提供契约的信号传递问题. 本文设计的利润共享契约是分离均衡的, 该契约下制造商没有撒谎的动机, 契约参数是传达信息的信号, 在该契约机制下不仅可以实现供应链需求信息的共享, 而且能够保证系统的协调, 系统收益达到最优. 但本文仅研究了非对称信息下两级供应链系统的信息共享及系统协调问题, 对于多级供应链的情况还有待更深入的研究.

参考文献(References)

- [1] Cachon G. Supply chain coordination with contracts [M]. Amsterdam: North Holland Press, 2003.
- [2] Tsay A, Nahmias S. Modeling supply chain contracts: A review [C]. Quantitative Models for Supply Chain Management. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [3] 索寒生, 金以慧. 非对称信息下供需链中供应商的回购决策分析[J]. 控制与决策, 2004, 19(3): 335-338.
(Suo Han-sheng, Jin Yi-hui. Supplier's optimal buy back decision under asymmetric information in a two-stage supply chain[J]. Control and Decision, 2004, 19(3): 335-338.)
- [4] 姬小利. 生产成本信息不对称下的供应链契约设计问题研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2006, 21(1): 64-67.
(Ji Xiao-li. Supply chain contract designing under asymmetric producing cost information[J]. J of Hu 'nan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2006, 21(1): 64-67.)
- [5] 郭敏, 王红卫. "批对批"供应链在信息不对称下的协调机制[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(2): 152-156.
(Guo Min, Wang Hong-wei. Coordination mechanism in a lot-for-lot supply chain under asymmetric information [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(2): 152-156.)

(下转第 1428 页)

表 1 反应器部分测试数据和预测结果(部分)

2FC1302	2FC1304	2FC1305	2FC1306	2TII302	2QII306	2QII304	2TII302_ REAL	2QII306_ REAL	2QII304_ REAL
49.263 6	11 988.823	12 000.299	7.618 399	194.324 0	4.535 281	1.938 586	194.305 6	4.525 177	1.939 644
49.359 8	11 962.689	11 953.086	7.621 44	194.232 6	4.522 707	1.938 803	194.199 9	4.526 402	1.937 827
48.686 1	11 987.439	11 988.183	7.574 075	194.158 3	4.530 679	1.937 381	194.164 9	4.530 469	1.937 694
48.664 4	12 005.299	12 003.660	7.581 643	194.175 3	4.541 925	1.933 688	194.171 2	4.539 579	1.933 875
48.806 4	12 005.813	11 995.109	7.569 448	194.193 6	4.487 464	1.933 651	194.164 9	4.490 992	1.933 156
48.968 6	12 018.001	12 000.028	7.595 889	194.207 8	4.451 073	1.938 601	194.223 1	4.451 467	1.938 894
49.409 4	12 016.457	11 984.801	7.594 652	194.180 6	4.492 686	1.938 491	194.146 8	4.485 935	1.939 001

6 结 语

本文建立的时变输入输出过程神经网络的聚合运算和激励机制,能同时反映外部时变输入信号的空间聚合作用和输入过程中的阶段时间累积效应.所建立的网络模型对时变信息具有较强的非线性变换能力,可实现动态系统输入/输出之间的非线性实时映射关系,拓宽了人工神经网络^[3,4]的应用领域.

参考文献(References)

- [1] He Xir-gui, Liang Jiuzhen. Process neural networks [C]. World Computer Congress 2000, Proc of Conf on Intelligent Information Processing. Beijing, 2000: 143-146.
- [2] 柳重堪. 正交函数及其应用[M]. 北京:国防工业出版社, 1982.
(Liu Chong-kan. Orthogonal functions and applications [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1982.)
- [3] McCulloch W S, Pitts W H. A logical calculus of the ideas immanent in neuron activity [J]. Bulletin Mathematical Biophysics, 1943, 5(1): 115-133.
- [4] Zhang Li I, Tao Huizhong W, Holt C E, et al. A critical window for cooperation and competition among developing retinotectal synapses[J]. Nature, 1998, 395(3): 37-44.
- [6] Charles J Corbett, Xavier de Groote. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information[J]. Management Science, 2000, 46(3): 444-450.
- [7] Apostolos Burnetas, Stephen M Gilbert, Craig Smith. Quantity discounts in single period supply contracts with asymmetric demand Information [DB/OL]. (2005-08-13). <http://ssrn.com/abstract/788109>.
- [8] Albert Y Ha. Supplier-buyer contracting: Asymmetric cost information and cutoff level policy for buyer participation[J]. Naval Research Logistics, 2001, 48: 41-64.
- [9] Cachon G, Lariviere M A. Contracting to assure supply: How to share demand forecasts in a supply chain[J]. Management Science, 2001, 47(5): 629-646.
- [10] 唐宏祥, 何建敏, 刘春林. 非对称需求信息条件下的供应链信息共享机制[J]. 系统工程学报, 2004, 19(6): 589-595.
(Tang Hong-xiang, He Jian-min, Liu Chun-lin. Supply chain information sharing mechanism under the condition of asymmetric demand information[J]. J of Systems Engineering, 2004, 19(6): 589-595.)
- [11] 郭琼, 杨德礼. 需求信息不对称下基于期权的供应链协作机制的研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(9): 1466-1471.
(Guo Qiong, Yang De-li. Supply chain coordination mechanism with option under asymmetric demand information[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(9): 1466-1471.)
- [12] Charles J Corbett, Deming Zhou, Christopher S Tang. Designing supply contracts: Contract type and information asymmetry [J]. Management Science, 2004, 50(4): 550-559.

(上接第 1424 页)