

道德风险和逆向选择共存下的双向激励契约^①

程红¹, 汪贤裕^{2*}, 郭红梅², 黄梅萍³

(1. 成都理工大学管理科学学院, 成都 610059; 2. 四川大学商学院, 成都 610065;
3. 福州大学土木工程学院, 福州 350108)

摘要: 道德风险和逆向选择的共存降低了供应链的效率. 因此, 针对核心企业缺失的供应链, 根据供应链企业竞争与合作的特点, 从虚拟第三方的角度建立模型解决该问题. 考虑制造商有关于产品成本的私人信息, 销售商有关于销售努力的私人信息, 结合数量折扣契约和 AGV 机制的思想, 建立双向激励模型, 以实现供应链企业的激励和协调. 结果表明, 恰当设置利润调整参数可使该契约满足预算平衡约束、激励约束和个体理性约束, 且能够实现一体化供应链的交易量. 即该契约能对核心企业缺失下供应链中同时存在道德风险和逆向选择的问题进行激励和协调. 最后, 用数值算例验证了理论结论.

关键词: 双向激励; 道德风险; 逆向选择; 虚拟第三方; AGV 机制

中图分类号: F224; O225 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2016)12-0036-11

0 引言

现代商业竞争不但是企业与企业之间的竞争, 还是供应链与供应链之间的竞争. 高效率的供应链将具有更强的竞争力, 因此供应链内各个企业均有提高供应链效率和增强供应链竞争力的共同意愿. 但是, 位于供应链不同节点的企业具有不同的信息优势, 作为独立的利益主体, 交易双方均有动机利用这些信息优势最大化自身的利益, 而不愿共享信息使供应链的利润最大. 因此, 在供应链中广泛存在交易双方信息的不对称. 双方信息不对称可能会导致双方道德风险问题、双方逆向选择问题和一方存在道德风险的同时另一方存在逆向选择的双向不对称问题.

在以往的研究中, 为解决信息不对称问题, 往往将供应链中的核心企业视作激励主体(委托人), 运用激励理论从核心企业的角度设计契约. 然而, 当供应链上各个主体的地位相当时(即缺

乏核心企业时), 应如何确定供应链的激励主体, 从什么角度设计契约和如何设计契约将是研究的重点. 对缺乏核心企业时的双向道德风险和双向逆向选择问题均有研究, 双向不对称问题的研究还不足, 而该问题在供应链交易中也普遍存在. 例如某电器制造商和电器零售卖场, 制造商可隐匿产品成本的私人信息引发逆向选择问题, 零售商可隐藏促销销售努力的私人信息引发道德风险问题. 他们不仅双方都具有不对称信息导致的风险问题, 且其在供应链中有大致等同的地位和谈判力量, 导致激励主体的缺失. 本文则针对这类情况, 从虚拟第三方的角度建立激励机制, 解决激励主体缺乏时的双向不对称问题, 提高供应链的效率.

1 文献综述

Laffont 和 Martimort^[1] 针对单方不对称信息而搭建的委托代理框架为不对称信息下的激励契

① 收稿日期: 2014-04-04; 修订日期: 2015-07-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71071103); 教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(14YJC630020; 13YJC630053; 13XJC630014); 成都理工大学优秀科研团队资助项目(KYTD201406).

通信作者: 汪贤裕(1947—), 男, 江苏苏州人, 教授, 博士生导师. Email: ww08ww@163.com

约和机制研究奠定了基础. 在此基础上, Holmstrom^[2] 研究了团队道德风险, 曹柬等^[3] 则研究了代理人既有道德风险和逆向选择的情况, 为解决供应链中双方信息不对称情况下的道德风险和逆向选择问题提供了一定的基础.

关于双向道德风险问题的研究, 最初是在佃农耕作和特许经营等背景下被提出的. 具有代表性的是 Bhattacharyya 和 Lafontaine^[4] 从特许经营授权者的角度建立委托代理模型, 通过由产出共享和固定的转移费用实现激励. 此后, 李丽君等^[5] 建立销售商主导的激励模型寻求最佳的惩罚契约, 张旭梅等^[6] 建立制造商主导的激励模型寻求最佳的收益分享契约, 以降低双向道德风险. Corbett 等^[7] 研究供应链双方所付出的努力会降低产品的消耗量时的双向道德风险问题, 证明节约收益共享契约可实现对双方的激励, 提高了供应链的利润. Hihara^[8] 运用风险分担契约抑制双向道德风险的负面作用. 代建生等^[9] 研究了收益共享契约和线性契约实现供应链的协调. 近来出现了多方面的扩张研究, 例如 Zhou 等^[10] 延伸到消费者具有学习能力的供应链, 申强等^[11] 对比研究了在外部损失分担和内部惩罚下的契约的协调性和公平性. 众多的研究表明, 解决双向道德风险提高供应链效率的方法非常多, 而收益共享契约和数量折扣契约则是解决该问题的常用且有效的契约.

针对双向逆向选择的研究要更曲折. 能够解决双向逆向选择问题的契约需要满足 3 类约束: 激励相容约束、个体理性约束和预算平衡约束. 最初的 VCG (Vickrey - Clarke - Groves)^[12-14] 双向拍卖机制能够在激励相容约束的情况下实现谈判双方有效率的交易, 但该机制有效率的代价是预算平衡约束不被满足. d'Aspremont 和 Gérard-Varet^[15] 与 Arrow^[16] 等在 VCG 机制的基础上提出的 AGV 机制能够实现满足预算平衡约束条件下对交易双方的激励. 在该机制下, 每个代理人的所得是其他代理人的剩余对该代理人的报告取条件期望而得的期望值. 但该机制设计中仅考虑了激励相容约束和预算平衡约束, 并没有讨论参与约束. Babaioff 和 Walsh^[17]、Egri 和 Vánca^[18] 等在 VCG 和 AGV 机制的基础上, 针对供应链双边逆

向选择的情况, 设计了类似但并不完全相同的转移支付, 提升了供应链的效率, 甚至实现了供应链的协调, 重要的是, 能够同时满足预算平衡约束、个体理性约束和激励相容约束. Lei 等^[19] 在供应链双方各自有离散的需求和成本扰动信息的情况下, 运用委托代理理论分别从双方的角度分析了最优契约及其相关性质. 陈志洪等^[20] 针对买方偏好和卖方质量的不对称信息, 研究初始叫价显示质量的情况下的分离均衡, 分析不同条件下的叫价策略. Wei 等^[21] 运用 Stackelberg 博弈模型对交易双方分别作为供应链主体的批发价格、零售价格和回收率进行对比分析. 马俊等^[22] 针对多个供应商的边际成本和单个买者的处理成本均为私人信息的情况研究其协调问题, 证明在有信息中介的二部合同拍卖机制下系统可以达到渠道协调. 文献 [23, 24] 针对缺乏激励主体的情况, 提出了不占有利润的利他委托人. 王新辉等^[25] 在制造商和销售商双方成本均为私人信息的情况下, 引入不占有利润的利他委托人, 运用 AGV 机制的思想设计恰当的转移支付, 在满足预算平衡约束、激励约束和个体理性约束的同时实现揭示信息和协调供应链的目的, 文献 [26] 表明该方法在风险规避的情况下仍然能够实现激励和协调.

供应链中制造商具有关于产品生产成本的私人信息, 销售商具有关于其所付出销售努力的私人信息, 这就产生双向不对称问题. 针对该问题的研究非常少. 黄梅萍等^[27] 对该问题的研究实质上是分别站在供应链上游和下游企业的角度进行激励, 然后将两个不同角度的激励契约进行合并. 而另外两个激励契约中的可观察变量有差异, 不能够简单合并. 文献 [28, 29] 针对激励主体缺乏的情况构建的另外两个激励模型中, 转移支付是不可观察变量的函数, 导致契约无法执行. 关于双向不对称问题最新的研究则仅关注参数对最优激励契约的影响而不讨论协调^[30]. 除此之外, 尚未见到其他文献对此进行研究. 由于现有研究对双向不对称问题讨论不足, 因此, 本文试图对该部分做一个弥补.

综上所述, 收益共享契约和数量折扣契约可解决双向道德风险问题和实现供应链协调; AGV

机制和 VCG 机制的一些改进策略可解决双向逆向选择问题和实现供应链协调. 这两类不对称信息下的激励契约机制的本质思想都是运用转移支付使供应链中的个体决策能够与供应链整体决策一致. 但单独使用任何一种情况下的契约均无法解决双向不对称问题——一边存在道德风险一边存在逆向选择的问题. 而且在激励主体缺乏的情况下, 引入没有自己利益和成本的利他委托人或虚拟第三方可提高整体利益. 所以, 考虑供应链企业竞争与合作的特点, 本文将从虚拟第三方的角度, 综合运用数量折扣契约和 AGV 机制的思想建立双向激励模型, 寻求满足激励约束、预算平衡约束和参与约束的契约机制, 从而解决供应链中双向不对称问题的同时, 达到供应链协调的目的. 并通过设置利益调整参数来保证参与者的个体理性约束被满足. 最后用数值算例验证了所提出契约机制的有效激励和利益调整参数的恰当设置.

2 问题描述与假设

本文考虑由 1 个制造商和 1 个销售商组成的二级供应链. 销售商向制造商订购 q 单位报童类型的商品, 制造商以总价 $T(\cdot)$ 为其提供该商品, 销售商则以价格 p 在产品市场销售. 产品市场的需求 y 是随机的, 密度函数为 $g(y)$, 且 $g(y) > 0$, 其分布函数 $G(y)$ 是连续的.

制造商的生产成本 c 是其私人信息. 销售商和其他任何个人或组织仅知道 c 的分布区间是 $[c, \bar{c}]$, 以及在该区间上的分布函数 $F(c)$ 和密度函数 $f(c)$. 制造商为了最大化自身利益而谎报成本信息, 从而给销售商带来利润损失, 即产生逆向选择问题. 销售商的销售努力程度 e 是其私人信息. 销售商会不顾供应链上其他成员对努力程度的要求, 付出最大化自身利润的最佳努力程度, 即产生道德风险问题. 所以, 该供应链同时存在关于制造商的逆向选择问题和销售商的道德风险问题. 本文其他假设如下.

1) 制造商和销售商的谈判力量相当, 任何一方均不占有绝对优势地位, 即缺乏激励主体; 制造商和销售商均为风险中性.

2) 期末未销售出去的产品的残值为 0.

3) 销售商为销售产品所付出的努力程度 e 通过影响产品市场需求 y 的分布情况而影响产品最终的销售情况. 即在销售商付出努力程度 e 时产品市场需求的分布函数为 $G(y|e)$, 密度函数为 $g(y|e)$. 同诸多文献一样, 令 $\frac{\partial G}{\partial e} < 0$ 和 $\frac{\partial^2 G}{\partial e^2} > 0$ ^[1, 31].

4) $\psi(e)$ 是销售商付出努力程度 e 时的成本函数. 如同诸多其他文献的设定, $\psi(e)$ 是递增的凸函数, 即有 $\frac{d\psi}{de} > 0$ 和 $\frac{d^2\psi}{de^2} > 0$ ^[32].

5) 要求

$$\left[p \int_0^q \frac{\partial^2 G(y|e)}{\partial e^2} dy + \frac{d^2\psi(e)}{de^2} \right] pg(q|e) - p^2 \left[\frac{\partial G(q|e)}{\partial e} \right]^2 > 0$$

以保证一体化供应链利润函数的 Hessian 矩阵严格负定, 使该一体化供应链的利润函数有最优解. 一些经典文献也暗含类似假设^[31].

3 对称信息下的一体化决策

供应链协调是供应链最高效率的体现, 是契约设计的最终目标. 为给出本文协调的标准和方便后文讨论, 这里考虑对称信息下的一体化供应链的决策.

在对称信息环境下, 一体化供应链的期望收入为

$$\Pi(q, e) = pS(q, e) - \psi(e) - cq \quad (1)$$

其中 $S(q, e) = q - \int_0^q G(y|e) dy$.

供应链选择恰当的产品生产量 q 和付出恰当的努力水平 e , 以最大化自身的利益. 由式(1)有 $\frac{\partial^2 \Pi(q, e)}{\partial q^2} < 0$ 和 $\frac{\partial^2 \Pi(q, e)}{\partial e^2} < 0$. 所以当式(1)的 Hessian 矩阵的行列式大于零时, 有最大值, 即当下式满足时一体化供应链的利润有最大值

$$\left[p \int_0^q \frac{\partial^2 G(y|e)}{\partial e^2} dy + \frac{d^2\psi(e)}{de^2} \right] pg(q|e) - p^2 \left[\frac{\partial G(q|e)}{\partial e} \right]^2 > 0 \quad (2)$$

本文已假设上式成立, 因此根据一阶条件可

以得到一体化供应链的期望收入 $\Pi(q, e)$ 取得最大值时所对应的最优解. 由其一阶条件可知最优解 $e^{(0)}(c)$, $q^{(0)}(c)$ 是以下两式构成的方程组的解.

$$\int_0^{q^{(0)}(c)} \frac{\partial G(y | e^{(0)}(c))}{\partial e^{(0)}(c)} dy + \frac{1}{p} \frac{d\psi(e^{(0)}(c))}{de^{(0)}(c)} = 0 \quad (3)$$

$$p(1 - G(q^{(0)}(c) | e^{(0)}(c))) - c = 0 \quad (4)$$

式 (3) 和式 (4) 联立求解即可得到 $e^{(0)}(c)$ 和 $q^{(0)}(c)$, 它们均是 c 的函数. 因此当制造商的单位生产成本 c 确定之后, 销售商的最优努力程度 $e^{(0)}(c)$ 和供应链的最优交易量 $q^{(0)}(c)$ 也随之确定.

4 不对称信息下的双向激励

供应链中的制造商和销售商都是有私人信息的独立的利益个体, 但供应链是竞争与合作的统一体, 作为其组成部分, 制造商和销售商也有合作以创造更大利润的愿望. 所以从合作的角度出发设计契约, 然后对合作的利润进行分配. 针对缺乏激励主体的情况, 引入虚拟第三方作为激励主体, 结合 AGV 机制和数量折扣契约的思想, 设计契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 对供应链交易中的制造商和销售商进行激励, 使双方的行为选择符合供应链的期望. 此处的虚拟第三方不占有任何利润, 不产生任何成本, 是为阐述契约设计的角度而提出的, 体现了供应链交易双方的合作意愿和从供应链的角度协商制定契约. 契约中的 \hat{c} 是制造商报告的成本值; $q^{(0)}(\hat{c})$ 是虚拟第三方给出的指导交易量; $e^{(0)}(\hat{c})$ 是虚拟第三方给出的销售商的指导努力程度; $T(q(\cdot), \hat{c})$ 是销售商支付给制造商的转移支付. 为了保证双方的参与约束满足, 转移支付 $T(q(\cdot), \hat{c})$ 的表达式中包含有常量参数 A , 用以调节制造商和销售商的利润分配. 该参数在交易完成后由制造商和销售商协商确定, 然后双方执行契约. 本文契约中各部分的具体形式将在下文给出.

根据以上描述, 可将供应链交易的时序表示为图 1.

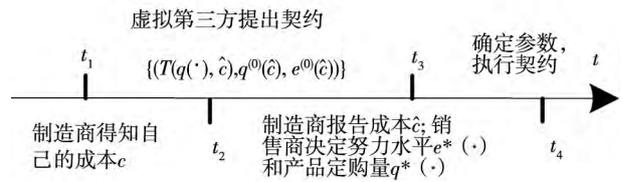


图 1 契约时序图

Fig. 1 Timing of the contracting game

显然, 在制造商得知自己的成本信息 c 之后, 供应链的交易可分为 3 个阶段: 第 1 阶段, 虚拟第三方提出契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$; 第 2 阶段, 在虚拟第三方所提出的契约基础之上, 制造商和销售商沟通信息、选择行为和制定策略, 即制造商报告自身的成本信息 \hat{c} , 销售商制定自身的努力策略 $e(\cdot)$ 和订货量策略 $q(\cdot)$; 第 3 阶段, 双方在事后协定常量参数, 执行契约.

4.1 第 1 阶段: 提出契约

虚拟第三方提出契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$, 其中转移支付 $T(q(\cdot), \hat{c})$ 的具体表达式为

$$T(q(\cdot), \hat{c}) = pS(q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c})) - \psi(e^{(0)}(\hat{c})) + \int_c^c cq(c)f(c)dc - A \quad (5)$$

契约中的 $q^{(0)}(\hat{c})$ 和 $e^{(0)}(\hat{c})$ 是如下两式构成的方程组的解

$$p(1 - G(q^{(0)}(\hat{c}) | e^{(0)}(\hat{c}))) - \hat{c} = 0 \quad (6)$$

$$\int_0^{q^{(0)}(\hat{c})} \frac{\partial G(y | e^{(0)}(\hat{c}))}{\partial e^{(0)}(\hat{c})} dy + \frac{1}{p} \frac{d\psi(e^{(0)}(\hat{c}))}{de^{(0)}(\hat{c})} = 0 \quad (7)$$

命题 1 契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 中的转移支付 $T(q(\cdot), \hat{c})$ 是 \hat{c} 的减函数, 是 $q(\cdot)$ 的增函数; $q^{(0)}(\hat{c})$ 和 $e^{(0)}(\hat{c})$ 均是 \hat{c} 的减函数.

证明见附录 A.

根据命题 1, 制造商所报告的成本值越高, 契约中的产品交易量和努力水平的指导值就越低, 这与对称信息下的情况是一致的; 制造商所报告的成本越高, 其所获得的转移支付就越低, 这与对称信息下的情况相反, 以避免制造商为牟取更多利润而高报成本.

在 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 契约下, 制造商所得到的即是销售商所支付的, 均为 $T(q(\cdot), \hat{c})$, 所以显然预算平衡约束满足. 然而, 该契约如何实现对制造商和销售商的激励, 以及是否满足它们的个体理性约束, 将在下面讨论.

4.2 第二阶段: 选择行为

契约设计的目的是为了激励制造商和销售商,使他们能够依照虚拟第三方的设想站在供应链的角度合作和进行决策.而制造商和销售商所做出的决策和所选择的行为能否如虚拟第三方所愿,则依赖于虚拟第三方所提供的契约是否能够实现对制造商和销售商的激励.

在第 1 阶段所提出的契约下,制造商和销售商双方的事前期望收益分别为

$$\Pi_m(q(\hat{c}), \hat{c}, \hat{c}^*) = pS(q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c})) - \psi(e^{(0)}(\hat{c})) + \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} cq(c)f(c)dc - A - c^* q^{(0)}(\hat{c}) \quad (8)$$

$$\Pi_r(q(c), e(c), \hat{c}) = \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} [pS(q(c), e(c)) - \psi(e(c)) - cq(c)]f(c)dc - (pS(q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c})) - \psi(e^{(0)}(\hat{c})) - A) \quad (9)$$

$$pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*)) + \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} cq(c)f(c)dc - A - c^* q^{(0)}(\hat{c}) \geq pS(q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c})) - \psi(e^{(0)}(\hat{c})) + \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} cq(c)f(c)dc - A - c^* q^{(0)}(\hat{c}), \forall (c^*, \hat{c}) \in [\underline{c}, \bar{c}] \times [\underline{c}, \bar{c}] \quad (10)$$

该激励约束表示制造商报告真实的成本信息 c^* 的利润均不低于其报告其他任意成本信息 \hat{c} 所获得的利润.根据式(9),令 $\{q^*(\cdot), e^*(\cdot)\}$ 是销售商的策略组合,则其根据自身利润最大化所做决策的激励约束可表示为

$$\{q^*(\cdot), e^*(\cdot)\} \in \operatorname{argmax} \left(\int_{\underline{c}}^{\bar{c}} [pS(q(c), e(c)) - \psi(e(c)) - cq(c)]f(c)dc - (pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*)) - A) \right) \quad (11)$$

若 $\{q^*(\cdot), e^*(\cdot)\} = \{q^{(0)}(\cdot), e^{(0)}(\cdot)\}$, 则意味着其决策与一体化供应链的决策一致,即实现了激励.

分别由销售商和制造商的激励约束式(11)和式(10)可得到命题 2 和命题 3.

命题 2 在契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 下,销售商自愿付出的努力程度和制定的订货量与供应链的抉择是一致的,即 $e^*(c) = e^{(0)}(c)$ 和 $q^*(c) = q^{(0)}(c)$.

证明见附录 B.

命题 3 在本文转移支付 T 和产品交易量

$\Pi_m(q(\hat{c}), \hat{c}, \hat{c}^*)$ 表示在销售商制定订货策略 $q(\cdot)$ 的情况下,真实成本为 c^* 的制造商报告成本为 \hat{c} 时的利润函数; $\Pi_r(q(c), e(c), \hat{c})$ 表示在制造商报告成本 \hat{c} 的情况下,销售商制定策略 $\{q(c), e(c)\}$ 时的期望利润函数.

虚拟第三方在事前通过设计契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 对双方进行激励和实现供应链的协调,即销售商付出恰当的努力程度(即 $e(c) = e^{(0)}(c)$)和订购恰当的商品量(即 $q(c) = q^{(0)}(c)$),且成本为 c^* 的制造商报告真实的成本信息(即 $\hat{c} = c^*$).要实现该目标则虚拟第三方所提出的契约要能够满足制造商和销售商的激励约束.在该阶段,制造商报告成本信息 \hat{c} 的同时,销售商决定产品订购量 $q^*(c)$ 和所要付出的努力程度 $e^*(c)$.

根据式(8),使制造商“讲真话”的激励约束 $\Pi_m(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*), \hat{c}^*, \hat{c}^*) \geq \Pi_m(q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}), \hat{c}^*, \hat{c}^*)$ 为

$q^{(0)}(\hat{c})$ 的设计下,制造商会如实报告其成本信息,即 $\hat{c} = c^*$.

证明见附录 C.

需要注意的是,销售商所决定的 $e^{(0)}(c)$ 和 $q^{(0)}(c)$ 只是关于 c 的函数表达式,而非确定的值.该函数表达式的最终值取决于制造商所报告的成本信息 \hat{c} .所以,在制造商报告真实成本信息 c^* 的时候,销售商的决策为 $e^*(c^*) = e^{(0)}(c^*)$ 和 $q^*(c^*) = q^{(0)}(c^*)$,即函数表达式一致.而且零售商做出的决策是自愿的,即实现了供应链的自愿协调.所以得到如下定理.

定理 1 基于虚拟第三方而设计的契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 实现了供应链的双向激励和自愿协调.

在基于虚拟第三方而设计的契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 下,理性的制造商和销售商为了使得自身利益最大,必须做出与一体化供应链一致的决策.制造商应报告真实的成本信息,而无须担心销售商偏离一体化决策;销售商应做出与一体化供应链一致的决策,而无须担心制造

商报告虚假的成本信息.

4.3 第 3 阶段: 协定参数 执行契约

契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 实现了供应链的双向激励和自愿协调, 但该契约能否被执行, 还依赖于该契约能否满足制造商和销售商的个体理性约束, 即他们所获得的利润应大于其保留利润. 为了简化计算且不失一般性, 假设双方的保留利润均为零. 制造商和销售商都是理性的, 在契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 的规定下, 正如定理 1 所述, 制造商将依据真实的成本信息报告成本信息, 销售商的决策符合供应链一体化的决策. 所以本部分将采取制造商的真实成本值和供应链一体化决策值进行讨论. 根据式 (8) 和式 (9) 可得此时制造商和销售商的参与约束分别如下所示

$$\Pi_m^*(q^{(0)}, \rho^*, \rho^*) \geq 0 \quad (12)$$

$$\Pi_r^*(q^{(0)}, e^{(0)}, \rho^*) \geq 0 \quad (13)$$

其中 $\Pi_m^*(q^{(0)}, \rho^*, \rho^*)$ 和 $\Pi_r^*(q^{(0)}, e^{(0)}, \rho^*)$ 分别为

$$\begin{aligned} \Pi_m^*(q^{(0)}, \rho^*, \rho^*) = & pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \\ & \psi(e^{(0)}(c^*)) - c^* q^{(0)}(c^*) + \int_c^{\bar{c}} cq^{(0)}(c)f(c)dc - A \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \Pi_r^*(q^{(0)}, e^{(0)}, \rho^*) = & \int_c^{\bar{c}} (pS(q^{(0)}(c), e^{(0)}(c)) - \\ & \psi(e^{(0)}(c)) - cq^{(0)}(c))f(c)dc - (pS(q^{(0)}(c^*), \\ & e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*))) + A \end{aligned} \quad (15)$$

由上述两个参与约束可知, 当参数 A 满足以下条件时参与约束能够被满足

$$\begin{aligned} - \int_c^{\bar{c}} \Pi_0(c)f(c)dc + (pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \\ \psi(e^{(0)}(c^*))) \leq A \leq \Pi_0(c^*) + \int_c^{\bar{c}} cq^{(0)}(c)f(c)dc \end{aligned} \quad (16)$$

其中

$$\begin{aligned} \max_A \left\{ \left[E_c(pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*))) - A \right]^\alpha \left[A - E_c(c^* q^{(0)}(c^*)) \right]^{(1-\alpha)} \right\} \\ \text{s. t. 式 (19) 和式 (20)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_0(c) = & pS(q^{(0)}(c), e^{(0)}(c)) - \psi(e^{(0)}(c)) - \\ & cq^{(0)}(c) \quad \Pi_0(c^*) = pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \\ & \psi(e^{(0)}(c^*)) - c^* q^{(0)}(c^*) \end{aligned}$$

满足式 (16) 的参数 A 存在的条件是

$$\int_c^{\bar{c}} (pS(q^{(0)}(c), e^{(0)}(c)) - \psi(e^{(0)}(c)))f(c)dc \geq c^* q^{(0)}(c^*)$$

该式表示在销售商最优决策下对扣除努力成本之后的供应链收益的期望大于制造商真实生产成本. 从事前的角度来看该式必然满足, 因为只有当供应链的净期望收益非负的时候, 该交易才会实现, 否则不会有产品生产和出售. 所以存在满足式 (16) 的参数 A 使制造商和销售商的参与约束满足, 即本文提出的契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 是可实施和执行的.

定理 2 当参数 A 满足条件式 (16) 时, 基于虚拟第三方而设计的契约 $\{(T(q(\cdot), \hat{c}), q^{(0)}(\hat{c}), e^{(0)}(\hat{c}))\}$ 实现了双向激励和供应链的自愿协调的目的, 且是可执行的.

若参数 A 没有恰当的赋值, 则将可能不满足制造商和销售商的个体理性约束. 作为虚拟第三方, 应如何在事前就给定参数 A 的具体值呢? 虚拟第三方事前仅知道制造商成本值的分布信息.

所以, 其根据式 (14) 和式 (15) 可得到制造商和销售商的期望利润为

$$\begin{aligned} E_c \Pi_m(q^{(0)}, e^{(0)}, \rho^*, \rho^*) = \\ E_c (pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*))) - A \end{aligned} \quad (17)$$

$$E_c \Pi_r(q^{(0)}, e^{(0)}, \rho^*) = -E_c(c^* q^{(0)}(c^*)) + A \quad (18)$$

虚拟第三方角度的参与约束分别为

$$E_c \Pi_m(q^{(0)}, e^{(0)}, \rho^*, \rho^*) \geq 0 \quad (19)$$

$$E_c \Pi_r(q^{(0)}, e^{(0)}, \rho^*) \geq 0 \quad (20)$$

采用 Nash 谈判的方法确定 A 的具体取值. 令制造商的谈判指数为 α , 销售商的谈判指数则为 $(1 - \alpha)$. 已假设供应链双方不交易时的保留收益为零, 所以此时虚拟第三方的目标规划为

谈判指数反映了双方在收益分配中的议价能力,谈判指数的变动将导致双方分享的收益发生变化.因为双方在供应链上的力量相当,所以令制造商和销售商的谈判指数均为 1/2.暂时忽略参与约束式(19)和式(20),求解该目标规划得到

$$A = \frac{1}{2} E_{\varepsilon} [pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*)) + cq^{(0)}(c^*)]$$

此时参与约束式(19)和式(20)满足,所以,虚拟第三方的该分配方案是合理的.

但此时制造商和销售商事前对自己利润的期望是

$$\begin{aligned} \Pi_m(q^{(0)}, e^{(0)}, c^*, c^*) &= pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*)) - c^* q^{(0)}(c^*) - \\ &\quad \frac{1}{2} E_{\varepsilon} [pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*)) - cq^{(0)}(c^*)] \quad (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_r(q^{(0)}, e^{(0)}, c^*, c^*) &= E_{\varepsilon} \left[\frac{3}{2} pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \frac{3}{2} \psi(e^{(0)}(c^*)) - \frac{1}{2} cq^{(0)}(c^*) \right] - \\ &\quad (pS(q^{(0)}(c^*), e^{(0)}(c^*)) - \psi(e^{(0)}(c^*))) \quad (22) \end{aligned}$$

当式(21)和式(22)均非负时,表明虚拟第三方在该 Nash 谈判的分配方案下得到的 A 可执行该契约.而这仅是参数 A 的一种确定方法.制造商和销售商谈判利益调整参数 A 还有其它方法,只要其能够使得双方的参与约束得到满足,即满足式(16)所示的条件即可.

5 数值算例

用数值算例验证本文契约机制的有效性,包括契约的激励作用和参数设置.为方便表述,假设 y 服从 [0, 1 + e] 的均匀分布, c 和 ĉ 服从 [4, 5] 的均匀分布, c* = 4.5, p = 10, ψ(e) = $\frac{be^2}{2}$, 其中 b = 1.

容易得到对称信息下一体化供应链的最优决策是 e⁽⁰⁾(c*) = 1.5125, q⁽⁰⁾(c*) = 1.3819. 在本文的契约机制下,信息不对称时销售商的订货量为 q*(c*) = 1.3819. 制造商的期望利润与其所报告的成本信息、销售商的期望利润与其所付

出的努力程度的关系分别如下图所示.

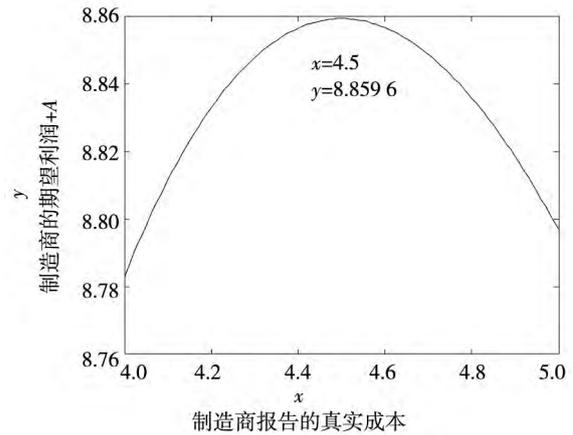


图2 制造商报告成本对其期望利润的影响

Fig.2 Effect of manufacturer's announced cost on his own expected profit

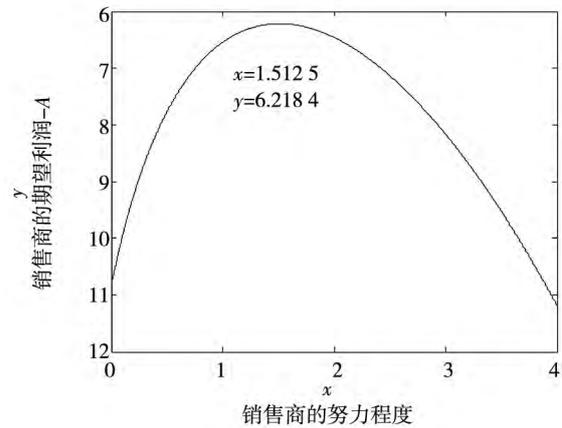


图3 销售商努力对其期望利润的影响

Fig.3 Effect of retailer's sales effort on her own expected profit

根据图2可知,在制造商和销售商所商定的参数 A 保持不变的情况下,制造商的收益随其所报告的成本的增加而先增加后降低;当制造商如实报告真实成本 4.5 时能够获得最大的期望利润(8.8596 - A);当其报告的成本偏离 4.5 时,利润降低;且其所报告的成本距离真实成本越远则利润越低.这符合对激励契约的期望.

根据图3观察到,在制造商和销售商所商定的参数 A 保持不变的情况下,销售商的利润随其所付出的努力程度的增加而先增加后降低;当销售商付出的努力程度与对称信息下一体化供应链的最优努力程度 1.5125 一致时,能够获得最大的期望利润(-6.2184 + A);当其付出的努力程度偏离 1.5125 时,利润降低;且偏离越远则利润越低.因为在本文的契约下,其努力不足时销售收

益偏低,努力过剩时收益不足以支付其高昂的努力成本.这与一体化供应链情况下是一致的,也是本文契约所期望的.

如果制造商谎报信息,则其期望利润会降低;如果销售商的努力程度与供应链最优努力程度有所偏离,则其利润也会降低.对于理性的制造商和销售商,其最优选择是报告真实的成本信息和付出供应链最优的努力程度,该契约达到激励的目的,即如定理 1 所示.

在本文契约下,制造商的期望收益为 $(8.8596 - A)$,销售商的期望收益为 $(-6.2184 + A)$.显然,当 $A = 0$ 或取值较小时,不能满足销售商的参与约束;当 A 取值较大时,可能不满足制造商的参与约束.根据 4.3 的理论,采用 Nash 谈判的方法,确定 A 的具体取值.若谈判指数为 $1/2$,求解可得 $A = 7.5429$,此时有事前期望利润 $E_c \Pi_m(c^*, \hat{c}, \rho) = E_c \Pi_r(c, \hat{c}, \rho) = 1.3395$.显然,从虚拟第三方的角度,制造商和销售商的利润显然为正,即满足参与约束.

在 $A = 7.5429$ 的设置下,制造商和销售商事前对自己利润的期望分别是 $\Pi_m^* = 1.3167$, $\Pi_r^* = 1.3245$.即事前从制造商和销售商的角度来看其参与约束仍旧是满足的,所以该分配方案是合理的,此时该契约是可行的.容易得到 $\Pi_m^*(c^*)$ 是 c^* 的单减函数, $\Pi_r^*(c^*)$ 是关于 c^* 的单增函数.当 $c^* = 5$ 时, $\Pi_m^* = 0.6915$; 当 $c^* = 4$ 时, $\Pi_r^* = 0.0823$.所以在 $c \sim U[4, 5]$ 时,制造商和销售商的利润函数均是正数,即满足参与约束,说明本文的契约和参数 A 的设置方法是可行的,如定理 2 所示.

6 结束语

信息不对称现象在现实经济生活中普遍存在,在供应链交易中也是如此.诸多学者研究供应链交易中的信息不对称问题,解决了供应链中的单边道德风险问题、单边逆向选择问题和双向道

德风险、双向逆向选择问题,诸多契约还是实现了供应链的协调.而很少有文献研究另一种双向不对称问题,即一方存在逆向选择问题的同时另一方存在道德风险问题.针对该问题研究的不足,文章从契约的角度对其进行研究,试图达到激励和协调目的.

文章考虑由 1 个制造商和 1 个销售商组成的供应链,制造商有关于产品生产成本的私人信息(产生逆向选择),销售商有关于产品销售努力的隐藏行动(产生道德风险).从不占有任何收益和成本的虚拟第三方的角度,依据数量折扣契约和 AGV 机制的设计思想构建模型,设计由转移支付和交易量构成的事前契约.期望该契约能够激励制造商报告真实的成本信息,也能够激励销售商付出一体化供应链所期望的努力和制定一体化供应链所期望的交易量.并引入利益调整参数,以保证满足参与者的个体理性约束.结果表明,该契约满足预算平衡约束,可实现双向激励和供应链协调.当采取合适方式设置利益调整参数的时候,可以满足参与者的个体理性约束,即该契约是可执行的.

该模型中从虚拟第三方的角度设计契约实质是制造商和销售商进行信息沟通和共同参与契约设计的过程.此时,制造商和销售商既是管理和激励的主体,又是管理和激励的对象,而非仅作为被管理者依赖于另外一方的管理和激励,增强了双方的主人翁意识和供应链整体管理的思想,是供应链中竞争与合作思想共存的体现.在契约设计中,考虑 AGV 机制对双向逆向选择的卓越贡献和数量折扣契约可激励和协调双向道德风险存在的供应链,本文综合这两种契约形式设计的契约实现了双向不对称信息下的激励与协调,提高了供应链效率.该契约也为供应链中不对称问题引起的类似问题提供了一个解决思路和方法,是对不对称信息下供应链双向激励契约的补充.文章是基于单个制造商和单个销售商构成的供应链进行分析的,且假设双方都是风险中性的,后续的研究中将考虑一对多、多对多的供应链结构;还可考虑双方的风险态度发生变化的情况.

参考文献:

- [1] Laffont J J, Martimort D. The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model [M]. Princeton: Princeton University Press,

- 2009.
- [2] Holmstrom B. Moral hazard in teams [J]. *The Bell Journal of Economics*, 1982, 13(2): 324–340.
- [3] 曹 柬, 杨春节, 李 平, 等. 不对称信息下供应链线性分成制契约设计研究 [J]. *管理科学学报*, 2009, 12(2): 19–30.
Cao Jian, Yang Chunjie, Li Ping, et al. Design of supply chain linear shared-saving contract with asymmetric information [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(2): 19–30 (in Chinese).
- [4] Bhattacharyya S, Lafontaine F. Double-sided moral hazard and the nature of share contracts [J]. *Rand Journal of Economics*, 2006, 26(4): 761–781.
- [5] 李丽君, 黄小原, 庄新田. 双边道德风险条件下供应链的质量控制策略 [J]. *管理科学学报*, 2005, 8(1): 42–47.
Li Lijun, Huang Xiaoyuan, Zhuang Xintian. Strategy of quality control in supply chain under moral hazard condition [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2005, 8(1): 42–47 (in Chinese).
- [6] 张旭梅, 沈娜丽, 邓流生. 供应链环境下考虑双边道德风险的客户知识协同获取契约设计 [J]. *预测*, 2011, 30(4): 20–24.
Zhang Xumei, Shen Nali, Deng Liusheng. Contract on customer knowledge collaborative capture based on double-sided moral hazard in supply chain [J]. *Forecasting*, 2010, 18(1): 66–71 (in Chinese).
- [7] Corbett C J, Decroix G A, Ha A Y. Optimal shared-savings contracts in supply chains: Linear contracts and double moral hazard [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 163(3): 653–667.
- [8] Hihara K. An analysis of airport-airline vertical relationships with risk sharing contracts under asymmetric information structures [J]. *Transportation Research Part C*, 2014, 44(4): 80–97.
- [9] 代建生, 孟卫东, 魏立伟. 具有双边道德风险的服务外包线性分成契约 [J]. *系统管理学报*, 2014, 23(3): 403–409.
Dai Jiansheng, Meng Weidong, Wei Liwei. Bilateral moral hazard and linear revenue-sharing contract in service outsourcing [J]. *Journal of Systems & Management*, 2014, 23(3): 403–409, 415 (in Chinese).
- [10] Zhou J, Zhao X, Xue L, et al. Double moral hazard in a supply chain with consumer learning [J]. *Decision Support Systems*, 2012, 54(1): 482–495.
- [11] 申 强, 侯云先, 杨为民. 双边道德风险下供应链质量协调契约研究 [J]. *中国管理科学*, 2014, 22(3): 90–95.
Shen Qiang, Hou Yunxian, Yang Weimin. Study on the quality-coordination contract of manufacturing supply under double moral hazard [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2014, 22(3): 90–95 (in Chinese).
- [12] Vickrey W. Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders [J]. *The Journal of Finance*, 1961, 16(1): 8–37.
- [13] Clarke E H. Multipart pricing of public goods [J]. *Public Choice*, 1971, 11(1): 17–33.
- [14] Groves T. Incentives in teams [J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1973, 41(4): 617–631.
- [15] d'Aspremont C, Gerard-Varet L A. Incentives and incomplete information [J]. *Journal of Public Economics*, 1979, 11(1): 25–45.
- [16] Arrow K J. The Property Rights Doctrine and Demand Revelation under Incomplete Information [M] // Boskin M J. *Economics & Human Welfare*, Academic Press Inc., 1979: 23–39.
- [17] Babaioff M, Walsh W E. Incentive-compatible, budget-balanced, yet highly efficient auctions for supply chain formation [J]. *Decision Support Systems*, 2005, 39(1): 123–149.
- [18] Egri P, Váncza J. A distributed coordination mechanism for supply networks with asymmetric information [J]. *European Journal of Operational Research*, 2013, 226(3): 452–460.
- [19] Lei D, Li J, Liu Z. Supply chain contracts under demand and cost disruptions with asymmetric information [J]. *International Journal of Production Economics*, 2012, 139(1): 116–126.
- [20] 陈志洪, 管锡展, 钟根元. 双边不对称信息下叫价显示质量机制研究 [J]. *管理科学学报*, 2014, 17(6): 13–19.
Chen Zhihong, Guan Xizhan, Zhong Genyuan. Asking prices as signals of quality under bilateral asymmetric information [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(6): 13–19 (in Chinese).
- [21] Wei J, Govindan K, Li Y, et al. Pricing and collecting decisions in a closed-loop supply chain with symmetric and asymmetric information [J]. *Computers & Operations Research*, 2015, 54(2): 257–265.
- [22] 马 俊, 张 杰, 汪寿阳. 应用拍卖机制协调供应链 [J]. *管理科学学报*, 2009, 12(5): 1–9.
Ma Jun, Zhang Jie, Wang Shouyang. Coordinate supply chain via auction mechanisms [J]. *Journal of Management Sci-*

- ences in China, 2009, 12(5): 1–9 (in Chinese).
- [23] Fudenberg D, Tirole J. Game Theory [M]. Cambridge: The MIT Press, 2005.
- [24] Lam S W, Tang L C. Multiobjective vendor allocation in multiechelon inventory systems: A spreadsheet model [J]. Journal of the Operational Research Society, 2006, 57(5): 561–578.
- [25] 王新辉, 汪贤裕, 苏应生. 双边成本信息不对称的供应链协调机制 [J]. 管理工程学报, 2013, 27(4): 196–204.
Wang Xinhui, Wang Xianyu, Su Yingsheng. The coordination mechanism of supply chain with bilateral asymmetric costs information [J]. Journal of Industrial Engineering/Engineering Management, 2013, 27(4): 196–204 (in Chinese).
- [26] 王新辉, 汪贤裕. 考虑销售商风险规避的双边信息不对称的供应链协调 [J]. 中国管理科学, 2015, 23(3): 97–107.
Wang Xinhui, Wang Xianyu. The coordination of supply chain with bilateral asymmetric information by considering risk aversion of retailer [J]. Chinese Journal of Management Science, 2015, 23(3): 97–107 (in Chinese).
- [27] 黄梅萍, 汪贤裕, 耿子扬. 虚拟第三方下供应链激励协调 [J]. 运筹与管理, 2013, 22(3): 214–221.
Huang Meiping, Wang Xianyu, Geng Ziyang. Incentives and coordination in supply chain based on virtual-third party [J]. Operations Research and Management Science, 2013, 22(3): 214–221 (in Chinese).
- [28] 黄梅萍, 汪贤裕, 郭红梅. 节点企业地位相当时供应链双向激励及协调 [J]. 管理学报, 2013, 10(4): 583–589.
Huang Meiping, Wang Xianyu, Guo Hongmei. Double incentives and coordination in supply chain with equal market power between supplier and retailer [J]. Chinese Journal of Management, 2013, 10(4): 583–589 (in Chinese).
- [29] 黄梅萍, 汪贤裕. 基于代理成本的供应链利润分配研究 [J]. 运筹与管理, 2013, 22(5): 51–61.
Huang Meiping, Wang Xianyu. Profit allocation of supply chain based on agency costs [J]. Operations Research and Management Science, 2013, 22(5): 51–61 (in Chinese).
- [30] 黄梅萍, 汪贤裕. 基于信息结构的供应链双向激励 [J]. 软科学, 2015, 29(7): 125–130.
Huang Meiping, Wang Xianyu. Double incentive in supply chain based on information structure [J]. Soft Science, 2015, 29(7): 125–130 (in Chinese).
- [31] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts [J]. Handbooks in Operations Research and Management Science, 2003, 11: 227–339.
- [32] Zhou J, Zhao X, Xue L, et al. Double moral hazard in a supply chain with consumer learning [J]. Decision Support Systems, 2012, 54(1): 482–495.

Bilateral incentive contract with both moral hazard and adverse selection

CHENG Hong¹, WANG Xian-yu^{2*}, GUO Hong-mei², HUANG Mei-ping³

1. College of Management Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
2. Business School, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
3. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China

Abstract: The coexistence of moral hazard and adverse selection has limited the supply chain's efficiency. A model is developed from the virtual-third party's perspective for supply chains without core enterprises, based on the cooperation and competition among enterprises. Considering that the retailer has private information about his effort and that the manufacturer has private information about his cost, a bilateral incentive model is built to achieve both the incentive and coordination by using a quantity discount contract and AGV (d'Aspremont and Gerard-Varet) mechanism. The result shows that three constraints (the balance, the incentive and the individual rationality constraint) could be satisfied and a steady transaction quantity in an integrated supply chain could be achieved by properly setting the parameter of profit adjustment. In other words, the contract proved in the paper can realize bilateral incentive and coordination simultaneously. At last, a numerical example is presented to assess the theory conclusions.

Key words: bilateral incentive; moral hazard; adverse selection; virtual-third party; AGV mechanism