

不对称成本信息下物流服务供应链能力期权协调模型研究

戴必明

(盐城工学院 后勤集团, 江苏 盐城 224051)

摘要:针对物流服务供应链中信息不对称情况提出一种基于期权契约的协调机制,引入期权契约来处理这类供应链中的能力预定问题。通过能力期权契约,集成商与分包商能够联合投资应对需求不确定风险,激励分包商扩大物流能力投资,提高其供应柔性,从而在信息不对称的情形下实现供应链的协调。

关键词:期权契约;供应链协调;物流服务

中图分类号:F252.3

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2011)03-0023-05

物流服务供应链(LSSC)是一类典型的服务供应链,物流服务分包商—物流服务集成商—物流服务需求方是其基本结构。在信息完全对称的情况下,可以利用期权契约激励集成商与分包商,使得物流服务供应链达到协调的程度。但是供应链是由相互独立的决策主体构成的分布式系统,各决策主体均是根据其掌握的信息,在自身利益的驱动下做出个体理性决策,这样就会造成信息扭曲等情况的出现。因此,信息不对称是供应链运作中普遍存在的问题。在供应链协调过程中,信息非获取方通过提供契约给信息获取方,以期从中获取真实信息,这在博弈论中又称为信息甄别(Screening)。在成本信息不对称的研究中,学者们普遍采用设计系列契约的模式,并运用信息揭示原理(Revelation Principle)来优化买卖双方的决策,并达到了较好的效果^[1-2]。

在物流服务供应链中,集成商和分包商作为相对独立的决策主体,在满足客户需求的前提下追求各自利益的最大化。集成商期望分包商有足够的物流能力应对需求不确定的风险,而分包商物流能力的投资与分配策略由于面对可能的投资风险与机会成本损失而受到影响。此外,集成商能通过公开市场较容易地获取分包商真实的物流能力投资成本信息,但由于不同分包商的成本控制水平是有差异的,对于分包商的物流能力运作成本信息是未知的,从而使得运作成本信息转变

为分包商的私人信息^[3-4]。因此,在本文的研究中,我们通过设计合理的契约机制,使交易双方共享真实信息,同时也让供应链具备充分柔性使得双方共担市场风险进而实现双方的利润最大化。

1 问题描述

本文的研究对象是一个单周期的二级物流服务供应链系统,包括一个供应单一物流能力的物流分包商和一个从物流分包商订购物流能力并满足最终物流需求的物流集成商,两者均为有限理性和风险中性。并且所有价格与成本都是外生的。

由于物流能力运作成本 c_2 变为分包商的私人信息,定义随机变量 c_2 的风险率为 $h(c_2) = \frac{g(c_2)}{1-G(c_2)}$, c_2 在 $[\underline{c}_2, \bar{c}_2]$ 上有 $g(c_2) > 0$ 且具有单调递增风险率(IFR),即 $h'(c_2) \geq 0$, $G(c_2)$ 为对数凹函数,如均匀分布、正态分布、指数分布等常用的分布都具有IFR特性。令 $z(c_2) = \frac{G(c_2)}{g(c_2)}$ 表示揭示不完全信息的信息佣金,则 $z(c_2) \geq 0, z'(c_2) \geq 0$ 。

在本文考虑的运作成本信息不对称情形下,集成商不仅要保证分包商提供真实可信的成本信息,更要保证自身的利润。因此,集成商通过提供一系列期权契约激励分包商为了自身利益最大化而显示真实的成本信息。假定集成商与分包商具体的决策过程如下:

收稿日期:2011-08-10

作者简介:戴必明(1963-),男,江苏盐城人,审计师,主要研究方向为高校财务审计。

(1) 集成商根据历史经验对分包商的运作成本信息 c_2 进行估计, 掌握 c_2 在区间 $[\underline{c}_2, \bar{c}_2]$ 的先验分布函数 $G(c_2)$ 和概率密度 $g(c_2)$, 按照利润最大化目标, 设计系列契约 $\{w(c_2), w_0(c_2), w_e(c_2), M(c_2)\}$ 供分包商选择。其中, 初始订购价为 $w(c_2) > 0$, 期权价格为 $w_0(c_2) \geq 0$, 期权执行价格为 $w_e(c_2) > 0$, $Q_0(c_2)$ 为集成商的初始能力订购量, $M(c_2)$ 为集成商的期权能力订购量。

(2) 分包商根据集成商所提供的契约, 根据自身利益最大化的原则, 选择其中最优的契约形式 $\{w(c'_2), w_0(c'_2), w_e(c'_2), M(c'_2)\}$, $c'_2 > 0$ 为分包商向集成商公布的单位物流能力运作成本。

(3) 集成商根据分包商所选择的契约 $\{w(c'_2), w_0(c'_2), w_e(c'_2), M(c'_2)\}$, 可以据此判断分包商的运作成本信息为 c'_2 , 并考虑到分包商出于自私的原因, c'_2 可能与真实的运作成本 c_2 不一致。此时, 分包商的物流能力投资量为 $K(c'_2) = Q_0(c'_2) + M(c'_2)$ 。

通过这个决策过程我们不难发现, 除了运作成本信息 c_2 成为分包商的私人信息之外, 与契约设计最大的不同在于期权订购量的决策权由分包商转移到了集成商。实践证明, 变化后的契约才能够真正改进运作成本信息不对称这种更为现实情况下的供应链绩效。本文在后面的分析过程中逐步加以阐述。

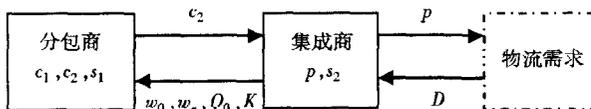


图 1 运作成本信息不对称下物流服务供应链中期权契约的供应链结构

Fig. 1 Supply chain structure of option in LSSC under operation cost information asymmetry

2 运作成本信息不对称下的最优契约设计

2.1 成本信息不对称下分包商的期望利润

首先建立运作成本信息不对称情形下分包商的期望利润。

$$\Pi_s(c'_2, c_2) = w(c'_2)Q_0(c'_2) + w_0(c'_2)(K(c'_2) - Q_0(c'_2)) + w_e(c'_2)q(c'_2) - c_1K(c'_2) - c_2S(K(c'_2)) - s_2L(K(c'_2)) \quad (1)$$

其中, $\Pi_s(c'_2, c_2)$ 表示分包商真实运作成本信息为 c_2 , 而申报值为 c'_2 时的期望利润。

$$q(c'_2) = E\min\{M(c'_2), D\} = E\min\{K(c'_2) - Q_0(c'_2), D\} =$$

$$K(c'_2) - Q_0(c'_2) - \int_{Q_0(c'_2)}^{K(c'_2)} F(x) dx \quad (2)$$

表示物流能力期权交付量。

同时, 分包商显示真实成本信息时的期望利润为:

$$\Pi_s(c_2, c_2) = w(c_2)Q_0(c_2) + w_0(c_2)(K(c_2) - Q_0(c_2)) + w_e(c_2)q(c_2) - c_1K(c_2) - c_2S(K(c_2)) - s_2L(K(c_2)) \quad (3)$$

2.2 建立信息不对称期权能力模型

在运作成本信息变为分包商的私人信息的情况下, 集成商通过制定契约一方面希望揭示分包商私人的运作成本信息, 另一方面又希望分包商能够参与到协作过程中来, 在这两者均满足的情况下又尽量使得自身利润最大化, 这就需要通过揭示原理来处理。根据 Myerson 的信息揭示原理, 集成商提供的契约必须满足直接机制下信息拥有者真实揭示成本的激励兼容和参与约束条件^[5]。因此, 该期权契约模型优化问题就是在激励分包商真实揭示运作成本的约束条件下对集成商利润最大化的数学优化求解。将上述描述转化为如下的数学模型:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{K(c_2), w_0(c_2), w_e(c_2)} \Pi_I \\ s. t. & \Pi_S(c_2, c_2) = \text{Max}_{c'_2=c_2} \Pi_S(c'_2, c_2) \quad (IC) \\ & \Pi_S(c_2, c_2) \geq \Pi_{S\min} \quad (IR) \end{aligned} \quad (P1)$$

其中, Π_I 为集成商的期望利润, $\Pi_{S\min}$ 为分包商最低接受的期望利润, IC 和 IR 分别代表激励相容约束和参与约束。

命题 1 在信息不对称情形下, 分包商揭示真实运作成本信息的充要条件为:

A) 分包商的期望利润为

$$\Pi_S = \int_{c_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) dt$$

B) $K(c_2)$ 是 c_2 的单调不减函数

证明: 必要性。不失一般性, 令 $c_2 < c'_2$ 。根据揭示原理, 分包商揭示真实的运作成本时利润最优, 则 $\Pi_{S(c'_2, c_2)} \leq \Pi_{S(c_2, c_2)}$, $\Pi_{S(c_2, c'_2)} \leq \Pi_{S(c'_2, c'_2)}$ 。由 $\Pi_{S(c'_2, c_2)} - \Pi_{S(c_2, c_2)} = (c'_2 - c_2)S(K(c'_2)) \leq 0$, $\Pi_{S(c_2, c'_2)} - \Pi_{S(c_2, c_2)} = (c'_2 - c_2)S(K(c'_2)) \geq 0$, 可知 $(c'_2 - c_2)S(K(c'_2)) \leq (c'_2 - c_2)S(K(c_2))$, 又因 $c_2 < c'_2$, 故 $S(K(c'_2)) \leq S(K(c_2))$, 且 $S(K)$ 是关于 K 的增函数, 故 $K(c'_2) \leq K(c_2)$, 因此引理

B)成立。由此可得 $\Pi_{S(c_2, c_2)}$ 是关于 c_2 的减函数, 故有 $\Pi_{Smin} = \Pi S(\bar{c}_2, \bar{c}_2)$, 为了计算简便且不失一般性, 这里我们假定当运作成本最高时, 分包商从自身利益考虑放弃生产, 因此 $\Pi_{Smin} = \Pi S(\bar{c}_2, \bar{c}_2) = 0$;

根据数据包络原理, 由(IC)可得:

$$\frac{d\Pi_S(c_2, c_2)}{dc_2} = \frac{\partial \Pi_S(c'_2, c_2)}{\partial c_2} \Big|_{c'_2=c_2} = -S(K(c_2)) \quad (4)$$

将上面等式两边同时积分, 得到

$$\begin{aligned} \Pi_S &= \Pi_S(\bar{c}_2, \bar{c}_2) + \int_{\bar{c}_2}^{c'_2} S(K(t)) dt = \\ \Pi_{Smin} + \int_{\bar{c}_2}^{c'_2} S(K(t)) dt &= \int_{\bar{c}_2}^{c'_2} S(K(t)) dt \end{aligned}$$

引理 A) 成立。

充分性:

$$\begin{aligned} \Pi_S(c'_2, c_2) &= \Pi_S(c'_2, c'_2) + \\ (c'_2 - c_2)S(K(c'_2)) &= \Pi_S(c_2, c_2) + \\ \int_{c'_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) dt - \int_{c'_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) dt + \\ (c'_2 - c_2)S(K(c'_2)) &= \\ \Pi_S(c_2, c_2) + \int_{c'_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) dt - \int_{c'_2}^{\bar{c}_2} S(K(c'_2)) dt \\ \Pi_S(c_2, c_2) - \int_{c'_2}^{\bar{c}_2} [S(K(c_2)) dt - S(K(t))] dt \end{aligned} \quad (5)$$

因为 $\int_{c'_2}^{\bar{c}_2} [S(K(c_2)) dt - S(K(t))] dt \geq 0$, 所以 $\Pi_S(c'_2, c_2) \leq \Pi_S(c_2, c_2)$, 则 IC 成立。

又 $\Pi_{Smin} = \Pi_S(\bar{c}_2, \bar{c}_2) = 0$, 因此 $\Pi_S(c'_2, c_2) \geq \Pi_{Smin}$, 则 IR 成立。命题得证。

假设供应链系统期望利润为 Π_{SC} , 根据命题 1 中引理 A) 可知集成商的期望利润为:

$$\begin{aligned} \Pi_I &= \int_{c_2}^{\bar{c}_2} (\Pi_{SC} - \Pi_S) g(c_2) dc_2 = \\ \int_{c_2}^{\bar{c}_2} \Pi_{SC} g(c_2) dc_2 - \int_{c_2}^{\bar{c}_2} \int_{c_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) dt \cdot g(c_2) dc_2 &= \\ \int_{c_2}^{\bar{c}_2} \Pi_{SC} g(c_2) dc_2 - \int_{c_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) \int_{c_2}^t g(c_2) dc_2 dt &= \\ \int_{c_2}^{\bar{c}_2} [(p - c_2)S(K(c_2)) - c_1K(c_2) - \\ (s_1 + s_2)L(K(c_2)) - S(K(c_2))z(c_2)] g(c_2) dc_2 \end{aligned} \quad (6)$$

因此, 根据命题 1, 规划 (P1) 等价于如下规划 (P2):

$$\begin{aligned} \text{Max}_{K(c_2), w_0(c_2), w_e(c_2)} & \int_{c_2}^{\bar{c}_2} [(p - c_2)S(K(c_2)) - \\ c_1K(c_2) - (s_1 + s_2)L(K(c_2)) - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & S(K(c_2))z(c_2)] g(c_2) dc_2 \\ \text{s. t. } \quad \Pi_S &= \int_{c_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) dt \quad (P2) \\ & K(c_2) \text{ 是 } c_2 \text{ 的单调不减函数} \end{aligned}$$

若通过规划 (P2) 中的目标函数求得的最优物流能力投资量 $K^*(c_2)$ 是关于 c_2 的单调不减函数, 那么 $K^*(c_2)$ 必是规划 (P2) 的最优解。这样我们就把一个带有约束的复杂规划问题转化为一个求函数极值的问题。

由规划 (P2) 可以看出在满足 IC 和 IR 使分包商满意的同时, 集成商出于个体理性考虑要使自身利益最大化。若它对物流能力投资量 K 没有最终的决定权, 那么不能达到提高自身利润的愿望。而且, 由 $\Pi_S = \int_{c_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) dt$ 可知, 对于给定任意的 c_2 , 分包商出于自身利益考虑希望 $K(t)$ 越大越好, 这必然会与集成商的利益愿望发生冲突。因此, 集成商利用自己在供应链中的主导地位适当调整契约以保证自身及系统利润成为必然。通过掌握对期权投入量的决策权, 集成商就获得了对物流能力投资量 K 的决策权, 进而使得自己的利润最大化^[6]。

2.3 信息不对称下的集成商最优订购决策

命题 2 在期权契约下, 由于分包商物流能力运作成本为私人信息, 最优物流能力投资量为:

$$K^* = F^{-1}\left(1 - \frac{c_1}{p + s_1 + s_2 - (c_2 + z(c_2))}\right) \quad (7)$$

证明: 由集成商的期望利润

$$\begin{aligned} \Pi_I &= \int_{c_2}^{\bar{c}_2} [(p - c_2)S(K(c_2)) - c_1K(c_2) - \\ (s_1 + s_2)L(K(c_2)) - S(K(c_2))z(c_2)] g(c_2) dc_2 \end{aligned}$$

可知, 若使 Π_I 达到最大, 则被积函数对 K 求导应为 0, 即:

$$\begin{aligned} d[(p - c_2)S(K(c_2)) - c_1K(c_2) - (s_1 + s_2) \\ L(K(c_2)) - S(K(c_2))z(c_2)] / d(K(c_2)) &= \\ (p - c_2)(1 - F(K)) - c_1 - (s_1 + s_2)(-1 + \\ F(K)) - z(c_2)((1 - F(K)) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

整理可得

$$F(K) = 1 - c_1 / [p + s_1 + s_2 - (c_2 - z(c_2))] \quad (9)$$

由 c_2 的单调递增风险率 (IFR) 特性可知 $z'(c_2) \geq 0$, 得 $dF(K)/dc_2 = -c_1(1 + z'(c_2)) / (p + s_1 + s_2 - (c_2 + z(c_2)))^2 < 0$ 。因此, $K^*(c_2)$ 是关于的单调减函数, 故 K^* 也是规划 (P2) 的唯一最优

解。从而得证。

在得到分包商的最优物流能力投资量 K^* 后, 接下来由命题 3 给出集成商的最优初始能力订购量。

2.4 最优条件下期权参数的函数关系

命题 3 在分包商运作成本信息不对称情况下, 集成商的最优初始订购量 $Q_0^*(c_2)$ 需满足等式^[7]:

$$w_0(c_2)(K^*(c_2) - Q_0^*(c_2)) + w_e(c_2)q(c_2) = \int_{c_2}^{\bar{c}_2} S(K^*(t)) dt - w(c_2)Q_0^*(c_2) + c_1K^*(c_2) + c_2S(K^*(c_2)) + s_2L(K^*(c_2)) \quad (10)$$

证明: 由命题 1 知, 分包商报告真实的运作成本信息 c_2 时, 其期望利润最大, 故有

$$\Pi_S = \int_{c_2}^{\bar{c}_2} S(K(t)) dt, \text{ 故有}$$

$$w_0(c_2)(K(c_2) - Q_0(c_2)) + w_e(c_2)q(c_2) + w(c_2)Q_0(c_2) - c_1K(c_2) + c_2S(K(c_2)) + s_2L(K(c_2)) = \int_{c_2}^{\bar{c}_2} S(K^*(t)) dt \quad (11)$$

再把 K^* 代入上式并整理即可得到命题 3。

通过命题 3 可以看出, 集成商要使最优的初始订购量满足(10), 由此可计算最优期权投入量应为 $M^*(c_2) = K^*(c_2) - Q_0^*(c_2)$; 另外, 集成商应与分包商进行充分谈判, 根据(10)制定合理的期权契约参数 w_0, w_e 以及批发价格 w , 才能保证最优的初始订购量 $Q_0^*(c_2) \in [0, K^*(c_2)]$ 。

3 仿真计算

假设物流需求 D 服从 $[0, 300]$ 的均匀分布, 分包商运作成本信息 c_2 服从 $[5, 15]$ 的均匀分布, 其它的相关参数为 $\{p = 90, c_1 = 30, s_1 = 20, s_2 = 20\}$, 根据上述假定对模型进行仿真计算。

运作成本信息不对称导致系统最优物流能力的投资量减少, 进而致使系统的期望利润降低, 运作效率下降。通过仿真实验, 我们用图 2 来表示利润损失(利润损失 = 完全信息下系统期望利润 - 非对称信息下系统期望利润)及物流能力投入差(物流能力投入差 = 完全信息下物流能力投入量 - 非对称信息下物流能力投入量)与 c_2 的函数关系, 可以清晰地发现这一趋势。而且当运作成本最小时, 系统物流能力投入量与期望利润损失均为 0, 整体利润此时达到最大。随着运作成

本的提高, 供应链系统利润加速下降。

另外, 根据图 3 可以看出, 集成商与分包商的期望利润随着物流能力运作成本 c_2 的变化情况。在运作成本 c_2 达到最小时, 分包商的利润达到最大。而且, 采用期权契约并运用揭示原理, 集成商的期望利润能够保持在较高的水平, 且受 c_2 变化的影响不大。这些方法的综合运用充分维护了集成商在物流服务供应链中的主导地位。

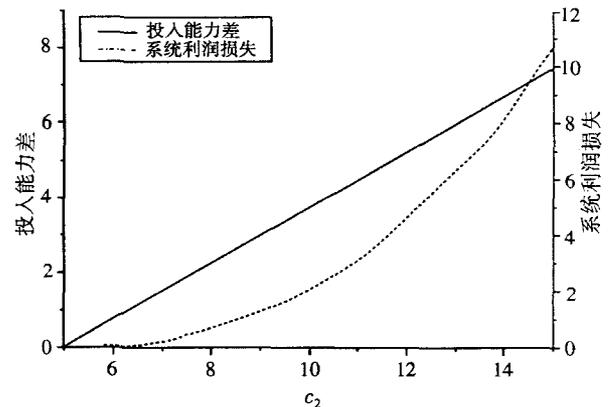


图 2 投入能力差及利润损失随能力运作成本的变化趋势

Fig. 2 The trend of capability variance and loss of profit as changes

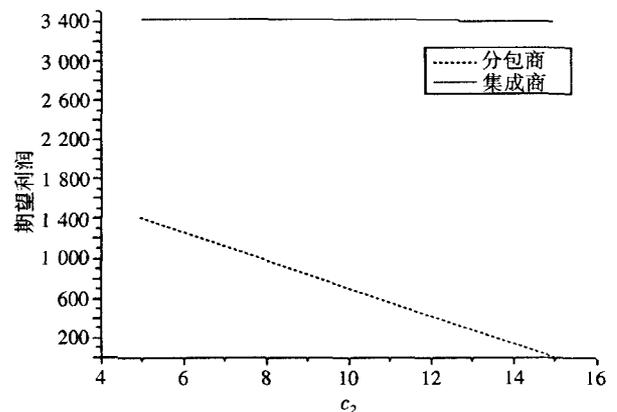


图 3 集成商与分包商利润随能力运作成本的变化趋势

Fig. 3 The trend of profit of PLSP and SLSP as changes

4 结论

本文在假定分包商的能力运作成本为私人信息的情形下, 集成商通过控制最优初始能力订购量和期权能力订购量的决策权, 利用信号博弈和信息揭示原理, 激励分包商处于自身利益最大化

而报告真实的能力运作成本信息,从而使自身利润达到最大。结果表明,在成本信息不对称情形下,通过引入期权契约来处理这类供应链中的能力问题,能够有效的改善物流服务供应链的系统

效率,使得集成商与分包商能够共同应对需求不确定风险,激励分包商扩大物流能力投资,提高其供应柔性,从而在信息不对称的情形下实现供应链的协调。

参考文献:

- [1] Charles J C, Xavier de G. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information[J]. *Management Science*, 2009,46(3):444-450.
- [2] Albert Y Ha. Supplier - buyer contracting: asymmetric cost information and cut off level policy for buyer participation[J]. *Naval Research Logistics*, 2009,48(1):41-64.
- [3] 姬小利. 生产商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.
- [4] Amy H L, Lau H S, Zhou Y W. Considering asymmetrical manufacturing cost information in a two echelon system that uses price only contracts[J]. *IIE Transactions*,2007(38):253-271.
- [5] 崔爱平, 刘伟, 张旭. LSSC 基本理论框架[J]. *上海海事大学学报*,2008(1):1-6.
- [6] 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.
- [7] Burnetas A Ritchken P. Option pricing with downward sloping demand curves: The case on supply chain options[J]. *Management Science*,2005,51(4):566-580.

Study on Capability Option Coordination Model of Logistics Service Supply - Chain under the Asymmetric Cost Information

DAI Bi-ming

(Logistics Group, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: In this paper, a coordination mechanism based on option contracts is proposed for the situation of asymmetric information in supply chain logistics services, and introduced the option contract to deal with the issues of capability ordering in the supply chain. By the ability - option contract, integrators and sub - contractors can deal with the risk of demand uncertainty by Joint investment, prompting sub - contractor to expand the logistics capability investment, and improving their supply flexibility, so they achieve supply chain coordination in the case of asymmetric information.

Keywords: options contract; supply chain coordination; logistics services

(责任编辑:沈建新)