

风险厌恶下的重大工程供应商培育激励机制分析

鄢冬瑾, 曾 伟, 王红卫

(华中科技大学自动化学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对风险中性业主和风险厌恶供应商组成的两级工程供应链, 研究重大工程供应商培育的激励机制, 包括投资成本分担和采购价格激励两种激励方式. 根据工程业主的主导地位, 分别建立供应商培育的委托代理模型和 Stackelberg 博弈模型. 研究表明, 委托代理模型中最优质量水平更高, 供应链的总期望效用更大, 采购价格激励和投资成本分担均能促进供应商提升质量水平, 且投资成本分担比采购价格激励对质量水平的影响更大, 供应商生产成本与质量提升成负相关, 供应商风险承受水平与质量提升成正相关, 未来市场需求与质量提升成正相关.

关键词: 重大工程; 供应商培育; 风险; 激励机制

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2017)03-0325-10

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2017.03.004

Analysis of incentive mechanism for supplier development with a risk-averse supplier in mega construction project

Yan Dongjin, Zeng Wei, Wang Hongwei

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper investigates the incentive mechanisms for supplier development in a construction supply chain that consists of a risk-neutral owner and a risk-averse supplier. Two commonly used incentive methods, including purchase price incentive and cost sharing, are studied. Considering the owner's dominant position, a principal-agent model and a Stackelberg game model are proposed. It shows that the optimal quality and the total utility of the supply chain in the principal-agent model are higher. Both the purchasing price incentive and cost sharing can promote the supplier to improve the quality level, and the impact of cost sharing on quality improvement is greater. Quality improvement has a negative correlation with the supplier's production cost, and the supplier's risk tolerance level and the market demand have positive correlations with quality improvement.

Key words: mega project; supplier development; risk; incentive mechanism

1 引 言

供应商培育是为了提升供应链和企业竞争力而出现的一种企业合作战略. Krause 等^[1]将供应商培育定义为采购方采取措施提升供应商的表现和性能, 包括更好的产品质量、更低的成本、更可靠的交付和更优的产品设计等, 以满足采购方的供应需求. 供应商培育的应用实践与学术研究主要在制造业领域, 关注于影响供应商培育的关键成功因素分析, 包括供需双方彼此的信任、有效的交流、上层管理人员的支持等因素, 特别强调了长期的合作伙伴关系有利于供应商培育的成功^[1-6]. 也有学者关注于供应商培育中的投资决策、

收稿日期: 2016-07-14; 修订日期: 2017-02-27.

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(71390524).

质量与价格决策等问题, Talluri 等^[7]采用投资组合模型研究了各个供应商如何进行投资分配, 以减少供应商培育中的投资风险, 获得最大的投资回报. Xie 等^[8]采用 Stackelberg 博弈模型研究了需求不确定下, 由风险厌恶供应商和风险中性制造商构成的, 按订单生产供应链中质量投资和价格决策问题.

本文研究了重大工程中的供应商培育问题. 重大工程的技术与质量水平要求高, 对供应商生产能力和产品质量提出了更高要求. 例如在建的跨海大桥港珠澳大桥, 其质量标准高, 要求 120 年的设计使用寿命, 远超我国一般大桥要求的 100 年使用寿命, 其中钢箱梁采用一种新型结构以及高标准的质量要求, 以供应商现有能力难以满足. 这就带来了重大工程中的供应商培育问题.

与制造业显著不同的是, 工程建造具有一次性和临时性的特点, 工程供应链成员之间通常只是短暂的合作关系^[9]. 因此, 在工程供应商培育过程中, 供应商用于技术攻关、生产设备升级改造和人员培训等大量人力、物力和资金投入, 可能难以通过所承担工程收回. 为了提高供应商参与工程建造和供应商培育的意愿, 业主对供应商采取一定的激励措施^[10]. Monczka 等^[11], Giunipero^[12]指出增加采购量是有效的激励措施之一. 罗定提等^[13]指出, 对特殊的分散式供应链引入旁支付激励机制, 可以最大化供应链的整体收益. 刘昌臣等^[14]指出, 向供应商提供补贴能够更好地激励供应商进行项目研究.

目前, 对于供应商培育的研究主要集中在制造业, 较少基于工程背景, 并且研究主要采用实证方法, 较少涉及激励机制的定量分析研究. 本文在重大工程背景下, 采用工程中常用的投资成本分担和采购价格激励两种激励方式, 考虑工程的一次性特点以及供应商面对未来市场需求不确定的风险态度, 根据业主的主导地位, 分别建立供应商培育的委托代理模型和 Stackelberg 博弈模型, 对如下问题进行分析: 1) 业主不同主导地位, 即委托代理和 Stackelberg 博弈两种决策形式对供应商质量培育的影响有什么不同? 2) 业主不同激励方式对供应商质量提升有什么影响? 两种激励方式对质量提升的影响有什么不同? 3) 供应商内在因素, 如生产成本和外在环境因素, 如市场需求如何影响供应商培育决策? 4) 供应商的风险偏好对培育决策有何影响?

通过对上述问题的分析研究, 希望能够对工程供应商培育激励机制的设计提供指导和建议.

2 基本模型描述

2.1 模型描述与假设

在一个业主和一个供应商组成的两级工程供应链中, 业主向供应商采购一定数量、符合一定质量标准的产品. 若当前供应商所能提供产品的质量低于工程质量的要求, 则业主需要对供应商进行质量培育.

在工程中, 业主往往起着主导作用, 决定了产品的质量标准和交货时间等. 在文中考虑两种业主占主导地位的情况. 一是业主占有主导地位并试图最大化自己的收益, 而供应商只能选择是否接受供应商培育. 为了激励供应商参与培育, 业主给予供应商最低的优惠和保障, 使得供应商参与培育所获得的收益不低于不参与培育时的收益, 即委托代理模式, 业主作为委托人而供应商作为代理人; 二是业主首先对供应商提出激励条件并最大化自己的收益, 然后供应商接受培育并决策其投资水平, 最大化自己的收益, 参与双方通过博弈最终达到纳什均衡, 即 Stackelberg 博弈模型, 业主作为领导者而供应商作为追随者.

本文研究投资成本分担和采购价格激励两种激励方式对供应商培育的影响. 1) 工程供应商提升产品质量需要投入大量的资金, 业主分担一定比例的供应商投资成本, 即培育投资成本分担激励; 2) 业主根据供应商的产品质量水平高低, 给予不同的采购价格, 即采购价格激励. 这两种激励方式均为工程实际中常用的激励方式.

假设 1) 业主的激励措施包括投资成本分担和采购价格激励两种方式; 2) 市场为单寡头的垄断市场, 该产品未来市场需求由市场价格和产品质量共同决定; 3) 一般来说, 当期工程的物资需求是确定的, 业主仅需考虑当期工程, 而供应商需考虑未来工程的市场需求不确定, 因此, 本文假设业主为风险中性, 而供应商为风险厌恶^[15], 且供应商的风险承受水平不随收益的变化而变化; 4) 业主和供应商的成本和收益信息对称.

2.2 模型参数

假设供应商未提升质量时产品质量水平为 x_0 , 提升质量后产品质量水平为 x , 与 Yoo 等^[16] 一样, 将质量作为一个单一的综合变量, 并假设 $x > 0$, x 是连续的并且其值越大产品质量越好. 供应商承担的质量提升投资成本比例为 θ ($\theta \in [0, 1]$), 那么业主所承担的比例为 $(1 - \theta)$. 业主对供应商采购价格激励的系数为 λ , 那么业主对供应商的采购价格为 $p_0 + \lambda(x - x_0)$, 其中 p_0 为产品质量未提升时的市场售价.

假设产品需求函数由价格 p 和质量 x 决定, $D = a + \alpha x - \beta p$, 其中, a 是潜在固定需求, α 是与质量水平有关的系数, β 是与价格有关的系数. 为了描述未来市场需求的不确定性, 假设 $a = \bar{a} + \varepsilon$, 其中 $\bar{a}$ 是潜在固定需求的均值, ε 是均值为 0, 方差为 σ^2 的随机变量.

参数符号说明如表 1 所示.

表 1 参数符号说明
Table 1 Parameters symbol

参数符号	符号含义
x_0	供应商当前生产产品的质量水平
x	供应商培育后所提供产品的质量水平
x_s^N	供应商不参与业主的质量培育时所选择的质量水平
x_s	供应商参与业主的质量培育时所选择的质量水平
x_b	委托代理模型下业主培育供应商所选择的质量水平
r_0	生产单位产品与质量水平无关的固定成本
η	生产单位产品与质量水平相关的固定成本
p	供应商对该产品在未来市场的定价
a	未来市场对产品的潜在固定需求
$\bar{a}$	未来市场对产品潜在固定需求的均值
ε	未来市场对产品潜在固定需求的波动, 服从均值为 0 方差为 σ^2 的正态分布
α	未来市场需求中与产品质量水平相关的系数
β	未来市场需求中与产品价格相关的系数
k	供应商提升质量所投入成本的系数
Q	业主在当期工程中的采购量
p_0	产品质量提升前时在市场上的售价
λ	业主对供应商产品质量提高后采购价格补偿系数
θ	供应商承担的提升质量所投入成本的比例
ρ	未来市场收益的折现因子
ω	质量提高给业主带来的效益系数
R	供应商的风险承受水平
Π_s^N	供应商不参与业主的质量培育所获得的收益
Π_s^D	供应商参与业主的质量培育所获得的总收益
Π_{sc}^D	供应商参与业主的质量培育在当期工程所获得的收益
Π_{sf}^D	供应商参与业主的质量培育在未来市场预期所能获得的收益
Π_b^D	业主对供应商进行质量培育所获得的收益

由于未来市场需求的不确定性, 需要考虑供应商的风险态度. 描述风险厌恶的效用函数形式主要有指数, 对数, 幂函数和 CRRA 函数等. 考虑到供应商的风险承受水平不随收益的变化而变化, 本文选择采用指数效用函数描述供应商的风险态度, 这也是在决策理论和供应链管理等领域通常采用的效用函数形式^[8,17,18]. 指数效用函数形式为 $U(\Pi) = -e^{-\frac{\Pi}{R}}$, 其中 R 为风险承受水平, $R < \infty$ 表示风险厌恶, 当 $R \rightarrow \infty$ 时, 可以认为供应商风险中立. Π 为收益. 由 Arrow-Pratt 测度^[19]可得, $E[U] = E[\Pi] - \text{Var}(\Pi)/(2R)$, 其中 $E[\Pi]$ 为 Π 的均值, $\text{Var}(\Pi)$ 为 Π 的方差.

两种模型决策变量有所不同. 在委托代理模型中, 供应商只能选择参与或者不参与, 产品质量水平 x , 采购价格激励系数 λ 和投资成本分担比例 θ 都由业主决策. 在 Stackelberg 博弈模型中, 供应商决策产品质量

水平 x , 而采购价格激励系数 λ 和投资成本分担比例 θ 由业主决策. 另外, 供应商需要在一定的质量水平 x 下决策未来市场售价 p , 以最大化未来市场的期望效用.

2.3 业主与供应商的期望效用函数

当供应商不参与当期工程, 也不参与业主的质量培育时, 自行进行质量提升, 此时供应商需要承担所有的质量提升投入成本, 且供应商的收益全部来自于未来市场的销售收入. 供应商收益的期望和方差可分别表示为

$$E[\Pi_s^N] = \rho(p - (r_0 + \eta(x_s - x_0))) (\bar{a} + \alpha x_s - \beta p) - k(x_s - x_0)^2, \quad (1)$$

$$\text{Var}(\Pi_s^N) = (p - (r_0 + \eta(x_s - x_0))) \sigma^2. \quad (2)$$

供应商的期望效用函数为

$$E[U_s^N] = E[\Pi_s^N] - \text{Var}(\Pi_s^N)/(2R) = \rho(p - (r_0 + \eta(x_s - x_0))) (\bar{a} + \alpha x_s - \beta p) - k(x_s - x_0)^2 - (p - (r_0 + \eta(x_s - x_0))) \sigma^2/(2R). \quad (3)$$

当供应商参与业主的工程, 并接受业主的质量培育时, 供应商对产品质量水平提升后, 在未来市场也按照该质量水平进行生产, 此时供应商的收益由当前参与工程的收益和未来市场的收益两部分构成. 供应商的当期期望收益为

$$E[\Pi_{sc}^D] = (p_0 + \lambda(x - x_0) - (r_0 + \eta(x - x_0))) Q - k\theta(x - x_0)^2. \quad (4)$$

供应商的未来期望收益与不参与业主培育时的形式相似, 即

$$E[\Pi_{sf}^D] = \rho(p - (r_0 + \eta(x - x_0))) (\bar{a} + \alpha x - \beta p). \quad (5)$$

供应商参与业主培育活动时期望总收益为当期工程期望收益加上未来市场折算到当期的收益期望之和, 即

$$E[\Pi_s^D] = E[\Pi_{sc}^D] + E[\Pi_{sf}^D] = (p_0 + \lambda(x - x_0) - (r_0 + \eta(x - x_0))) Q - k\theta(x - x_0)^2 + \rho(p - (r_0 + \eta(x - x_0))) (\bar{a} + \alpha x - \beta p), \quad (6)$$

供应商参与业主培育活动时总收益的方差为未来市场收益的方差, 即

$$\text{Var}(\Pi_s^D) = \text{Var}(\Pi_{sf}^D) = (p - (r_0 + \eta(x - x_0))) \sigma^2. \quad (7)$$

供应商的期望效用函数为

$$E[U_s^D] = E[\Pi_s^D] - \frac{\text{Var}(\Pi_s^D)}{2R} = (p_0 + \lambda(x - x_0) - (r_0 + \eta(x - x_0))) Q - k\theta(x - x_0)^2 + \rho(p - (r_0 + \eta(x - x_0))) (\bar{a} + \alpha x - \beta p) - \frac{(p - (r_0 + \eta(x - x_0))) \sigma^2}{2R}. \quad (8)$$

由于业主风险中性, 其期望效用与期望收益的表达一致, 为

$$E[U_b] = \omega(x - x_0)Q - (1 - \theta)k(x - x_0)^2 - (p_0 + \lambda(x - x_0)) Q. \quad (9)$$

3 委托代理模型

委托代理模型可表示为

$$\text{Max } E[U_b^D(\lambda, \theta, x_b)], \quad (10)$$

$$\text{s.t. } E[U_s^D(p | \theta, \lambda, x_b)] \geq E[U_s^N(x_s^N, p)]. \quad (11)$$

式(10)代表业主的目标函数, 表明业主的决策为最大化自身的期望效用; 式(11)为供应商的参与约束. 供应商只能选择是否参与工程项目, 并对未来市场的产品价格 p 进行决策. 业主最大化自身的期望效用, 并保证供应商投资参与当期工程的期望效用不低于其不参与时能获得的期望效用, 即供应商不参与时获得的期望效用作为其保留效用.

定理 1 在委托代理模型中, 当 $2k - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} > 0$ 成立时, 有质量 x_b 的唯一最优解

$$x_b^* = \frac{(\omega - \eta)Q + \rho \frac{\alpha - \beta\eta}{2\beta} (\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta) - \frac{\alpha - \beta\eta}{4R\beta} \sigma^2}{2k - \rho(\alpha - \beta\eta)^2/(2\beta)} + x_0. \quad (12)$$

证明 见附录 A.

由定理 1 可得 θ 和 λ 的关系, 即

$$(p_0 + \lambda(x_b - x_0) - r_0 - \eta(x_b - x_0))Q - k\theta(x_b - x_0)^2 + \rho[p - r_0 - \eta(x_b - x_0)](\bar{a} + \alpha x_b - \beta p) - \frac{p - r_0 - \eta(x_b - x_0)}{2R} \sigma^2 \geq E[U_s^N(x_s^N, p)]. \quad (13)$$

推论 1 在委托代理模型中, 1) 产品最优质量水平 x 随着供应商风险承受水平 R 的增加而增加, 随着方差 σ^2 的增加而减少; 2) 业主的激励并不会引起产品质量的直接提升, 其激励的目的在于满足供应商的保留效用; 3) 最优质量水平 x 在最大化业主和供应商的期望效用之和时得到, 即最优质量水平 x 在工程供应链整体期望效用最优时得到.

证明 见附录 B.

4 Stackelberg 博弈模型

Stackelberg 博弈模型为

$$\text{Max } E[U_b^D(\lambda, \theta|x_s)], \quad (14)$$

$$\text{Max } E[U_s^D(x_s, p|\lambda, \theta)]. \quad (15)$$

该模型中, 业主为博弈领导者, 式(14)代表业主的期望效用最大化; 供应商为博弈追随者, 式(15)代表供应商的期望效用最大化.

采用逆向递推法, 首先给定 λ 和 θ , 对 $E[U_s^D(x_s, p|\lambda, \theta)]$ 求导, 由一阶条件求得最优的 x_s . 再将最优的 x_s 代入 $E[U_b^D(\lambda, \theta|x_s)]$ 中并分别对 λ, θ 求导, 得到最优的 λ 和 θ 值.

定理 2 在 Stackelberg 博弈模型中, 当 $2k\theta - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} > 0$ 成立时, 质量 x_s 有唯一最优解

$$x_s^* = \frac{4RQ\beta(\lambda - \eta) + (\alpha - \beta\eta)(2R\rho(\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta) - \sigma^2)}{8Rk\beta\theta - 2R\rho(\alpha - \beta\eta)^2} + x_0. \quad (16)$$

证明 见附录 C.

定理 3 1) 当业主以采购价格激励 λ 为激励手段时, 将投资成本分担 θ 值作为固定参数, 最优采购价格激励 λ 和最优质量水平 x_s 分别为

$$\lambda^* = \frac{(4k\beta - \rho(\alpha - \beta\eta)^2)(\eta Q - (\alpha - \beta\eta)(2R\rho(\bar{a} + \alpha x_0 - \beta r_0) + \sigma^2)/(4R\beta))}{2Q(2k\beta(1 + \theta) - \rho(\alpha - \beta\eta)^2)} + \frac{\omega Q(4k\beta\theta - \rho(\alpha - \beta\eta)^2)}{2Q(2k\beta(1 + \theta) - \rho(\alpha - \beta\eta)^2)} \quad (17)$$

$$x_s^*(\theta) = \frac{2Q\beta(\omega - \eta) + (\rho(\bar{a} + \alpha x_0 - \beta r_0) - \sigma^2/(2R))(\alpha - \beta\eta)}{2(2k\beta(1 + \theta) - \rho(\alpha - \beta\eta)^2)} + x_0. \quad (18)$$

2) 当业主以投资成本分担 θ 为激励手段时, 将采购价格激励 λ 值作为固定参数, 最优投资成本分担 θ 和最优质量水平 x_s 分别为

$$\theta^* = \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{4\beta k} + \frac{(4k\beta - \rho(\alpha - \beta\eta)^2)(\lambda - \eta)Q + (\alpha - \beta\eta)(\rho(\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta) - \sigma^2/(2R))}{k(2\beta Q(2(\omega - \lambda) + (\lambda - \eta)) + (\alpha - \beta\eta)(\rho(\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta) - \sigma^2/(2R)))}, \quad (19)$$

$$x_s^*(\lambda) = \frac{2\beta(2Q(\omega - \lambda) + (\lambda - \eta)) + (\alpha - \beta\eta)(\rho(\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta) + \sigma^2/(2R))}{2(2k\beta - \rho(\alpha - \beta\eta)^2)} + x_0. \quad (20)$$

证明 见附录 D.

推论 2 在 Stackelberg 博弈模型中, 1) 产品最优质量 x 随着供应商风险承受水平 R 的增加而增加, 随着方差 σ^2 的增加而减少; 2) 业主对供应商的投资成本分担和采购价格激励对产品质量的提升有着直接的影响, 并且激励强度越高, 越有利于质量水平的提升; 3) 当投资成本分担为激励手段时, 业主对于供应商投资成本分担随着供应商风险承受水平的增加而减少; 当采购价格激励为激励手段时, 业主对供应商的采购价格激励随着供应商风险承受水平的增加而减少.

证明 见附录 E.

推论 3 1) 委托代理模型可以看作是供应链集中决策, 而 Stackelberg 博弈模型可以看作是供应链中业主和供应商分散决策; 2) 由式(1)可得委托代理模型中的最优质量水平高于 Stackelberg 博弈模型下的最优质量水平; 3) 委托代理模型中供应链的总期望效用大于 Stackelberg 博弈模型下供应链的总期望效用; 4) 委托代理模型中供应商风险承受水平对最优质量水平的影响比 Stackelberg 博弈模型中的更大.

证明 见附录 F.

5 参数分析

经过计算可知, 两种模型中, 当期工程参数、供应商参数和未来市场参数对最优质量 x 的影响相同, 所以主要分析 Stackelberg 博弈模型中各个参数对质量水平 x , 投资成本分担系数 θ 和采购价格激励 λ 的影响. 由于各个参数对采购价格激励为激励手段时的最优质量 $x_s^*(\theta)$ 和投资成本分担为激励手段时的最优质量 $x_s^*(\lambda)$ 的影响完全一致, 下表中统一用 x 来表示. 具体变化如表 2 所示.

5.1 当期工程参数

质量提高给业主带来的效益系数 ω 越大, 越有利于产品质量的提升, 业主提供的激励强度也越大.

业主的采购量 Q 越多, 越有利于产品质量的提升. 此时, 可将采购量 Q 看作是业主的激励手段. 同时, 业主应给予更高的激励强度. 由供应商和业主的期望效用函数可知, 当采购量不断增加时, 业主期望效用的增加要大于供应商期望效用的增加, 两者博弈的均衡点会改变, 此时激励强度增加.

5.2 供应商参数

培育前产品的质量水平 x_0 越高, 越有利于产品的提升. 同时业主给予的激励会减少. 因为首先在供应商的选择上, 业主更倾向于选择自身能力更强的供应商^[20]. 其次, 培育前产品质量水平越高, 业主提供的激励强度就越小.

生产固定成本 r_0 越大, 提升质量所需要的单位成本 η 越多, 前期质量投入成本系数 k 越大, 则总生产成本会越大, 越不利于产品质量的提升, 但是为了激励供应商参与培育, 业主提供的激励强度就越大.

供应商的风险承受水平 R 越高, 说明供应商更能够应对未来市场的不确定变化, 所以越有利于质量水平的提升. 供应商自身的风险承受水平越高, 业主所需要提供的激励强度就越小. 当 R 值趋近于无穷大, 即

供应商是风险中性时, 能够得到更高的质量水平.

5.3 未来市场参数

未来市场潜在固定需求 $\bar{a}$ 越高, 说明供应商在未来市场可能获得的期望效用更多, 这会使得供应商更愿意参与培育, 更有利于提升质量水平. 相应的, 业主所需要提供的激励强度就越小.

未来市场潜在固定需求波动的方差 σ^2 越大, 说明未来市场需求越不稳定, 供应商在未来市场获得的期望效用会因为波动的增加而减少, 越不利于供应商参与培育, 也不利于质量水平的提升. 所以业主需要提供更高的激励强度, 提高供应商的参与意愿.

表 2 参数变化总结

Table 2 Summary of comparative static analysis

参数值变化	质量水平 x 的变化	投资成本分担系数 θ 的变化	采购价格激励 λ 的变化
a) 当期工程参数提升			
质量提高给业主带来的效益系数 ω	↑	↓	↑
业主在当期工程中的采购量 Q	↑	↓	↑
b) 供应商参数提升			
供应商当前生产产品的质量水平 x_0	↑	↑	↓
生产单位产品与质量水平无关的固定成本 r_0	↓	↓	↑
生产单位产品与质量水平相关的固定成本 η	↓	↓	↑
供应商提升质量所投入成本的系数 k	↓	↓	↑
供应商的风险承受水平 R	↑	↑	↓
c) 市场参数提升			
未来市场对产品潜在固定需求的均值 $\bar{a}$	↑	↑	↓
未来市场潜在固定需求波动的方差 σ^2	↓	↓	↑
未来市场需求中与产品质量水平相关的系数 α	↑	↑	↓
未来市场需求中与产品价格相关的系数 β	↓	↓	↑
未来市场收益的折现因子 ρ	↑	↑	↓
d) 激励强度提升			
投资成本分担系数 θ	↓	—	↑
采购价格激励 λ	↓	↑	—

未来市场需求中质量相关系数 α 越大, 说明产品质量水平越高, 其市场需求量越高, 那么供应商在未来市场中获得的期望效用就会越大, 越有利于提升质量水平, 同时也会带来业主激励强度的降低.

未来市场需求中价格相关系数 β 越大, 说明产品市场价格越高, 其市场需求量越低, 那么供应商从未来市场中获得的期望效用就会越小, 越不利于质量水平的提升, 相应的, 业主需要提供更高的激励强度.

市场收益的折现系数 ρ 越高, 说明未来收益转化到本期的收益就越大, 这有利于质量水平的提升, 同时所需业主的激励强度越低.

5.4 激励强度

当投资成本分担 θ 为决策变量时, 采购价格激励 λ 越大, 业主投资成本分担会减少, 同时质量水平会减小; 当采购价格激励 λ 为决策变量时, 供应商投资成本分担 θ 越大, 采购价格激励会增加, 同时质量水平会减小. 说明在供应商培育项目中两种激励方式互补, 并且投资成本分担比采购价格激励对质量水平的影响更大, 因为采购价格激励只是增加了供应商的当期效用, 而业主在当期工程中分担的投资成本在未来市场中仍能够给供应商带来效用. 因此, 从质量提升的角度来看, 选择投资成本分担的激励方式更有助于供应商提升质量.

6 结束语

本文在重大工程背景下, 考虑未来市场的不确定性以及业主的主导地位, 分别建立委托代理模型和 Stackelberg 博弈模型. 分析可以得到, 对业主而言, 采购价格激励和投资成本分担两种激励手段均可以提升质量水平; 对于供应商而言, 其风险承受水平越高, 工程需求量越大, 越有利于供应商参与培育; 并且在委

托代理模型中最优质量水平更高,供应链的总期望效用更大。

本文的假设是单个供应商并且能够完全满足市场需求的情况,今后的研究可以进一步考虑多个供应商或者不满足市场需求的情况,也可以结合产能提升进一步研究供应商培育的激励机制。

参考文献:

- [1] Krause D R, Ellram L M. Critical elements of supplier development. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 1997, 3(1): 21–31.
- [2] Humphreys P K, Cadden T, Li W L, et al. An investigation into supplier development activities and their influence on performance in the Chinese electronics industry. *Production Planning & Control*, 2010, 22(2): 137–156.
- [3] Humphreys P K, Li W L, Chan L Y. The impact of supplier development on buyer-supplier performance. *Omega: International Journal of Management Science*, 2001, 32(2): 131–143.
- [4] Li W L, Humphreys P K, Yeung A C L, et al. The impact of specific supplier development efforts on buyer competitive advantage: an empirical model. *International Journal of Production Economics*, 2007, 106(1): 230–247.
- [5] Krause D R, Handfield R B, Tyler B B. The relationships between supplier development, commitment, social capital accumulation and performance improvement. *Journal of Operations Management*, 2007, 25(2): 528–545.
- [6] Krause D R, Ellram L M. Success factors in supplier development. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 1997, 27(1): 39–52.
- [7] Talluri S, Narasimhan R, Chung W. Manufacturer cooperation in supplier development under risk. *European Journal of Operational Research*, 2010, 207(1): 165–173.
- [8] Xie G, Yue W, Wang S, et al. Quality investment and price decision in a risk-averse supply chain. *European Journal of Operational Research*, 2011, 214(2): 403–410.
- [9] Konukcu S, Anumba C J, Carrillo P M. The need for the creation of knowledge chains in construction// Naaranoja, M. et al, (eds.) CIB W102 Conference on Performance and Knowledge Management. Helsinki: Finnish Association of Civil Engineers RIL 2008: 179–191.
- [10] Ross A, Goulding J. Supply chain transactional barriers to design cost management. *Construction Innovation*, 2007, 7(3): 274–287.
- [11] Monczka R M, Trent R J, Callahan T J. Supply base strategies to maximize supplier performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 1993, 23(4): 42–54.
- [12] Giunipero L C. Motivating and monitoring JIT supplier performance. *Journal of Purchasing & Materials Management*, 1990, 26.
- [13] 罗定提, 张晓琪, 仲伟俊, 等. 分散式供应链中旁支付激励机制的研究. *系统工程学报*, 2001, 16(3): 236–240.
Luo D T, Zhang X Q, Zhong W J, et al. Research on side payment incentive mechanism in distributed supply chain. *Journal of Systems Engineering*, 2001, 16(3): 236–240. (in Chinese)
- [14] 刘昌臣, 吉炳安, 罗云峰. 基于 R&D 成本补偿的国防采购激励机制研究. *系统工程学报*, 2007, 22(1): 53–56.
Liu C C, Ji B A, Luo Y F. Research on incentive mechanism of R&D in defense procurement based on cost-reimbursement. *Journal of Systems Engineering*, 2007, 22(1): 53–56. (in Chinese)
- [15] 曹 束, 胡丽玲, 姚清钦, 等. 基于激励理论的政府与逆向供应链系统协调机制. *系统工程学报*, 2015, 30(6): 821–835.
Cao J, Hu L L, Yao Q Q, et al. Coordination mechanism between government and reverse supply chain system based on incentive theory. *Journal of Systems Engineering*, 2015, 30(6): 821–835. (in Chinese)
- [16] Yoo S H, Shin H, Park M S, et al. New product development and the effect of supplier involvement. *Omega: International Journal of Management Science*, 2015, 51(1): 107–120.
- [17] 代建生. 风险规避供应链的最优两部定价契约. *系统工程学报*, 2016, 31(1): 66–77.
Dai J S. Optimal two-part pricing contract of a risk-averse supply chain. *Journal of Systems Engineering*, 2016, 31(1): 66–77. (in Chinese)
- [18] Choi S, Ruszczyński A. A multi-product risk-averse newsvendor with exponential utility function. *European Journal of Operational Research*, 2011, 214(1): 78–84.
- [19] Chen Y J, Seshadri S. Supply chain structure and demand risk. *Automatica*, 2006, 42(8): 1291–1299.
- [20] Mahapatra S K, Das A, Narasimhan R. A contingent theory of supplier management initiatives: Effects of competitive intensity and product life cycle. *Journal of Operations Management*, 2012, 30(5): 406–422.

作者简介:

鄢冬瑾(1991—), 女, 湖北宜都人, 硕士生, 研究方向: 工程管理与供应链管理, Email: yandongjin@qq.com;

曾 伟(1968—), 男, 上海人, 博士, 副教授, 研究方向: 工程管理与供应链管理, 决策理论与方法, Email: zengwei@hust.edu.cn;

王红卫(1966—), 男, 浙江宁波人, 博士, 教授, 研究方向: 工程管理与供应链管理, 应急管理, Email: hwwang@hust.edu.cn.

附录 A 定理 1 的证明

不参与项目时, 供应商选择最优价格使未来收益最大化. 由

$$\frac{\partial E[U_s^N]}{\partial p} = \rho((\bar{a} + \alpha x - \beta p) - \beta(p - (r_0 + \eta(x - x_0)))) - \frac{\sigma^2}{2R} = 0, \quad \frac{\partial^2 E[U_s^N]}{\partial p^2} = -2\rho\beta < 0,$$

解得 $p^* = \frac{1}{2\beta} (\bar{a} + \alpha x + \beta\eta(x - x_0) + r_0\beta - \sigma^2/(2R\rho))$.

构建拉格朗日函数 $L = E[U_b^D(\lambda, \theta, x_b)] + \delta (E[U_s^D(p|\theta, \lambda, x_b)] - E[U_s^N(x_s^N, p)])$.

通过 L 对 λ, θ 的极值条件, 可得 $\delta = 1$, 代入上式可得

$$L = E[U_b^D(\lambda, \theta, x_b)] + E[U_s^D(p|\theta, \lambda, x_b)] - E[U_s^N(x_s^N, p)] = \omega(x_b - x_0)Q - k(x_b - x_0)^2 - (r_0 + \eta(x_b - x_0))Q + \rho(p - (r_0 + \eta(x_b - x_0)))(\bar{a} + \alpha x_b - \beta p) - \frac{p - (r_0 + \eta(x_b - x_0))}{2R}\sigma^2 - E[U_s^N(x_s^N, p)].$$

对 x_b 求导, 令 $L'_{x_b} = 0$, 计算可得式(12).

要取得极值需满足 $\frac{\partial^2 L}{\partial x_b^2} < 0$, 又因为 $\frac{\partial^2 L}{\partial x_b^2} = -2k + \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta}$, 则有 $2k - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} > 0$. 证毕.

附录 B 推论 1 的证明

由模型可以推得, $\alpha - \beta\eta > 0$, $\rho(\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta) > \frac{\sigma^2}{2R}$, $\omega > \lambda > \eta$. 对参数求导可得 $\frac{\partial x_b^*}{\partial R} > 0$, $\frac{\partial x_b^*}{\partial \sigma^2} < 0$.

因为 x_b^* 由 $L'_{x_b} = 0$ 求解得到, 可以将最优值 x_b^* 看作是 $\frac{\partial (E[U_b^D(\lambda, \theta, x_b)] + E[U_s^D(p|\theta, \lambda, x_b)])}{\partial x_b} = 0$ 的解, 即最优值 x_b 在最大化业主和供应商的期望效用之和时取得. 证毕.

附录 C 定理 2 的证明

$E[U_s^D(x_s, p|\lambda, \theta)]$ 对 x_s 求导, 得

$$\frac{\partial E[U_s^D(x_s, p|\lambda, \theta)]}{\partial x_s} = (\lambda - \eta)Q - 2k\theta(x - x_0) + \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)}{2\beta}(\bar{a} + \alpha x_0 - \beta(r_0 + \eta(x - x_0))) - \frac{\alpha - \beta\eta}{4R\beta}\sigma^2.$$

由一阶极值最优条件, 解得式(16).

要取得极值需满足 $\frac{\partial^2 E[U_s^D]}{\partial x_s^2} < 0$, 又因为 $\frac{\partial^2 L}{\partial x_s^2} = -2k\theta + \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta}$, 则有 $2k - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} > 0$. 证毕.

附录 D 定理 3 的证明

将最优的 x_s 值代入 $E[U_b^D(\lambda, \theta|x_s, p)]$ 中, 分别对 λ, θ 求导, 可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[U_b^D]}{\partial \lambda} &= \omega Q \frac{\partial x}{\partial \lambda} - 2(1 - \theta)k(x - x_0) \frac{\partial x}{\partial \lambda} - (x - x_0)Q - \lambda Q \frac{\partial x}{\partial \lambda} = 0, \\ \frac{\partial E[U_b^D]}{\partial \theta} &= \omega Q \frac{\partial x}{\partial \theta} + k(x - x_0)^2 - 2(1 - \theta)k(x - x_0) \frac{\partial x}{\partial \theta} - \lambda Q \frac{\partial x}{\partial \theta} = 0. \end{aligned}$$

将 x_s^* 值代入, 可求得式(17), 式(19). 为求最优 x_s^* 值, 将 λ 和 θ 回代, 可得式(18), 式(20). 证毕.

附录 E 推论 2 的证明

由模型可以推得 $\alpha - \beta\eta > 0$, $\rho(\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta) > \frac{\sigma^2}{2R}$, $\omega > \lambda > \eta$. 固定 θ 的值, λ 对参数求导可得 $\frac{\partial \lambda}{\partial Q} > 0$, $\frac{\partial \lambda}{\partial R} < 0$, $\frac{\partial \lambda}{\partial \sigma^2} > 0$. $x_s^*(\theta)$ 对参数求导可得 $\frac{\partial x_s^*(\theta)}{\partial R} > 0$, $\frac{\partial x_s^*(\theta)}{\partial \sigma^2} < 0$, $\frac{\partial x_s^*(\theta)}{\partial \lambda} < 0$. 固定 λ 的值, θ 对参数求导可得 $\frac{\partial \theta}{\partial Q} < 0$, $\frac{\partial \theta}{\partial R} > 0$, $\frac{\partial \theta}{\partial \sigma^2} < 0$. $x_s^*(\lambda)$ 对参数求导可得 $\frac{\partial x_s^*(\lambda)}{\partial R} > 0$, $\frac{\partial x_s^*(\lambda)}{\partial \sigma^2} < 0$, $\frac{\partial x_s^*(\lambda)}{\partial \theta} < 0$. 证毕.

附录 F 推论 3 的证明

分别比较委托代理模型下的最优质量水平 x_s^* 和 Stackelberg 博弈模型下的最优质量水平

$$x_b^* - x_s^*(\lambda) = \frac{(\lambda - \eta)Q + \rho(\alpha - \beta\eta)(\bar{a} + \alpha x_0 - \beta r_0)/(2\beta) - (\alpha - \beta\eta)/(4R\beta)\sigma^2}{2(2k - \rho(\alpha - \beta\eta)^2/(2\beta))} > 0,$$

所以 $x_b^* > x_s^*(\lambda)$.

因为 $2(k(1+\theta) - \rho(\alpha - \beta\eta)^2/(2\beta)) - (2k - \rho(\alpha - \beta\eta)^2/(2\beta)) = 2k\theta - \rho(\alpha - \beta\eta)^2/(2\beta) > 0$, 则

$$2(k(1+\theta) - \rho(\alpha - \beta\eta)^2/(2\beta)) > 2k - \rho(\alpha - \beta\eta)^2/(2\beta), \text{ 所以 } x_b^* > x_s^*(\theta).$$

委托代理模型下的供应链总期望效用为

$$\begin{aligned} E[U_{s+b}^1] &= E[U_b^D(\lambda, \theta, x_b^*)] + E[U_s^D(p|\theta, \lambda, x_b^*)] = \omega(x_b^* - x_0)Q - k(x_b^* - x_0)^2 - (r_0 + \eta(x_b^* - x_0))Q + \\ &\quad \rho(p - (r_0 + \eta(x_b^* - x_0))) (\bar{a} + \alpha x_b^* - \beta p) - (p - (r_0 + \eta(x_b^* - x_0)))\sigma^2/(2R). \end{aligned}$$

Stackelberg 博弈模型下的供应链总期望效用为

$$\begin{aligned} E[U_{s+b}^2] &= E[U_b^D(\lambda, \theta|x_s^*)] + E[U_s^D(p, x_s^*|\theta, \lambda)] = \omega(x_s^* - x_0)Q - k(x_s^* - x_0)^2 - (r_0 + \eta(x_s^* - x_0))Q + \\ &\quad \rho(p - (r_0 + \eta(x_s^* - x_0))) (\bar{a} + \alpha x_s^* - \beta p) - (p - (r_0 + \eta(x_s^* - x_0)))\sigma^2/(2R). \\ E[U_{s+b}^1] - E[U_{s+b}^2] &= (x_b^* - x_s^*) \left((\omega - \eta)Q + 2kx_0 + \rho(\alpha - \beta\eta)2\beta (\bar{a} + \beta\eta x_0 - \beta r_0 - \sigma^2/(2R\rho)) \right) - \\ &\quad \frac{1}{2} (x_b^* - x_s^*) \left(2k - \rho(\alpha - \beta\eta)^2/(2\beta) \right) (x_b^* + x_s^*). \end{aligned}$$

将 x_b^* 和 $x_s^*(\lambda)$ 代入, 可得

$$E[U_{s+b}^1] - E[U_{s+b}^2] = \left(16k - \frac{4\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{\beta} \right)^{-1} \left((\lambda - \eta)Q + \rho(\alpha - \beta\eta)2\beta(\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta) - \frac{\alpha - \beta\eta}{4R\beta}\sigma^2 \right)^2 > 0.$$

将 x_b^* 和 $x_s^*(\theta)$ 代入, 可得

$$E[U_{s+b}^1] - E[U_{s+b}^2] = \frac{\left(2k\theta - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} \right)^2 \left((\omega - \eta)Q + \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)}{2\beta}(\bar{a} + \alpha x_0 - r_0\beta - \frac{\sigma^2}{2R\rho}) \right)^2}{8 \left(2k - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} \right) \left(k(1+\theta) - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} \right)^2} > 0.$$

$$E[U_{s+b}^1] > E[U_{s+b}^2].$$

$$\frac{\partial x_b^*}{\partial R} = \frac{\frac{\alpha - \beta\eta}{4\beta R^2}\sigma^2}{2k - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta}}, \quad \frac{\partial x_s^*(\theta)}{\partial R} = \frac{\frac{\alpha - \beta\eta}{4\beta R^2}\sigma^2}{2 \left(k(1+\theta) - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} \right)}, \quad \frac{\partial x_s^*(\lambda)}{\partial R} = \frac{\frac{\alpha - \beta\eta}{4\beta R^2}\sigma^2}{2 \left(k - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} \right)}$$

因为 $2 \left(k - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} \right) > 2 \left(k(1+\theta) - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta} \right) > 2k - \frac{\rho(\alpha - \beta\eta)^2}{2\beta}$, 所以 $\frac{\partial x_b^*}{\partial R} > \frac{\partial x_s^*(\theta)}{\partial R} > \frac{\partial x_s^*(\lambda)}{\partial R}$. 证毕.