

文章编号: 1001-0920(2013)09-1288-06

## 双重信息不对称下虚拟企业监督策略

陈克贵, 黄敏, 王兴伟

(东北大学 a. 信息科学与工程学院, b. 流程工业综合自动化国家重点实验室, 沈阳 110819)

**摘要:** 针对虚拟企业中道德风险和逆向选择并存下的双重信息不对称问题, 结合 Stackelberg 博弈模型和激励机制理论, 分别建立了相应的基于盟员的私有信息和行动的两种策略下的两阶段委托代理监督模型激励盟员, 并甄别其私有信息. 求解模型并将两种监督策略与不监督的情形比较, 证明了盟主委托监理组织对盟员的监督是有效的, 且基于行动的监督策略更有效. 通过算例表明上述结果对虚拟企业的运营实践具有很好的指导意义.

**关键词:** 虚拟企业; 信息不对称; 道德风险; 逆向选择; 监督

**中图分类号:** TP273

**文献标志码:** A

## Monitoring strategies of virtual enterprise under dual information asymmetry

CHEN Ke-gui, HUANG Min, WANG Xing-wei

(a. College of Information Science and Engineering, b. State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Correspondent: HUANG Min, E-mail: mhuang@mail.neu.edu.cn)

**Abstract:** For the dual information asymmetric problem in virtual enterprise(VE) with both moral hazard and adverse selection, by incorporating Stackelberg game model and the theory of incentive mechanism, the two stage principal-agent monitoring models based on the partner's private information and effort are derived to incentive the partner and screen the true information respectively. Furthermore, the corresponding optimal monitoring strategies are analyzed and compared with the no monitoring scenario. The results verify the effectiveness of hiring the monitoring organizations to monitor the partner, and the action monitoring strategy is more effective. The numerical example is given to show that the conclusion is valuable to the operation of VE.

**Key words:** virtual enterprise; information asymmetric; moral hazard; adverse selection; monitoring

### 0 引言

虚拟企业作为敏捷制造的有效组织形式, 其主要目的是迎合快速变化的市场机遇<sup>[1]</sup>. 在虚拟企业项目管理中, 各成员企业间是契约形式的合同关系<sup>[2-3]</sup>, 为了自身利益可能隐藏私有信息, 造成逆向选择现象, 在项目进程中可能会不顾联盟整体利益而出现道德风险和搭便车等问题, 使整个虚拟企业蒙受损失<sup>[4]</sup>.

道德风险和逆向选择问题使成员间的合作变得更加困难, 如何揭示成员企业的真实信息并促使其提高努力程度是消除信息不对称现象、促进虚拟企业有

效运行的关键. 针对上述问题, 国内外学者做了一些研究, 取得了一定的成果. 文献[5]研究了道德风险下的契约设计问题; 文献[6]研究了服务外包中的逆向选择问题及最优契约配置; 文献[7-8]探讨了道德风险和逆向选择并存时的激励和约束机制问题. 针对工期问题, 文献[9]考虑了确定性条件下工期、成本均衡优化模型; 文献[11-12]分别研究了不确定情况下, 项目进度时间费用交换问题的单任务、双任务和多任务的契约设计及协调性问题, 但都是信息对称情况下. 文献[13]从项目业主和项目实施方案双方的角度研究

收稿日期: 2012-08-02; 修回日期: 2013-03-07.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(71071028, 70931001, 71021061, 61070162); 国家杰出青年科学基金项目(61225012); 高等学校博士学科点专项科研基金优先发展领域基金项目(20120042130003); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110042110024, 20100042110025); 工信部物联网发展专项资金项目; 中央高校基本科研业务费专项资金项目(N110204003, N120104001).

**作者简介:** 陈克贵(1984—), 男, 博士生, 从事虚拟企业、供应链机制设计等研究; 黄敏(1968—), 女, 教授, 博士生导师, 从事虚拟企业风险管理、生产存储理论等研究.

了时间费用交换的激励问题,但只考虑了道德风险问题,没考虑隐藏私有信息导致的逆向选择问题. 以上的文献都没有考虑监督策略. 监督策略可以消除信息的不对称<sup>[14-16]</sup>,文献[14]研究了道德风险时利润共享合同下合伙制企业中不同监督机制对于合伙人行为选择的影响,文献[16]提出了基于第三方监理组织的虚拟企业结构模式,并建立了基于第三方监理组织的虚拟企业二级委托代理监督模型且验证模型的有效性,但都只考虑了道德风险. 由此可看出,目前项目进度管理中同时考虑道德风险和逆向选择的监督策略的研究不多.

本文依据项目的思想,从盟主和盟员双方角度考虑监督策略下的契约设计问题. 首先采用两阶段委托代理模型可以恰当描述盟主、监理组织和盟员的关系;其次考虑道德风险与逆向选择并存下的双重信息不对称问题而不仅是道德风险<sup>[8,17]</sup>;最后考虑盟主委托有专业知识和监督能力的第三方监理组织监督盟员的私有信息和行动<sup>[16]</sup>. 分别建立了基于盟员私有信息和行动的两阶段委托代理监督模型激励盟员并甄别其私有信息,与不监督情形对比,结果表明盟主委托监理组织对盟员的监督策略是有效的,且监督行动更有效. 监督策略可提高盟主收益和盟员的努力,使得盟员不再拥有额外的信息租金,避免了道德风险和逆向选择现象对虚拟企业造成的损害,为虚拟企业的高效运行提供了依据.

## 1 模型的基本描述

虚拟企业中,盟主委托盟员完成某一项目,项目的完工时间 $T$ 受盟员的努力程度 $a$ 、项目实施条件 $\theta$ 和随机干扰因素 $\delta$ 等参数影响,表示为 $T = t - ka - \theta + \delta$ . 其中 $\delta$ 服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ ,且与 $\theta$ 独立; $t$ 为最大可能完工时间; $k > 0$ 用于刻画盟员努力变化对工期的边际影响<sup>[13]</sup>; $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 是盟员的私有信息,盟主只知道其概率密度函数和累积分布函数分别为 $f(\theta)$ 和 $F(\theta)$ ;数学期望为 $\mu$ .

假设项目的收益为 $r_0$ ,设单位时间的成本为 $r_1$ ,则项目的利润为 $\pi(T) = r_0 - r_1 T$ <sup>[13]</sup>. 盟员努力成本为 $C(a) = ba^2/2$ <sup>[5,18]</sup>,其中 $b > 0$ 是成本系数. 盟主观测不到 $a$ ,只能观测完工时间 $T$ . 为了更加专注于联盟内部核心业务,盟主委托第三方监理组织I和A来监督盟员的私有信息 $\theta$ 和努力程度 $a$ .

考虑线性支付契约: 监理组织(I或A)为盟员提供的支付契约为 $s(T) = \alpha - \beta T$ <sup>[11,13]</sup>,记为 $(\alpha, \beta)$ ,其中 $\alpha$ 为固定支付(与 $T$ 无关), $\beta \geq 0$ 为激励系数. 通过契约可激励盟员缩短完工时间. 同理,盟主为监理组提供线性契约 $(u, v)$ , $u$ 为固定支付, $v \geq 0$ 为激励系数. 不监督时,盟主和盟员直接签订契约 $(\alpha, \beta)$ .

假设盟主和两类监理组织I和A都是风险中性的,则盟主的期望效用为

$$E(\pi_0) = r_0 - u + (v - r_1)(t - ka - \theta), \quad (1)$$

监理组织(I或A)的期望效用为

$$E(\pi_M) = u - \alpha - (v - \beta)(t - ka - \theta), \quad (2)$$

作为代理人的盟员净收益为

$$\pi_P = \alpha - \beta(t - ka - \theta + \delta) - ba^2/2. \quad (3)$$

假设盟员是风险规避的,其效用函数为负指数函数 $U_P = -e^{-\rho\pi_P}$ <sup>[5,18]</sup>,其中 $\rho > 0$ 为风险厌恶程度. 盟员、I和A的保留效用分别为 $\underline{\pi}$ 、 $\underline{I}$ 和 $\underline{A}$ . 只有契约带来的效用大于保留效用时,盟员才参与项目,于是盟员的参与约束IR(individual rationality constraint)为

$$CE_P = \alpha - \beta(t - ka - \theta) - ba^2/2 - \rho\sigma^2\beta^2/2 \geq \underline{\pi}. \quad (4)$$

假设 $\theta$ 有广义增加失效率性质(IGFR),即若 $H(\theta) = \bar{F}(\theta)/f(\theta)$ , $f'(\theta) \geq 0$ ,则有IGFR性质,如指数分布、正态分布、Weibull分布等<sup>[19]</sup>. 首先考虑不监督时的基准模型;然后分析监督信息和监督行动两种策略下的契约;最后分析比较监督策略对盟主和盟员的影响. 下标I和A分别代表monitoring information和monitoring action博弈情形,上标\*表示各变量取最优值情形,并令 $r = r_0 + r_1(\mu - t) - \underline{\pi}$ , $F(\underline{\theta}) = 0$ , $F(\bar{\theta}) = 1$ , $\bar{F}(\theta) = 1 - F(\theta)$ , $x^+ = \max(0, x)$ , $E_\theta[\cdot]$ 为期望算子.

## 2 基准模型

本节考虑不监督的情况,监理组织不参与,即盟主直接为盟员提供契约 $(\alpha, \beta)$ . 事件发生顺序如下: 1) 盟员观测真实信息 $\theta$ ; 2) 盟主根据其所知 $\theta$ 的概率分布制定支付契约 $(\alpha(\theta), \beta(\theta))$ ; 3) 盟员决定是否接受该契约; 4) 如果盟员接受契约,则根据契约选择相应的努力水平 $a(\theta)$ ; 5) 盟主根据完工时间付酬.

针对盟员的问题,采用逆向归纳法: 假设真实信息为 $\theta$ ,但是他选择 $\theta'$ 对应契约 $(\alpha(\theta'), \beta(\theta'))$ . 由于 $\delta$ 服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ ,当盟员选择行动 $a$ 后,其净收益对应的确定性等值为

$$CE_P(\theta, \theta'|a) = \alpha(\theta') - \beta(\theta')(t - ka - \theta) - ba^2/2 - \rho\sigma^2\beta^2(\theta')/2. \quad (5)$$

契约须满足盟员的保留效用,即 $CE_P(\theta, \theta') \geq \underline{\pi}$ . 接受契约的盟员都会选择最大化其效用的努力程度

$$a(\theta) = \arg \max_{a \geq 0} CE_P(\theta, \theta'|a) = k\beta(\theta')/b. \quad (6)$$

将式(6)的 $a(\theta)$ 代入(5),可得

$$CE_P(\theta, \theta') = \max_{a \geq 0} CE_P(\theta, \theta'|a) = \alpha(\theta') + \beta(\theta')(\theta - t) + (k^2 - b\rho\sigma^2)\beta^2(\theta')/2b.$$

令  $CE_P(\theta) = CE_P(\theta, \theta)$ , 则

$$CE_P(\theta) = \alpha(\theta) + \beta(\theta)(\theta - t) + (k^2 - b\rho\sigma^2)\beta^2(\theta)/2b. \quad (7)$$

契约  $(\alpha(\theta), \beta(\theta))$  下盟主的期望收益

$$E_\theta(\pi_0) = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} [r_0 - \alpha(\theta) + (\beta(\theta) - r_1)(t - \theta - k^2\beta(\theta)/b)]dF(\theta). \quad (8)$$

契约签订后, 盟主需优化如下问题:

$$\max_{\alpha(\theta), \beta(\theta)} E_\theta(\pi_0).$$

$$\text{s.t. (TC) } CE_P(\theta) \geq CE_P(\theta, \theta'); \quad (9)$$

$$\text{(IR) } CE_P(\theta) \geq \pi; \quad (10)$$

$$\text{(IC) } a(\theta) = k\beta(\theta)/b, \theta, \theta' \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]. \quad (11)$$

式(9)的TC(truth-telling constraint)约束为逆向选择下盟员的激励条件, 保证盟员没有隐藏信息 $\theta$ 的动机. 式(10)的IR约束为盟员的参与约束. 式(11)的IC约束为道德风险下盟员的激励相容约束(incentive compatibility constraint). 求解上述模型得到如下定理.

**定理 1** 不监督时, 盟主为盟员提供的最优支付契约  $(\alpha^*(\theta), \beta^*(\theta))$  配置如下:

$$\beta^*(\theta) = \frac{(r_1k^2 - bH(\theta))^+}{k^2 + b\rho\sigma^2},$$

$$\alpha^*(\theta) = \pi + \beta^*(\theta)(t - \theta) + \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \beta^*(\tau)d\tau - (k^2 - b\rho\sigma^2)\beta^{*2}(\theta)/2b. \quad (12)$$

盟员的最优努力程度为

$$a^*(\theta) = k\beta^*(\theta)/b = \frac{k(r_1k^2 - bH(\theta))^+}{b(k^2 + b\rho\sigma^2)}. \quad (13)$$

盟员的最优确定性等值为

$$CE_P^*(\theta) = \pi + \int_{H^{-1}(r_1k^2/b)}^{\theta} \frac{(r_1k^2 - bH(\tau))^+}{k^2 + b\rho\sigma^2} d\tau. \quad (14)$$

盟主的最优期望收益分别为

$$E_\theta^*(\pi_0) = r + E_\theta\left[\frac{((r_1k^2 - bH(\theta))^+)^2}{2b(k^2 + b\rho\sigma^2)}\right]. \quad (15)$$

**证明** 由  $dCE_P(\theta)/d\theta = \beta(\theta) \geq 0$  可知,  $CE_P(\theta)$  是  $\theta$  的增函数, 结合 IR 条件得  $CE_P(\theta) = \min CE_P(\theta) = \pi$ , 所以  $CE_P(\theta) = CE_P(\underline{\theta}) + \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \beta(\tau)d\tau$ , 于是

$$\alpha(\theta) = \pi + \beta(t - \theta) - (k^2 - b\rho\sigma^2)\beta^2(\theta)/2b + \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \beta(\tau)d\tau,$$

将  $\alpha(\theta)$  代到目标函数, 有

$$\max_{\beta(\theta)} E_\theta(\pi_0) = r_0 - r_1t - \pi + \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left[ r_1\theta + r_1k^2\beta(\theta)/b - (k^2 + b\rho\sigma^2)\beta^2(\theta)/2b - \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \beta(\tau)d\tau \right] dF(\theta),$$

由

$$\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \beta(\tau)d\tau dF(\theta) = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \beta(\theta)\bar{F}(\theta)/f(\theta)dF(\theta),$$

将问题转化为确定  $\beta(\theta)$  最大化, 即

$$\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} R(\beta, \theta)dF(\theta) + r_0 - r_1t - \pi,$$

其中

$$R(\beta, \theta) = - (k^2 + b\rho\sigma^2)\beta^2(\theta)/2b + r_1\theta + (r_1k^2/b - H(\theta))\beta(\theta).$$

由一阶条件知

$$\beta^*(\theta) = \max\left(\frac{r_1k^2 - bH(\theta)}{k^2 + b\rho\sigma^2}, 0\right) = \frac{(r_1k^2 - bH(\theta))^+}{k^2 + b\rho\sigma^2}.$$

$\partial^2 R/\partial\beta^2 < 0$  表明  $R(\beta, \theta)$  满足二阶最优条件, 由 IR 约束得  $\alpha^*(\theta)$ , 进而求得  $a^*(\theta)$  和  $E_\theta^*(\pi_0)$ .  $\square$

根据定理 1, 当  $\underline{\theta} \leq \theta \leq H^{-1}(r_1k^2/b)$  时,  $\beta^*(\theta) = 0$ , 即  $\theta$  较小时, 最优契约是为盟员提供固定支付. 式(14)表明信息不对称时盟员得到了额外的信息租金.

### 3 两种监督策略

作为核心企业的盟主为了更加专注联盟核心事务, 委托具有专业知识和监督能力的第三方监理组织监督盟员的私有信息和行动. 本节考虑两种监督策略: 盟主委托监理组织 I 和 A 监督盟员的私有信息  $\theta$  及行动  $a$ , 并签订契约  $(u, v)$ , I 和 A 再与盟员签订契约  $(\alpha, \beta)$ . 下面分析两种监督策略下契约设计过程.

#### 3.1 基于信息的监督策略

在基于信息监督的契约框架下, 盟主委托监理组织 I 监督信息  $\theta$ . 盟员、I 和盟主处于不同的利益体. 事件发生顺序如下:

- 1) 盟主向 I 提供线性契约  $(u, v)$ ;
- 2) I 决定是否接受该契约;
- 3) I 和盟员观测真实的信息  $\theta$ ;
- 4) I 向盟员提供线性契约  $(\alpha, \beta)$ ;
- 5) 盟员决定是否接受该契约;
- 6) 如果接受契约, 盟员根据契约选择相应的努力水平  $a$  (盟主和 I 不能准确观测);
- 7) 根据完工时间, 盟主和 I 付酬.

盟主、监理组织和盟员三方之间的决策过程显然是一个两阶段委托代理模型, 且两阶段相互关联. 盟主和 I 在进行第 1 阶段博弈时, 必须充分考虑到第 2 阶段 I 和盟员的最优决策, 他们间的博弈是 Stackelberg 博弈, 采用逆向归纳法来求解整个博弈.

在博弈的第 2 阶段 (I 和盟员间的博弈), 盟员面对真实  $\theta$  和 I 提供的线性契约  $(\alpha, \beta)$  选择努力程度  $a$ , 因为 I 可准确观测  $\theta$ , 所以只有道德风险问题. 由式(5), 盟员的净收益对应的确定性等值

$$CE_I(\theta|a) = \alpha - \beta(t - ka - \theta) - ba^2/2 - \rho\sigma^2\beta^2/2. \quad (16)$$

盟员选择最优行动来最大化其确定性等值, 即

$$a_I = \arg \max_{a \geq 0} CE_I(\theta|a) = k\beta/b. \quad (17)$$

将式(17)代入(16), 得到

$$CE_I(\theta) = \max_{a \geq 0} CE_I(\theta|a) = \alpha + \beta(\theta - t) + (k^2 - b\rho\sigma^2)\beta^2/2b. \quad (18)$$

I的期望收益为

$$E(\pi_I) = u - \alpha - (v - \beta)(t - k^2\beta/b - \theta). \quad (19)$$

I的目标是确定 $(\alpha, \beta)$ 最大化其期望收益 $E(\pi_I)$ , 即

$$\begin{aligned} & \max_{\alpha, \beta} E(\pi_I). \\ & \text{s.t. (IC) } CE_I(\theta|a) \geq CE_I(\theta|a'); \\ & \quad \text{(IR) } CE_I(\theta|a) \geq \pi. \end{aligned} \quad (20)$$

式(20)为道德风险下盟员的IC约束, 式(21)为盟员的IR约束. 求解上述模型可得到如下引理.

**引理1** 盟主为I提供线性契约 $(u, v)$ 且真实信息为 $\theta$ 时, I为盟员提供的最优契约 $(\alpha_I^*, \beta_I^*)$ 配置如下:

$$\begin{aligned} \beta_I^* &= \frac{k^2v}{k^2 + b\rho\sigma^2}, \\ \alpha_I^* &= \pi + \beta_I^*(t - \theta) - (k^2 - b\rho\sigma^2)\beta_I^{*2}/2b. \end{aligned} \quad (22)$$

盟员最优努力为

$$a_I^* = k\beta_I^*/b = \frac{k}{b} \frac{k^2v}{k^2 + b\rho\sigma^2}. \quad (23)$$

I的最优期望效用为

$$E^*(\pi_I) = u - vt + v\theta - \pi + \frac{k^4v^2}{2b(k^2 + b\rho\sigma^2)}. \quad (24)$$

**证明** 由IR条件消去 $\alpha$ 可知I的问题为最大化 $E(\pi_I)$ , 即

$$\max_{\beta} [u - vt + v\theta - \pi + k^2v\beta/b - (k^2 + b\rho\sigma^2)\beta^2/2b],$$

由一阶条件得 $\beta_I^*$ , 进而求得 $\alpha_I^*$ ,  $a_I^*$ 和 $E^*(\pi_I)$ .  $\square$

在第1阶段(盟主和I的博弈), I根据 $(u, v)$ 监督 $\theta$ , 由引理1中 $a_I^*$ 对应完工时间、盟主收益 $\pi_{OI} = r_0 - u - (r_1 - v)T$ 及I的收益 $E^*(\pi_I)$ 知, 盟主需优化如下问题:

$$\begin{aligned} & \max_{u, v} E_{\theta} \left[ r_0 - u - (r_1 - v) \left( t - \theta - \frac{k^4v}{b(k^2 + b\rho\sigma^2)} \right) \right], \\ & \text{s.t. (IR) } E_{\theta} \left( u - vt + v\theta - \pi + \frac{k^4v^2}{2b(k^2 + b\rho\sigma^2)} \right) \geq I. \end{aligned}$$

求解上述模型可得如下定理.

**定理2** 盟主委托监理组织I监督盟员的私有信息时, 盟主为I提供线性契约 $(u_I^*, v_I^*)$ 配置如下:

$$u_I^* = r_0 - r + \underline{I} - \frac{k^4v^2}{2b(k^2 + b\rho\sigma^2)}, \quad v_I^* = r_1. \quad (25)$$

盟主的最优期望收益为

$$E_{\theta}^*(\pi_{OI}) = r - \underline{I} + \frac{k^4v^2}{2b(k^2 + b\rho\sigma^2)}. \quad (26)$$

盟员的最优努力水平为

$$a_I^* = \frac{k^3r_1}{b(k^2 + b\rho\sigma^2)}. \quad (27)$$

**证明** 将IR约束代入到目标函数消去参数 $u$ , 得

$$\max_v E_{\theta}(\pi_{OI}) = r - \underline{I} + \frac{k^4r_1}{b(k^2 + b\rho\sigma^2)} + \frac{k^4v^2}{2b(k^2 + b\rho\sigma^2)},$$

由一阶最优条件得 $v_I^*$ , 显然满足二阶最优条件, 代入IR约束可得 $u_I^*$ , 进而得 $E_{\theta}^*(\pi_{OI})$ , 结合引理1得 $a_I^*$ .  $\square$

定理2表明, 盟主为I提供的契约满足 $v_I^* = r_1$ , 即项目的边际收益. 因为I可准确观测 $\theta$ , 所以不存在逆向选择问题. 对比定理1可知, 信息监督策略可提高盟主收益和盟员的努力程度, 但盟员的收益为其保留收益 $CE_I^* = \pi$ , 不再拥有额外的信息租金.

### 3.2 基于行动的监督策略

在基于行动监督的契约框架下, 盟主委托第三方监理组织A监督盟员的行动. A可观测到盟员的努力程度 $a$ , 但只有盟员知道真实的 $\theta$ , A向盟员提供的支付契约 $(\alpha(\theta), \beta(\theta), a(\theta))$ 要保证盟员透露真实的 $\theta$ . 事件发生顺序如下:

- 1) 盟主向A提供线性契约 $(u, v)$ ;
- 2) A决定是否接受该契约;
- 3) 盟员观测信息 $\theta$ ;
- 4) A根据盟员透露的 $\theta$ 提供契约 $(\alpha(\theta), \beta(\theta), a(\theta))$ ;
- 5) 盟员选择契约中的 $a(\theta)$ ;
- 6) 盟员、A和盟主三方根据完工时间以及所选的契约付酬.

这是一个两阶段的博弈, 盟主和A在进行第1阶段博弈时, 考虑了第2阶段A和盟员的最优决策, 下面采用逆向归纳法求解整个博弈.

在第2阶段(A和盟员间博弈), 真实信息为 $\theta$ , 盟员选择 $\theta'$ 对应契约 $(\alpha(\theta'), \beta(\theta'), a(\theta'))$ 的收益为

$$\alpha(\theta') - \beta(\theta')(t - ka(\theta') - \theta + \delta) - ba^2(\theta')/2.$$

由式(5)知盟员相应的确定性等值为

$$CE_A(\theta, \theta') = \alpha(\theta') - \beta(\theta')(t - ka(\theta') - \theta) - ba^2a(\theta')/2 - \rho\sigma^2\beta^2(\theta')/2.$$

令 $CE_A(\theta) = CE_A(\theta, \theta)$ , 盟主为A提供契约 $(u, v)$ 以及A为盟员提供契约 $(\alpha(\theta), \beta(\theta), a(\theta))$ 时, 完工时间为 $t - ka(\theta) - \theta + \delta$ , A的净收益为

$$\pi_A = u - \alpha(\theta) - (v - \beta(\theta))(t - ka(\theta) - \theta + \delta).$$

A的目标是确定 $(\alpha(\theta), \beta(\theta), a(\theta))$ , 并最大化其效用, 即

$$\begin{aligned} & \max_{\alpha(\theta), \beta(\theta), a(\theta)} E_{\theta}(\pi_A). \\ \text{s.t. (TC)} & \quad CE_A(\theta) \geq CE_A(\theta, \theta'); \end{aligned} \quad (28)$$

$$\text{(IR)} \quad CE_A(\theta) \geq \pi. \quad (29)$$

式(28)的TC约束为逆向选择下盟员的激励条件,式(29)为参与约束.

**引理 2** 盟主为A提供契约 $(u, v)$ 且信息为 $\theta$ 时, A为盟员提供的契约 $(\alpha^*(\theta), \beta^*(\theta), a^*(\theta))$ 配置如下:

$$\alpha_A^*(\theta) = \pi + k^2 v^2 / 2b, \quad \beta_A^*(\theta) = 0, \quad a_A^*(\theta) = kv/b. \quad (30)$$

A的最优期望效用为

$$E_{\theta}^*(\pi_A) = u - \pi + v(\mu - t) + k^2 v^2 / 2b. \quad (31)$$

**证明** 将 $CE_A(\theta) = \underline{\theta} + \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \beta(\tau) d\tau$ 结合IR约束得

$$\begin{aligned} \alpha(\theta) &= \pi + \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \beta(\tau) d\tau + \beta(\theta)(t - \theta) - \\ & \quad k\beta(\theta)a(\theta) + ba^2(\theta)/2 + \rho\sigma^2\beta^2(\theta)/2, \end{aligned}$$

再将 $\alpha(\theta)$ 代入A的目标函数,得

$$\begin{aligned} & \max_{\beta(\theta), a(\theta)} E_{\theta}(\pi_A) = \\ & u - \pi + v(\mu - t) + \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left[ vka(\theta) - \beta(\theta)t - \right. \\ & \quad \left. ba^2(\theta)/2 - \rho\sigma^2\beta^2(\theta)/2 - \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \beta(\tau) d\tau \right] dF(\theta) = \\ & u - \pi + v(\mu - t) + \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} G(a, \beta) d\tau, \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} G(a, \beta) &= vka(\theta) - \beta(\theta)t - ba^2(\theta)/2 - \\ & \quad \beta(\theta)H(\theta) - \rho\sigma^2\beta^2(\theta)/2. \end{aligned}$$

由 $\partial G/\partial \beta = -t - \rho\beta(\theta)\sigma^2 - H(\theta) < 0$ 知 $G$ 是 $\beta$ 减函数,故 $\beta_A^*(\theta) = 0$ ,由一阶条件得 $a_A^*(\theta)$ (满足二阶条件),进而求得 $\alpha_A^*(\theta)$ 和 $E_{\theta}^*(\pi_A)$ .  $\square$

$\beta_A^*(\theta) = 0$ 意味着A向盟员提供固定支付合同,是由于A可以观测盟员的努力程度,即不存在道德风险问题,与传统委托代理中信息对称<sup>[18]</sup>情形一致.

在第1阶段(盟主和A间博弈),A根据盟主提供的契约 $(u, v)$ 透露其观测到的努力程度,由引理2中 $a_A^*$ 对应的完工时间 $t - \theta - k^2 v/b + \delta$ 知盟主收益为 $\pi_{OA} = r_0 - u + (r_1 - v)(t - \theta - k^2 v/b + \delta)$ ,结合A的期望收益 $E_{\theta}^*(\pi_A)$ 知盟主需优化如下问题:

$$\max_{u, v} E_{\theta}(\pi_{OA}) = r_0 - u + (r_1 - v)(\mu - t + k^2 v/b).$$

$$\text{s.t. (IR)} \quad u - \pi + v(\mu - t) + k^2 v^2 / 2b \geq \underline{A}.$$

求解上述模型得到定理3中的最优契约参数.

**定理 3** 盟主委托监理组织A监督盟员的行动

时,盟主为A提供线性支付契约 $(u_A^*, v_A^*)$ 配置如下:

$$u_A^* = r_0 - r + \underline{A} - k^2 r_1^2 / 2b, \quad v_A^* = r_1. \quad (32)$$

盟员的最优努力程度为

$$a_A^* = kr_1/b. \quad (33)$$

盟主的最优期望收益为

$$E_{\theta}^*(\pi_{OA}) = r - \underline{A} + k^2 r_1^2 / 2b. \quad (34)$$

**证明** 将IR约束代入目标函数消去 $u$ ,则有

$$\max_v E_{\theta}(\pi_{OA}) = r - \underline{A} + r_1 k^2 v/b - k^2 v^2 / 2b,$$

由一阶条件得 $v_A^*$ ,进而求得 $u_A^*$ 、 $a_A^*$ 和 $E_{\theta}^*(\pi_{OA})$ .  $\square$

从定理3可看出,相比前两种情形,监督行动时,盟员要付出更多的努力,盟员的收益为 $CE_A^* = \pi$ ,与监督信息的情形一致.

## 4 结果分析

分析比较不监督、监督信息和监督行动3种策略下盟主和盟员的决策及收益,并给出算例.

### 4.1 3种策略的比较

将上述2种监督策略与不监督的情形比较,当监理组织的保留收益较小时,比较3种情形下双方的收益及盟员的努力程度,得到如下定理.

**定理 4** 在不监督、监督信息和监督行动3种策略下,双方的最优收益和盟员的努力程度满足

$$E_{\theta}^*(\pi_{OA}) \geq E_{\theta}^*(\pi_{OI}) \geq E_{\theta}^*(\pi_0), \quad (35)$$

$$a_A^* \geq a_I^* \geq a^*(\theta); \quad (36)$$

$$CE_P^*(\theta) \geq CE_I^* = CE_A^*. \quad (37)$$

**证明** 根据定理1~定理3以及

$$E_{\theta} \left[ \frac{((r_1 k^2 - bH(\theta))^+)^2}{2b(k^2 + b\rho\sigma^2)} \right] \leq \frac{r_1^2 k^4}{2b(k^2 + b\rho\sigma^2)} \leq \frac{r_1^2 k^2}{2b}$$

知式(35)成立.同理由

$$\frac{k(r_1 k^2 - bH(\theta))^+}{b(k^2 + b\rho\sigma^2)} \leq \frac{r_1 k^3}{b(k^2 + b\rho\sigma^2)} \leq \frac{r_1 k}{b}$$

可得式(36).  $\square$

定理4表明:盟主可通过监督策略提高其收益和盟员的努力,且监督行动策略更有效;监督使得盟员不再拥有额外的信息租金,仅得到保留收益.

### 4.2 算例分析

通过一个数值例子来直观表达本文模型的主要结论及性质.模型中的基本参数值设为 $r_0 = 6, t = 4, \pi = 1, r_1 = 1, k = 1, b = 1, \rho = 1, \sigma^2 = 2, \theta$ 服从 $[1, 3]$ 上的均匀分布,即 $[\underline{\theta}, \bar{\theta}] = [1, 3], H(\theta) = 3 - \theta, H^{-1}(r_1 k^2/b) = 2$ .盟主采取不监督策略时,代入定理1得盟主的期望收益为 $E_{\theta}^*(\pi_0) = 3.03$ ,盟员努力程度及收益分别为 $a^*(\theta) = (\theta - 2)^+/3$ 和 $CE_P^*(\theta) = 1 + ((\theta - 2)^+)^2/6$ ;盟主采取监督信息策略时,将上述参数代入到定理2得到 $E_{\theta}^*(\pi_{OI}) = 3.17, a_I^* = 0.33, CE_I^*$

= 1; 同理监督行动时,  $E_{\theta}^*(\pi_{OA}) = 3.5$ ,  $a_A^* = 1$ ,  $CE_A^* = 1$ . 本算例验证了定理4的结论.

## 5 结 论

本文研究了虚拟企业中盟主如何使盟员提高努力并甄别其私有信息的基于第三方监理组织的监督契约设计问题. 构建了基于盟员的私有信息和行动的两阶段委托代理监督模型来消除信息不对称问题, 进而分析最优监督策略, 并与不监督情形比较, 证明盟主委托第三方监理组织对盟员的信息和行动的监督策略是有效的, 且行动监督策略更有效, 监督策略下盟员要付出更多努力且不再拥有额外信息租金. 本文仅考虑了盟主和盟员的单契约情形, 现实中一个项目往往是由若干任务组成的复杂网络, 因此不对称信息下多代理合同的监督问题是未来的研究方向之一. 此外, 可以考虑与监督努力程度相关的监督成本<sup>[2,14]</sup>, 对该类问题的讨论是对本文模型的一种重要扩展.

## 参考文献(References)

- [1] 高阳, 江资斌. 用混合遗传算法求解虚拟企业生产计划[J]. 控制与决策, 2007, 22(8): 931-934.  
(Gao Y, Jiang Z B. Using HGA to solve production planning in VE[J]. Control and Decision, 2007, 22(8): 931-934.)
- [2] Chen J, Chen J F. Study on revenue sharing contract in virtual enterprises[J]. J of Systems Science and Systems Engineering, 2006, 15(1): 95-113.
- [3] 王若钢, 冯英俊. 虚拟物流企业联盟的利益分配策略研究[J]. 控制与决策, 2008, 23(10): 1087-1091.  
(Wang R G, Feng Y G. Research on profit distribution of virtual alliance[J]. Control and Decision, 2008, 23(10): 1087-1091.)
- [4] 孙宪丽, 黄敏, 王兴伟. 具有委托代理特征的虚拟企业分布式风险管理[J]. 系统工程学报, 2010, 25(5): 659-665.  
(Sun X L, Huang M, Wang X W. Distributed decision-making risk management of virtual enterprises with principal agent characteristics[J]. J of Systems Engineering, 2010, 25(5): 659-665.)
- [5] 李善良, 朱道立. 不对称信息下供应链线性激励契约委托代理分析[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(12): 1758-1762.  
(Li S L, Zhu D L. Principal agent analysis of supply chain incentive contract with asymmetric information[J]. Computer Integrated Manufacture System, 2005, 11(12): 1758-1762.)
- [6] 但斌, 宋寒. 服务外包中的客户企业参与度逆向选择模型[J]. 系统工程学报, 2010, 25(5): 681-688.  
(Dan B, Song H. Adverse selection model for customer enterprise participation degree in service outsourcing[J]. J of systems Engineering, 2010, 25(5): 681-688.)
- [7] Chen F. Salesforce incentives, market information and production/inventory planning[J]. Management Science, 2005, 51(1): 60-75.
- [8] 田厚平, 刘长贤. 双重信息不对称下销售渠道双目标混合激励模型[J]. 管理科学学报, 2011, 14(3): 34-47.  
(Tian H P, Liu C X. Bi-objective incentive model in distribution channel under the framework of dual information asymmetry[J]. J of Management Sciences, 2011, 14(3): 34-47.)
- [9] 王健, 刘尔烈, 骆刚. 工程项目管理中工期 - 成本 - 质量综合均衡优化[J]. 系统工程学报, 2004, 19(2): 148-153.  
(Wang J, Liu E L, Luo G. Analysis of time-cost-quality tradeoff optimization in construction project management[J]. J of Systems Engineering, 2004, 19(2): 148-153.)
- [10] Kwon H D, Lippman S A, Tang C S. Sourcing decisions of project tasks with exponential completion times: Impact on operating profits[J]. Int J of Production Economics, 2011, 134(1): 138-150.
- [11] Kwon H D, Lippman S A, Tang C S. Optimal time-based and cost-based coordinated project contracts with unobservable work rates[J]. Int J of Production Economics, 2010, 126(2): 247-254.
- [12] Kwon H D, Lippman S A, McCardle K F, et al. Project management contracts with delayed payments[J]. Manufacturing & Services and Operations Management, 2010, 12(4): 692-707.
- [13] Bayiz M, Corbett C J. Coordination and incentive contracts in project management under asymmetric information[R]. Los Angeles: Anderson Graduate School of Management, University of California, 2005.
- [14] Huddart S, Liang P J. Profit sharing and monitoring in partnerships[J]. J of Accounting and Economics, 2005, 40(1/2/3): 153-187.
- [15] Joseph K, Thevaranjan A. Monitoring and incentives in sales organizations: An agency-theoretic perspective[J]. Marketing Science, 1998, 17(2): 107-123.
- [16] 刘东波, 陈玉娟, 张自强, 等. 基于第三方监理组织的虚拟企业动态监督机制[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(10): 2073-2079.  
(Liu D B, Chen Y J, Zhang Z Q, et al. Virtual enterprise dynamic supervision mechanism based on the third supervisory organization[J]. Computer Integrated Manufacture System, 2009, 15(10): 2073-2079.)
- [17] Bernd T. Simultaneous moral hazard and adverse selection with risk averse agents[J]. Economics Letters, 2003, 79(2): 283-289.