

嵌入双向期权的激励相容型 CoPS 研发合约设计^①

陈占夺

(中国大连高级经理学院中国国有企业研究院,大连 116086)

摘要: 有别于聚焦在过程管理或降低信息不对称的现有研究,论文建立了可实现激励相容的复杂产品系统研发外包合约模型.通过对三种模型(标准、考虑质量保函、嵌入双向期权)比较,得出:1) 过程控制无法解决“整体次优”,也无法根治“偷懒”;2) 质量保函可以在一定程度上解决“偷懒”问题;3) 嵌入分享和处罚双向期权的激励相容型研发外包合约,因为以努力行为的结果来决定分包商收益,消除了信息不对称的影响,所以可同时解决“偷懒”和“整体次优”,达到整体最优.研究从新视角审视了信息不对称,解决了“偷懒”和“整体次优”,是对激励相容理论和合约治理在外包领域的扩展和深入,为管理实践的外包合约治理提供了全新思路.

关键词: 研发外包; 激励相容; 嵌入式合约; 复杂产品系统

中图分类号: F270.7; F272.3; F273.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2019)09-0081-15

0 引言

复杂产品系统(complex product of systems, CoPS) 具有高技术含量、技术跨领域性、子部件的系统性等诸多技术复杂性,使得其研发任务不可能由某一个企业单独完成,因此研发整体外包,特别是子系统研发外包是必然选择.与研发分包商(一般是国际一流的技术拥有者,包括设计公司、科研机构或子系统的研制商)相比,发包方(CoPS的集成商)在专业技术领域存在着严重的信息不对称,这导致集成商无法对分包商的偷懒行为进行有效监管,造成了“偷懒”问题;更为不利的是,因得不到合理补偿,分包商会放弃许多对产品性能进行改进的机会,或是对产品设计成本降低进行改进的机会,从而造成整体的次优性,导致“整体次优”问题.

在现有对研发外包的研究中,大多文献都支持了“过程控制”的观点,除了常规的控制方法外,在战略管理领域的一些文献支持通过建立、巩

固有活力的关系型治理机制来实现有效的风险抑制,而“信任”被认为是最有效的方式.最近,也有少数学者提出了通过契约的优化设计来控制风险的思路.过程管理虽然可以在一定程度上减少分包商的偷懒行为,但是无法完全根治“偷懒”问题,更无法解决“整体次优”问题;更为重要的是,“信任”关系的建立与维护一定是基于正式合约基础之上的,没有可以有效控制和激励分包商的合约,是无法依赖于“信任”得到分包商努力工作的结果的.虽然通过合约来控制风险是必要的也是有效的,但一方面现有研究很少且多关注过程的控制,另一方面多集中于如何治理偷懒行为,没有考虑信息不对称引发的“整体次优”的治理.

针对上述研究不足和研究空白,拟从新的视角解决信息不对称带来的“偷懒”问题和“整体次优”问题:以分包商努力行为的结果(实际产品的性价比)来决定分包商收益,设计可实现激励相容的嵌入式合约,将“若分包商偷懒则进行处罚”、“若分包商超常努力则分享奖励”嵌入到合

① 收稿日期: 2016-01-03; 修订日期: 2018-09-11.

基金项目: 辽宁省社会科学规划基金资助项目(L16BJY008); 辽宁省 2018 经济发展课题资助项目(2018lslktyb-113).

作者简介: 陈占夺(1974—),男,辽宁建昌县人,博士,副教授. Email: chenzhanduo@163.com

约之中,形成双向期权,行权时间为复杂产品系统建造完工之后。

论文的研究思路为:首先建立基准模型,构建双方的收益函数,通过演化博弈论证各方行为的演化路径,分析“偷懒”问题和“整体次优”问题;其次在合约中考虑质量保函,分析质量保函对演化结果的影响;然后设计含分享和处罚双向期权的嵌入式合约,分析对演化的影响和激励相容的实现;最后对研究结论进行讨论。

1 理论基础

1.1 关于复杂产品系统及其研发外包控制的研究

Hobday 和 Brady^[1]定义复杂产品系统为研发成本高、规模大、技术含量高(技术密集)、用户定制、单件或小批生产的大型产品、系统或基础设施,包括大型电信通讯系统、大型计算机、航空航天系统、智能大厦、大型船舶、航天工程、海洋工程、电站等^②。与大批量产品相比,CoPS 具有订单式生产、技术复杂、用户参与到整个产品的研制过程等特点^[2,3]。

由于研发外包是 CoPS 集成商的一种必然选择(即使整体研发由集成商自己负责,但子系统研发的外包也是必然的),使研究者对 CoPS 的研发外包关注度日益增加。寿涌毅和宋淳江^[4]研究了研发项目合作伙伴选择问题,建立了 CoPS 研发项目伙伴选择的多目标整数规划模型,以期通过合作伙伴的选择达到对合作中违约风险的事前控制。王智生等^[5]对 CoPS 合作创新网络的信任关系进行了研究,主要分析了分包商发生信任违背行为,系统集成商如何做出信任修复决策。陈占夺^[6]应用多案例对比分析,论证了研发分包商的利己行为是 CoPS 研制项目风险后果产生的重要原因之一。Das 和 Rahman^[7]论述了利益主体的机会主义行为是影响合作创新绩效的关键所在。宋砚秋等^[8]通过对复杂系统研发外包的研究发现,

联合研制模式可以将利益外部性内部化,从而有效的解决道德风险问题,提高合作创新的效益。

对软件外包的研究也给为解决研究问题提供了参考。在现有对研发外包的研究中,大多文献都支持了“过程控制”的观点,如在软件外包的研究中,软件开发风险管理的奠基性文献 Boehm 基于对过程主要环节进行风险控制的思路,给出了著名的 top 10 风险清单^[9];另外许多战略管理领域的学者提出:通过建立、巩固有活力的关系型治理机制来实现有效的风险抑制,其中信任(trust)是被研究得最多的一种关系型治理机制^[10-13]。最近,也有学者提出了通过契约的优化设计来控制风险的思路^[14,15]。石晓军等^[9]通过在合约中嵌入一个“中期检查”的触发期权,证明了嵌入触发期权对外包的风险控制、促进承接商提高努力程度均占有优势。石晓军等^[16]为了降低承接商道德风险行为,设计了软件外包的两阶段付款合同。刘克宁和宋华明^[17]考虑到分包商能力水平和成本信息的不对称,将分包商分为高成本系数分包商和低成本系数分包商两类,研究了不对称信息下创新产品研发外包的甄别契约设计。陈占夺和秦学志^[18]引入金融行业中或有可转债的理念来解决复杂产品系统集成商与用户之间违约行为治理问题,研究了含或有补偿的嵌入式合约设计。Nosoohi 和 Nookabadi^[19]研究了成本不确定情况下的制造商分包问题,设计了含有期权的合约,期权的行权期为成本不确定因素消除之后。Eckerd 和 Girth^[20]研究了买卖合同,认为带有期权的合同设计对管理供应联盟风险具有决定性的作用。进一步地,一些学者研究了“基于绩效的合同”(performance-based contracts, PBCs),PBCs 是一种不完全合约,强调放松对合约执行过程的约束并以最终绩效决定对合约方的奖励,主要用于服务型业务(外包)关系,被认为可以促进创新^[21-23]。Kloyer 和 Scholderer 用实证方法研究了研发合作中事先给予外包方特定控制权(实质是外包方对未来收益的部分获取权)对抑制道德风险的有效性,结果

② 在 2015 年国务院印发的《中国制造 2025》中,高端装备领域包括了大型飞机、航空发动机及燃气轮机、民用航空、智能绿色列车、节能与新能源汽车、海洋工程装备及高技术船舶、智能电网成套装备、高档数控机床、核电装备、高端诊疗设备等一批创新和产业化专项、重大工程,这些产业均属于 CoPS 范畴,因此研究 CoPS 研发外包中分包商的努力程度,解决“偷懒”问题和“整体次优”问题,促进整体的最优性,有着重大意义。

表明是有效的^[24]。Sumo 等^[25]进一步从交易成本理论和代理理论角度研究了绩效型合同对创新的作用机理,认为以最终绩效与奖励相关联可以显著改变弱约束下合约方的机会主义行为。Hoppe 和 Schmitz 用实验方法研究了基于结果的合约对人行为的影响:当努力行为不易被观察时,基于结果的合约可以有效抑制不努力行为^[26]。

1.2 对现有研究的评述及概念的界定

现有研究多关注研制过程中对合约方关系的管理,以期通过过程控制达到减少分包商偷懒行为;或是通过改善双方的信任关系来影响分包商的行为;或是关注研发外包合同签订前对合约方的选择以降低分包商偷懒的概率;或是研究如何降低双方信息不对称的程度来解决偷懒问题。现有文献对拟研究的问题提供了很好的研究基础,特别是“基于绩效的合同”的相关研究提供了非常好的启示。但现有研究还存在以下需考虑的问题:一是严格的过程控制虽然可以在一定程度上减少偷懒行为发生的可能性,但同时也会加大集成商的控制成本,且过程的严格监管是让分包商被动地、不情愿地减少偷懒行为,而不是主动而为之;二是即使在签约前找到了信誉良好的研发分包商,也无法解决“整体次优”问题,因为分包商的决策是基于自身利益最大化而非整体利益最大化做出的;三是努力降低双方信息不对称的方法是不可行的,正是由于集成商在某些技术上远不如研发分包商,才将研发业务外包给分包商,集成商想通过成为掌握该技术的专家的做法是不切实际的,而且为了降低信息不对称,集成商需要支付的成本也是昂贵的。

根据激励相容理论,可以设计一种机制,激励分包商努力工作的行为、抑制分包商的偷懒行为,让分包商主动地采取对整体最优的行为策略,才有可能从根本上解决偷懒问题和整体次优问题。

几个主要概念的界定。

偷懒行为:是指在研发过程中,分包商没有付出应付出的努力,其结果是为自己带来了一定的收益增加,但降低了产品的性价比,进而给集成商造成了更大的收益降低。

整体次优:由于在专有技术上分包商的信息明显优于集成商,在研发过程中分包商可能会发现,只要付出较小的努力成本,就会得到较大的产品性价比提高,这种性价比提高会增加集成商的收益,并表现在两个方面:一是产品性能的较大提升,二是产品的设计成本^③的较大降低,但是分包商不会采取这种能够提高整体收益的策略,由于信息的不对称性,集成商也并不知道分包商拥有此类可提高产品性价比的能力,因此造成了整体次优的最终结果。

处罚期权:是指集成商与分包商在合约中嵌入一个特定条款,约定在 CoPS 建造完工后,如果产品的实际性价比(包括性能提升和设计成本降低两个方面)低于研发外包合约所规定的值(在文中特指是由于分包商偷懒行为造成),则可由集成商行使的,对分包商进行处罚的权力(计算方法在合约中已经明确)。为了在不增加交易成本的前提下确保集成商的权力可以被实施,需要由分包商的母公司开具履约保函。

分享期权:是指集成商与分包商在合约中嵌入一个特定条款,约定在 CoPS 建造完工后,由于在研发过程中分包商付出的超常努力而增加了产品性价比(包括性能提升和设计成本降低两个方面),可由分包商行使的分享利益的权力(计算方法在合约中已经明确),为了在不增加交易成本的前提下确保分包商的权力可以被实施,需要由集成商的母公司开具履约保函。

2 基准模型

2.1 问题描述、符号定义与收益矩阵

2.1.1 问题描述与符号定义

CoPS 集成商(manufacturer)为了获得高性价比的研发设计(高性价比体现在两个方面:具有技术竞争优势或成本竞争优势),将研发工作外包给拥有该领域国际一流技术和经验的分包商(sub-contractor)。设分包合约价格为 P ,在正常情况下,集成商的收益为 μ_M ,分包商的收益为 μ_S 。依据 CoPS 技术分包合约的惯例,双方约定的付款

③ 复杂产品系统的设计成本:凡在设计阶段被固化了的 CoPS 主要成本因素,都属于 CoPS 设计成本,即使该项目成本并没有支出或是未被完全确定,成本因素是指能够决定或影响 CoPS 整个生命周期内成本值的因素。

条款如下(如图 1 所示): 签订合同时支付合约价格的 10%、项目中期支付 40%、研发完成交付图纸支付 45%、图纸交付后一段时间(一般为 6 个月,最长为一年)支付 5%的尾款。

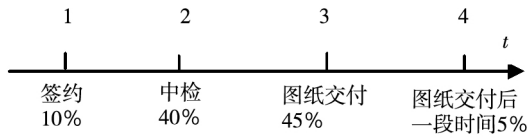


图 1 CoPS 研发外包付款节点

Fig.1 Installment payment plan of CoPS R&D contract

在研制期间,分包商有三个策略可以选择: 偷懒、正常努力、超常努力.集成商有两个策略可以选择: 正常检查、严格检查.

1) 当分包商正常努力集成商正常检查时

此时双方均可获得正常收益,则集成商的收益为 μ_M ,分包商的收益为 μ_S .双方的整体收益为 $\mu_M + \mu_S$.

2) 当分包商正常努力集成商严格检查时

考虑到严格检查需要支付额外费用,设费用的值为 F_1 ,则集成商的收益为 $\mu_M - F_1$,分包商的收益为 μ_S .双方的整体收益为 $\mu_M + \mu_S - F_1$,小于分包商正常努力、集成商正常检查时的整体收益.

3) 当分包商偷懒集成商正常检查时

首先是偷懒行为会导致研发产品的性价比低于预期水平,因此集成商会因此遭受损失,设损失值为 L .复杂产品系统由于技术复杂、研制时间长等原因,其外部环境的不确定程度是非常高的.Um 和 Kim 的实证研究表明: 外部环境不确定程度越高,分包商的利己行为对研发绩效的损害越大^[27].

另外,由于集成商与分包商在技术上存在着很大的信息不对称,而 CoPS 的单件小批生产等特性使得 CoPS 的研发没有产品试制的过程,因此在图纸交付时只能通过模拟仿真的方法来粗略验证将来产品可能达到的性能状况,导致分包商的偷懒行为在图纸交付时并不能全部被发现.即使是图纸交付后的半年甚至是一年内,CoPS 的制造过程仍未结束,最终产品仍未形成,偷懒行为仍无法被全部发现.

设集成商正常检查时,偷懒行为被发现的概率为 a ,则不被发现的概率为 $1 - a$; 设偷懒行为不被发现时,分包商将获得金额为 G 的偷懒收益(为不失一般性,设 $G < L$,即分包商偷懒的收益低于集成商的损失); 如果偷懒行为被发现,由于偷懒

行为已经发生,则 G 是存在的 L 也是存在的,此时分包商将支付一定的罚款(设为 A),并承担费用对因偷懒行为带来的性价比降低进行弥补(弥补行为可减少集成商一部分损失,但仍会存在研发计划拖期等损失,设减少的损失为 λL ($0 < \lambda < 1$)),设弥补的费用为 C .一般而言,任何一项工作的返工成本将高于正常完成所需的成本(即偷懒收益),加之分包商还将支付一定的罚款(A),因此有 $A + C > G$.

此时集成商的收益为

$$\mu_M - (1 - a)L - a(L - A - \lambda L) \quad (1)$$

分包商的收益为

$$\mu_S + (1 - a)G + a(G - A - C) \quad (2)$$

双方的整体收益为

$$\mu_M + \mu_S - (1 - a)(L - G) - a(L - G - \lambda L + C) \quad (3)$$

双方整体收益小于分包商正常努力、集成商正常检查的整体收益.

4) 当分包商偷懒集成商严格检查时

与分包商偷懒、集成商正常检查相比,严格检查会增加集成商的检查费用(F_1),同时会增加偷懒行为被发现的概率,设为 b ($0 < b < 1$, 且 $a + b < 1$).

此时集成商的收益为

$$\mu_M - F_1 - (1 - a - b)L - (a + b)(L - A - \lambda L) \quad (4)$$

分包商的收益为

$$\mu_S + (1 - a - b)G + (a + b)(G - A - C) \quad (5)$$

双方整体收益为

$$\mu_M + \mu_S - (1 - a - b)(L - G) - (a + b)(L - G - \lambda L + C) - F_1 \quad (6)$$

双方整体收益小于分包商正常努力、集成商正常检查的整体收益.

5) 当分包商超常努力集成商正常检查时

分包商超常努力,设需支付努力的费用为 F_2 ,但超常努力会提高产品的性能或在保障产品性能的前提下降低产品的生产成本(相当于提高了产品的性价比),这能够给集成商带来收益,设增加的收益为 V .Um 和 Kim 的实证研究表明: 外部环境不确定程度越高,分包商的合作行为会产生更高的研发绩效^[27].

此时集成商的收益为 $\mu_M + V$,分包商的收益为

$\mu_S - F_2$, 双方的整体收益为 $\mu_M + \mu_S + V - F_2$, 只要 $V - F_2 > 0$ (因超常努力带来的产品性价比提高收益大于分包商所支付的成本) 此时的整体收益就大于分包商正常努力、集成商正常检查的整体收益。

6) 当分包商超常努力集成商严格检查时

此时集成商的收益为 $\mu_M + V - F_1$, 分包商的收益为 $\mu_S - F_2$, 双方的整体收益为 $\mu_M + \mu_S + V - F_2 - F_1$, 显然此时的收益低于分包商超常努力、集成商正常检查的整体收益。

通过以上分析可知, 上述六种策略组合中, 只要超常努力带来的产品性价比提高收益大于分包商所支付的成本, 则整体最优策略为分包商超常努力、集成商正常检查, 否则整体最优策略为分包商正常努力、集成商正常检查。

2.1.2 符号定义

μ_M : 集成商的正常收益

μ_S : 分包商的正常收益

F_1 : 集成商严格检查时支付的额外费用

L : 偷懒行为使集成商遭受的损失

a : 集成商正常检查时, 偷懒行为被发现的概率

$a + b$: 集成商严格检查时偷懒行为被发现的概率

G : 偷懒行为未被发现时分包商的收益

A : 偷懒行为被发现时分包商需支付的罚款

C : 偷懒行为被发现后分包商需承担的弥补费用

λL : 偷懒行为被发现、分包商进行弥补后对集成商损失的减少值

F_2 : 分包商超常努力时需支付的努力费用

V : 分包商超常努力, 给集成商带来的额外收益

2.1.3 收益矩阵

设分包商中, 采取偷懒策略的初始比例为 x_1 , 采取超常努力策略的初始比例为 x_2 , 则采取正常努力策略的初始比例为 $1 - x_1 - x_2$; 设集成商中采取正常检查策略的初始比例为 y , 则采取严格检查的初始比例为 $1 - y$. 根据上述分析, 形成了双方博弈的收益矩阵, 如表 1 所示。

1) 分析 x_2 的可能性

对分包商来讲, 超常努力策略是一个严格劣势策略, 因为与正常努力相比, 无论集成商选择正常检查策略还是严格检查策略, 分包商采取正常努力策略时, 其收益都优于超常努力策略. 因此即使分包商中采取超常努力策略的初始比例大于零, 或是偶尔出现了不理性的分包商采取了超常努力策略, 也会因发现采取其他策略的分包商的收益优于自己而改变策略, 因此经过一段时间的演化, x_2 的结果为零。

表 1 正常合约下集成商与分包商的收益矩阵

Table 1 Payoff matrix of manufacturer and sub-contractor under normal contract

		集成商	
		正常检查 y	严格检查 $1 - y$
分包商	偷懒 x_1	$\mu_{11}^S = \mu_S + (1 - a)G + a(G - A - C)$ $\mu_{11}^M = \mu_M - (1 - a)L - a(L - A - \lambda L)$	$\mu_{12}^S = \mu_S + (1 - a - b)G + (a + b)(G - A - C)$ $\mu_{12}^M = \mu_M - F_1 - (1 - a - b)L - (a + b)(L - A - \lambda L)$
	正常努力 $1 - x_1 - x_2$	$\mu_{21}^S = \mu_S$ $\mu_{21}^M = \mu_M$	$\mu_{22}^S = \mu_S$ $\mu_{22}^M = \mu_M - F_1$
	超常努力 x_2	$\mu_{31}^S = \mu_S - F_2$ $\mu_{31}^M = \mu_M + V$	$\mu_{32}^S = \mu_S - F_2$ $\mu_{32}^M = \mu_M + V - F_1$

结论 1 在常规合约下, 因付出的成本没有得到弥补, 分包商不会采取超常努力策略, 因此常规合约下无法解决“整体次优”问题。

2) 分包商收益

采取偷懒策略时

$$\pi_1^S = \mu_S + G - a(A + C) - b(1 - y)(A + C) \quad (7)$$

采取正常努力策略时

$$\pi_2^S = \mu_S \quad (8)$$

总体期望收益

$$\pi^S = x_1 \pi_1^S + (1 - x_1) \pi_2^S \quad (9)$$

3) 集成商收益

采取正常检查策略时

$$\pi_1^M = \mu_M - x_1(L - aA - a\lambda L) \quad (10)$$

采取严格检查策略时

$$\pi_2^M = \mu_M - F_1 - x_1 [L - (a+b)A - (a+b)\lambda L] \quad (11)$$

总体期望收益

$$\pi^M = y\pi_1^M + (1-y)\pi_2^M \quad (12)$$

2.2 演化博弈模型的复制动态方程与均衡

2.2.1 复制动态方程

Friedman^[28] 对复制动态方程进行了分析, 提出: 一个策略的增长速度为 $\dot{x} = d \frac{x}{\tau}$, 则该策略的增长率为 \dot{x}/x , Friedman^[28] 论证了一个策略的增长率与它的适应度呈正相关, 并证明了某一策略的增长率, 等于该策略的适应度减去总体适应度. 以采取偷懒策略的群体为例, $\dot{x}_1/x_1 = \pi_1^S - \pi^S$, 即采取偷懒策略群体的增长率等于采取偷懒策略的期望收益, 减去总体期望收益, 所以采取偷懒策略企业的比例变化速度为

$$\dot{x}_1 = \frac{dx_1}{dt} = x_1(\pi_1^S - \pi^S) \quad (13)$$

2.2.2 演化博弈模型的均衡

采取偷懒策略企业的比例变化速度为

$$\dot{x}_1 = x_1(1-x_1) [G - (a+b)(A+C) + yb(A+C)] \quad (14)$$

采取正常检查策略集成商比例的变化速度为

$$\dot{y} = y(1-y) [F_1 - x_1b(A+\lambda L)] \quad (15)$$

令 $\dot{x}_1 = 0$ 得 $x_1 = 0, x_1 = 1$, 或

$$y^* = [(a+b)(A+C) - G] / [b(A+C)] \quad (16)$$

令 $\dot{y} = 0$ 得 $y = 0, y = 1$, 或

$$x_1^* = F_1 / [b(A + \lambda L)].$$

得到五个均衡点 $(0, 0)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(1, 1)$ 、 (x_1^*, y^*) .

2.3 演化博弈均衡点的稳定性分析

复制动态方程求出的平衡点不一定是系统的演化稳定策略(ESS) 根据 Friedman^[28] 提出的方法, 微分系统中集群均衡点的稳定性可以从该系统的雅可比(Jacobian) 矩阵(记为 J) 的局部稳定分析得出. 对 \dot{x}_1 和 \dot{y} 分别关于 x_1 和 y 求偏导, 可得到雅可比矩阵

$$J = \begin{bmatrix} \partial \dot{x}_1 / \partial x_1 & \partial \dot{y} / \partial x_1 \\ \partial \dot{x}_1 / \partial y & \partial \dot{y} / \partial y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (17)$$

如果下列条件得到满足,

1) $a_{11} + a_{22} < 0$ (迹条件, 其值记为 $\text{tr}J$);

2) $a_{11} \times a_{22} - a_{12} \times a_{21} > 0$ (雅可比行列式条件, 其值记为 $\text{det}J$);

则复制动态方程的平衡点就是(渐近)局部稳定的, 该平衡点就是演化稳定策略(ESS).

在本博弈模型中,

$$a_{11} = (1-2x_1) [G - (a+b)(A+C) + yb(A+C)]$$

$$a_{12} = x_1(1-x_1)b(A+C)$$

$$a_{21} = y(1-y)b(-A-\lambda L)$$

$$a_{22} = (1-2y) [F_1 - b(A+\lambda L)x_1] \quad (18)$$

根据 $G - (a+b)(A+C)$ 、 $b(A+C)$ 、 $b(A+\lambda L)$ 和 F_1 的大小关系, 得到 $\text{tr}J$ 和 $\text{det}J$ 的取值符号, 进而得到上述五个均衡点的局部稳定性(见表 2, 注“N”代表取值符号不确定).

表 2 不同取值下各均衡点的稳定性

Table 2 Stability of equilibrium points under different values

均衡点 (x_1, y)	$G - (a+b)(A+C) > 0$						$G - (a+b)(A+C) < 0$											
	$F_1 - b(A+\lambda L) > 0$			$F_1 - b(A+\lambda L) < 0$			$G - a(A+C) > 0$			$G - a(A+C) < 0$								
	$\text{tr}J$	$\text{det}J$	局部 稳定性	$\text{tr}J$	$\text{det}J$	局部 稳定性	$\text{tr}J$	$\text{det}J$	局部 稳定性	$\text{tr}J$	$\text{det}J$	局部 稳定性	$\text{tr}J$	$\text{det}J$	局部 稳定性			
(0, 0)	+	+	不 稳 定 点	+	+	不 稳 定 点	N	-	鞍 点	N	-	鞍 点	N	-	鞍 点	N	-	鞍 点
(0, 1)	N	-	鞍 点	N	-	鞍 点	N	-	鞍 点	N	-	鞍 点	-	+	ESS	-	+	ESS
(1, 0)	N	-	鞍 点	-	+	ESS	+	+	不 稳 定 点	N	-	鞍 点	+	+	不 稳 定 点	N	-	鞍 点
(1, 1)	-	+	ESS	N	-	鞍 点	-	+	ESS	N	-	鞍 点	N	-	鞍 点	+	+	不 稳 定 点
(x_1^*, y^*)			不存在			不存在			不存在			鞍 点			不存在			不存在

CASE 1 当 $G - (a+b)(A+C) > 0, F_1 - b(A+\lambda L) > 0$ 时, 此时即使集成商采取严格检查,

分包商的偷懒收益也大于损失, 且集成商采取严格检查的费用大于收益增加, 分包商偷懒、集成商

正常检查是博弈演化的 ESS 如图 2(a) 所示.

CASE 2 当 $G - (a + b)(A + C) > 0, F_1 - b(A + \lambda L) < 0$ 时, 此时即使集成商采取严格检查, 分包商的偷懒收益也大于损失, 且集成商采取严格检查的费用小于收益增加, 分包商偷懒、集成商严格检查是博弈演化的 ESS, 如图 2(b) 所示.

CASE 3 当 $G - (a + b)(A + C) < 0, G - a(A + C) > 0, F_1 - b(A + \lambda L) > 0$ 时, 此时如果集成商采取严格检查策略, 则分包商的偷懒收益小于损失; 如果集成商采取正常检查策略, 分包商的偷懒收益大于损失; 且集成商采取严格检查的费用大于收益增加, 分包商偷懒、集成商正常检查是博弈演化的 ESS, 如图 2(c) 所示.

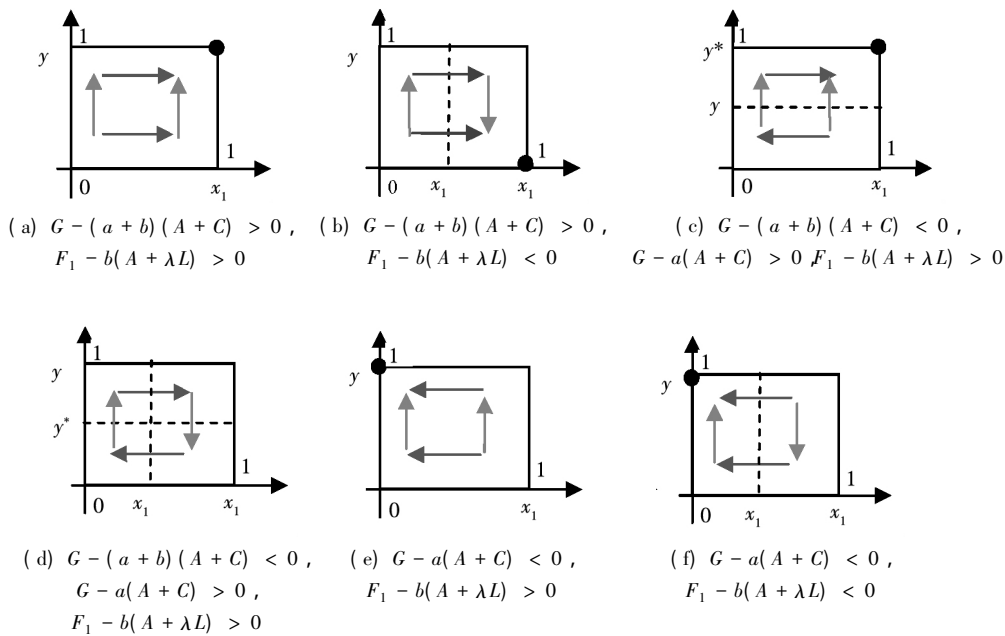


图 2 正常合约下各策略的演化路径

Fig.2 Evolution paths of different strategies under normal contract

CASE 4 当 $G - (a + b)(A + C) < 0, G - a(A + C) > 0, F_1 - b(A + \lambda L) < 0$ 时, 此时如果集成商采取严格检查策略, 分包商的偷懒收益小于损失; 如果集成商采取正常检查策略, 分包商的偷懒收益大于损失; 且集成商采取严格检查的费用小于收益增加, 博弈没有 ESS, 如图 2(d) 所示.

CASE 5 当 $G - a(A + C) < 0$ 时, 此时即使集成商采取正常检查策略, 分包商的偷懒收益也小于损失, 分包商正常努力、集成商正常检查是博弈演化的 ESS, 如图 2(e) 和图 2(f) 所示.

通过以上分析可知, 上述五种情况中, 只有当无论集成商采取何种策略时, 分包商的偷懒收益都小于偷懒带来的损失时, 才会出现分包商正常

努力、集成商正常检查的演化结果.

2.4 严格检查对演化结果的影响

如果集成商采取了严格检查策略, 会增加分包商偷懒行为被发现的概率, 从而增加分包商偷懒的成本、降低偷懒的收益, 进而增加偷懒成本大于偷懒收益的可能性. 因此, 集成商采取严格检查策略, 则图 2(a) 的演化结果为分包商偷懒、集成商严格检查, 图 2(b) 的演化结果为分包商偷懒、集成商严格检查, 图 2(c) 的演化结果为分包商正常努力、集成商严格检查, 图 2(d) 的演化结果为分包商正常努力、集成商严格检查, 图 2(e) 的演化结果为分包商正常努力、集成商严格检查, 图 2(f) 的演化结果为分包商正常努力、集成商严格检查. 通过分析, 得到结论 2.

结论 2 集成商加大检查力度(严格检查)可以减少偷懒行为发生的概率,但由于加大检查力度需要支付额外的费用,因此会降低整体的最优性.

3 质量保函对分包商努力行为演化的影响

3.1 质量保函对双方收益的影响及收益矩阵

设经集成商要求,分包商通过银行开具了以研发合约额 5% 为限的质量保函,有效期限至

CoPS 制造完工交付给最终用户,约定在 CoPS 完工时,若发现设计质量问题,分包商将给予赔偿(以研发合约额的 5% 为限);同时作为对分包商的补偿,取消原有合约中规定的 5% 尾款,并入图纸交付时一并支付.银行开具质量保函需要收取一定的费用,为了简化问题,设质量保函的手续费与尾款提前支付的利得相等.双方约定的条款如下(如图 3 所示):签订合同时支付合约价格的 10%、项目中期支付 40%、研发完成交付图纸支付 50%,附加一个银行的质量保函,有效期限至 CoPS 建造完工.

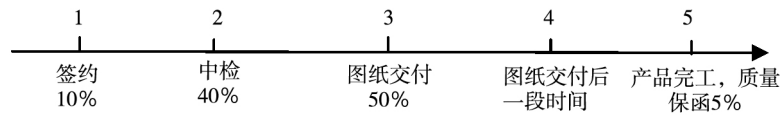


图 3 质量保证至完工的 CoPS 研发外包付款节点及质量保证

Fig.3 Installment payment plan and quality guarantee of CoPS R&D contract when guarantee until completed

在 CoPS 研制完工时,双方对产品性能和设计成本已经不存在任何的信息不对称,如果在研发期间分包商采取了偷懒行为,则会在产品完工时(此时设计已经由图纸变成了实际产品)被发现,分包商将支付不超过研发合约额 5% 的罚款.

因此,质量保函仅会影响两种情况,分别是分包商偷懒、集成商正常检查和分包商偷懒、集成商严格检查.

当分包商偷懒、集成商正常检查时,如果分包商的偷懒行为未能在中期检查和图纸交付时被发现(概率为 $(1-a)$),质量保函使偷懒的分包商承担了不超过研发合同额 5% 的罚款(设研发合同额为 P),

设罚款额为 $B(B \leq 5\%P)$,此时集成商的收益为 $\mu_M - (1-a)(L-B) - a(L-A-\lambda L)$,分包商的收益为 $\mu_S + (1-a)(G-B) + a(G-A-C)$.

当分包商偷懒、集成商严格检查时,如果分包商的偷懒行为未能在中期检查和图纸交付时被发现(概率为 $(1-a-b)$),质量保函使偷懒的分包商承担了不超过研发合约额 5% 的罚款(B),此时集成商的收益为 $\mu_M - F_1 - (1-a-b)(L-B) - (a+b)(L-A-\lambda L)$,分包商的收益为 $\mu_S + (1-a-b)(G-B) + (a+b)(G-A-C)$.

根据上述分析,形成了双方博弈的收益矩阵,如表 3 所示.

表 3 考虑质量保函时集成商与分包商的收益矩阵

Table 3 Payoff matrix of manufacturer and sub-contractor with quality guarantee

		集成商	
		正常检查 y	严格检查 $1-y$
分包商	偷懒 x_1	$\mu_{11}^S = \mu_S + (1-a)(G-B) + a(G-A-C)$ $\mu_{11}^M = \mu_M - (1-a)(L-B) - a(L-A-\lambda L)$	$\mu_{12}^S = \mu_S + (1-a-b)(G-B) + (a+b)(G-A-C)$ $\mu_{12}^M = \mu_M - F_1 - (1-a-b)(L-B) - (a+b)(L-A-\lambda L)$
	正常努力 $1-x_1-x_2$	$\mu_{21}^S = \mu_S$ $\mu_{21}^M = \mu_M$	$\mu_{22}^S = \mu_S$ $\mu_{22}^M = \mu_M - F_1$
	超常努力 x_2	$\mu_{31}^S = \mu_S - F_2$ $\mu_{31}^M = \mu_M + V$	$\mu_{32}^S = \mu_S - F_2$ $\mu_{32}^M = \mu_M + V - F_1$

1) 分析 x_2 的可能性
由于质量保函对分包商正常努力和超常努力

的收益没有影响,所以与前文的推理相同, x_2 的可能性为零.

结论3 在常规合约下,即使考虑了质量保函,分包商若采取超常努力,付出的成本仍无法得到弥补,因此不会采取超常努力策略,故质量保函无法解决“整体次优”问题。

2) 技术分包商的收益

采取偷懒策略时

$$\pi_1^S = \mu_s + G - a(A + C) - b(1 - y) \times (A + C - B) - (1 - a)B \quad (19)$$

采取正常努力策略时

$$\pi_2^S = \mu_s \quad (20)$$

总体期望收益

$$\pi^S = x_1 \pi_1^S + (1 - x_1) \pi_2^S \quad (21)$$

3) 集成商收益

采取正常检查策略时

$$\pi_1^M = \mu_M - x_1 [L - aA - a\lambda L - (1 - a)B] \quad (22)$$

采取严格检查策略时

$$\pi_2^M = \mu_M - F_1 - x_1 [(L - (a + b)A - (a + b)\lambda L) - (1 - a - b)B] \quad (23)$$

总体期望收益

$$\pi^M = y\pi_1^M + (1 - y) \pi_2^M \quad (24)$$

3.2 演化博弈模型的复制动态方程与均衡

采取偷懒策略企业的比例变化速度为

$$\dot{x}_1 = x_1(1 - x_1) [G - (a + b)(A + C) + b(A + C) - (1 - a)B + (1 - y)bB] \quad (25)$$

采取正常检查策略集成商比例的变化速度为

$$\dot{y} = y(1 - y) [F_1 - x_1 b(A + \lambda L - B)] \quad (26)$$

令 $\dot{x}_1 = 0$ 得 $x_1 = 0, x_1 = 1$, 或

$$y^* = \frac{[(a + b)(A + C) + (1 - a - b)B - G] / [b(A + C - B)]}{1} \quad (27)$$

令 $\dot{y} = 0$ 得 $y = 0, y = 1$, 或

$$x_1^* = b(A + \lambda L - B) / F_1$$

得到五个均衡点 $(0, 0)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(1, 1)$ 、 (x_1^*, y^*) 。

3.3 演化博弈均衡点的稳定性分析

先证明 $G - (a + b)(A + C) - (1 - a - b)B$ 和 $G - a(A + C) - (1 - a)B$ 的取值范围。首先,当在中检时偷懒行为被发现,则分包商除了承担罚款之外,还将付费对偷懒造成的设价比降低进行弥补 $A + C > G$;其次,如果偷懒行为给产品性价比带来的损失在产品建造完工时被发现,除非分包

商的偷懒行为过于严重,使其偷懒收益超过了研发外包合约额的 5% 以上,否则分包商所承担的处罚一定不会小于其偷懒收益,即当 $G < 5\%P$ 时,有 $B > G$ 。

综上分析,可以得出:当 $G < 5\%P$ 时, $G - (a + b)(A + C) - (1 - a - b)B < 0$,同理有 $G - a(A + C) - (1 - a)B < 0$;当 $G \geq 5\%P$ 时, $G - (a + b)(A + C) - (1 - a - b)B$ 的正负不能确定, $G - a(A + C) - (1 - a)B$ 的正负不能确定。

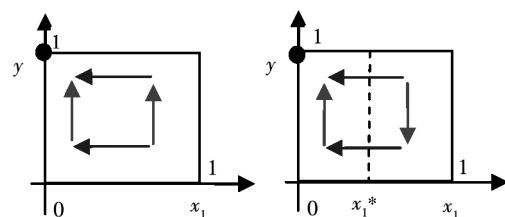
1) 当 $G < 5\%P$ 时,根据 $[b(A + C - B)]$ 、 $[G - (a + b)(A + C) - (1 - a - b)B]$ 、 $b(A + \lambda L - B)$ 和 F_1 的大小关系,得到 $\text{tr } J$ 和 $\text{det } J$ 的取值符号,进而得到上述五个均衡点的局部稳定性(见表 4,注“N”代表取值符号不确定)。

表 4 不同取值下各均衡点的稳定性

Table 4 Stability of equilibrium points under different values

均衡点 (x_1, y)	$G - a(A + C) - (1 - a)B < 0$					
	$F_1 - b(A + \lambda L - B) > 0$			$F_1 - b(A + \lambda L - B) < 0$		
	tr J	det J	局部 稳定性	tr J	det J	局部 稳定性
(0, 0)	N	-	鞍点	N	-	鞍点
(0, 1)	-	+	ESS	-	+	ESS
(1, 0)	+	+	不稳定点	N	-	鞍点
(1, 1)	N	-	鞍点	+	+	不稳定点
(x_1^*, y^*)			不存在			不存在

所有博弈均只有一个 ESS,就是分包商正常努力、集成商正常检查,如图 4(a)、图 4(b)。



(a) $G - a(A + C) - (1 - a)B < 0, F_1 - b(A + \lambda L - B) > 0$, (b) $G - a(A + C) - (1 - a)B < 0, F_1 - b(A + \lambda L - B) > 0$

图 4 质量保函合约下各策略的演化路径

Fig.4 Evolution paths of different strategies with quality guarantee

2) 当 $G \geq 5\%P$ 时,由于 $G - (a + b)(A + C) - (1 - a - b)B > 0, G - a(A + C) - (1 - a)B > 0$ 仍有可能出现,因此易知偷懒行为仍可能会出现。

对比 2.3 节中的五个 Cases 后发现,采取质量保函后,只要质量保函的额度能够涵盖偷懒给分包商带来的收益值时,演化将收敛于分包商正常

努力、集成商正常检查;当质量保函的额度无法涵盖偷懒给分包商带来的收益值时,偷懒行为仍有可能发生.因此得到结论 4.

结论 4 采取质量保函措施后,当分包商的偷懒收益不高于质量保函额度时,在不必加大检查力度(严格检查)的情况下,就可以有效避免偷懒行为;当分包商的偷懒收益高于质量保函额度时,仍存在分包商偷懒的可能性.因此,质量保函可以在一定程度上解决偷懒行为.

4 嵌入分享和处罚双向期权的合约对分包商努力行为演化的影响

4.1 分享期权与处罚期权的嵌入及对双方收益的影响

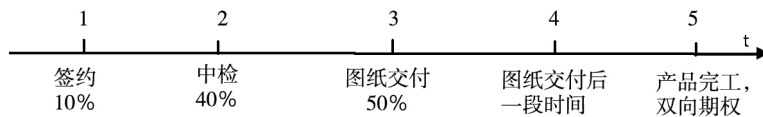


图 5 双向期权下 CoPS 研发外包付款节点及期权

Fig.5 Installment payment plan and quality guarantee of CoPS R&D contract with bi-direction options

因此,与质量保函类似,处罚期权仅会影响两种情况,分别是分包商偷懒、集成商正常检查和分包商偷懒、集成商严格检查.

当分包商偷懒、集成商正常检查时,如果分包商的偷懒行为未能在中期检查和图纸交付时被发现(概率为 $1 - a$),处罚期权使偷懒的分包商承担了罚款(不受质量保函中约定的不超过研发合约额 5% 所限),设为 D ,此时集成商的收益为 $\mu_M - (1 - a)(L - D) - a(L - A - \lambda L)$,分包商的收益为 $\mu_S + (1 - a)(G - D) + a(G - A - C)$.

当分包商偷懒、集成商严格检查时,如果分包商的偷懒行为未能在中期检查和图纸交付时被发现(概率为 $1 - a - b$),质量保函使偷懒的分包商承担了罚款(D),此时集成商的收益为 $\mu_M - F_1 - (1 - a - b)(L - D) - (a + b)(L - A - \lambda L)$,分包商的收益为 $\mu_S + (1 - a - b)(G - D) + (a + b)(G - A - C)$.

同样,分享期权仅会影响两种情况,分别是分

在嵌入了分享期权和处罚期权的情况下,双方约定的付款条款及期权如下(如图 5 所示):签订合同时支付合约价格的 10%、项目中期支付 40%、研发完成交付图纸支付 50%,在 CoPS 实际完工时,按照合同约定视实际性能比各自行使期权.在 CoPS 研制完工时,双方对产品的性能和设计成本已经不存在任何的信息不对称,如果在研发期间分包商采取了偷懒行为,则会在产品完工时(此时设计已经由图纸变成了实际产品)被发现,此时集成商将得到分包商支付的罚款(不受质量保函中规定的研发合约额 5% 所限).同样,如果在研制期间分包商采取了超常努力行为,则会在 CoPS 完工时(此时设计已经由图纸变成了实际产品)得以体现,此时分包商将得到集成商分享的奖励.

包商超常努力、集成商正常检查和分包商超常努力、集成商严格检查.

当分包商超常努力、集成商正常检查时,分享期权使超常努力的分包商得到了奖励,设为 E ,此时集成商的收益为 $\mu_M + V - E$,分包商的收益为 $\mu_S - F_2 + E$.双方的整体收益为 $\mu_M + \mu_S + V - F_2$,只要 $V - F_2 > 0$ (因超常努力带来的产品性价比提高收益大于分包商所支付的成本),此时的整体收益就大于分包商正常努力、集成商正常检查时的整体收益.

当分包商超常努力、集成商严格检查时,分享期权使超常努力的分包商得到了奖励(E),此时集成商的收益为 $\mu_M + V - F_1 - E$,分包商的收益为 $\mu_S - F_2 + E$.双方的整体收益为 $\mu_M + \mu_S + V - F_2 - F_1$.显然此时的收益低于分包商超常努力、集成商正常检查时的整体收益.

根据上述分析,形成了双方博弈的收益矩阵,如表 5 所示.

表5 合约中嵌入双向期权后集成商与分包商的收益矩阵

Table 5 Payoff matrix of manufacturer and sub-contractor with bi-direction options

		集成商	
		正常检查 y	严格检查 $1 - y$
分包商	偷懒 x_1	$\mu_{11}^S = \mu_S + (1 - a)(G - D) + a(G - A - C)$	$\mu_{12}^S = \mu_S + (1 - a - b)(G - D) + (a + b)(G - A - C)$
		$\mu_{11}^M = \mu_M - (1 - a)(L - D) - a(L - A - \lambda L)$	$\mu_{12}^M = \mu_M - F_1 - (1 - a - b)(L - D) - (a + b)(L - A - \lambda L)$
	正常努力	$\mu_{21}^S = \mu_S$	$\mu_{22}^S = \mu_S$
	$1 - x_1 - x_2$	$\mu_{21}^M = \mu_M$	$\mu_{22}^M = \mu_M - F_1$
	超常努力 x_2	$\mu_{31}^S = \mu_S - F_2 + E$	$\mu_{32}^S = \mu_S - F_2 + E$
		$\mu_{31}^M = \mu_M + V - E$	$\mu_{32}^M = \mu_M + V - F_1 - E$

1) 分析 x_1 的可能性

先证明 $G - (a + b)(A + C) - (1 - a - b)D$ 和 $G - a(A + C) - (1 - a)D$ 的取值范围. 前文已经论述了 $A + C > G$; 也论述了当 G 小于等于质量保函的额度时, 其值会小于 B , 在嵌入处罚期权时, 并没有质量保函所规定的上限, 因此 $D > G$ 成立, 有 $G - (a + b)(A + C) - (1 - a - b)D < 0$, 同理有, $G - a(A + C) - (1 - a)D < 0$. 比较分包商的偷懒策略和正常努力策略, 易知偷懒策略是一个严格劣势策略, 因为无论集成商采取何种策略, 分包商采取正常努力策略的收益总高于偷懒策略的收益. 因此即使分包商中采取偷懒策略的初始比例大于零, 或是偶尔出现了不理性的分包商采取了偷懒策略, 也会因发现采取其他策略的分包商的收益优于自己而改变策略, 因此经过一段时间的演化, x_1 的结果为零.

结论5 在合约中嵌入了在 CoPS 完工时行使的处罚期权后, 由于解决了双方对偷懒行为的信息不对称性, 且具有约束措施, 因此不需要集成商采取严格检查策略, 就可以解决偷懒行为.

2) 技术分包商的收益

采取正常努力策略时

$$\pi_2^S = y\mu_{21}^S + (1 - y)\mu_{22}^S = \mu_S \quad (28)$$

采取超常努力策略时

$$\pi_3^S = y\mu_{31}^S + (1 - y)\mu_{32}^S = \mu_S - F_2 + E \quad (29)$$

总体期望收益

$$\pi^S = (1 - x_2)\pi_2^S + x_2\pi_3^S \quad (30)$$

3) 集成商收益

采取正常检查策略时

$$\pi_1^M = (1 - x_2)\mu_{21}^M + x_2\mu_{31}^M = \mu_M + x_2(V - E) \quad (31)$$

采取严格检查策略时

$$\pi_2^M = (1 - x_2)\mu_{22}^M + x_2\mu_{32}^M = \mu_M - F_1 + x_2(V - E) \quad (32)$$

总体期望收益

$$\pi^M = y\pi_1^M + (1 - y)\pi_2^M \quad (33)$$

4.2 演化博弈模型的复制动态方程与均衡

采取超常努力策略的分包商比例的变化速度为

$$\dot{x}_2 = x_2(1 - x_2)(E - F_2) \quad (34)$$

采取正常检查策略集成商比例的变化速度为

$$\dot{y} = y(1 - y)F_1 \quad (35)$$

令 $\dot{x}_2 = 0$ 得 $x_2 = 0, x_2 = 1$.

令 $\dot{y} = 0$ 得 $y = 0, y = 1$.

得到四个均衡点 $(0, 0)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(1, 1)$.

4.3 演化博弈均衡点的稳定性分析

根据 $E - F_2$ 的正负取值, 得到 $\text{tr } J$ 和 $\det J$ 的取值符号, 进而得到上述四个均衡点的局部稳定性(见表6, 注“N”代表取值符号不确定).

表6 不同取值下各均衡点的稳定性

Table 6 Stability of equilibrium points under different values

均衡点	$E - F_2 > 0$			$E - F_2 < 0$		
	tr J	det J	局部稳定性	tr J	det J	局部稳定性
$(0, 0)$	+	+	不稳定点	N	-	鞍点
$(0, 1)$	N	-	鞍点	-	+	ESS
$(1, 0)$	N	-	鞍点	+	+	不稳定点
$(1, 1)$	-	+	ESS	N	-	鞍点

当 $E - F_2 > 0$ 时, 即分包商所得到的利益分

享能够补偿其超常努力所支付的成本时, 博弈将演化为分包商超常努力、集成商正常检查, 如图 6(a). 当 $E - F_2 < 0$ 时, 即分包商所得到的利益分享不能够补偿其超常努力所支付的成本时, 博弈将演化为分包商正常努力、集成商正常检查, 如图 6(b). 再通过对集成商采取分享期权的收益可知, 只需要 $E < V$, 即分享的金额小于性价比提高带来的收益, 集成商就有采取分享期权的动机, 因此只需分包商采取超常努力所带来的 CoPS 性价比收益大于所投入的费用, 博弈的结果将演化为 6(a) 分包商超常努力、集成商正常检查, 即达到整体最优. 因此得到结论 6.

结论 6 在合约中嵌入分享期权后, 只要分包商采取超常努力所带来的 CoPS 性价比收益大于所投入的费用, 博弈将收敛于整体最优的分包商超常努力、集成商正常检查; 当分包商采取超常努力所带来的 CoPS 性价比收益小于所投入的费用时, 博弈也将收敛于此时整体最优的分包商正常努力、集成商正常检查. 因此, 嵌入分享期权的合约设计, 可以解决“整体次优”问题.

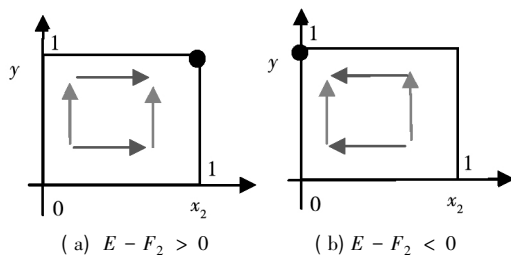


图 6 嵌入双向期权后各策略的演化路径

Fig.6 Evolution paths of different strategies with bi-direction options

综合结论 5 和结论 6, 可得出结论 7.

结论 7 嵌入分享期权和处罚期权的合约设计, 由于以最终产品的性能和设计成本(分包商努力行为的结果)来决定分包商的收益, 消除了信息不对称对双方的影响, 因此不仅可以解决分包商的偷懒行为, 还能解决“整体次优”问题, 从而使博弈双方都采取使双方整体收益最优的行

为, 达到整体最优的结果.

5 结束语

信息不对称导致分包商“偷懒”和“整体次优”是 CoPS 研发外包的两大难题. 通过标准博弈模型、考虑质量保函的博弈模型与嵌入了分享和处罚双向期权的博弈模型的演化分析与比较, 研究了在 CoPS 研发外包中如何才能避免“偷懒”和“整体次优”, 以达到“整体最优”的目的.

5.1 研究贡献

1) 研究视角有别于现有研究. 为减少合约不完全性引发的利己主义行为, 从合约设计视角学者大多采取两种措施: 让双方的信息更加对称, 以及尽可能减少双方的利益冲突. 但是, 在 CoPS 研发外包业务中, 增加双方信息的对称性不但会增加交易成本, 还会因过程控制的严格性而减弱分包商的自治权^④, 所以采取使双方利益趋同的措施是最好的办法. 双方在技术上的信息不对称是造成“偷懒”和“整体次优”的主要原因, 但解决问题的方法并不是让双方的信息更加对称, 而是以最终产品的性能和设计成本(分包商努力行为的结果)来决定分包商的收益, 完全消除了信息不对称对双方的影响.

2) 应用激励相容理论改进了合约设计, 提供了消除信息不对称对双方影响的可实现路径, 并使用博弈方法对合约的有效性和激励相容的可实现性加以了证明. 为消除信息不对称对双方的影响, 提出了嵌入分享和处罚双向期权的合同设计, 并证明了该合同设计对偷懒和整体次优的作用.

3) 证明了过程控制并非解决 CoPS 研发外包中偷懒和整体次优的有效手段. 过程控制是学者研究的热点之一, 也是管理实践中最倾向于使用的控制方法, 但论文的研究结果表明, 过程控制不

^④ 与“基于绩效的合同”(performance-based contracts, PBCs)有关的研究表明, 在以最终绩效决定奖励的前提下, 放松对合约执行过程的约束可以提高分包商的自治性, 并利于促进创新.

仅不能解决整体次优问题,也无法根治偷懒行为,因此侧重于过程管理来解决研发外包风险的理念值得研讨.

5.2 研究结论

1) 推导了在研发过程中集成商采取严格检查策略,可以降低偷懒行为发生的概率,但由于加大检查力度需要支付额外的费用,因此会降低整体的最优性;且常规合约无法解决“整体次优”问题.所以过程控制对解决信息不对称造成的“偷懒”和“整体次优”问题效果并不明显.

2) 证明了质量保函(保证期限到 CoPS 制造完工)对抑制偷懒行为的作用.采取质量保函措施后,当分包商的偷懒收益不高于质量保函额度时,在不必加大检查力度(严格检查)的情况下,就可以有效避免偷懒行为.

3) 证明了嵌入分享和处罚双向期权的合约设计可以达到整体最优的结果.由于以最终产品的性能和设计成本(分包商努力行为的结果)来决定分包商的收益,消除了信息不对称对双方的影响,嵌入双向期权后,可以解决分包商的“偷

懒”和“整体次优”两个问题,从而可以实现激励相容的最优结果.

5.3 研究建议

首先,解决偷懒行为有两种有效方法,第一种是简单易行的质量保函,集成商可以选择由对方银行开具的质量保函(其好处是履约性强,缺点是需由分包商支付相应费用,从而降低了整体收益),也可以选择由对方的母公司(从事 CoPS 研发的公司均是以多元化形式经营的大型公司,一般都会会有一个实力强劲的母公司)开具质量保函(其好处是没有相关的交易费用,坏处是保证性比银行保函略弱一些).

其次,为了发挥分包商在专用技术上的优势,促使分包商采取提高产品性价比的各种措施,集成商应该采取对分包商的努力行为进行奖励的分享期权策略,即设定一个性价比的正常标准,作为合约价格的基础,如果最终 CoPS 的性价比超出了正常标准,则给予分包商以奖励,使分包商不仅可以得到超常努力费用的补偿,还能因拥有专用技术这种稀缺的资源并用于提高产品的性价比而增加自己的收益.

参考文献:

- [1] Hobday M, Brady T. Rational vs soft management in complex software: Lessons from flight simulation [J]. *International Journal of Innovation Management*, 1998, 2(1): 1-43.
- [2] 陈占夺, 齐丽云, 牟莉莉. 价值网络视角的复杂产品系统企业竞争优势研究——一个双案例的探索性研究 [J]. *管理世界*, 2013, (10): 156-169.
Chen Zhanduo, Qi Liyun, Mou Lili. Study on the competitive advantages of CoPS enterprises from the view of the value network: An explore study of two cases [J]. *Management World*, 2013, (10): 156-169. (in Chinese)
- [3] 曾德麟, 欧阳桃花, 周宁, 等. 基于信息处理的复杂产品制造敏捷性研究: 以沈飞公司为案例 [J]. *管理科学学报*, 2017, 20(6): 1-17.
Zeng Delin, Ouyang Taohua, Zhou Ning, et al. Manufacturing agility of complex products from the perspective of information processing: The case of SF company [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(6): 1-17. (in Chinese)
- [4] 寿涌毅, 宋淳江. 复杂产品系统研发项目合作伙伴选择优化 [J]. *科研管理*, 2014, 35(10): 144-149.
Shou Yongyi, Song Chunjiang. Optimization of R&D project partner selection for complex product systems [J]. *Science Research Management*, 2014, 35(10): 144-149. (in Chinese)
- [5] 王智生, 胡珑瑛, 李慧颖. 复杂产品系统合作创新网络中信任修复的羊群行为模型 [J]. *运筹与管理*, 2012, 21(6): 119-125, 138.
Wang Zhisheng, Hu Longying, Li Huiying. Research on trust repair in complex products and systems cooperative innovation network [J]. *Operations Research and Management Science*, 2012, 21(6): 119-125, 138. (in Chinese)
- [6] 陈占夺. 复杂产品系统特性对风险后果影响的案例研究 [J]. *管理学报*, 2015, 12(9): 1263-1272.
Chen Zhanduo. The effect on risk results by complex characteristics in cops innovation during economic downturn [J].

- Chinese Journal of Management, 2015, 12(9): 1263–1272. (in Chinese)
- [7] Das T K, Rahman N. Determinants of partner opportunism in strategic alliances: A conceptual framework [J]. Journal of Business and Psychology, 2010, 25(1): 55–74.
- [8] 宋砚秋, 贾传亮, 高天辉. 复杂产品系统合作创新契约模型有效性研究 [J]. 中国管理科学, 2011, 19(2): 155–160. Song Yanqiu, Jia Chuanliang, Gao Tianhui. Study on the effectiveness of contract mode on cooperative innovation in complex product system [J]. Chinese Journal of Management Science, 2011, 19(2): 155–160. (in Chinese)
- [9] 石晓军, 张顺明, Hiroshi Tsuji. 嵌入期权的激励相容型软件外包付款合约设计 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(11): 2822–2830. Shi Xiaojun, Zhang Shunming, Hiroshi Tsuji. Incentive-compatible payment contracting for software offshoring embedded with trigger-option [J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2013, 33(11): 2822–2830. (in Chinese)
- [10] Ali Babar M, Verner J M, Nguyen P T. Establishing and maintaining trust in software outsourcing relationships: An empirical investigation [J]. Journal of Systems and Software, 2007, 80(9): 1438–1449.
- [11] Dibbern J, Winkler J, Heinzl A. Explaining variations in client extra costs between software projects offshored to India [J]. MIS Quarterly, 2008, 32(2): 333–366.
- [12] Mao J Y, Lee J N, Deng C P. Vendors' perspectives on trust and control in offshore information systems outsourcing [J]. Information & Management, 2008, 45(7): 482–492.
- [13] 沙颖, 陈圻, 郝亚. 关系质量、关系行为与物流外包绩效——基于中国制造企业的实证研究 [J]. 管理评论, 2015, 27(3): 185–196. Sha Ying, Chen Qi, Hao Ya. Relationship quality, relational behavior and logistics outsourcing performance: An empirical study of Chinese manufacturing enterprises [J]. Management Review, 2015, 27(3): 185–196. (in Chinese)
- [14] 程红, 汪贤裕, 郭红梅, 等. 道德风险和逆向选择共存下的双向激励契约 [J]. 管理科学学报, 2016, (19) 12: 36–45. Cheng Hong, Wang Xianyu, Guo Hongmei et al. Bilateral incentive contract with both moral hazard and adverse selection [J]. Journal of Management Sciences in China, 2016, (19) 12: 36–45. (in Chinese)
- [15] 黄河, 申笑宇, 徐鸿雁. 考虑供应商流程改进的采购合同设计 [J]. 管理科学学报, 2015, 17(10): 38–55. Huang He, Shen Xiaoyu, Xu Hongyan. Procurement contracts design in the presence of process improvement initiated by the supplier [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 17(10): 38–55. (in Chinese)
- [16] 石晓军, 张顺明, Hiroshi Tsuji. 软件外包的两阶段付款合同设计: 考虑双边期权价值的纳什谈判方法与实证 [J]. 管理科学学报, 2015, 18(7): 1–12. Shi Xiaojun, Zhang Shunming, Hiroshi Tsuji. Two-stage payment contract design for software offshoring: Anash bargain method embedded with bilateral real options [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(7): 1–12. (in Chinese)
- [17] 刘克宁, 宋华明. 不对称信息下创新产品研发外包的甄别契约设计 [J]. 中国管理科学, 2014, 22(10): 52–58. Liu Kening, Song Huaming. Screening contract design for innovative product R&D outsourcing under asymmetric information [J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(10): 52–58. (in Chinese)
- [18] 陈占夺, 秦学志. 嵌入或有补偿对 CoPS 合约方违约行为抑制作用的演化分析 [J]. 管理工程学报, 2018, 32(4): 186–194. Chen Zhanduo, Qin Xuezhi. The governance of the CoPS contractors' default behaviors by embedding contingent compensation in the contract proved by evolutionary game [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2018, 32(4): 186–194. (in Chinese)
- [19] Nosoochi I, Nookabadi A S. Outsource planning through option contracts with demand and cost uncertainty [J]. European Journal of Operational Research, 2016, 250(1): 131–142.
- [20] Eckerd A, Girth M A. Designing the buyer-supplier contract for risk management: Assessing complexity and mission criticality [J]. Journal of Supply Chain Management, 2017, 53(3): 60–75.
- [21] Kim S, Cohen M A, Netessine S. Performance contracting in after-sales service supply chains [J]. Management Science, 2007, 53: 1843–1858.
- [22] Ng I C L, Maul R, Yip N. Outcome-based contracts as a driver for systems thinking and service-dominant logic in service

- science: Evidence from the defense industry [J]. *European Management Journal*, 2009, (27): 377–387.
- [23] Ng I C L, Nudurupati S S. Outcome-based service contracts in the defence industry—mitigating the challenges [J]. *Journal of Service Management*, 2010, (21): 656–674.
- [24] Kloyer M, Scholderer J. Effective incomplete contracts and milestones in market-distant R&D collaboration [J]. *Research Policy*, 2012, (41): 346–357.
- [25] Sumo R, Valk V D W, Weele V A, et al. How incomplete contracts foster innovation in inter-organizational relationships [J]. *European Management Review*, 2016, 13(3): 179–192.
- [26] Hoppe E I, Schmitz P W. Hidden action and outcome contractibility: An experimental test of moral hazard theory [J]. *Games and Economic Behavior*, 2018, (109): 544–564.
- [27] Um K H, Kim S M. Collaboration and opportunism as mediators of the relationship between NPD project uncertainty and NPD project performance [J]. *International Journal of Project Management*, 2018, (36): 659–672.
- [28] Friedman D. Evolutionary games in economics [J]. *Econometric*, 1991, 59: 637–666.

Design of incentive compatible R&D contract embedded with bi-direction options in CoPS

CHEN Zhan-duo

Institute of China's State-owned Enterprises, China Business Executives Academy, Dalian 116086, China

Abstract: Differing from the current studies which focus on the process management or the reduction of the information asymmetry, this paper establishes an incentive compatible outsourcing contract model for R&D in CoPS. The following results are derived by comparing three models—the standard game model (model I), the modified game model embedded with quality guarantee (model II), and the improved model embedded with the bi-direction option of sharing and penalty (model III): 1) Process control (model I), cannot solve the problem of “sub-optimal in whole”, nor can it eliminate the sub-contractor's “lazy” behavior; 2) To a certain extent, sub-contractors' “lazy” behavior can be alleviated by quality guarantee (model II); 3) The improved contract (model III) can solve the above two problems and achieve overall optimum, since information asymmetry will be eliminated when the sub-contractor's income is decided by his own effort. This paper examines information asymmetry from a new perspective and solves the problems of “sub-optimal in whole” and “laziness”. It is an expansion and deepening of incentive compatibility theory and contract governance in outsourcing field, and it provides a new idea for outsourcing contract governance in management practices.

Key words: R&D outsourcing; incentive compatibility; embedded contract; complex product of systems (CoPS)